

南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集の
個体群動態の変動要因に関する研究

2018 年

北村 充彰

東京農業大学
博士論文

南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集の
個体群動態の変動要因に関する研究

平成 30 年 3 月 17 日
生物産業学専攻
北村 充彰

目次

| | |
|--|----|
| 序章 | 1 |
| 1. オホーツク海沿岸域の漁業生産および海洋生態系..... | 1 |
| 2. 南西オホーツク海沿岸域のモデルとしての能取湖..... | 2 |
| 3. 海洋生態系における動物プランクトンの役割..... | 4 |
| 4. 海洋生態系および水産学的にも重要なカイアシ類..... | 6 |
| 5. 本研究の目的..... | 9 |
| 第1章. 能取湖におけるカイアシ類群集の季節変動に及ぼす水塊交替の影響..... | 13 |
| 1. 背景 | 13 |
| 2. 材料および方法 | 14 |
| 2-1. 調査概要 | 14 |
| 2-2. 水理環境 | 14 |
| 2-3. Chl. <i>a</i> 濃度 | 15 |
| 2-4. カイアシ類の採集および計数..... | 15 |
| 2-5. カイアシ類データの解析 | 16 |
| 3. 結果 | 16 |
| 3-1. 水理環境 | 16 |
| 3-2. Chl. <i>a</i> 濃度 | 17 |
| 3-3. カイアシ類..... | 18 |
| 4. 考察 | 19 |
| 4-1. 能取湖におけるカイアシ類群集の動態と水塊交替..... | 19 |
| 4-2. 今後の課題..... | 20 |
| 第2章. 能取湖と南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類の比較 | 33 |
| 第1節. 能取湖と南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類の群集構造の比較..... | 33 |

| | |
|---|----|
| 1. 背景 | 33 |
| 2. 材料および方法 | 34 |
| 2-1. 調査概要 | 34 |
| 2-2. 水理環境 | 35 |
| 2-3. Chl. <i>a</i> 濃度 | 35 |
| 2-4. カイアシ類の採集および計数 | 36 |
| 2-5. カイアシ類の群集構造の解析および統計処理 | 37 |
| 3. 結果 | 38 |
| 3-1. 水理環境 | 38 |
| 3-2. Chl. <i>a</i> 濃度 | 39 |
| 3-3. カイアシ類群集 | 39 |
| 3-3-1. 出現種 | 39 |
| 3-3-2. 全カイアシ類個体数密度 | 40 |
| 3-3-3. 多様度指数および出現数 | 40 |
| 3-4. 主要カイアシ類の個体群動態 | 41 |
| 3-4-1. <i>Acartia hudsonica</i> | 41 |
| 3-4-2. <i>Acartia longiremis</i> | 41 |
| 3-4-3. <i>Acartia omorii</i> | 42 |
| 3-4-4. <i>Neocalanus plumchrus</i> | 42 |
| 3-4-5. <i>Centropages abdominalis</i> | 43 |
| 3-4-6. <i>Clausocalanus pergens</i> | 43 |
| 3-4-7. <i>Pseudocalanus newmani</i> | 43 |
| 3-4-8. <i>Metridia pacifica</i> | 44 |
| 3-4-9. <i>Paracalanus parvus</i> s.l..... | 44 |

| | |
|---|----|
| 3-4-10. <i>Tortanus discaudatus</i> | 45 |
| 3-4-11. <i>Oithona atlantica</i> | 45 |
| 3-4-12. <i>Oithona similis</i> | 46 |
| 3-5. Bray-Curtis 類似度指数..... | 46 |
| 4. 考察 | 47 |
| 4-1. 水理環境 | 47 |
| 4-2. 能取湖およびオホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集..... | 48 |
| 4-2-1. 本研究で採集されたカイアシ類..... | 48 |
| 4-2-2. 休眠卵作成種 (<i>Acartia hudsonica</i> , <i>A. longiremis</i> , <i>A. omorii</i> , <i>Centropages abdominalis</i> , <i>Tortanus discaudatus</i>) | 49 |
| 4-2-3. <i>Neocalanus plumchrus</i> | 50 |
| 4-2-4. <i>Clausocalanus pergens</i> | 52 |
| 4-2-5. <i>Pseudocalanus newmani</i> | 53 |
| 4-2-6. <i>Metridia pacifica</i> | 53 |
| 4-2-7. <i>Paracalanus parvus</i> s.l. | 54 |
| 4-2-8. <i>Oithona atlantica</i> | 55 |
| 4-2-9. <i>Oithona similis</i> | 55 |
| 4-3. 能取湖内および能取湖外のカイアシ類群集構造 | 56 |
| 第2節. 能取湖と南西オホーツク海沿岸域における <i>Pseudocalanus newmani</i> の個体群動態 | 73 |
| 1. 背景 | 73 |
| 2. 材料および方法 | 74 |
| 2-1. 水理環境の観測および Chl. <i>a</i> 濃度の測定 | 74 |
| 2-2. <i>Pseudocalanus newmani</i> の採集および分析 | 75 |

| | |
|---|-----|
| 3. 結果 | 76 |
| 3-1. 個体数密度の季節変動 | 76 |
| 3-2. 成長段階組成の季節変動 | 78 |
| 3-3. コペポダイト 6 期雌の前体部長の季節変動 | 79 |
| 4. 考察 | 80 |
| 第 3 章. 能取湖におけるカイアシ類の鉛直分布の時間変動と潮位変動の関係 | 89 |
| 1. 背景 | 89 |
| 2. 材料および方法 | 91 |
| 2-1. 調査概要 | 91 |
| 2-2. 水理環境および Chl. <i>a</i> 濃度の測定 | 91 |
| 2-3. カイアシ類の採集 | 92 |
| 3. 結果 | 93 |
| 3-1. 気象および潮位 | 93 |
| 3-2. 水理環境 | 94 |
| 3-2-1. 2015 年 | 94 |
| 3-2-2. 2016 年 | 95 |
| 3-3. カイアシ類群集の個体数密度および組成の時間変動 | 96 |
| 3-3-1. 2015 年 | 96 |
| 3-3-2. 2016 年 | 97 |
| 3-4. 優占種の鉛直分布の時間変動 | 97 |
| 3-4-1. 2015 年 | 97 |
| 3-4-2. 2016 年 | 99 |
| 4. 考察 | 100 |
| 4-1. 潮汐変動が能取湖の水塊構造変動に与える影響 | 100 |

| | |
|---|-----|
| 4-2. 潮位変動が能取湖におけるカイアシ類群集に与える影響 | 101 |
| 4-3. 潮位変動が主要カイアシ類の鉛直分布の時間変動に与える影響 | 102 |
| 第4章. 能取湖におけるカイアシ類群集の経年変動と気候変動の関係 | 126 |
| 1. 背景 | 126 |
| 2. 材料および方法 | 127 |
| 2-1. 調査概要 | 127 |
| 2-2. 水理環境の測定 | 128 |
| 2-3. Chl. <i>a</i> 濃度の測定 | 128 |
| 2-4. カイアシ類の採集および計数 | 129 |
| 3. 結果 | 130 |
| 3-1. 気象データ | 130 |
| 3-2. 能取湖環境データ | 130 |
| 3-3. カイアシ類群集データ | 131 |
| 3-4. カイアシ類出現種データ | 132 |
| 4. 考察 | 133 |
| 総合考察 | 147 |
| 謝辞 | 152 |
| 引用文献 | 153 |
| 要約 | 178 |
| English Summary..... | 181 |
| Appendix tables and figures | 186 |

序論

1. オホーツク海沿岸域の漁業生産および海洋生態系

北海道は日本の都道府県の中で海面漁業漁獲高、海面養殖業漁獲量ならびに内水面漁業漁獲量が最も高い（総務省 2016）。魚種別にみると、ホタテガイが生産量 469,000 t で全生産量の 37%を占め、生産額でも 899 億円で全生産額の 30%を占める（北海道 2016）。北海道の漁獲量はホタテガイに続いてスケトウダラ、サケ、サンマ、コンブ、イカが続き、上位 5 種は北海道の全生産量および全生産額のそれぞれ 70%を占める（北海道 2016）。これらの事象は南西オホーツク海沿岸域が豊かな海であることを示している。南西オホーツク海沿岸域（宗谷市から釧路市）の漁業生産量および生産額は日本全体の生産量の 8%、生産額の 6%を占める（北海道 2016）。一方、南西オホーツク海沿岸域の漁業者は日本全体の漁業者の約 1%にしか過ぎない（北海道 2016; 水産省 2016）。南西オホーツク海沿岸域の漁業者一人当たりの年間生産額は非常に高いことになる。

北海道周辺海域では、様々な水塊が分布する（Fig. 1）。親潮が太平洋を千島列島沿いに南下する一方、対馬暖流は沿岸域に沿って日本海を北上し、その一部が津軽暖流および宗谷暖流となってそれぞれ太平洋およびオホーツク海に流入する（青田 1976; 花輪 1984; 松山ら 1999; 磯田・岸 2003）。また、オホーツク海では、東樺太海流がサハリン島沿岸域を南下し、冬季にオホーツク海北西部で生成された海水を輸送する（Mizuta et al. 2003）。太平洋沿岸では、オホーツク海を起源とする沿岸親潮が道東から道南の方向に流れる（清水・磯田 1999）。このように北海道周辺海域は、海域毎の特徴的な海洋構造から道東太平洋、道南太平洋、日本海およびオホーツク海の 4 海域に大別することができる（田中ら 2003）。

南西オホーツク海沿岸域では水質の異なる宗谷暖流と東樺太海流が季節的に交替する（Aota 1979）。宗谷暖流は対馬暖流を起源とし、水温 7℃から 20℃、塩分 33.6 から 34.3 の特徴を持ち、6 月から 11 月には宗谷海峡から沿岸に沿って南流する。対して、東樺太海

流は水温 7°C未満、塩分 32.0 未満の水塊で、11 月から 3 月にサハリン東岸に沿って南流する (Takizawa 1982)。また、東樺太海流は冬季オホーツク海北部の沿岸ポリニアで形成された海氷を北海道オホーツク沿岸域にまで輸送する (Ohshima et al. 2002)。

オホーツク海は北半球の中で季節的に海氷が生成される海域の南限に位置する (Watanabe 1963; Parkinson & Grantz 1983)。オホーツク海北西部の沿岸ポリニアで海氷が多量に生成される際、低温で高塩分の密度の高い海水 (ブライン) が作られ、海氷から排出されて陸棚域の底層に沈み込んだ後、陸棚域からオホーツク海中央域の中層へと等密度層に沿って流れ出る (Shcherbina et al. 2003)。この大陸棚上の高密度水 (高密度陸棚水 DSW: Dense Shelf Water) は、オホーツク海南部および千島海峡を通過して、北太平洋の中層全体に広がる (Nishioka et al. 2007; 2011)。オホーツク北西部での海氷生成は、北太平洋規模における鉛直循環によって、オホーツク海北西部から西部北太平洋に物質を輸送し、西部北太平洋における生物生産に貢献することが明らかとなってきた (Nishioka et al. 2007; 2011)。しかし、オホーツク海では地球温暖化に伴う水温上昇が危惧されており

(Nakanowatari et al. 2007)、最大海氷域面積は 1971 年からの長期的な調査で 10 年あたりオホーツク海の全面積の 4.3%の海氷域が減少している (Nakanowatari et al. 2007)。すなわち、オホーツク海の家氷生成量の減少は、オホーツク海から西部北太平洋における生物生産量を増加させる溶存鉄などの栄養塩物質の輸送量を減少させ、オホーツク海のみならず、西部北太平洋における生物生産量を減少させる可能性が示唆される。オホーツク海の家氷の形成はオホーツク海のみならず、北太平洋規模の海洋生態系に影響を及ぼす可能性がある。

2. 南西オホーツク海沿岸域のモデルとしての能取湖

能取湖は北海道網走市の西方約 10 km に位置し、面積約 58.5 km²、周囲 32 km、最大水深 21.2 m、平均水深 8.5 m、貯水量 0.5 km³のオホーツク海に隣接する海跡湖である。能

取湖ではホタテガイ養殖（稚貝生産）、ホタテガイ桁網、カレイ刺網、エビ簗などの漁業が営まれ（能取湖青潮対策総合調査委員会 2012）、能取湖の漁獲量および生産額は網走市の漁獲量 3,955.3 t の 76%および生産額約 14 億円の 52.8%を占める（網走市 2017）。

能取湖は、湖口が 1974 年に永久開口化され、幅 324 m、深度 13 m の人工湖口でオホーツク海と繋がった。それによって、能取湖の湖水は潮汐により、恒常的にオホーツク海沿岸域の海水と交換される。能取湖と道東オホーツク海沿岸域との海水交換量は、小潮時で $3.8 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{day}$ 、大潮時では $7.2 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{day}$ であると北海道栽培漁業振興公社（2004）によって見積もられている。一方、能取湖には 11 の河川から陸水が流入するが、卯原内川以外は細流で流入量も非常に少ない（北海道栽培漁業振興公社 2011）。卯原内川は能取湖に通じる最も流量の多い河川であるが、能取湖への一日当たり流量は $5.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{day}$ であり、オホーツク海沿岸域との海水交換量の 0.1%に過ぎない（西野ら 2014a）。そのため、能取湖の湖水は常に湖口の外に存在するオホーツク海の沿岸水の影響を受け、塩分は 33 前後で道東オホーツク海沿岸域と同程度となる（今田ら 1995）。道東オホーツク海沿岸域では、宗谷暖流と東樺太海流が季節的に交替するため、能取湖でも湖口から流入する宗谷暖流水と東樺太海流水が季節的に交替することが報告されている（蔵田・西浜 1987; 浅見ら 1995; 今田ら 1995; 西野ら 2014a; 西野ら 2014b）。

冬季には能取湖の海表面は道東オホーツク海沿岸域と同様に海水で覆われる（Asami & Imada 2001; Katsuki et al. 2012a）。能取湖では例年、12 月下旬から 1 月上旬にかけて湖面の氷結が始まり、1 月中旬から 3 月下旬にかけて全面的に結氷し、3 月下旬から 4 月上旬にかけて海水が融解し、最終的に崩壊する（西野ら 2014c）。能取湖の海氷は湖内で海水が結氷した定着氷（fast ice）である（西野ら 2014c）。海氷が湖内全体を覆う程度に発達すると、安定した海氷上で湖水やプランクトンに関する調査を行うことができるという利点があるとされる。一方、オホーツク海沿岸域では海氷のほとんどが流氷であるため、不安定な流氷上で作業をすることはできない。また、砕氷船を使用しない限り、船舶による調査

も困難である。たとえ砕氷船を利用して海表面を漂う流水および流水下の水柱を調査したとしても、北西部オホーツク海における海氷の生成過程から道東オホーツク沿岸域にたどり着くまでの履歴を調査することは困難であり、海氷生成—発達—融解過程における生物の生産動態を明らかにすることはできない。

以上のように、能取湖と道東オホーツク海沿岸域の海洋構造および季節変動パターンが類似していることから、能取湖は道東オホーツク海沿岸域の海洋構造と生物の生産動態を理解する好適なモデルになると考えられる。

3. 海洋生態系における動物プランクトンの役割

プランクトンは水流に逆らうだけの遊泳能力を持たず、受動的に浮遊している生物群集を指し、植物プランクトンと動物プランクトンに大別される (Hardy 1965)。植物プランクトンは光合成により無機栄養塩を有機物に、太陽エネルギーを化学エネルギーに変換する。水中において光合成を行うには、光合成可能な光が届く表層（有光層）に留まる必要がある。植物プランクトンは、小型化することによって、効率よく栄養塩を取り込み、有光層からの沈降を遅らせることを可能にする進化をとげたと考えられている (Lewis 1976)。様々な海洋生態系においても、植物プランクトンは、一次生産者として非常に重要である (Fig. 2)。また、貧栄養海域や高栄養塩低クロロフィル (High Nutrient Low Chlorophyll: HNLC) 海域では、基礎生産の大半が、鞭毛虫類や繊毛虫類といった微小従属栄養性原生生物によって消費されることが明らかになった (Miller et al. 1991; Landry et al. 1997)。動物プランクトンは、植物プランクトンや微小従属栄養性原生生物を効率的に摂食することができる (Raymont 1983)。

動物プランクトンは、海洋生態系の安定性と持続性に貢献している (谷口 2008)。谷口 (2008) を含め、これまでに報告されてきた研究結果から、動物プランクトンが有している海洋生態系における機能をまとめると以下のようなになる。

1) 食物網の構築：海洋の一次生産者である植物プランクトンは小型である (Hardy 1965; Sieburth et al. 1978)。そのため、一次生産者と高次生産者を繋ぐには、両者の中間的なサイズの動物が必要である。この重要な役割を担うのが動物プランクトンである (Lalii & Parsons 1993)。また、動物プランクトンは、溶存有機物を基質として増殖する細菌を出発点としてする微生物食物連鎖 (Pomeroy 1974; Azam et al. 1983) を構成する微小従属栄養性原生生物を摂食する (Sherr & Sherr 1988)。この動物プランクトンの摂食は、微生物食物連鎖と採食食物連鎖 (植物プランクトン—動物プランクトン—魚類) を連結する役割も担うこととなる (Fig. 3)。動物プランクトンが存在しなければ海洋の食物網が成り立たない。

2) 深層への有機物輸送：海洋へ入射する太陽光は、海水の高い吸光度のため、深度に伴い急激に減衰する (Clarke & Denton 1962)。植物プランクトンによる海洋の一次生産は極表層に制限されている。しかし、中深層にも生物は存在する。動物プランクトンは、夜間に表層で植物プランクトンを摂食し、日中に中深層に分布する生態を有するものが多い (Parker 1985; Ringelberg 2010)。また、動物プランクトンは摂食した植物プランクトンを一部未消化の状態で糞粒として排泄する (Sasaki & Nishizawa 1988)。動物プランクトンは、糞粒や自身の移動によって、速やかに有機物を中深層へ届けることができる (Angel 1984; Zhang & Dam 1997; Taguchi & Saino 1998; Ducklow et al. 2001)。

3) 一次生産の季節変動の平準化：中、高緯度域では、環境とともに一次生産力も季節的に大きく変動する (Heinrich 1962)。これらの海域では、植物プランクトンは春季に大増殖する。夏季には生産力は低下し、秋季にもわずかな一次生産力の増加が起こるが、冬季にはほとんど生産しない (Heinrich 1962; Lalii and Parsons 1993)。外洋域に生息する動物プランクトンは、一次生産の季節変動に合わせた生活史を有している (Fulton 1973; Miller et al. 1984; Miller & Clemans 1988; Miller & Terazaki 1989)。すなわち、動物プランクトンは、春季に表層で活発に植物プランクトンを摂食して有機物を体内に蓄積し、その後の夏から翌春までの間、中深層へ移動する (Fulton 1973)。初春には、動物プラン

クトンは中深層で産卵し、孵化した幼生は徐々に表層に浮上する。このような生活史に伴う季節的な鉛直移動は、植物プランクトンによる一次生産の季節的な偏りを平準化することになる。

4) 栄養塩再生生産：上述したように、動物プランクトンは表層で植物プランクトンを摂食する。動物プランクトンは代謝によって無機排泄物を排泄する。排泄された無機栄養塩は植物プランクトンによって再び利用される (Corner & Davies 1971; 谷口 1975)。動物プランクトンによる植物プランクトンの摂食は、栄養塩の利用と再生生産の循環を速めることになる。

このように動物プランクトンは、海洋生態系において重要な役割を担っており、水産学的にも注目すべき生物群であるといえる。

4. 海洋生態系および水産学的にも重要なカイアシ類

カイアシ類（橈脚類）は、動物界節足動物門甲殻亜門顎脚綱カイアシ亜綱 (Copepoda) に属する生物群で、世界中の海域の動物プランクトン群集中にほぼ普遍的に優占する分類群である (Hardy 1965)。地球上でもっとも個体数の多い多細胞動物である可能性があり (Mauchline 1998)、200 科 1650 属約 11500 種が存在するとの報告もある (Humes 1994)。カイアシ類は今日も多くの新属や新種が報告されており、現在認識されているのは全体の約 15% に過ぎない可能性がある (Humes 1994)。

カイアシ類は両性生殖を行い、ノープリウス (nauplius) 幼生として卵から孵化し、脱皮を繰り返し成長する。一般的にノープリウス期は 1 期から 6 期存在し、多くの種はノープリウス 2 期または 3 期まで内部栄養 (卵黄物質) を利用して成長し、それ以降は摂餌により体外からエネルギーを摂取する (Mauchline 1998)。ノープリウス 6 期は脱皮しコペポダイト期 (copepodite) へ変態する。コペポダイト期も 1 期から 6 期存在し、コペポダイト 6 期は成体として繁殖行動を行う。海洋におけるカイアシ類の生息範囲は種毎に限定されて

おり、水平的には汽水性 (brackish)、沿岸性 (neritic)、外洋性 (oceanic) に分けられ、鉛直的には極表層性 (neustonic)、表層性 (epipelagic)、中層性 (mesopelagic)、深層性 (bathypelagic)、近底層性 (abyssopelagic) の区別がなされている (Mauchline 1998; 大塚・上田 1997)。

カイアシ類の中で種多様性、生息範囲、個体数密度の点から最も海洋で繁栄しているのはカラヌス目 (Calanoida) である (Mauchline 1998)。カラヌス目は現在 41 科に分けられ (大塚・上田 1997)、成体の体長は 0.3 mm から 10 mm 程度であり (大塚・上田 1997)、世界中の海域に分布し、主に浮遊性である。カラヌス目の一部は不適な環境では休眠卵 (resting egg) として海底で過ごすものもいる。また、カラヌス目の食性は多様で、濾過摂食 (filter feeding) や捕食 (raptorial feeding) によりデトリタス、植物プランクトン、鞭毛藻類をはじめとする微小動物プランクトン、カイアシ類、尾虫類、仔魚を捕食する (Ohtsuka & Onbe 1991; Nishida & Ohtsuka 1996; Ohtsuka et al. 1997)。キクロプス目 (Cyclopoida) は浮遊性小型カイアシ類で、汽水域、沿岸域、外洋域など様々な海域に分布する (Gallienne & Robins 2001)。沿岸域では、高い個体密度を示し、バイオマスでも動物プランクトン群集に影響を与える (Uye 1994; 上 2003)。キクロプス目カイアシ類は、植物プランクトンだけでなく、糞粒など多様な粒子を餌料として利用することができる (大塚・西田 1997)。すなわち、カイアシ類は、二次生産者あるいは三次生産者として基礎生産者によって生産された有機物やエネルギーを魚類などの高次生産者に転送する役割を担っている (Runge 1985; Lalić & Parsons 2005)。

浮遊性カイアシ類は分布深度を変化させる、いわゆる鉛直移動を行う (Banse 1964)。鉛直移動には 1 日の間に分布水深を変化させる日周鉛直移動と季節的に分布水深を変化させる季節的な鉛直移動がある。日周鉛直移動の一般的なパターンは、日中は深層に分布し、日没前後から深層から表層へ移動し、夜間表層で摂餌する (Gauld 1953)。日周鉛直移動は光によって、支配されていると考えられ (Gauld 1953)、底生生物以外の海洋生物に多く見

られる行動である。対して、季節的な鉛直移動は主に外洋に生息し、一年以上の寿命を有する種に多く見られ、植物プランクトンの増殖サイクルに合わせて分布水深を変化させる (Mackas et al. 1993)。例えば *Neocalanus* 属カイアシ類は、一次生産が活発な時期に盛んに摂餌し、若い成長期を表層で過ごす。その後、一次生産量が低下すると低温環境の深層で過ごす。深層では移動すると摂餌活動を休止し、表層で蓄えた体内の貯蔵脂質を少しずつ消費するようになる (Tsuda et al. 2004; 小針・池田 2000)。これらの鉛直移動は表層から深層へ輸送する生物ポンプの中核として働く (Longhurst & Williams 1992; Taguchi & Saino 1998; Ducklow et al. 2001)。

カイアシ類は海洋生態系の持続性や安定性に必要不可欠な生物群であるだけでなく、魚類や海産哺乳類の生産量推定を計る重要な分類群である (上田 1978)。全発育段階を含めると、カイアシ類は仔魚期以降の魚類が餌として利用できるサイズの動物プランクトンバイオマスの大部分を占める (Turner 1984; Dagg & Govoni 1996)。これまでに行われてきた魚類の食性に関する研究では、カイアシ類のノープリウス幼生が多くの海産魚類の仔魚の重要な餌生物であることが報告されてきた (Hunter 1981; Nakata 1988; Economou 1991; Munk & Nielsen 1994)。また、クロマグロ仔魚はカイアシ類ノープリウス期だけではなく、成長に伴って *Corycaeus* 属や *Clausocalanus* 属のコペポダイト期も摂食すること (魚谷ら 1990)、瀬戸内海燧灘における稚魚期以降のカタクチイワシおよびマイワシの胃内容物中で *Corycaeus affinis*、*Microsetella norvegica*、や *Paracalanus parvus* のコペポダイト期が優占したこと (山本・片山 2012)、オホーツク海においては、ホッケの幼魚群の胃内容物中でカイアシ類が最も高頻度で出現し (島崎・久新 1982)、また、鱒浦沿岸におけるワカサギの胃内容物中には *Paracalanus parvus*、*Eurytemora herdomani*、*Tortanus forcipatus* が多く出現した (山中・桑原 2000) ことなどが報告されている。以上のことから、カイアシ類は魚類の餌生物として非常に重要な生物群であることが分かる。

5. 本研究の目的

南西オホーツク海沿岸域の海洋生態系や漁業資源生物において重要な役割を担っていると考えられるカイアシ類群集に関する知見は、今なお乏しい。その理由として、ロシアとの領海問題があること、当該海域に面する調査研究機関が乏しかったこと、我が国の限りある研究資源が主に太平洋や日本海に注がれたことなど国際的、社会経済的問題が考えられる。また、上述したように、当該海域では季節的に暖流（宗谷暖流）と寒流（東樺太海流）が交替し、冬季には海表面が海氷（流氷）に覆われる。このような複雑な海洋環境が海洋調査の実施とデータの解析を困難にしていると考えられる。一方、当該海域は、北半球で海氷が生成される南限に位置し、近年声高に叫ばれている地球温暖化の影響が顕在化しやすい海域である。すなわち、地球温暖化による海洋環境の変化が表れやすい海域である。その結果、プランクトン群集の量および質が変化することも考えられる。地球温暖化の観点からも、プランクトン群集の動態解明に関する研究の重要性は一層高まっていると考えられる。

これまでわずかながら行われた南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類に関する研究は非結氷期に限られる。当該海域は 4 月から 7 月にかけて、サケ稚魚が河川から降下する海域であり（Ueno & Ishida 1996）、その時期の沿岸域におけるカイアシ類群集の構造が水塊構造の変動と関係があることが明らかとなってきた（Asami et al. 2005; Asami 2007; Asami et al. 2010b）。また、南西オホーツク海沿岸域の海況の影響を強く受ける能取湖においては、ニシンの餌料環境として非結氷期における動物プランクトン現存量の季節変動が明らかにされた（菅野・福田 1993）。しかし、その季節変動と水塊構造との関わりについては明らかにされていない。以上のように、水塊が季節的に交替し、生息環境が大きく変動する道東オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集の変動メカニズムが明らかにされたとは言い難い。

そこで本研究では、漁業資源が豊かな南西オホーツク海沿岸域における漁業の持続的発

展に貢献するために、当該海域におけるカイアシ類の個体群動態を解明することを最終的な目的とした。しかし、南西オホーツク海沿岸域は冬季に海氷が海面を覆うため、冬季に通常の船舶を使用した調査を行うことは困難である。そこで、本研究では水塊構造の季節変動が南西オホーツク海沿岸域と非常に類似した環境である海跡湖能取湖に着目した。能取湖であれば、周年を通じたカイアシ類群集と水塊構造の季節変動の関係性を明らかにし、カイアシ類群集の変動メカニズムを明にできると思われる。能取湖におけるカイアシ類群集の動態から、南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集の動態を理解するためには、能取湖および南西オホーツク海沿岸域のカイアシ類群集の動態と環境要因の関わりをそれぞれ明らかにした上で、能取湖および南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集の類似性や相違性を様々な時空間的スケールで理解する必要がある。

そこで本研究では、能取湖および南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集に関する以下の項目について明らかにすることを目的とした。南西オホーツク海沿岸域では、宗谷暖流と東樺太海流が季節的に交替し、冬季に湖面が結氷する環境である。そこで、2011年から2012年の非結氷期に目合 330 μm の NORPAC net で採集したデータを用いて、能取湖のカイアシ類群集の季節変動に及ぼす水塊交替の影響を明らかにした(第1章)。次に、結氷期も含めた2014年2月から2015年12月に目合 100 μm の NORPAC net で採集したデータを用いて、能取湖および南西オホーツク海沿岸域を同時に調査し、能取湖内外のカイアシ類群集構造の違いを明らかにした(第2章の第1節)。また、当該海域の季節的な優占種であり、サケ稚魚の餌生物として重要種とされている *Pseudocalanus newmani* の成長段階毎の動態を明らかにした(第2章の第2節)。さらに2015年11月ならびに2016年5月に24時間調査で採集したデータを用いて、潮汐によって道東オホーツク海沿岸域と海水交換される能取湖におけるカイアシ類の鉛直分布と潮位変動の関係について検討した(第3章)。最後に結氷期および非結氷期を含めた2013年から2017年に採集したデータを用いて、能取湖におけるカイアシ類群集の経年変動と気候変動の関係を検討した(第4章)。

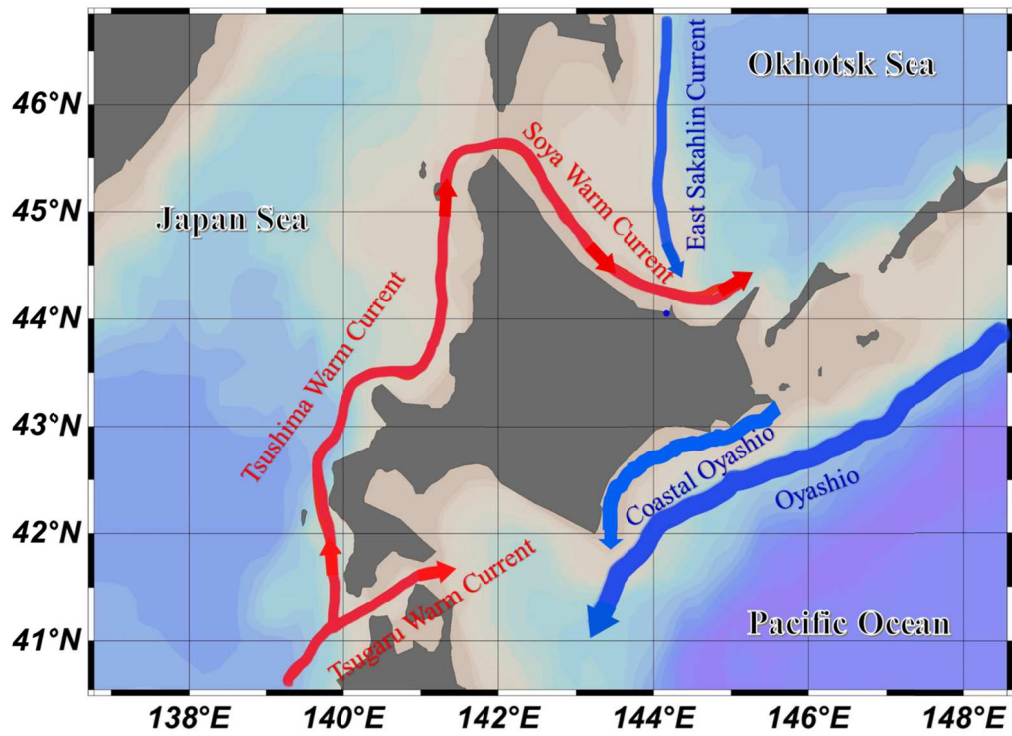


Fig. 1. Currents around Hokkaido, Japan.

1. Oceanic Zone (oligotrophic area)



2. Neritic Zone (eutrophic area)

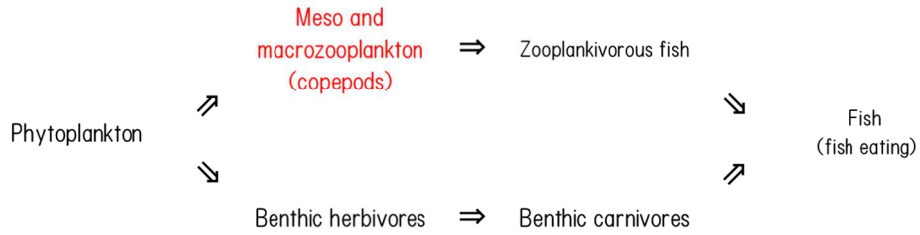


Fig. 2. Schematic diagram of different food chains in each marine environment (modified from Lalli and Parsons 1993).

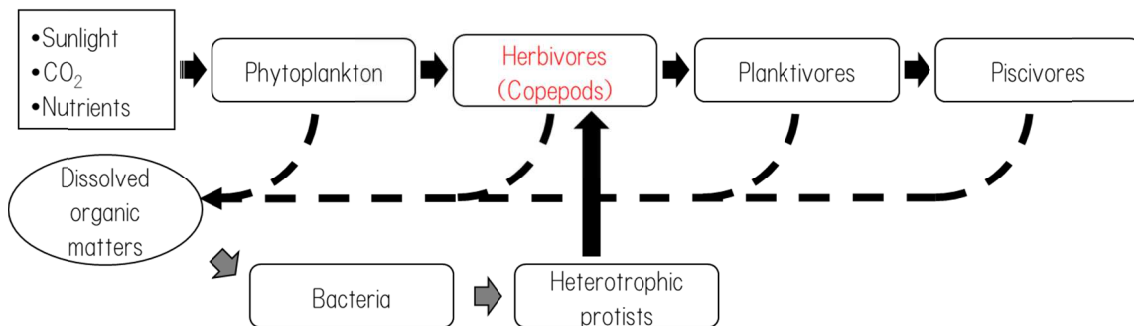


Fig. 3. Schematic diagram of grazing food chain (black arrows) and microbial loop (dotted line and gray arrows) in the ocean (modified from Lalli and Parsons 1993).

第1章. 能取湖におけるカイアシ類群集の季節変動に及ぼす水塊交替の影響

1. 背景

道東オホーツク海沿岸域では、北海道沿いに沿岸を南方へ流れる宗谷暖流およびサハリン東岸沿いに南方へと流れる東樺太海流が季節的に交替する (Aota 1979)。宗谷暖流は日本列島の日本海側を流れる対馬暖流を起源とし、水温 7°C から 20°C、かつ塩分 33.6 から 34.3 の特徴を持ち、6 月から 11 月には表層流として流れる (Takizawa 1982)。一方、東樺太海流は水温 7°C 未満、かつ塩分 32.0 未満の水塊で、11 月から 3 月にはサハリン東岸から北海道沿岸域まで南流し、道東オホーツク沿岸域の表面を覆う (Takizawa 1982)。この海流は流水を道東沿岸域へ輸送する海流でもある (清水・磯田 1999)。海洋生態系において重要な役割を担うカイアシ類は、分布する水塊の変動に伴って、群集構造が変動することが様々な沿岸域で明らかにされてきた (例えば Wen-Tseng et al. 2004; Hogni & Kirstin 2006)。しかし、オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集が上述のような水塊の季節的な交替に伴ってどのように影響を受けるかは明らかではない。

本章では道東オホーツク海沿岸域における水塊の交替の影響を強く受ける能取湖で、オホーツク海沿岸域の水塊交替の影響を受けて、沿岸域と同様な季節的な水塊交替が起こる (蔵田・西浜 1987; 浅見ら 1995; 今田ら 1995; 西野ら 2014a)。また、能取湖においても冬季に海氷が湖面を覆う (Asami & Imada 2001; Katsuki et al. 2012)。このように、能取湖の水塊構造およびその季節変動は道東オホーツク沿岸域におけるものと類似している。そこで、能取湖をオホーツク海沿岸域のモデルとして、水塊の季節変動とカイアシ類群集の動態との関係を明らかにできると考えた。能取湖におけるカイアシ類群集の動態については、1974 年にニシンの餌料環境として非結氷期の 4 月から 12 月の個体数密度が種毎に明らかにされた (菅野・福田 1993)。しかし、カイアシ類の個体群の動態と水塊の季節変動との関係性を解明するには至っていない。また、能取湖の湖口が人為的に永久開口した

のは 1974 年 4 月であり（菅野 1975; 中尾・菊地 1978）、その当時と近年における湖水環境は大きく異なっていると考えられ、能取湖におけるカイアシ類群集の動態を再調査する必要がある。そこで、本章では能取湖の非結氷期におけるカイアシ類群集の動態と水塊交替の関係を明らかにすることを目的とした。

2. 材料および方法

2-1. 調査概要

本章における調査は、能取湖の中央部に位置する最深部（水深約 20 m）に設けた定点（St.A: 44° 03' 02.1" N、144° 09' 38.8" E）において、非結氷期の 2011 年 4 月から 12 月および 2012 年 5 月から 12 月に月に 1 回から 2 回の頻度で調査を行った（Fig. 5）。調査では、東京農業大学オホーツク臨海研究センター所属の調査船「かいよう 2」ならびに西網走漁業協同組合所有の調査船を利用した。調査はいずれも日中（9:00 から 15:00）に実施し、水温および塩分の測定、Chl.*a* 濃度測定用試水の採水、ならびにカイアシ類の採集を行った。

2-2. 水理環境

水温および塩分については、多項目水質計 Compact CTD（ASTD103、JFE アドバンテック社製）を用いて、海表面から近底層まで 0.1 m 間隔で測定、記録した。得られた水温および塩分データの内、0.5 m から 18 m までのデータを使用し、ソフトウェア Ocean Data View（Schlitzer 2015）を用いて等値線図を作成し、解析に用いた。

本章では、得られた水温および塩分のデータを用いて、Takizawa（1982）に従って能取湖の水塊を区分した。すなわち、水温 7℃から 20℃、かつ塩分 33.6 から 34.3 を宗谷暖流水、水温 7℃未満、かつ塩分 32.0 未満を東樺太海流水とした（Takizawa1982）。また能取

湖における塩分 33.0 以上 33.6 未満の水塊を宗谷暖流系水とした。

2-3. Chl.*a* 濃度

Chl.*a* 濃度の測定用の試水は 6 L バンドーン採水器を用いて、0 m、5 m、10 m、15 m および 18 m から採取した。採水試料 500 mL を孔径 10 μm と 2 μm のメンブレンフィルター (Whatman 社製) ならびにガラス繊維フィルター (Whatman 社製) を用いて吸引濾過した。サイズ画分は、 $>10 \mu\text{m}$ 、 $2\text{--}10 \mu\text{m}$ 、 $\leq 2 \mu\text{m}$ である。濾過に際して、植物プランクトンの細胞を破損しないようにアスピレータ (SHIBATA 社製) を用いて、0.02 MPa 以下の引圧に設定し、吸引した。各フィルターは N, N-ジメチルホルムアミド (DMF) を 7 mL 入れた 8 mL の平底自立型チューブ (ザルスタット社製) に移し、空気に触れないように -80°C に設定したディープフリーザー (サンヨー社製) で 24 時間以上保管し、Chl.*a* を抽出した。抽出した試料は蛍光光度計 (Model 10-AU、検索結果 Turner Designs 社製) を用いて、Welschmeyer 法 (Welschmeyer 1994) に基づいて蛍光値を測定し、以下の式から Chl.*a* 濃度を算出した。

$$\text{Chl. } a \text{ } (\mu\text{g/L}) = F_0 * v/V$$

ここで、 F_0 は抽出した Chl.*a* 濃度の蛍光値、 v は抽出に用いた DMF の量 (mL)、 V はろ過した試水量 (mL) である。本研究では、各サイズの Chl.*a* 濃度を合計して総 Chl.*a* 濃度を算出し、Ocean Data View を用いて総 Chl.*a* 濃度の等値線図を作成し、解析に用いた。

2-4. カイアシ類の採集および計数

カイアシ類試料は、NORPAC net (北太平洋標準ネット: 口径 0.45 m、側長 1.80 m、目合 330 μm) を水深 15 m まで沈め、0.5 m/s から 1.0 m/s の速度で表層まで鉛直曳し、採集した。曳網時におけるネットによる濾水量を調べるために、カイアシ類の採集後にネット口輪に取り付けた校正済みの濾水計の回転数を読み取った。採集した試料は四ホウ酸ナト

リウム（ボラックス）により中和したホルマリンを採集試料の 5% になるように添加して固定した。固定したカイアシ類試料は、カイアシ類が 200 個体以上になるように密度に応じて元田式分割器を用いて、1/2 から 1/32 に分割して検鏡した。分割した試料は実体顕微鏡（OLYMPUS 社製）を用いてカイアシ類コペポダイト期について、山路（1966）、大塚・上田（1997）ならびに Gradner & Szabo（1982）に従って種同定を行い、種ごとに個体数を計数した。カイアシ類の水柱平均の個体数密度（Abundance: ind./m³）は以下の式を用いて算出した。

$$\text{Abundance} = n / (\pi * r^2 * L * t / T) / p$$

ここで、 n は計数値、 r はネット半径（m）、 L は曳網距離（m）、 t は曳網時の濾水計回転数、 T は校正時の濾水計回転数、 p は分割率とした。得られた各採集日の個体数密度データから各月の平均値を算出して、解析に用いた。

2-5. カイアシ類データの解析

カイアシ類の温度に対する適性は大塚・上田（1997）に従い、暖水性種（Warm water species）、冷水性種（Cold water species）、広温性種（Eurythermal species）とした。また、*Microsetella* 属と *Corycaeus* 属は種同定ができなかったため、温度適性をその他（Others）として解析に用いた。カイアシ類の水温に対する適性（暖水性種、冷水性種、広温性種）の割合が季節に偏りがあるかどうかを調べるために、有意水準 5% でカイ二乗検定を用いて判定した。

3. 結果

3-1. 水理環境

2011 年の水温は、4 月には表層で 5.3℃、底層では 2.8℃であった（Fig. 6）。4 月から 8

月にかけて水温は表層から上昇し、表層から底層にかけて水温躍層が認められた。9月以降水温躍層は消滅し、水温は冬季に向かって水柱全体で低下し、12月には全層で2℃以下にまで低下した。2012年の水温は、5月の表層で9.3℃、底層では4.5℃であった（Fig. 7）。その後水温は2011年と同様に表層から水温の上昇がみられ、4月から9月に表層から底層にかけて水温躍層が形成された。10月以降水温躍層は消滅し、水柱全体で低下し、12月には1.9℃から3.4℃まで低下した。

2011年の塩分は、4月の表層で32.0未満の東樺太海流水が分布し、6月までは塩分32.2以下の低塩分水が分布した（Fig. 8）。5月から6月にかけて、塩分は10 m以浅では緩やかに上昇したが、10 m以深では緩やかに低下を示した。7月以降5 m以深で塩分33.0以上の宗谷暖流系水が分布した。この宗谷暖流系水は7月から11月上旬まで分布した。その後、塩分は水柱全体で低下していき、12月には塩分32.0未満の東樺太海流水が分布した。2012年の塩分は、5月から6月上旬の表層5 m以浅および11月下旬の水柱全体で塩分32.0未満の東樺太海流水が分布し、12月にも東樺太海流の分布がみられたが、塩分は31未満と低くかった（Fig. 9）。一方、6月から10月まで宗谷暖流系水が分布し、5 mから10 m以深では塩分が33.4を超えた。2012年の塩分は2011年より、顕著な季節変動を示した。

3-2. Chl.*a* 濃度

2011年のChl.*a*濃度は7月の水深15 mにおいて11.5 μg/Lの最高密度を示した（Fig. 10）。Chl.*a*濃度は、東樺太海流水および低塩分水が分布した4月から6月の表層および12月の表層を除く水柱全体では1 μg/L以下であった。一方、宗谷暖流系水が分布した7月から10月の底層から表層にかけてChl.*a*濃度が4 μg/L以上の高濃度層が認められた。2012年のChl.*a*濃度は8月の水深10 mおよび9月の水深0 mで7 μg/L以上の最高濃度を示した（Fig. 11）。Chl.*a*濃度は、2011年と同様に、東樺太海流水が分布した5月から6月上旬の水深5 m以浅および11月以降の水柱全体では3 μg/L以下であった。また、Chl.*a*濃度は、宗谷

暖流系水が分布した 6 月から 10 月の底層から表層にかけて $3\ \mu\text{g/L}$ から $7\ \mu\text{g/L}$ の高濃度を示した。2012 年の Chl.*a* 濃度は 2011 年よりも季節変動が緩やかであった。

3-3. カイアシ類

2011 年と 2012 年において観察されたカイアシ類は 4 目 14 科 17 属 27 種で、水温に対する適性で示すと、暖水性種は 5 種、冷水性種は 14 種、広温性種は 8 種であった (Tables 1, 2)。2011 年のカイアシ類の全個体数密度は 4 月に $1166.9\ \text{ind./m}^3$ であった (Fig. 12)。その後、個体数密度は顕著に増加し、5 月には $8149.2\ \text{ind./m}^3$ の最大値を示した。6 月には個体数密度は $1280.1\ \text{ind./m}^3$ に低下し、6 月から 12 月には $428.5\ \text{ind./m}^3$ から $1236.6\ \text{ind./m}^3$ の範囲で変動した。2012 年のカイアシ類の全個体数密度は、2011 年と同様に 5 月に $1825.3\ \text{ind./m}^3$ の最大値を示した。その後、個体数密度は 8 月に向けて減少傾向を示した (Fig. 13)。8 月から 11 月の個体数密度は $10\ \text{ind./m}^3$ 以下であったが、12 月には $101.4\ \text{ind./m}^3$ にまで個体数密度は増加した。

2011 年および 2012 年のカイアシ類群集の水温適性組成は有意な季節変動を示した (カイ二乗検定、 $p < 0.01$)。2011 年の表層で低塩分水がみられた 4 月から 7 月にかけて、冷水性種はカイアシ類群集の 73.5% から 94.4% で優占した (Fig. 14)。8 月および 9 月には冷水性種の占める割合が 11.0% 以下に減少した。広温性種のカイアシ類群集に占める割合は 4 月から 7 月には 15.9% 以下であったが、8 月および 9 月には 72.7% および 95.0% にまで増加した。10 月以降、再び冷水性種の割合が増加すると共に、広温性種の割合が減少する傾向を示した。12 月には、冷水性種は 87.1% で優占し、広温性種は 4.3% であった。冷水性種と広温性種のカイアシ類群集に占める割合は、相反的な関係で季節的に変動することが明らかとなった。一方暖水性種が占める割合は調査期間を通して 1.3% から 32.8% で変動し、明瞭な季節変動はみられなかった。2012 年では 5 月から 11 月まで冷水性種のカイアシ類群集に占める割合が 17.4% から 53.8% で、広温性種が 38.5% から 82.6% で変動した (Fig. 15)。

12 月には冷水性種の割合は 95.9%に増加し、広温性種の割合は 4.1%にまで減少した。暖水性種の割合は、0%から 11.0%の範囲で変動した。

4. 考察

4-1. 能取湖におけるカイアシ類群集の動態と水塊交替

本研究は、能取湖において、東樺太海流系の低温低塩分水と宗谷暖流水系の高温高塩分水の季節的交替に伴って、カイアシ類群集の組成が変動することを明らかにした初めての報告である。すなわち、水塊が低温低塩分水から高温高塩分水に交替する春季（4 月から 7 月）から夏季（8 月および 9 月）にかけて、特に 2011 年ではカイアシ類の群集は冷水性種から広温性種に優占群が遷移した。宗谷暖流系水塊が分布し高水温環境であった夏季から東樺太海流系の低温低塩分水が分布した初冬季（12 月）にかけて、広温性種の割合が減少するとともに、冷水性種が優占する変化パターンを示した。は、広温性種（*Paracalanus parvus*）が 5 月から 12 月に出現したが、冷水性種（*Pseudocalanus elongatus*）が低水温期の 11 月および 12 月にしたことを報告した。また、本研究で出現した冷水性の多くの種および *P. elongatus*（菅野・福田 1993）は不適な生息環境を底泥中で過ごす耐久卵を作らない（Mauchline 1998）。そのため、冬季から春季の能取湖に出現する冷水性種は、東樺太海流系水の能取湖内への流入に伴って、能取湖外のオホーツク沿岸域から移入してきたカイアシ類である可能性が示唆された。このような水塊交替に伴うカイアシ類の群集組成の変動は、日本周辺海域では、オホーツク海沿岸域（Asami et al. 2010b）、北海道南部の噴火湾（Ban et al. 1998）、根室湾（加賀ら 2016）、日本海の富山湾（Hirakawa et al. 1990; Iguchi & Tsujimoto 1997）および東京湾（伊藤・青木 2010; Tachibana et al. 2013）で報告されている。オホーツク海沿岸域の宗谷暖流域では春季から夏季にかけて水温の上昇に伴って、冷水性種（*Pseudocalanus newmani*および *Acartia longiremis*）の個体数密度が減少した（Asami et al. 2010b）。噴火湾では、高温高塩分の津軽暖流水が分布している時

には、カイアシ類は比較的高い水温にも適応できる広温性種（*Calanus pacificus*、*Paracalanus* spp. および *Clausocalanus* spp.）が優占したが、低温低塩分の沿岸親潮が流入すると、カイアシ類群集は冷水性種（*P. newmani*）に優占種が遷移した（Ban et al. 1998）。また、高温高塩分の津軽暖流水の流入によって、冷水性の *Oithona* 属カイアシ類の個体数密度が減少した（中谷ら 2003）。日本海の富山湾における暖水性種（本研究における広温性種も含む）の出現は、夏季および秋季に卓越する黒潮由来の対馬暖流水の湾内への流入に依存している（Hirakawa et al. 1990; Iguchi & Tsujimoto 1997）。以上の結果は、湾や海跡湖のような閉鎖性の高い環境におけるカイアシ類群集の構造が、湾外や湖外から流入する水塊の季節的な交替によって、著しく影響を受けることを意味している。能取湖に出現するカイアシ類の冷水性種と広温性種の遷移は、能取湖内に流入する東樺太海流系水と宗谷暖流系水の季節的な交替による水温の季節的な変動が主要因であると考えられる。

4-2. 今後の課題

本章では、能取湖におけるカイアシ類の群集組成が水塊交替に伴って変動することを明らかにした。本研究結果は、能取湖におけるカイアシ類の生産動態の解明に貢献するものである。しかし、内湾域では、沿岸性の小型のカイアシ類が卓越する（伊東ら 2005）。本研究においても、*P. parvus* s.l.が夏季および秋季に高密度で出現し、*P. newmani*が春季および冬季に高密度で出現した。また、*Oithona* 属は低密度であるが周年にわたって出現した。本研究では目合 330 μm の NORPAC net を使用したため、小型のカイアシ類の現存量を過小評価していることは否定できない。

カイアシ類には *Acartia* 属をはじめとして休眠卵を作成する種が存在する（Kasahara et al. 1975; Uye 1980; Sullivan & Mcmanus 1986; Marcus 1990）。また、*P. parvus* s.l.の世代交代時間は、18℃でおよそ 18 日であることから（Uye 1991a）、本研究の能取湖においても再生産が行われている可能性が考えられる。しかし、本研究では、小型カイアシ類

の過小評価に加えて、発育ステージ毎の計数を行っていないため、本種の能取湖における個体群動態は明らかにすることができなかった。また、能取湖は南西部のオホーツク海沿岸域と潮汐によって海水交換される (Asami et al. 1995; Imada et al. 1995; Kurata and Nishihama 1987; 西野ら 2014)。しかし、カИАシ類群集が南西部のオホーツク海沿岸域から能取湖にどのように輸送されているかは定かではない。能取湖におけるカИАシ類群集構造を明らかにするためには、採集頻度や採集器具を検討し、能取湖内と湖外の沿岸域を比較しながら、発育段階毎に動態を明らかにする必要がある。また、2011 年と 2012 年では水塊の変動とカИАシ類の個体数密度が異なる傾向を示した。今後、このようなカИАシ類現存量の経年変動および変動メカニズムを明らかにすることも必要である。

Table 1. Abundances of copepods in Lagoon Notoro-ko from April to December 2011

(ind./m³).

| Species | T.A. | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|--------------------------------|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | W | 6.2 | 0 | 0 | 0 | 50.8 | 12.7 | 34.9 | 190.6 | 50.8 |
| <i>Acartia longiremis</i> | C | 122.4 | 1905.9 | 114.4 | 76.2 | 0 | 0 | 0 | 6.4 | 0 |
| <i>Acartia omorii</i> | W | 24.6 | 63.5 | 38.1 | 50.8 | 12.7 | 0.0 | 3.2 | 0 | 0 |
| <i>Acartia steueri</i> | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | C | 0 | 12.7 | 0 | 6.4 | 6.4 | 12.7 | 6.4 | 6.4 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | E | 6.0 | 38.1 | 0 | 0 | 0 | 6.4 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | C | 6.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 31.8 | 6.4 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | W | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | W | 0 | 76.2 | 38.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.4 |
| <i>Pseudocalanus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | C | 65.2 | 165.2 | 12.7 | 6.4 | 6.4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | C | 737.8 | 5272.9 | 762.4 | 800.5 | 0.0 | 0.0 | 25.4 | 114.4 | 762.4 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | C | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | C | 12.7 | 38.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus parvus</i> s.l. | E | 0 | 152.5 | 114.4 | 95.3 | 241.4 | 933.9 | 406.6 | 196.9 | 25.4 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 19.1 | 19.1 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Temora</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discaudata</i> | W | 44.1 | 76.2 | 50.8 | 108.0 | 6.4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | C | 2.3 | 15.1 | 6.4 | 1.3 | 0.7 | 0 | 3.1 | 11.6 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | C | 58.0 | 243.8 | 28.5 | 9.2 | 2.1 | 5.5 | 166.3 | 28.9 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | E | 56.8 | 50.8 | 76.2 | 38.1 | 6.4 | 0 | 0 | 25.4 | 12.7 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | C | 6.0 | 25.4 | 25.4 | 9.5 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 12.7 |
| <i>Oithona similis</i> | E | 12.7 | 0 | 12.7 | 34.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| HARPACTICOIDA | | | | | | | | | | |
| ECTINOSOMATIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Microsetella</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Microsetella</i> spp. | O | 6.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| POECILOSTOMATOIDA | | | | | | | | | | |
| CORYCAEIDAE | | | | | | | | | | |
| <i>Corycaeus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Corycaeus</i> spp. | O | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total abundance | | 1166.9 | 8149.2 | 1280.1 | 1236.6 | 428.5 | 1009.3 | 645.8 | 580.5 | 889.4 |
| Warm water species | C | 74.9 | 216.0 | 127.1 | 158.8 | 69.9 | 12.7 | 38.1 | 190.6 | 76.2 |
| Cold water species | W | 1010.4 | 7691.8 | 949.7 | 909.4 | 47.3 | 37.3 | 201.1 | 167.6 | 775.1 |
| Eurythermal water species | E | 75.6 | 241.4 | 203.3 | 168.4 | 311.3 | 959.3 | 406.6 | 222.4 | 38.1 |
| Others | O | 6.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

T.A.: Temperature aptitude

W: Warm water species, C: Cold water species, E: Eurythermal species, O: Others

Table 2. Abundances of copepods in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012

(ind./m³).

| Species | T. A. | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Acartia</i> | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | W | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia longiremis</i> | C | 20.9 | 0 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia omorii</i> | W | 70.9 | 4.2 | 22.0 | 0 | 0.4 | 0.4 | 0 | 0 |
| <i>Acartia steueri</i> | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Calanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | C | 212.3 | 8.8 | 14.3 | 0 | 0.4 | 2.1 | 0.4 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | E | 382.2 | 88.4 | 26.3 | 0 | 0 | 0.8 | 0.8 | 0 |
| <i>Neocalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | C | 152.6 | 84.3 | 23.2 | 0.4 | 0.8 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | C | 95.2 | 9.8 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47.8 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Centropages</i> | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | C | 18.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | W | 0 | 2.5 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | W | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | C | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0.4 | 0 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | C | 6.6 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Metridia</i> | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus parvus</i> s.l. | E | 724.0 | 140.9 | 98.1 | 6.7 | 4.2 | 1.3 | 1.3 | 4.2 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella</i> | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Temora</i> | | | | | | | | | |
| <i>Temora discaudata</i> | W | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora</i> | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | C | 15.0 | 0 | 2.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | E | 6.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | C | 12.7 | 4.9 | 6.1 | 0 | 0 | 0.4 | 0 | 49.5 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Oithona</i> | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | C | 100.3 | 3.4 | 16.8 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | E | 1.9 | 0 | 0 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| HARPACTICOIDA | | | | | | | | | |
| ECTINOSOMATIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Microsetella</i> | | | | | | | | | |
| <i>Microsetella</i> spp. | O | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| POECILOSTOMATOIDA | | | | | | | | | |
| CORYCAEIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Corycaeus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Corycaeus</i> spp. | O | 6.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 0 |
| Total abundance | | 1825.3 | 347.1 | 211.0 | 9.6 | 8.0 | 5.4 | 4.2 | 101.4 |
| Warm water species | W | 70.9 | 6.7 | 23.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cold water species | C | 633.5 | 111.1 | 63.2 | 1.7 | 3.4 | 2.9 | 1.7 | 97 |
| Eurythermal water species | E | 1114.3 | 229.3 | 124.5 | 8.0 | 4.2 | 2.1 | 2.1 | 4 |
| Others | O | 6.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 0 |

T.A.: Temperature aptitude

W: Warm Water Species, C: Cold Water Species, E: Eurythermal Species, O: Others

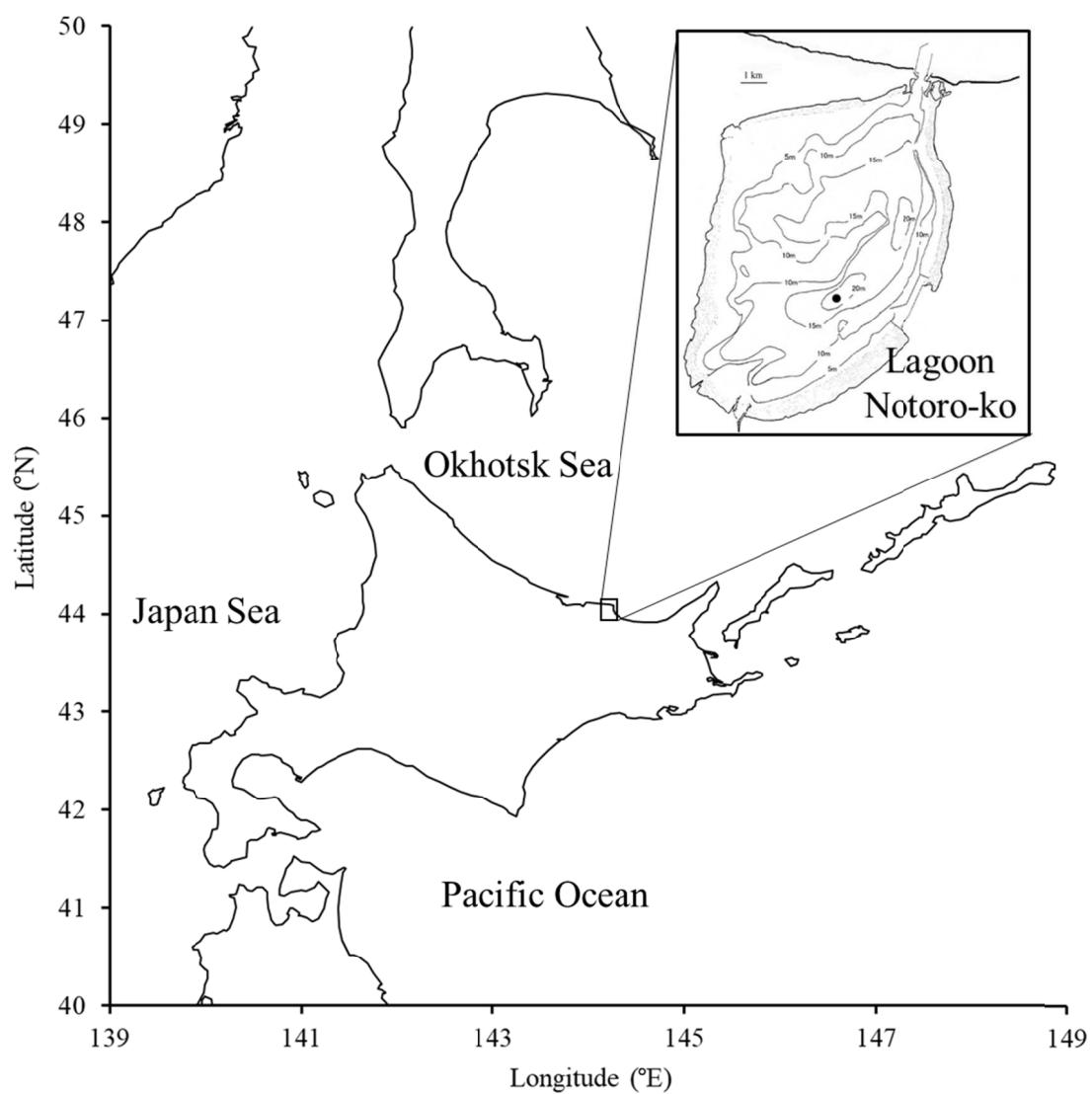


Fig. 4. Location of sampling station (closed circle) in Lagoon Notoro-ko, eastern Hokkaido, Japan in this study.

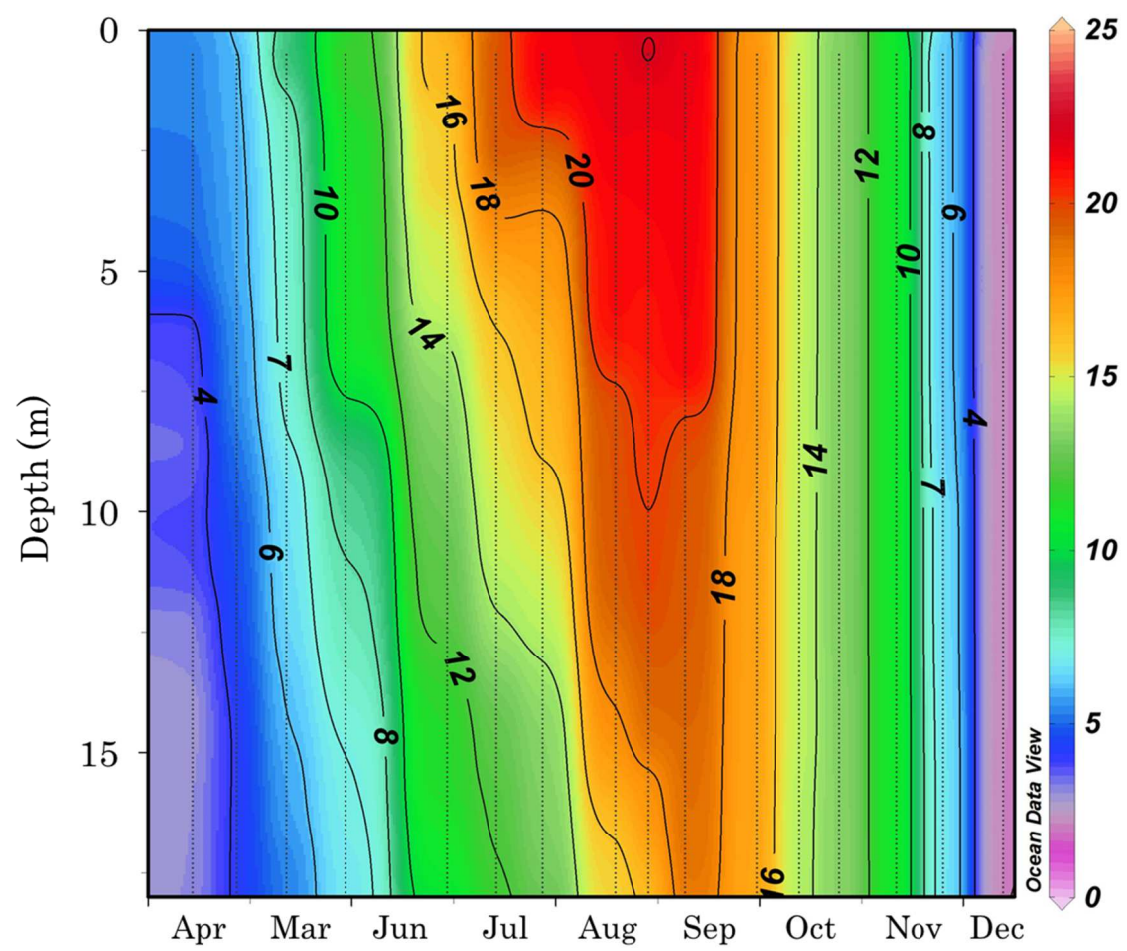


Fig. 5. Seasonal changes in water temperature (°C) in Lagoon Notoro-ko from April to December 2011.

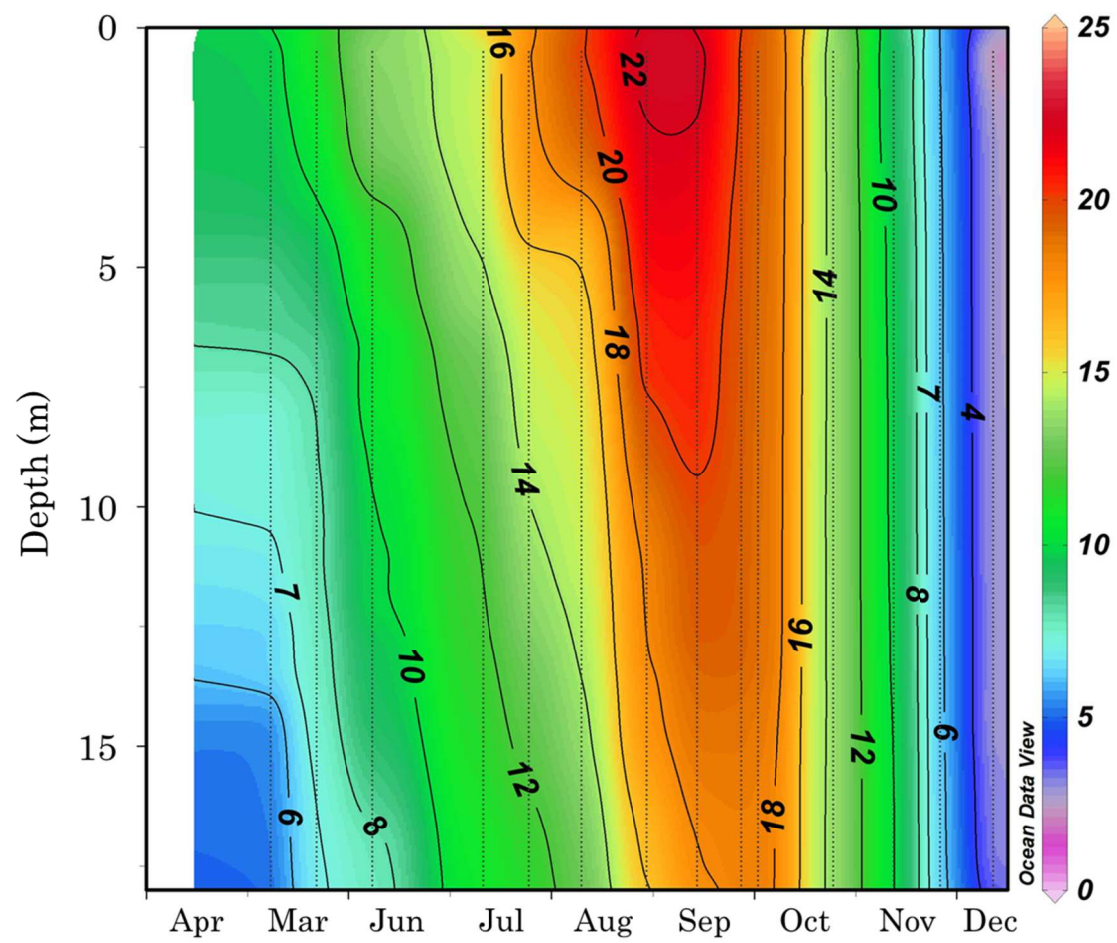


Fig. 6. Seasonal changes in water temperature (°C) in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012.

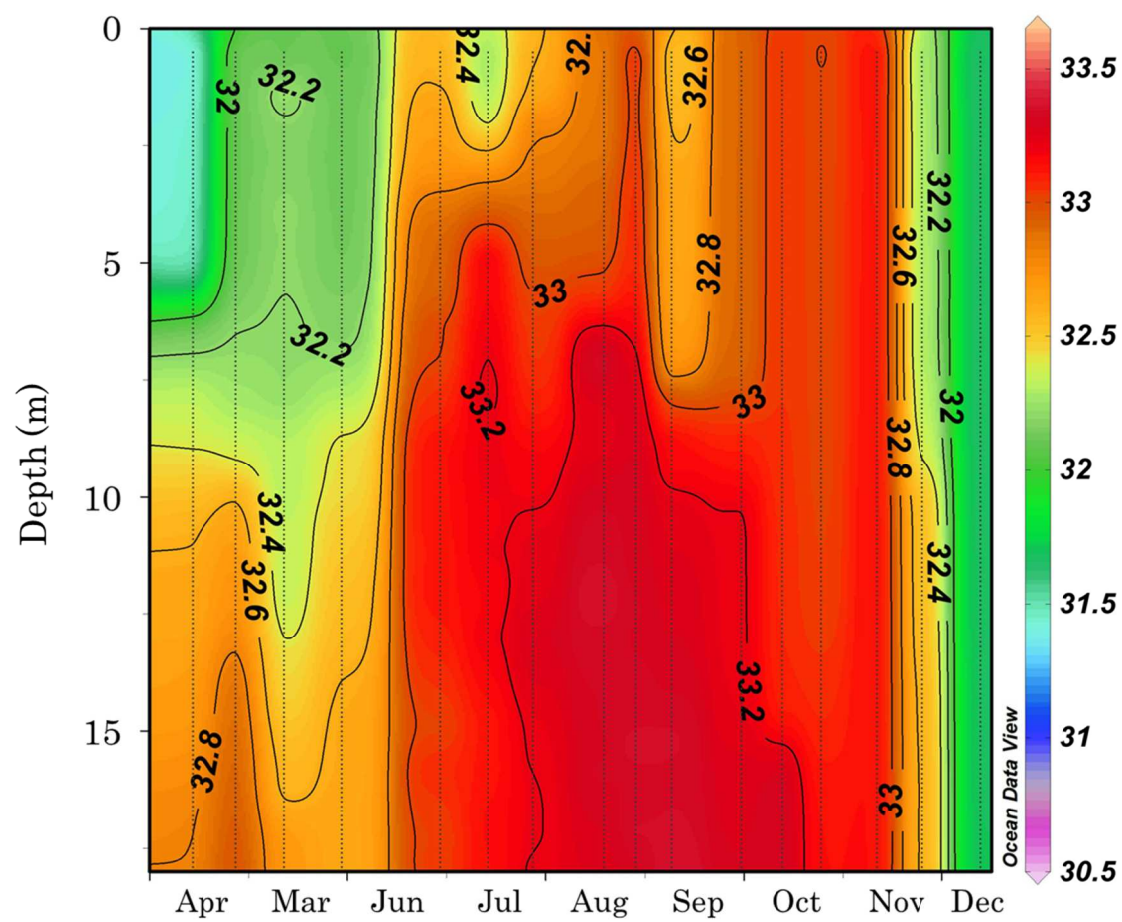


Fig. 7. Seasonal changes in salinity in Lagoon Notoro-ko from April to December 2011.

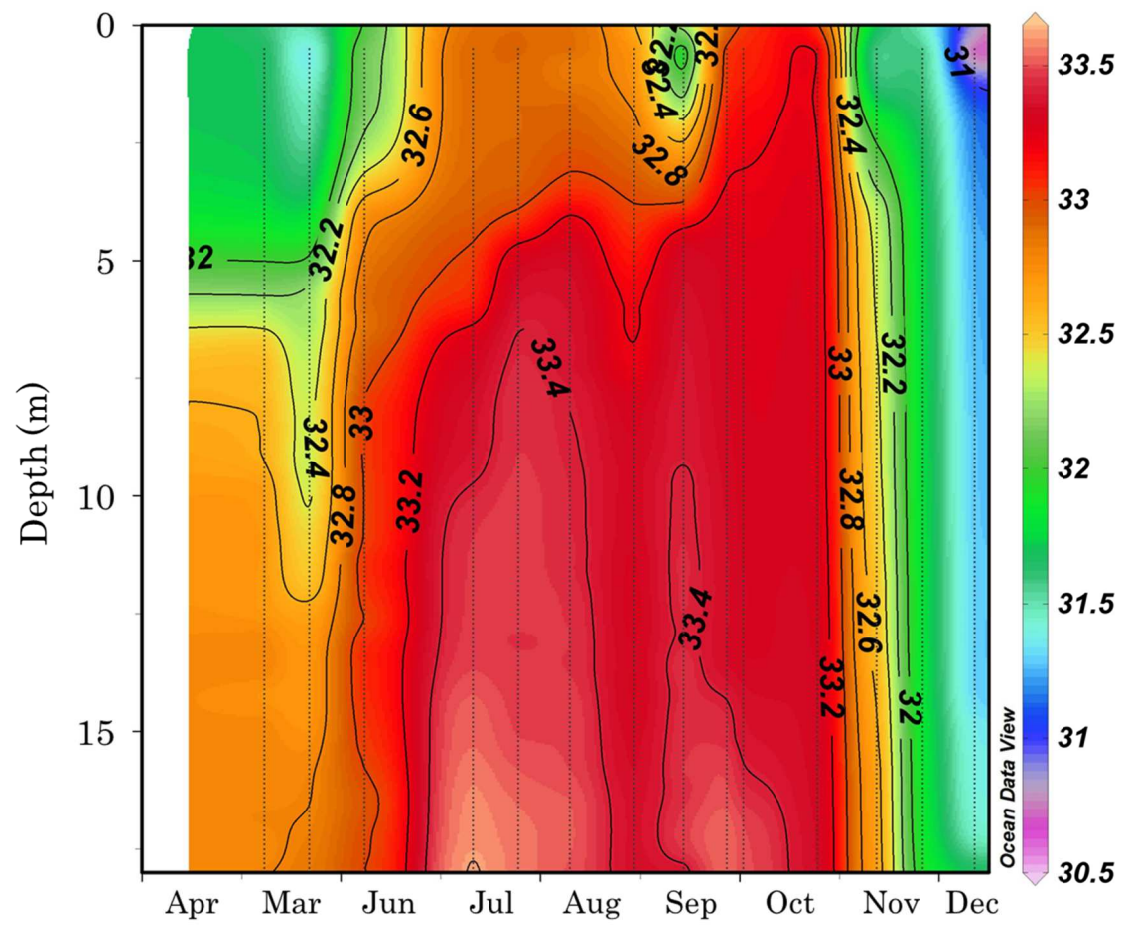


Fig. 8. Seasonal changes in salinity in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012.

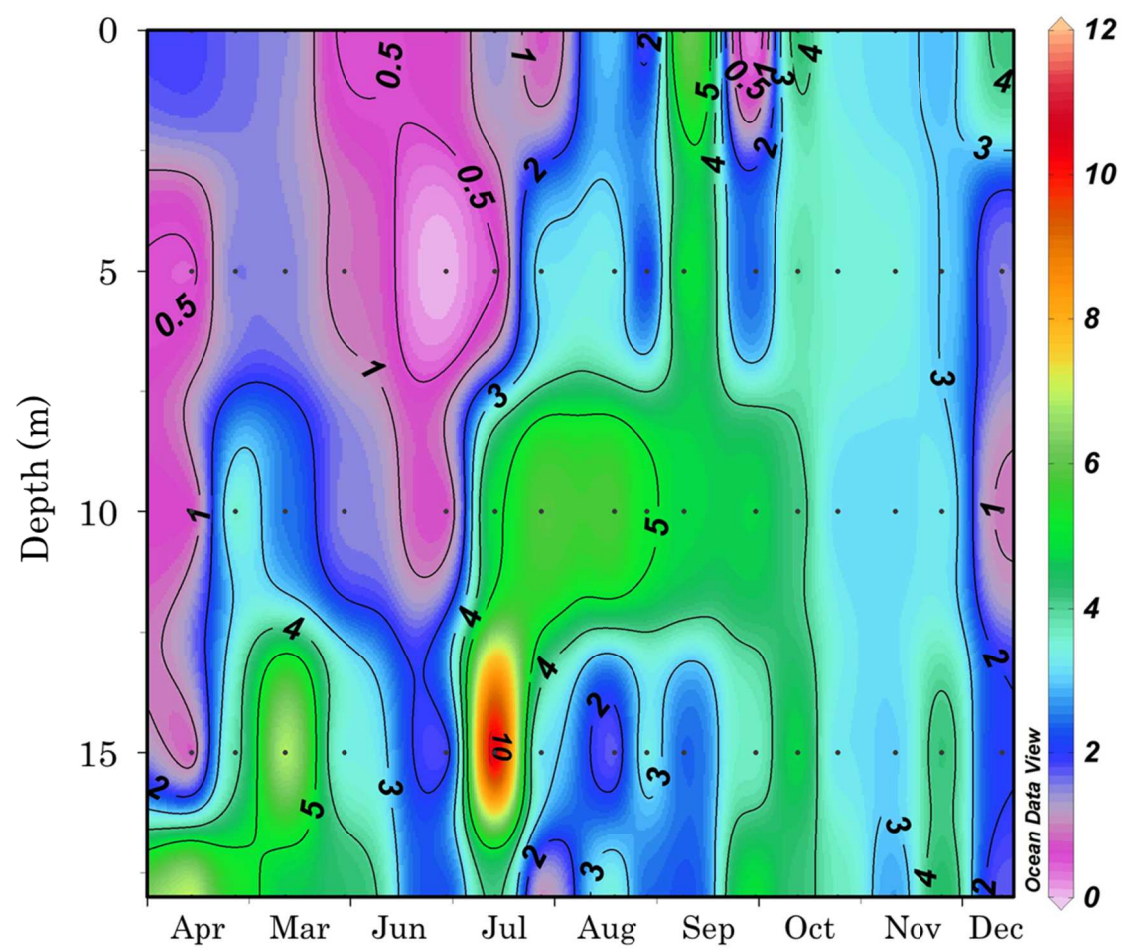


Fig. 9. Seasonal changes in Chl. *a* concentration ($\mu\text{g/L}$) in Lagoon Notoro-ko from April to December 2011.

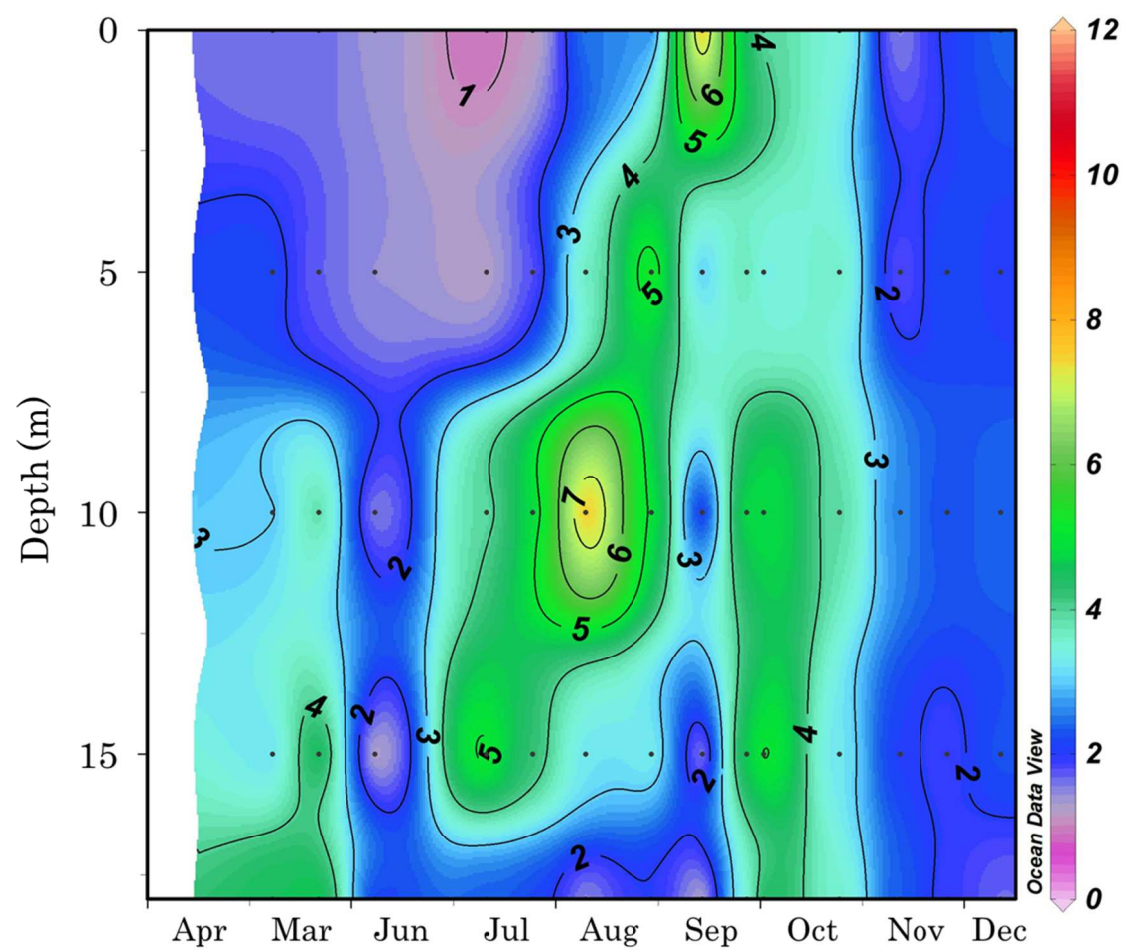


Fig. 10. Seasonal changes in Chl.*a* concentration (µg/L) in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012.

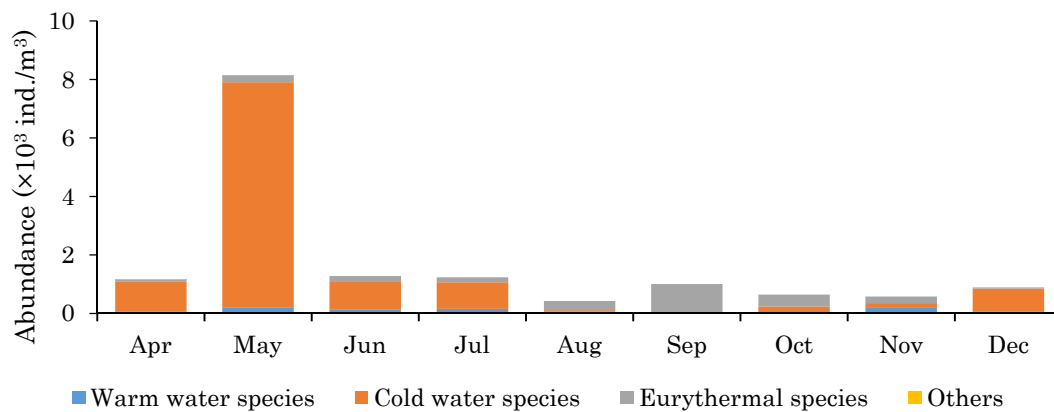


Fig. 11. Seasonal changes in abundances (ind./m³) of copepods by temperature aptitudes (Warm water species, Cold water species, Eurythermal species and Others) in Lagoon Notoro-ko from April to December 2011.

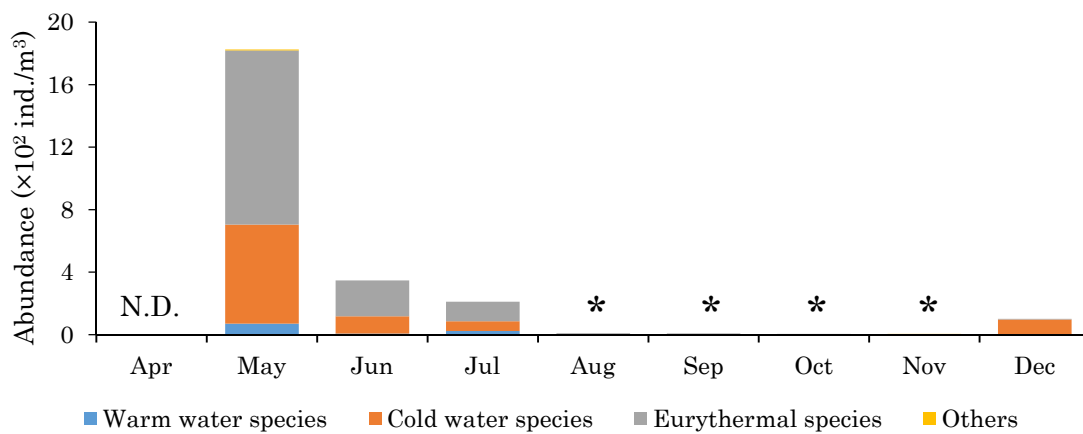


Fig. 12. Seasonal changes in abundances (ind./m³) of copepods by each temperature aptitudes (Warm water species, Cold water species, Eurythermal species and Others) in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012. Asterisks indicate appeared copepods.

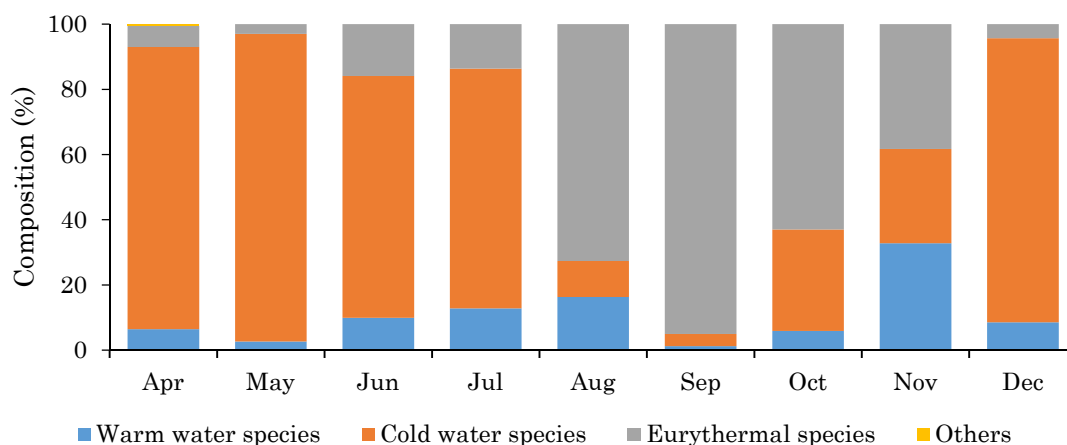


Fig. 13. Seasonal changes in composition (%) of copepods by temperature aptitudes (Warm water species, Cold water species, Eurythermal species and Others) in Lagoon Notoro-ko from April to December 2011.

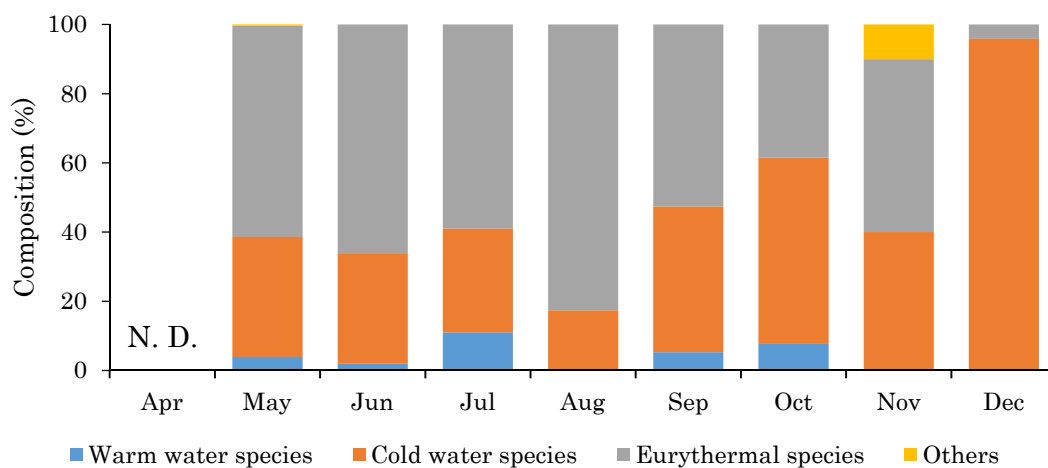


Fig. 14. Seasonal changes in composition (%) of copepods by temperature aptitudes (Warm water species, Cold water species, Eurythermal species and Others) in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012.

第2章. 能取湖と南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類の比較

第1節. 能取湖と南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類の群集構造の比較

1. 背景

道東オホーツク海沿岸域では、冬季にオホーツク海北部の沿岸ポリニアで形成された海水が道東オホーツク海沿岸域にまで流されてくるため (Ohshima et al. 2002)、周年を通じた調査が困難である。能取湖では冬季に海表面が全面結氷することによって氷上において調査を行うことが可能である。そのため能取湖において通年を通じたカイアシ類群集の動態を調査研究することができる。

能取湖は、大きな流入河川がないために河川水の影響が少なく、オホーツク海とは水深 13 m、幅 324 m の 1 か所の湖口で繋がっている (今田ら 1995)。そのため、能取湖の湖水の特性はオホーツク海沿岸域の水塊特性は類似している (蔵田・西浜 1987; 浅見ら 1995; 今田ら 1995; 西野ら 2014a)。そこで、本研究では能取湖をオホーツク海沿岸域のモデルとして、結氷期間を含めたオホーツク海沿岸域の水塊構造の季節変動とプランクトン群集の動態との関係を明らかにできると考えた。

第1章では、能取湖のカイアシ類は季節的な水塊の交替に伴って、群集構造が変化することが明らかになった。これまでの研究では、オホーツク海沿岸域の水塊構造の季節的な変動がカイアシ類群集に影響することが示されたが (Asami et al. 2005; Asami et al. 2007; Asami et al. 2010b)、能取湖および沿岸域が同時に調べられたわけではなく、能取湖の内外的なカイアシ類群集の季節変動現象の関係性は不明のままである。

また、第1章で扱った試料は、目合 330 μm のプランクトンネットで採集されたものであった。しかし、一般に基礎生産力の高い沿岸域では、外洋域に主に出現する *Calanus* 属や *Neocalanus* 属をはじめとする大型カイアシ類に比べて、*Clausocalanus* 属や *Oithona* 属をはじめとする小型カイアシ類や成長段階が若い動物プランクトンの現存量が高いため、こ

これらのバイオマスを正確に把握するためには、より細かい網目のネットによる採集が必要であり、小型カイアシ類や成長段階の若い動物プランクトンが海洋生態系の物質循環に貢献していることが指摘されている (Uye 1994; Kobari et al. 2006)。また、既報研究の道東オホーツク海沿岸域では体長 2 mm 以上の大型カイアシ類 *Neocalanus* 属、*Metridia pacifica* や *Metridia okhotensis* が高密度で出現する (Asami et al. 2005; Asami et al. 2007; Asami et al. 2010b) とされている一方で、本研究の第 1 章では、能取湖では大型カイアシ類は低密度もしくは検出限界以下であり、体長 1 mm 前後の小型カイアシ類 *Acartia omorii*、*Acartia hudsonica*、*Oithona similis* が高密度で出現することが明らかになった。これらのことから、海跡湖ならび沿岸域で行われた既報研究は、カイアシ類の初期幼生や小型種を過小評価しないように、本章では能取湖および道東オホーツク海沿岸域における初期幼生や小型種を的確に採集することを目指した。このことにより、能取湖におけるカイアシ類群集の季節変動を明らかにし、南西オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集構造との比較を行うことを目的とした。

2. 材料および方法

2-1. 調査概要

調査は能取湖内の最深部（水深約 20 m）に設けた定点（St. A: 44° 03' 02.1" N、144° 09' 38.8" E）において、2014 年 2 月から 2015 年 12 月にかけて月に 1 回から 2 回の頻度で行った。能取湖内における非結氷期（4 月から 12 月）の調査は、東京農業大学オホーツク臨海研究センター所属の調査船「かいよう 2」ならびに西網走漁業協同組合所有の調査船を利用して実施した。結氷期（2 月から 3 月）には能取湖内の海氷上を徒歩で移動し、アイスオーガおよびノコギリを用いて海氷に約 50 cm 四方の穴を開け、調査を行った。能取湖外の道東オホーツク海沿岸域に設けた水深約 60 m の定点（St. B: 44° 08' 57.0" N、144°

14' 48.0" E) においては、2014 年および 2015 年の非結氷期（4 月から 12 月）に網走漁業協同組合所有の若潮丸で調査を行った。能取湖内および能取湖外における調査はいずれも日中（9:00 から 13:00）に行った。

2-2. 水理環境

水温と塩分は、能取湖内では Compact CTD (ASTD103、JFE アドバンテック社製)、能取湖外の沿岸域では、Compact STD (アレック電子社製) を用いて、海表面から近底層まで測定した。測定間隔は能取湖内では 0.1 m、能取湖外では 1 m であった。水温および塩分は調査日ごとに能取湖内では 0.5 m から 18 m、能取湖外では 0.5 m から 55 m までの水柱積算平均を算出した。そして、2014 年および 2015 年の 2 年の平均値を各月ごとに算出し、解析に用いた。

2-3. Chl.a 濃度

Chl.a 濃度の測定用の試水は、能取湖内では 0 m、5 m、10 m、15 m および 18 m から、能取湖外では 0 m、5 m、15 m、25 m、35 m および 55 m からそれぞれ 6 L バンドーン採水器を用いて採取した。採取した試水（能取湖内では 500 mL、能取湖外では 300 mL）を孔径 10 μm および 2 μm のメンブレンフィルター（Whatman 社製）ならびにガラス繊維フィルター（GF/F、Whatman 社製）で濾過した。サイズ画分は、>10 μm 、2-10 μm 、 ≤ 2 μm である。各フィルターは N, N'-ジメチルホルムアミド（DMF）を 7 mL 入れた 8 mL の平底自立型チューブ（ザルスタット社製）に移し、光合成色素を抽出後、蛍光光度計（Model 10-AU、ターナーデザイン社製）を用いて蛍光法（Welschmeyer 1994）により、以下の式から Chl.a 濃度（ $\mu\text{g/L}$ ）を測定した。

$$\text{Chl.a} = F_0 * v / V$$

ここで、 F_0 は抽出した Chl.a 濃度の蛍光値、 v は抽出に用いた DMF の量（mL）、 V はろ過

した試水量 (mL) とした。本研究では、各サイズの Chl.*a* 濃度を合計して総 Chl.*a* 濃度を算出し、水柱積算平均として表した。そして、2014 年および 2015 年の 2 年の平均値を各月ごとに算出し、解析に用いた。

能取湖内の結氷期 (2 月から 3 月) における氷柱中の Chl.*a* 濃度測定用のサンプルは、アイスオーガを用いて採集した。直径 7 cm の氷柱を採取し、湖水に接する海水下部から厚さ 5 cm を氷用ノコギリで切り出し、プラスチック容器に収容した。研究室に海水サンプルを持ち帰り、密閉したプラスチック容器を水道水で満たしたウォーターバス内でゆっくり融解させた。融解した試水の容量をメスシリンダーで測定した後、2・3 章で述べた海水と同様の方法で濾過し、DMF で光合成色素を抽出した後に Chl.*a* 濃度を測定した。各サイズの Chl.*a* 濃度を合計して総 Chl.*a* 濃度を算出し、水柱積算平均として解析に用いた。そして、2014 年および 2015 年の 2 年の平均値を各月ごとに算出し、解析に用いた。

2-4. カイアシ類の採集および計数

カイアシ類は NORPAC net (口径 0.45 m、側長 1.8 m、目合 100 μ m) を用いて能取湖内では水深 15 m から、能取湖外では水深 50 m から鉛直曳で採集した。曳網時におけるネットの濾水率を調べるために、ネット口輪に校正済みの濾水計を取り付け、曳網毎に濾水計の値を読み取った。持ち帰った採集試料は四ホウ酸ナトリウムにより中和したホルマリンで最終濃度が 5% になるように固定した。固定した試料は、カイアシ類が 200 個体以上になるように密度に応じて元田式分割器で 1/2 から 1/32 に分割した。分割した試料は実体顕微鏡 (SZX16-3141、OLYMPUS 社製) 下でカイアシ類コペポダイト期について、山路 (1966)、大塚・上田 (1997)、Brodskii (1950) ならびに Gradner & Szabo (1982) に従って種同定を行い、種ごとに個体数を計数した。カイアシ類の水柱平均の個体数密度 (Abundance: ind./m³) は以下の式を用いて算出した。

$$\text{Abundance} = n / (\pi * r^2 * L * t / T) / p$$

ここで、 n は計数値、 r はネット半径 (m)、 L は曳網距離 (m)、 t は曳網時の濾水計回転数、 T は校正時の濾水計回転数、 p は分割率とした。

能取湖の結氷期間には氷上で調査を行った。内径 7 cm のアイスオーガおよび氷用ノコギリを用いて開けた約 50 cm 四方の穴を通じて行い、カイアシ類試料は目合 100 μ m のリングネット（口径 0.3 m、側長 1 m）を用いて、水深 15 m から鉛直曳により採集した。リングネットによる採集においては、ネットの口径が小さく、濾水計を装着しなかったため、曳網中に海水を 100% 濾水したと仮定して ($t/T = 1$)、前述の式からカイアシ類の個体数密度を求めた。そして、求められた密度データを用いて、2014 年および 2015 年の 2 年の平均値を各月ごとに算出し、解析に用いた。

2-5. カイアシ類の群集構造の解析および統計処理

本研究ではカイアシ類の群集構造を理解するために多様度を検討した。Margalef(1958) は多様度を情報指数で表現することを提唱している。本研究では以下の式から Shannon-Wiener の多様度指数 (H') を求めた (Shannon & Weaver 1949)。

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 p_i$$

ここで、 s はカイアシ類の全種数、 P_i は種 i の全カイアシ類個体数密度に対する割合とした。

また、本研究では採集月間のカイアシ類の個体数密度と出現種の類似度を検討するために、Bray-Curtis 類似度指数を求めた。計算にあたって、個体数密度データを平方根変換し、群平均法を用いクラスター解析を行った。解析にはソフトウェア PRIMER v6 (PRIMER-E Ltd) を使用した (Clarke 1993; Clarke and Warwick 2001)。

能取湖内と能取湖外のカイアシ類の個体数密度を比較するために、非結氷期（4 月から 12 月）のカイアシ類各種の平均個体数密度データを用いて有意差検定を行った。検定に際して、各データの等分散性は f 検定で判定し、正規性はダゴスティーノ検定で判定した。検定には、統計処理ソフトエクセル統計 (BellCurve 社) を使用した。本研究では能取湖外の

データについて F 検定による等分散性またはダゴスティーノ検定による正規性あるいはその両方が確認できなかったため、エクセル統計を用いてノンパラメトリック法の Mann-Whitney の U 検定 (*U*-test) により、能取湖内と能取湖外のカイアシ類各種の個体数密度の有意差を検定した。なお、全ての検定の有意水準は 5%とした。

3. 結果

3-1. 水理環境

2 月から 12 月における能取湖内の平均水温は-1.4℃から 19.8℃の範囲で変動した (Fig. 16)。能取湖内の平均水温は、海氷形成時期の 2 月から 3 月には-1℃以下であった。その後、平均水温は 4 月から上昇し、8 月に最高水温の 19.8℃に達した。最高水温に達した後、平均水温は低下傾向を示し、12 月には 2.8℃にまで低下した。能取湖外の非結氷期 (4 月から 12 月) の平均水温は、1.2℃から 17.7℃の範囲で変動した (Fig. 16)。能取湖外の平均水温は、能取湖内と同様の变化パターンを示した。すなわち、水温は 4 月から夏季に向かって上昇した。しかし、最高水温を記録したのは 9 月 (17.7℃) であった。最高水温に達した後、平均水温は 12 月に向かって低下した。

2 月から 12 月における能取湖内の平均塩分は 31.7 から 33.2 の範囲で変動した (Fig. 17)。能取湖内の結氷期 (2 月から 3 月) における平均塩分は 32.0 以下であった。4 月および 5 月の塩分は 32.3 および 32.2 であったが、平均塩分は 5 月から 7 月に 32.2 から 33.2 に急激に上昇した。高水温期の 7 月から 9 月の平均塩分は 33.1 から 33.2 であった。その後、平均塩分は低下し、12 月には 31.7 の最低値を記録した。4 月から 12 月における能取湖外の平均塩分は 31.6 から 33.8 の範囲で変動した (Fig. 17)。能取湖外の平均塩分は 4 月から 7 月に 32.7 から 33.7 に上昇した。高水温期の 7 月から 9 月の平均塩分は 33.6 以上だった。9 月から 12 月にかけて平均塩分は 33.8 から 31.6 に急激に低下した。

3-2. Chl.*a* 濃度

2 月から 12 月における能取湖内の平均 Chl.*a* 濃度は 1.4 mg/m² から 6.4 mg/m² の範囲で変動した (Fig. 18)。能取湖内における平均 Chl.*a* 濃度は、結氷期の 2 月には 4.0 mg/m² であったが、3 月には 1.7 mg/m² に減少した。その後、平均 Chl.*a* 濃度は急激に増加し、4 月には 6.4 mg/m² の最高値を記録し、5 月にも 5.2 mg/m²L の高濃度を維持した。しかし、6 月の Chl.*a* 濃度は 2.4 mg/m² にまで減少した。7 月以降の平均 Chl.*a* 濃度は、10 月の 5.9 mg/m² を除くと、7 月から 12 月には 1.4 mg/m²L から 3.4 mg/m² 範囲で変動した。能取湖結氷期における海水下部の平均 Chl.*a* 濃度は 2 月には 31.6 µg/L で、3 月には 18.3 µg/L であった (Fig. 19)。4 月から 12 月における能取湖外の平均 Chl.*a* 濃度は 0.6 mg/m² から 8.0 mg/m² の範囲で変動した (Fig. 18)。能取湖外における平均 Chl.*a* 濃度は、4 月に 8.0 mg/m² の最高値を記録したが、5 月には 2.6 mg/m² に減少した。6 月から 12 月の平均 Chl.*a* 濃度は 0.6 mg/m²L から 1.7 mg/m² で変動した。

3-3. カイアシ類群集

3-3-1. 出現種

本研究の 2014 年および 2015 年に出現したカイアシ類は 2 目 14 科 17 属 28 種であり、その内、能取湖内で出現したカイアシ類は 2 目 11 科 14 属 24 種で、能取湖外では 2 目 13 科 15 属 23 種のカイアシ類が出現した (Tables 3, 4)。能取湖内でのみ出現したカイアシ類は *Clausocalanus parapergens*、*Pseudodiaptomus marinus*、*Temora discauda*、*Eurytemora affinis* および *E. pacifica* の 5 種であった。対して、*Ariestellus simplex*、*Neocalanus cristatus*、*Eucalanus bungii*、*Metridia okhotensis* および *Undinera oblonga* の 5 種が能取湖外にのみ出現した。

3-3-2. 全カイアシ類個体数密度

2014 年および 2015 年の全カイアシ類の平均個体数密度は、能取湖内においては 1546.1 ind./m³ から 9352.1 ind./m³ で変動した (Fig. 20)。能取湖内における全カイアシ類の平均個体数密度は、2 月から 3 月には 1546.1 ind./m³ から 1738.7 ind./m³ であったが、4 月から 6 月には 3797.5 ind./m³ から 6541.0 ind./m³ に増加した。平均個体数密度は、7 月には 5037.2 ind./m³ に減少したが、8 月には 7642.2 ind./m³ に増加した。その後、平均個体数密度は減少傾向を示し、10 月には 2220.0 ind./m³ にまで減少した。平均個体数密度は、10 月に極小を示した後、再び増加傾向を示し、12 月には 9352.1 ind./m³ の年間最高密度を記録した。能取湖外における全カイアシ類の平均個体数密度は 1549.4 ind./m³ から 8254.0 ind./m³ の範囲で変動した (Fig. 20)。能取湖外の平均個体数密度は 5 月および 7 月にそれぞれ 5982.4 ind./m³ および 8254.0 ind./m³ の極大を記録した。平均個体数密度は、8 月から 11 月には 1549.4 ind./m³ から 2506.0 ind./m³ の間で変動したが、12 月には 7121.6 ind./m³ に急激に増加した。

3-3-3. 多様度指数および出現種数

幼生を含めたカイアシ類群集の Shannon-Wiener の多様度指数 (H) は、能取湖内においては 1.3 から 2.9 の範囲で変動した (Fig. 21)。能取湖内における平均 H は、結氷期間の 2 月から 3 月には 1.3 以下であったが、4 月から 12 月には 1.9 から 2.9 とわずかながら増加傾向を示した。能取湖外における平均 H は、0.9 から 6.9 の範囲で変動し、その変動幅は能取湖内と比べて大きかった (Fig. 21)。平均 H は、4 月から 6 月は 3.0 から 6.9 であった。10 月の 3.0 を除いて 7 月以降では 1.9 以下で変動した。

平均出現種数は、能取湖内においては 6.75 から 11.5 で変動した (Fig. 22)。能取湖内の平均出現種数は 4 月および 6 月から 8 月に多くなる傾向を示した。能取湖内では、カイアシ類の平均出現種数は 9 月に最も少なく、その後、10 月から 12 月にはわずかに平均種数

が増加した。一方、能取湖外の平均出現種数は 8.0 から 9.5 で変動した (Fig. 22)。能取湖外の平均出現種数の変動幅は、多様度指数とは異なり、能取湖内よりも小さかった。

3-4. 主要カイアシ類の個体群動態

3-4-1. *Acartia hudsonica*

Acartia hudsonica の平均個体数密度は、能取湖内の 2 月から 4 月においては 75.9 ind./m³ 以下で (Fig. 23)、カイアシ類群集における優占率は 3.6% 以下であった (Fig. 35)。その後、平均個体数密度および優占率は増加し、5 月から 8 月の平均個体数密度は 481.6 ind./m³ から 644.3 ind./m³、優占率は 6.3 から 12.8% であった。9 月には、平均個体数密度は 12.0 ind./m³ にまで減少した。その後、平均個体数密度は増加傾向を示し、11 月には 1659.2 ind./m³ の最高密度に達した。能取湖外では *A. hudsonica* の平均密度は常に 142.4 ind./m³ 以下で変動し (Fig. 23)、カイアシ類群集における優占率は 4.3% 以下であった (Fig. 36)。能取湖内の非結氷期 (4 月から 12 月) における *A. hudsonica* の平均個体数密度は能取湖外より有意に高かった (Table 5: *U*-test, $p < 0.01$)。

3-4-2. *Acartia longiremis*

Acartia longiremis の平均個体数密度は、能取湖内の結氷期 (2 月から 3 月) においては 70.1 ind./m³ 以下で (Fig. 24)、カイアシ類群集における優占率は 4.5% 以下であった (Fig. 35)。その後、平均個体数密度および優占率は増加傾向を示し、5 月には 712.6 ind./m³ で、優占率 14.3% の極大が認められた。*A. longiremis* の個体数密度は 5 月以降減少し、8 月から 11 月には *A. longiremis* の出現が認められなかった。しかし、*A. longiremis* は 12 月に再び出現し、平均密度は 735.9 ind./m³、優占率は 7.9% であった。能取湖外では、*A. longiremis* の平均個体数密度は 4 月から 5 月には 62.6 ind./m³ から 189.8 ind./m³ に増加した。この時優占率は 3.2% から 3.4% であった (Fig. 36)。その後、平均個体数密度は 6 月か

ら 11 月には 14.3 ind./m³ 以下で、平均優占率は 0.9% 以下であった。*A. longiremis* の個体数密度は 12 月には 142.4 ind./m³ に増加した。非結氷期（4 月から 12 月）における *A. longiremis* の個体数密度は能取湖内と能取湖外で有意な差は認められなかった（Table 5: *U*-test, $p>0.05$ ）。

3-4-3. *Acartia omorii*

Acartia omorii の平均個体数密度は、能取湖内の結氷期（2 月から 3 月）においては 44.0 ind./m³ 以下で（Fig. 25）、カイアシ類群集における平均優占率は 2.7% 以下だった（Fig. 35）。その後、*A. omorii* の平均個体数密度は増加し、4 月から 8 月には 454.0 ind./m³ から 615.6 ind./m³ で変動し、平均優占率は 8.0% から 10.6% であった。平均個体数密度は、9 月には 9.8 ind./m³ に減少したが、10 月以降増加し、11 月には 557.0 ind./m³ の極大を示した。しかし、12 月には再び平均個体数密度は減少した。能取湖外では、*A. omorii* の平均個体数密度は 40.0 ind./m³ 以下（Fig. 25）で、平均優占率は 2.2% 以下で変動した（Fig. 36）。能取湖内の非結氷期（4 月から 12 月）における *A. omorii* の平均個体数密度は能取湖外より有意に高かった（Table 5: *U*-test, $p<0.01$ ）。

3-4-4. *Neocalanus plumchrus*

Neocalanus plumchrus は能取湖内においては結氷期（2 月から 3 月）にのみ 11.8 ind./m³ 以下で出現した（Fig. 26）。能取湖内の結氷期のカイアシ類群集における平均優占率は 0.7% 以下であった（Fig. 35）。能取湖外においては、*N. plumchrus* は 8 月を除く 4 月から 10 月に出現した。*N. plumchrus* の平均個体数密度は 7 月に 609.3 ind./m³ の極大を記録し（Fig. 26）、平均優占率は 7.4% であった（Fig. 36）。能取湖外の非結氷期（4 月から 12 月）における *N. plumchrus* の平均個体数密度は能取湖内より有意に高かった（Table 5: *U*-test, $p<0.01$ ）。

3-4-5. *Centropages abdominalis*

Centropages abdominalis は、能取湖内では 5 月を除いて 2 月から 7 月にかけて出現しなかった (Fig. 27)。5 月には平均個体数密度は 434.6 ind./m³ を記録し (Fig. 27)、カイアシ類群集における平均優占率は 8.7% を占めた (Fig. 35)。また、平均個体数密度は 8 月にも 228.2 ind./m³ を記録した。その後、9 月から 12 月の平均個体数密度は 24.2 ind./m³ 以下であった。*C. abdominalis* は能取湖外では 9 月に 36.8 ind./m³ の平均密度で出現しただけであった (Fig. 27)。能取湖内の非結氷期 (4 月から 12 月) における *C. abdominalis* の平均個体数密度は能取湖外より有意に高かった (Table 5: *U*-test, $p < 0.01$)。

3-4-6. *Clausocalanus pergens*

Clausocalanus pergens は、能取湖内および能取湖外において 7 月から 12 月に出現した (Fig. 28)。能取湖内における平均個体数密度は、7 月から 12 月においては 104.4 ind./m³ から 3764.3 ind./m³ で変動し (Fig. 28)、平均優占率は 2.1% から 41.6% で変動した (Fig. 35)。能取湖外の 7 月から 11 月においては、平均個体数密度は 31.0 ind./m³ から 897.4 ind./m³ の範囲で変動し (Fig. 28)、平均優占率は 0.9% から 35.8% の範囲で変動した (Fig. 36)。12 月には平均個体数密度は 3774.4 ind./m³ で、平均優占率は 53.0% であった。*C. pergens* は能取湖内および能取湖外ともに 12 月に平均個体数密度が極大となった。非結氷期 (4 月から 12 月) における *C. pergens* の平均個体数密度は能取湖内と能取湖外で有意差は認められなかった (Table 5: *U*-test, $p > 0.05$)。

3-4-7. *Pseudocalanus newmani*

Pseudocalanus newmani の平均個体数密度は、能取湖内の結氷期 (2 月から 3 月) では 1351.8 ind./m³ 以下で (Fig. 29)、カイアシ類群集における平均優占率は 76.0% から 77.8%

であった (Fig. 35)。平均個体数密度は 4 月には 2430.4 ind./m³ に増加し、6 月には 3537.7 ind./m³ の最大値を記録した。一方、平均優占率は、4 月には 64.0%、6 月には 54.1% と減少傾向を示した。その後、*P. newmani* の平均個体数密度は減少し、10 月には 257.4 ind./m³ に減少し、平均優占率も 10 月には 11.6% に減少した。平均個体数密度および平均優占率は 11 月以降増加し、12 月には 1418.8 ind./m³ および 15.2% にまで増加した。能取湖外の *P. newmani* の平均個体数密度は、5 月および 7 月にそれぞれ、4127.3 ind./m³ (平均優占率 69.0%) および 2998.8 ind./m³ (平均優占率 36.3%) の極大を記録した (Figs. 29, 36)。平均個体数密度および平均優占率は 8 月から 10 月には減少傾向を示し、10 月には 259.3 ind./m³ および 16.6% に減少した。その後、11 月から個体数密度は増加し、12 月には 1780.4 ind./m³ にまで増加し、平均優占率も 25.0% にまで増加した。非結氷期 (4 月から 12 月) における *P. newmani* の平均個体数密度は能取湖内と能取湖外で有意差は認められなかった (Table 5: *U*-test, $p > 0.05$)。

3-4-8. *Metridia pacifica*

Metridia pacifica は、能取湖内では 2 月、5 月および 6 月に出現が認められたが、平均個体数密度は 17.2 ind./m³ 以下であった (Fig. 30)。能取湖外では、*M. pacifica* は 5 月から 12 月に出現し、5 月および 7 月には 198.3 ind./m³ および 384.9 ind./m³ の極大を示した。平均優占率は 5 月から 12 月には 1.8% から 7.4% の範囲で変動した (Fig. 36)。能取湖外の非結氷期 (4 月から 12 月) における *M. pacifica* の平均個体数密度は能取湖内より有意に高かった (Table 5: *U*-test, $p < 0.01$)。

3-4-9. *Paracalanus parvus* s.l.

Paracalanus parvus s.l. は能取湖内の結氷期 (2 月から 3 月) には平均個体数密度が 13.5 ind./m³ 以下で (Fig. 31)、平均優占率が 0.8% 以下であった (Fig. 35)。平均個体数密度は、

4 月には 113.9 ind./m³であったが、5 月には 30.1 ind./m³に減少した。その後、平均個体数密度は増加し、8 月には 1184.1 ind./m³（優占率 15.5%）の最大密度に達した。平均個体数密度は 8 月以降減少傾向を示し、12 月には 18.1 ind./m³にまで減少した。8 月の平均優占率は 15.5%であったが、その後平均個体数密度と同様に減少傾向を示し、12 月には 0.2%にまで減少した。能取湖外の *P. parvus* s.l.の平均個体数密度は、4 月から 8 月には 30.1 ind./m³から 183.8 ind./m³の範囲で変動した（Fig. 31）。その時、平均優占率は、0.9%から 10.0%の範囲であった（Fig. 36）。*P. parvus* s.l.は 9 月に最大密度 486.4 ind./m³（優占率 19.4%）に達した。その後、平均個体数密度は減少し、12 月には検出限界以下であった。この間、優占率は 17.3%以下であった。非結氷期（4 月から 12 月）における *P. parvus* s.l.の平均個体数密度は能取湖内と能取湖外で有意差は認められなかった（Table 5: *U*-test、 $p>0.05$ ）。

3-4-10. *Tortanus discaudatus*

Tortanus discaudatus は能取湖内の結氷期（2 月から 3 月）には出現が認められなかった（Fig. 32）。*T. discaudatus* は 4 月には 75.9 ind./m³、優占率が 2.0%で出現したが（Fig. 35）、5 月には出現しなかった。6 月から 8 月には、平均個体数密度は 216.4 ind./m³から 369.1 ind./m³、平均優占率は 3.9%から 5.6%の範囲で変動した。9 月から 12 月には平均個体数密度は 47.8 ind./m³、平均優占率は 0.8%以下に減少した。能取湖外では、*T. discaudatus* は 4 月および 8 月にわずかに 5.4 ind./m³以下で出現が認められた（Fig. 32）。しかし、*T. discaudatus* は 12 月に平均個体数密度が 142.4 ind./m³、平均優占率が 2.0%（Fig. 35）で出現した。能取湖内の非結氷期（4 月から 12 月）における *T. discaudatus* の平均個体数密度は、能取湖外より有意に高かった（Table 5: *U*-test、 $p<0.01$ ）。

3-4-11. *Oithona atlantica*

Oithona atlantica および *O. similis* は能取湖内および能取湖外で常に出現した (Figs. 33, 34)。能取湖内において *O. atlantica* の平均個体数密度は 21.2 ind./m³ から 505.9 ind./m³ (Fig. 33)、平均優占率は 0.9% から 10.0% の範囲で変動した (Fig. 35)。能取湖外では、*O. atlantica* の平均個体数密度は、7 月に最大値の 2016.0 ind./m³ を示し (Fig. 33)、7 月の平均優占率は 24.4% であった (Fig. 36)。最大値を記録した 7 月を除き、平均個体数密度は 120.1 ind./m³ から 446.6 ind./m³ (Fig. 33)、平均優占率は 6.0% から 20.9% の範囲で変動した (Fig. 36)。能取湖内と能取湖外で非結氷期における平均個体数密度に有意差は認められなかった (Table 5: *U*-test、*p*>0.05)。

3-4-12. *Oithona similis*

Oithona similis の平均個体数密度は、能取湖内の結氷期 (2 月から 3 月) には 117.5 ind./m³ から 137.3 ind./m³ の範囲で変動した (Fig. 34)。結氷期の平均優占率は 6.8% から 8.9% の範囲であった (Fig. 35)。その後、平均個体数密度は増加する傾向を示し、4 月から 12 月の個体数密度は 151.9 ind./m³ から 1394.1 ind./m³ の範囲で変動し、平均優占率は 4.0% から 24.1% の範囲で変動した。能取湖外の *O. similis* は、7 月に最大平均密度の 1523.6 ind./m³ を示し、平均優占率は 18.5% であった。*O. similis* は 7 月を除き、平均個体数密度が 186.9 ind./m³ から 640.9 ind./m³ の範囲で変動し (Fig. 34)、平均優占率が 7.1% から 21.0% の範囲で変動した。能取湖内と能取湖外で非結氷期における平均個体数密度に有意差は認められなかった (Table 5: *U*-test、*p*>0.05)。

3-5. Bray-Curtis 類似度指数

能取湖内および能取湖外のカイアシ類平均個体数密度データを用いて、Bray-Curtis 類似度指数により、カイアシ類の群集構造を解析した結果、類似度指数が 48.7% のレベルで、能取湖内の 4 月から 12 月と能取湖外の 12 月のグループ A、および能取湖内の 2 月から 3

月と能取湖外の 4 月から 11 月のグループ B に分けられた (Fig. 37)。グループ B は類似度指数が 53.4% のレベルで、更に能取湖内の 2 月から 3 月、能取湖外の 4 月および 6 月のサブグループ B1 および能取湖外の 5 月および 7 月から 11 月のサブグループ B2 に分けられた。グループ A では、全カイアシ類個体数密度が 2219.9 ind./m³ から 9352.1 ind./m³ と高密度で (Fig. 20)、*Acartia* 属 3 種、*C. abdominalis* および *T. discaudatus* の合計の優占率が 19.4% から 43.5% であった (Fig. 23-25, 27 and 32)。サブグループ B1 の全カイアシ類個体数密度は 1868.4 ind./m³ 以下とグループ A より低く (Fig. 20)、*P. newmani* はカイアシ類群集中で 61.9% から 77.8% で優占した (Fig. 29)。

4. 考察

4-1. 水理環境

オホーツク海沿岸域では、分布する水塊が季節的に交替する (青田 1976; 青田 1979; Takizawa 1982)。すなわち、6 月から 11 月に黒潮を由来とする宗谷暖流水 (水温 7 °C から 20 °C、塩分 33.6 から 34.3) が沿岸域に分布し、11 月から 3 月にオホーツク海の寒流の一つである東樺太海流水 (水温 7 °C 未満、塩分 32.0 psu 未満) が沿岸域に分布する (Takizawa 1982)。また、冬季の 1 月から 3 月には、オホーツク海沿岸域は流水や定着氷で覆われる。オホーツク海沿岸域は、北半球で海氷生成が生じる南限に位置する (Watanabe 1963; Parkinson & Gratz 1983)。本研究では、能取湖内の冬季 (2 月から 3 月および 12 月) および能取湖外の冬季 (12 月) に東樺太海流水の条件を満たす 32.0 未満の低塩分水がみられた。一方、宗谷暖流水は能取湖外の夏季から秋季 (7 月から 9 月) に分布した。能取湖内では夏季から秋季 (7 月から 9 月) にかけて 33.0 以上の高塩分水が分布した。能取湖内の水塊は、オホーツク海沿岸域から流入する水塊の影響を強く受けることから (蔵田・西浜 1987; 浅見ら 1995; 今田ら 1995; 西野ら 2014a)、本研究でみられた能取湖内の高塩

分水は宗谷暖流の影響を受けた宗谷暖流系水だと考えられる。

一方、能取湖は閉鎖性が強いいため、集積効果が働き、能取湖特有の水柱環境を構成する側面もある（西野ら 2014c）。能取湖内の夏季から秋季（7月から9月）には例年、水柱の成層化が発生し、その間、湖底に貧酸素水塊が形成される（蔵田・西浜 1987; 今田ら 1995; 瀬戸ら 2004）。能取湖内に形成された貧酸素水塊は、日照時間と気温の低下および東樺太海流水の流入により成層が崩壊し、貧酸素水塊内の底泥に蓄積していた栄養塩は水柱全体に放出される（浅見ら 1995）。本研究では、能取湖内の10月に Chl.*a* 濃度の極大が認められた。しかし、能取湖外では、4月を除いて明瞭な Chl.*a* 濃度の極大は確認されなかった。能取湖内でみられた10月の Chl.*a* 濃度の極大は、貧酸素水塊内に蓄積された栄養塩が密度成層の崩壊によって、水柱に放出されたことによる現象であると考えられる。

4-2. 能取湖およびオホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集

4-2-1. 本研究で採集されたカイアシ類

本研究は、能取湖およびオホーツク海沿岸域における小型種や初期幼生を含むカイアシ類群集を季節的に解析した初めての報告である。能取湖内の非結氷期（4月から12月）におけるカイアシ類群集構造は、水塊の交替に伴って変化することが明らかとなった（第1章）。しかし、第1章における研究は、目合 330 μm のプランクトンネットによって採集された大型種や成長段階が進んだ個体群を解析したものである。通常動物プランクトンを採集するときに使用される目合では、小型のカイアシ類や初期幼生が網目から移出する（Turner 2004）。基礎生産の高い沿岸域では、小型カイアシ類や成長段階が低い動物プランクトンが優占する（上 1984; Turner 2004; 小針ら 2006）。本研究の目合 100 μm のプランクトンネットで採集された能取湖内における全カイアシ類の個体数密度は、第1章の結果より、4月から5月のスプリングブルーム期を除いて、両定点で 6.8 倍から 34.9 倍高かった。これらのことから、目合 330 μm のプランクトンネットを使用した第1章の結果は、

初期幼生および小型種の現存量や出現種数を過小評価している可能性がある。すなわち、能取湖およびオホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集の変動メカニズムを明らかにするためには、小型種や初期幼生を含めて解析する必要がある。

4-2-2. 休眠卵形成種 (*Acartia hudsonica*、*A. longiremis*、*A. omorii*、*Centropages abdominalis*、*Tortanus discaudatus*)

本研究で出現する *Acartia hudsonica* (Sullivan & Mcmanus 1986; Marcus 1984)、*A. longiremis* (Marcus 1990)、*A. omorii* (Kasahara et al. 1975; Uye 1980; Landry 1975; Uye & Fleminger 1976; Marcus 1990; Marcus 1984; Naess 1991a; Naess 1991b)、*Centropages abdominalis* (Kasahara et al. 1975)、*Tortanus discaudatus* (Marcus 1990; Marcus et al. 1994) は休眠卵を作成する。*Acartia* 属は寒帯域から熱帯域の内湾や沿岸域に広く分布し (Bradford 1976)、日本の沿岸域や内湾にも出現し (上 1984)、カイアシ類群集中で優占種になることもある (関・清水 1997; 伊東 2005; Asami et al. 2010b)。本研究における能取湖内の *A. hudsonica* および *A. omorii* は、宗谷暖流系水と東樺太海流系水の水塊交替が起こる 4 月から 7 月までの期間および 11 月に、個体数密度および優占率が増加する傾向がみられた。オホーツク海において *Acartia* 属が休眠卵を産出するという報告は未だ無い。しかし、*A. hudsonica* や *A. omorii* は舞鶴湾や東京湾で出現し、休眠卵を形成することが報告されている (上田 1978; 伊藤ら 2005; Tachibana et al. 2005)。*Acartia* 属は分布域が北限に近い個体群が休眠卵を産出する (Uye 1985; Ohtsuka & Reid 1998)。オホーツク海は舞鶴湾や東京湾よりも北に位置するため、*Acartia* 属はオホーツク海でも休眠卵を産生する可能性が高い。すなわち、*A. hudsonica* や *A. longiremis* は高温高塩分の宗谷暖流水が分布する夏季や低温低塩分の東樺太海流水が分布する冬季、*A. omorii*、*C. abdominalis* や *T. discaudatus* は東樺太海流水が分布する冬季には休眠卵を形成し、水温をはじめとする水理環境が不適な環境を乗り越えている可能性がある。また、能取湖内に

における *Acartia* 属、*C. abdominalis* および *T. discaudatus* の現存量は能取湖外と比べていずれも高密度であった。これらの結果は、能取湖内の環境が *Acartia* 属、*C. abdominalis* および *T. discaudatus* の個体群を増大させる上で能取湖外より好適な条件を有していたことを意味する。*Acartia* 属、*C. abdominalis* および *T. discaudatus* は河川や汽水湖のような低塩分でも分布する（上 1984; 大塚・上田 1999）。能取湖には卯原内川をはじめ多くの河川がある。能取湖は外海水とは異なり、能取湖特有の水柱環境を示すこと（西野ら 2014b）や河川からの距離が近いため、休眠卵を形成する *Acartia* 属、*C. abdominalis*、*T. discaudatus* は河口域に近い能取湖内で個体群を維持することができると考えられる。これまでの既報研究および本研究の結果から、*Acartia* 属、*C. abdominalis* および *T. discaudatus* は能取湖内で生活史を全うすることができると考えられる。すなわち、能取湖内に出現する *Acartia* 属、*C. abdominalis* および *T. discaudatus* は、能取湖内で生産された休眠卵から孵化し、春季および秋季に個体群サイズを増大させて休眠卵を生産し、夏季および冬季には個体数密度が低下および水柱から消滅すると考えられる。しかし、*Acartia* 属は、潮汐によって、分布域、種組成が変化する（Lee & McAlice 1979a; Lee & McAlice 1979b）。能取湖においても潮汐によるオホーツク沿岸域との湖水の交換に伴って、能取湖外から新たな個体群が能取湖内に流入し、個体群構造に影響する可能性が考えられる。また、休眠卵の孵化には、水温、塩分、光、懸濁状況等様々な要因が関与しており、孵化プロセスは複雑である（Yoshida et al. 2012）。能取湖内の *Acartia* 属、*C. abdominalis* および *T. discaudatus* 個体群動態を解明するためには、これらの種の休眠卵の形成および孵化プロセス、移出入プロセスも同時に明らかにする必要がある。

4-2-3. *Neocalanus plumchrus*

Neocalanus plumchrus は、能取湖外には高密度で出現したが、能取湖内には出現しないか、出現が認められたとしても著しく低密度であった。*N. plumchrus* は北太平洋亜寒帯域

およびその縁辺海（日本海、ベーリング海、オホーツク海、チュクチ海）をはじめとする北半球の全海洋に分布し（Zenkevitch 1963; Motoda & Minoda 1974; Van der Spel & Heyman 1988）、個体数密度でもバイオマスでも優占するカイアシ類の一種である（Richter 1985; Masuzawa et al. 1988; Giske et al. 1990）。そのため、本種は魚類の重要な餌生物であると考えられている（Simenstad & Salo 1980; Nagata et al. 2007）。また、*N. plumchrus* は季節的に鉛直移動を行うことが知られている。親潮域における *N. plumchrus* は 1 年 1 世代の生活史を持ち（Fulton 1973; Miller et al. 1984; Miller & Clemans 1988; Miller & Terazaki 1989）、親潮域では 7 月から 8 月にかけて成体として水深約 800 m の中深層に移動する（Tsuda et al. 1999; Kobari and Ikeda 2001）。日本海では 5 月から 6 月に深層に移動する（Miller & Terazaki 1989）。初期コペポダイトの表層への上昇は、2 月から 6 月にみられる春季ブルームの後半であり、表層で急速にコペポダイト 5 期にまで発育する（小針 1999; 小針・池田 2000; Tsuda et al. 2004）。オホーツク海南部海域でも親潮域と同様の生活史パターンを示すが、オホーツク海南部海域は親潮域に比べてコペポダイト 1 期からコペポダイト 5 期への発育が 1 ヶ月から 2 か月遅いことが報告されている（Tsuda et al. 2015）。また、中深層への移動もオホーツク海南部海域は親潮域や日本海に比べて 1 ヶ月から 4 か月遅い（平川・葛西 2017）。本結果における *N. plumchrus* は、能取湖よりも道東オホーツク海沿岸域において出現期間が長く、8 月を除く 4 月から 10 月に出現した。この出現期間は親潮域や日本海での既報研究よりも長いという平川・葛西（2017）を支持する結果であった。しかし、9 月および 10 月の個体数密度は、春季に比べて低密度であった。休眠期を有する本種は夏季に水温の低い沖合域の深層へ移動したのかもしれない。また、能取湖外の 7 月には、Chl.*a* 濃度は 1.7 $\mu\text{g/L}$ で 4 月の 8.0 $\mu\text{g/L}$ よりも低密度だったが、*N. plumchrus* は 609.3 ind./m³ の高密度を記録した。*Neocalanus* 属は微小動物プランクトンも摂餌する（小針・池田 2000; Sorokin & Sorokin 2002; Dagg et al. 2009）ことから、オホーツク海沿岸域における *N. plumchrus* は、7 月でも表層に留まり植物プランクトンだけ

ではなく微小動物プランクトンも摂餌し、休眠に備えるための脂肪を蓄積していたのかも
しれない。一方、アラスカ湾における *N. plumchrus* は 1950 年代から 1990 年代にかけて
春季の水温の上昇に伴い、出現時期が遅れていると報告されている (Mackas et al. 1998)。
N. plumchrus の表層から中深層への下降のタイミングは春季ブルーム以外にも春季の水温
も影響している可能性が考えられる。

4-2-4. *Clausocalanus pergens*

Clausocalanus pergens は世界の温帯域から熱帯域に広く分布し (Anraku 1953; Frost &
Fleminger 1968; Boltovskoy 1999)、分布水温帯は 7°C から 20°C である (Fruhashi 1953)。
C. pergens は、日本近海では沿岸域に分布する温帯性種であり (Anraku 1953; Asami et al.
2010b; 伊東 2005)、閉鎖的な環境を好む性質を持つ (Siokou 1996)。日本海側では、対馬
暖流水が分布する時期に出現し (Anraku 1953)、急激に個体数密度を増加させる (Chiba &
Saino 2003)。*C. pergens* は東京湾では冬季から春季に出現し、水温 12.5°C から 16.4°C (塩
分 32.7~34.3) が好適環境として報告されている (伊東 2005)。本研究の *C. pergens* は、
能取湖内ならびに能取湖外で 7 月から 12 月の水温 2.8°C から 19.8°C で出現し、9 月には両
定点のカイアシ類群集における優占率は 35.8% から 41.6% であった。夏季から秋季の道東
オホーツク海沿岸域に分布する宗谷暖流水は対馬暖流から派生した水塊である (青田
1979; Takizawa 1982)。本研究の能取湖内および能取湖外において宗谷暖流水の影響が
みられた夏季から秋季に出現した *C. pergens* は、対馬暖流とともに流されてきた個体群で
あると考えられる。冬季 12 月は能取湖内で水温 2.8°C、能取湖外で水温 3.6°C であり、水塊
は東樺太海流水に交替するが、*C. pergens* の出現は認められた。しかし、2 月から 6 月に
は出現は認められなかった。温暖性種である本種は 0°C 以下の結氷期には分布制限水温から
外れ、消滅したと考えられる。オホーツク海沿岸域に出現する *C. pergens* は海流の交替に
よって個体群動態が大きく影響を受けることが明らかとなった。

4-2-5. *Pseudocalanus newmani*

Pseudocalanus newmani は北半球の亜寒帯域から温帯域に分布する冷水性種であり、北アメリカからアジアの沿岸域に広く分布する (Frost 1989; Hopcroft & Kosobokova 2009)。日本近海では、*P. newmani* は北海道周辺海域や日本海に分布する (山口・志賀 1997; Yamaguchi et al. 1998; Asami et al. 2007; Asami et al. 2010b; Arima et al. 2014; 第 1 章)。本研究では能取湖内および能取湖外に出現した *P. newmani* は 4 月から 7 月および 12 月に高密度となり、水温の高い 8 月から 10 月に個体数密度を減少させた。北西部北太平洋および北西部北大西洋における *P. newmani* の分布限界水温の上限は 15°C であると報告されている (McLaren et al. 1989; 山口・志賀 1997)。能取湖内では 7 月から 9 月、能取湖外では 8 月から 10 月に平均水温が 15°C を超えた。夏季に *P. newmani* の個体数密度が減少したのは、分布限界水温を超えたためと考えられた。本研究の結果から、季節的に水塊が変化する道東オホーツク海沿岸域において、*P. newmani* の個体群動態は水塊交替の影響を大きく受けることが示唆された。すなわち、*P. newmani* は、冬季の東樺太海流水が分布する期間に個体数密度を増加させ、夏季の宗谷暖流水が分布する期間に個体数密度を減少させる傾向がみられた。

4-2-6. *Metridia pacifica*

Metridia pacifica は、北太平洋亜寒帯海域およびその縁辺海に分布し、表層群集中で最も卓越するカイアシ類の一種である (Zenkevitch 1963; Minoda 1971; Batchelder 1985; Hirakawa & Imamura 1993; Hattori 1989)。本研究において、*M. pacifica* は水深約 60 m の能取湖外で 5 月から 7 月に 136.1 ind./m³ から 384.9 ind./m³ の高密度で出現した。*M. pacifica* は、富山湾では 6 月にも表層に分布するが、9 月には対馬暖流を避け、400 m 層を主分布層とする (Hirakawa et al. 1990)。また、*M. pacifica* は富山湾の 5 月には Chl.*a* 濃度が高く、かつ水温が 10°C 程度の表層に分布するが、12 月には対馬暖流を避け、300 m 層

を主分布層とする（高橋・平川 2001）。*M. pacifica* は対馬暖流を避け、季節的に分布水深を変化させる（Hirakawa & Imamura 1993）。つまり、*M. pacifica* は夏季の高水温低 Chl.*a* 濃度下では表層の対馬暖流を避けて中層に分布し、休眠すると考えられる。親潮域でも、*M. pacifica* の分布水深の変化は成長に伴って季節的に変化することが報告されている（Padmavati et al. 2004）。本研究では、能取湖外における *M. pacifica* の出現時期は既報研究と一致した。*M. pacifica* はオホーツク海沿岸期においても春季から夏季に高密度で出現するが、宗谷暖流の勢力が増す 8 月以降はより沖合の中深層に移動した可能性が考えられる。

4-2-7. *Paracalanus parvus* s.l.

Paracalanus parvus s.l. は北半球の温帯域から寒帯域に広く分布する沿岸性種である（Brodskii 1950; Vervoort 1963; Mackas & Tsuda 1999）。北海道周辺の沿岸域では、夏季あるいは秋季に対馬暖流や津軽暖流の影響がみられる水塊が分布したときに *P. parvus* s.l. は卓越する（Anraku 1954; 服部・津村 1990; Arima et al. 2014）。*P. parvus* s.l. は、培養水温が 12°C では世代時間が 25 日から 30 日（Davis 1984）、15°C では世代時間が 18.6 日（Landry 1983）、18°C では約 18 日（Uye 1991b）、20°C では世代時間 12 日から 15 日（Paffenhöfer 1991）となり、培養水温が上昇するに従い、*P. parvus* の世代時間が短くなると報告されている。本結果の能取湖内および能取湖外における *P. parvus* s.l. は高温高塩分の宗谷暖流が分布する夏季に高密度になった。一方、水温の低い冬季には能取湖内および能取湖外に低密度ながら *P. parvus* s.l. の出現が確認された。すなわち、*P. parvus* s.l. は -1.8°C から 20°C を超える広い水温範囲を示すオホーツク海沿岸域で周年にわたって生息することができることが明らかとなった。能取湖内の *P. parvus* s.l. 個体群は、能取湖外からの水塊の流入に伴う移入個体だけではなく、能取湖内に生息していた個体によって構成されと考えられる。オホーツク海沿岸域において、水塊交替および季節的結氷に伴う水温

の季節変動が、*P. parvus* s.l.の個体数密度の季節変動の要因の一つであろうと思われる。なお、*P. parvus* s.l.は近年、形態学的手法により *Paracalanus naus* と、遺伝子学的手法により *P. indicus*、*P. tropicus* および新種の *Paracalanus* sp.に区別されることが報告された (Hidaka et al. 2016)。我が国の沿岸域で採集され生態研究の材料とされてきたのは主として *Paracalanus* sp.であると考えられている (Hidaka et al. 2016)。本研究における *P. parvus* s.l.の多くは *Paracalanus* sp.であると思われるが、他の種も混在している可能性がある。オホーツク海沿岸域における *Paracalanus* sp.の個体群動態を明らかにするには、より精度の高い同定技術による解析が必要である。

4-2-8. *Oithona atlantica*

Oithona 属は世界中の沿岸域や外洋域に分布する小型のカイアシ類である (Gallienne & Robins 2001)。本研究における *O. atlantica* は能取湖内および能取湖外で常に出現した。*O. atlantica* は富山湾において *N. plumchrus* や *M. pacifica* と同様に季節的な鉛直移動を行うことが報告されている (高橋・平川 2001)。*O. atlantica* は春季ブルームの5月には、10℃から20℃までのChl.*a*濃度が高い表層に分布するが、春季ブルーム期以外は水温10℃以下の200 m以深に分布するという季節的鉛直移動を行う (高橋・平川 2001)。また、*Oithona* 属を含むキクロプス目 (Cyclopoida) は、カラヌス目 (Calanoida) に比べ、遊泳能力が弱い (Zalkina 1970; Boxshall 1977; Ueda 1987)。しかし、本研究の *O. atlantica* は周年を通じて出現した。本種は、遊泳能力が低いため、対馬暖流によって、運び込まれたと考えられる。

4-2-9. *Oithona similis*

Oithona similis は北海道周辺海域において周年分布し (中谷ら 2003)、鹿児島湾の水温16℃から30℃の環境において1週間以内の非常に短い世代時間を有す (小針ら 2006)。本

研究においても *O. similis* は能取湖内および能取湖外で周年出現したが、明瞭な季節変動は認められなかった。また、*O. similis* は体長 1 mm に満たない小型カイアシ類であり、成長段階の若い個体群は本研究で用いた目合 100 μ m の NORPAC net でも過小評価している可能性がある。*O. similis* の個体群動態を解明するには、より高頻度のサンプリングに併せて、実験下での水温別に世代時間の解析も行う必要がある。

4-3. 能取湖内および能取湖外のカイアシ類群集構造

本研究のカイアシ類群集構造を Bray-Curtis の類似度指数によりクラスター解析した結果、能取湖内の 4 月から 12 月と能取湖外の 12 月で構成されたグループ A、能取湖内の 2 月から 3 月ならびに能取湖外の 4 月と 6 月によって構成されたサブグループ B1、能取湖外の 5 月および 7 月から 11 月で構成されたサブグループ B2 に大別できることが明らかとなった。

グループ A は *Acartia* 属、*C. abdominalis* および *T. discaudatus* の休眠卵を形成する種がカイアシ類群集構造の 19.4% から 43.5% を占めるという特徴を示した。能取湖の湖水は潮汐により、常に湖外の海水と交換される (Asami et al. 1995; Imada et al. 1995; Kurata & Nishihama 1987; Nishino et al. 2014a)。一方、能取湖の水塊は春季に低塩分の融雪水の影響を受ける (西野ら 2016)。そのため、能取湖は湖内特有の水柱環境を示す (西野ら 2014b)。本研究でも、能取湖内の 5 月に塩分の低下がみられた。また、能取湖内は夏季に貧酸素水塊が形成される (Nakano 1978; 今田ら 1995; 瀬戸ら 2004; 山本ら 2009; 品田ら 2009; 品田ら 2010; 品田ら 2011)。すなわち、能取湖内の水理環境は時空間的に大きく変動する。このような水理環境が大きく変動する条件において、休眠卵の形成は、個体群を維持するための生存戦略として有利に働くことが考えられる。

サブグループ B1 およびサブグループ B2 では、*Acartia* 属、*C. abdominalis* および *T. discaudatus* の休眠卵形成種の優占率は 9.6% 以下で、*N. plumchrus*、*M. pacifica* および

O. atlantica の季節的に鉛直移動を行う種の優占率が 1.7%から 36.5%で高いという特徴がみられた。特にサブグループ B1 では、*P. newmani* は 61.9%から 77.8%の優占率を示し、能取湖外の 6 月を除き、群集全体の多様度が 1.3 から 3.0 で低水準だった。季節的に水理環境が大きく変動するオホーツク海沿岸域や能取湖において、水温が -1.8°C にまで低下する環境で個体群を維持できる冷水性種は限られる。おそらく、低温環境の適応性だけではなく競合者の少なさが、結氷期や春季の低水温期に *P. newmani* が優占することができた要因の一つであろうと考えられる。アメリカ合衆国東部 Nova Scotia および北海道恵山沖では、*P. newmani* は 0°C から 15°C 程度で個体数密度が高くなる傾向がみられた (McLaren et al. 1989; 山口・志賀 1997)。夏季、能取湖外の垂表層以深の水温は能取湖内よりも低いため、*P. newmani* は夏季においても能取湖外で個体群を維持することが出来たと考えられる。

本研究では、能取湖内の 1 月は海水の形成期のため、また能取湖外の 1 月から 3 月は流氷が海表面を覆うことにより調査を行うことが出来なかった。しかし、本結果の Bray-Curtis 類似度指数のクラスター解析により、能取湖内および能取湖外の 12 月のカイアシ類群集は同じグループであった。また、能取湖内の結氷期 (2 月から 3 月) および能取湖外の春季 (4 月および 6 月) は *P. newmani* が高い優占率を占め、同じグループに属した。いずれも水塊が東樺太海流系水の影響を強く受ける期間であった。オホーツク海沿岸域においても 1 月から 4 月には海氷が表面を覆う (Aota 1979)。能取湖内の結果から、本研究で調査を行うことが出来なかった結氷期間におけるオホーツク海沿岸域の水塊は、東樺太海流系水の影響を強受けていたはずである。おそらく、能取湖外の 1 月から 3 月のカイアシ類群集もサブグループ B1 に属する群集構造であった可能性があり、*P. newmani* が高い優占率を占めていたことが予想される。

Table 3. Averaged abundance (ind./m³), Shannon-Wiener diversity index (H') and number of species of copepods at St. A (inside Lagoon Notoro-ko) from 2014 to 2015.

| Species | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 62.4 | 37.5 | 75.9 | 493.6 | 487.4 | 644.3 | 481.6 | 12.0 | 376.4 | 1659.2 | 959.0 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 61.1 | 70.1 | 227.8 | 712.6 | 350.8 | 153.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 735.9 |
| <i>Acartia omorii</i> | 44.0 | 41.2 | 493.7 | 527.3 | 615.6 | 454.0 | 607.8 | 9.8 | 209.0 | 557.0 | 120.5 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.1 | 52.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 3.6 | 0 | 4.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 11.8 | 4.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 434.6 | 0 | 0 | 228.2 | 5.6 | 24.2 | 6.5 | 3.0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 651.4 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 104.4 | 2024.2 | 2149.7 | 654.1 | 1113.6 | 3764.3 |
| <i>Pseudocalanus</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 32.0 | 36.7 | 38.0 | 0 | 4.5 | 32.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 1351.8 | 1174.3 | 2430.4 | 2339.3 | 3537.7 | 2071.4 | 1603.6 | 660.1 | 257.4 | 618.8 | 1418.8 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia pacifica</i> | 1.7 | 0 | 0 | 1.8 | 17.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus parvus</i> s.l. | 13.5 | 0 | 113.9 | 30.1 | 137.1 | 183.8 | 1184.1 | 879.6 | 210.5 | 539.2 | 18.1 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.0 | 4.1 | 25.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 1.7 | 2.1 | 0 | 0 | 13.2 | 40.2 | 88.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 0 | 17.3 | 0 | 1.7 | 33.9 | 32.5 | 24.6 | 0 | 31.5 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 38.0 | 0 | 244.3 | 46.8 | 3.3 | 0 | 0 | 0 | 81.4 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinera oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 0 | 75.9 | 0 | 369.1 | 216.4 | 297.4 | 41.3 | 0 | 47.8 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 40.9 | 21.2 | 151.9 | 99.4 | 180.8 | 505.9 | 368.7 | 160.1 | 120.9 | 50.8 | 205.7 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.6 | 5.3 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 117.5 | 137.3 | 151.9 | 342.5 | 491.4 | 489.7 | 704.8 | 1245.0 | 335.9 | 1082.4 | 1394.1 |
| Total abundance | 1738.7 | 1546.1 | 3797.5 | 4987.6 | 6541.0 | 5037.2 | 7642.2 | 5163.2 | 2219.9 | 5675.3 | 9352.1 |
| H' | 1.3 | 1.3 | 1.9 | 2.1 | 2.3 | 2.9 | 2.8 | 2.1 | 2.7 | 2.4 | 2.5 |
| Number of species | 8.3 | 7.4 | 10.0 | 7.8 | 11.5 | 11.5 | 10.3 | 6.8 | 8.5 | 7.8 | 8.5 |

Table 4. Averaged abundance (ind./m³), Shannon-Wiener diversity index (H') and number of species of copepods at St. B (outside Lagoon Notoro-ko) from 2014 to 2015.

| Species | Apr | May | Jun | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Acartia</i> | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 3.7 | 0 | 79.5 | 108.6 | 5.4 | 0 | 0 | 0 | 142.4 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 62.6 | 189.8 | 0 | 9.9 | 0 | 12.6 | 14.2 | 0 | 142.4 |
| <i>Acartia omorii</i> | 3.7 | 31.2 | 39.8 | 0 | 10.9 | 12.6 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius</i> | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.3 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 16.8 | 0 | 33.4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Calanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.1 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 18.6 | 27.6 | 16.8 | 108.6 | 0 | 3.3 | 35.5 | 93.0 | 0 |
| <i>Neocalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 9.8 | 19.9 | 9.9 | 0 | 12.6 | 17.1 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 142.5 | 219.4 | 116.3 | 609.3 | 0 | 86.2 | 34.2 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Centropages</i> | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36.8 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 73.6 | 184.8 | 897.4 | 334.6 | 31.0 | 3774.4 |
| <i>Pseudocalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 17.2 | 9.8 | 0 | 0 | 5.4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 1157.1 | 4127.3 | 969.8 | 2998.8 | 679.0 | 260.4 | 259.3 | 712.7 | 1780.4 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 6.7 | 68.6 | 73.4 | 0 | 0 | 0 | 17.1 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Metridia</i> | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 41.3 | 16.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 198.3 | 136.1 | 384.9 | 44.3 | 44.1 | 104.0 | 93.0 | 71.2 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus parvus</i> s.l. | 43.4 | 188.2 | 16.8 | 302.3 | 166.4 | 486.4 | 271.9 | 154.9 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Temora</i> | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora</i> | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 3.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Undinella</i> | | | | | | | | | |
| <i>Undinera oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.1 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus</i> | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 4.7 | 0 | 0 | 0 | 5.4 | 0 | 0 | 0 | 142.4 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | |
| <i>Oithona</i> | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 141.6 | 446.6 | 120.1 | 2016.0 | 348.3 | 266.4 | 168.1 | 139.4 | 427.3 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 108.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 262.9 | 424.5 | 213.4 | 1523.6 | 186.9 | 383.9 | 296.0 | 325.4 | 640.9 |
| Total abundance | 1868.4 | 5982.4 | 1835.6 | 8254.0 | 1670.3 | 2506.0 | 1566.3 | 1549.4 | 7121.6 |
| H' | 3.0 | 4.4 | 6.9 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 3.0 | 0.9 | 1.9 |
| Number of species | 8.3 | 8.5 | 9.5 | 8.0 | 8.0 | 8.5 | 9.5 | 7.0 | 8.0 |

Table 5. Mean abundances (mean \pm standard deviations; ind./m³) of main copepods during ice-free season (April-December) from 2014 to 2015 inside and outside Lagoon Notoro-ko. Differences of the mean abundances between inside and outside the lagoon were tested with Mann-Whitney *U*-test.

| | Inside lagoon (St. A) | Outside lagoon (St. B) | <i>U</i> -test |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------|
| <i>A. hudsonica</i> | 522.7 \pm 656.7 | 23.7 \pm 59.1 | ** |
| <i>A. longiremis</i> | 199.3 \pm 370.9 | 55.2 \pm 94.9 | ns |
| <i>A. omorii</i> | 395.7 \pm 408.4 | 12.7 \pm 30.5 | ** |
| <i>N. plumchrus</i> | 0 \pm 0 | 143.4 \pm 230.4 | ** |
| <i>C. abdominalis</i> | 70.4 \pm 228.5 | 3.2 \pm 15.0 | ** |
| <i>C. pergens</i> | 919.3 \pm 1721.7 | 352.3 \pm 825.2 | ns |
| <i>P. newmani</i> | 1629.7 \pm 1754.9 | 1670.0 \pm 1886.9 | ns |
| <i>M. pacifica</i> | 2.8 \pm 10.4 | 113.0 \pm 153.3 | ** |
| <i>P. parvus</i> s.l. | 380.1 \pm 507.4 | 214.8 \pm 266.7 | ns |
| <i>O. atlantica</i> | 226.8 \pm 297.5 | 471.8 \pm 608.1 | ns |
| <i>O. similis</i> | 635.7 \pm 546.5 | 443.6 \pm 459.9 | ns |
| <i>T. discaudatus</i> | 140.2 \pm 264.6 | 7.5 \pm 29.1 | ** |

** $\colon p < 0.01$; * $\colon p < 0.05$; ns: not significant

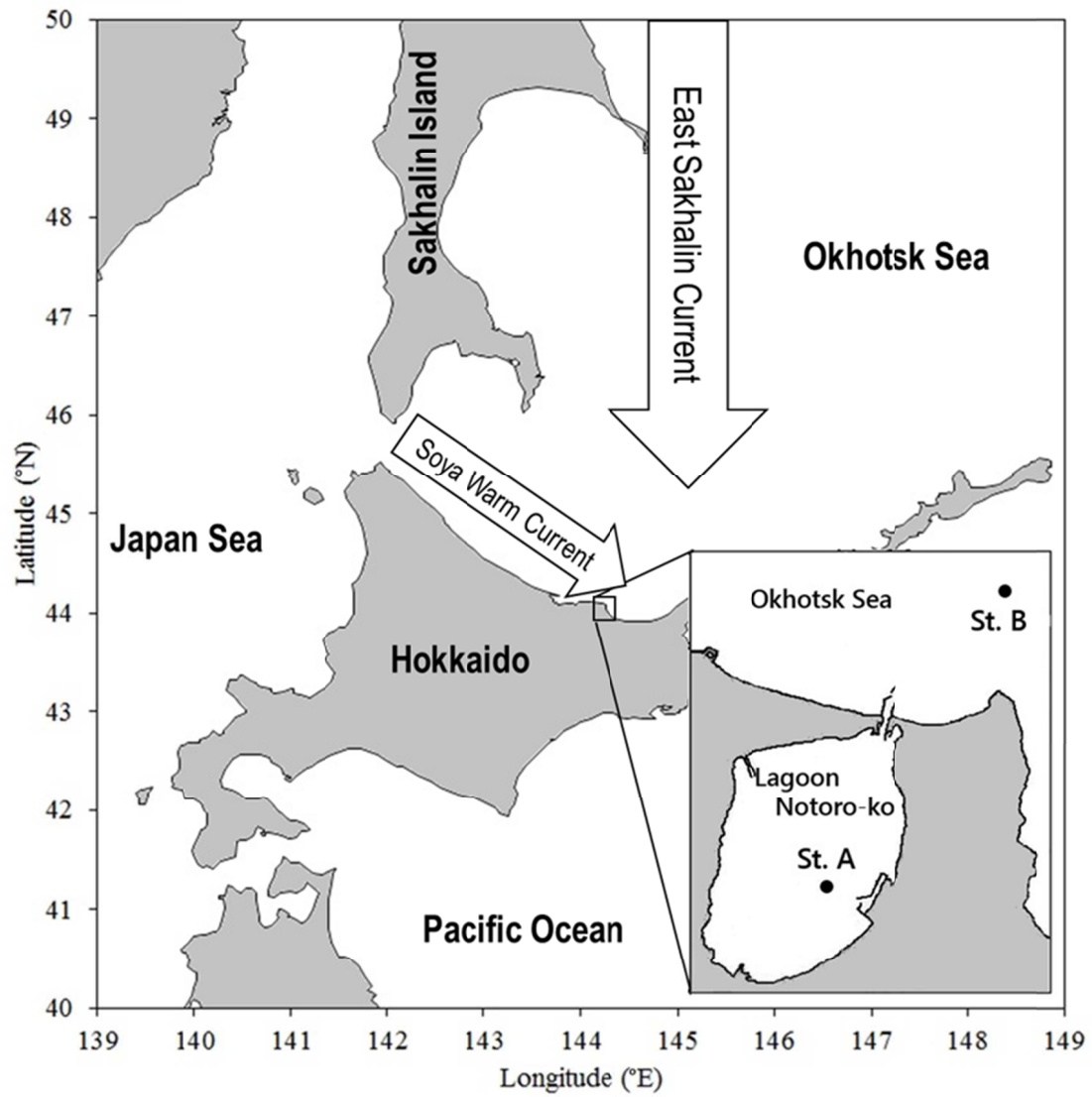


Fig. 15. Location of the sampling stations: inside Lagoon Notoro-ko (St. A) and in an adjacent coastal area of the southwestern Okhotsk Sea (St. B).

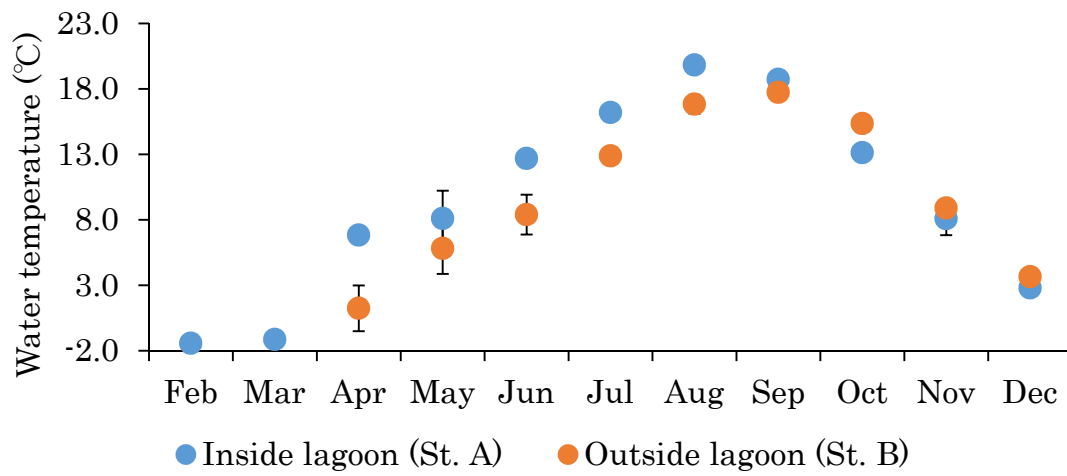


Fig. 16. Seasonal changes in averaged water temperature (°C) at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

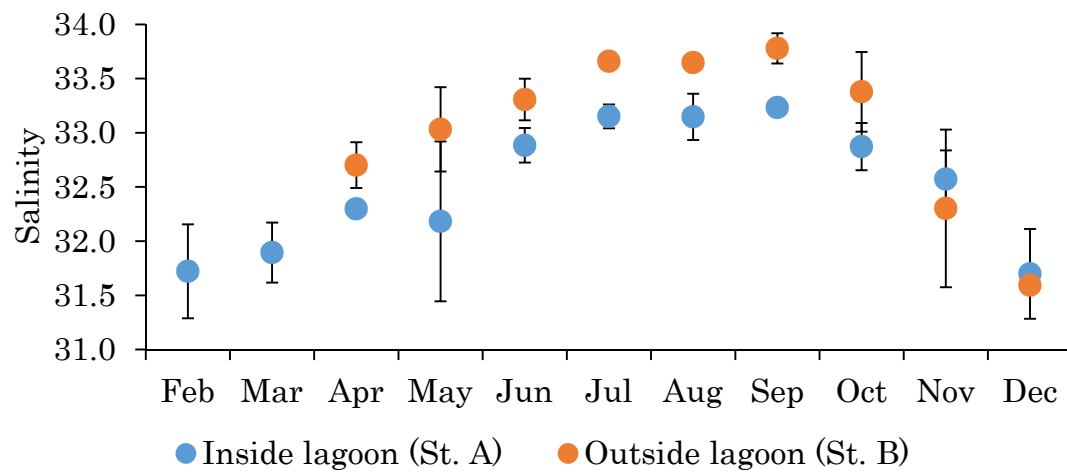


Fig. 17. Seasonal changes in averaged salinity at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

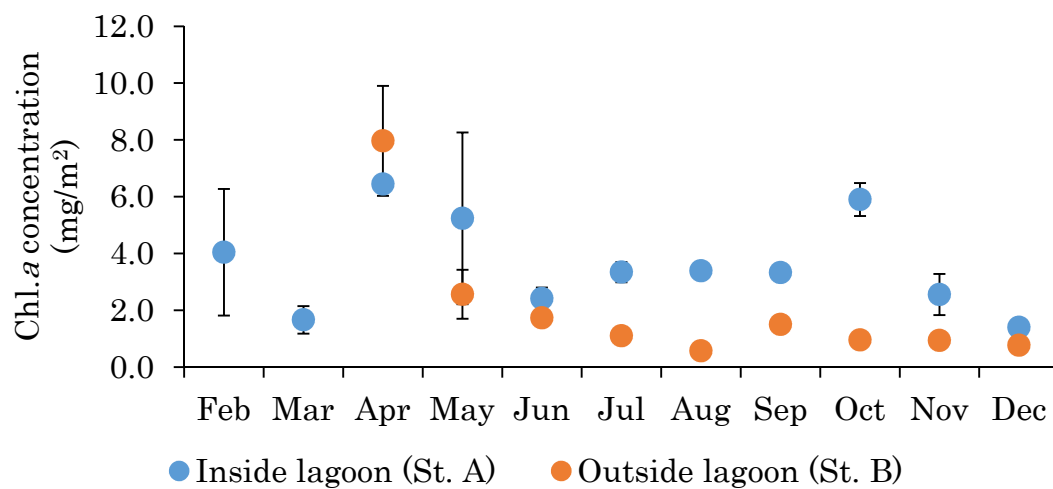


Fig. 18. Seasonal changes in averaged Chl.*a* concentration (mg/m²) at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

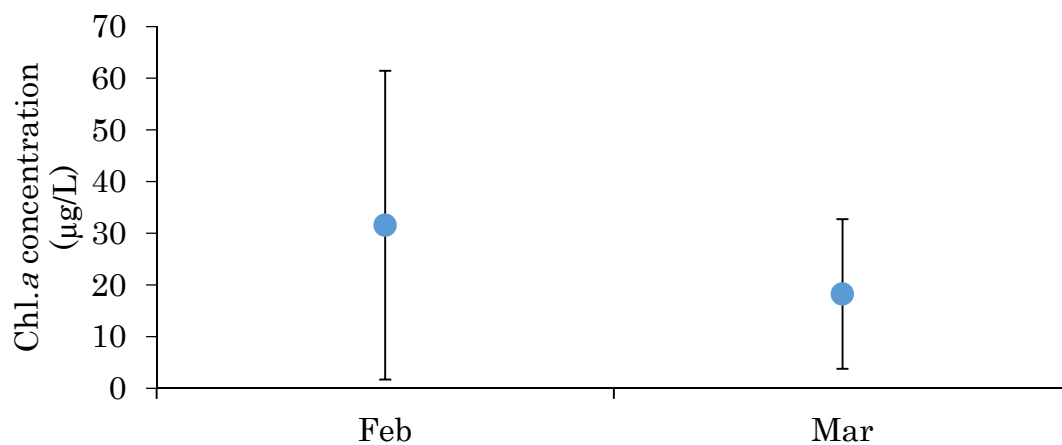


Fig. 19. Averaged Chl.*a* concentration (µg/L) of algae on the undersurface of sea ice at inside Lagoon Notoro-ko (St. A) from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

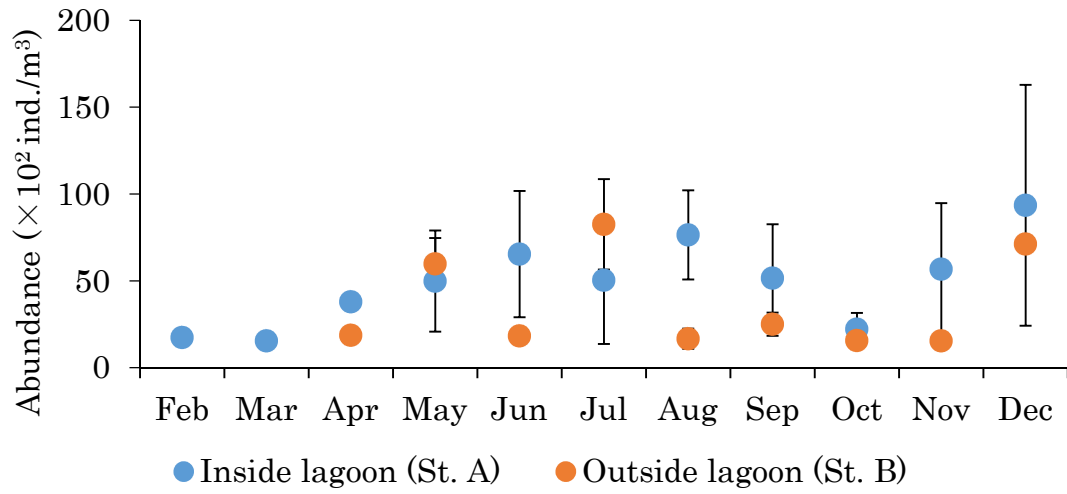


Fig. 20. Seasonal changes in averaged total copepod abundance (ind./m³) at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

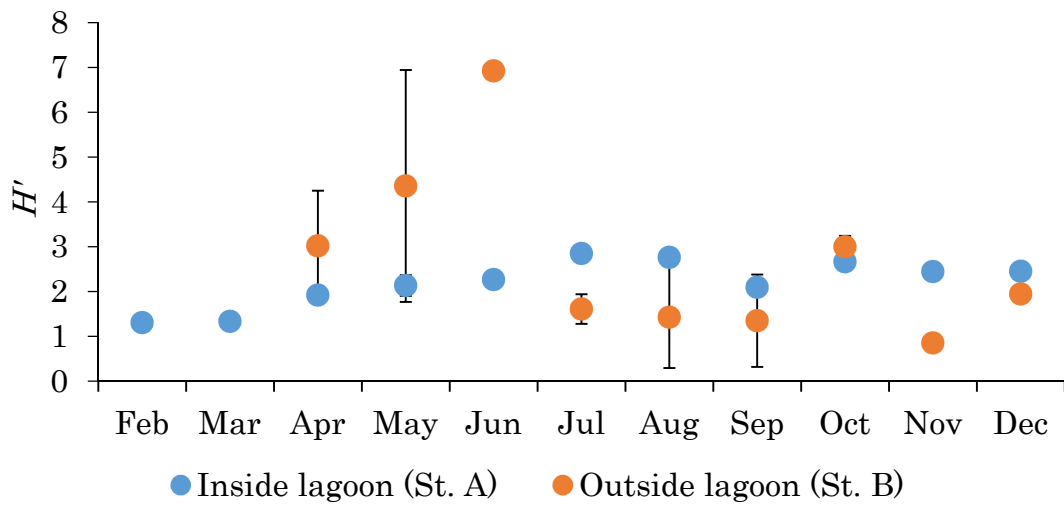


Fig. 21. Seasonal changes in averaged Shannon-Wiener diversity index (H') at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

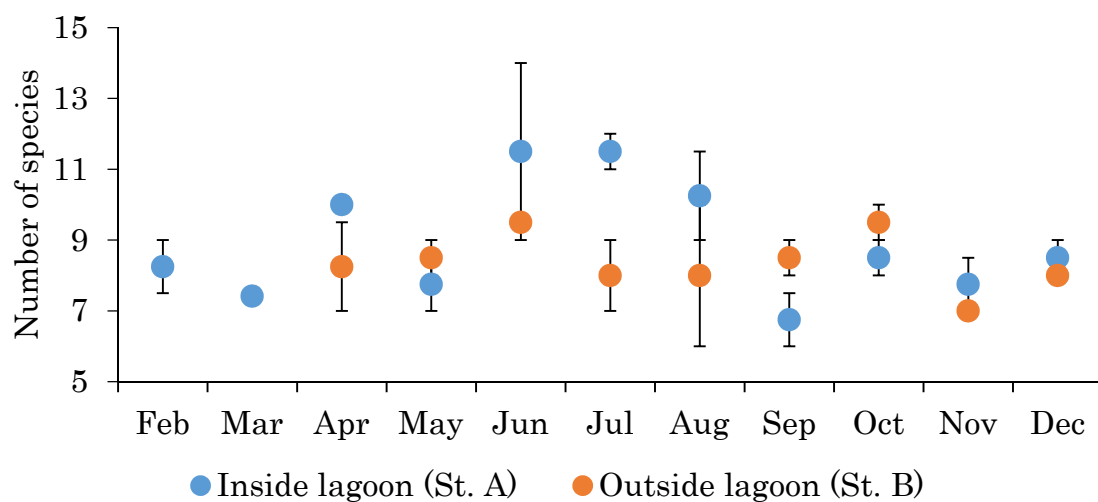


Fig. 22. Seasonal changes in averaged number of species at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

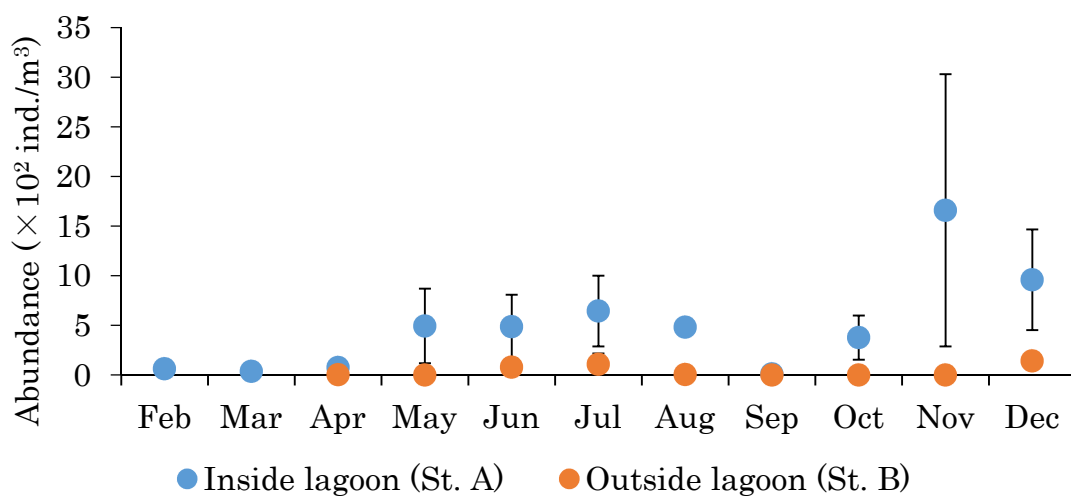


Fig. 23. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Acartia hudsonica* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

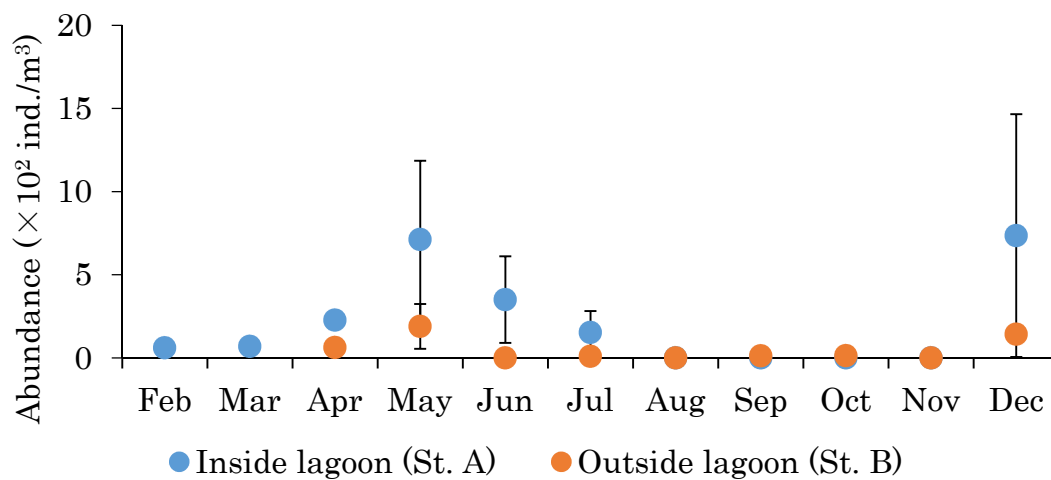


Fig. 24. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Acartia longiremis* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

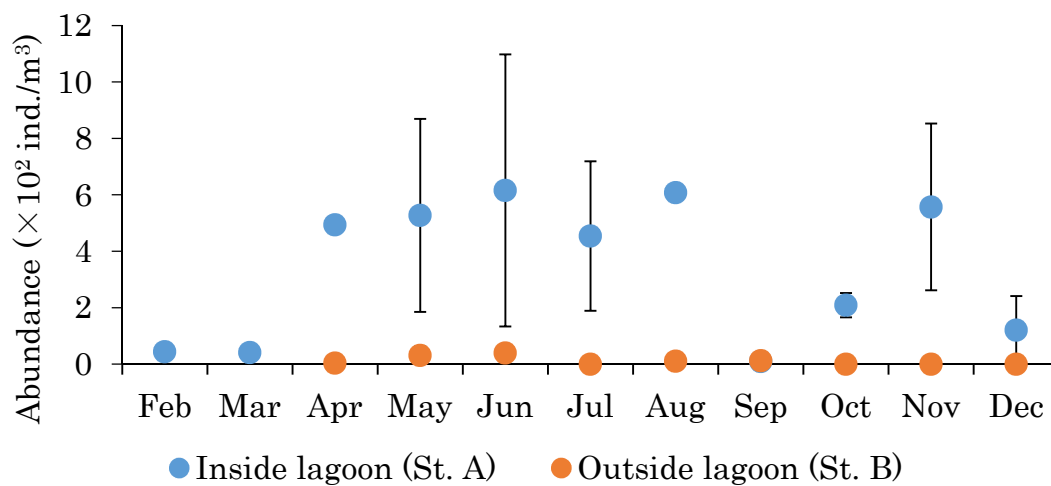


Fig. 25. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) *Acartia omorii* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

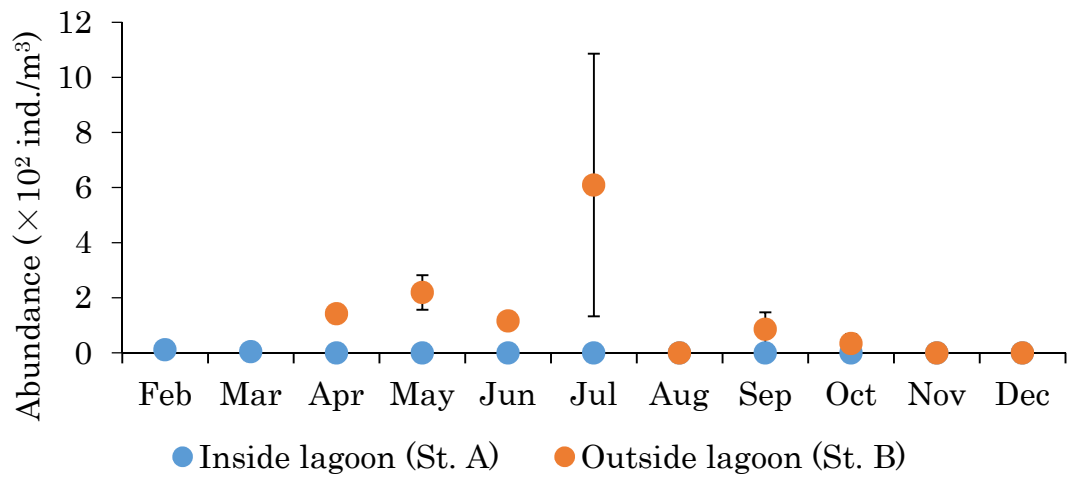


Fig. 26. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Neocalanus plumchrus* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

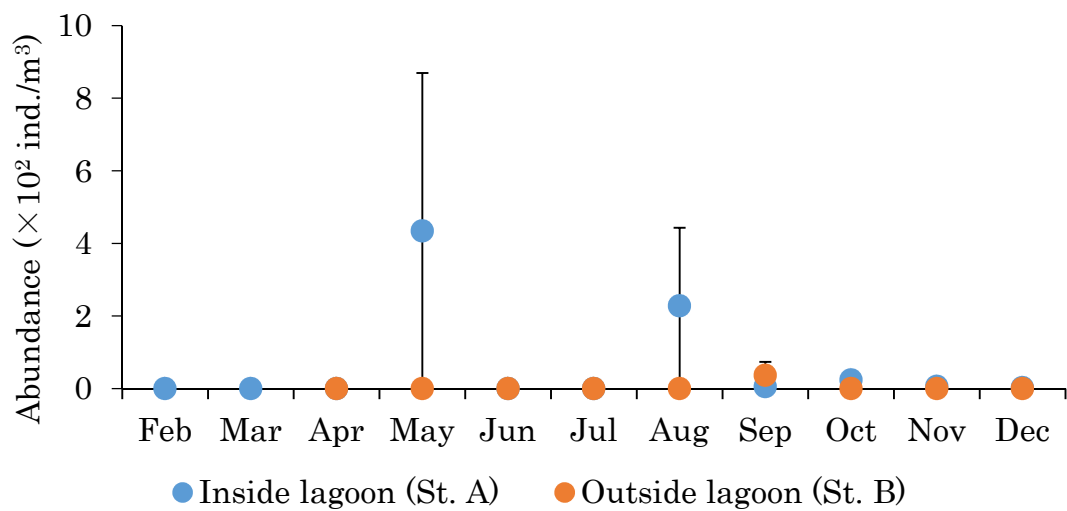


Fig. 27. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Centropages abdominalis* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

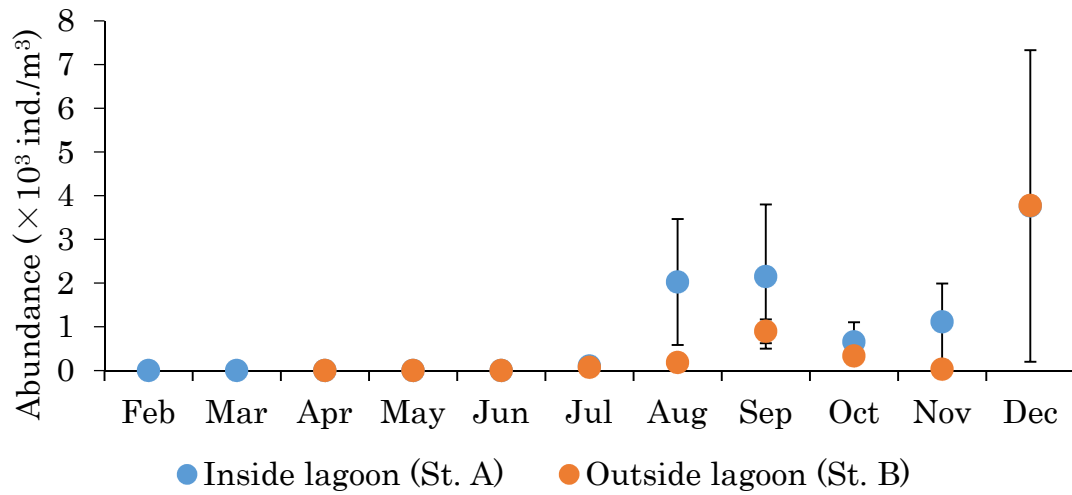


Fig. 28. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Clausocalanus pergens* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

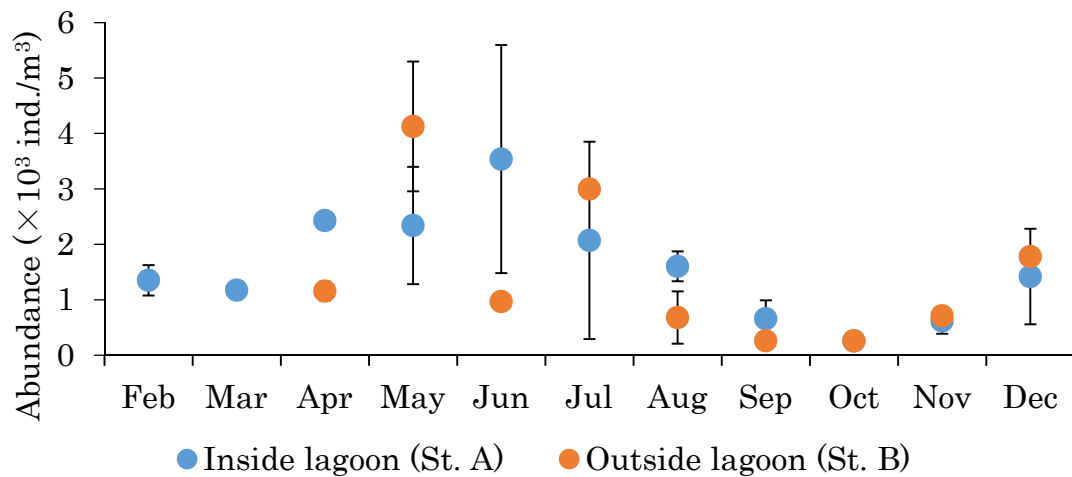


Fig. 29. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Pseudocalanus newmani* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

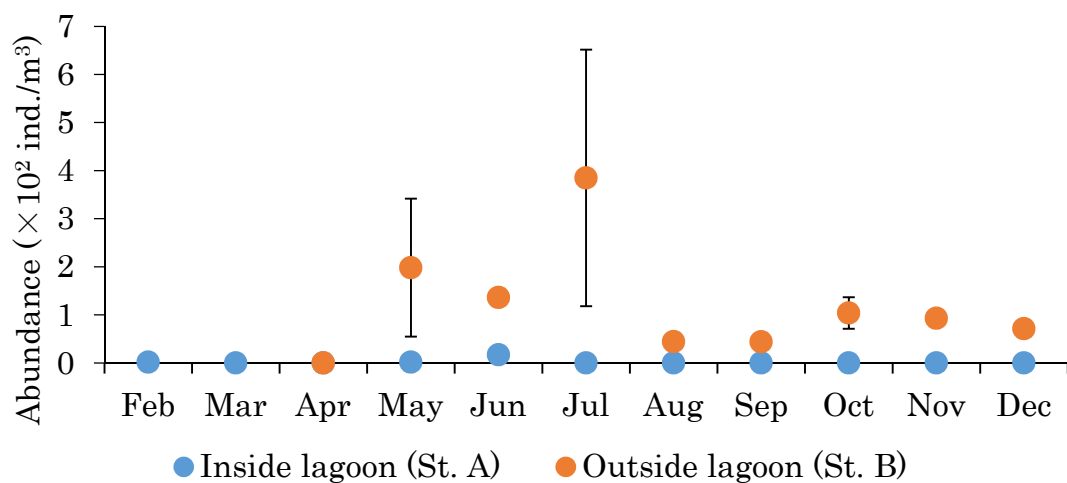


Fig. 30. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Metridia pacifica* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

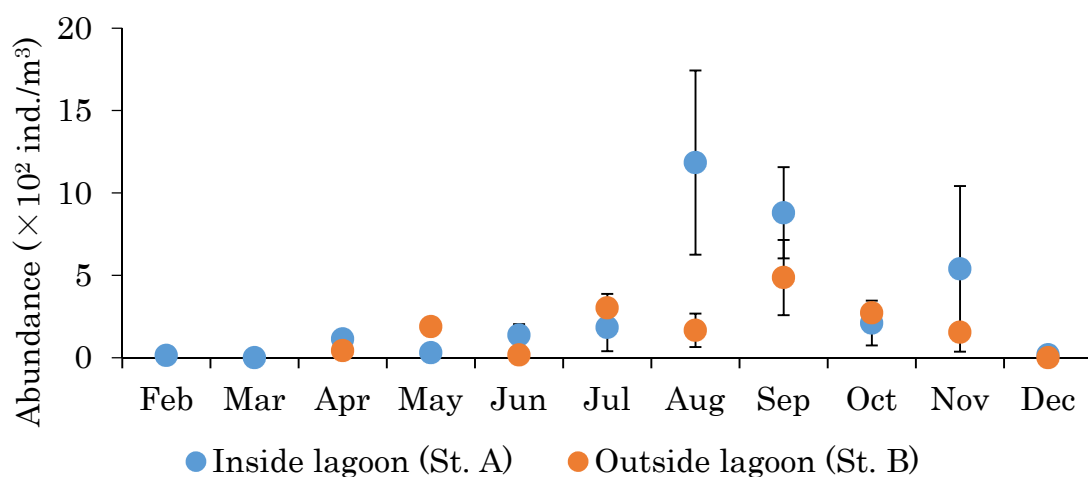


Fig. 31. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Paracalanus parvus* s.l. at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

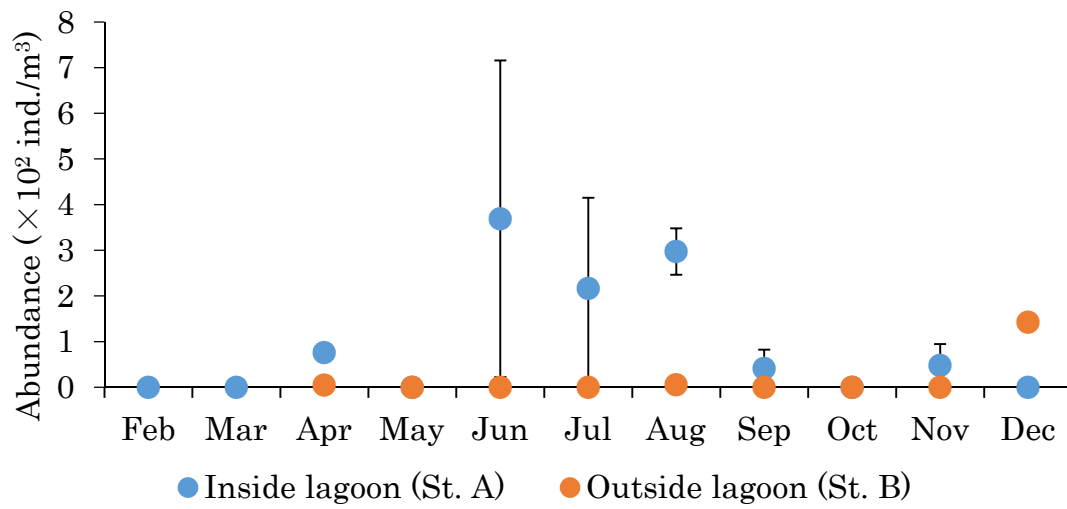


Fig. 32. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Tortanus discaudatus* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

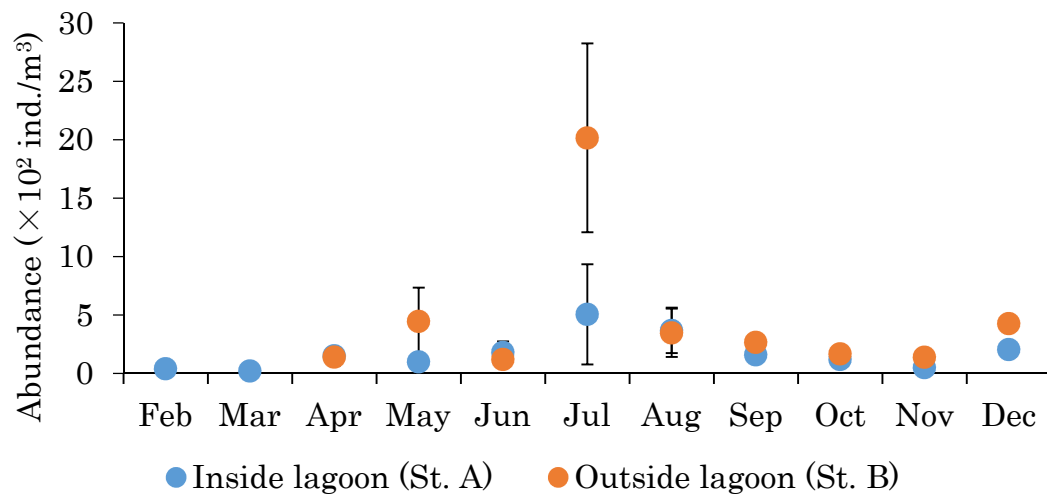


Fig. 33. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Oithona atlantica* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

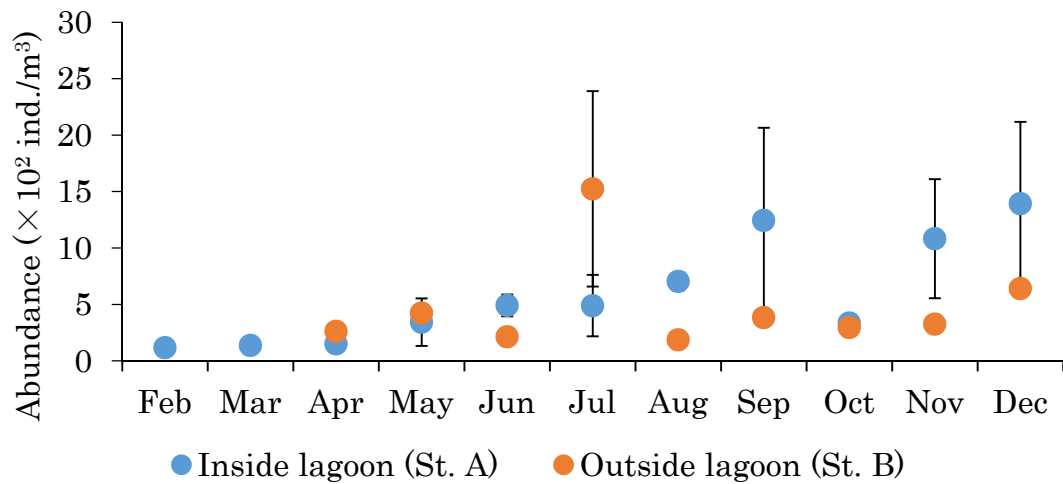


Fig. 34. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Oithona similis* at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

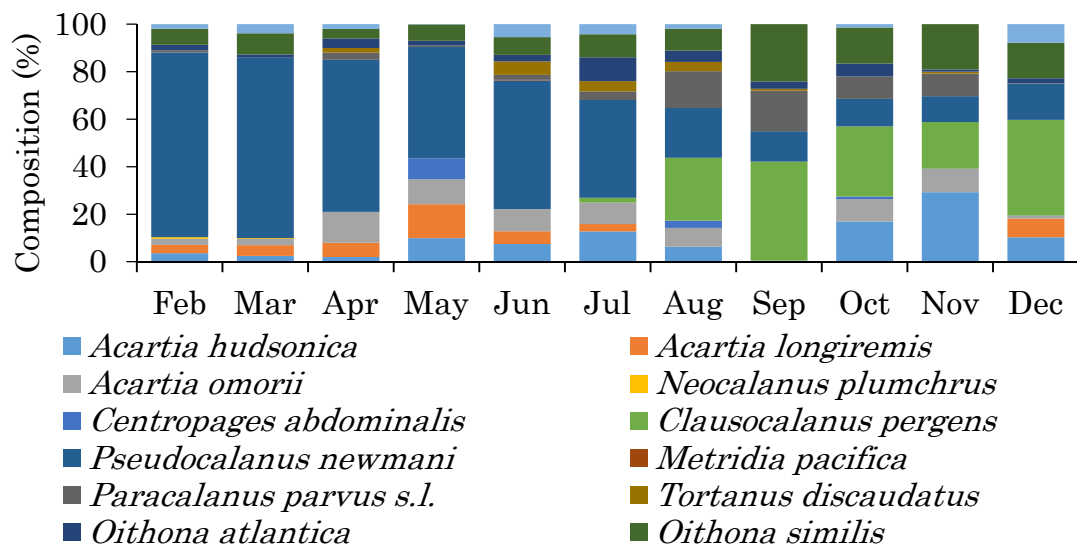


Fig. 35. Seasonal changes in species composition (%) of the copepod community at St. A inside Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015.

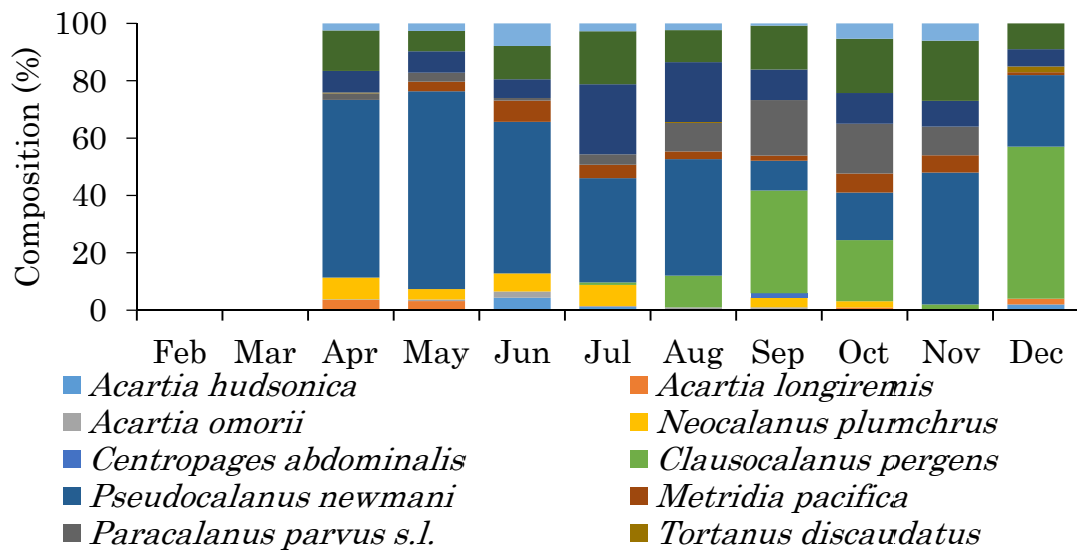


Fig. 36. Seasonal changes in species composition (%) of the copepod community at St. B outside Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015.

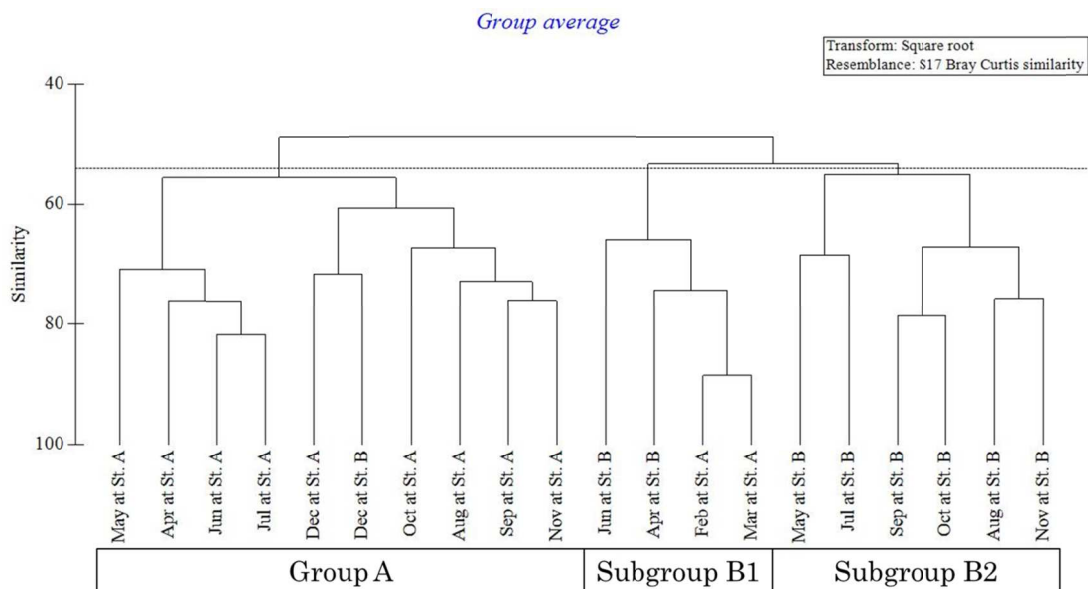


Fig. 37. Dendrogram of seasonal groups of copepod community at St. A and St. B in and out of Lagoon Notoro-ko classified via Bray–Curtis similarities.

第2章第2節. 能取湖と道東オホーツク海沿岸域における *Pseudocalanus newmani* の個体群動態

1. 背景

Pseudocalanus 属は北半球の寒帯から温帯の沿岸域に分布する小型のカラス目カイアシ類で、沿岸域における動物プランクトン群集中で優占することがあり、基礎生産者の栄養とエネルギーを高次生産者に伝える重要な役割を果たしていると考えられている (Corkett & McLaren 1978)。現在、世界の海洋において *Pseudocalanus* 属には7種が存在することが報告されており (Frost 1989)、種毎に分布域、生産速度および季節消長が異なることが明らかにされてきた (McLaren et al. 1989; Bucklin et al 1998; Napp et al. 2005)。日本の周辺海域には *P. newmani* と *P. minutus* が分布することが知られており (Mori 1964; Frost 1989; Yamaguchi et al. 1998)。*P. newmani* は *Pseudocalanus* 属のうち、北半球で最も南に分布することができる亜寒帯・温帯性種であり (Frost 1989; Hopcroft & Kosobokova 2009)、主に水深 100 m 以浅の浅海域に分布する (Sazhin & Vinogradov 1979; 山口・志賀 1997; Yamaguchi et al. 1998)。

能取湖および道東オホーツク海沿岸域における *P. newmani* はカイアシ類群集の中で季節的に優占種となる (第1章; 第2-1章; Asami et al. 2005; Asami et al. 2007; Asami et al. 2010a)。特に、*P. newmani* は低温低塩分の特徴を持つ東樺太海流系の水塊が分布する期間に高密度となることが明らかとなった (第1章; 第2-1章)。一方、*P. newmani* は噴火湾においてスケトウダラの主要な餌生物である (Kamba 1977; Nakatani 1988)。また、オホーツク海沿岸域においてはサケ稚魚の重要な餌生物である (Asami et al. 2005; Asami et al. 2007; Asami et al. 2010a)。そのため、*P. newmani* は、当該海域の海洋生態系における鍵種 (key species) としての役割を担っていると考えられる。季節的氷域のカナダ北東部の Hudson 湾やオホーツク海に面する海跡湖のサロマ湖では、*P. newmani* と *P.*

minutus から成る *Pseudocalanus* 属カイアシ類は、海氷下部で繁茂するアイスアルジーあるいは海氷下水柱の植物プランクトンを積極的に摂食し (Runge et al. 1991; Hattori & Saito 1994)、その摂食は海氷融解後の *P. newmani* の個体群増大の要因となることが指摘されている (Runge et al. 1991)。これらの研究は、海氷の生成によるアイスアルジーおよび植物プランクトンの増殖が、*P. newmani* の個体群動態に影響を与えることを示唆している。季節的な海氷形成が起こる当該海域における *P. newmani* の個体群動態を理解するには、結氷期を含めて周年にわたって *P. newmani* の動態を把握する必要がある。そこで、本章では、当該海域における *P. newmani* 個体群の動態とその変動メカニズムを明らかにするために、第 2 章 1 節で得られたサンプルを用いて各成長段階の動態と環境要因の関係性を明らかにすることを目的とした。

2. 材料および方法

2-1. 水理環境の観測および Chl.*a* 濃度の測定

本研究で解析に用いた試料は、能取湖内の St. A では 2014 年 2 月から 2015 年 12 月、能取湖外の St. B では 2014 年および 2015 年の非結氷期 (4 月から 12 月) に行われた調査によって採集されたものである (詳しくは第 2 章 1 節を参照)。水温および塩分については、能取湖内では Compact CTD (ASTD103、JFE アドバンテック社製)、能取湖外では、Compact STD (アレック電子社製) を用いて、海表面から近底層まで測定した。Chl.*a* 濃度測定用の試水は、能取湖内では 5 層から、能取湖外では 6 層からそれぞれ 6 L バンドーン採水器を用いて採取した。採取した試水を孔径 10 μm および 2 μm のメンブレンフィルター (Whatman 社製) ならびにガラス繊維フィルター (GF/F、Whatman 社製) で濾過し、N, N'-ジメチルホルムアミド (DMF) で光合成色素を抽出後、蛍光光度計 (Model 10-AU、ターナーデザイン社製) を用いて蛍光法 (Welschmeyer 1994) により Chl.*a* 濃度 ($\mu\text{g/L}$)

を測定した。能取湖内の結氷期における氷柱の Chl.*a* 濃度は、アイスオーガによって採集された直径 7 cm の氷柱の海氷下部から厚さ 5 cm について、海氷を融解させた後、Chl.*a* 濃度を測定した。本研究では、各サイズの Chl.*a* 濃度を合計して総 Chl.*a* 濃度を算出し、氷柱積算平均として表した。本論では、2014 年および 2015 年の各月の平均値を算出し、2 年間の平均値として解析に用いた。

2-2. *Pseudocalanus newmani* の採集および分析

解析に用いた *Pseudocalanus newmani* 試料は、目合 100 μm の NORPAC net (口径 0.45 m、側長 1.8 m) を用いて能取湖内では水深 15 m から、能取湖外では水深 50 m から鉛直曳で採集されたものであった (詳しくは第 2 章 1 節を参照)。採集試料は中和したホルマリンで最終濃度が 5% になるように固定した。固定した試料は、カイアシ類が 200 個体以上になるように密度に応じて元田式分割器で 1/2 から 1/32 に分割した。分割した試料は実体顕微鏡下で *P. newmani* のコペポダイト期について、大塚・上田 (1997) に従って種同定を行い、成長段階毎に個体数を計数した。コペポダイト 6 期雌については、抱卵個体の有無と前体部長 (Prosoma length; PL) を測定した。なお、コペポダイト 3 期以下の個体は *P. newmani* と *P. minutus* の種判別が困難であったため、*Pseudocalanus* 属として計数した。しかし、*P. minutus* は 38.0 ind./ m^3 以下とわずかにしか出現しなかったことから、コペポダイト 3 期以下の *Pseudocalanus* 属については、*P. newmani* として解析した。

各成長段階の *P. newmani* の氷柱平均の個体数密度 (Abundance: ind./ m^3) は以下の式を用いて算出した。

$$\text{Abundance} = n / (\pi * r^2 * L * t / T) / p$$

ここで、 n は計数値、 r はネット半径 (m)、 L は曳網距離 (m)、 t は曳網時の濾水計回転数、 T は校正時の濾水計回転数、 p は分割率とした。能取湖の結氷期間には、目合 100 μm のリングネット (口径 0.3 m、側長 1 m) を用いて、水深 15 m から鉛直曳により採集した。リ

ングネットによる採集においては、曳網中に海水を 100%濾水したと仮定して ($\theta T=1$)、前述の式から各成長段階の *P. newmani* の個体数密度を求めた。そして、求められた密度データを用いて、2014 年および 2015 年の平均値を毎月ごとに算出し、2 年の平均値として解析に用いた。

各成長段階の個体数密度およびコペポダイト 6 期の PL の季節変動の有無を判断するために、まず、各群のデータについて正規性および等分散性を検定した。正規性については Kolmogorov-Smirnov 検定で判定し、等分散性については Bartlett 検定を用いた。正規性および等分散性を確認できたものについては、一元配置分散分析 (ANOVA test) を行い、正規性および等分散性のどちらかでも確認できなかった場合は、Kruskal-Wallis test を用いた。成長段階組成の季節変動の有無については、カイ 2 乗検定 (Chi-squared test) を用いた。これらの検定には、統計処理ソフトエクセル統計 (BellCurve 社) を用いた。なお、全ての検定の有意水準は 5%とした。

3. 結果

3-1. 個体数密度の季節変動

能取湖内におけるコペポダイト 6 期雌 (以下 C6 期雌) の平均個体数密度は有意な季節変動を示した (Kruskal-Wallis test, $p<0.05$) (Fig. 36)。C6 期雌は結氷期間中の 2 月に 1869.4 ind./m³ の最高密度を示し、6 月にも 1364.1 ind./m³ の極大を示した。C6 期雌は 9 月から 10 月には出現しなかったが、11 月から再び出現が認められ、12 月の平均個体数密度は 414.3 ind./m³ に増加した。また、2 月から 7 月および 12 月に抱卵個体が出現した。能取湖外における C6 期雌は 5 月に 988.0 ind./m³ の極大を示した。その後 C6 期雌は 8 月から 10 月に 100 ind./m³ にまで減少したが、検出限界以下にはならなかった。能取湖外においては、抱卵個体は 4 月から 6 月に出現した。

能取湖内におけるコペポダイト 6 期雄（以下 C6 期雄）の平均個体数密度は有意な季節変動を示した（Kuraskal-Wallis test、 $p<0.05$ ）（Fig. 37）。C6 期雄は 2 月に 1324.5 ind./m³ の最大密度を示した。その後、平均個体数密度は、3 月には 353.6 ind./m³ に急減したが、4 月および 5 月には 1262.2 ind./m³ および 1244.4 ind./m³ にまで増加した。C6 期雄は 8 月から 10 月には 63.4 ind./m³ 以下に平均密度を減少させたが、平均密度は 11 月以降増加し、12 月には 662.2 ind./m³ にまで増加した。能取湖外の C6 期雄は 5 月に 552.0 ind./m³ の高密度を示し、7 月にも 381.0 ind./m³ の極大を示した（Fig. 37）。その後、C6 期雄の平均個体数密度は 8 月から 10 月には 34.2 ind./m³ 以下に減少したが、12 月には 213.6 ind./m³ に増加した。

能取湖内におけるコペポダイト 5 期（以下 C5 期）の平均個体数密度は有意な季節変動を示した（Kuraskal-Wallis test、 $p<0.05$ ）（Fig. 38）。C5 期の平均個体数密度は、2 月に 624.4 ind./m³ を記録したが、3 月には 153.1 ind./m³ に減少した。平均個体数密度は 4 月から 6 月には 699.6 ind./m³ から 978.6 ind./m³ の範囲で変動した。その後、C5 期は個体数密度を減少させ、10 月には 26.8 ind./m³ にまで減少した。C5 期は 11 月以降出現し、密度は 506.0 ind./m³ にまで増加した。能取湖外における C5 期の平均個体数密度は 4 月から 5 月には 59.0 ind./m³ 以下であったが、7 月には 381.0 ind./m³ に増加した（Fig. 38）。その後、C5 期の平均個体数密度は減少し、9 月に 33.7 ind./m³ にまで減少した。平均密度は 9 月以降わずかながら増加する傾向を示した。

能取湖内におけるコペポダイト 4 期（以下 C4 期）の平均個体数密度は有意な季節変動を示した（Kuraskal-Wallis test、 $p<0.05$ ）（Fig. 39）。C4 期の平均個体数密度は 2 月に 269.0 ind./m³ であったが、3 月には 67.1 ind./m³ にまで減少した。その後、平均個体数密度は増加し、5 月に最大密度 547.6 ind./m³ に達した。平均個体数密度は 5 月以降減少傾向を示し、10 月には 63.9 ind./m³ の最小密度を示した。しかし、C4 期は 11 月に個体数密度を 386.0 ind./m³ にまで増加させ、12 月も同程度の密度（377.5 ind./m³）を維持した。能取湖外にお

ける C4 期の平均個体数密度は 5 月および 7 月にそれぞれ 147.6 ind./m³ および 419.5 ind./m³ の極大を示した (Fig. 39)。平均個体数密度は 7 月以降減少し、9 月から 11 月には 31.0 ind./m³ 以下であったが、12 月には 213.6 ind./m³ に増加した。

能取湖内におけるコペポダイト 3 期 (以下 C3 期) の平均個体数密度は有意な季節変動を示した (Kuraskal-Wallis test, $p<0.05$) (Fig. 40)。C3 期の平均個体数密度は、結氷期の 2 月から 3 月には 63.1 ind./m³ 以下であったが、3 月以降増加傾向となり、5 月には 319.5 ind./m³ の極大を示した。平均個体数密度は 6 月に 95.9 ind./m³ にまで減少したが、7 月には 300.4 ind./m³ に増加した。その後、C3 期は平均個体数密度を減少させ、10 月には 33.5 ind./m³ の最低密度を示した。しかし、平均個体数密度は 11 月に 396.5 ind./m³ にまで急激に増加し、12 月にも 218.4 ind./m³ の比較的高密度を維持した。能取湖外における C3 期の平均個体数密度は、5 月および 7 月にそれぞれ 212.5 ind./m³ および 475.7 ind./m³ の極大を示したが、5 月と 7 月を除くと 94.0 ind./m³ 以下の低密度であった (Fig. 40)。

能取湖におけるコペポダイト 2 期 (以下 C2 期) の平均個体数密度は、4 月に 380.5 ind./m³、7 月に 325.5 ind./m³ および 11 月に 365.7 ind./m³ の極大を示した (Fig. 41)。能取湖外における C2 期の平均個体数密度は 5 月および 7 月にそれぞれ 462.3 ind./m³ および 458.7 ind./m³ の極大を示した (Fig. 41)。

能取湖におけるコペポダイト 1 期 (以下 C1 期) の平均個体数密度は、周年を通して 175.5 ind./m³ 以下であった (Fig. 42)。能取湖外における C1 期の平均個体数密度は 5 月に 1694.9 ind./m³ の最大値を記録した (Fig. 42)。しかし、平均個体数密度は 8 月から 11 月には 56.1 ind./m³ 以下の低密度であった。

3-2. 成長段階組成の季節変動

能取湖における *Pseudocalanus newmani* の成長段階組成は有意な季節変動が認められ (Chi-squared test, $p<0.05$)、2 月から 6 月にかけては C6 期 (雄および雌の合計) が個体

群中の 55.9%から 75.2%を占めた (Fig. 43)。しかし、C6 期の個体群中に占める割合は 8 月から 10 月には 1.8%から 6.4%に減少した。C4 期以下の成長段階の低い個体の割合は、2 月から 6 月には 10.1%から 27.1%であったが、8 月から 10 月には 68.3%から 85.6%に増加した。11 月以降、再び C6 期の割合が増加し、12 月には個体群の 46.8%を占めた。一方 C4 期以下の個体の割合は、11 月には 55.7%、12 月には 31.9%にまで減少した。

能取湖外における *P. newmani* の成長段階組成は有意な季節変動が認められた (Chi-squared test、 $p<0.05$) (Fig. 44)。4 月から 5 月には、C6 期 (雄および雌の合計) および C1 期の割合は同程度であり、C6 期は 37.3%から 47.1%で、C1 期は 41.1%から 45.1%であった。6 月には C6 期の割合は 81.6%にまで増加したが、その後割合は減少し、8 月には 8.5%にまで減少した。一方、C4 期以下の個体の割合は、6 月には 7.4%であったが、7 月から 9 月には 58.6%から 69.3%に増加した。C6 期の割合は 8 月以降増加し、11 月には C6 期が個体群の 60.9%を占めた。C4 期以下の個体の割合は、9 月以降減少し、11 月には 13.0%にまで減少したが、12 月には再び 64.0%にまで増加した。

3-3. コペポダイト 6 期雌の前体部長の季節変動

能取湖内における *P. newmani* の C6 期雌の平均前体部長 (Prosome length: PL) は有意な季節変動が認められた (Kuraskal-Wallis test、 $p<0.05$) (Fig. 45)。C6 期雌の平均 PL は、2 月の 0.88 mm から 4 月の 1.00 mm に増加した。その後、平均 PL は減少傾向を示し、8 月には 0.67 mm まで減少した。平均 PL は 11 月と 12 月には 0.80 mm にまで増加した。

能取湖外における *P. newmani* の C6 期雌の平均 PL も有意な季節変動が認められた (Kuraskal-Wallis test、 $p<0.05$) (Fig. 45)。能取湖外においても能取湖と同様に平均 PL は、4 月の 0.94 mm から 9 月の 0.60 mm まで減少傾向を示した。その後平均 PL は増加傾向を示し、11 月および 12 月には 0.84 mm にまで増加した。

4. 考察

本研究は、季節的に海水が形成されるオホーツク海南西海域において、周年に亘るカラス目カイアシ類 *Pseudocalanus newmani* の個体群動態と環境要因との関係性を発育段階毎に明らかにした初めての報告である。*P. newmani* は北半球の極域—温帯域に分布する冷水性の小型のカイアシ類である (Frost 1989; McLaren et al. 1989)。日本周辺海域に出現する *P. newmani* は、水温 15°C 以下の親潮系水期に出現することが報告されている (山口・志賀 1997; Yamaguchi et al. 1998; Arima et al. 2014a)。4 月から 8 月にかけてオホーツク海沿岸域で行われた研究では、沿岸域の測点で高温高塩分の宗谷暖流系水が分布する時期には *P. newmani* の現存量は少なく、低温低塩分の水塊が分布する測点で現存量が高くなると報告されている (Asami et al. 2005; Asami et al. 2007; Asami et al. 2010a)。本論文の第 1 章で行った 4 月から 12 月の非結氷期における能取湖の研究では、東樺太海流系水の分布と *P. newmani* が出現する時期が一致し、夏季の高水温期には出現しないことが明らかとなった (第 1 章)。しかし、使用したプランクトンネットの目合が 330 μm であり、*P. newmani* のサイズに対して大きかったため、未成体 (C5 期以下) のみならず成体 (C6 期) の現存量が過小評価していたことは否定できない。本研究において、未成体を含めた *P. newmani* は、東樺太海流系水が分布する 12 月から 6 月 (Fig. 29) に個体数密度は高いが、宗谷暖流系水が分布する 8 月から 10 月 (Fig. 29) にも出現が認められた。発育ステージ毎に個体群動態を解析した時、*P. newmani* 成体 (C6 期雄および雌の合計) は、能取湖内および能取湖外において 7 月から 10 月にかけて 35.7 ind./m³ 以下の低密度であった。*P. newmani* は北海道恵山沖において、15°C を超える水温では、成長および生存することが難しいと思われる (山口・志賀 1997)。オホーツク海沿岸域も夏季には水温が 15°C を超えるが、恵山沖の夏季の Chl.*a* 濃度 (1 $\mu\text{g/L}$) に比べ (山口・志賀 1997)、当該海域の Chl.*a* 濃度 (2 $\mu\text{g/L}$) が高いことや (Fig. 18)、低層では水温が 15°C 以下になることから (Fig. 16)、低密度にはなるものの *P. newmani* が周年出現したと考えられる。夏季の成長段階の低い未

成体の平均個体数密度の減少は成体よりも緩やかであった。また、C4 期以下の未成体の個体群中の割合が成体よりも高かった。これらのことから、未成体は成体よりも温度耐性が高い可能性が示された。東樺太海流系水が勢力を増し始めた 11 月以降 (Figs. 16, 17)、成体の個体数密度が増加した。これらの結果は、東樺太海流系水が能取湖に流入することによって、*P. newmani* が能取湖内に移入する可能性を示すものである。

P. newmani は、高水温期や餌不足等の生息環境が不適な時に、成長停滞やサイズの減少が生じると報告されている (McLaren et al. 1989; 山口・志賀 1997; Yamaguchi et al. 1998; Arima et al. 2014a)。本研究では、能取湖内および能取湖外の *P. newmani* C6 期雌の PL が、春季から秋季にかけて減少する傾向がみられた。これらの結果は、春季から秋季にかけて能取湖内外の *P. newmani* C6 期雌の生息環境が不適な環境へ変化したことを意味する。能取湖内では、Chl.*a* 濃度は通年を通じて 2 µg/L 以上で分布し、結氷期にはアイスアルジーと思われる海水下部の Chl.*a* 濃度の極大 (20 µg/L) が認められた (Fig. 19)。一方、能取湖外では、8 月から 12 月に Chl.*a* 濃度は 1 µg/L 以下に減少した (Fig. 18)。このように、能取湖内と能取湖外では餌料環境が異なると思われるが、どちらにおいても C6 期雌は個体数密度および PL 共に春季から夏季にかけて減少した。両観測地点とも、夏季には水温が分布限界水温の 15°C (山口・志賀 1997) を超えることから、*P. newmani* のサイズの減少は、春季から夏季にかけての水温の上昇によって引き起こされたと思われる。代謝活性は生息水温の上昇とともに増加する (McLaren et al. 1989)。しかし、夏季の Chl.*a* 濃度は、冬および春季に比べて低くかった (Fig. 18)。すなわち、高水温環境における餌不足は、*P. newmani* の純生産量を低下させることになり、成長速度が低下して小型化し、最終的には飢餓状態となり生存することができなくなるのであろう。また、夏季および秋季に減少した PL は、冬季に再び増加した。水温および餌料環境が再び好適な環境となったために、体サイズの増加がみられたのだと思われる。南西部オホーツク海沿岸域における *P. newmani* の現存量および体サイズは、宗谷暖流系水と東樺太海流系水の季節的水塊交替の

直接的な水温の影響だけではなく、それによって引き起こされる植物プランクトンの消長のような間接的な影響も受けるのかもしれない。

本研究では、水温が 0°C を下回る環境の結氷期（2 月から 3 月）（Fig. 16）にも *P. newmani* 成体が高密度で出現した。また、結氷期間中の C6 期雌個体において、抱卵している個体を観察した。Canadian Arctic Archipelago や西部北大西洋沿岸域および南西部オホーツク海沿岸域の海水下において *P. newmani* を含むと思われる *Pseudocalanus* 属は、水柱中の植物プランクトンや海水下部に繁茂するアイスアルジーを活発に摂食すると報告されている（Conover et al. 1986; Runge et al. 1991; Hattori & Saito 1997）。本研究における結氷期間（2 月から 3 月）の水柱の Chl. *a* 濃度は 2.9 µg/L 以下であった（Fig. 18）。一方、結氷期間中のアイスアルジーと思われる海水柱下部の Chl. *a* 濃度は 12.9 µg/L であった（Fig. 19）。しかし、カナダの Hudson 湾結氷期において、アイスアルジーおよび海水直下の Chl. *a* 濃度が本研究と同程度あったにもかかわらず、海水下における *P. newmani* の現存量は低密度であった（Runge et al. 1991）。Hudson 湾では、結氷期間中 *P. minutus* の現存量が *P. newmani* より高かった。おそらく、より低温に適している *P. minutus* が、*P. newmani* よりも速く増殖することができたのであろう。本研究では、結氷期間中 *P. newmani* はカイアシ類群集中で 67% から 93% で優占した。*P. newmani* の成長速度は水温の低下に伴って減少することが報告されている（McLaren et al. 1989; Lee et al. 2003）。しかし、本研究で認められた能取湖内の結氷期における C6 期雌の極大は、豊富なアイスアルジーあるいは海水下水柱の植物プランクトンまたはその両方を利用して現存量が増加したものと思われた。

P. newmani は西部北太平洋沿岸域および西部北大西洋において年 3 回から 4 回の世代交代を行うと報告されている（McLaren et al. 1989; 山口・志賀 1997）。また、西部北大西洋沿岸域における *P. newmani* は、平均水温が 5°C の時に世代時間は 57 日、平均水温が 7.2°C の時には世代時間が 43 日と、水温の上昇に伴って世代時間が短くなる（McLaren et al. 1989）。一方、低水温環境では再生産速度が低下することが報告されている（Corkett &

McLaren 1978)。道東オホーツク海沿岸域の能取湖内および能取湖外で行った本研究では、2月から6月および12月にかけて抱卵したC6期雌が出現した。一方、7月から11月には抱卵個体は出現せず、C6期雌は低密度であった。能取湖内の水理環境は、7月から11月には宗谷暖流の影響を受け水温が高く、かつChl.*a*濃度が低かった (Figs. 16, 18)。能取湖内におけるこのような高水温低Chl.*a*環境が*P. newmani*の成長および卵生産に影響を与えている可能性が考えられる。*P. newmani*は、現段階で休眠卵を形成するという報告例はない。既報研究の水温と世代時間の関係を考慮すると、能取湖内において7月から11月に世代交代が行われ、8月から9月に抱卵個体もしくは雌成体の極大が確認される可能性が予想される。しかし、能取湖内の7月から11月には、C6期雌の極大および抱卵個体は出現しなかった。当該海域における*P. newmani*は、7月から11月にかけてより深層の低水温環境である沖合側に移動したか、死滅した可能性がある。初冬期(11月および12月)に出現する*P. newmani* 個体群は、東樺太海流により運び込まれていると考えられ、12月から6月にかけて当該海域で世代交代が行われていると考えられる。

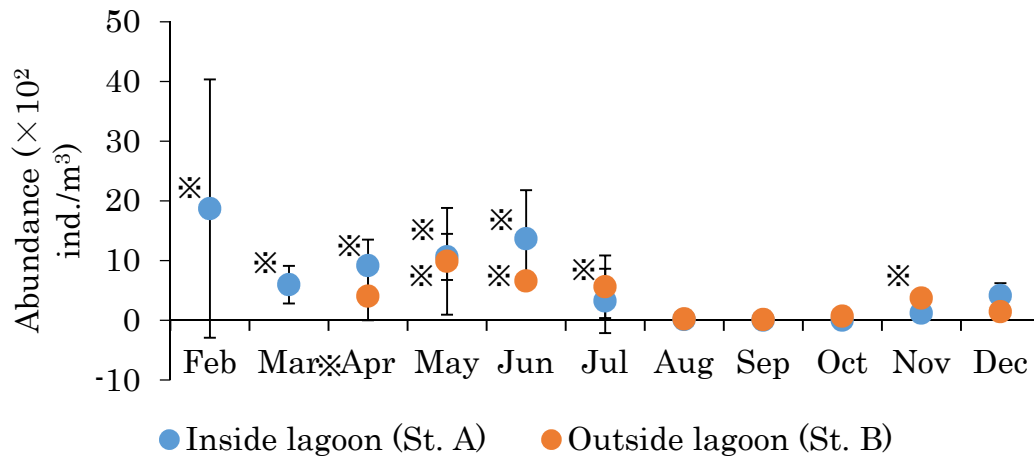


Fig. 36. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Pseudocalanus newmani* copepodite stage 6 female at inside (St. A) and outside (St. B) Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations. ※ mean hatching eggs.

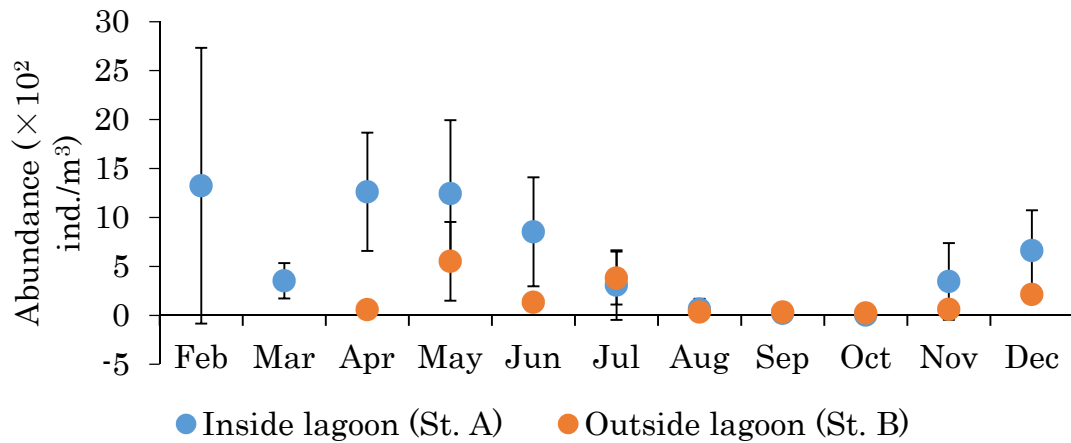


Fig. 37. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Pseudocalanus newmani* copepodite stage 6 male at inside (St. A) and outside (St. B) Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

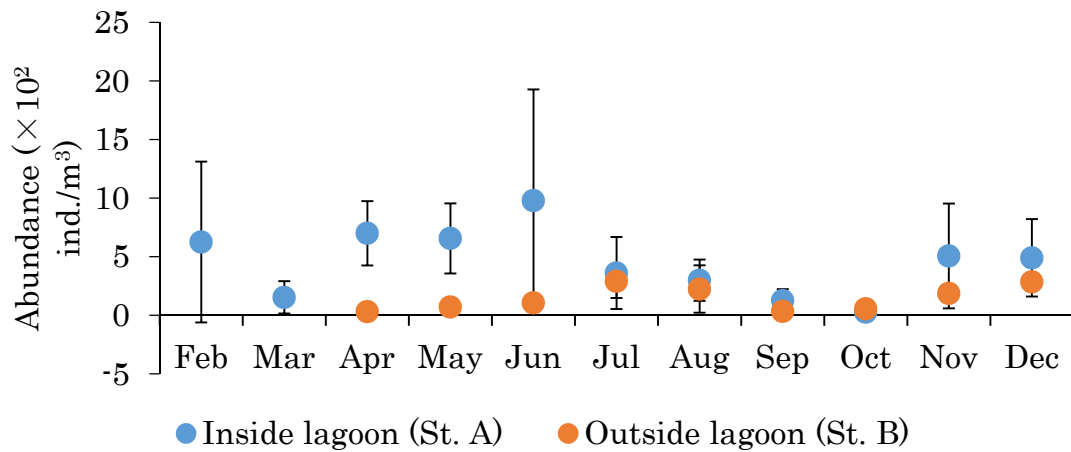


Fig. 38. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Pseudocalanus newmani* copepodite stage 5 at inside (St. A) and outside (St. B) Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

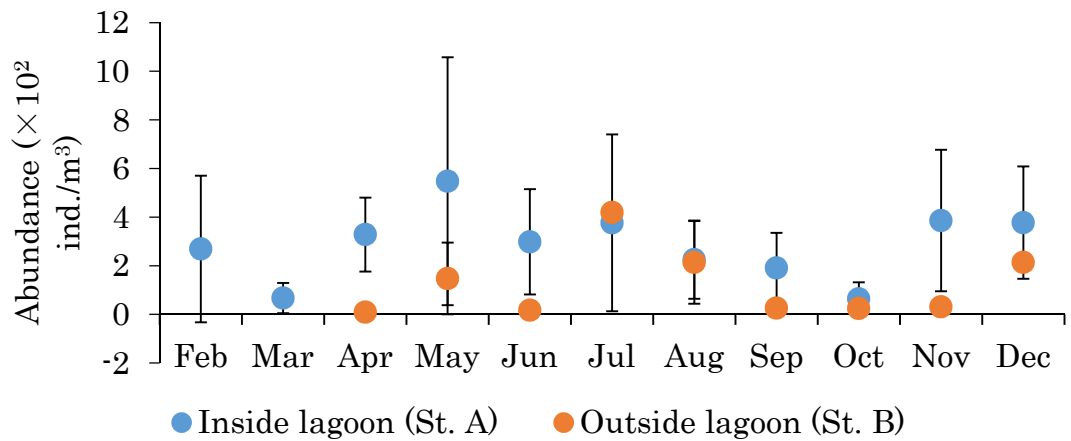


Fig. 39. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Pseudocalanus newmani* copepodite stage 4 at inside (St. A) and outside (St. B) Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

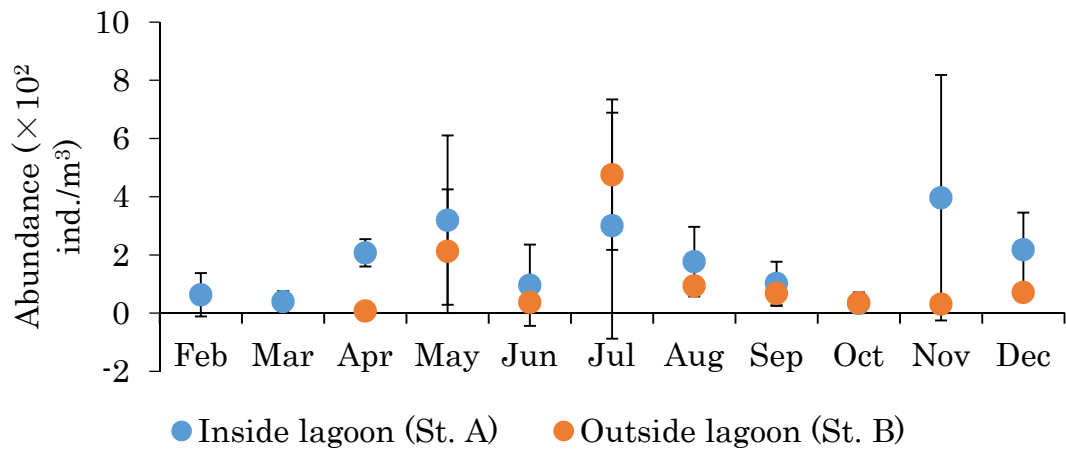


Fig. 40. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Pseudocalanus newmani* copepodite stage 3 at inside (St. A) and outside (St. B) Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

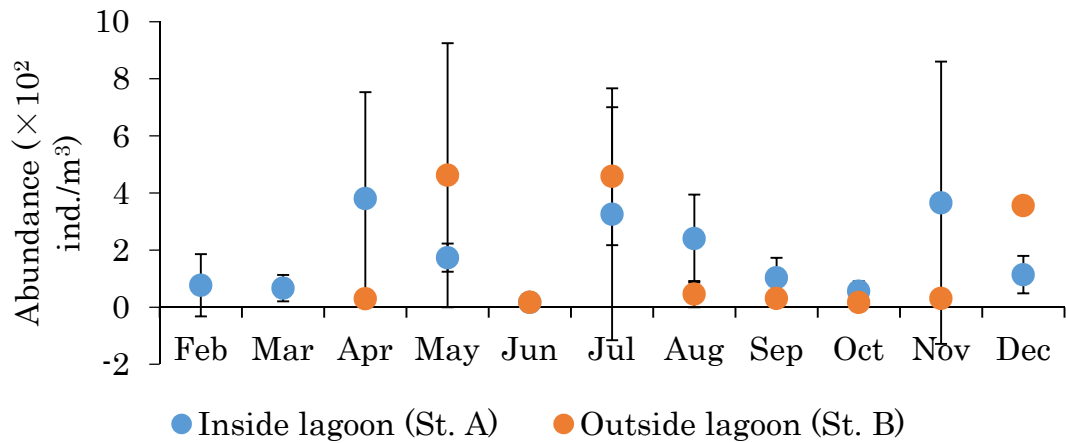


Fig. 41. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Pseudocalanus newmani* copepodite stage 2 at inside (St. A) and outside (St. B) Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

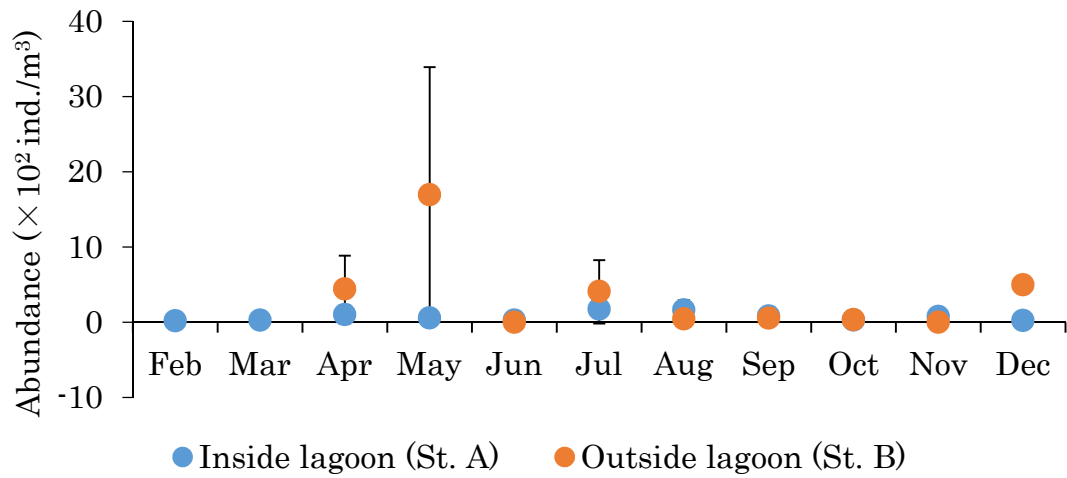


Fig. 42. Seasonal changes in averaged abundance (ind./m³) of *Pseudocalanus newmani* copepodite stage 1 at inside (St. A) and outside (St. B) Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

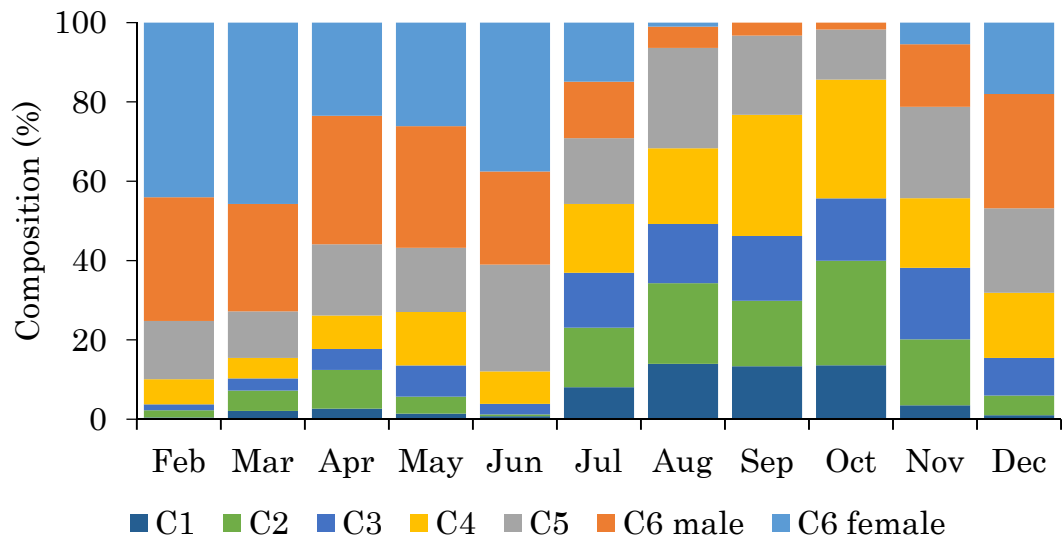


Fig. 43. Seasonal changes in composition (%) of each development stage of *Pseudocalanus newmani* at inside Lagoon Notoro-ko (St. A) from 2014 to 2015.

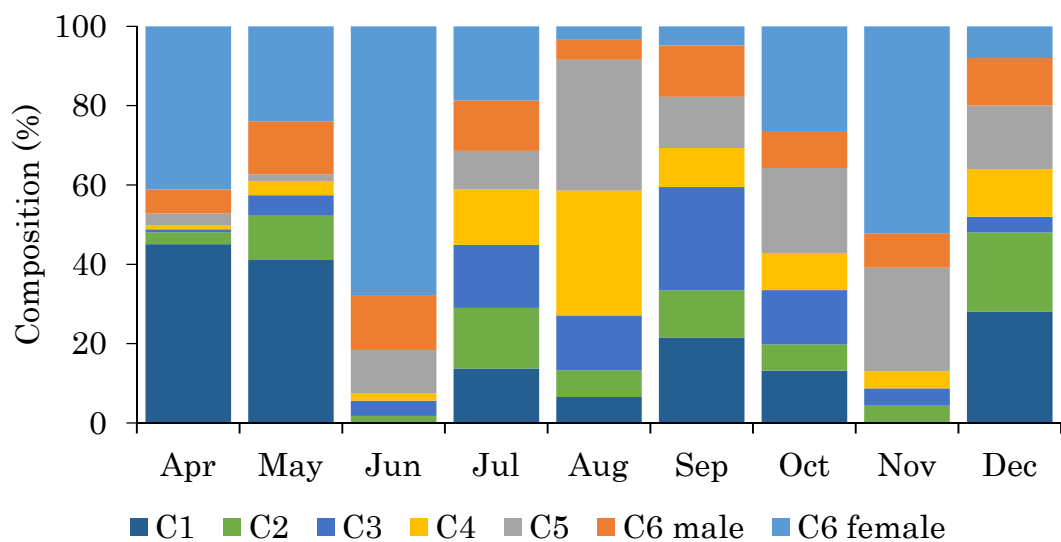


Fig. 44. Seasonal changes in composition (%) of each development stage of *Pseudocalanus newmani* at outside Lagoon Notoro-ko (St. B) from 2014 to 2015.

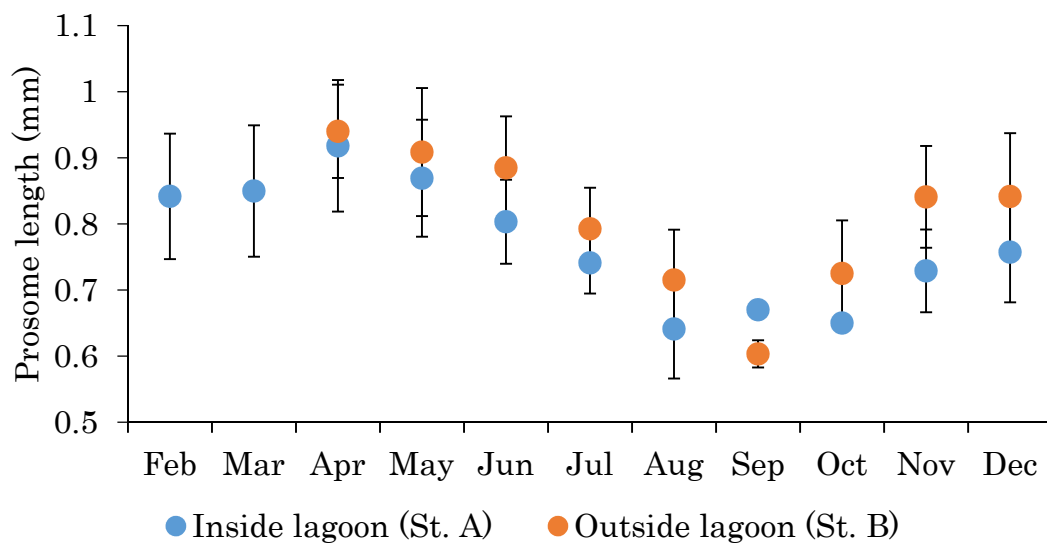


Fig. 45. Seasonal changes in averaged prosome length (mm) of *Pseudocalanus newmani* copepodite stage 6 female at inside (St. A) and outside (St. B) Lagoon Notoro-ko from 2014 to 2015. Vertical bars indicate standard deviations.

第3章. 能取湖におけるカイアシ類の鉛直分布の時間変動と潮位変動の関係

1. 背景

潮汐は、河口域や内湾域の物理学的・化学的要因に影響するだけでなく（宇野木 1984）、プランクトン群集構造にも影響することが知られており（Devreker et al. 2008; Ganon & Lacroix 1981; Krumme & Liang 2004; Zamorano et al. 1991）、プランクトン群集の変動を通して、魚類および底生生物に大きな影響を与える可能性がある（Alldredge 1980）。能取湖の湖水は河川水の影響が少なく、主に潮汐によって道東オホーツク海沿岸域の水塊と交換されると考えられている（Nishino et al. 2016; 西野ら 2014a; 西野ら 2014b）。本論文において能取湖と道東オホーツク海沿岸域の海洋環境を比較した結果、両定点では夏季には宗谷暖流系、冬季には東樺太海流系の水塊が分布するという季節変動を示した（第2章1節）。この結果は、能取湖内の水塊がオホーツク海沿岸域から流入していることを意味し、潮汐による海水交換が起こっていることを示唆している。能取湖と道東オホーツク海沿岸域との海水交換量は小潮時で $3.8 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{day}$ 、大潮時では $7.2 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{day}$ が交換されると見積もられている（北海道栽培漁業振興公社 2004）。能取湖の貯水量は 0.5 km^3 と報告されており（北海道栽培漁業振興公社 2011）、能取湖の海水は一日当たり 7.6% から 14.4% 交換されることになる。能取湖のように湖口が狭い海峡の場合、湖内に流入する水塊の先端部には潮汐旋流（tidal vortex）が形成され、湖全体に潮汐残差流（tidal plume）として広がる（Kasiwai 1985; 宇野木 1993）。潮汐残差流は、三河湾や東京湾において大潮で大きく、小潮で小さいことや、表層で強く、下層で弱い傾向がみられる（宇野木 1984）。能取湖でも時計回りの還流が観測されており（山本ら 2009）、能取湖にも潮位変動によって潮汐残差流が形成される可能性がある。このように能取湖内の水塊は、潮汐変動によるオホーツク海沿岸域と海水交換による影響が大きいと考えられる。また、能取湖の湖水の流動には潮汐に加えて、風向きや風速も影響する。能取湖の夏季に発生する貧酸素水塊は南風

や強い北風により、貧酸素水塊が移動することが報告されている（山本ら 2009）。このように能取湖の湖水は潮汐や風の影響によりオホーツク海沿岸域の外海水と交換されることが考えられる。

遊泳能力が乏しいプランクトン群集は、水塊の交換に伴って、道東オホーツク海沿岸域の群集と交換されていると考えられる。しかし、動物プランクトンは密度躍層や Chl.*a* 濃度の海洋環境や摂食リズムにより、分布深度を選択することが知られている（Furuhashi 1953; 関・清水 1997; Nakagawa et al. 2003）。カイアシ類も鉛直的に分布深度を選択することが報告されている（Hattori & Saito 1994; Yamazi 1953; Nishimura 1957; 高橋・平川 2001; Yoshida et al. 2004; 澤田・坂本 1993; 澤田ら 1994; Itoh et al. 2011）。能取湖において冬季に優占する *Pseudocalanus newmani*（第 2 章 1 節）は、サロマ湖において日中は底層に分布し、夜間には表層に分布する、いわゆる日周鉛直移動を示す（Hattori & Saito 1994）。また、噴火湾における *P. newmani* は、分布限界水温を上回る水温 15℃以上の津軽暖流系水が分布する 8 月から 11 月の表層には分布せず、主に 15℃以下の低温の水深 100 m 層に分布した（山口・志賀 1997）。能取湖の湖口の水深は約 13 m である。オホーツク海沿岸域から湖内に流入してくるのは湖外の表層に分布していた海水であろうと考えられる。これは、オホーツク海沿岸域と交換されるカイアシ類は、表層に分布していたカイアシ類であることを意味する。すなわち、能取湖内のカイアシ類群集は、能取湖内やオホーツク海沿岸域における鉛直分布と海水交換のタイミングと密接な関係があると考えられる。

河口域におけるカイアシ類の個体群の個体数密度、種多様性、種組成、乾重量を推定するには、潮汐による日周期の変動を明らかにする必要がある（Lee & McAlice 1979b）。能取湖およびオホーツク海沿岸域におけるカイアシ類は季節的に群集構造が変化することが明らかとなった（第 2 章 1 節）。しかし、前章で行った調査は、潮汐周期を考慮していなかった。カイアシ類の個体群動態の変動メカニズムを明らかにするには、潮汐等の日周期レベルの変動要因による影響を明らかにしなければならない。そこで、本章では、能取湖に

おけるカイアシ類群集が潮汐からどのような影響を受けているか明らかにするために、季節的優占種の鉛直分布の時間変動と潮位変動との関係性を検討した。

2. 材料および方法

2-1. 調査概要

調査は能取湖の最深部に設けた定点 St. A ($44^{\circ} 03' 02.1''$ N、 $144^{\circ} 09' 38.8''$ E) において、2015 年 11 月 3 日 9:00 から 2015 年 11 月 4 日 9:00、2016 年 5 月 21 日 9:00 から 2016 年 5 月 22 日 9:00 まで行った。調査は、東京農業大学オホーツク臨海研究センター所属の調査船「かいよう 2」を利用して実施した。調査期間の気象ならびに潮汐については気象庁データベース (<http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=AS>) 中の網走市の気象および潮位データを用いた。

2-2. 水理環境および Chl.*a* 濃度の測定

水温、塩分および蛍光値については Compact CTD (ASTD103、JFE アドバンテック社製) を用いて、3 時間毎に海表面から近底層まで 0.1 m 間隔で測定を行った。得られたデータの内、0.5 m から 19.3 m までを解析に用いた。また、2015 年 11 月 3 日 9:00 および 2016 年 5 月 21 日 9:00 に 0m、5m、10m、15m、18m から 6 L バンドーン採水器を用いて Chl.*a* 濃度測定用試水を採取した。採取した 500 mL を孔径 10 μ m および 2 μ m のメンブレンフィルター (Whatman 社製) ならびにガラス繊維フィルター (GF/F、Whatman 社製) で濾過した。各フィルターは N, N-ジメチルホルムアミド (DMF) を 7 mL 入れた 8 mL の平底自立型チューブ (ザルスタット社製) に移し、光合成色素を抽出後、蛍光光度計 (Model 10-AU、ターナーデザイン社製) を用いて蛍光法 (Welschmeyer 1994) により蛍光値を測定し、以下の式から Chl.*a* 濃度 (μ g/L) を算出した。

$$\text{Chl.}a = F_0 * v / V$$

ここで、 F_0 は抽出した Chl.*a* 濃度の蛍光値、 v は抽出に用いた DMF の量 (mL)、 V はろ過した試水量 (mL) とした。本研究では各サイズの Chl.*a* 濃度を合計して各水深の総 Chl.*a* 濃度を算出した。Welschmeyer 法で得られた 5 層の Chl.*a* 濃度と Compact CTD で得られた蛍光値を用いて検量線を作成し、CTD で得られた蛍光値データから Chl.*a* 濃度データを推定した。

2-3. カイアシ類の採集

目合 100 μm の閉鎖式 NORPAC net (閉鎖式北太平洋標準ネット: 口径 0.45 m、側長 1.8 m) を用いて、水深 15 m までの水柱を 3 層 (0-5 m、5-10 m、10-15 m) に分け、それぞれ鉛直曳により 6 時間毎にカイアシ類を採集した。曳網時におけるネットの濾水量を調べるために、ネット口輪に校正済みの濾水計を取り付け、曳網毎に濾水計の値を読み取った。持ち帰った採集試料は四ホウ酸ナトリウムにより中和したホルマリンで最終濃度が 5% になるように固定した。固定した試料は、カイアシ類が 200 個体以上になるように密度に応じて元田式分割器で 1/2 から 1/16 に分割した。分割した試料は実体顕微鏡下 (SZX16-3141、OLYMPUS 社製) でカイアシ類コペポダイト期について、山路 (1966)、大塚・上田 (1997)、Brodskii (1950) ならびに Gardner & Szabo (1982) に従って種同定を行い、種ごとに成長段階を同定し、個体数を計数した。各層におけるカイアシ類の個体数密度 (Abundance: ind./m³) は以下の式を用いて算出した。

$$\text{Abundance} = n / (\pi * r^2 * L * t / T) / p$$

ここで、 n は計数値、 r はネット半径 (m)、 L は曳網距離 (m)、 t は曳網時の濾水計回転数、 T は校正時の濾水計回転数、 p は分割率とした。

各種の成長段階はコペポダイト期 1 期から 3 期を初期ステージ、コペポダイト 4 期から 5 期を後期ステージ、コペポダイト 6 期を成体として解析に用いた。*Pseudocalanus* 属の場合

合は、コペポダイト 3 期以下の個体は *P. newmani* と *P. minutus* との区別が困難であるが、2 章 1 節により、*P. minutus* の出現は通年を通じて 10 ind./m³ 以下だったため、*Pseudocalanus* 属のコペポダイト 3 期以下の個体は *P. newmani* とした。カイアシ類の鉛直分布の時間変動を調べるために、採集時刻ごとに、各層におけるカイアシ類の現存量を水柱全体の個体群の現存量に対する相対値 (%) として表した。*Oithona similis* は成長段階を判別するのが困難であったため、成長段階には分けずに、個体群全体として表現した。また、本章では各層におけるカイアシ類群集組成の時間変動の有無については、カイ 2 乗独立性の検定 (Chi-squared test) を用いて、有意水準を 5% として判定した。

3. 結果

3-1. 気象および潮位

2015 年 11 月 3 日および 4 日の天候は晴れであった (Table 6)。3 日の気温は 3.5°C から 11.5°C の範囲であり、4 日の気温は 2.6°C から 20.4°C の範囲であった。3 日の日没は 16:12 で 4 日の日出は 6:02 であった (Fig. 47)。3 日の風速は 15:00 まで 1.7 m/s から 3.3 m/s で、風向は西から北であった。18:00 と 21:00 は 1.4 m/s 以下で、風向は南西から南であった。4 日の 0:00 からは 3.3 m/s 以上で風向は南西から西南西であった。3 日の瞬間最大風速は 6.9 m で風向は西南西であり、4 日の瞬間最大風速は 13.3 m で、風向は南西であった。

2016 年 5 月 21 日および 22 日の天候は晴れで 21 日の気温は 13.0°C から 22.4°C であった (Table 6)。22 日の気温は 11.2°C から 24.1°C であった。21 日の日没は 18:49 で 22 日の日の出は 3:50 であった。21 日の風速は 1.9 m/s 以下で風向は 9:00 と 12:00 は北東であった。22 日の 0:00 には 3.2 m/s の西南西の風向を記録した。3:00 以降は 1.9 m/s 以下で、風向は 3:00 には南南西、6:00 には南南東、9:00 には北東だった。21 日の最大瞬間風速は 5.4 m で、風向は西であり、22 日の最大瞬間風速は 8.6 m で、風向は北だった。

2015年11月3日から4日における潮位は観測開始時の3日9:00には65 cmであった(Fig. 47)。潮位は9:00以降上昇し、18:35には105 cmの最大潮位に達した。18:35から潮位は低下し始め、4日2:48に41 cmの最小潮位になった。潮位は2:48から再び上昇し、観測終了時の9:00には67 cmであった。

2016年5月21日から22日における潮位は観測開始時の21日9:00には16 cmであった(Fig. 48)。潮位は9:00以降上昇し、15:40には66 cmに達した。その後、19:52に向けて57 cmにまで低下したが、19:52以降に再び上昇し、22日2:17に105 cmの最大潮位達した。潮位は2:17以降低下し、9:00には13 cmであった。

3-2. 水理環境

3-2-1. 2015年

水温は全水深で8.6℃から9.5℃の間で変動した(Fig. 49)。0-5 m層の水温は8.8℃から9.4℃で、10-15 m層は常に9.4℃であった。3日9:00から15:00には0-5 m層の水温は8.6℃から9.2℃であり、10-15 m層の9.4℃とは鉛直的に0.2℃から0.8℃の差がみられた。3日18:00から4日0:00には0-5 m層および10-15 m層の水温は9.3-9.4℃で、鉛直差は小さかった。4日3:00および6:00には0-5 m層の水温が9.2℃に低下し、10-15 m層の9.4℃とは0.2℃の温度差がみられた。24時間の平均水温は10-15 m層が0-5 m層よりも0.2℃高かった(Table 7)。変動係数は0-5 m層において1.9%、10-15 m層において0.7%であった。

塩分は全水深で32.6から32.9の間で変動した(Fig. 49)。0-5 m層の塩分は32.6から32.8であり、10-15 m層の塩分は常に32.9であった。3日15:00の塩分は0-5 m層で32.6であり、10-15 m層の32.9とは0.3の差がみられた。0-5 m層は3日15:00の32.6を除き、32.8であった。24時間の平均塩分でみたとき、0-5 m層の変動係数は0.2%、5-10 m層および10-15 m層は0.1%であった(Table 7)。

Chl.*a* 濃度は全水深で1.1 µg/Lから5.8 µg/Lの間で変動した(Fig. 50)。Chl.*a* 濃度は0-5

m 層では 1.8 µg/L から 2.6 µg/L、10-15 m 層では 1.8 µg/L から 2.6 µg/L であった。24 時間における Chl.*a* 濃度の変動係数は 0-5 m 層では 19.0%、5-10 m 層では 13.0%、10-15 m 層では 18.2%であった (Table 7)。

3-2-2. 2016 年

2016 年 5 月 21 日から 22 日における水温は 6.5°C から 15.0°C の間で変動した (Fig. 51)。0-5 m 層の水温は 9.5°C から 15.0°C であり、10-15 m 層の水温は 7.0°C から 8.4°C であった。21 日 9:00 では、水温は 0-5 m 層では 9.5°C から 13.1°C、10-15 m 層では 7.0°C から 7.7°C であり、0-5 m 層および 10-15 m 層では鉛直的に 6.1°C の差がみられた。0-5 m 層の水温は 21 日 12:00 から 18:00 に 9.8°C から 15.0°C に上昇した。その際、10-15 m 層の水温は 7.2°C から 8.2°C であり、鉛直的に 7.6°C から 8.4°C の差がみられた。21:00 には 0-5 m 層の水温が 10.0°C から 12.8°C に低下し、鉛直差は 6.2°C であった。22 日 0:00 以降、再び 0-5 m 層の水温が上昇し、10.0°C から 14.5°C であった。24 時間の平均水温は 0-5 m 層では 11.5°C、10-15 m 層では 7.6°C であった (Table 7)。変動係数は 0-5 m 層では 3.5%、5-10 m 層では 4.6%、10-15 m 層では 2.2% であった (Table 7)。

塩分は全水深で 31.8 から 32.9 の間で変動した。塩分は 0-5 m 層では 32.0 から 32.5 であり、10-15 m 層では 32.4 から 32.5 であった (Fig. 51)。21 日 21:00 には 0-5 m 層の塩分は 32.2 から 32.4、10-15 m 層では 32.5 であり、0-5 m 層および 10-15 m 層では鉛直的に 0.1 から 0.3 差がみられた。しかし、21 日 21:00 を除くと、0-5 m 層の塩分は 32.0 から 32.1 で、10-15 m 層とは 0.4 から 0.5 の鉛直差がみられた。24 時間の変動係数は 0-5 m 層では 0.4%、10-15 m 層では 0.1% であった (Table 7)。

Chl.*a* 濃度は全水深で 0.5 µg/L から 10.6 µg/L で変動した (Fig. 52)。0-5 m 層は 0.7 µg/L から 1.4 µg/L で、10-15 m 層で 3.2 µg/L から 4.7 µg/L であった。Chl.*a* 濃度の 24 時間の変動係数は 0-5 m 層では 30.3%、10-15 m 層では 16.5% であった (Table 7)。

3-3. カイアシ類群集の個体数密度および組成の時間変動

3-3-1. 2015 年

カイアシ類群集の個体数密度は常に 0-5 m 層で最も密度が高かった (Fig. 53)。0-5 m 層の個体数密度は 3 日 9:00 から 15:00 には 4976.0 ind./m³ から 5066.9 ind./m³ であったが、4 日 3:00 には 2295.6 ind./m³ まで減少した。その後、個体数密度は 4 日 9:00 には 2960.1 ind./m³ に増加した。0-5 m 層のカイアシ類の群集組成は調査期間中、有意に変動した (Chi-squared test、 $p<0.05$)。 *Acartia hudsonica* はカイアシ類群集中の 3 日の 15:00 の 36.0%を除いて、20.0%から 30.0%を占めた (Fig. 54)。 *Clausocalanus pergens* は 15:00 の 28.0%を除いて、34.0%から 43.0%を占めた。 *O. similis* は調査期間を通じて 11.0%から 14.0%を占めた (Fig. 54)。5-10 m 層のカイアシ類個体数密度は 858.8 ind./m³ から 2169.0 ind./m³ の間で変動した (Fig. 53)。5-10 m 層のカイアシ類の群集組成は 24 時間中、有意に変動した (Chi-squared test、 $p<0.05$)。 *A. hudsonica* は 3 日の 9:00 にはカイアシ類群集中の 32.0%を占めたが、15:00 には 10.0%に減少した。21:00 以降は 21.0%から 31.0%であった (Fig. 55)。 *C. pergens* は 3 日の 9:00 には 31.0%であったが、15:00 には 61.0%に増加した。21:00 以降には *C. pergens* の割合は 23.0%から 40.0%だった。 *O. similis* は調査期間を通じて 9.0%から 28.0%を占めた (Fig. 55)。10-15 m 層では、カイアシ類の個体数密度は 677.0 ind./m³ から 1645.0 ind./m³ の間で変動した (Fig. 54)。10-15 m 層のカイアシ類の群集組成は 24 時間中、有意に変動した (Chi-squared test、 $p<0.05$)。 *A. hudsonica* は 3 日の 9:00 から 15:00 は 4.0%から 11.0%だったが、21:00 以降は 17.0%から 33.0%占めた (Fig. 56)。 *C. pergens* は調査期間を通じて 26.8%から 41.0%占めた。 *O. similis* は 3 日の 9:00 から 15:00 は 30.0%から 37.0%を占めたが、21:00 以降は 17.0%から 19.6%に低下した。潮位との相関関係はいずれの層も見られなかった ($p>0.05$ 、Table 8)。また、全ての採集日 (3 日 9:00、15:00、21:00、4 日 3:00 および 9:00) において、カイアシ類群集組成は、鉛直的に有意に異なった (Chi-squared test、 $p<0.05$)。

3-3-2. 2016 年

カイアシ類群集の個体数密度は、21 日 9:00 には 10-15 m 層で 17973.2 ind./m³であり、0-5 m 層 (5548.7 ind./m³) および 5-10 m 層 (2220.1 ind./m³) よりも密度が高かった (Fig. 57)。15:00 以降は 0-5 m 層が最も高密度であった。0-5 m 層の個体数密度は 2416.2 ind./m³ から 7035.9 ind./m³ で変動した (Fig. 57)。0-5 m 層のカイアシ類の群集組成は 24 時間中、有意に変動した (Chi-squared test, $p<0.05$)。 *P. newmani* は 21 日の 9:00 から 15:00 は 40.0%から 50.0%であったが、21:00 以降は 74.0%から 85.0%を占めた (Fig. 58)。 *O. similis* は 4.0%から 19.0%を占めた。5-10 m 層は 239.4 ind./m³ から 3522.9 ind./m³ で変動した (Fig. 57)。5-10 m 層では、カイアシ類の群集組成は 24 時間中、有意に変動した (Chi-squared test, $p<0.05$)。 *P. newmani* は 21 日の 15:00 の 90.0%を除き、群集中の 79.0%から 96.3%を占め、 *O. similis* は 3.0%から 10.0%を占めた (Fig. 59)。10-15 m 層では、個体数密度は 833.8 ind./m³ から 17973.2 ind./m³ で変動し、群集組成は 24 時間中、有意に変動した (Chi-squared test, $p<0.05$)。 *P. newmani* は 21 日の 9:00 に 81.0%を占めたが、21:00 には 51.0%に減少した (Fig. 60)。21:00 以降の優占率は上昇し、22 日の 9:00 は 79.0%であった。 *O. similis* は 1.0%から 9.0%を占めた。潮位との有意な相関関係はいずれの層も認められなかった ($p>0.05$)。また、全ての採集日 (21 日 9:00、15:00、21:00、22 日 3:00 および 9:00) において、カイアシ類群集組成は、鉛直的に有意に異なった (Chi-squared test, $p<0.05$)。

3-4. 優占種の鉛直分布の時間変動

3-4-1. 2015 年

A. hudsonica は、0-5 m 層において 619.8 ind./m³ から 1791.3 ind./m³ の範囲で出現した (Fig. 61)。0-5 m 層の個体数密度は、5-10 m 層 (124.2 ind./m³ から 672.4 ind./m³) および 10-15 m 層 (42.9 ind./m³ から 460.6 ind./m³) よりも高かった。成体は 11 月 3 日 9:00 および 15:00 の 0-5 m 層において 86.2%から 93.2%と出現率が高く、5-10 m 層および 10-15

m 層では出現率が 1.5%から 9.2%と低かった (Fig. 62)。21:00 には 5-10 m 層の出現率は 52.9%であり、5-10 m 層の出現率は、0-5 m 層および 10-15 m 層よりも高かった。4 日 3:00 および 9:00 には、0-5 m 層の出現率は 61.1%および 48.7%であり、成体は 0-5 m 層に最も多く分布した。後期ステージは 3 日 9:00 から 4 日 3:00 まで 0-5 m 層に 51.2%から 88.7% 出現し、5-10 m 層および 10-15 m 層よりも出現率が高かった (Fig. 63)。その後、4 日 9:00 においては 0-5 m 層の出現率は 25.0%に減少したが、10-15 m 層の出現率は 53.3%に増加し、10-15 m 層に最も多くの個体が分布した。初期ステージは 0-5 m 層において 0-15 m までの水柱中の 45.2%から 82.2%が出現し、0-5 m 層の初期ステージの出現率は 5-10 m 層および 10-15 m 層よりも高かった (Fig. 64)。潮位との相関関係は成体、後期ステージ、初期ステージのいずれの層もみられなかった ($p>0.05$)。

*C. pergens*は、0-5 m 層において 803.5 ind./m³から 2178.8 ind./m³の範囲で出現した (Fig. 65)。0-5 m 層の個体数密度は 5-10 m 層 (293.8 ind./m³から 1102.6 ind./m³) および 10-15 m 層 (181.5 ind./m³から 460.6 ind./m³) よりも高かった。4 日 9:00 の後期ステージおよび 3 日 15:00 の初期ステージ除き、全ての成長段階において 0-5 m 層の出現率が最も高く、*C. pergens*は 0-5 m 層に分布する傾向がみられた (Figs. 66、67 and 68)。潮位との相関関係は成体、後期ステージ、初期ステージのいずれの層もみられなかった ($p>0.05$)。

*O. similis*は、0-5 m 層において 367.3 ind./m³から 709.4 ind./m³の範囲で出現した (Fig. 69)。0-5 m 層の個体数密度は 5-10 m 層 (94.5 ind./m³から 271.1 ind./m³) および 10-15 m 層 (123.4 ind./m³から 396.4 ind./m³) よりも高かった。0-5 m 層の出現率は、調査期間中 45.1%から 56.5%であり、5-10 m 層 (11.5%から 26.6%) および 10-15 m 層 (16.8%から 38.0%) よりも高かった (Fig. 70)。潮位との相関関係は成体、後期ステージ、初期ステージのいずれの層もみられなかった ($p>0.05$)。

3-4-2. 2016 年

P. newmani は 0-5 m 層において 1208.1 ind./m³ から 5488.0 ind./m³ の範囲で変動し、21 日 21:00 以降は最も密度が高かった (Fig. 71)。 *P. newmani* 個体数密度は、5-10 m 層では 206.6 ind./m³ から 2783.4 ind./m³ の範囲で変動した。10-15 m 層の個体数密度は 21 日 9:00 に調査期間中の最大値 14558.3 ind./m³ を記録した。15:00 以降には個体数密度は 633.7 ind./m³ から 1809.9 ind./m³ の範囲で変動した。鉛直分布の時間変動パターンは成長段階によって異なる傾向を示した。すなわち、*P. newmani* の成体の個体群中における出現率は、日中に採集が行われた 21 日 9:00、15:00 および 22 日 9:00 の 10-15 m 層において 38.1% から 91.2% であり、0-5 m 層の 4.3% から 23.4% と比べて高かった (Fig. 72)。一方、夜間に採集が行われた 21 日 21:00 および 22 日 3:00 においては、*P. newmani* の成体の出現率は、0-5 m 層で 61.5% から 86.2% であり、5-10 m 層の 4.1% から 25.8% および 10-15 m 層の 9.7% から 12.7% と比べて高かった (Fig. 72)。 *P. newmani* の後期ステージは、日中の 21 日 9:00 には 10-15 m 層に水柱全体の 57.1% が出現したが、15:00 には 5-10 m 層で 58.5% の高い出現率を示した (Fig. 73)。夜間の 21 日 21:00 および 22 日 3:00 には、後期ステージは 0-5 m 層において 50.9% から 85.1% の高い割合で出現した。後期ステージは日中の 22 日 9:00 には 0-5 m 層において 50.1% で出現した。 *P. newmani* の初期ステージは、常に 0-5 m 層で 54.6% から 80.3% で高い出現率を示した (Fig. 74)。潮位との相関関係は成体、後期ステージ、初期ステージのいずれの層もみられなかった ($p>0.05$)。

O. similis は 0-5 m 層において 281.4 ind./m³ から 721.3 ind./m³ の範囲で出現した (Fig. 75)。0-5 m 層の *O. similis* の個体数密度は、5-10 m 層の 14.1 ind./m³ から 240.5 ind./m³ および 10-15 m 層の 11.8 ind./m³ から 359.5 ind./m³ よりも常に高かった。0-5 m 層の出現率は調査期間中 40.0% から 81.8% であり、5-10 m 層の 3.2% から 34.2% および 10-15 m 層の 2.0% から 27.6% よりも高かった (Fig. 76)。潮位との相関関係は成体、後期ステージ、初期ステージのいずれの層もみられなかった ($p>0.05$)。

4. 考察

4-1. 潮位変動が能取湖の水塊構造変動に与える影響

本章は、能取湖におけるカイアシ類の鉛直分布の時間変動と潮位変動との関係を検討した初めての報告である。本研究における 2015 年 11 月および 2016 年 5 月の両調査の水温および塩分は、10-15 m 層より 0-5 m 層において変動係数が大きかった。この結果は、2015 年 11 月および 2016 年 5 月の能取湖において異なる水塊の流入による水温および塩分に対する影響が表層で大きかった可能性を意味している。また、本調査の 2015 年 11 月は 0-5 m 層のほうが 10-15 m 層より、低水温ならびに低塩分だった。能取湖において、11 月は高温高塩分の宗谷暖流系水塊から低温低塩分の東樺太海流系水塊に移行する時期である（蔵田・西浜 1987; 浅見ら 1995; 今田ら 1995; 西野ら 2014）。本結果から表層から東樺太海流の勢力が増していると考えられる。一方、2016 年の 5 月は 0-5 m 層よりも 10-15 m 層で塩分が高くなる傾向がみられた。既報研究においても、能取湖の 5 月は水塊が東樺太海流水から宗谷暖流水に移行する期間であると報告されている（蔵田・西浜 1987; 浅見ら 1995; 今田ら 1995; 西野ら 2014）。海水は、等密度面に沿って流れるため、沿岸域に分布する高塩分の宗谷暖流水は、湖口から流入する際にその密度の高さから深層に沈み込むと考えられる。能取湖の春季から夏季にかけては、表層の塩分は深層の塩分と比較して遅れて上昇した（第 1 章）。本研究の 16 年 5 月は 0-5 m 層よりも 10-15 m 層のほうが高塩分であった。変動が大きかった表層は水温が高く、密度が軽いため、流入してきた宗谷暖流水は湖口から調査定点までには深層に移行したと考えられる。すなわち、能取湖の水塊における宗谷暖流水の流入の影響は、深層においても生じる可能性が示唆された。

また、東樺太海流系水により、鉛直勾配が小さくなる 2015 年 11 月の潮位が停滞していた 3 日の 18:00 には表層と深層で水温および塩分の鉛直的な違いが小さくなった。能取湖の流況は時計回りの流れが存在し、上げ潮時には湖内東側を南下し、下げ潮時には北岸から流出する流れが卓越する（山本ら 2009）。本研究における潮位が上昇し、北からの風が

吹いている 2015 年 11 月の 9:00 から 15:00 の水温および塩分は、潮位が停滞または低下している 18:00 以降の時間帯よりも 0-5 m 層と 10-15 m 層間で鉛直的な差が大きかった。本研究における調査定点は湖中央南東部に位置するため、表層だけではなく深層においても外海水の影響を受ける定点であると考えられる。能取湖内の水温および塩分は、上げ潮時の外海水が多く流入する時間帯に鉛直的な勾配が強くなる可能性があることが考えられる。

4-2. 潮位変動が能取湖におけるカイアシ類群集に与える影響

カイアシ類群集は、2016 年 5 月 21 日の 9:00 を除くと 0-5 m 層で最も高密度であったが、全カイアシ類個体数密度の 24 時間の変動係数は 10-15 m 層で大きかった。能取湖外からの影響が強いと考えられる 2015 年 11 月の 0-5 m と 2016 年 5 月ともに潮位との相関関係はみられなかった。能取湖と道東オホーツク海沿岸域の海水交換量は、一日当たり小潮時で 7.6%、大潮時で 14.4% 交換されると見積もられる。一日 2 回の潮位変動では、能取湖内の全ての海水が交換されることはないことが考えられる。また、カイアシ類は自らの摂餌や捕食者からの逃避のため、日周鉛直移動を行っていると考えられる (Gauld 1953)。そのため、24 時間の本調査において、出現したカイアシ類は海水交換が 10-15 m 層よりも強いと考えられる 2015 年 11 月の 0-5 m 層、2016 年 5 月の 10-15 m 層でも、潮位との関係性が見いだせなかったと考えられる。

本研究においては種毎においても潮位との関係性は見出せなかった。*A. hudsonica* はアメリカ合衆国の Damariscotia 川の河口域において個体数密度と潮位が正の相関を示した (Lee & McAlice 1979b)。能取湖は時計回りの流れが存在する (山本ら 2009)。外海水の影響を強く受ける能取湖は潮位に伴って水の交換が起こると考えられる。能取湖水と外海水でカイアシ類の個体数密度が異なる場合、カイアシ類の個体数密度も変動すると考えられるが、本研究では潮位と個体数密度の変動は種毎にも有意な相関関係が見いだせなかった。カイアシ類をはじめとする動物プランクトンの時間変動で潮汐によって説明できない

要素は、複雑な潮汐変動と調査定点によって引き起こされる密度躍層の周期的な鉛直方向の変化が関係している可能性がある」と報告している (Gagnon & Lacroix 1981)。能取湖の最深部に設けた調査定点で行った本研究は、外海水が湖口から調査定点に移動するまでの流入過程で鉛直的にも水平的にも複雑に混合することが考えられるため、カイアシ類と潮位変動との関係性が見出すことができなかったと考えられる。能取湖は西側の水深が 10 m 以浅であり、東側の水深は 20 m 以深である (Katsuki et al. 2012b)。能取湖の水深の浅い南西は流況が乱れる (山本ら 2009)。本調査を行っている最深部は湖中央よりも東側に位置するため、外海水の影響を強く受ける地点であると考えられる。しかし、能取湖は時計回りの流れが存在するため、南西側の水深の浅い地点からの潮流の影響も受けることが考えられる。本調査地点のカイアシ類群集の個体数密度と潮位の変動の相関関係が見出せなかった理由のひとつは、潮位変動に伴う複雑な海水の混合および流動過程によるからかもしれない。

4-3. 潮位変動が主要カイアシ類の鉛直分布の時間変動に与える影響

2015 年 11 月のカイアシ類群集中で優占した *A. hudsonica* は成体の 3 日 21 : 00、後期ステージの 4 日 9:00 以外は 0-5 m 層において最も密度が高く、*A. hudsonica* は日周鉛直移動を行っているとは思われなかった。*A. hudsonica* の近縁種である *A. omorii* は富山湾の 6 月において日中は表層と 50 m 層に分布するが、夜間は表層のみに分布した (Hirakawa et al. 1990)。また、厚岸湾における *A. omorii* は日中には近底層に分布し、夜間には表層に分布した (Saito & Taguchi 1996; Saito & Hattori 1997)。すなわち、既報研究では *A. omorii* は日周鉛直移動を行うことが報告されている。本研究における *A. hudsonica* は、成体の 3 日 21 : 00、後期ステージの 4 日 9:00 以外は 0-5 m 層に分布していたことにより、*A. hudsonica* は *A. omorii* とは異なる分布特性を持つ可能性が示された。しかし、既報研究は、水深 50 m 以上の地点で行われたものであり、本研究の能取湖の定点の 20 m よりも深い。

A. hudsonica は能取湖のような深度の浅いところでは日周鉛直移動を示さないのかも知らない。あるいは、本研究は水深 20 m の地点において、水深 15 m からカイアシ類を採集した。そのため、*A. hudsonica* が 15 m よりも深層に分布していた可能性も考えられる。

カイアシ類は、日周鉛直移動を行う行わないに関わらず、摂食リズムを示す (Hayward 1980; Head et al. 1985; Daro 1985)。日周鉛直移動を行わない種は、鉛直移動に費やすエネルギーを抑えることができる (Devreker et al. 2008)。摂食リズムは自らの消化管色素量を減少させることで視覚捕食者からの摂食圧を抑えるのに役立つと考えられている (Saito & Taguchi 1996)。2015 年 11 月における *A. hudsonica*、*C. pergens*、*O. similis* は本研究において主に 0-5 m 層に分布していた。2015 年 11 月は全層で 1 µg/L 以上の Chl.*a* 濃度であった。高 Chl.*a* 濃度下のカイアシ類が、捕食リスクの高い表層に留まりながら適応度を高めるには、日中に摂食を行わないという摂餌リズムを持つことが考えられる。本研究の *A. hudsonica*、*C. pergens*、*O. similis* は代謝速度が高くなる水温の高い表層に分布することで、鉛直的に移動するエネルギーを抑え、水平的に広範囲に分布していた可能性が考えられる。特に *A. hudsonica* は休眠卵を作成する (Sullivan & Mcmanus 1986; Marcus 1984) ことにより個体群を維持している (Villate 1997)。*A. hudsonica* は表層で分布することにより、潮汐流によって自らが広範囲に分布することに加えて、表層で産出した休眠卵を海底に沈降する過程においても潮汐流によって拡散することが出来る可能性がある。*O. similis* を含むキクロプス目は、カラヌス目に比べ、遊泳能力が弱く摂食速度が遅い (Zalkina 1970; Boxshall 1977; Ueda 1987)。*O. similis* が 15 年 11 月また 16 年 5 月ともに 0-5 m 層に分布したのは、遊泳能力が乏しいからかもしれない。

一方、2016 年 5 月に常にカイアシ類群集の中で優占した *P. newmani* の成体および後期ステージは日中には主に 10-15 m 層に分布し、夜間には主に 0-5 m 層に分布した。成体および後期ステージは日周鉛直移動を行っていると判断された。しかし、初期ステージは常に 0-5 m 層に分布し、日周鉛直移動が認められなかった。サロマ湖の結氷期において

Pseudocalanus spp. の成体は日周鉛直移動を行うとの報告がある (Saito & Hattori 1997)。

また、*P. newmani* はアメリカ合衆国の Dabob 湾においてコペポダイト 6 期末満のステージは昼夜ともに 50 m 以浅に分布するが、コペポダイト 6 期は日周鉛直移動を行った (Ohman 1990)。北海道太平洋沿岸域では *Pseudocalanus* 属は 5 月に日周鉛直移動するが、6 月には明瞭な日周鉛直移動をせず、昼夜ともに主分布が 20 m 以深であった (関・清水 1998)。日本近海に出現する *Pseudocalanus* 属は *P. minutus* と *P. newmani* であるため (山口・池田 2003)、関・清水 (1998) における *Pseudocalanus* 属は *P. newmani* か *P. minutus* であると考えられる。関・清水 (1988) における *Pseudocalanus* 属は成長段階に分けていなかったため、未成体も含めた個体群を解析した可能性がある。以上のことから、関・清水 (1998) による太平洋沿岸に出現した *Pseudocalanus* 属の分布深度が 5 月および 6 月で異なった理由として、*P. newmani* と *P. minutus* が混合していたことや、それぞれの種の成長ステージの分布深度が異なっていたからだと考えられる。*P. newmani* は、能取湖においてコペポダイト 6 期末満の後期ステージならびに初期ステージが日周鉛直移動を行うことなく常に 0-5 m 層に分布したことから、潮汐交換に伴ってオホーツク海沿岸域から運び込まれて、また能取湖から沿岸域に移出していると考えられる。対して、成体は未成体とは異なる潮位変動の影響を受けると考えられる。夜間には、成体は日周鉛直移動によって表層に分布する。夜間が上げ潮の時には、沿岸域の表層水には成体が分布しており、潮流によって能取湖内に運び込まれると考えられる。能取湖内に流入した個体群は、11 月のように沿岸水の表層と能取湖内の水柱の密度が等しい場合は、表層に取り込まれた個体群は日周鉛直移動によって日中には能取湖内の深層に移動することとなる。5 月のように能取湖のほうが沿岸域より水温が高く、沿岸域の密度が高くなり、潮汐によって沿岸水が深層に入ってくる場合は、*P. newmani* は昼夜問わず、深層に分布し、成体の多くの個体群が能取湖内に留まることが想定される。能取湖とオホーツク海沿岸域における *P. newmani* の個体数密度は、5 月、7 月および 12 月にはオホーツク海沿岸域のほうが高かったが、他の月で

は能取湖のほうが高かった（第2章1節）。*P. newmani*は、能取湖において潮汐と採集時間によって個体数密度がオホーツク沿岸域と異なることが予想される。*P. newmani*は夜間に大潮、満潮、風による大きな水の移動が行われた際は、多くの個体群が湖内に流入し、日中に深層に移動することにより能取湖内の*P. newmani*の個体数密度が高くなること、すなわち集積することが想定される。

Table 6. Metrological data in Abashiri in 3-4 November 2015 and 21-22 May 2016.

| Date | | Air temperature (°C) | | Wind direction and wind speed | | | | Hours of sunlight (h) | Weather |
|------|--------|----------------------|------|-------------------------------|-----------|----------------|-----------|--------------------------|---------|
| | | Max | Min | Max | | Maximam moment | | | |
| | | | | Direction | Speed (m) | Direction | Speed (m) | | |
| 2015 | 3-Nov | 11.5 | 3.5 | southwest | 2.3 | west southwest | 6.9 | 7.0 | sunny |
| | 4-Nov | 20.4 | 2.6 | southwest | 4.2 | southwest | 13.3 | 9.3 | sunny |
| 2016 | 21-May | 22.4 | 13.0 | southwest | 3.4 | west | 5.4 | 13.1 | sunny |
| | 22-May | 24.1 | 11.2 | north | 4.6 | north | 8.6 | 13.5 | sunny |

Table 7. Averaged water temperature (°C), salinity and Chl.*a* concentration (µg/L) at each depth layer on November 2015 and May 2016. SD indicates a standard deviation.

CV indicates a coefficient of variance (%).

| | Layer (m) | Nov 2015 | | | | May 2016 | | | |
|--|-----------|----------|-------|--------|--|----------|-------|--------|--|
| | | Average | SD | CV (%) | | Average | SD | CV (%) | |
| Water temperature (°C) | 0-5 | 9.2 | ± 0.2 | 1.9 | | 11.5 | ± 0.4 | 3.5 | |
| | 5-10 | 9.3 | ± 0.1 | 0.9 | | 9.0 | ± 0.4 | 4.6 | |
| | 10-15 | 9.4 | ± 0.1 | 0.7 | | 7.6 | ± 0.2 | 2.2 | |
| Salinity | 0-5 | 32.8 | ± 0.1 | 0.2 | | 32.2 | ± 0.1 | 0.4 | |
| | 5-10 | 32.8 | ± 0.0 | 0.1 | | 32.4 | ± 0.1 | 0.3 | |
| | 10-15 | 32.9 | ± 0.0 | 0.1 | | 32.5 | ± 0.0 | 0.1 | |
| Chl. <i>a</i> concentration (µg/L) | 0-5 | 2.1 | ± 0.4 | 19.0 | | 1.1 | ± 0.3 | 30.3 | |
| | 5-10 | 2.4 | ± 0.3 | 13.0 | | 1.9 | ± 0.4 | 22.9 | |
| | 10-15 | 2.1 | ± 0.4 | 18.2 | | 4.0 | ± 0.7 | 16.5 | |

Table 8. Diachronic change of each copepod stage abundance (ind/m³). S.D. indicates standard deviation. CV indicates coefficient of variation. Correlation between water depth (x) and abundance (y) is represented when r indicates correlation coefficient.

| | Species | Stage | Layer (m) | Average (ind./m ³) | SV | CV (%) | Correlation between water depth and abundance | r | p>0.05 |
|-------------------|---------------------|-----------------|-----------|--------------------------------|----------|--------|---|------|--------|
| Nov 2015 (n=5) | <i>A. hudsonica</i> | Adult | 0-5 | 331.3 | ± 167.2 | 50.5 | y = 3.5x + 82.3 | 0.38 | n.s. |
| | | | 5-10 | 95.9 | ± 83.8 | 87.3 | y = 2.0x + 46.5 | 0.44 | n.s. |
| | | | 10-15 | 64.7 | ± 61.7 | 95.3 | y = -1.0x + 137.0 | 0.30 | n.s. |
| | | Late | 0-5 | 362.0 | ± 249.2 | 68.9 | y = 8.1x + 209.6 | 0.59 | n.s. |
| | | | 5-10 | 94.1 | ± 41.8 | 44.4 | y = 1.8x + 30.9 | 0.77 | n.s. |
| | | | 10-15 | 63.3 | ± 47.3 | 74.8 | y = -1.1x + 143.9 | 0.44 | n.s. |
| | | Early | 0-5 | 342.6 | ± 114.1 | 33.3 | y = 2.2x + 189.6 | 0.34 | n.s. |
| | | | 5-10 | 135.2 | ± 70.9 | 52.4 | y = 1.0x + 65.8 | 0.25 | n.s. |
| | | | 10-15 | 62.5 | ± 39.0 | 62.4 | y = -1.1x + 141.2 | 0.52 | n.s. |
| | <i>C. pergens</i> | Adult | 0-5 | 503.7 | ± 247.9 | 49.2 | y = 8.5x + 97.5 | 0.62 | n.s. |
| | | | 5-10 | 160.0 | ± 98.0 | 61.3 | y = 2.3x + 4.5 | 0.43 | n.s. |
| | | | 10-15 | 91.6 | ± 55.1 | 60.2 | y = 0.4x + 61.2 | 0.14 | n.s. |
| | | Late | 0-5 | 450.9 | ± 187.0 | 41.5 | y = 3.9x + 179.6 | 0.37 | n.s. |
| | | | 5-10 | 186.3 | ± 105.3 | 56.5 | y = 4.1x + 101.4 | 0.70 | n.s. |
| | | | 10-15 | 120.6 | ± 73.6 | 61.0 | y = 1.0x + 47.3 | 0.26 | n.s. |
| | | Early | 0-5 | 400.6 | ± 138.2 | 34.5 | y = -3.6x + 653.2 | 0.47 | n.s. |
| | | | 5-10 | 171.2 | ± 108.2 | 63.2 | y = 3.7x + 92.1 | 0.63 | n.s. |
| | | | 10-15 | 131.4 | ± 36.1 | 27.5 | y = 1.0x + 60.4 | 0.51 | n.s. |
| | <i>O. similis</i> | Total abundance | 0-5 | 254.3 | ± 87.1 | 34.2 | y = 1.3x + 398.9 | 0.19 | n.s. |
| | | | 5-10 | 399.2 | ± 70.7 | 17.7 | y = 1.4x + 102.3 | 0.37 | n.s. |
| | | | 10-15 | 284.0 | ± 137.5 | 48.4 | y = 1.9x + 118.1 | 0.32 | n.s. |
| May 2016 (n=5) | <i>P. newmani</i> | Adult | 0-5 | 1585.7 | ± 1361.5 | 85.9 | y = 26.3x + 231.8 | 0.65 | n.s. |
| | | | 5-10 | 861.9 | ± 531.7 | 61.7 | y = -8.6x + 1304.6 | 0.54 | n.s. |
| | | | 10-15 | 2967.8 | ± 4373.3 | 147.4 | y = -77.5x + 6951.6 | 0.60 | n.s. |
| | | Late | 0-5 | 953.6 | ± 336.1 | 35.2 | y = 0.9x + 909.0 | 0.09 | n.s. |
| | | | 5-10 | 738.3 | ± 388.8 | 52.7 | y = -8.2x + 1158.8 | 0.71 | n.s. |
| | | | 10-15 | 597.5 | ± 871.8 | 145.9 | y = -14.6x + 1347.5 | 0.56 | n.s. |
| | | Early | 0-5 | 883.5 | ± 662.7 | 75.0 | y = -15.3x + 1671.2 | 0.78 | n.s. |
| | | | 5-10 | 205.7 | ± 140.2 | 68.1 | y = -3.4x + 379.1 | 0.81 | n.s. |
| | | | 10-15 | 192.2 | ± 180.6 | 93.9 | y = -2.3x + 308.4 | 0.42 | n.s. |
| | <i>O. similis</i> | Total abundance | 0-5 | 467.4 | ± 149.7 | 32.0 | y = -3.1x + 629.3 | 0.71 | n.s. |
| | | | 5-10 | 139.8 | ± 82.9 | 59.3 | y = -1.3x + 208.4 | 0.54 | n.s. |
| | | | 10-15 | 128.6 | ± 130.2 | 101.3 | y = -1.5x + 205.4 | 0.39 | n.s. |
| | Total abundance | | 0-5 | 5061.7 | ± 1493.5 | 29.5 | y = -5.7x + 5352.4 | 0.14 | n.s. |
| | | | 5-10 | 2217.6 | ± 1216.8 | 54.9 | y = -26.4x + 3575.7 | 0.73 | n.s. |
| | | | 10-15 | 4859.9 | ± 6578.3 | 135.4 | y = -114.7x + 10754 | 0.58 | n.s. |

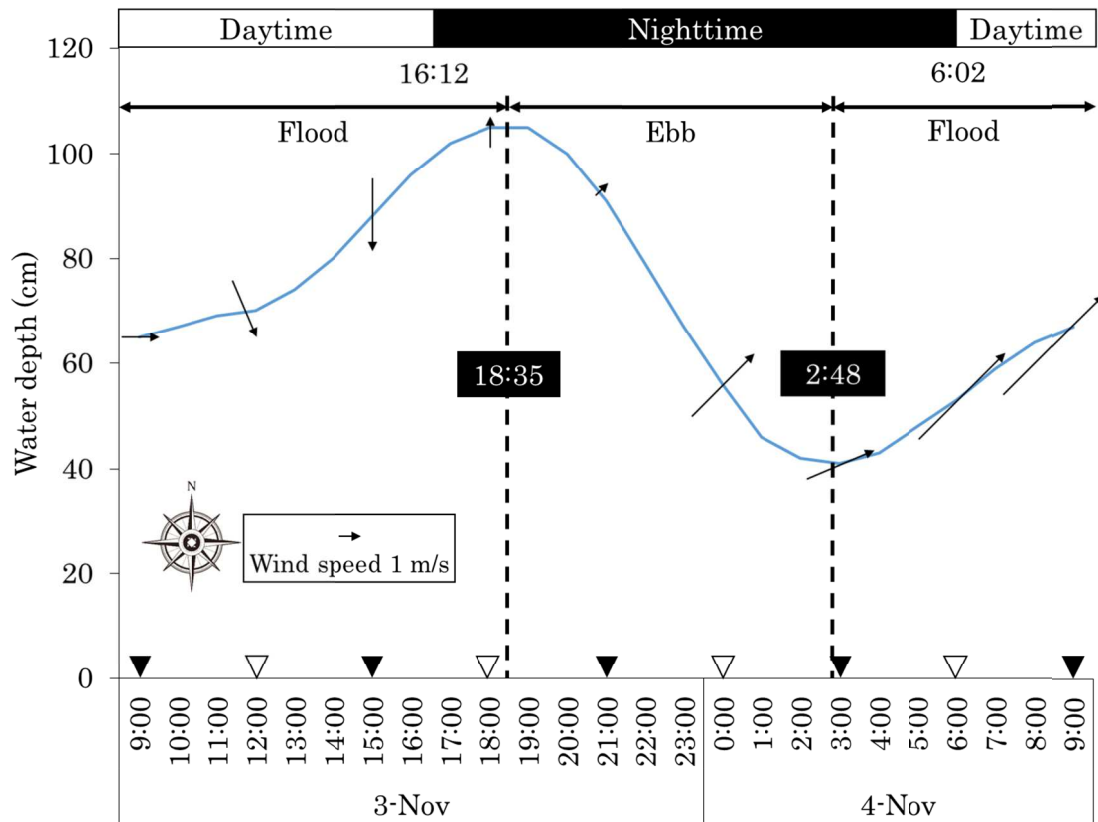


Fig. 47. Water depth (m) during a 24 h tidal cycle from 3 to 4 November 2015 at the port of Abashiri. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively. Hydrographic conditions were observed in the time showed by all inverted triangles. Copepods were collected in the time showed by black inverted triangles. Arrows indicate wind speed and wind direction.

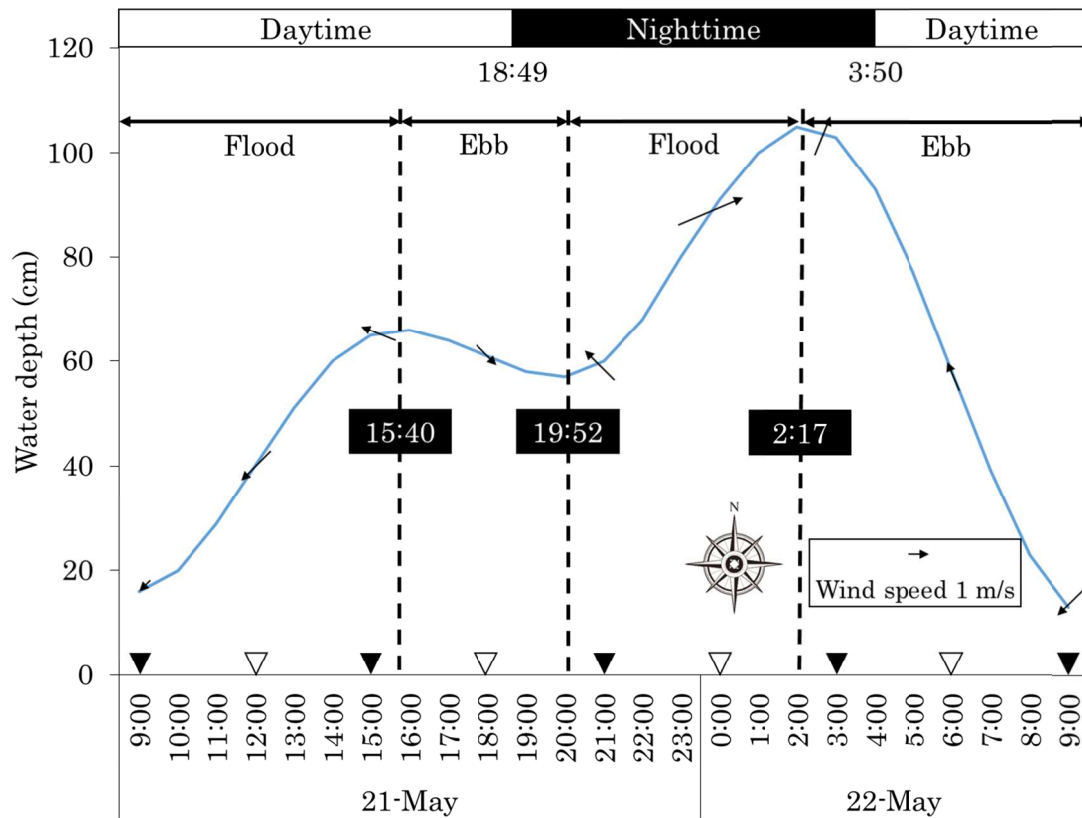


Fig. 48. Water depth (m) during a 24 h tidal cycle from 21 to 22 May 2016 at the port of Abashiri. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively. Hydrographic conditions were observed in the time showed by all inverted triangles. Copepods were collected in the time showed by black inverted triangles. Arrows indicate wind speed and wind direction.

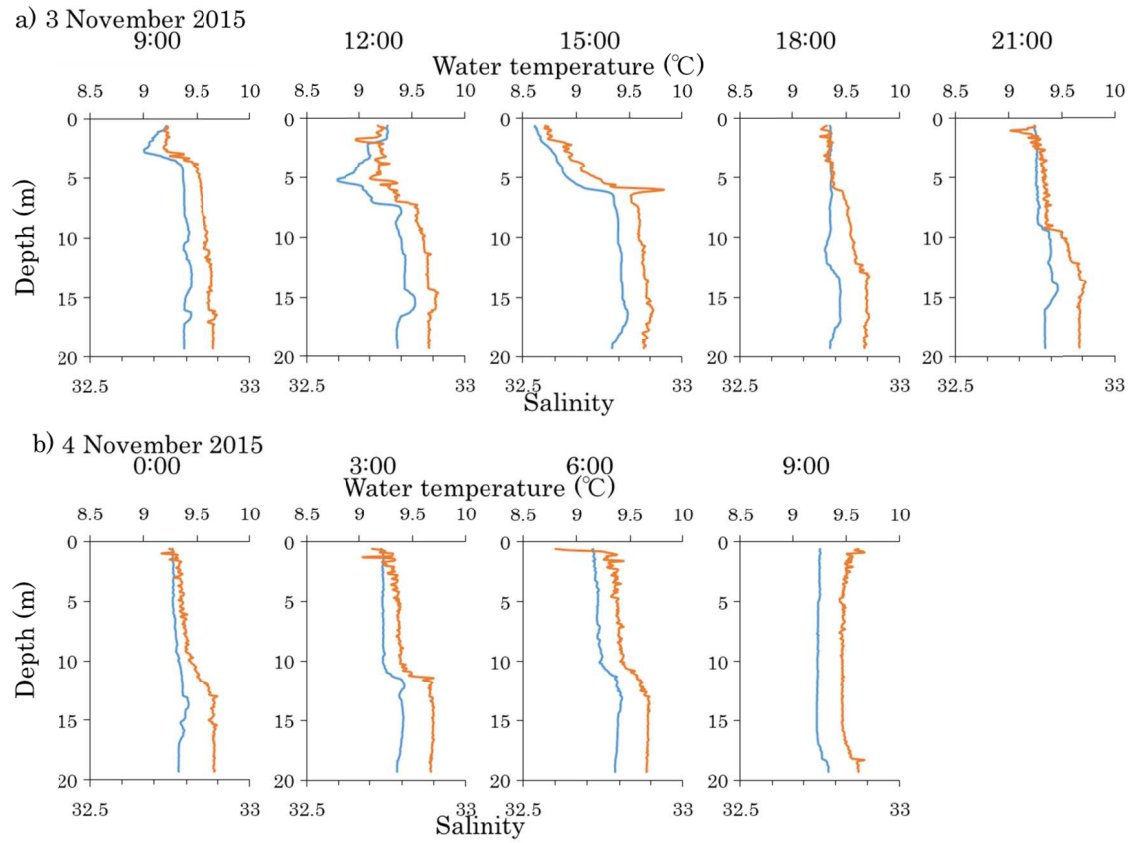


Fig. 49. Vertical profiles of water temperature (°C: blue) and salinity (red) from (a) 3 and (b) 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

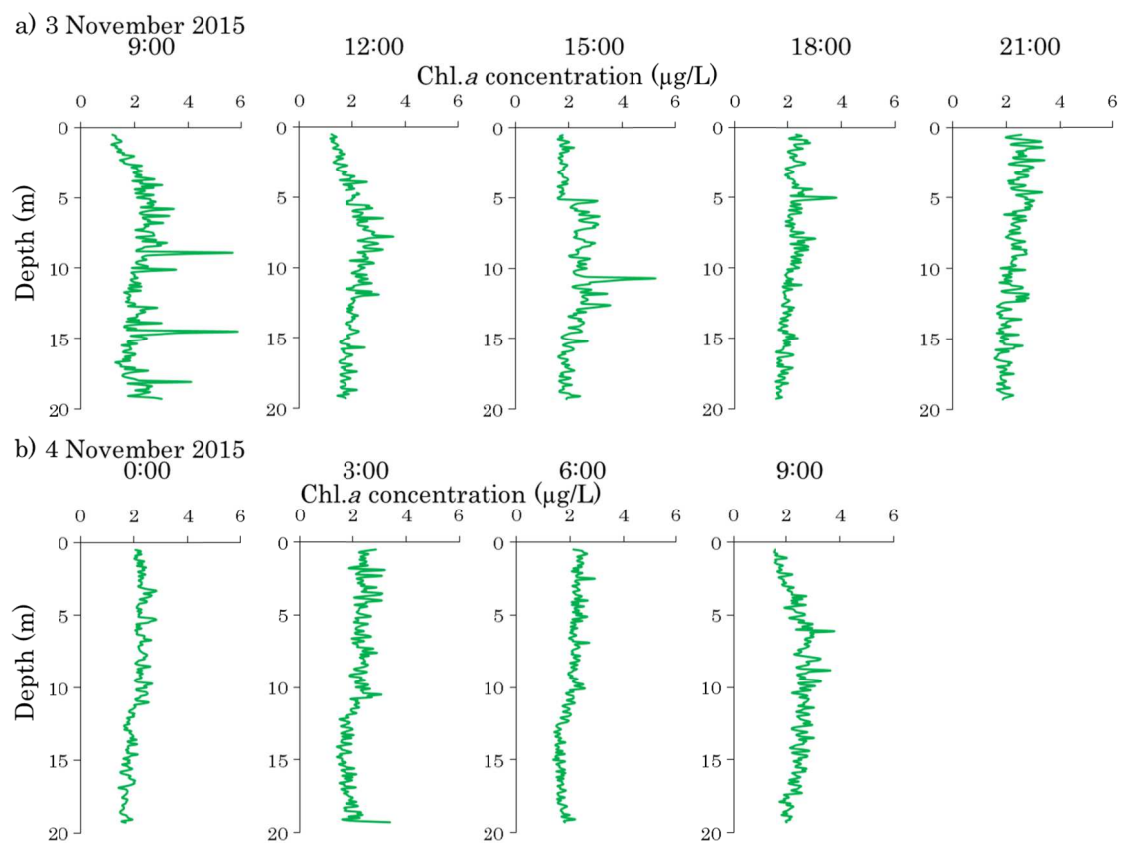


Fig. 50. Vertical profiles of Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) from (a) 3 and (b) 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

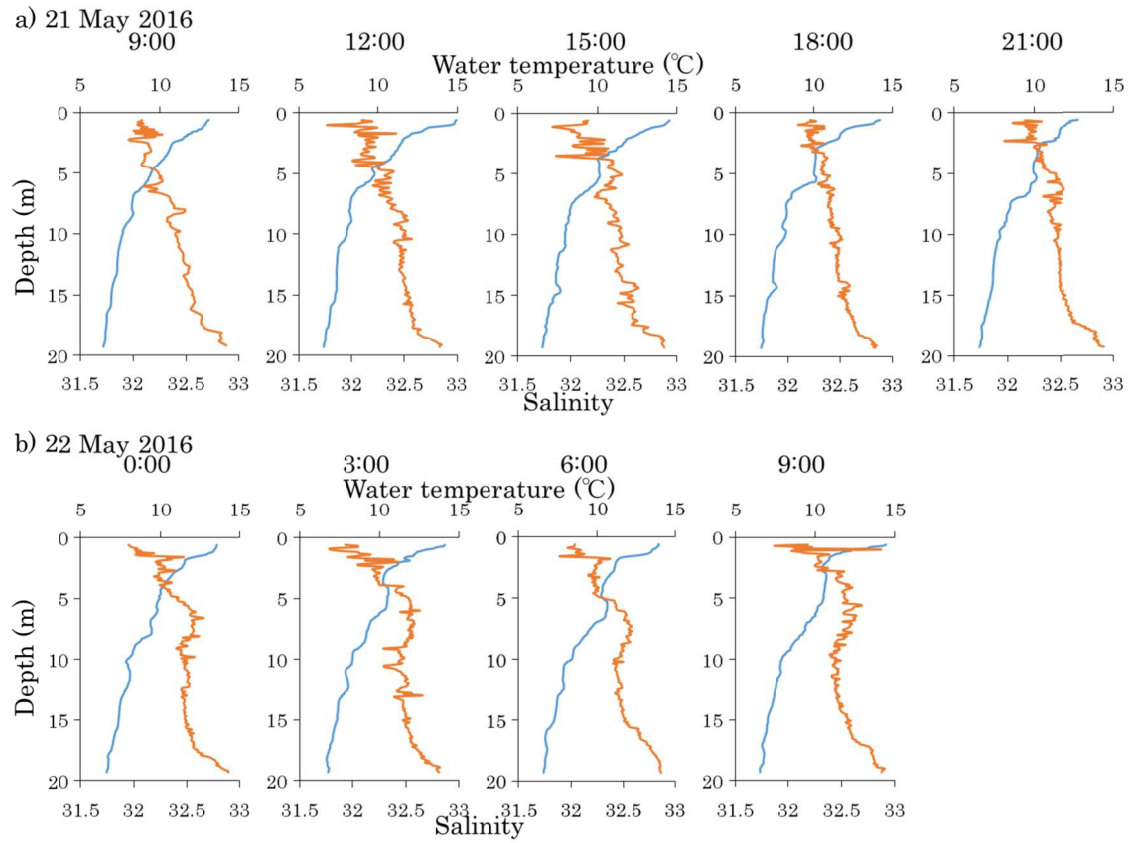


Fig. 51. Vertical profiles of water temperature (°C: blue) and salinity (red) from (a) 21 and (b) 22 May 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

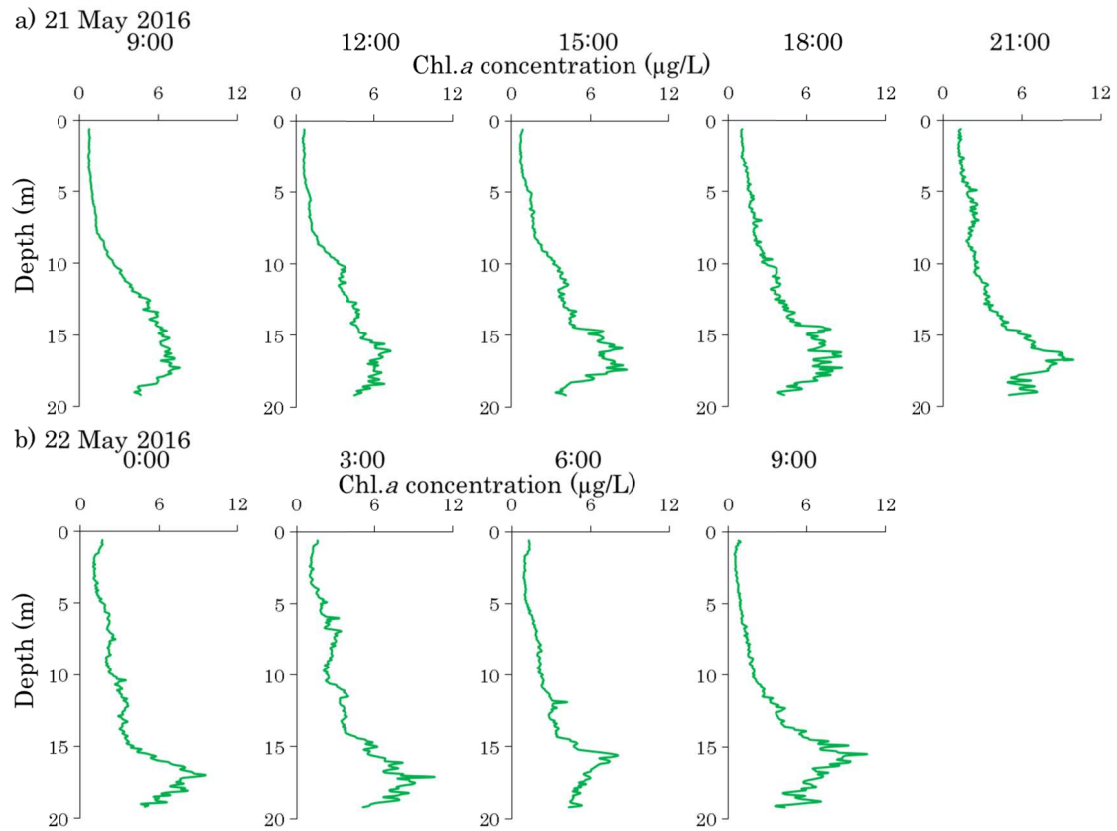


Fig. 52. Vertical profiles of Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) from (a) 21 and (b) 22 May 2016 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

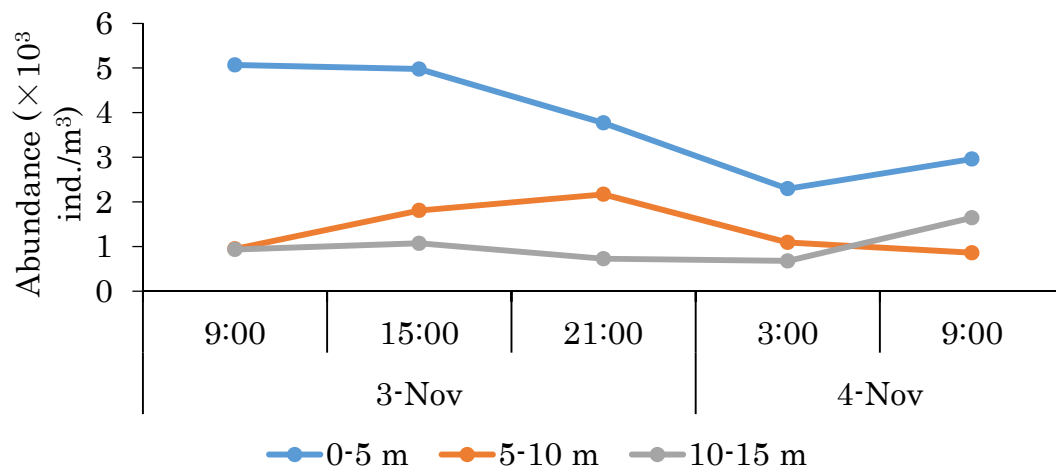


Fig. 53. Diurnal changes in abundance (ind./m³) of total copepods at each depth layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

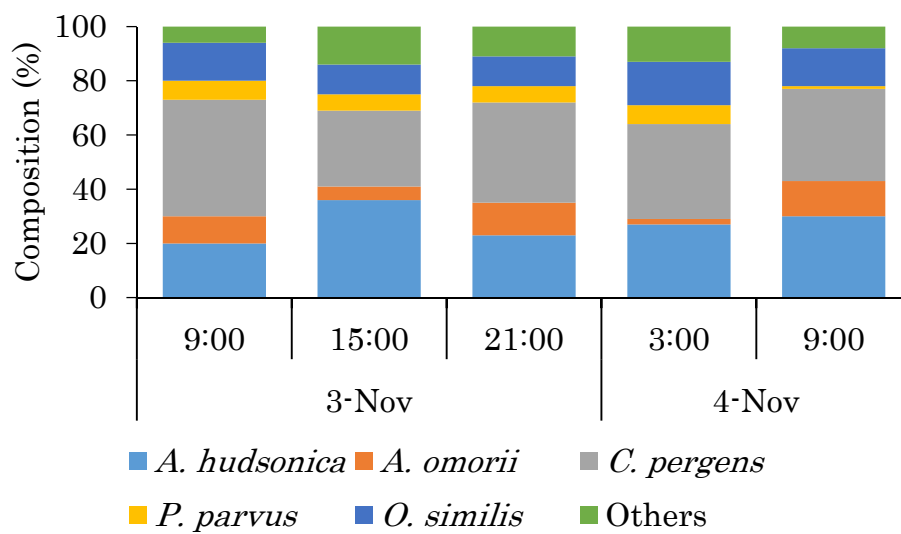


Fig. 54. Diurnal changes in composition (%) of copepods at 0-5 m depth layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

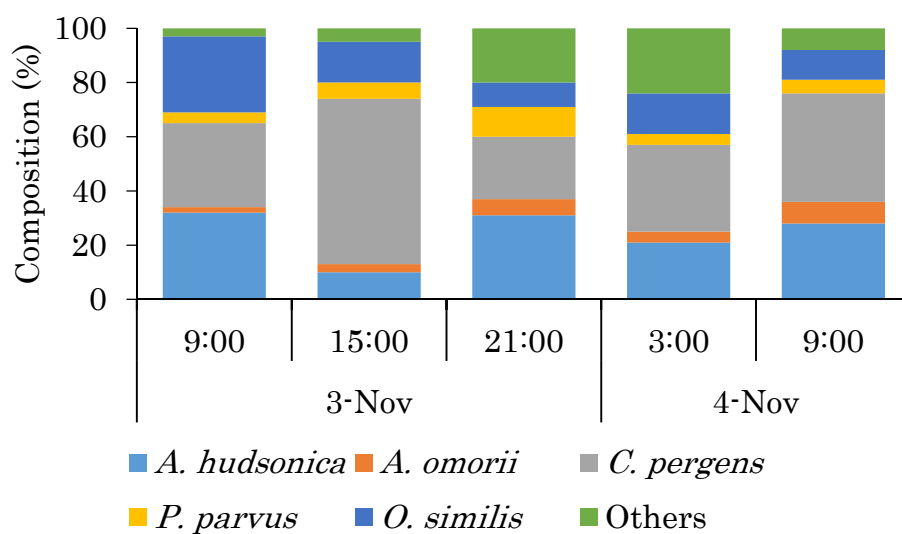


Fig. 55. Diurnal changes in composition (%) of copepods at 5-10 m depth layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

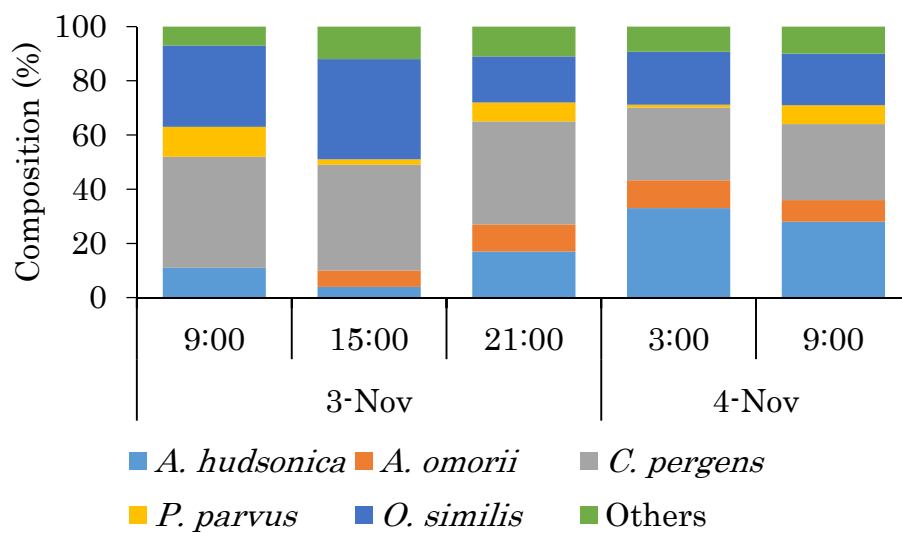


Fig. 56. Diurnal changes in composition (%) of copepods at 10-15 m depth layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

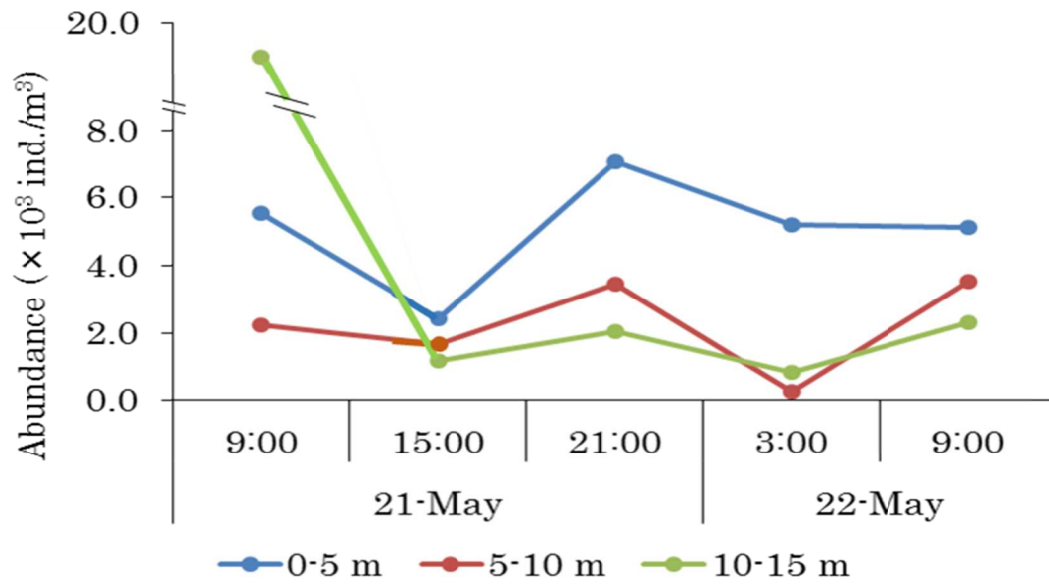


Fig. 57. Diurnal changes in abundance (ind./m³) of total copepods at each depth layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

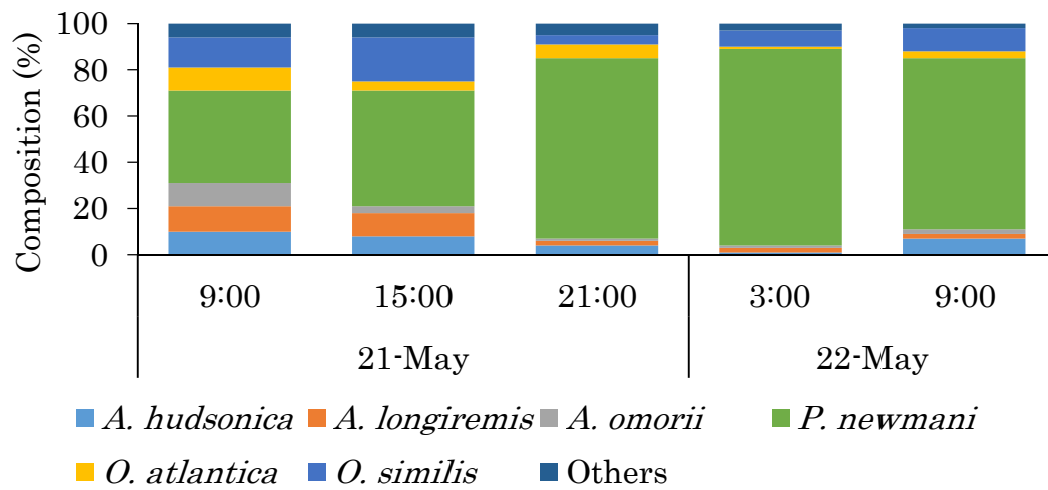


Fig. 58. Diurnal changes in composition (%) of copepods at 0-5 m depth layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

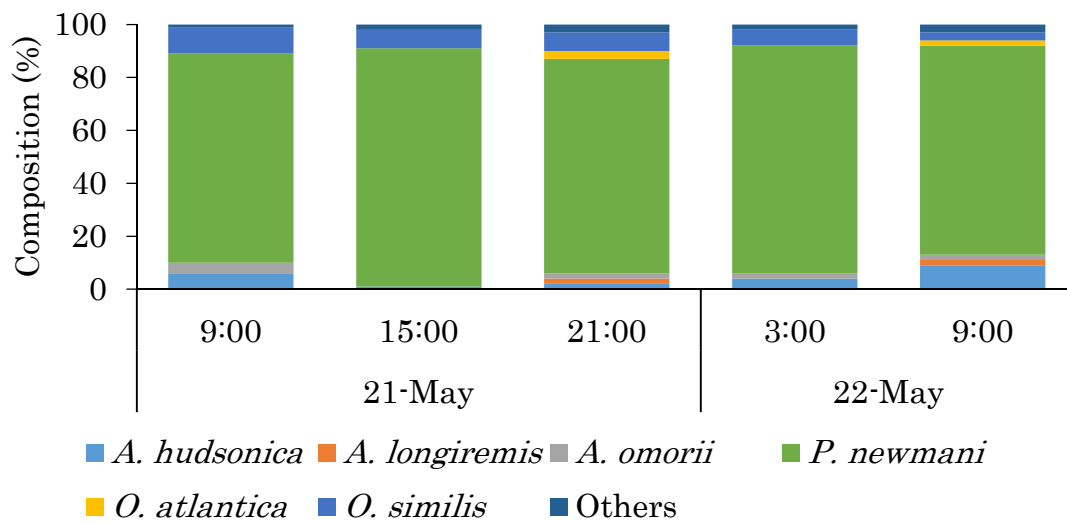


Fig. 59. Diurnal changes in composition (%) of copepods at 5-10 m depth layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

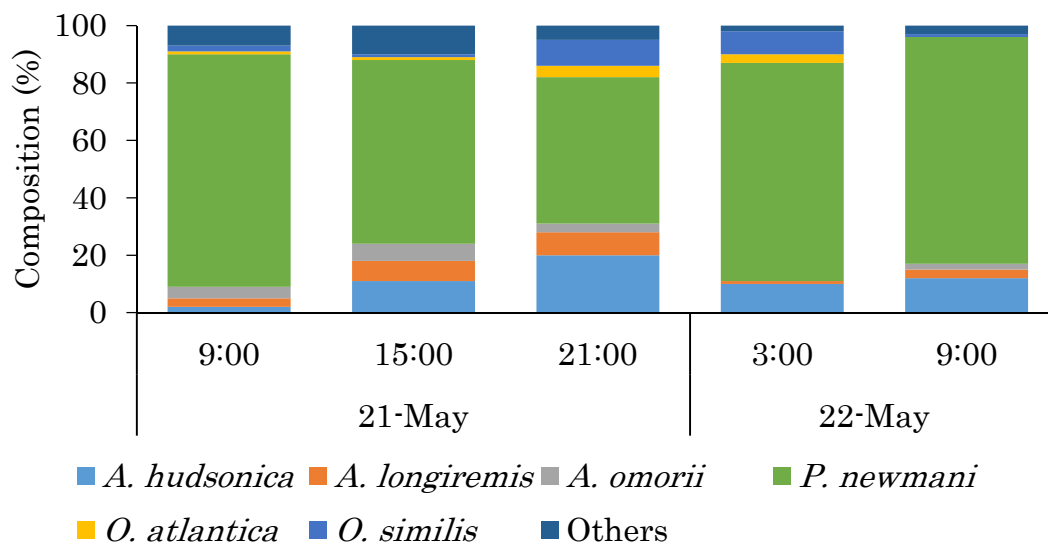


Fig. 60. Diurnal changes in composition (%) of copepods at 10-15 m depth layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

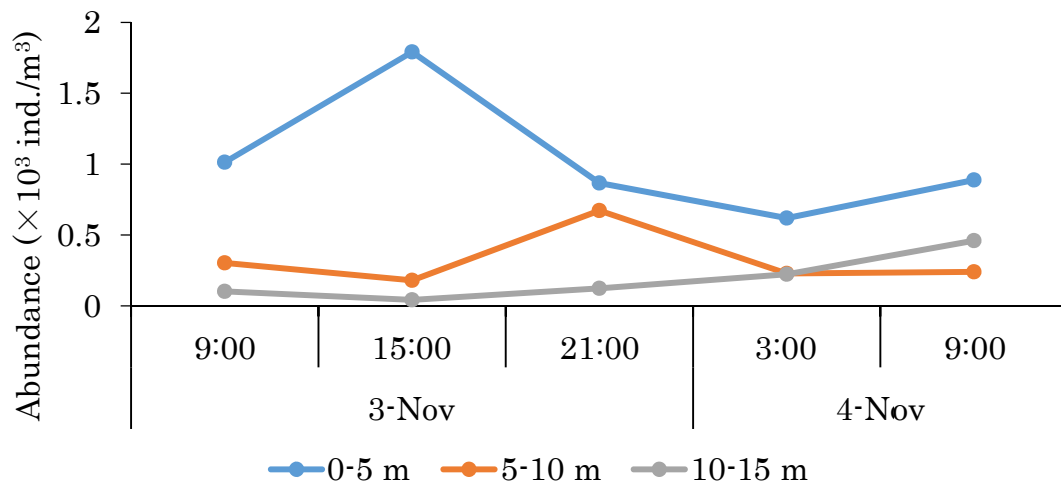


Fig. 61. Diurnal changes in abundance (ind./m³) of *Acartia hudsonica* at each depth layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Noto-ro-ko.

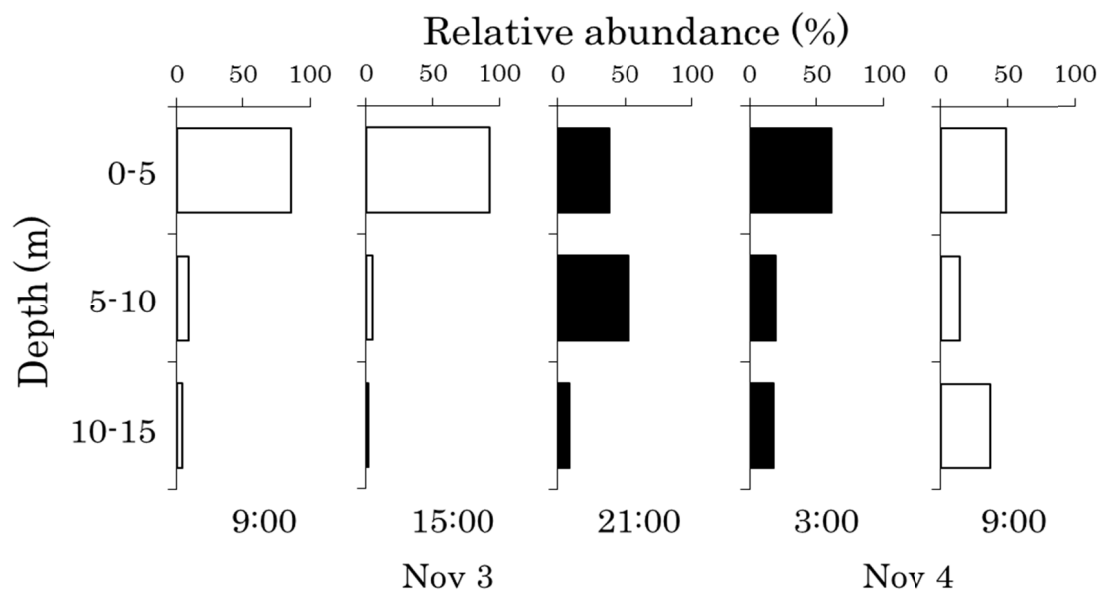


Fig. 62. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Acartia hudsonica* adult at each layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Noto-ro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

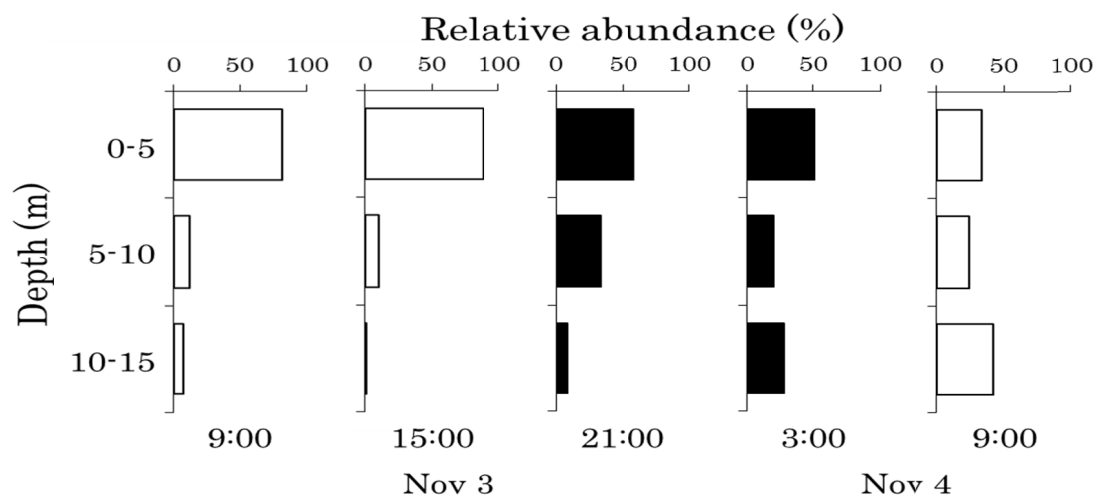


Fig. 63. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Acartia hudsonica* late stage at each layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

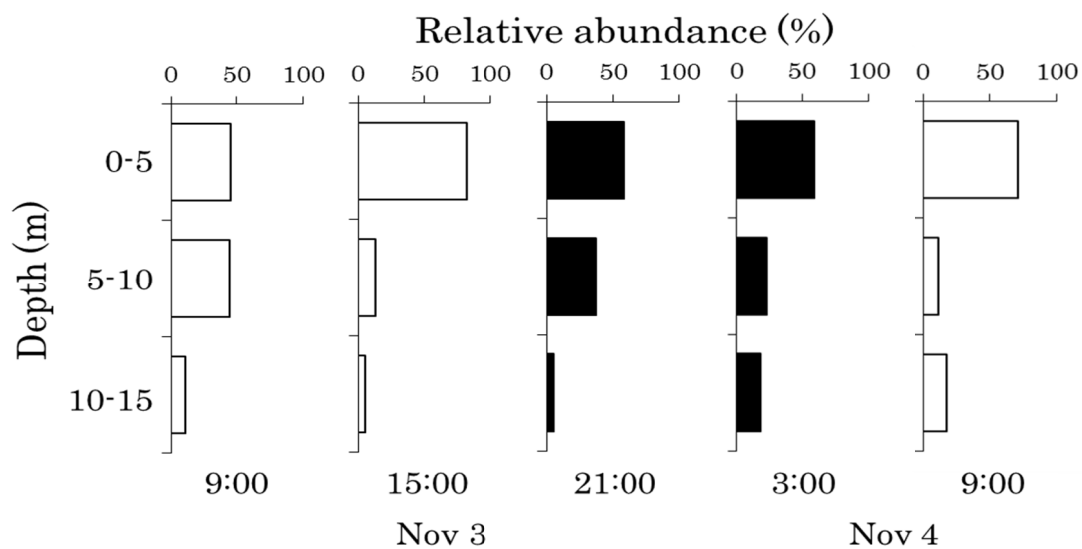


Fig. 64. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Acartia hudsonica* early stage at each layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

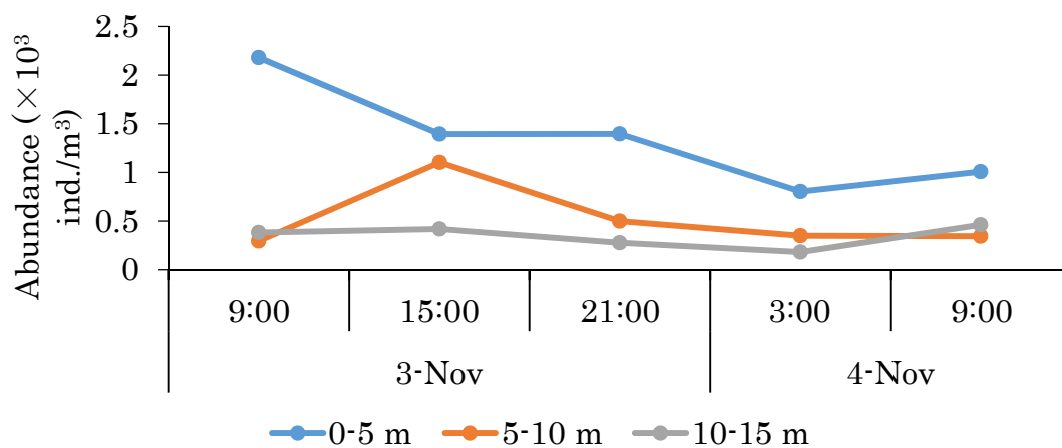


Fig. 65. Diurnal changes in abundance (ind./m³) of *Clausocalanus pergens* at each depth layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Noto-ro-ko.

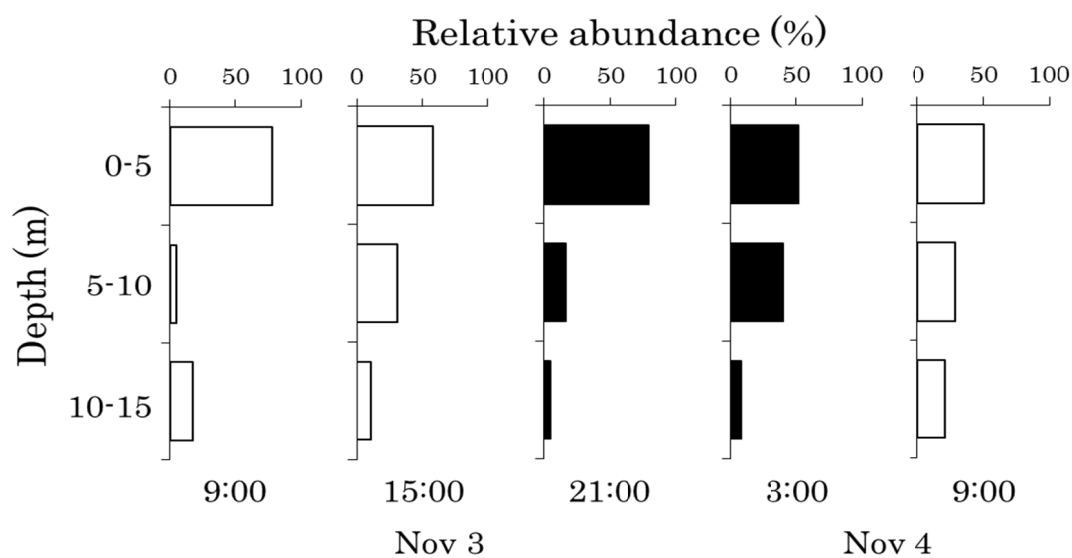


Fig. 66. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Clausocalanus pergens* adult at each layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Noto-ro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

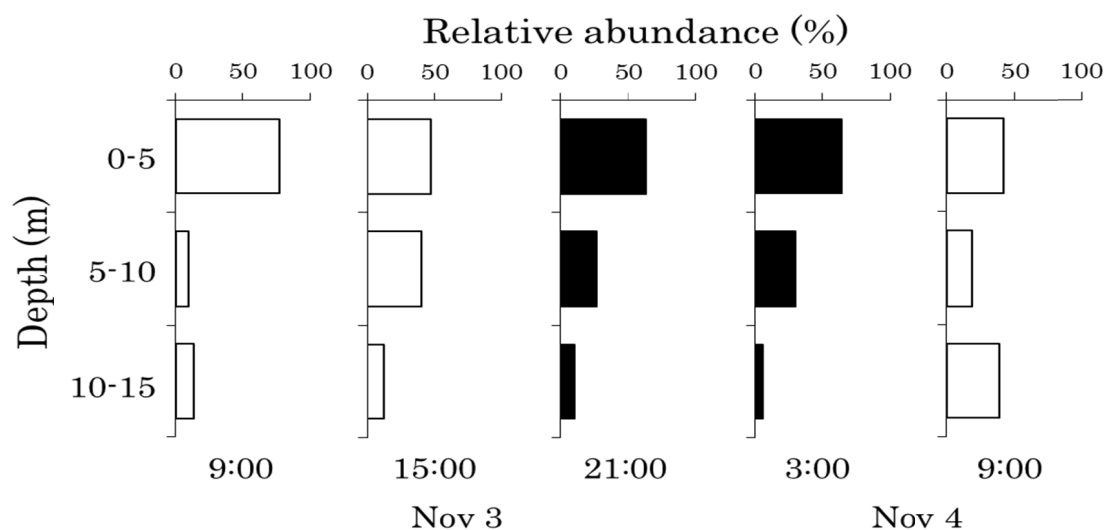


Fig. 67. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Clausocalanus pergens* late stage at each layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

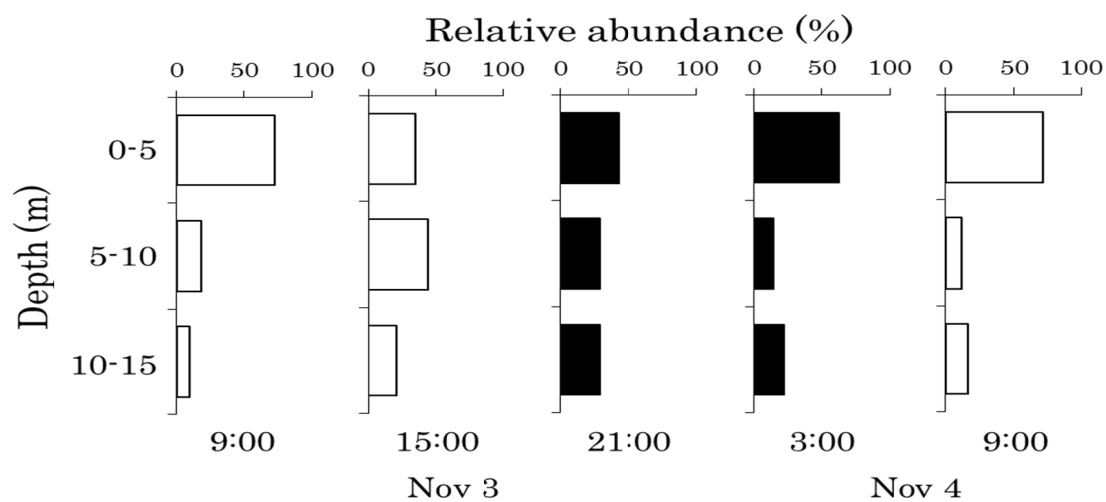


Fig. 68. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Clausocalanus pergens* early stage at each layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

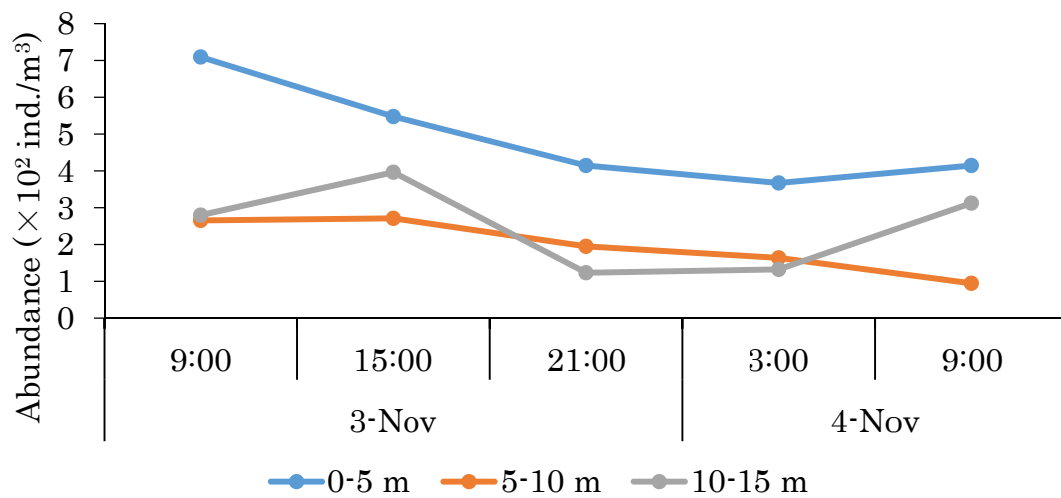


Fig. 69. Diurnal changes in abundance (ind./m³) of *Oithona similis* at each depth layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

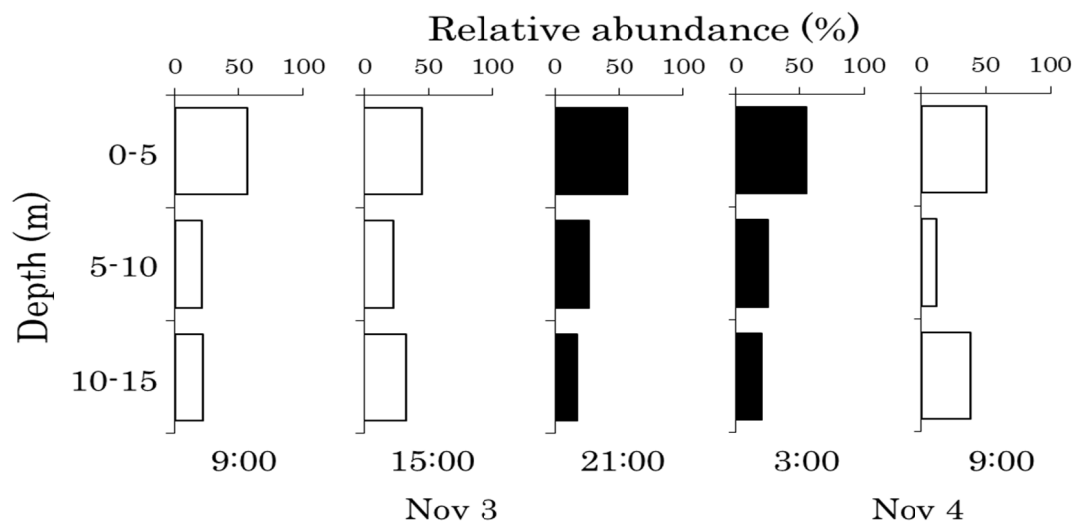


Fig. 70. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Oithona similis* at each layer from 3 to 4 November 2015 at St. A in Lagoon Notoro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

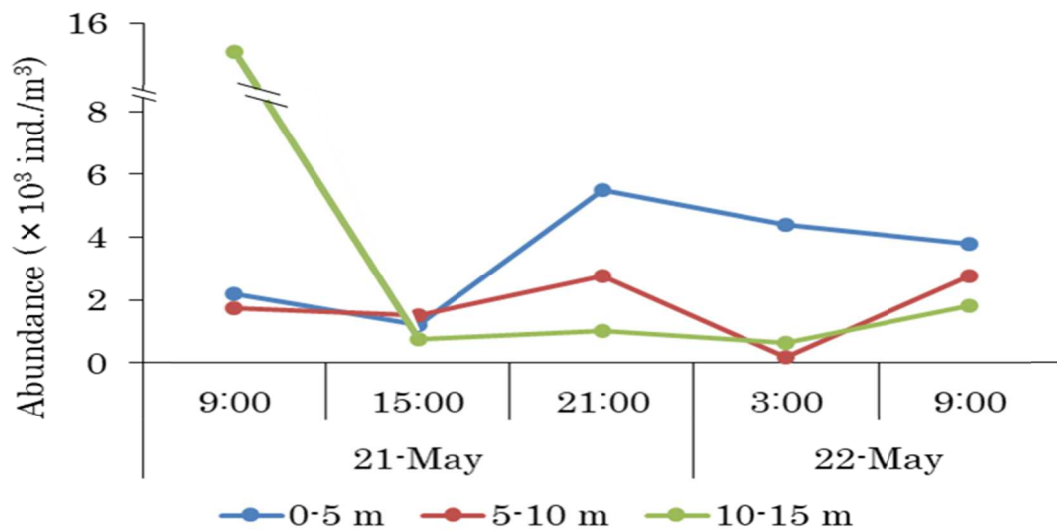


Fig. 71. Diurnal changes in abundance (ind./m³) of *Pseudocalanus newmani* at each depth layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Noto-ro-ko.

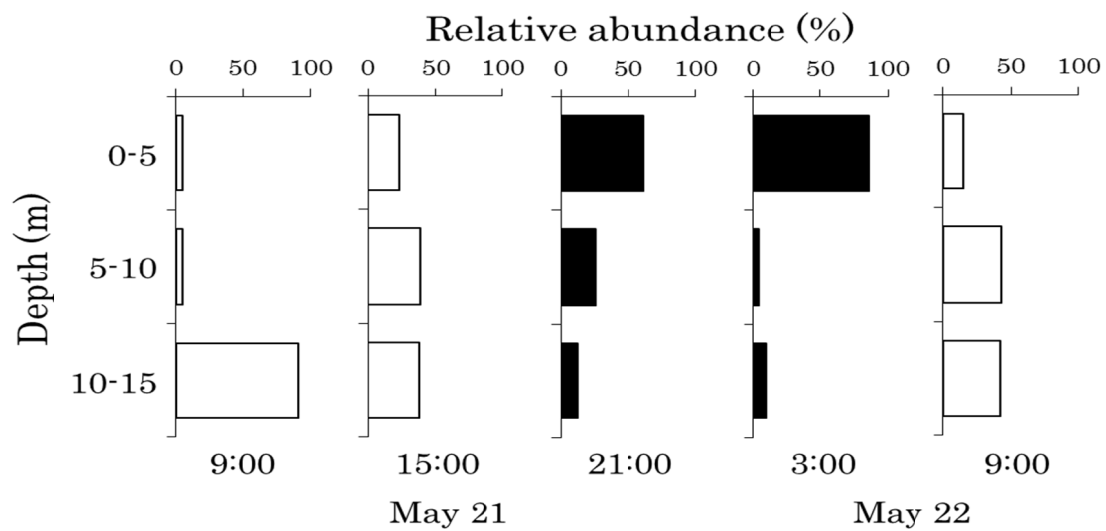


Fig. 72. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Pseudocalanus newmani* adult at each layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Noto-ro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

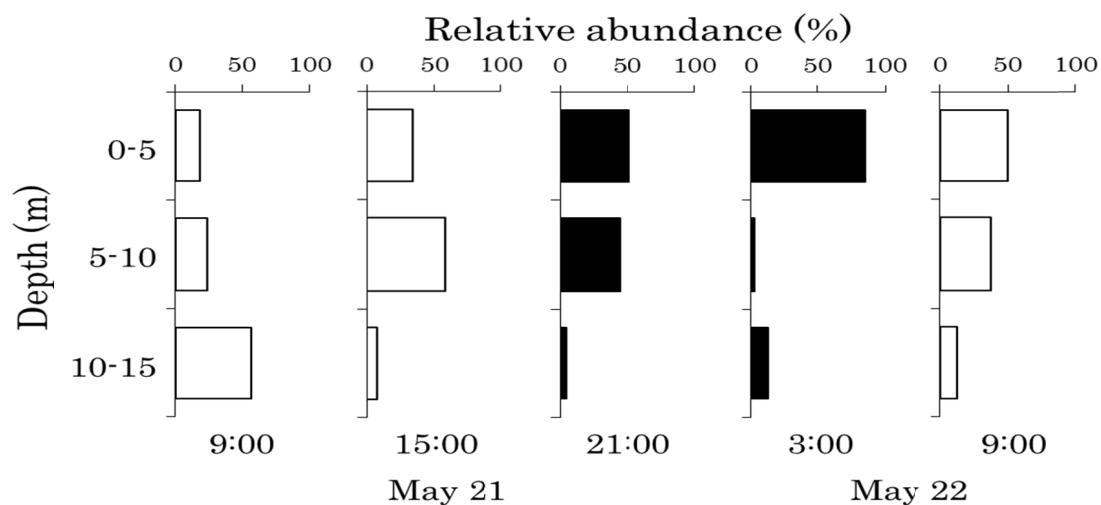


Fig. 73. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Pseudocalanus newmani* late stage at each layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Notoro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

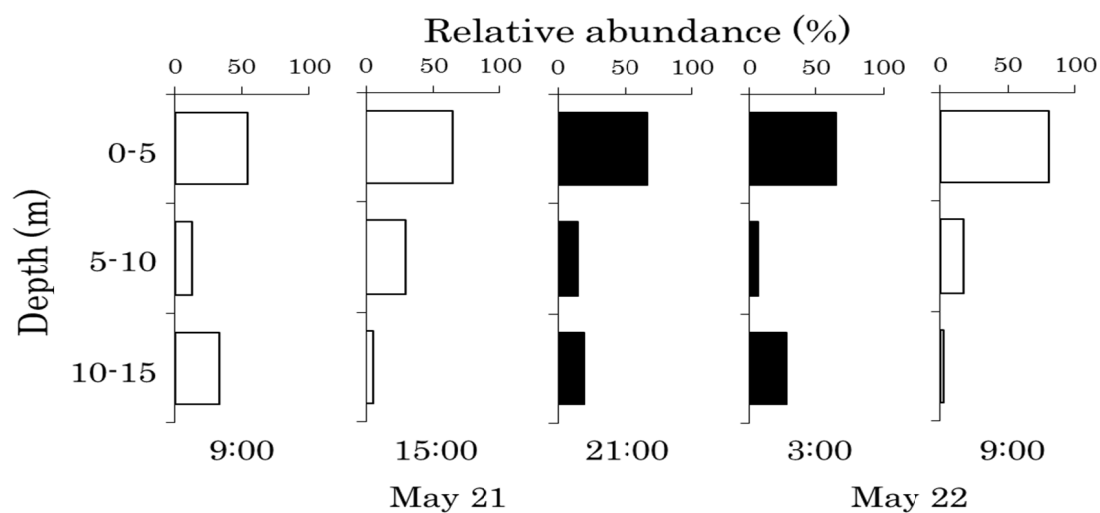


Fig. 74. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Pseudocalanus newmani* early stage at each layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Notoro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

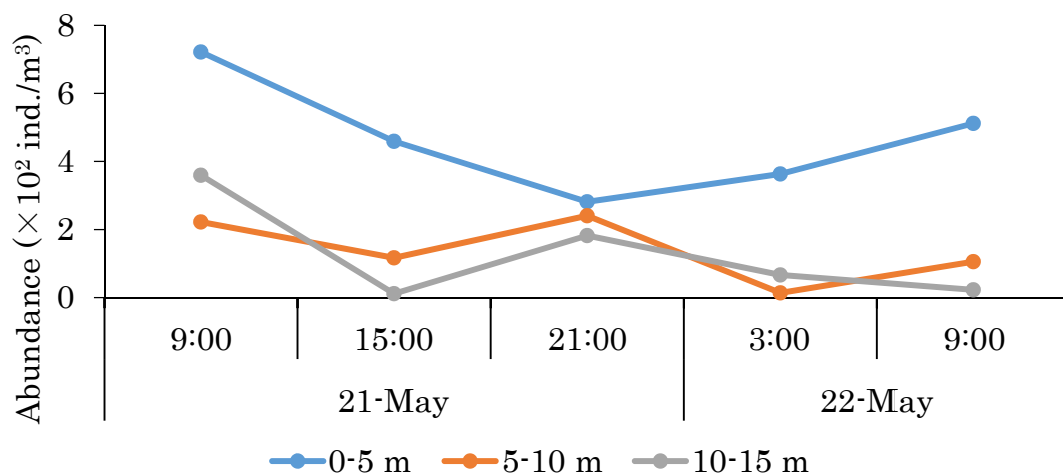


Fig. 75. Diurnal changes in abundance (ind./m³) of *Oithona similis* at each depth layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Notoro-ko.

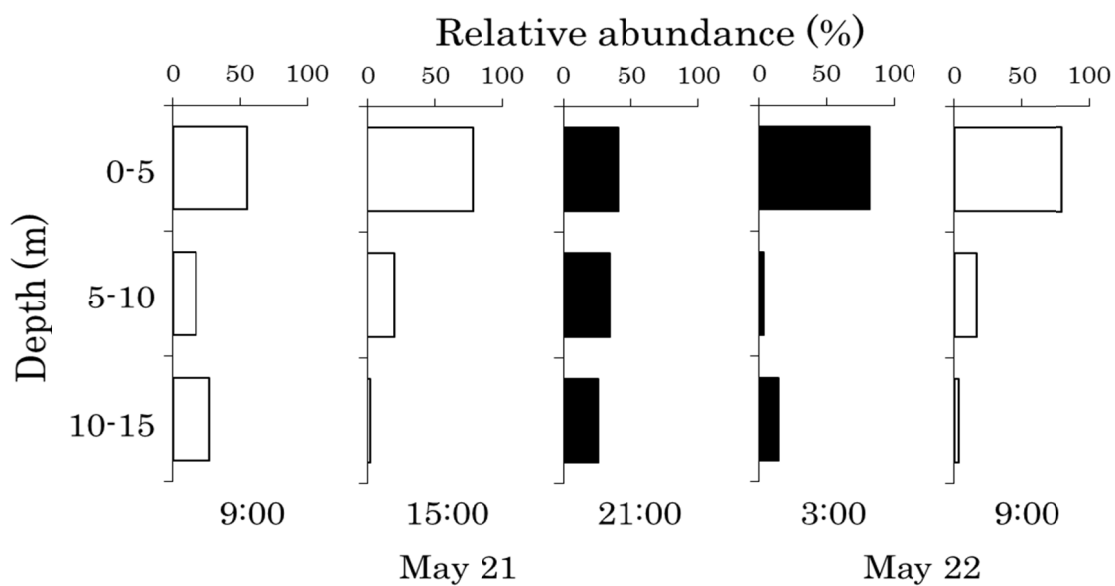


Fig. 76. Diurnal changes in relative abundance (%) of *Oithona similis* at each layer from 21 to 22 May 2016 at St. A in Lagoon Notoro-ko. White and black bars indicate daytime and nighttime, respectively.

第4章. 能取湖におけるカイアシ類群集の経年変動と気候変動の関係

1. 背景

IPCC 第4次報告書は、気候システムの温暖化には疑う余地はないと指摘している (IPCC 2007)。しかも温暖化は加速しており、1880年から2012年において、世界の平均地上気温は0.85℃上昇している (IPCC 2014)。また、全海洋の表面水温は1891年からの観測において100年あたり0.5℃上昇しており (Fig. 77)、特に2013年から2016年の4年間では、0.28℃上昇している。この海水温の上昇は気候システムの温暖化 (いわゆる地球温暖化) によって引き起こされた現象であると考えられている。オホーツク海は北半球で季節的に海氷生成が生じる最南端の海である (Watanabe 1963; Parkinson & Grantz 1983)。季節的氷水域であるオホーツク海も地球温暖化に伴う水温の上昇が危惧されており (Nakanowatari et al. 2007)、冬季の最大氷水域面積およびオホーツク海の10%以上が氷面積を占めた結氷期間は減少している (Figs. 78, 79)。2013年から2017年の5年間は、結氷期間は増加しているが、最大氷面積は減少している。オホーツク海の海氷は気温、風や海水温の変化の影響を強く受けるため大きく変動するが (気象庁 2017)、最大氷水域面積は1971年から10年あたり6.6万km²、結氷期間は1998年から10年あたり16.0日減少する傾向を示している (気象庁 2017)。このように地球温暖化は、水温の上昇のみならず、海洋の二酸化炭素濃度や水素イオン濃度の上昇などの海洋環境の変化をもたらしている。

プランクトン群集にとっては、水温の上昇によって海洋生物の生息域が北上する (Yara et al. 2012)。また、酸性化することにより甲殻類や貝類のように殻をもった生物の再生産などの生理生態に影響を及ぼすと考えられている (IPCC 2014)。プランクトン群集は、サイズの小さな変温動物であり、魚類に比べて代謝速度も世代交代も速い (谷口 2007)。その

ため、カイアシ類は海洋環境の変化によって、群集構造が変化すると考えられる。漁業資源豊かなオホーツク海沿岸域でも地球温暖化による水温の上昇が考えられるが、オホーツク海沿岸域における海洋環境の変化についての報告例は、紋別港によるメソ動物プランクトン群集が年毎に大きく変動することが明らかにされた (Arima et al. 2016) のみである。地球温暖化に伴うオホーツク海沿岸域の海洋環境の変化を明らかにするには 10 年以上の長期データを解析する必要がある。しかし、長期データの確保には莫大な資金や保存、管理が必要となる。そのため、長期的な動物プランクトン群集の標本セットを保有しているのは、東部北太平洋における CalCOFI (カルフォルニア海洋漁業共同調査) プロジェクトによって管理されている SIO (Scripps Institution of Oceanography) 研究所、北大西洋 CPR (Continuous Plankton Records) プロジェクトによって管理されている SAHFOS (Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science) 研究所が挙げられる。日本近海においては、太平洋側において 1950 年以降の小達コレクションによる試料がある。これらは大気、海洋ならびに海洋生態系から構成される地球システムの基本構造が数十年の時間スケールで転換する、すなわちレジームシフト (川崎ら 2007) との関係性についても言及している。本研究は 2013 年から 2017 年の 5 年分のデータであるため、地球温暖化の影響は明らかにできないが、漁業を持続的可能にするには長期データの取得を継続して行う必要がある。そこで、本研究では、オホーツク海の水塊の影響を強く受ける能取湖に着目し、気候変動に伴う能取湖におけるカイアシ類群集の経年変動を解析した。

2. 材料および方法

2-1. 調査概要

調査は能取湖の最深部 (水深約 20 m) に設けた定点 (St. A: 44° 03' 02.1" N, 144° 09' 38.8" E) において、2013 年 2 月から 2017 年 12 月に月に 1 回から 2 回の頻度で行っ

た。非結氷期（4 月から 12 月）の調査は、東京農業大学オホーツク臨海研究センター所属の調査船「かいよう 2」ならびに西網走漁業協同組合所有の調査船を利用して実施した。結氷期（2 月から 3 月）には徒歩で移動し、アイスオーガおよびノコギリを用いて海水に約 50 cm 四方の穴を空け、調査を行った。調査はいずれも日中（9:00 から 13:00）に行った。

カイアシ類群集の個体数密度の経年変動と気候変動との関係を検討するために、PDO index（気象庁）を解析に用いた。PDO index は、1901 年から 2000 年までの北太平洋の 20° 以北における海面水温偏差から地球温暖化の気温偏差を除いた係数で、PDO index が正の時は、北太平洋の表面水温が平年より低く、PDO index が負の時は、表面水温が平年よりも高いことを示す。また、正の PDO index は、アリューシャン低気圧が強く、負の PDO index は、アリューシャン低気圧が弱い傾向を示す。また、調査期間中の気象状況を把握するために、気象庁のデータベースから網走市の各月の平均気温と合計降水量を用いた。

2-2. 水理環境の測定

水温と塩分の測定は、Compact CTD（ASTD103、JFE アドバンテック社製）を用いて、海表面から近底層まで測定した。測定間隔は能取湖内では 0.1 m であった。水温および塩分は調査日ごとに能取湖内では 1.0 m から 18.0 m までの水柱積算平均を算出した。そして、平均値を各月ごとに算出し、解析に用いた。

2-3. Chl.a 濃度の測定

Chl.a 濃度測定用の試水は、0 m、5 m、10 m、15 m および 18 m から 6 L バンドーン採水器を用いて採取した。採取した試水 500 mL を孔径 10 μm および 2 μm のメンブレンフィルター（Whatman 社製）ならびにガラス繊維フィルター（GF/F、Whatman 社製）で濾過した。各フィルターは N, N-ジメチルホルムアミド（DMF）を 7 mL 入れた 8 mL の平底自立型チューブ（ザルスタット社製）に移し、光合成色素を抽出後、蛍光光度計（Model

10-AU、ターナーデザイン社製）を用いて蛍光法（Welschmeyer 1994）により、以下の式から Chl.*a* 濃度（μg/L）を測定した。

$$\text{Chl.}a = F_0 \cdot v / V$$

ここで、 F_0 は抽出した Chl.*a* 濃度の蛍光値、 v は抽出に用いた DMF の量（mL）、 V はろ過した試水量（mL）とした。本研究では、各サイズの Chl.*a* 濃度を合計して総 Chl.*a* 濃度を算出し、水深 18 m までの水柱積算として表した。そして、平均値を毎月ごとに算出し、解析に用いた。

2-4. カイアシ類の採集および計数

カイアシ類は目合 100 μm の NORPAC net（口径 0.45 m、側長 1.8 m）を用いて水深 15 m から鉛直曳で採集した。曳網時におけるネットの濾水量を調べるために、ネット口輪に校正済みの濾水計を取り付け、曳網毎に濾水計の値を読み取った。持ち帰った採集試料は四ホウ酸ナトリウムにより中和したホルマリンで最終濃度が 5% になるように固定した。固定した試料は、カイアシ類が 200 個体以上になるように密度に応じて元田式分割器で 1/2 から 1/64 に分割した。分割した試料は実体顕微鏡（SZX16-3141、OLYMPUS 社製）下でカイアシ類コペポダイト期について、山路（1966）、大塚・上田（1997）、Brodskaa（1950）ならびに Gradner & Szabo（1982）に従って種同定を行い、種ごとに個体数を計数した。カイアシ類の水柱平均の個体数密度（Abundance: ind./m³）は以下の式を用いて算出した。

$$\text{Abundance} = n / (\pi \cdot r^2 \cdot L \cdot t / T) / p$$

ここで、 n は計数値、 r はネット半径（m）、 L は曳網距離（m）、 t は曳網時の濾水計回転数、 T は校正時の濾水計回転数、 p は分割率とした。

能取湖の結氷期間には約 50 cm 四方の穴を通じて調査行った。2013 年から 2015 年のカイアシ類試料は目合 100 μm のリングネット（口径 0.3 m、側長 1 m）を用いて、2016 年から 2017 年のカイアシ類試料は目合 100 μm の NORPAC net（口径 0.45 m、側長 1.8 m）

を用いて、水深 15 m から鉛直曳により採集した。リングネットによる採集においては、ネットの口径が小さく、濾水計を装着しなかったため、濾水率 (θT) を 1 として前述の式からカイアシ類の個体数密度を求めた。そして、求められた密度データを用いて、平均値を各月ごとに算出し、解析に用いた。多様度指数は、以下の式から Shannon-Wiener の多様度指数 (H') を求めた (Shannon & Weaver 1949)。

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 p_i$$

ここで、 s はカイアシ類の全種数、 P_i は種 i の全カイアシ類個体数密度に対する割合とした。

3. 結果

3-1. 気象データ

PDO index は 2013 年 1 月から 2014 年 1 月まで負の値であった (Fig. 80)。しかし、2014 年 2 月以降、PDO index は正の値であった。PDO index の 11 か月の移動平均は 2013 年 12 月まで負の値であったが、2014 年 1 月以降は正の値であった。網走市の気温は全ての年で 1 月に最低値 (-7.2°C から -3.9°C) を記録した (Fig. 81)。気温は 1 月以降徐々に上昇し、2017 年 7 月の 19.8°C を除き、8 月に最高値 (18.6°C から 21.7°C) を記録した。9 月から気温は再び低下した。気温の平年偏差の 12 か月移動平均と年の回帰直線は $y=0.06x-1.66$ となり、2013 年 2 月から 2017 年 12 月の気温は低下する傾向を示した (Fig. 82)。月合計降水量が 100 mm を超えたのは 2013 年 8 月から 10 月、2014 年 8 月と 12 月、2015 年 9 月から 10 月、2016 年 8 月から 9 月、2017 年 6 月であった (Fig. 83)。特に 2016 年 8 月は 425 mm を記録した。降水量の平年偏差は 2013 年 4 月、2014 年 5 月を除いて、1 月から 5 月には負の値であった (Fig. 84)。

3-2. 能取湖環境データ

能取湖における水温は全ての年において 2 月に最低値 (-1.5°C から -1.3°C) を記録した (Fig. 85)。水温は 3 月から上昇し、全ての年において 8 月に最高値 (19.1°C から 20.8°C) を記録した。水温の平年偏差の 12 か月移動平均と年の回帰直線は $y=0.01x-0.36$ となり、2013 年 2 月から 2017 年 12 月の水温は上昇する傾向を示した (Fig. 86)。塩分は 12 月に最低値を記録し、2014 年の 32.1 を除き、31.0 から 31.3 であった (Fig. 87)。塩分の平年偏差の 12 か月移動平均と年の回帰直線は $y=0.004x-0.124$ であった (Fig. 88)。Chl.*a* 濃度は 2013 年と 2014 年は 4 月もしくは 5 月に 100 mg/m^2 以上の高濃度を記録した (Fig. 89)。しかし、2015 年以降、Chl.*a* 濃度は 100 mg/m^2 以上を記録した月が 3 回以上記録された。Chl.*a* 濃度の平年偏差の 12 か月移動平均と年の回帰直線は $y=0.76x-23.38$ となり、2013 年 2 月から 2017 年 12 月の Chl.*a* 濃度は増加する傾向を示した (Fig. 90)。

3-3. カイアシ類群集データ

能取湖におけるカイアシ類群集の個体数密度は 2014 年までは 10000 ind./m^3 以下であったが、2015 年以降は 2015 年 6 月および 12 月、2016 年 2 月、5 月、7 月および 11 月、2017 年 4 月から 7 月に 10000 ind./m^3 以上を記録した (Fig. 91)。カイアシ類群集個体数密度の平年偏差の 12 か月移動平均と年の回帰直線は $y=112.73x-3494.63$ となり、2013 年 2 月から 2017 年 12 月のカイアシ類群集個体数密度は増加する傾向を示した (Fig. 92)。結氷期 (2 月から 3 月) における種数は 2015 年 2 月を除いて常に平年値を下回った (Fig. 93)。種数の平年偏差の 12 か月移動平均と年の回帰直線は $y=0.005x-0.156$ となり、2013 年 2 月から 2017 年 12 月の種数は減少する傾向を示した。結氷期 (2 月から 3 月) における多様度指数 (H') は常に平年値を下回った (Fig. 94)。多様度指数の平年偏差の 12 か月移動平均と年の回帰直線は $y=-0.006x+0.199$ となり、2013 年 2 月から 2017 年 12 月の多様度指数は低下する傾向を示した。

3-4. カイアシ類出現種データ

カイアシ類は調査期間中 13 科出現したが、本研究では平均個体数密度が高かった上位 3 科である Acartiidae (アカルチア科)、Clausocalanidae (クラウソカラヌス科)、Oithonidae (オイトナ科) と特徴的な変化を示した Calaniidae (カラヌス科) について述べる。

Acartiidae は調査期間中、4 種出現した (Fig. 95)。*Acartia hudsonica*、*A. longiremis* および *A. omorii* は毎年出現が認められたが、*A. steuri* は 2013 年および 2017 年しか出現が認められなかった。Acartiidae の個体数密度の平年偏差の 12 か月移動平均は 2014 年 11 月まで負の値であったが、2014 年 12 月から 2016 年 6 月までは正の値を示した。2016 年 7 月からは再び負の値を記録した。

Calaniidae は調査期間中 4 種出現した (Fig. 96)。*Calanus glacialis* は 2015 年から 2017 年は出現が認められなかった。*C. pacificus* は 2015 年および 2016 年においては出現が認められなかった。*Mesocalanus tenuicornis* は 2013 年 11 月の出現に限られた。*Neocalanus plumchrus* は 2016 年においては出現が認められなかった。Calaniidae の個体数密度の平年偏差の 12 か月移動平均は 2013 年 10 月まで正の値を示したが、2013 年 11 月からは負の値を示した。

Clausocalanidae は調査期間中 4 種出現した (Fig. 97)。*Clausocalanus parapergens* は 2015 年 12 月の出現に限られた。*C. pergens* は 2013 年は 9 月から 12 月に出現したが、2014 年から 2017 年は 7 月から出現が認められた。*C. pergens* の個体数密度は 2014 年までは 2000 ind./m³ 以下であったが、2015 年からは 2000 ind./m³ 以上の最大値を記録した。*Pseudocalanus minutus* は毎年出現したが、8 月から 10 月には出現が認められなかった。*P. newmani* の個体数密度は 2015 年 5 月までは 3000 ind./m³ 以下であったが、2015 年 5 月から 7 月、2016 年 2 月、4 月から 7 月、11 月、2017 年 2 月、4 月から 6 月には密度は 3000 ind./m³ 以上であった。Clausocalanidae の個体数密度の平年偏差の 12 か月移動平均は 2015 年 5 月まで負の値を示したが、2015 年 6 月からは正の値であった。

Oithonidae は調査期間中 3 種出現した (Fig. 98)。 *Oithona atlantica* および *O. similis* は、調査期間中常に出現が認められた。しかし、 *O. davisae* は 2014 年 6 月から 8 月の出現に限られた。Oithonidae の個体数密度の平年偏差の 12 か月移動平均は 2013 年 12 月までは正の値であったが、2014 年 1 月から 2015 年 4 月は負の値を示し、2015 年 5 月からは再び正の値を示した。

4. 考察

世界の平均地上気温は 1880 年から 2012 年の間に 0.85°C 上昇していることが報告され、いわゆる地球温暖化は疑う余地がないと指摘されている (IPCC 2014)。一方、海洋システムにおいても、1955 年から 2004 年にかけて、全球的に海表面の水温が上昇したことが報告された (Nakanowatari et al. 2007)。また、オホーツク海では冬季の海氷の面積と結氷期間が減少する傾向を示している (気象庁 2017)。地球温暖化の影響はオホーツク海の海洋システムにも影響を及ぼしている可能性が指摘されている (Kimura & Wakatsuchi 1999; 2004)。本研究期間の 2013 年から 2017 年のオホーツク海の海氷面積も減少傾向を示している。本研究における能取湖の 2013 年から 2017 年の水温は上昇傾向を示した。また、網走市の気温も当該期間では上昇傾向を示した。能取湖における水温の上昇傾向は、網走市の気温の上昇が要因の一つであると考えられる。PDO index は 2013 年から 2014 年にかけて負の値から正の値に変化した。PDO index が正の値に変化するとアリューシャン低気圧が強くなり、北東太平洋は寒冷レジームになり、南西太平洋は温暖レジームになる (Hare & Francies 1995; Hare et al. 1999)。北西太平洋に隣接するオホーツク海沿岸域や能取湖も 2013 年から 2014 年にかけて、寒冷レジームにシフトした可能性がある。しかし、能取湖における水温ならびに網走市の気温は上昇傾向であった。IPCC (2014)によると、世界の地上気温は 1951 年から 2012 年の期間に比べ、1988 年から 2012 年の期間における上昇傾向

は弱まっている。しかし、本研究期間である 2013 年から 2016 年における全球水温上昇率は著しく高い。PDO index は地球温暖化の影響を取り去るために、経験的直交関数解析を行う前にそれぞれの地点の月平均海面水温偏差から全球平均水温偏差を除いた数値であり、2013 年から 2017 年においては寒冷モードによる低下率以上に地球温暖化による上昇率のほうが強い影響を及ぼしている可能性がある。

しかし、温暖レジームから寒冷レジームへのシフトがカイアシ類群集の個体数密度に影響を与えたのかもしれない。能取湖の 2013 年から 2017 年におけるカイアシ類群集の個体数密度は増加傾向を示した。また、*P. newmani* も当該期間で増加傾向を示した。特に、2016 年および 2017 年の 4 月から 6 月には平年よりも個体数密度が高かった。*P. newmani* は 15°C 以下の水温を好み（山口・志賀 1997）、オホーツク海沿岸域では低温低塩分の水塊が分布する測点で現存量が高くなる（Asami et al. 2005; Asami et al. 2007; Asami et al. 2010a）。

P. newmani は結氷期間である 2 月から 3 月にはカイアシ類群集の 76.0% 以上を占めるため（第 2 章 1 節）、餌生物に対する種間競争が低く、独占状態であったと考えられる。水温の上昇傾向は、4 月から 12 月の非結氷期に見られた。*P. newmani* にとって、非結氷期の水温の上昇傾向は結氷期に独占した餌生物からのエネルギーを素早く再生産に利用できる可能性がある。一般に、PDO index が正の値に変化し、寒冷レジームにシフトすると、北太平洋では冬季の鉛直混合が活発となり、表層への栄養塩の供給量が増加することによって、植物プランクトンによる基礎生産量が増加すると考えられている（Ono et al. 2005）。オホーツク海において、寒冷レジームにシフトすると、どのように海洋環境が変動するのかは明らかではない。本研究における能取湖の Chl. *a* 濃度は増加傾向を示した。この能取湖の Chl. *a* 濃度の増加傾向と寒冷レジームへのシフトが一致したが、本研究結果ではその関係性を明らかにすることはできない。更に、本研究において Calaniidae 各種の個体数密度が 2014 年以降に減少し、多様度指数が減少する傾向を示した。能取湖においては寒冷レジームへのシフトがカイアシ類の種数および多様度指数に影響する可能性がある。

レジームシフトは大気・海洋・海洋生態系から構成される地球環境システムの基本構造（レジーム）が、数 10 年の時間スケールをかけてシフトすることであり（川崎 2009）、マイワシとカタクチイワシの変動で初めて見つけられた（Kawasaki 1983）。一方、レジームシフトは、マイワシやカタクチイワシと比べてプランクトン等の低次生産生物には現れにくい（谷口 2007）。川崎（2010）は、気候の変動-海洋物理環境-プランクトン-マイワシと栄養段階が高くなるに連れて変動の振幅が大きくなる（生物学的増幅：biological amplification）と指摘した。谷口（2007）は、マイワシに比べてプランクトン現存量において変動幅が小さい理由を食物連鎖の緊密性にあると述べている。すなわち、外洋域では食物連鎖構造はトップ・ダウンでコントロールされている。そのため、低次生産生物の現存量は常に低く抑えられているために、レジームシフトが起こったとしても、プランクトン現存量の変動幅が小さく押さえられることになる。一方、能取湖では、外洋域に比べて常に栄養塩濃度が高く、Chl.*a* 濃度も高い（西野ら 2014b）。すなわち、能取湖ではトップ・ダウンでコントロールされていないと思われる。そのため、沿岸域の影響を強く受けると考えられる能取湖においては、気候システムが温暖レジームから寒冷レジームへのシフトに伴って、動物プランクトンレベルまで現存量が顕著に変動したのかもしれない。

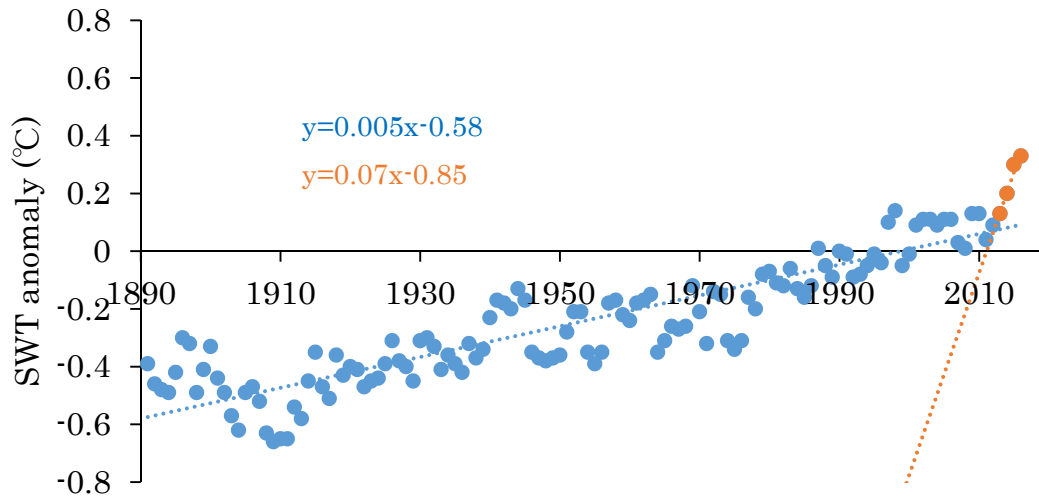


Fig. 77. Surface water temperature (SWT) anomaly (°C) in the world oceans relative to 1891-2016. These data were originated from Japan Metrological Agency. Broken line indicates regression line between SWT (y) anomaly and year (x). Orange indicates equation during 2013-2017.

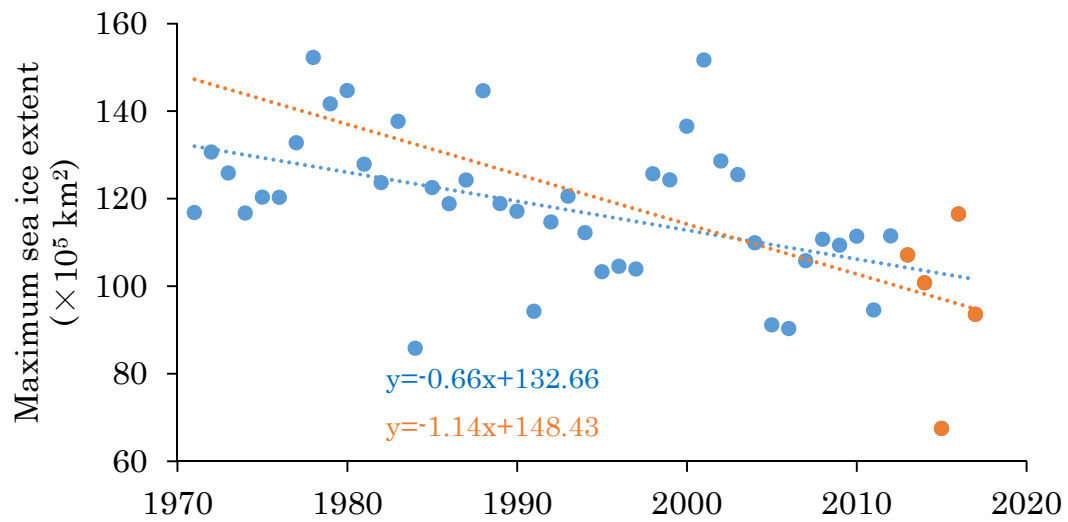


Fig. 78. Maximum sea ice extent (km²) in the Okhotsk Sea from 1971 to 2017. These data were originated from Japan Metrological Agency. Broken line indicates regression line between maximum sea ice extent (y) and year (x). Orange indicates equation during 2013-2017.

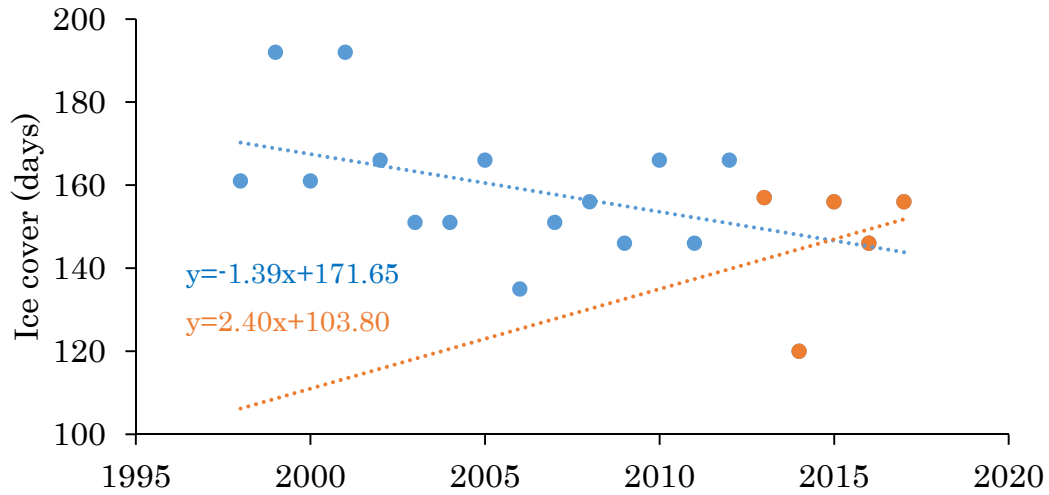


Fig. 79. Duration of sea ice cover which occupied in 10% of whole area of the Okhotsk Sea from 1998 to 2017. These data were originated from Japan Meteorological Agency. Broken line indicates regression line between duration of ice cover (y) and years (x). Orange indicates equation during 2013-2017.

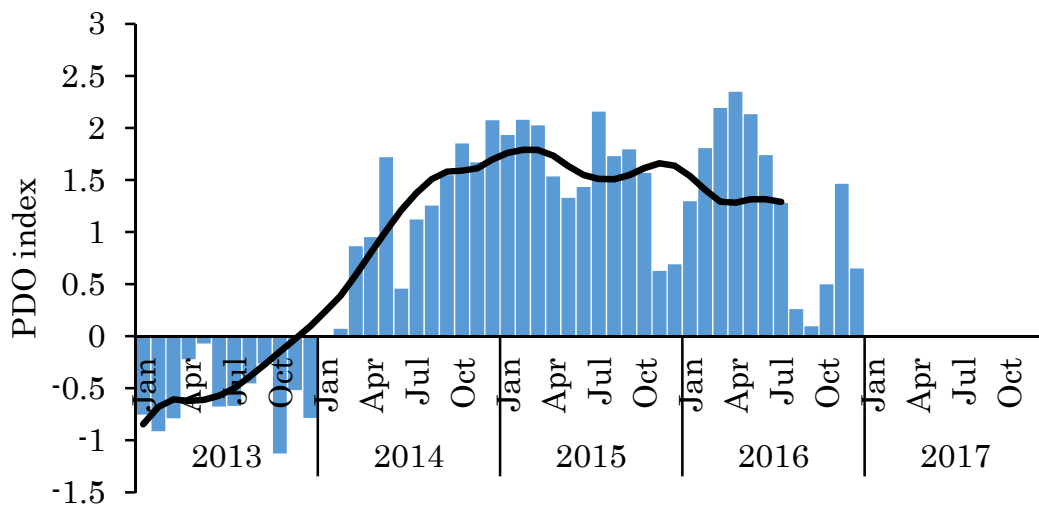


Fig. 80. Curves of PDO index sequence changing with year from 2013 to 2016. The bars represents the value of the PDO index. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average.

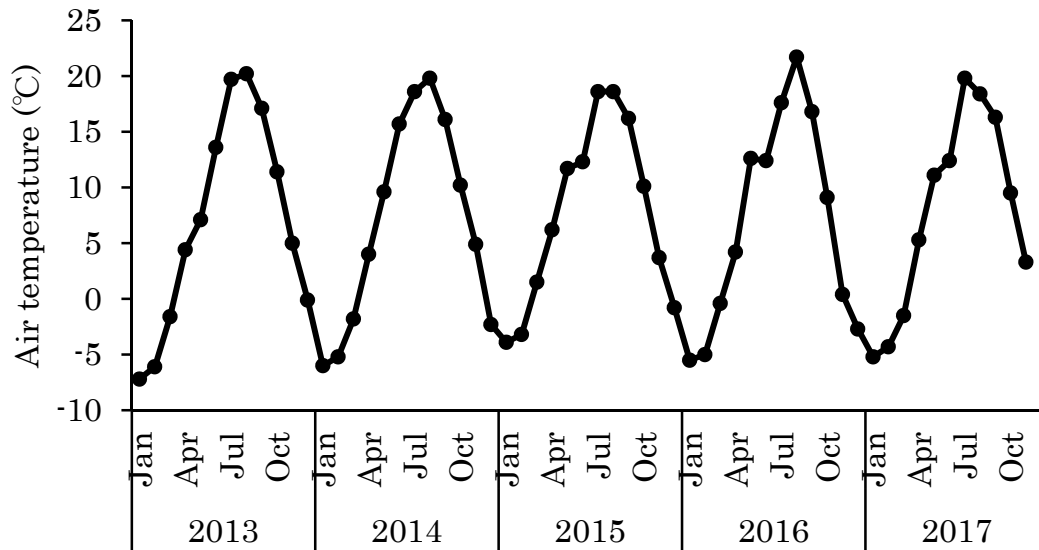


Fig. 81. Interannual variability of air temperature (°C) in Abashiri from 2013 to 2017.

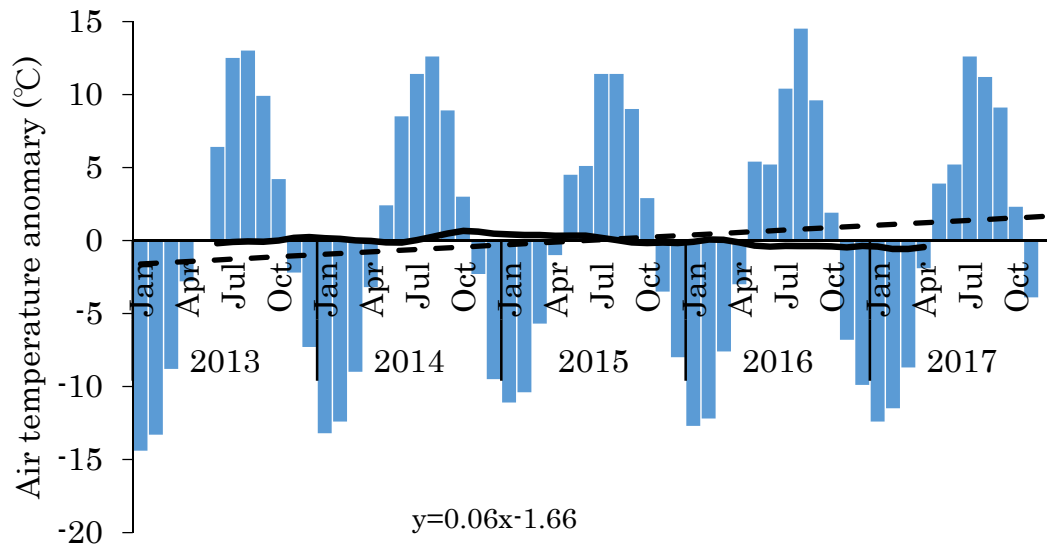


Fig. 82. Deviation of the inter-annual variability of Air temperature anomaly (°C) in Abashiri relative to 2013-2017. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average. A broken line indicates a regression line between air temperature anomaly (y) and year (x).

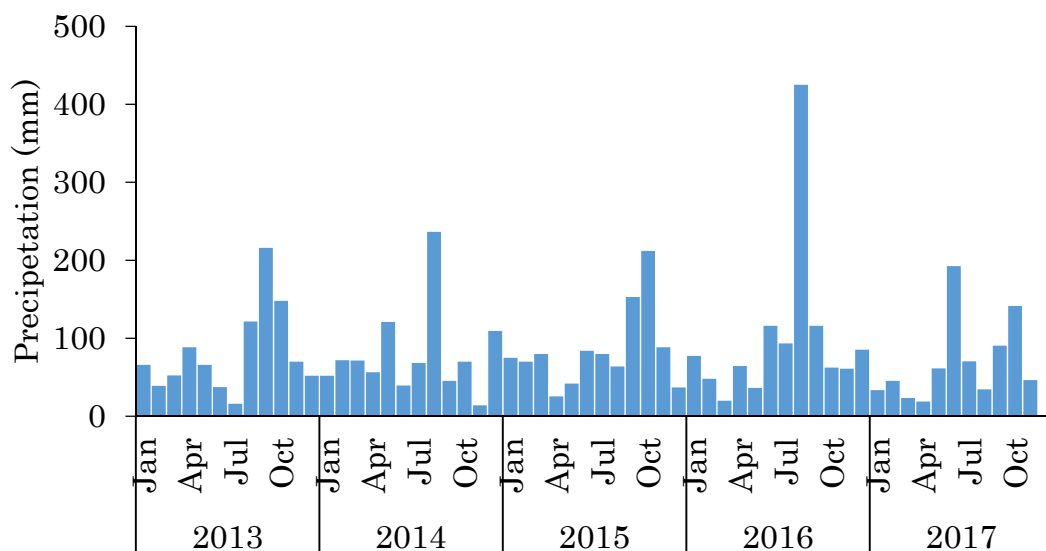


Fig. 83. Inter-annual variability of precipitation (mm) in Abashiri from 2013 to 2017.

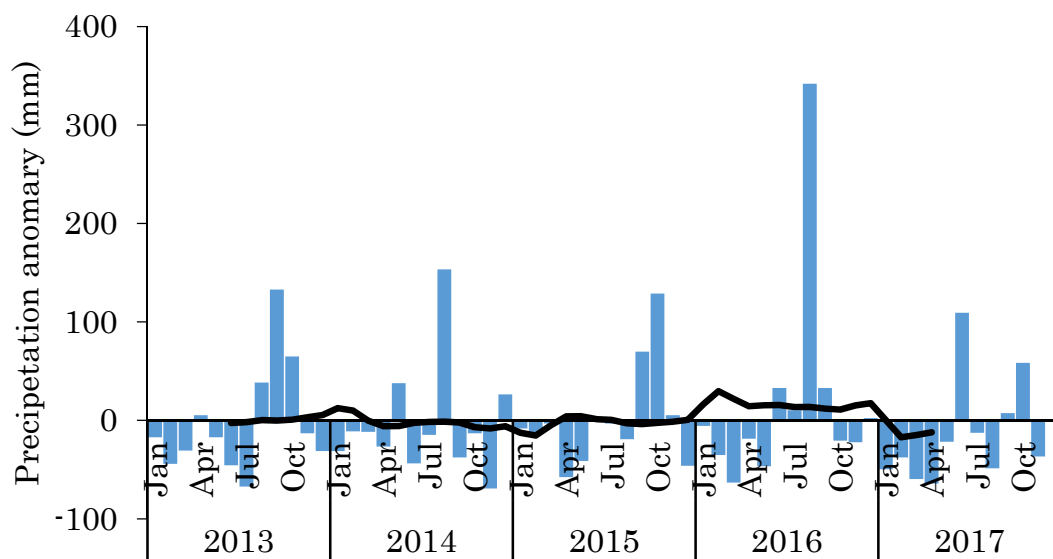


Fig. 84. Precipitation anomaly (mm) in Abashiri relative to 2013-2017. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average.

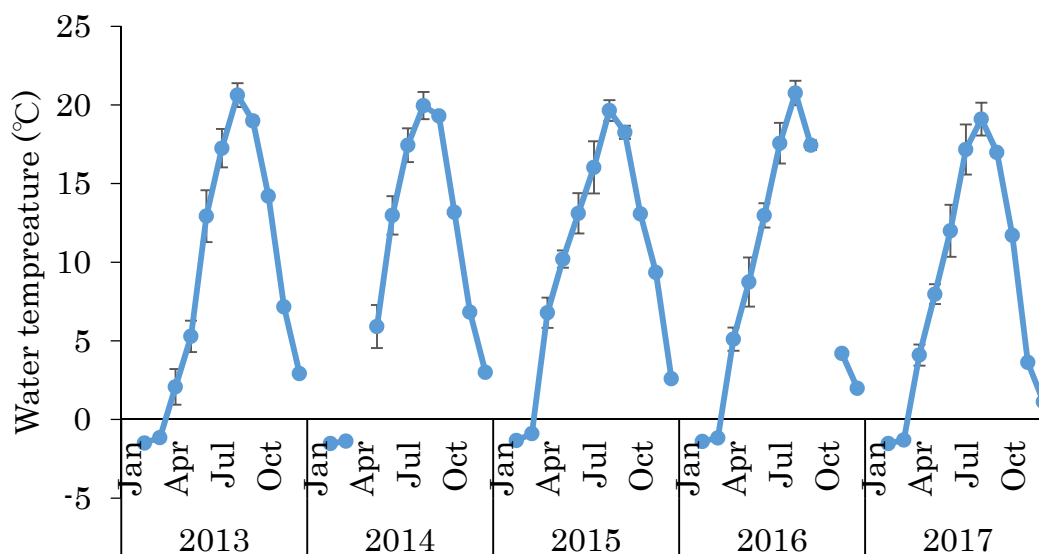


Fig. 85. Interannual variability of water temperature (°C) in Lagoon Notoro-ko from 2013 to 2017. Vertical bars indicate standard deviations.

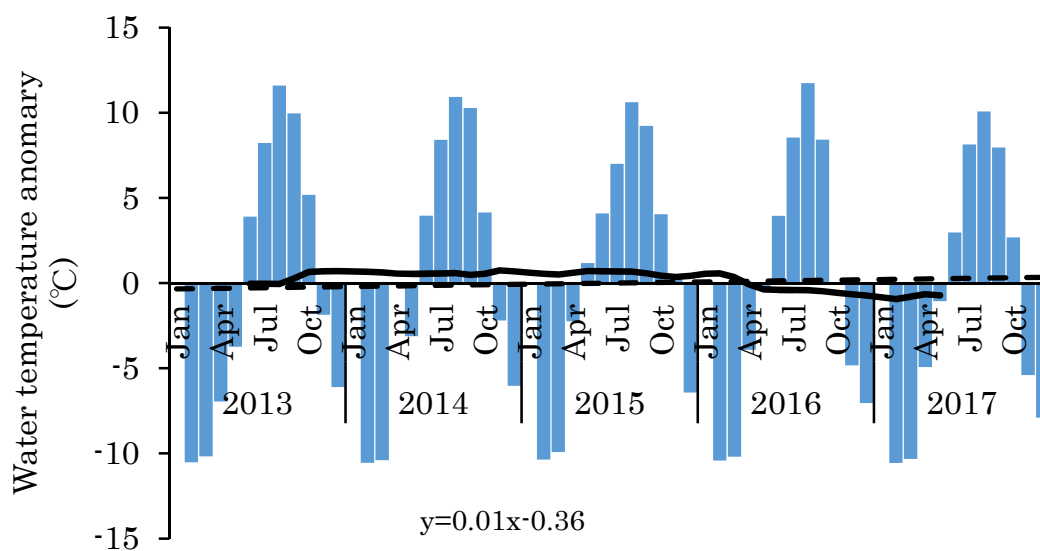


Fig. 86. Water temperature anomaly (°C) in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average. A broken line indicates a regression line between air temperature anomaly (y) and year (x).

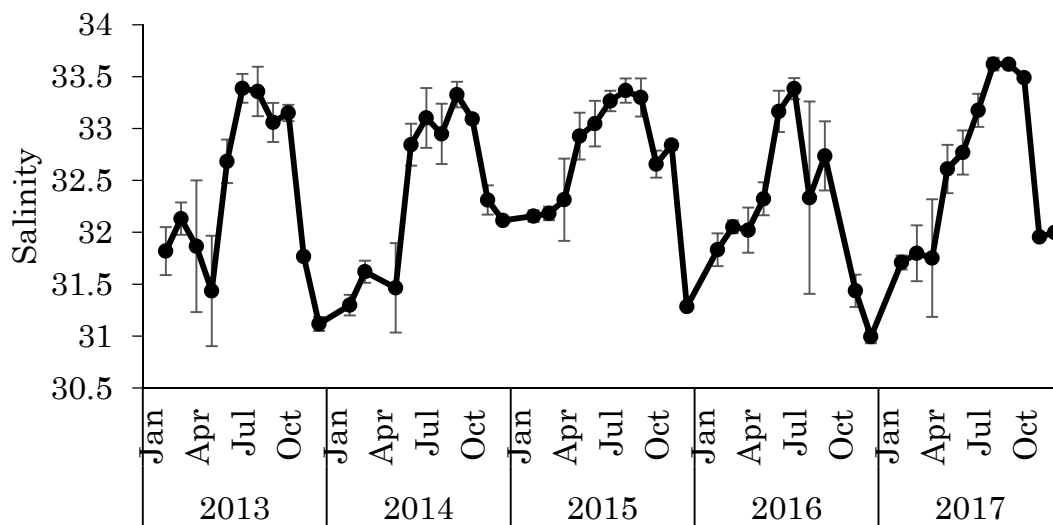


Fig. 87. Interannual variability of salinity in Lagoon Notoro-ko from 2013 to 2017.

Vertical bars indicate standard deviations.

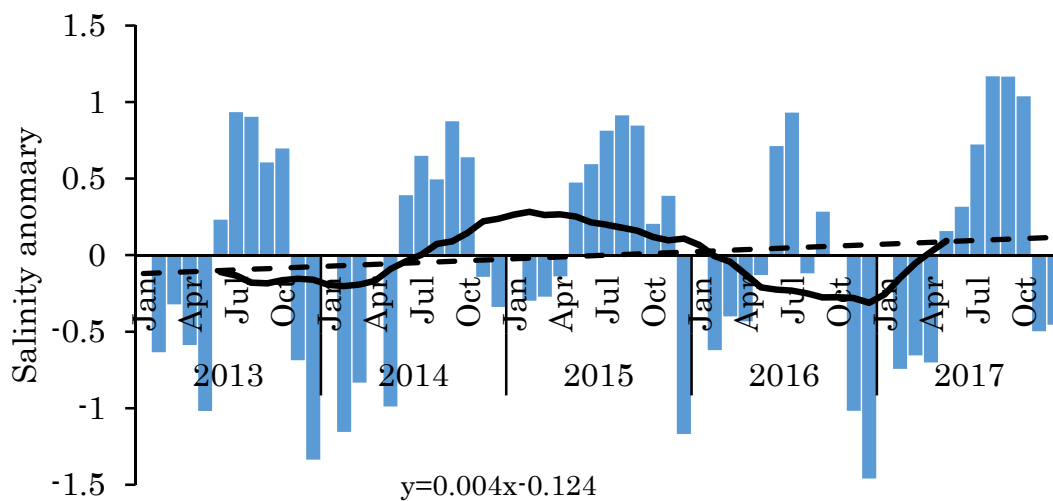


Fig. 88. Salinity anomaly in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average. A broken line indicates a regression line between air temperature anomaly (y) and year (x).

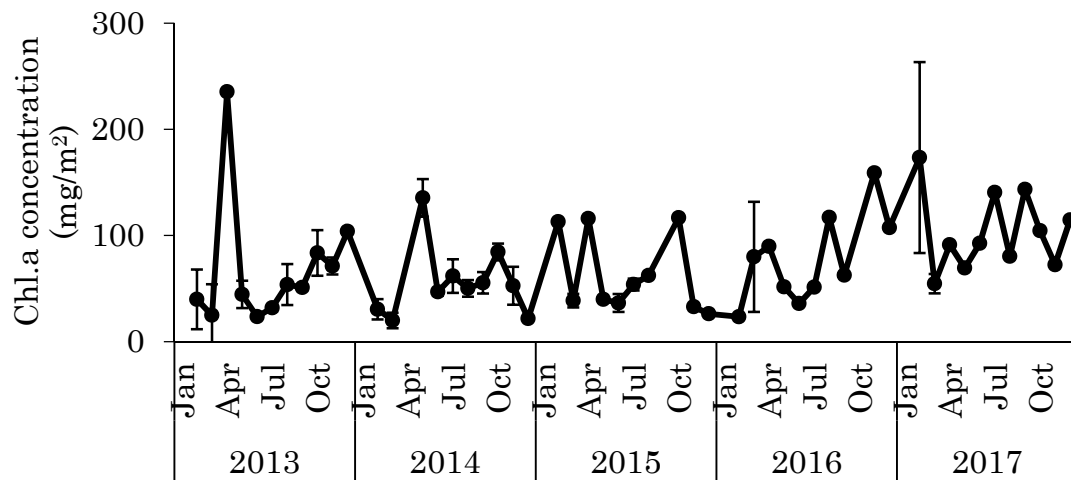


Fig. 89. Interannual variability of integrated Chl.*a* concentration (mg/m²) of 0-18 m depth layer in Lagoon Notoro-ko from 2013 to 2017. Vertical bars indicate standard deviations.

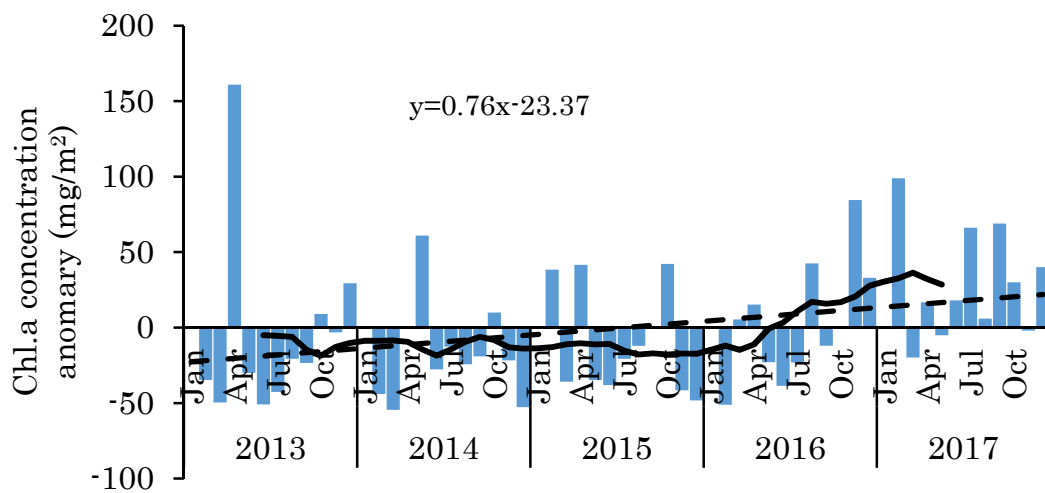


Fig. 90. Chl.*a* concentration anomaly (mg/m²) in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average. A broken line indicates a regression line between air temperature anomaly (y) and year (x).

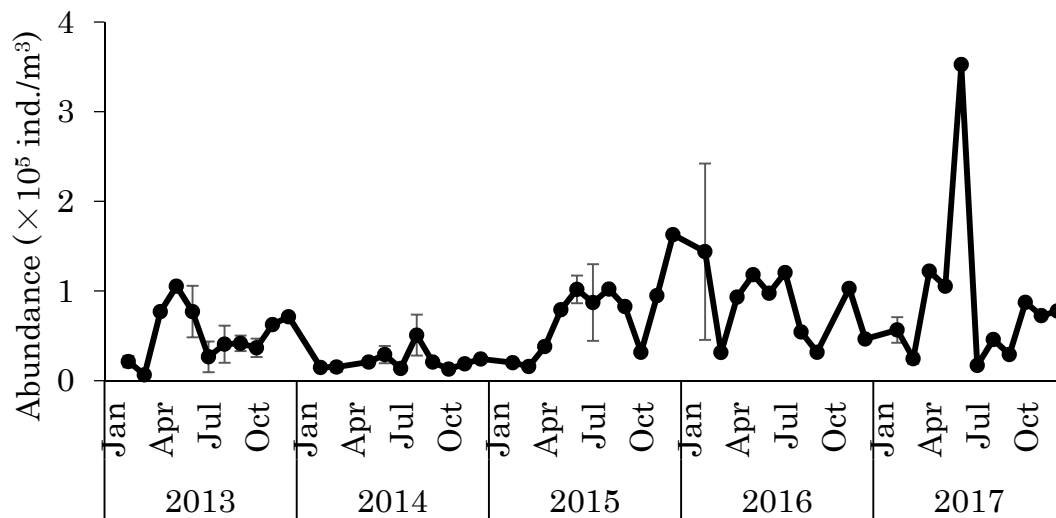


Fig. 91. Interannual variability of total copepod abundance (ind./m³) in Lagoon Notoro-ko from 2013 to 2017. Vertical bars indicate standard deviations.

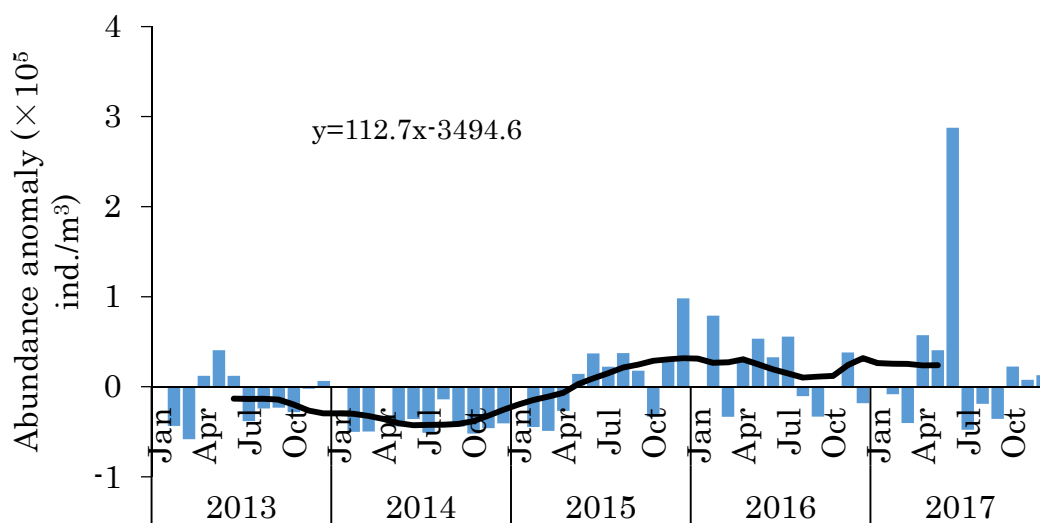


Fig. 92. Anomaly of total copepod abundance (ind./m³) in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average. A broken line indicates a regression line between air temperature anomaly and year.

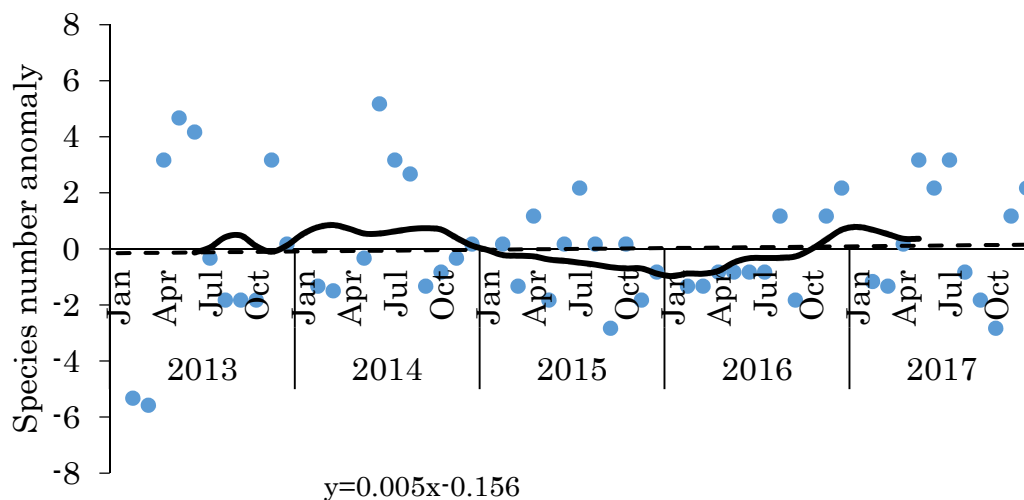


Fig. 93. Anomaly of species number in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average. A broken line indicates a regression line between air temperature anomaly (y) and year (x).

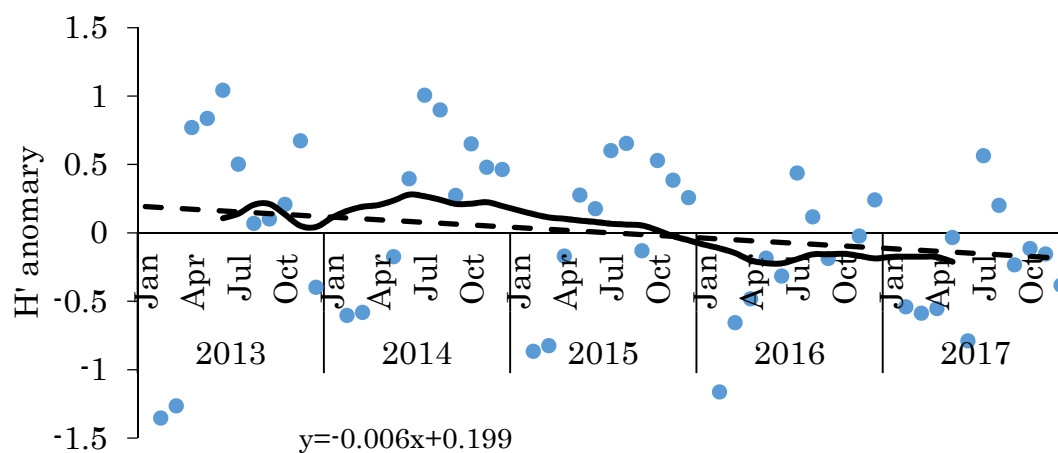


Fig. 94. Anomaly of diversity index (H') in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average. A broken line indicates a regression line between air temperature anomaly (y) and year (x).

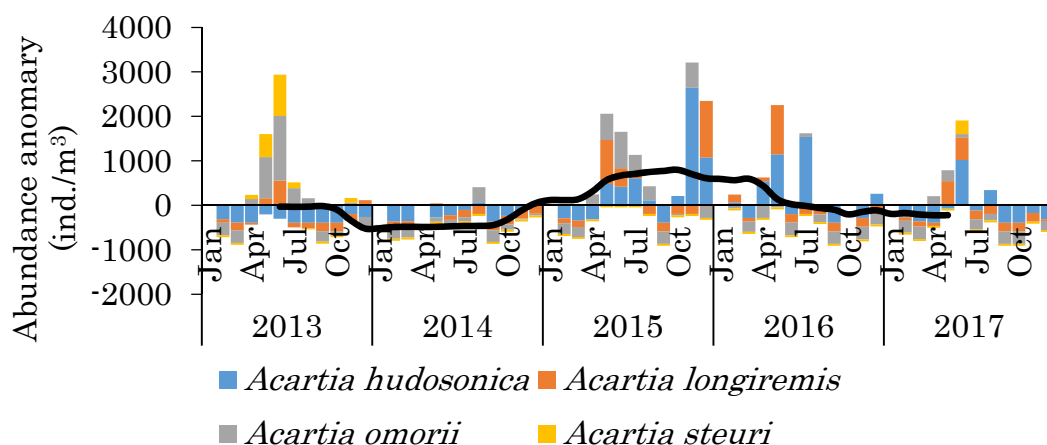


Fig. 95. Anomaly of Acartidae copepod abundance (ind./m³) in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017: blue for *Acartia hudsonica*, grey for *A. omorii*, orange for *A. longiremis*, yellow for *A. steuri*. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average.

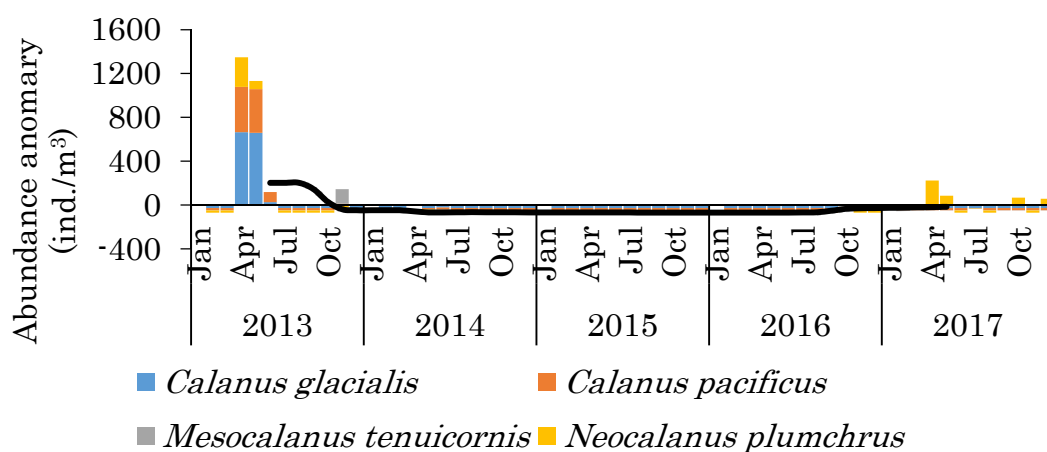


Fig. 96. Anomaly of Calaniidae copepod abundance (ind./m³) in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017: blue for *Calanus glacialis*, grey for *Mesocalanus tenuicornis*, orange for *C. pacificus*, yellow for *Neocalanus plumchrus*. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average.

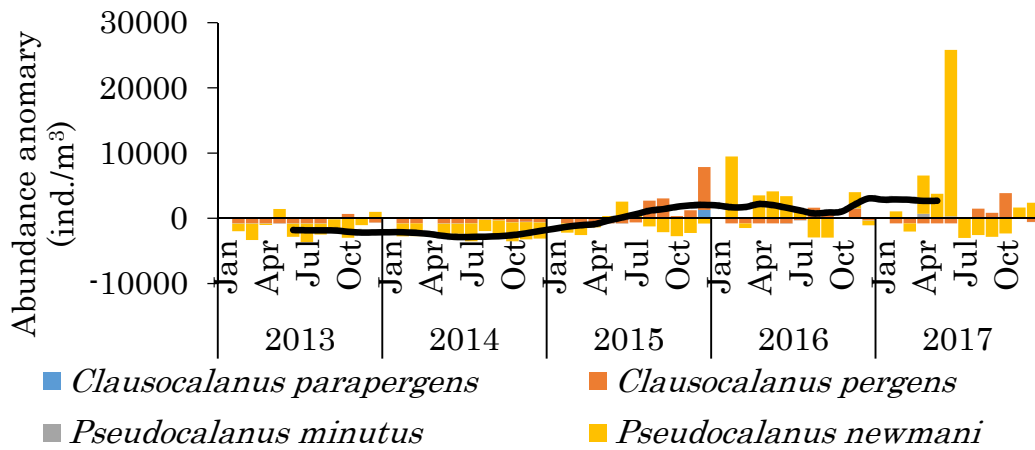


Fig. 97. Anomaly of Clausocalanidae copepod abundance (ind./m³) in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017: blue for *Clausocalanus parapergens*, grey for *Pseudocalanus minutus*, orange for *C. pergens*, yellow for *P. newmani*. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average.

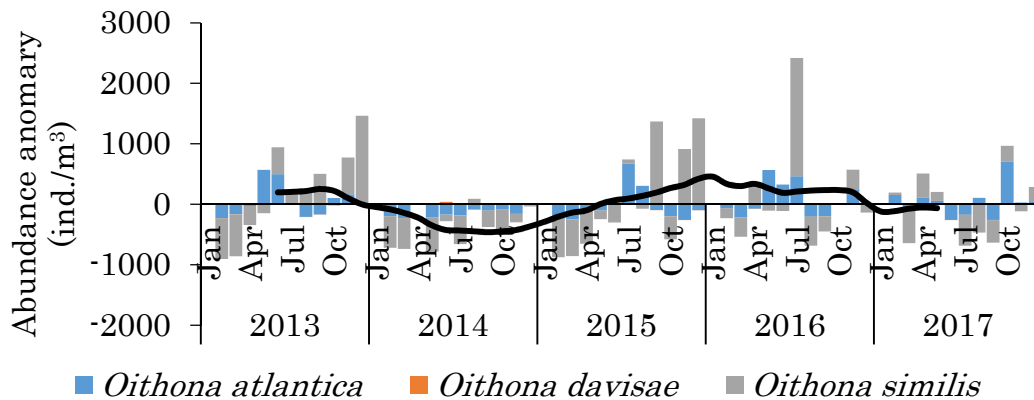


Fig. 98. Anomaly of Oithonidae copepod abundance (ind./m³) in Lagoon Notoro-ko relative to 2013-2017: blue for *Oithona atlantica*, grey for *O. similis*, orange for *O. davisae*. A curve indicates the trend information extracted from 12-month moving average.

総合考察

オホーツク海沿岸域は宗谷暖流と東樺太海流という 2 つの水塊が季節的に変化する海域である。また、冬季に海表面が海水で覆われることによって、高い漁業生産を誇る海域である。そこで、本研究はオホーツク海沿岸域に位置する海跡湖の能取湖におけるカイアシ類群集の動態を様々な時間スケールで明らかにした初めての研究報告である。

第 1 章では、水質の異なる宗谷暖流水と東樺太海流水が季節的交替するオホーツク海沿岸域において、外海水の影響を強く受ける能取湖のカイアシ類群集も変動することを明らかにした。第 2 章の第 1 節では、オホーツク海沿岸域と能取湖のカイアシ類群集を同期間調査することによって、能取湖内の 4 月から 12 月と能取湖外の 12 月で構成されたグループ A、能取湖内の 2 月から 3 月ならびに能取湖外の 4 月と 6 月によって構成されたサブグループ B1、能取湖外の 5 月および 7 月から 11 月で構成されたサブグループ B2 に大別できることが明らかとなった。サブグループ B1 は冷水種の *Pseudocalanus newmani* の優占率が高く、能取湖内外ともに水温が氷点下になるため、調査を行うことができなかった湖外の結氷期もグループ B1 に属する可能性が示唆された。第 2 章の第 2 節では、優占種の *P. newmani* を能取湖内外で成長段階毎に個体数密度と体サイズを解析し、宗谷暖流水がみられる時期には成体の個体数密度と体サイズが低下するが、東樺太海流水がみられると成体の個体数密度と体サイズが上昇する。また、海氷に付着したアイスアルジーや海氷下水柱植物プランクトンを利用して、オホーツク海沿岸域において世代交代している可能性を示唆した。第 3 章では、潮位変動が能取湖におけるカイアシ類の個体数密度に与える影響は能取湖の複雑な潮汐変動により見出すことはできなかった。しかし、能取湖で優占する *A. hudsonica*、*C. pergens*、*O. similis* は全ての成長段階で昼夜ともに表層に分布するが、*P. newmani* は成体のみ日中には表層に分布し、夜間には低層に分布した。*A. hudsonica*、*C. pergens*、*O. similis* は鉛直的に移動するエネルギーを抑え、潮汐流に乗って、水平的に広範囲に分布する生存戦略をとっていることが示唆された。対して、昼夜鉛直移動を行って

いた *P. newmani* 成体は潮汐と採集時間によっては、能取湖に集積される可能性があることを示唆した。第 4 章では、気候レジームは寒冷化にシフトするが、能取湖においては水温が上昇した。また、*P. newmani* の個体数密度は増加するが、CALANIDAE の個体数密度は減少する傾向を示し、カイアシ類群集は種数、多様度指数が減少する傾向を示した。オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集の動態を明らかにするには、異なる時間スケールの変動要因をそれぞれに明らかにし、複合的に検討する必要がある。本研究は季節的に水塊が交替し、冬季に結氷するという環境要因が大きく変化するオホーツク海沿岸域の生態系の低次生態系の一端を担うカイアシ類の動態の一部を明らかにしたに過ぎない。

網走市における漁獲量（漁業および養殖業の合計）は 2011 年から 2013 年にかけて 6 万 t 以上であったが、2014 年以降約 5 万 t に減少している（網走市 2007 : Fig. 99）。生産額も同様に 2011 年から 2013 年には 140 億円前後だったが、2014 年以降 125 億円程度に減少している（網走市 2017: Fig. 100）。漁獲量および生産額ともに海面漁業が 91.7% および 88.4% と多くを占める。魚種別にみると、漁獲量ではスケトウダラが 32.4% を占め、次いでホタテが 27.7%、サケが 17.2%、ホタテ稚貝が 11.1% を占める（網走市 2017: Fig. 101）。しかし、生産額はスケトウダラが 11.2% に留まり、サケが 33.5%、ホタテが 23.1%、ホタテ稚貝が 11.1% を占める（網走市 2017: Fig. 102）。本研究対象であるカイアシ類は食物網の構築、深層への有機物輸送、一次生産の季節変動の平準化、栄養塩再生生産という機能を有することから、網走市の主要漁獲生物と密接に関わっている。北海道水産林務部の秋さけ漁獲速報（旬報）によると 2017 年におけるサケの漁獲量は 11 月 10 日時点において 1530 万 7 千匹と記録的不良であった 2016 年同時期より 67.5% 減少している。しかし、本研究によって、カイアシ類が増加しているため、サケの仔魚期の餌環境としては良好であり、初期の成長および生残には好適な環境であると考えられる。

本論は漁獲対象生物また網走市の漁業者、水産業にとって有益な情報である。プランクトン学は、小さな生物を対象とし、そのプランクトンの生態を明らかにすることは地味で

根気のいる作業である。また、研究コストの効率化が求められる昨今において投入にした資金に見合う研究成果が短期的に見込みにくい分野である。しかし、プランクトンをはじめとする生物モニタリングは設計と獲得したデータの解析法がよければ長く蓄積されるにしたがって、何かを自ら物語始める学問である (Colebrook 1991)。本論は、オホーツク海岸沿岸域の漁業者の有益な情報にするために掲げた研究であるが、プランクトン、主にカイアシ類のモニタリングは漁業資源の餌生物としての評価のみならず、魚種交替といわれるレジームシフトや地球温暖化の評価を論じることにもつなげることが出来ると思われる。現に、ヨーロッパでは 17 世紀半ばから 18 世紀の産業革命による蒸気機関の発達に伴って、漁業資源の漁獲量と消費量が急速に拡大し、漁業資源が乱獲状態に陥った例もある。真に海洋生態系を保全、維持し、漁業の持続的発展を願うのであれば、生態系における物質循環の基盤を担うプランクトンの生態学的研究は継続していかなければならない。また、プランクトンの生態学に携わる者が研究環境の整備ならびに更なる好奇心と向上心を持ち、さらなるプランクトン学の発展に貢献することを私は期待する。

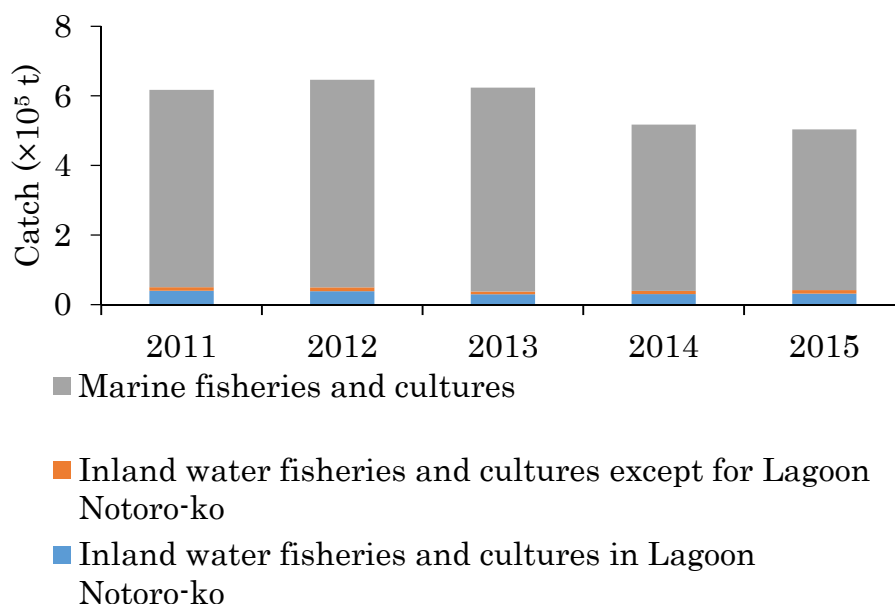


Fig. 99. Changes in annual fisheries catches (t) of marine and inland water fisheries and culutres in Abashiri city from 2011 to 2015. These data were originated from Fisheries Statics in Abashiri city (Abashiri city 2015).

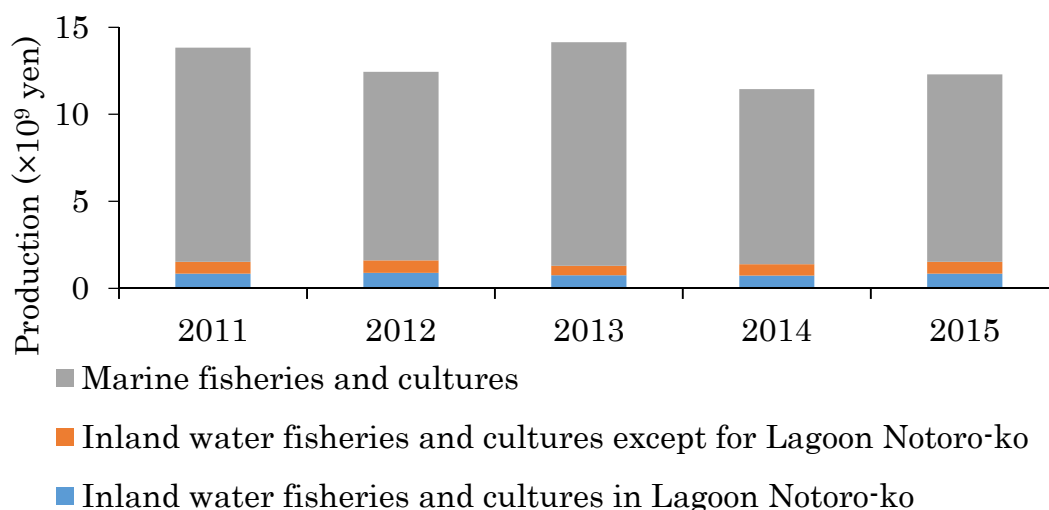


Fig. 100. Changes in annual productions of marine and inland water fisheries and cultures in Abashiri city from 2011 to 2015. These data were originated from Fisheries Statics in Abashiri city (Abashiri city 2015).

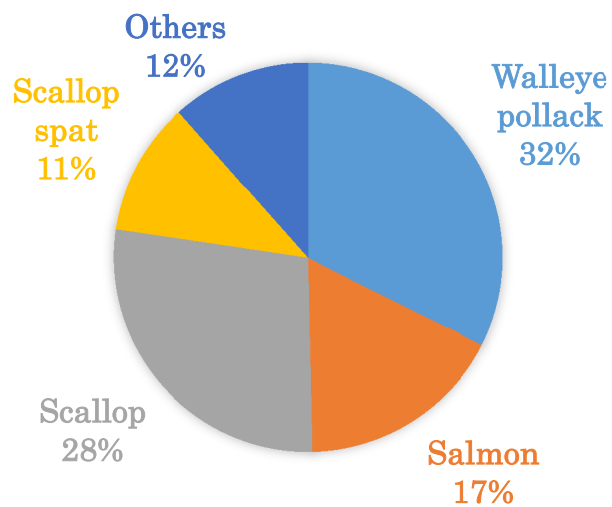


Fig. 101. Percent composition of annual catches of fish to total annual catches in Abashiri city in 2015. These data were originated from Fisheries Statics in Abashiri city (Abashiri city 2015).

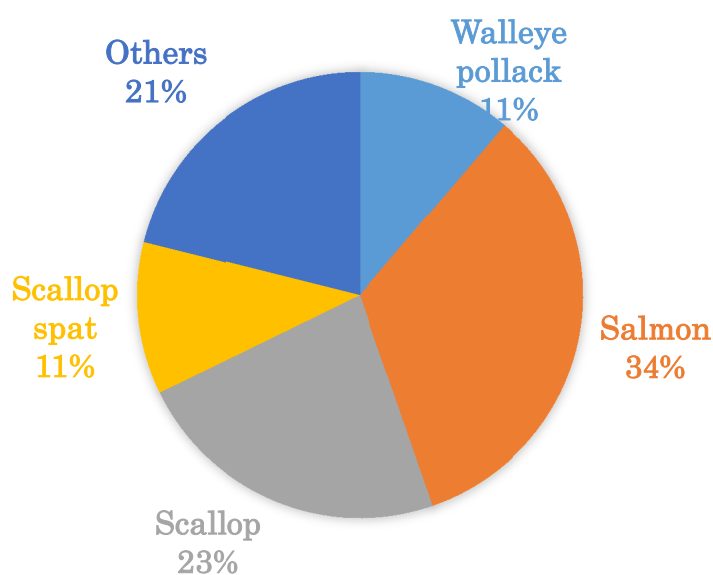


Fig. 102. Percent composition of annual productions of fish to total annual production in Abashiri city in 2015. These data were originated from Fisheries Statics in Abashiri city (Abashiri city 2015).

謝辞

本論文を作成するにあたり、指導教授ならびに主査を務めていただきました塩本明弘教授に厚く御礼申し上げます。また、指導教員ならびに副査を務めていただきました瀬川進教授、西野康人教授、中川至純准教授にも厚く御礼申し上げます。更に私の学生時代の指導教授であり、副査を務めていただきました谷口旭氏にも厚く御礼申し上げます。

本研究は、平成 26 年度笹川科学助成、平成 27 年度ならびに平成 28 年度大学院博士後期課程制度にご支援いただきました。御礼申し上げます。また、調査にご協力いただいた東京農業大学臨海センターの西尾耕一氏、西網走漁業協同組合の川尻敏文氏、末沢海一氏ならびに網走漁業協同組合の皆様に感謝申し上げます。

また、本研究は生物産業学科の学生、特にアクアバイオ学科 4－9 期生に刺激を与えられ仕上げられたものであります。ここに感謝の意を表します。

引用文献

網走市 (2017). 平成 27 年版水産統計. 網走市.

Allredge A.L. (1980). Recurring aggregation of zooplankton by a tidal current. *Estuarine and Coastal Marine Science*, **10**, 31–37.

Angel M.V. (1984). Detrital organic fluxes through pelagic ecosystems. In: *M.J.R. Fasham, Flows of Energy and Materials in Marine Ecosystems*, Plenum Press, New York. pp. 475–516.

Anraku M. (1953). Seasonal distribution of pelagic copepods at Oshoro Bay, west coast of Hokkaido. *北海道大学水産彙報*, **3**, 187–192.

Anraku M. (1954). Distribution of plankton copepods off Kitami, Hokkaido, in Okhotsk Sea in summer, 1949 and 1950, *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, **4**, 249–255.

青田昌秋 (1976). 宗谷暖流の研究. *低温科学物理篇*, **33**, 151–172.

青田昌秋 (1979). オホーツク海・北海道沿岸域の海況変動. *沿岸海洋研究ノート*, **17**, 1–11.

Arima D., Yamaguchi A., Abe Y., Matsuno K., Saito R., Asami H., Shimada H., Imai I. (2014a). Seasonal changes in body size and oil sac volume of three planktonic copepods, *Paracalanus parvus* (Claus, 1863), *Pseudocalanus newmani* Frost, 1989 and *Oithona similis* Claus, 1866, in a temperate embayment: what controls their seasonality?. *Crustaceana*, **87**, 364–375.

Arima D., Yamaguchi A., Abe Y., Matsuno K., Saito R., Asami H., Shimada H., Imai H. (2014b). Seasonal changes in zooplankton community structure in Ishikari Bay, Japan Sea. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, **64**, 17–23.

Arima D., Hamaoka S., Katakura S., Yamaguchi A., Imai I. (2016). Seasonal and inter-annual changes in mesozooplankton community at Mombetsu Harbor, southern

Okhotsk Sea during 1997 to 2012. Ocean Science Meeting 2016.

浅見大樹, 今田和史, 安富亮平, 伊沢敏穂 (1995). 北海道能取湖における植物プランクトンと栄養塩の周年サイクル. *北海道水産孵化場研報*, **49**, 17–23.

Asami H., Imada K. (2001). Ice algae and phytoplankton in the late ice-covered season in Notoro Ko lagoon, Hokkaido. *Polar Bioscience*, **14**, 24–32.

Asami H., Sato H., Shimada H., Sawada M., Miyakoshi Y., Ando D., Nagata M. (2005). Fluctuations of the zooplankton community during early ocean life of chum salmon in the coastal waters of eastern Hokkaido, Hokkaido, Okhotsk Sea. *NPAFC Technical Report*, **6**, 54–56.

Asami H., Shimada H., Sawada M., Sato H., Miyakoshi Y., Ando D., Fujiwara M., Nagata M. (2007). Influence of physical parameters on zooplankton variability during early ocean life of juvenile chum salmon in the coastal waters of eastern Hokkaido, Okhotsk Sea. *North Pacific Anadromous Fish Commission Bulletin*, **4**, 211–221.

Asami H., Shimada H., Ishida R., Takayanagi S. (2010a). Interannual variabilities of a few dominant copepods abundances during spring in Ishikari Bay, western Hokkaido, Japan. *Scientific Reports of Hokkaido Fisheries Experimental Station*, **77**, 1–11.

Asami H., Shimada H., Sawada M., Miyakoshi Y., Ando D., Fujiwara M., Nagata M. (2010b). Spatial and seasonal distributions of copepods from spring to summer in the Okhotsk Sea off eastern Hokkaido, Japan. *PICES Scientific Report*, **36**, 233–239.

Azam F., Fenchel T., Field J.G., Gray J.S., Meyer-Reil L.A., Thingstad F. (1983). The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series*, **10**, 257–263.

Ban S., Miyagawa Y., Okuda Y., Shiga N. (1998). Succession of the Calanoid copepod

- community in Funka Bay during spring phytoplankton bloom. *Memory of the Faculty of Fisheries Hokkaido University*, **45**, 42–47.
- Batchelder H.P. (1985). Seasonal abundance, vertical distribution, and life history of *Metridia pacifica* (Copepoda: Calanoida) in the oceanic subarctic Pacific. *Deep-Sea Research*, **32A**, 949–964.
- Banse K. (1964). On the vertical distribution of zooplankton in the sea. *Progress in Oceanography*, **2**, 55–125.
- Boltovskoy D. (1999). South Atlantic zooplankton. Backhuys, Leiden.
- Boxshall G.A. (1977). The depth distributions and community organizations of the planktonic cyclopoids (Crustacea: Copepoda) of the Cap Verde Islands region. *Journal of Marine Biological Association of UK*, **57**, 543–568.
- Brodford J.M. (1976). Partial revision of the *Acartia* subgenus *Acartiura* (Copepoda: Calanoida: Acartiidae). *New Zealand Marine and Freshwater Research*, **10**, 159–202.
- Brodskii K.A. (1950). Calanoida of the far eastern seas and polar basin of the USSR. *Israel Program for scientific translations, Russian*.
- Bucklin A., Bentley A.M., Franzen S.P. (1998). Distribution and relative abundance of *Pseudocalanus moultoni* and *P. newmani* (Copepoda: Calanoida) on Georges Bank using molecular identification of sibling species. *Marine Biology*, **132**, 97–106.
- Chiba S., Saino T. (2003). Variation in mesozooplankton community structure in the Japan/East Sea (1991-1999) with possible influence of the ENSO scale climatic variability. *Progress in Oceanography*, **57**, 317–339.
- Clarke G.L., Denton E.J. (1962). Light and animal life. *In The Sea*, I, ed. M. N. Hill. New York & London.
- Colebrook J.M. (1991). Continuous plankton records: from seasons to decades in the

- plankton of the Northeast Atlantic, pp. 29–45.
- Conover R.J., Herman A.W., Prinsberg S.J., Harris L.R. (1986). Distribution and feeding by the copepod *Pseudocalanus* under fast ice during the Arctic spring. *Science*, **232**, 1245–1247.
- Corner E.D.S., Davies A.C. (1971). Plankton as a factor in the nitrogen and phosphorus cycles in the sea. *Advances in Marine Biology*, **9**, 101–204
- Corkett C.J., McLaren I.A. (1978). The biology of *Pseudocalanus*. *Advances in Marine Biology*, **15**, 1–231.
- Dagg M.J., Govoni J.J. (1996). Is ichthyoplankton predation an important source of copepod mortality in subtropical waters? *Marine and Freshwater Research*, **47**, 137–144.
- Dagg M.J., Strom S., Liu H. (2009). High feeding rates on large particles by *Neocalanus flemingeri* and *N. plumchrus*, and consequences for phytoplankton community structure in the subarctic Pacific Ocean. *Deep Sea Research I*, **56**, 716–726.
- Daro M.H. (1985). Feeding rhythms and vertical migration of marine copepods. *Bulletin of Marine Science*, **37**, 487–497.
- Davis C.S. (1984). Food concentrations on Georges Bank: non-limiting effect on development and survival of laboratory reared *Pseudocalanus* sp. and *Paracalanus parvus* (Copepoda: Calanoida). *Marine Biology*, **82**, 41–46.
- Ducklow H.W., Steinberg D.K., Buesseler K.O. (2001). Upper ocean carbon export and the biological pump. *Oceanography*, **14**, 50–58.
- Economou A.N. (1991). Food and Feeding ecology of five gadoid larvae in the northern North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, **47**, 339–351.
- Frost B., Fleminger A. (1968). A revision of the genus *Clausocalanus*: (Copepoda:

- Calanoida) with remarks on distributional patterns in diagnostic characters. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography, University of California*, **12**, 1–235.
- Frost B.W. (1989). A taxonomy of the marine calanoid copepod genus *Pseudocalanus*. *Canadian Journal of Zoological*, **67**, 525–551.
- Fulton J. (1973). Some aspects of the life history of *Calanus plumchrus* in the Strait of Georgia. *Journal of Fishery Research Board in Canada*, **30**, 811–815.
- Furuhashi K. (1953). On the vertical distribution of animal plankton in the Sea of Japan off san'in district in summer of 1952. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, **3**, 61–74.
- Gagnon M., Lacroix G. (1981). Zooplankton sample variability in a tidal estuary: An interpretative model. *Limnology and Oceanography*, **26**, 401–413.
- Gallienne C.P., Robins D.B. (2001). Is *Oithona* the most important copepod in the world's oceans?. *Journal of Plankton Research*, **23**, 1421–1432.
- Gauld D.T. (1953). Diurnal variation in the grazing of planktonic copepods. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, **31**, 431–474.
- Giske J., Aksnes D.L., Balino B.M., Kaartvedt S., Lie U., Nordeie T.J., Salvanes A.G.V., Wakilli S.M., Aadnesen A. (1990). Vertical distribution and trophic interactions of zooplankton and fish in Masfjorden, Norway. *Sarsia*, **75**, 65–81.
- Gradner G.A., Szabo I. (1982). British Columbia pelagic marine copepod: An identification manual and annotated bibliography. Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, 536p.
- 花輪公雄 (1984). 沿岸境界流. 沿岸海洋研究ノート, **22**, 67–82.
- Hardy A. (1965). The Open Sea: Its Natural History, Part 1: *The World of Plankton*,

- Collins, London.
- Hare S.R., Francis R.C. (1995). Climate change and salmon production in the northeast Pacific Ocean. *Canadian Special Publication Fisheries and Aquatic Science*, **121**, 357–372.
- Hare S.R., Mantua N.J., Francis R.C. (1999). Inverse production regimes: Alaskan and West Coast Salmon. *Fisheries*, **24**, 6–14.
- Hattori H. (1989). Bimodal vertical distribution and diel migration of the copepods *Metridia pacifica*, *M. okhotensis* and *Pleuromamma scutulata* in the western North Pacific Ocean. *Marine Biology*, **103**, 39–50.
- 服部寛, 津村憲 (1990). 日本海羽幌町沖海域における動物プランクトンの季節変化. *北海道東海大学紀要理工学系*, **3**, 115–128.
- Hattori H., Saito H. (1994). Vertical distribution and feeding behavior of copepods under sea-ice in Lake Saroma. *Proceeding NIPR of the Symposium on Polar Biology*, **7**, 298–301.
- Hayward T.L. (1980). Spatial and temporal feeding patterns of copepods from the North Pacific Central Gyre. *Marine Biology*, **58**, 295–309.
- Head E.J.H., Harris L.R., Debs C.A. (1985). Effect of daylength and food concentration on in situ diurnal feeding rhythms in Arctic copepods. *Marine Ecology Progress Series*, **24**, 281–288.
- Heinrich A.K. (1962). On the production of copepods in the Bering Sea. *Hydrobiology*, **43**, 465–469.
- Hidaka K., Itoh H., Hirai J., Tsuda A. (2016). Occurrence of the *Paracalanus parvus* species complex in offshore waters south of Japan and their genetic and morphological identification to species. *Plankton and Benthos Research*, **11**, 131–143.

北海道 (2016). 北海道水産業・漁村のすがた 2016 -北海道水産白書. 北海道水産林務部総務課, 札幌, 103p.

Hirakawa H., Ikeda T., Kajihara N. (1990). Vertical distribution of zooplankton in Toyama Bay, southern Japan Sea, with special reference to Copepoda. *Bulletin of Plankton Society of Japan*, **37**, 111–126.

Hirakawa K., Imamura A. (1993). Seasonal abundance and life history of *Metridia pacifica* (Copepoda: Calanoida) in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bulletin Plankton Society Japan*, **40**, 41–54.

平川和正, 葛西広海 (2017). オホーツク海南西部表層域における季節的鉛直移動カイアシ類 *Neocalanus plumchrus* (Marukawa) の秋季消長と脂肪蓄積状況(短報). *日本プランクトン学会報*, **64**, 22–26.

Hogni H.D., Kirstin E. (2006). Seasonal abundance, reproduction and development of four key copepod species on the Faroe shelf. *Marine Biology Research*, **2**, 249–259.

北海道栽培漁業振興公社 (2004). 海水交流調査. 平成 16 年度能取湖漁業環境調査報告書, 61–65.

北海道栽培漁業振興公社 (2011). 能取湖の現況. 平成 22 年度能取湖青潮(貧酸素水塊)監視システムによるリスク管理計画構築業務報告書, 1–10.

Hopcroft R.R., Kosobokova K.N. (2009). Distribution and egg production of *Pseudocalanus* species in the Chukchi Sea. *Deep-Sea Research II*, **57**, 49–56.

Hunter J.R. (1981). Feeding ecology and predation of marine fish larvae. *In Marine Fish*, University of Washinton Press, Larvse, Seattle, Wasington, USA, pp. 33–77.

Humes A.G. (1994). How many copepods? *Hydrobiologia*, **292/293**, 1–7.

Iguchi N., Tsujimoto R. (1997). Seasonal changes in the copepod assemblage as food for larval anchovy in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bulletin of the Japan Sea*

National Fisheries Research Institute, **47**, 79–94.

今田和史, 坂崎繁樹, 川尻敏文, 小林耕一 (1995). 網走市 4 湖沼 (網走湖、能取湖、濤沸湖、藻琴湖) の湖盆形態と塩分環境. *北海道水産孵化場研究報告*, **49**, 37–48.

磯田豊, 岸道郎 (2003). シンポジウム「沿岸親潮」のまとめ. *沿岸海洋研究*, **41**, 1–3.

伊東宏, 水島毅, 久保田正 (2005). 駿河湾三保沖におけるカラヌス目カイアシ類の季節消長. 「海・自然と文化」*東海大学紀要海洋学部*, **3**, 19–32.

伊藤宏, 青木延浩 (2010). 東京湾における浮遊性カイアシ類の時空間的分布-1990 年代初頭の湾奥における季節消長-. *日本プランクトン学会報*, **57**, 94–104.

IPCC (2007). *Fourth Assessment Report*, IPCC.

IPCC (2014). *Fifth Assessment Report*, IPCC.

Itoh H., Tachibana A., Nomura H., Tanaka Y., Furota T., Ishihama T. (2011). Vertical distribution of planktonic copepods in Tokyo Bay in summer. *Plankton & Benthos Research*, **6**, 129–134.

加賀敏樹, 小熊幸子, 春日井潔, 東屋知範, 門谷茂, 荒内勉, 福若雅章 (2016). 北海道東部における春季～夏季の動物プランクトンの群集構造の特性および環境要因の特性. *沿岸海洋研究*, **53**, 179–191.

Kamba M. (1977). Feeding habits and vertical distribution of walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), in early life stage in Uchiura Bay, Hokkaido. *Research Institute North Pacific Fisheries, Hokkaido University*, **Special volume**, 175–197.

菅野泰次, 福田研二 (1993). 能取湖における餌生物環境と湖に生息するニシンの食性について. *北海道大学水産学部彙報*, **44**, 158–170.

菅野泰次 (1975). 能取湖のニシンに及ぼす塩分濃度の変化の影響. *北海道水産試験場月報*, **32**, 1–3.

Kasahara S., Uye S., Onbe T. (1975). Calanoid copepod eggs in sea-bottom muds. II.

- Seasonal cycles of abundance in the Inland Sea of Japan. *Marine Biology*, **31**, 25–29.
- Kashiwai M. (1985). A hydraulic experiment on tidal exchange. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, **41**, 11–24.
- Katsuki K., Seto K., Noguchi T., Sonoda T., Kim J. (2012a). Effects of regional climate changes on the planktonic ecosystem and water environment in the frozen Notoro Lagoon, northern Japan. *Marine Environmental Research*, **81**, 83–89.
- Katsuki K., Seto K., Saito M., Noguchi T., Sonoda T., Kim J.Y. (2012b). Paleoecological and paleoenvironmental changes in Lagoon Notoro-ko (Japan) during the last 200 years based on diatom assemblages and sediment chemistry. *Japanese Geomorphological Union*, **33**, 197–217.
- 川崎健, 花輪公雄, 谷口旭, 二平章 (2007). レジームシフト-気候変動と生物資源管理-. 成山堂書店, 東京. 216pp.
- 川崎健 (2009). イワシと気候変動. 岩波新書, 東京. 212pp.
- 川崎健 (2010). レジーム・シフト論. *地学雑誌*. **119**, 482–488.
- Kimura N., Wakatsuchi M. (1999). Processes controlling the advance and retreat of sea ice in the Sea of Okhotsk. *Journal of Geophysical Research*, **104**, 11137–11150.
- Kimura N., Wakatsuchi M. (2004). Increase and decrease of ice area in the Sea of Okhotsk: Ice production in coastal polynyas and dynamic thickening in convergence zones. *Journal of Geophysical Research*, **109**, C09S03.
- 気象庁 (2017).
http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/a_1/series_okhotsk/series_okhotsk.html.
- 小針統 (1999). 北太平洋亜寒帯域における *Neocalanus* 属カイアシ類 3 種の生活史と経年変動. *海の研究*, **8**, 381–384.
- 小針統, 池田 勉 (2000). 親潮域における *Neocalanus* 属カイアシ類の生活史. *日本プラン*

クトン学会報, **47**, 129–135.

Kobari T., Ikeda T. (2001). Ontogenetic vertical migration and life cycle of *Neocalanus plumchrus* (Crustacea: Copepoda) in the Oyashio region, with notes on regional variations in body sizes. *Journal of Plankton Research*, **23**, 287–302.

小針統, 清水佳子, 西川聖子, 幅野明正 (2006). 鹿児島湾におけるオイトナ科カイアシ類
豊度の季節変動. 鹿児島大学水産学部紀要, **55**, 61–68.

Krumme U., Liang T.H. (2004). Tidal-induced changes in a copepod-dominated zooplankton community in a macrotidal mangrove channel in northern Brazil. *Zoological Studies*, **43**, 404–414.

蔵田護, 西浜雄二 (1987). 能取湖における海洋条件の季節変動. 北海道水産試験場研究報告, **29**, 17–24.

Lalli M.C., Parsons T.R. (1993). *Biological Oceanography: An Introduction*. Butterworth-Heinemann, Oxford.

Landry M.R. (1975). Dark inhabitation of egg hatching of the marine copepod *Acartia clausi* Giesbr. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **20**, 43–47.

Landry M.R. (1983). The development of marine Calanoid copepods with comment on the isochronal rule. *Limnology and Oceanography*, **25**, 545–549.

Landry M.R., Barber R.T., Bidigare R.R., Chai F., Coale K.H., Dam H.G., Lewis M.R., Lindley S.T., McCarthy J.J., Roman M.R., Stoecker D.K., Verity P.G., White J.R. (1997). Iron and grazing constraints on primary production in the equatorial Pacific: An EqPac synthesis. *Limnology and Oceanography*, **42**, 405–418.

Lee W.Y., McAlice B.J. (1979a). Seasonal succession and breeding cycles of three species of *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in a Maine estuary. *Estuaries*, **2**, 228–235.

Lee W.Y., McAlice B.J. (1979b). Sampling variability of marine zooplankton in a tidal

- estuary. *Estuarine and Coastal Marine Science*, **8**, 565–582.
- Lee H.W., Ban S., Ikeda T., Matsuishi T. (2003). Effect of temperature on development, growth and reproduction in the marine copepod *Pseudocalanus newmani* at satiating food condition. *Journal of Plankton Research*, **25**, 261–271.
- Lewis W.M. (1976). Surface/volume ratio: Implications for phytoplankton morphology. *Science*, **192**, 885–887.
- Longhurst A.R. (1985). The structure and evolution of plankton communities. *Progress in Oceanography*, **15**, 1–35.
- Longhurst A., Williams R. (1992). Carbon flux by seasonal vertical migrant copepods is a small number. *Journal of Plankton Research*, **14**, 1495–1509.
- Mackas D.L., Sefton H., Miller C.B., Raich A. (1993). Vertical portioning by large calanoid copepods in the oceanic subarctic Pacific during spring. *Progress Series of Oceanography*, **32**, 259–294.
- Mackas D.L., Goldblatt R.G., Lewis A.G. (1998). Interdecadal variation in development timing of *Neocalanus plumchrus* population at Ocean Station P in the subarctic North Pacific. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **55**, 1873–1893.
- Macks D.L., Tsuda A. (1999). Mesozooplankton in the eastern and western subarctic Pacific: community structure, seasonal life histories, and interannual variability. *Progress in Oceanography*, **43**, 335–363.
- Marcus N.H. (1984). Recruitment of copepod nauplii into the plankton: importance of diapause eggs and benthic processes. *Marine Ecology Progress Series*, **15**, 47–54.
- Marcus N.H. (1990). Calanoid copepod, cladoceran, and rotifer eggs in sea-bottom sediments of northern Californian coastal waters: identification, occurrence and hatching. *Marine Biology*, **105**, 413–418.

松山優治, 青田昌秋, 小笠原勇, 松山佐和 (1999). 宗谷暖流の季節変動. *海の研究*, **8**, 333–338.

Marcus N.H., Lutz R., Burnett W., Cable P. (1994). Age, viability, and vertical distribution of zooplankton resting eggs from an anoxic basin: evidence of an egg bank. *Limnology and Oceanography*, **39**, 154–158.

Margalef D.R. (1958). Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In A. Buzzati-Traverso (ed.), *Perspectives in Marine Biology*. University of California Press, Berkeley, pp. 323–349.

Masuzawa T., Koyama M., Terazaki M. (1988). A regularity in trace element contents of marine zooplankton species. *Marine Biology*, **97**, 587–591.

Mauchline J. (1998). The Biology of Calanoid Copepods. *Advances in Marine Biology*, **33**, 1–710.

McLaren I.A., Laberge E., Corkett C.J., Seigny J.M. (1989). Life cycles of four species of *Pseudocalanus* in Nova Scotia. *Canadian Journal of Zoology*, **67**, 552–558.

Miller C.B., Frost B.W., Batchelder H.P., Clemons M.J., Conway R.E. (1984). Life histories of large, grazing copepods in a subarctic ocean gyre: *Neocalanus plumchrus*, *Neocalanus cristatus*, and *Eucalanus bungii* in the northeast Pacific. *Progress in Oceanography*, **13**, 201–243.

Miller C.B., Clemons M.J. (1988). Revised life history analysis for large grazing copepods in the subarctic Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*, **20**, 293–313.

Miller C.B., Terazaki M. (1989). The life histories of *Neocalanus flemingeri* and *Neocalanus plumchrus* in the Sea of Japan. *Bulletin of Plankton Society of Japan*, **36**, 27–41.

Miller C.B., Frost B.W., Wheeler M.R., Landry M.R., Welschmeyer N., Powell T.M.

- (1991). Ecological dynamics in the subarctic Pacific, a possibly iron-limited ecosystem. *Limnology and Oceanography*, **36**, 1600–1615.
- Minoda T. (1971). Pelagic copepod in the Bering Sea and the northwestern north pacific with special reference to their vertical distribution. *Memories of the Faculty of Fisheries Hokkaido, University*, **18**, 1–74.
- Mizuta G., Fukamachi Y., Ohshima K.I., Wakatsuchi M. (2003). Structure and seasonal variability of the East Sakhalin Current. *Journal of Physical Oceanography*, **33**, 2430–2445.
- Mohan P.C., Rao T.S.S. (1971). Tidal cycle studies in relation to zooplankton distribution in the Godavari estuary. *Proceedings of the Indian Academy of Science*, **75**, 23–31.
- Moku M., Kawaguchi K., Watanabe H., Ohno A. (2000). Feeding habits of three dominant myctophid fishes, *Diaphus theta*, *Stenobrachius leucopsarus* and *S. nannochir*, in the subarctic and transitional waters of the western North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, **207**, 129–140.
- Mori T. (1964). The pelagic copepod from the neighbouring waters of Japan. Second edition. The Soya company Inc., Tokyo.
- Motoda S., Minoda T. (1974). Plankton of the Bring Sea. In D.W. Hood, E.J. Kelley (eds), *Oceanography of the Bering Sea*, Institute of Marine Science, University of Alaska, 207–241.
- Munk P., Nielsen T.G. (1994). Trophodynamics of the plankton community at Dogger Bank: predatory impact by larval fish. *Journal of Plankton Research*, **16**, 1225–1245.
- Naess T. (1991a). Marine calanoid resting eggs in Norway: abundance and distribution of two copepod species in the sediment of an enclosed marine basin. *Marine Biology*, **110**, 455–459.

- Naess T. (1991b). Tolerance of marine calanoid resting eggs: effects of freezing, desiccation and Rotenone exposure-a field and laboratory study. *Marine Biology*, **111**, 161–168.
- Nagata M., Miyakoshi Y., Ando D., Fujiwara M., Sawada M., Shimada H., Asami H. (2007). Influence of coastal seawater temperature on the distribution and growth of juvenile chum salmon, with recommendations for altered release strategies. *North Pacific Anadromous Fish Commission Bulletin*, **4**, 223–235.
- Nakagawa Y., Endo Y., Sugisaki H. (2003). Feeding rhythm and vertical migration of the euphausiid *Euphausia pacifica* in coastal waters of north-eastern Japan during fall. *Journal of Plankton Research*, **25**, 633–644.
- Nakanowatari T., Ohshima K.I., Wakatsuchi M. (2007). Warming and oxygen decrease of intermediate water in the southwestern North Pacific, originating from the Sea of Okhotsk, 1955-2004. *Geophysical Research Letters*, **34pp**, L04602.
- Nakao S. (1978). Distribution of benthos in relation to the sulfide-content in the bottom sediments of mixo-polyhaline lake Notoro, Hokkaido. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, **29**, 199–212.
- 中尾繁, 菊地和夫 (1978). 能取湖湖口の周年開口による環境と底生動物層の変化、特に無生物域の消滅. 北海道大学水産学部研究彙報, **35**, 1–11.
- Nakata K. (1988). Alimentary tract contents and feeding conditons of ocean-caught post larval sardine, *Sardinops melanostictus*. *Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory*, **9**, 1–22.
- Nakatani T. (1988). Studies on the early life history of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in Funka Bay and vicinity, Hokkaido. *Memories of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, **35**, 1–57.

- 中谷敏邦, 井出さやか, 高橋豊美 (2003). 北海道噴火湾におけるかいあし類 *Oithona* 属の季節的個体数変動. *水産海洋研究*, **67**, 235–243.
- Napp J.M., Hopcroft R.R., Baier C.T., Clarke C. (2005). Distribution and species-specific egg production of *Pseudocalanus* in the Gulf of Alaska. *Journal of Plankton Research*, **27**, 415–426.
- Nishida S., Ohtsuka S. (1996). Specialized feeding mechanism in the pelagic copepod genus *Heterorhabdus* (Calanoida: Heterorhabdidae) with special reference to the mandibular tooth and labral glands. *Marine Biology*, **126**, 619–632.
- Nishimura S. (1957). On some plankton animals occurring in spring off Wajima, Noto Peninsula, Japan Sea, with special reference to their vertical distribution. *日本海区水産研究所研究年報*, **3**, 61–71.
- 西野康人, 佐藤智希, 谷口旭 (2014a). 北海道東部の海跡湖能取湖における海洋環境-水温・塩分・溶存酸素・栄養塩の動態-. *Eco-Engineering*, **26**, 3–9.
- 西野康人, 佐藤智希, 塩本明弘, 谷口旭 (2014b). オホーツク沿岸海跡湖能取湖における一次生産特性. *東京農大農学集報*, **59**, 11–20.
- 西野康人, 佐藤智希, 谷口旭 (2014c). オホーツク海沿岸能取湖の 2008 年結氷期における海洋環境とクロロフィル *a* の動態. *東京農業大学集報*, **59**, 177–183.
- Nishino Y., Satoh T. (2016). Ecology and hydrography of sea ice and water column in Lagoon Notoro-ko during frozen period. *Eco-engineering*, **28**, 7–14.
- Nishioka J., Ono T., Saito H., Nakatsuka T., Takeda S., Yoshimura T., Suzuki K., Kuma K., Nakabayashi S., Tsumune D., Mitsudera H., Johnson W.K., Tsuda A. (2007). Iron supply to the western subarctic Pacific: Importance of iron export from the Sea of Okhotsk. *Journal of Geophysical Research*, **112**, C10012.
- Nishioka J., Ono T., Saito H., Sakaoka K., Yoshimura T. (2011). Oceanic iron supply

- mechanisms which support the spring diatom bloom in the Oyashio region, western subarctic Pacific. *Journal of Geophysical Research*, **116**, C02021.
- Ohman M.D. (1990). The demographic benefits of diel vertical migration by zooplankton. *Ecological Monographs*, **60**, 257–281.
- Ohshima K.I., Wakatsuchi M., Fukamachi Y. (2002). Near-surface circulation and tidal currents of the Okhotsk Sea observed with satellite-tracked drifters. *Journal of Geophysical Research*, **107**, 3195.
- Ohtsuka S., Onbe T. (1991). Relationship between mouthpart structures and in situ feeding habits of species of the family Pentellidae (Copepoda). *Marine Biology*, **111**, 213–225.
- Ohtsuka S., Soh H.Y., Nishida S. (1997). Evolutionary switching from suspension feeding to carnivory in the calanoid family Heterorhabdidae (Copepoda). *Journal of Crustacean Biology*, **17**, 577–595.
- 大塚攻, 西田周平 (1997). 海産浮遊性カイアシ類 (甲殻類) の食性再考. *海の研究*, **6**, 299–320.
- 大塚攻, 上田拓史 (1997). Subclass Copepoda カイアシ亜綱. 日本産海洋プランクトン検索図説 (千原光雄・村野正昭編), 東海大出版会, 東京, pp. 649–1004.
- Ohtsuka S., Reid J.W. (1998). Phylogeny and zoogeography of the planktonic copepod genus *Tortanus* (Copepoda: Tortanoidae), with establishment of a new subgenus and descriptions of two new species. *Journal of Crustacean Biology*, **18**, 774–807.
- 大塚攻, 上田拓史 (1999). 日本および周辺水域における浮遊性カイアシ類の動物地理. *日本プランクトン学会報*, **46**, 1–20.
- Ono T., Kasai H., Midorikawa T., Takatani Y., Saito K., Ishii M., Watanabe Y., Sasaki K. (2005). Seasonal and interannual variation of DIC in surface mixed layer in the

- Oyashio Region: A climatological view. *Journal of Oceanography*, **61**, 1075–1087.
- Padmavati G., Ikeda T., Yamaguchi A. (2004). Life cycle, population structure and vertical distribution of *Metridia* spp. (Copepoda: Calanoida) in the Oyashio region (NW Pacific Ocean). *Marine Ecology Progress Series*, **270**, 181–198.
- Paffenoher G.A. (1991). Some characteristics of abundant subtropical copepods in estuarine, shelf and oceanic waters. *Bulletin of Plankton Society of Japan*, **Special Volume**, 201–216.
- Parker G.A. (1985). Population consequences of evolutionarily stable strategies. *British Ecological Society Symposium*, **25**, 33–58.
- Parkinson C.L., Grantz A.J. (1983). On the seasonal sea ice cover of the Sea of Okhotsk. *Journal of Geophysical Research*, **88**, 2793–2802.
- Pomeroy L.R. (1974). The ocean's food web, a changing paradigm. *BioScience*, **24**, 499–504.
- Raymont J.E.G. (1983). Plankton and Productivity in the Oceans. *II. Zooplankton*. Pergamon, Oxford.
- Richter K.E. (1985). Acoustic determination of small-scale distributions of individual zooplankters and zooplankton aggregations. *Deep-Sea Research*, **32A**, 163–182.
- Ringelberg J. (2010). Migrations in the Marine Environment, Diel Vertical Migration of Zooplankton in Lakes and Oceans. *Springer*, 217–249 pp.
- Runge J.A. (1985). Relationship of egg production of *Calanus pacificus* to seasonal changes in phytoplankton availability in Puget Sound, Washington. *Limnology Oceanography*, **30**, 382–396.
- Runge J.A., Therriault J.C., Legendre L., Ingram R.G., Demers S. (1991). Coupling between ice microalgal productivity and the pelagic, metazoan food web in

- southeastern Hudson Bay: a synthesis of results. *Proceedings of the Pro Mare Symposium on Polar Marine Ecology, Polar Research*, **10**, 325–338.
- Saito H., Taguchi S. (1996). Diel feeding behavior of neritic copepods during spring and fall blooms in Akkeshi Bay, eastern coast of Hokkaido, Japan. *Marine Biology*, **125**, 97–107.
- Saito H., Hattori H. (1997). Diel vertical migration and feeding rhythm of copepods in a shallow, food-abundant embayment. *Plankton and Biology of Ecology*, **44**, 13–31.
- 斎藤宏明 (1998). 親潮域における低次生産特性とカイアシ類日周摂食リズムに関する研究. *海の研究*, **6**, 383–393.
- Sasaki H., Nishizawa S. (1988). Downward flux of particulate organic matter and vertical distribution of calanoid copepods in the Oyashio Water in summer. *Deep-Sea Research*, **35**, 505–515.
- 澤田好史, 坂本亘 (1993). 水温・塩分の勾配がカイアシ類 *Oithona davisae* の鉛直分布に及ぼす影響・室内実験・. *日本プランクトン学会報*, **39**, 87–96.
- 澤田好史, 藤原建紀, 坂本亘 (1994). 個体の遊泳行動に基づくカイアシ類個体群の鉛直分布モデル. *海の研究*, **3**, 169–180.
- Sazhin A.F., Vinogradov M.E. (1979). Vertical distribution of common zooplankton species in the Sea of Japan. *Oceanology*, **19**, 725–731.
- Schlitzer R. (2015). Ocean Data View, <http://odv.awi.de>.
- 関二郎, 清水幾太郎 (1997). 北海道広尾沿岸における春・夏季の動物プランクトン群集の分布性状. *日本プランクトン学会報*, **44**, 21–30.
- 関二郎, 清水幾太郎 (1998). 北海道中部太平洋沿岸域における動物プランクトンの昼夜移動とサケ幼稚魚の摂餌生態. *さけ・ます資源管理センター研究報告*, **1**, 13–27.
- 瀬戸雅文, 金子和恵, 新居久也 (2004). 能取湖に形成される貧酸素水塊がホタテガイに及

- ぼす影響. *海洋開発論文集*, **20**, 1049–1054.
- Seto M., Kaneko K., Nii H. (2004). Influence of anoxic water on Japanese scallop survival rate of Lake Notoro. *Kaiyo Oceanography of Oceanic Technology Report*, **20**, 1049–1054.
- Shannon C.E., Wiener W. (1948). *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Champaign.
- Shcherbina Y.A., Talley L.D., Rudnick D.L. (2003). Direct observations of North Pacific ventilation: Brine rejection in the Okhotsk Sea. *Science*, **302**, 1952–1955.
- Sherr E., Sheer B. (1988). Role of microbes in pelagic food webs: A revised concept. *Limnology and Oceanography*, **33**, 1225–1227.
- 品田晃良, 大森始, 多田匡秀, 西野康人, 佐藤智樹 (2009). 能取湖における風による貧酸素水塊の挙動特性. *北海道立水産試験場研究報告*, **75**, 1–5.
- 品田晃良, 多田匡秀, 西野康人, 川尻敏文 (2010). 能取湖における貧酸素水塊の分布特性. *北海道立水産試験場研究報告*, **78**, 69–71.
- 品田晃良, 西野康人, 佐藤智樹, 菊地隆太, 工藤亮太, 瀬戸鈴代, 松井大宇 (2011). 能取湖の低次生産と貧酸素化. *沿岸海洋研究*, **49**, 31–35.
- 島崎健二, 久新健一郎 (1982). オホーツク海に出現するホッケ幼魚群. *北海道大学水産学部研究彙報*, **33**, 229–239.
- 清水学, 磯田豊 (1999). 日高湾陸棚域における沿岸親潮の流動構造. *沿岸海洋研究*, **36**, 163–169.
- Sieburth J.M., Smetacek V., Lenz J. (1978). Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, **23**, 1256–1263.
- Simenstad C.A., Salo O. (1980). Foraging success as a determinant of estuarine and

- near-shore carrying capacity of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Hood Canal, Washington. *Proceedings of North Pacific Aquaculture Symposium*, Anchorage, AK, pp. 21–37.
- Siokou I.F. (1996). Zooplankton annual cycle in a Mediterranean coastal area. *Journal of Plankton Research*, **18**, 203–223.
- Sorokin Y.I., Sorokin Y.P. (2002). Microplankton and primary production in the Sea of Okhotsk in summer 1994. *Journal of Plankton Research*, **24**, 453–470.
- 総務省 (2016). 第 65 回日本統計年鑑, 平成 28 年, 東京
- 水産省 (2016). 水産白書平成 28 年版. 水産省, 東京.
- Sullivan B.K., Mcmanus L.T. (1986). Factors controlling seasonal succession of the copepods *Acartia hudsonica* and *A. tonsa* in Narragansett Bay, Rhode Island: temperature and resting egg production. *Marine Ecology Progress Series*, **28**, 121–128.
- Tachibana A., Ishimaru T., Itoh H., Yoshida Y. (2013). Seasonal and annual change in community structure of meso-sized copepods in Tokyo Bay, Japan. *Journal of Oceanography*, **69**, 545–556.
- Taguchi S., Saino T. (1998). Net zooplankton and the biological pump off Sanriku, Japan. *Journal of Oceanography*, **54**, 573–582.
- 高橋卓, 平川和正 (2001). 冬季・春季の富山湾におけるカイアシ類群集の昼夜鉛直分布, 特に *Metridia pacifica* と *Oithona atlantica* について. *日本プランクトン学会報*, **48**, 1–13.
- Takizawa T. (1982). Characteristics of the Soya Warm Current in the Okhotsk Sea. *Journal of Oceanographical Society of Japan*, **38**, 281–292.
- 田中伊織, 中多章文, 宮園章 (2003). 北海道の海. 新北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌, pp. 440–445.

- 谷口旭 (1975). 動物プランクトンの生産生態, *海洋プランクトン* (元田茂編), 東海大学出版会, 東京, pp 117–235.
- 谷口旭 (2005). 魚の生活圏としての水中の環境. 朝倉書店, 東京, pp. 212–224.
- 谷口旭 (2007). 低次生産層にみられるレジーム・シフトの特色, *レジームシフト-気候変動と生物資源管理* (川崎健・花輪公雄・谷口旭・二平章編). 成山堂書店, 東京, pp.63–68.
- 谷口旭 (2008). *海洋プランクトン生態学*. 成山堂書店, 東京.
- Tsuda A., Saito H., Kasai H. (1999). Life histories of *Neocalanus flemingeri* and *Neocalanus plumchrus* (Calanoida: Copepoda) in the western subarctic Pacific. *Marine Biology*, **135**, 533–544.
- Tsuda A., Saito H., Kasai H. (2004). Life histories of *Eucalanus bungii* and *Neocalanus cristatus* (Copepoda: Calanoida) in the western subarctic Pacific Ocean. *Fisheries of Oceanography*, **13**, 10–20.
- Tsuda A., Saito H., Kasai H., Nishioka J., Nakatsuka T. (2015). Vertical segregation and population structure of ontogenetically migrating copepods *Neocalanus cristatus*, *N. flemingeri*, *N. plumchrus*, and *Eucalanus bungii* during the ice-free season in the Sea of Okhotsk. *Journal of Oceanography*, **71**, 271–285.
- Turner J.T. (1984). The feeding ecology of some zooplankton that are important prey items of larval fish. *NOAA Tech. Report, NMFS*, **7**, 1–28.
- Turner J.T. (2004). The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. *Zoological Studies*, **43**, 255–266.
- 上田拓史 (1978). 浮遊性カイアシ類の世代解析-特に *Acartia clausi* について-. *日本プランクトン学会報*, **25**, 55–62.
- Ueda H. (1987). Small-scale ontogenetic and diel vertical distributions of neritic copepods in Maizuru Bay, Japan. *Marine Ecology Progress Series*, **35**, 65–73.

- Ueno Y., Ishida Y. (1996). Summer distribution and migration routes of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) originating from rivers in Japan. *Bulletin of National Research Institute of Far Fisheries*, **33**, 139–147.
- 宇野木早苗 (1984). 内湾の物理環境. *内湾の環境科学*, 培風館, pp. 63–162.
- 宇野木早苗 (1993). 沿岸の海洋物理学. 東海大学出版会, 東京.
- 魚谷逸朗, 斎藤勉, 平沼勝男, 西川康夫 (1990). 北西太平洋産クロマグロ *Thunnus thynnus* 仔魚の食性. *日本水産学会誌*, **56**, 713–717.
- Uye S., Fleminger A. (1976). Effects of environmental factors on egg development of several species of *Acartia* in southern California. *Marine Biology*, **38**, 253–262.
- Uye S. (1980). Development of netric copepods *Acartia clausi* and *A. steuri*. I. Some environmental factors affecting egg development and the nature of resting eggs. *Bulltin of the Plankton Society of Japan*, **27**, 1–9.
- 上真一 (1984). 内湾性カイアシ類の個体群動態と生産に関する研究. *日本海洋学会誌*, **40**, 163–174.
- Uye S. (1991a). Resting egg production as a life history strategy of marine planktonic copepods. *Bulletin of Marine Science*, **37**, 440–449.
- Uye S. (1991b). Temperature-dependent development and growth of the planktonic copepod *Paracalanus* sp. in the laboratory. *Bulletin of the Plankton Society of Japan*, **Special volume**, 627–636.
- Uye S. (1994). Replacement of large copepods by small ones with eutrophication of embayments: cause and consequence. *Hydrobiologia*, **292/293**, 513–519.
- 上真一 (2003). 閉鎖性沿岸域の生態系と物質循環 (6) 宍道湖-大橋川-中期水系の中型動物プランクトン群集の地理的・季節的変動とそれらの生態的役割. *海洋と生物*, **25**, 277–282.

- Van der Spoel S., Heyman R.P. (1983). A comparative atlas of zooplankton: biological patterns in the oceans. Wetenschappelijke uitgeverij *Bunge*, Utrecht.
- Vervoort W. (1963). Pelagic copepod. Part I. Copepod Calanoida of the families Calanidae up to and including *Euchaetidae*. *Atlantide Report*, **7**, 77–194.
- Villate F. (1997). Tidal influence on zonation and occurrence of resident and temporary zooplankton in a shallow system (Estuary of Mundaka, Bay of Biscay). *Scientia Marina*, **61**, 173–188.
- Watanabe K. (1963). On the reinforcement of the East Sakhalin Current preceding to the sea ice season off the coast of Hokkaido –Study on the sea ice in the Okhotsk Sea (IV). *Oceanography*, **14**, 117–130.
- Watanabe K. (1967). Summary of drift ice in the Okhotsk Sea. Physics of Snow and Ice: *Proceedings*, **1**, 667–686.
- Welschmeyer N.A. (1994). Fluorometric analysis of chlorophyll *a* in the presence of chlorophyll *b* and pheopigments. *Limnology and Oceanography*, **39**, 198–199.
- Wen-Tseng L., Chia-Lu C., Chang-tai S. (2004). Seasonal distribution of copepods in Tapong Bay, southwestern Taiwan. *Zoological Studies*, **43**, 464–474.
- 山口篤, 志賀直信 (1997). 北海道南西部恵山沖における *Pseudocalanus minutus* と *P. newmani* (Copepoda: Calanoida)の鉛直分布および生活史. *日本プランクトン学会報*, **44**, 11–20.
- Yamaguchi A., Ikeda T., Shiga N. (1998). Population structure and life cycle of *Pseudocalanus minutus* and *Pseudocalanus newmani* (Copepoda: Calanoida) in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Plankton Biology and Ecology*, **46**, 54–61.
- Yamaguchi A., Ikeda T. (2003). 中・深層性カイアシ類をめぐる被食・捕食関係. *日本プランクトン学会報*, **50**, 114–119.

- Yamaji I. (1953). Plankton investigation in inlet waters along the coast of Japan VII. The plankton collected during the cruises to the New Yamato Bank in the Japan Sea. *Published Seto Marine Biology Laboratory, Kyoto University*, **3**, 75–108.
- 山路勇 (1966). 日本海洋プランクトン図鑑. 保育社, 大阪.
- 山本潤, 酒向章哲, 渡辺光弘, 牧田佳巳, 田中仁 (2009). 能取湖における密度成層崩壊時の貧酸素水塊の挙動に関する現地観測. *土木学会論文集*, **B2-65**, 966–970.
- 山本昌幸, 片山知史 (2012). 1995 年の瀬戸内海燧灘東部におけるカタクチイワシとマイワシの食性の比較. *水産海洋研究*, **76**, 66–76.
- 山中薫, 桑原連 (2000). 北海道北東部鱒浦沿岸域で採捕されたワカサギの胃内容物調査. *水産増殖*, **48**, 33–38.
- Yara Y., Vogt M., Fujii M., Yamano H., Hauri C., Steinacher M., Grubrand N., Yamanaka Y. (2012). Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habits around Japan. *Biogeosciences*, **9**, 4955–4968.
- Yoshida T., Toda T., Kuwahara V., Taguchi S., Othman B.H.R. (2004). Rapid response to changing light environments of the Calanoid copepod *Calanus sinicus*. *Marine Biology*, **145**, 505–513.
- Yoshida T., Liong C.F., Majid A.M., Toda T., Ross B.H. (2012). Temperature effects on the egg development time and hatching success of three *Acartia* species (Copepoda: Calanoida) from the Strait of Malacca. *Zoological Studies*, **51**, 644–654.
- Zalkina A.V. (1970). Vertical distribution and diurnal migration of some Cyclopoida (Copepoda) in the tropical region of the Pacific Ocean. *Marine Biology*, **5**, 275–282.
- Zamorano L.A.M., Medrano R.C., Cepeda E.O., Perez L.C.J. (1991). Effect of tidal dynamics on a coastal lagoon of Baja California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, **78**, 229–239.

- Zenkevitch L.A. (1963). *Biology of the Seas of the USSR*. Wiley-InterScience, New York.
- Zhang X., Dam H.G. (1997). Downward export of carbon by diel migrant meso zooplankton in the central equatorial Pacific. *Deep-Sea Research II*, **44**, 2191–2202.

要約

【研究の背景と目的】

プランクトンは水流に逆らう程の遊泳能力を持たない浮遊生物である。カイアシ類は世界中の海域の動物プランクトン群集中で優占する分類群である。カイアシ類は、漁業資源生物の重要な餌生物であり、海洋生態系の安定性と持続性に貢献していると考えられている。南西オホーツク海沿岸域は漁業資源豊かな海域である。この当該海域の豊かな漁業資源は、カイアシ類群集の生産に支えられているはずである。しかし、オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類群集に関する知見は非常に少ない。そこで、本研究では、南西オホーツク海沿岸域と非常に類似した水理環境である海跡湖能取湖をモデルとして、能取湖のカイアシ類群集から南西オホーツク海沿岸域のカイアシ類群集の個体群動態を明らかにすることを最終目標とした。本研究では、能取湖のカイアシ類群集からオホーツク海沿岸域のカイアシ類群集の動態を明らかにするために、様々な時空間スケールの変動要因とカイアシ類群集の変動との関係性を明らかにした。

【第1章: 能取湖におけるカイアシ類群集の季節変動に及ぼす水塊交替の影響】

道東オホーツク海沿岸域では水質の異なる宗谷暖流水と東樺太海流水が季節的に交替する。カイアシ類群集が水塊の季節的な交替に伴ってどのような影響を受けるかを明らかにするために、能取湖の非結氷期において季節的に調査を行った。その結果、宗谷暖流水が分布する夏季には広温性種が高い割合で出現し、東樺太海流系水が分布する初冬季には冷水性種が分布した。当該水域では、水塊交替に伴ってカイアシ類の群集構造が変化することが示唆された。

【第2章: 能取湖および道東オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類の比較】

能取湖および道東オホーツク海沿岸域におけるカイアシ類の群集構造の比較（第1節）：

能取湖でみられたカイアシ類群集の季節変動現象は能取湖固有の現象であるのか、広く南西オホーツク海沿岸域で同時に起こっているのか明らかではない。そこで、能取湖内外の2定点で調査を行い、両定点間のカイアシ類の群集構造を比較した。能取湖では結氷期にも調査を行った。その結果、宗谷暖流系水が分布する時期は湖内外でカイアシ類群集は異なるが、東樺太海流系水が分布する時期は湖内外で類似した群集構造である可能性が示された。また、結氷期は *Pseudocalanus newmani* の優占率が高く、能取湖内外ともに水温が氷点下になるため、調査を行うことができなかった湖外の結氷期も湖内の結氷期と類似した群集構造であることが示唆された。

能取湖および道東オホーツク海沿岸域における *Pseudocalanus newmani* の個体群動態（第2節）：*P. newmani* は東樺太海流系の水塊が分布する時期に季節的に優占し、サケ稚魚の重要な餌生物である。そこで、能取湖内外で採集したサンプルを用いて各成長段階の動態と環境要因の関係性を検討した。その結果、*P. newmani* の成体は宗谷暖流系水が分布する時期には成体の個体数密度と体サイズが小さくなるが、未成体は宗谷暖流水が分布する時期にも個体数密度が高くなった。

【第3章：能取湖におけるカイアシ類の鉛直分布の時間変動と潮位変動の関係】

能取湖の湖水は潮汐や風の影響により能取湖外のオホーツク海沿岸域の海水と交換されると考えられる。遊泳能力が乏しいプランクトン群集は、水塊の交換に伴って、道東オホーツク海沿岸域の群集と交換されていると考えられる。そこで、潮位変動とカイアシ類の分布の時間変動の関係性を検討した。その結果、能取湖で優占する *Acartia hudsonica*、*Clausocalanus pergens* および *Oithona similis* は全ての成長段階で昼夜ともに表層に分布するが、*P. newmani* は成体のみ日中に底層に分布し、夜間には表層に分布した。そのため、*A. hudsonica*、*C. pergens* および *O. similis* は鉛直的に移動するエネルギーを抑え、潮汐流に乗って、水平的に広範囲に分布する生存戦略をとっていることが示唆された。対して、

日周鉛直移動を行っていた *P. newmani* 成体は、夜間の上潮時に能取湖に輸送され、日中に深層へ移動することにより湖内に集積される可能性があることが考えられた。

【第4章：能取湖におけるカイアシ類群集の経年変動と気候変動の関係】

能取湖のカイアシ類群集の経年変動は明らかではない。気候変動は、カイアシ類の群集構造に影響を与える可能性がある。そこで、2013年から2017年の5年間のデータを用いてカイアシ類群集の経年変動を明らかにし、気候変動との関係性を検討した。その結果、PDO index による気候レジームは2014年1月に温暖レジームから寒冷レジームにシフトした。調査期間中、能取湖の水温が上昇し、*P. newmani* の個体数密度は増加するが、外洋性カイアシ類が多くを占める *Calanus* 科カイアシ類の個体数密度は減少する傾向を示した。また、カイアシ類群集の多様度指数が減少する傾向を示した。能取湖におけるカイアシ類群集は、温暖レジームから寒冷レジームへのシフトに伴って変動した可能性がある。

【総合考察】

本研究の結果は、南西オホーツク海沿岸域ならびに能取湖におけるカイアシ類群集の動態に対して水塊交替、潮位変動、気候変動などの異なる時空間スケールの変動要因が影響する可能性を示唆した。本研究結果は、サケをはじめ当該海域における漁業資源生物の資源管理を行う上で大変意義深い成果であると考えられる。

Study on population dynamics of copepods in coastal waters of the southwestern Okhotsk Sea

English summary

【Background and Purpose】

Plankton is a floating organism that does not have enough swimming ability to resist water flow. Copepod is a taxonomic group that dominates in the zooplankton community in the waters of the world ocean. Copepods are important prey species of fishery resource organisms, such as pelagic and demersal fish, and are thought to contribute to the stability and sustainability of marine ecosystems. The coastal area of the southwestern Okhotsk Sea is a sea area rich in fishery resources. Their higher productivity could be supported by copepod production in this area. However, there are very few findings on population dynamics and production of copepods in the coastal area of southwestern Okhotsk Sea. Lagoon Notoro-ko is a water environment similar with that of the coastal area of southwestern Okhotsk Sea. Therefore, this study aimed to clarify the population dynamics of the copepods in the coastal area of the Okhotsk Sea via results of the copepod dynamics in Lagoon Notoro-ko as a model of the coastal area of the Okhotsk Sea. In this study, in order to achieve my final goal, I examined the relationship between copepod community fluctuations and environmental factors with some temporal and spatial scales.

【Chapter 1: Effect of water mass replacement on the seasonal variation of copepod communities in Lagoon Notoro-ko during ice-free season】

The Soya Warm Current (SWC) and East Sakhalin Current (ESC) waters are seasonally replaced in the coastal area of the Okhotsk Sea. In order to clarify how the copepod community is influenced by the seasonal change of the water mass, I conducted a seasonal survey during the ice-free period of Lagoon Notoro-ko. As a result, the eurythermal temperature species dominated during summer when the SWC water was distributed in the lagoon, and the cold water species were distributed during the early winter when the ESC water was distributed. These results suggested that the copepod community structure changed with water mass replacement in this area.

【Chapter 2: Comparison of copepod community in Lagoon Notoro-ko and coastal area of southwestern Okhotsk Sea】

Section 1: Comparison of copepods community structure in Lagoon Notoro-ko and coastal area of southwest Okhotsk Sea

It is not clear whether the seasonal variation of the copepod community found in Lagoon Notoro-ko is a specific phenomenon in Lagoon Notoro-ko or a phenomenon of which the seasonal variation occurs widely in the coastal area southwestern Okhotsk Sea including the lagoon. Therefore, we conducted surveys at two fixed stations inside and outside Lagoon Notoro-ko and compared the copepod communities between the two stations. In Lagoon Notoro-ko, we also conducted a survey during the ice-cover period. As a result, during the SWC water distribution period, the copepod communities were different between inside and outside of the lagoon, but during the ESC water distribution period, the community structures were a similar between inside and outside the lagoon. *Pseudocalanus newmani* dominated during the ice-covered period inside the lagoon. Since water temperature during the ice-covered period is thought to

be lower than 0°C outside Lagoon Notoro-ko as well as inside the lagoon. Therefore, my results suggested that copepod communities of outside lagoon during the ice-cover period, when we could not carry out the survey, might be similar to inside lagoon communities.

Section 2: Population dynamics of *P. newmani* in Lagoon Notoro-ko and coastal area of southwestern Okhotsk Sea

P. newmani was dominant in the copepod community of the coastal area of southwestern Okhotsk Sea including Lagoon Notoro-ko when the ESC water was distributed, and is thought to be an important prey organism of juvenile salmon. We examined the relationship between the dynamics of each developmental stage and environmental factors, using samples collected from inside and outside Lagoon Notoro-ko. As a result, the adult abundance and female body size of *P. newmani* were decreased but abundances of earlier developmental stages also increased during SWC water distribution periods.

【 Chapter 3: Relationship between short-term variations of copepod vertical distribution and tidal rhythms in Lagoon Notoro-ko】

It is considered that waters in Lagoon Notoro-ko are exchanged for seawater in the coastal area of southwestern Okhotsk Sea by effect of tide and wind. The copepod communities in Lagoon Notoro-ko which could be exchanged with those of the coastal area of the southwestern Okhotsk Sea by the exchange of water masses. In this study, we examined the relationship between short-term variations of copepod vertical distributions and tidal rhythms in Lagoon Notoro-ko. As a result, all developmental stages of *A. hudsonica*, *C. pergens* and *O. similis*, which dominated

in the copepod community of Lagoon Notoro-ko, distributed in the surface layer both daytime and nighttime. On the other hand, adult *P. newmani* was distributed in surface layer during nighttime and in the deeper layer during daytime. Therefore, my results suggested that *A. hudsonica*, *C. pergens* and *O. similis* have a strategy which horizontally widely diffused with tidal stream without vertical migration. On the other hand, adult *P. newmani* that performed diel vertical migration might be accumulated in Lagoon Notoro-ko during nighttime and flood tide.

【Chapter 4: Relationship between interannual variability of copepod communities in Lagoon Notoro-ko and climate change】

Interannual variability of copepod communities in Lagoon Notoro-ko has not been clarified. Climate changes could be influenced to the copepod communities. In the study, we clarified the interannual variability of copepod communities from 2013 to 2017 and examined the relationship between their interannual variability and climate changes. As a result, PDO index showed that the climate regime shifted from the warming to the cooling regime at January 2014. During the survey period in Lagoon Notoro-ko, the water temperature and of *P. newmani* abundance increased, but CALANIIDAE copepod abundances decreased. In addition, the diversity index of the copepod community tended to decrease during survey period. There was possibility that copepod communities in Lagoon Notoro-ko changed with the shift of climate regime, from warming to cooling regimes.

【General Discussion】

The results of this study suggested that the dynamics of the copepod community in the coastal area of southwestern Okhotsk Sea and Lagoon Notoro-ko could be influenced by environmental factors of some temporal and spatial scales, such as water mass replacement, tide rhythms and climate changes.

Appendix Table 1. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 330 μ m NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2011.

| | 8-Feb | 16-Feb | 28-Feb | 8-Mar | 14-Mar | 14-Apr | 29-Apr | 30-May | 16-Jun | 29-Jun | 14-Jul | 28-Jul | 19-Aug | 29-Aug | 9-Sep | 30-Sep | 13-Oct | 25-Oct | 11-Nov | 25-Nov | 13-Dec | 21-Dec |
|----------------------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93.9 | 107.3 | 1317.9 | 57.0 | 40.2 | 40.2 | 60.4 | 40.2 | 50.3 | 13.4 | 21.8 | 26.8 | 10.1 | 10.1 | 0 | 0 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33.5 | 0 | 670.7 | 925.5 | 238.1 | 278.3 | 767.9 | 620.4 | 422.5 | 11.7 | 187.8 | 402.4 | 667.3 | 90.5 | 0 | 20.1 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA(Copepodite) | 392.3 | 920.5 | 954.5 | 192.4 | 426.3 | 804.8 | 590.2 | 2920.8 | 2166.3 | 3903.3 | 1401.7 | 529.8 | 201.2 | 281.7 | 432.6 | 97.2 | 97.2 | 93.9 | 318.6 | 744.5 | 566.7 | 1113.3 |
| (Nauplius) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 114.0 | 40.2 | 130.8 | 161.0 | 26.8 | 0 | 10.1 | 10.1 | 36.9 | 6.7 | 8.4 | 26.8 | 18.4 | 43.6 | 33.5 | 6.7 | 6.7 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 174.4 | 13.4 | 0 | 36.9 | 20.1 | 30.2 | 3.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.1 | 0 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16.8 | 46.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 6.7 | 6.7 | 0 | 0 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.4 | 0 | 3.4 | 10.1 | 0 | 3.4 | 0 | 3.4 | 10.1 | 3.4 | 45.3 | 0 | 3.4 | 13.4 | 20.1 | 3.4 | 0 |
| ECHINODERMATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26.8 | 174.4 | 0 | 40.2 | 0 | 16.8 | 20.1 | 53.7 | 50.3 | 174.4 | 33.5 | 63.7 | 15.1 | 13.4 | 10.1 | 3.4 | 0 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 147.5 | 275.0 | 0 | 0 | 93.9 | 0 | 3.4 | 13.4 | 10.1 | 20.1 | 36.9 | 107.3 | 246.5 | 36.9 | 140.8 | 278.3 | 0 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2984.5 | 1871.2 | 21676.3 | 134.1 | 164.3 | 77.1 | 20.1 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.7 | 93.9 |
| BIVALVIA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.7 | 6.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.1 | 0 | 6.7 | 3.4 | 50.3 | 20.1 | 10.1 | 3.4 | 0 | 0 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46.9 | 36.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.4 | 3.4 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 3.4 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.4 | 0 | 1.7 | 13.4 | 3.4 | 0 | 0 |

Appendix Table 2. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 330 µm NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2012.

| | 8-May | 22-May | 8-Jun | 11-Jul | 25-Jul | 10-Aug | 30-Aug | 14-Sep | 27-Sep | 5-Oct | 25-Oct | 12-Nov | 26-Nov | 12-Dec |
|-----------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| CNIDARIA | 196.2 | 323.1 | 30.4 | 0 | 1.7 | 19.8 | 4.2 | 0 | 40.6 | 2.6 | 5.1 | 0 | 0 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 53.9 | 205.4 | 114.7 | 32.0 | 139.6 | 22.4 | 74.6 | 18.7 | 9.7 | 0.8 | 2.8 | 0 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 1597.4 | 2496.4 | 432.8 | 422.8 | 105.7 | 8.4 | 20.5 | 41.0 | 11.3 | 8.5 | 4.6 | 3.5 | 6.2 | 131.2 |
| (Nauplius) | 64.5 | 2.5 | 35.6 | 0.8 | 2.5 | 12.6 | 1.9 | 0 | 1.7 | 0.8 | 0 | 2.1 | 1.7 | 11.5 |
| AMPHIPODA | 3.4 | 1.7 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 2.9 | 8.4 | 0 | 28.5 | 7.1 | 1.7 | 0 | 8.7 | 0.8 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 1.7 | 6.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.1 | 4.2 | 2.1 | 1.0 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 0.8 | 0.8 | 1.7 | 0 | 1.7 | 246.0 | 57.4 | 25.3 | 37.6 | 0.8 | 0.8 | 0 | 0 | 0 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 6.6 | 208.9 | 0 | 32.9 | 12.2 | 16.3 | 15.5 | 7.9 | 5.4 | 2.5 | 2.1 | 14.8 | 30.0 | 7.3 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 0 | 0 | 45.3 | 421.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| BIVALVIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0.8 | 13.0 | 4.2 | 0 | 0 | 0.8 | 0.8 | 0 | 9.8 | 0 | 0.8 | 0.8 | 0 | 0 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 330.0 | 18.1 | 11.2 | 0.4 | 3.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 4.2 | 1.9 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 9.3 | 0 | 5.9 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 3. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 330 µm NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2013.

| | 18-Apr | 9-May | 23-May | 12-Jun | 26-Jun | 11-Jul | 29-Jul | 8-Aug | 26-Aug | 12-Sep | 26-Sep | 11-Oct | 30-Oct | 14-Nov | 20-Dec |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CNIDARIA | 182.6 | 251.1 | 336.7 | 116.8 | 41.0 | 35.5 | 8.9 | 36.6 | 0.7 | 0.7 | 4.5 | 12.1 | 4.7 | 2.2 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 4.4 | 0 | 66.9 | 299.5 | 511.2 | 413.5 | 161.6 | 19.3 | 10.6 | 22.7 | 59.3 | 166.3 | 232.7 | 2.8 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 3832.5 | 1093.3 | 1862.0 | 164.8 | 2157.6 | 919.7 | 143.5 | 48.3 | 16.9 | 0.7 | 8.1 | 25.3 | 224.1 | 957.9 | 991.5 |
| (Nauplius) | 11.9 | 18.0 | 12.4 | 0.6 | 0 | 0 | 6.1 | 2.7 | 0.7 | 0.7 | 0 | 10.3 | 2.6 | 10.2 | 7.5 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 74.7 | 1.6 | 21.4 | 15.6 | 17.3 | 8.1 | 2.7 | 0.7 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 0 | 15.8 | 13.4 | 12.0 | 10.8 | 15.9 | 4.1 | 3.4 | 0 | 0 | 0.5 | 0.4 | 9.3 | 25.4 | 10.3 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 1.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.2 | 0 | 2.0 | 3.2 | 4.5 | 2.8 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 107.4 | 5.5 | 4.8 | 4.6 | 2.8 | 11.5 | 3.1 | 0 | 0 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 47.2 | 81.1 | 54.8 | 1.2 | 47.9 | 106.9 | 14.6 | 2.5 | 0 | 0 | 1.1 | 9.8 | 1329.1 | 94.0 | 11.1 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 0 | 0 | 0 | 621.8 | 1852.3 | 170.3 | 150.9 | 1.1 | 27.5 | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 1.9 | 2.3 |
| BIVALVIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 138.3 | 0 | 36.3 | 56.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.8 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 6.1 | 2.6 | 2.0 | 2.9 | 1.9 | 6.5 | 1.8 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 1.6 | 15.1 | 8.6 | 0.0 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 2.7 | 4.8 | 7.7 | 12.0 | 6.5 | 0.9 | 0.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 4.2 | 0 | 2.0 | 6.2 | 0 | 6.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 4. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 100 µm NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2013.

| | 7-Feb | 14-Feb | 22-Feb | 28-Feb | 7-Mar | 13-Mar | 21-Mar | 29-Mar | 18-Apr | 9-May | 23-May | 12-Jun | 26-Jun | 11-Jul | 29-Jul | 8-Aug | 26-Aug | 12-Sep | 26-Sep | 11-Oct | 29-Oct | 14-Nov | 20-Dec |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.5 | 243.6 | 638.0 | 624.5 | 103.9 | 28.2 | 36.9 | 50.2 | 206.3 | 39.4 | 0 | 0 | 6.3 | 2.6 | 2.2 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 60.4 | 15.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.8 | 9.4 | 181.4 | 218.9 | 611.0 | 1165.6 | 1060.7 | 1143.1 | 541.5 | 491.9 | 369.5 | 466.0 | 210.6 | 83.4 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 2142.8 | 3048.2 | 2052.3 | 1267.6 | 554.6 | 641.3 | 498.0 | 943.1 | 7717.3 | 11209.9 | 10563.1 | 5088.1 | 13445.8 | 4954.7 | 1064.6 | 3999.3 | 7055.1 | 5240.5 | 3691.4 | 2843.0 | 6010.1 | 6741.0 | 7309.6 |
| (Nauplius) | 437.6 | 90.5 | 965.8 | 1229.9 | 362.2 | 1116.7 | 826.2 | 701.7 | 1958.4 | 2876.5 | 2507.7 | 3357.1 | 2614.0 | 2614.4 | 665.4 | 935.6 | 1046.9 | 1308.1 | 1647.9 | 469.4 | 1875.9 | 1962.9 | 2093.9 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.9 | 162.2 | 0 | 9.7 | 9.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.0 | 45.4 | 20.8 | 123.5 | 28.2 | 24.6 | 16.6 | 0 | 2.1 | 5.8 | 40.2 | 12.8 | 32.3 | 10.7 | 41.0 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 15.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.5 | 0 | 5.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.4 | 1.7 | 0 | 4.1 | 4.9 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.1 | 93.1 | 12.4 | 141.8 | 345.9 | 414.4 | 92.7 | 126.6 | 93.5 | 350.5 | 63.4 | 72.6 | 29.4 | 0 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 105.6 | 30.2 | 15.1 | 30.2 | 7.5 | 7.5 | 3.8 | 7.5 | 88.2 | 558.6 | 319.7 | 187.1 | 125.1 | 653.4 | 204.0 | 518.6 | 312.4 | 170.7 | 532.5 | 148.5 | 2449.5 | 346.1 | 51.9 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.4 | 140.2 | 4378.5 | 10754.1 | 17224.5 | 2069.2 | 1408.2 | 940.7 | 402.3 | 43.8 | 16.5 | 48.2 | 33.1 | 79.4 | 46.7 |
| BIVALVIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 203.2 | 5979.1 | 10886.8 | 894.0 | 679.5 | 783.9 | 4192.6 | 1981.7 | 1970.9 | 1595.4 | 4192.8 | 861.0 | 46.7 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0 | 75.5 | 45.3 | 0 | 0 | 3.8 | 0 | 0 | 37.2 | 54.7 | 39.4 | 74.5 | 24.2 | 20.6 | 377.6 | 371.9 | 1303.7 | 176.2 | 363.6 | 109.6 | 218.5 | 134.6 | 23.9 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.8 | 7.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 5. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 100 µm NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2014.

| | 6-Feb | 13-Feb | 21-Feb | 27-Feb | 5-Mar | 12-Mar | 19-Mar | 8-May | 28-May | 17-Jun | 30-Jun | 15-Jul | 29-Jul | 8-Aug | 27-Aug | 11-Sep | 25-Sep | 8-Oct | 28-Oct | 11-Nov | 26-Nov | 10-Dec |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 176.3 | 136.3 | 23.6 | 13.8 | 30.2 | 21.2 | 51.2 | 8.9 | 29.1 | 8.9 | 5.1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.6 | 215.2 | 116.8 | 112.1 | 157.0 | 554.6 | 500.4 | 643.2 | 484.0 | 522.9 | 99.4 | 150.9 | 49.6 | 27.2 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 1765.6 | 1388.3 | 1395.8 | 1354.3 | 1143.1 | 2135.3 | 1256.3 | 2524.2 | 1641.8 | 3882.8 | 2072.0 | 1501.5 | 1276.9 | 7866.0 | 3886.5 | 2277.2 | 2275.4 | 1647.5 | 1366.6 | 2013.5 | 3789.5 | 2670.3 |
| (Nauplius) | 339.5 | 226.4 | 460.3 | 384.8 | 328.2 | 1094.0 | 758.3 | 3680.1 | 1639.6 | 1978.8 | 2526.4 | 1038.8 | 704.0 | 1828.3 | 453.9 | 62.7 | 258.9 | 337.9 | 276.5 | 234.5 | 527.9 | 301.9 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.2 | 30.8 | 11.0 | 33.5 | 0 | 4.7 | 0 | 2.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.3 |
| THECOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 3.8 | 0 | 3.8 | 0 | 0 | 25.3 | 21.1 | 36.1 | 24.5 | 7.7 | 22.1 | 12.7 | 2.8 | 1.4 | 7.6 | 9.9 | 1.6 | 0 | 3.8 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 476.5 | 200.1 | 30.9 | 2.9 | 4.4 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.2 | 9.3 | 64.7 | 11.0 | 49.1 | 38.0 | 89.7 | 413.8 | 491.9 | 267.9 | 58.8 | 25.6 | 4.4 | 3.7 | 0 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 0 | 7.5 | 15.1 | 7.5 | 7.5 | 49.0 | 7.5 | 214.0 | 0 | 91.8 | 69.1 | 643.6 | 677.3 | 606.8 | 465.6 | 135.0 | 223.6 | 106.0 | 440.4 | 150.9 | 69.2 | 136.2 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 0 | 0 | 26.4 | 3.8 | 0 | 26.4 | 0 | 255.1 | 1313.3 | 3677.8 | 4361.9 | 1142.6 | 1431.4 | 287.4 | 217.0 | 27.8 | 70.4 | 32.3 | 38.7 | 19.4 | 47.0 | 20.7 |
| BIVALVIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90.5 | 263.3 | 9469.2 | 2197.8 | 673.3 | 1957.2 | 11489.4 | 3404.4 | 504.6 | 2919.8 | 1191.3 | 652.9 | 557.4 | 199.9 | 41.3 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0 | 0 | 3.8 | 11.3 | 3.8 | 3.8 | 11.3 | 5.1 | 5.7 | 21.6 | 29.1 | 22.2 | 594.8 | 3952.1 | 465.1 | 489.7 | 275.5 | 309.6 | 64.6 | 17.6 | 24.8 | 6.9 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.2 | 5.5 | 0 | 2.1 | 2.9 | 2.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 6. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 100 µm NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2015.

| | 24-Feb | 7-Mar | 16-Mar | 28-Apr | 20-May | 3-Jun | 30-Jun | 15-Jul | 28-Jul | 18-Aug | 31-Aug | 22-Sep | 20-Oct | 3-Nov | 10-Dec |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 1892.7 | 0 | 97.7 | 10.6 | 47.0 | 43.5 | 29.3 | 79.4 | 22.4 | 1365.1 | 0 | 13.6 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 0 | 127.0 | 1094.0 | 804.2 | 2398.5 | 2493.0 | 1582.4 | 5301.5 | 3675.0 | 1365.1 | 132.3 | 34.0 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 2007.0 | 1275.1 | 1886.3 | 3851.4 | 7957.5 | 11936.3 | 8645.3 | 13074.4 | 4928.0 | 10197.6 | 10714.1 | 8862.6 | 3619.0 | 9510.4 | 16435.1 |
| (Nauplius) | 196.2 | 1426.0 | 1373.2 | 395.3 | 1495.6 | 1855.9 | 412.7 | 282.2 | 637.7 | 307.7 | 238.1 | 380.9 | 645.5 | 687.8 | 3197.2 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 53.9 | 112.9 | 0 | 116.4 | 235.2 | 58.0 | 14.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 7.5 | 0 | 0 | 125.8 | 197.5 | 957.2 | 52.9 | 1410.9 | 710.2 | 44.0 | 47.6 | 33.6 | 127.0 | 66.1 | 0 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 7.5 | 0 | 0 | 0 | 28.2 | 58.6 | 116.4 | 658.4 | 159.4 | 307.7 | 206.3 | 134.5 | 127.0 | 79.4 | 13.6 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 0 | 15.1 | 37.7 | 18.0 | 395.1 | 117.2 | 910.0 | 940.6 | 695.7 | 674.0 | 523.8 | 313.7 | 687.8 | 1322.7 | 0 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 0 | 3.8 | 7.5 | 1078.1 | 51836.7 | 74958.2 | 7439.0 | 8888.7 | 3942.4 | 4234.3 | 984.1 | 44.8 | 31.7 | 66.1 | 54.4 |
| BIVALVIA | 7.5 | 0 | 7.5 | 0 | 3513.2 | 4161.1 | 2433.8 | 7054.5 | 9203.7 | 3662.9 | 33967.6 | 2565.8 | 5714.2 | 476.2 | 68.0 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0 | 3.8 | 7.5 | 185.7 | 169.3 | 214.9 | 74.1 | 987.6 | 1942.2 | 4175.7 | 9142.7 | 817.9 | 380.9 | 185.2 | 13.6 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 7. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 100 µm NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2016.

| | 17-Feb | 24-Feb | 7-Mar | 15-Mar | 26-Apr | 21-May | 27-Jun | 26-Jul | 29-Aug | 26-Sep | 18-Nov | 6-Dec |
|----------------------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 14.9 | 4458.3 | 2348.0 | 502.7 | 72.0 | 0 | 10.2 | 0 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1005.5 | 467.8 | 3356.1 | 429.7 | 260.9 | 59.9 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPOD/(Copepodite) | 24247.8 | 4560.8 | 2910.4 | 3428.9 | 9456.1 | 11948.9 | 9954.3 | 12235.0 | 5658.2 | 3233.0 | 10957.5 | 4657.3 |
| (Nauplius) | 1135.7 | 1082.2 | 823.3 | 3518.3 | 2924.8 | 1252.3 | 301.6 | 2734.9 | 6.9 | 71.6 | 939.2 | 715.7 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.9 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 880.3 | 208.7 | 100.5 | 36.0 | 13.9 | 0 | 0 | 7.1 |
| THECOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 85.2 | 756.6 | 201.1 | 36.0 | 13.9 | 20.5 | 156.5 | 3.5 |
| CHAETOGNATHA | | | | | | | | | | | | |
| ECHINODERMATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 313.1 | 100.5 | 0 | 131.7 | 61.4 | 104.4 | 10.6 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 61.4 | 0 | 0 | 0 | 85.2 | 0 | 703.8 | 971.6 | 367.5 | 51.2 | 0 | 77.6 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 0 | 19.3 | 23.2 | 29.8 | 2669.3 | 9131.3 | 16288.9 | 6477.4 | 804.3 | 81.8 | 939.2 | 215.1 |
| BIVALVIA | 0 | 19.3 | 0 | 0 | 56.8 | 391.3 | 402.2 | 1547.4 | 2947.0 | 1309.6 | 3965.6 | 324.4 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0 | 0 | 0 | 0 | 653.1 | 208.7 | 0 | 5685.7 | 2510.1 | 6957.2 | 208.7 | 14.1 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.9 | 10.2 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 8. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 100 µm NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2016.

| | 1-Feb | 10-Feb | 23-Feb | 8-Mar | 14-Mar | 25-Apr | 17-May | 20-Jun | 25-Jul | 25-Aug | 28-Sep | 24-Oct | 27-Nov | 12-Dec |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 2.0 | 0 | 356.8 | 626.1 | 101.8 | 110.2 | 3.2 | 0 | 69.6 | 0 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69.6 | 1018.1 | 284.1 | 1285.4 | 1523.9 | 382.6 | 23.99022 | 7.48082 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 4830.3 | 7696.6 | 4477.4 | 1900.0 | 3005.5 | 12201.8 | 10540.1 | 35244.0 | 1698.7 | 4584.7 | 2915.4 | 8731.2 | 7245.045 | 7757.61 |
| (Nauplius) | 135.9 | 266.9 | 1047.8 | 573.3 | 639.8 | 3995.9 | 1200.1 | 5854.2 | 69.6 | 359.5 | 66.3 | 156.5 | 247.8989 | 673.2738 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1177.4 | 69.6 | 135.7 | 58.0 | 15.9 | 0 | 17.4 | 0 | 7.48082 |
| THECOSTRACA | 5.0 | 0 | 0 | 3.9 | 11.7 | 428.1 | 104.4 | 950.2 | 17.4 | 0 | 41.4 | 87.0 | 0 | 14.96164 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 52.2 | 0 | 7.48082 |
| ECHINODERMATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 71.4 | 34.8 | 101.8 | 17.4 | 25.5 | 190.5 | 69.6 | 47.98043 | 59.84656 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 15.1 | 14.8 | 22.0 | 2.0 | 5.9 | 2461.8 | 17.4 | 543.0 | 121.8 | 108.2 | 82.8 | 660.9 | 191.9217 | 59.84656 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 20.1 | 14.8 | 17.6 | 2.0 | 5.9 | 321.1 | 643.5 | 12930.1 | 69.6 | 350.0 | 16.6 | 139.1 | 7.996739 | 149.6164 |
| BIVALVIA | 15.1 | 14.8 | 8.8 | 2.0 | 0.0 | 35.7 | 156.5 | 5531.8 | 17.4 | 983.1 | 149.1 | 434.8 | 15.99348 | 74.8082 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0 | 14.8 | 13.2 | 2.0 | 2.9 | 891.9 | 156.5 | 50.9 | 2469.8 | 1619.4 | 2857.4 | 504.4 | 7.996739 | 37.4041 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 203.6 | 11.6 | 3.2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 71.4 | 0 | 17.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 9. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 100 µm NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2016.

| | 1-Feb | 10-Feb | 23-Feb | 8-Mar | 14-Mar | 25-Apr | 17-May | 20-Jun | 25-Jul | 25-Aug | 28-Sep | 24-Oct |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 2.0 | 0 | 356.8 | 626.1 | 101.8 | 110.2 | 3.2 | 0 | 69.6 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69.6 | 1018.1 | 284.1 | 1285.4 | 1523.9 | 382.6 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 4830.3 | 7696.6 | 4477.4 | 1900.0 | 3005.5 | 12201.8 | 10540.1 | 35244.0 | 1698.7 | 4584.7 | 2915.4 | 8731.2 |
| (Nauplius) | 135.9 | 266.9 | 1047.8 | 573.3 | 639.8 | 3995.9 | 1200.1 | 5854.2 | 69.6 | 359.5 | 66.3 | 156.5 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1177.4 | 69.6 | 135.7 | 58.0 | 15.9 | 0 | 17.4 |
| THECOSTRACA | 5.0 | 0 | 0 | 3.9 | 11.7 | 428.1 | 104.4 | 950.2 | 17.4 | 0 | 41.4 | 87.0 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 52.2 |
| ECHINODERMATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 71.4 | 34.8 | 101.8 | 17.4 | 25.5 | 190.5 | 69.6 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 15.1 | 14.8 | 22.0 | 2.0 | 5.9 | 2461.8 | 17.4 | 543.0 | 121.8 | 108.2 | 82.8 | 660.9 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 20.1 | 14.8 | 17.6 | 2.0 | 5.9 | 321.1 | 643.5 | 12930.1 | 69.6 | 350.0 | 16.6 | 139.1 |
| BIVALVIA | 15.1 | 14.8 | 8.8 | 2.0 | 0.0 | 35.7 | 156.5 | 5531.8 | 17.4 | 983.1 | 149.1 | 434.8 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0 | 14.8 | 13.2 | 2.0 | 2.9 | 891.9 | 156.5 | 50.9 | 2469.8 | 1619.4 | 2857.4 | 504.4 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 203.6 | 11.6 | 3.2 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 71.4 | 0 | 17.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 10. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 330 µm NORPAC net at coastal area of southwestern Okhotsk Sea in 2013.

| | 15-Apr | 13-May | 10-Jun | 24-Jun | 8-Jul | 23-Jul | 19-Aug | 2-Sep | 30-Sep | 5-Nov | 18-Nov | 5-Dec |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| CNIDARIA | 2.0 | 1.0 | 0 | 6.0 | 0 | 0 | 2.5 | 0.5 | 8.6 | 3.0 | 6.0 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 2.0 | 235.4 | 601.6 | 9.6 | 1.5 | 18.1 | 8.0 | 1.0 | 0 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 2760.5 | 593.0 | 2531.1 | 855.1 | 515.1 | 726.3 | 62.9 | 101.1 | 279.7 | 780.7 | 515.1 | 318.4 |
| (Nauplius) | 0 | 102.6 | 2.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 5.0 | 1.0 | 0 |
| AMPHIPODA | 6.5 | 0 | 4.0 | 2.0 | 14.1 | 8.0 | 0 | 3.5 | 0.5 | 7.0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 2.0 | 1.0 | 18.1 | 0 | 4.0 | 22.1 | 6.0 | 28.2 | 3.5 | 32.2 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CHAETOGNATHA | 1.0 | 0 | 18.1 | 6.0 | 4.0 | 0 | 18.1 | 9.1 | 29.7 | 25.2 | 28.2 | 0 |
| ECHINODERMATA | 0 | 11.6 | 0 | 2.0 | 0 | 0 | 3.0 | 6.5 | 0.5 | 0 | 2.0 | 0.5 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 0 | 0 | 0 | 549.3 | 181.1 | 195.2 | 14.6 | 8.6 | 94.6 | 92.6 | 42.3 | 3.5 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 0 | 0 | 10.1 | 110.7 | 10.1 | 4.0 | 0.5 | 5.0 | 1.5 | 75.5 | 28.2 | 1.5 |
| BIVALVIA | 0 | 0 | 0 | 4.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0 | 0 | 0 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0.5 | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 2.0 | 0.5 | 0 | 1.0 | 0 | 0 | 0.5 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 3.0 | 0 | 0 | 0 | 4.0 | 72.4 | 5.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 1.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 11. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 100 µm NORPAC net at coastal area of southwestern Okhotsk Sea in 2014.

| | 16-Apr | 28-Apr | 13-May | 26-May | 9-Jun | 23-Jun | 7-Jul | 4-Aug | 20-Aug | 17-Sep | 8-Oct | 10-Nov |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CNIDARIA | 0 | 0 | 85.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.2 | 3.1 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 937.2 | 2447.3 | 6260.6 | 2838.4 | 1993.9 | 1695.2 | 11134.1 | 2476.5 | 2276.4 | 3541.0 | 1879.7 | 1796.0 |
| (Nauplius) | 361.4 | 2146.8 | 2904.6 | 4017.4 | 508.3 | 474.7 | 1731.3 | 176.6 | 106.7 | 12.3 | 190.5 | 463.3 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.8 | 0 | 0 | 0 | 6.2 | 3.1 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 168.4 | 260.2 | 265.4 | 36.5 | 1.6 | 0 | 10.8 | 0 | 0 | 9.4 | 0 |
| THECOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CHAETOGNATHA | 1.8 | 0 | 31.9 | 6.7 | 4.1 | 14.1 | 42.2 | 0 | 42.7 | 443.4 | 74.9 | 21.3 |
| ECHINODERMATA | 1.8 | 23.1 | 10.6 | 10.1 | 4.1 | 0 | 14.1 | 0 | 42.7 | 24.6 | 31.2 | 0 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 1.8 | 79.3 | 100.9 | 6.7 | 9.5 | 11.0 | 344.9 | 443.4 | 252.9 | 418.8 | 74.9 | 87.1 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 27.9 | 6.6 | 21.2 | 20.2 | 309.6 | 56.4 | 77.4 | 54.1 | 338.3 | 1367.1 | 149.9 | 57.4 |
| BIVALVIA | 0 | 0 | 329.2 | 161.2 | 123.0 | 40.7 | 56.3 | 122.6 | 338.3 | 1280.9 | 53.1 | 204.0 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0.9 | 16.5 | 10.6 | 43.7 | 4.1 | 0 | 7.0 | 3.6 | 24.4 | 154.0 | 12.5 | 12.8 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 12. Abundance (ind./m³) of zooplankton collected by 100 µm NORPAC net at coastal area of southwestern Okhotsk Sea in 2015.

| | 1-Apr | 13-Apr | 11-May | 25-May | 7-Jul | 21-Jul | 19-Aug | 2-Sep | 16-Sep | 7-Oct | 9-Dec |
|-----------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CNIDARIA | 1.7 | 0 | 5.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.0 | 0 | 0 | 39.1 | 84.8 | 2.4 | 0 |
| OSTRACODA | 0 | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.9 | 6.5 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 1474.8 | 2700.0 | 3988.7 | 11111.6 | 5699.8 | 7928.6 | 1158.7 | 5263.5 | 1740.5 | 3026.1 | 7121.6 |
| (Nauplius) | 530.2 | 91.1 | 883.0 | 2449.9 | 155.3 | 445.4 | 4.7 | 306.5 | 62.7 | 230.6 | 1142.8 |
| AMPHIPODA | 0 | 7.0 | 5.0 | 0 | 11.9 | 25.5 | 7.1 | 0 | 7.4 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 267.3 | 79.9 | 0 | 3.7 | 7.1 | 0 |
| THECOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 7.0 | 22.6 | 54.7 | 15.9 | 0 | 2.4 | 189.1 | 184.4 | 107.0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 47.8 | 38.2 | 0 | 26.1 | 169.6 | 52.3 | 0 |
| TUNICATA | | | | | | | | | | | |
| APPENDICULATA | 0 | 0 | 10.0 | 134.2 | 115.5 | 674.5 | 38.8 | 456.6 | 306.1 | 52.3 | 0 |
| MOLLUSCA | | | | | | | | | | | |
| GASTROPODA | 60.4 | 0 | 55.2 | 114.3 | 211.1 | 114.5 | 117.5 | 743.5 | 420.4 | 49.9 | 8108.0 |
| BIVALVIA | 0 | 0 | 42.6 | 422.4 | 1497.6 | 203.6 | 266.8 | 893.6 | 2290.0 | 465.9 | 54.1 |
| ANNELIDA | | | | | | | | | | | |
| POLYCHAETA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29.5 | 30.9 | 0 |
| ARTHROPODA | | | | | | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.6 | 6.5 | 18.4 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 13. Abundance (ind./m³) of 0-5 m zooplankton collected by 100 μ m closed NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2015.

| | 3-Nov | | | 4-Nov | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 | 15:00 |
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CRUSTACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLADOCERA | 95.6 | 166.7 | 185.0 | 38.5 | 214.2 | 42.8 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 5218.3 | 5238.9 | 3914.4 | 2417.4 | 3067.2 | 418.8 |
| (Nauplius) | 764.8 | 2359.7 | 516.1 | 314.2 | 808.2 | 105.5 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 9.7 | 6.4 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 55.8 | 12.8 | 107.1 | 64.1 | 48.7 | 9.2 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 6.4 | 0 | 6.4 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 31.9 | 96.2 | 87.6 | 6.4 | 399.2 | 22.9 |
| TUNICATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| APPENDICULATA | 1609.3 | 2148.1 | 2385.6 | 1724.9 | 2317.5 | 247.6 |
| MOLLUSCA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GASTROPODA | 23.9 | 6.4 | 29.2 | 6.4 | 9.7 | 1.5 |
| BIVALVIA | 215.1 | 256.5 | 827.7 | 198.8 | 467.4 | 35.2 |
| ANNELIDA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| POLYCHAETA | 103.6 | 83.4 | 467.4 | 160.3 | 58.4 | 35.2 |
| ARTHROPODA | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 14. Abundance (ind./m³) of 5-10 m zooplankton collected by 100 µm closed NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2015.

| | 3-Nov | | | 4-Nov | | |
|-----------------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 | 15:00 |
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CRUSTACEA | | | | | | |
| CLADOCERA | 13.8 | 32.9 | 54.8 | 32.9 | 65.7 | 37.6 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 975.5 | 1862.2 | 2251.1 | 1163.4 | 872.0 | 467.6 |
| (Nauplius) | 152.2 | 142.4 | 213.6 | 197.2 | 109.5 | 103.3 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 11.0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 13.8 | 21.9 | 54.8 | 19.7 | 17.5 | 13.1 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 27.7 | 11.0 | 54.8 | 26.3 | 118.3 | 43.2 |
| TUNICATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| APPENDICULATA | 408.2 | 788.7 | 887.3 | 716.4 | 390.0 | 227.2 |
| MOLLUSCA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GASTROPODA | 6.9 | 11.0 | 11.0 | 0 | 8.8 | 3.8 |
| BIVALVIA | 131.5 | 120.5 | 503.9 | 256.3 | 135.8 | 41.3 |
| ANNELIDA | | | | | | |
| POLYCHAETA | 55.3 | 98.6 | 197.2 | 92.0 | 57.0 | 46.9 |
| ARTHROPODA | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 15. Abundance (ind./m³) of 10-15 m zooplankton collected by 100 µm closed NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2015.

| | 3-Nov | | | 4-Nov | | |
|-----------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 | 15:00 |
| CNIDARIA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CRUSTACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLADOCERA | 75.1 | 6.6 | 8.6 | 26.3 | 120.2 | 54.3 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 957.7 | 1123.9 | 754.4 | 703.3 | 1708.9 | 1360.4 |
| (Nauplius) | 125.2 | 111.7 | 134.3 | 78.9 | 225.3 | 166.9 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 6.6 | 3.8 | 4.2 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 50.1 | 39.4 | 8.6 | 19.7 | 48.8 | 37.6 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 25.0 | 6.6 | 14.3 | 39.4 | 108.9 | 16.7 |
| TUNICATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| APPENDICULATA | 275.4 | 598.1 | 197.2 | 124.9 | 657.3 | 500.8 |
| MOLLUSCA | | | | | | |
| GASTROPODA | 6.3 | 6.6 | 14.3 | 13.1 | 15.0 | 12.5 |
| BIVALVIA | 37.6 | 184.0 | 148.6 | 170.9 | 304.2 | 267.1 |
| ANNELIDA | | | | | | |
| POLYCHAETA | 37.6 | 98.6 | 22.9 | 39.4 | 78.9 | 79.3 |
| ARTHROPODA | | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 16. Abundance (ind./m³) of 0-5 m zooplankton collected by 100 µm closed NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2016.

| | 21-May | | 22-May | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 |
| CNIDARIA | 1549.8 | 550.8 | 400.6 | 438.2 | 110.7 |
| CRUSTACEA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLADOCERA | 96.9 | 37.6 | 0 | 87.6 | 27.7 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 5576.4 | 2416.2 | 7060.9 | 5380.8 | 5147.4 |
| (Nauplius) | 2532.2 | 1364.6 | 2303.6 | 3855.9 | 3514.6 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 12.5 | 50.1 | 0 | 0 |
| THECOSTRACA | 110.7 | 25.0 | 0 | 52.6 | 166.0 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 27.7 | 0 | 0 | 52.6 | 83.0 |
| TUNICATA | | | | | |
| APPENDICULATA | 0 | 0 | 25.0 | 17.5 | 0 |
| MOLLUSCA | | | | | |
| GASTROPODA | 3597.7 | 3129.8 | 4657.2 | 4784.9 | 3957.4 |
| BIVALVIA | 304.4 | 237.9 | 4532.0 | 12444.2 | 12536.4 |
| ANNELIDA | | | | | |
| POLYCHAETA | 27.7 | 62.6 | 200.3 | 35.1 | 0 |
| ARTHROPODA | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 17. Abundance (ind./m³) of 5-10 m zooplankton collected by 100 µm closed NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2016.

| | 21-May | | 22-May | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 |
| CNIDARIA | 335.9 | 322.1 | 548.0 | 51.6 | 289.2 |
| CRUSTACEA | | | | | |
| CLADOCERA | 14.6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 2220.1 | 1689.2 | 3584.4 | 277.0 | 3575.5 |
| (Nauplius) | 657.3 | 177.5 | 1140.5 | 56.3 | 1524.9 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 0 | 6.6 | 59.2 | 0 | 26.3 |
| THECOSTRACA | 29.2 | 6.6 | 59.2 | 0 | 0 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 0 | 13.1 | 44.4 | 4.7 | 52.6 |
| TUNICATA | | | | | |
| APPENDICULATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MOLLUSCA | | | | | |
| GASTROPODA | 3067.2 | 1794.3 | 4576.8 | 1032.8 | 5258.1 |
| BIVALVIA | 29.2 | 65.7 | 429.5 | 136.1 | 907.0 |
| ANNELIDA | | | | | |
| POLYCHAETA | 29.2 | 13.1 | 29.6 | 14.1 | 105.2 |
| ARTHROPODA | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 18. Abundance (ind./m³) of 10-15 m zooplankton collected by 100 µm closed NORPAC net at Lagoon Notoro-ko in 2016.

| | 21-May | | 22-May | | |
|-----------------------|---------|--------|--------|-------|--------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 |
| CNIDARIA | 7361.4 | 113.1 | 127.5 | 75.1 | 281.7 |
| CRUSTACEA | | | | | |
| CLADOCERA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| OSTRACODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COPEPODA (Copepodite) | 18260.0 | 1337.8 | 2708.7 | 878.9 | 2497.6 |
| (Nauplius) | 2676.9 | 193.0 | 493.9 | 330.5 | 431.9 |
| AMPHIPODA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EUPAUSIACEA | 764.8 | 26.6 | 95.6 | 7.5 | 112.7 |
| THECOSTRACA | 5449.3 | 372.7 | 493.9 | 7.5 | 732.4 |
| CHAETOGNATHA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ECHINODERMATA | 191.2 | 13.3 | 0 | 7.5 | 18.8 |
| TUNICATA | | | | | |
| APPENDICULATA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MOLLUSCA | | | | | |
| GASTROPODA | 3824.1 | 559.1 | 270.9 | 803.7 | 488.3 |
| BIVALVIA | 669.2 | 93.2 | 191.2 | 217.8 | 262.9 |
| ANNELIDA | | | | | |
| POLYCHAETA | 1434.0 | 106.5 | 207.1 | 45.1 | 281.7 |
| ARTHROPODA | | | | | |
| MALACOSTRACA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fish egg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larvae fish | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 19. Abundance (ind./m³) of copepods collected with 330 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2011.

| | 14-Apr | 29-Apr | 30-May | 16-Jun | 29-Jun | 14-Jul | 28-Jul | 19-Aug | 29-Aug | 9-Sep | 30-Sep | 13-Oct | 25-Oct | 11-Nov | 25-Nov | 13-Dec | 21-Dec |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acartia | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 0 | 0 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 50.8 | 50.8 | 0 | 25.4 | 12.7 | 50.8 | 139.8 | 241.4 | 50.8 | 241.4 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 76.2 | 168.6 | 1905.9 | 127.1 | 114.4 | 101.6 | 50.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.7 | 0 | 0 |
| <i>Acartia omorii</i> | 12.7 | 24.1 | 63.5 | 50.8 | 38.1 | 25.4 | 76.2 | 0 | 25.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calanus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 12.7 | 0 | 12.7 | 0 | 25.4 | 0 | 12.7 | 12.7 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 12.0 | 38.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 12.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Candacia | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Centropages | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63.5 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 76.2 | 0 | 38.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.4 | 0 |
| Pseudocalanus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 76.2 | 48.2 | 165.2 | 12.7 | 12.7 | 12.7 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 698.8 | 770.7 | 5272.9 | 813.2 | 762.4 | 1321.4 | 279.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.4 | 25.4 | 0 | 228.7 | 762.4 | 546.4 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metridia | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 25.4 | 0 | 38.1 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 0 | 0 | 152.5 | 177.9 | 114.4 | 114.4 | 76.2 | 139.8 | 343.1 | 1334.1 | 533.6 | 241.4 | 571.8 | 292.2 | 101.6 | 25.4 | 0 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.4 | 12.7 | 25.4 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76.2 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temora | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 12.7 | 0 | 279.5 | 25.4 | 0 | 12.7 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmanni</i> | 0 | 0 | 406.6 | 12.7 | 12.7 | 25.4 | 0 | 127.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.7 | 0 | 12.7 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Undinella | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 76.2 | 12.0 | 76.2 | 12.7 | 50.8 | 25.4 | 190.6 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 101.6 | 12.0 | 50.8 | 0 | 76.2 | 38.1 | 38.1 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50.8 | 12.7 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oithona | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 0 | 12.0 | 25.4 | 0 | 25.4 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 12.7 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.7 | 12.7 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 25.4 | 0 | 0 | 12.7 | 12.7 | 12.7 | 50.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 12.7 | 48.2 | 25.4 | 0 | 0 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 20. Abundance (ind./m³) of copepods collected with 330 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2012.

| | 8-May | 22-May | 8-Jun | 11-Jul | 25-Jul | 10-Aug | 30-Aug | 14-Sep | 27-Sep | 5-Oct | 25-Oct | 12-Nov | 26-Nov | 12-Dec |
|----------------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Acartia | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 11.0 | 30.8 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia omorii</i> | 21.5 | 120.3 | 4.2 | 38.0 | 6.0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Calanus | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 197.2 | 227.4 | 8.8 | 26.0 | 2.6 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 2.5 | 1.7 | 0.8 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 298.7 | 465.8 | 88.4 | 48.4 | 4.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0.8 | 0.8 | 0 |
| Neocalanus | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 83.9 | 221.2 | 84.3 | 43.7 | 2.6 | 0 | 0.8 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 82.2 | 108.1 | 9.8 | 0 | 0.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47.8 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Candacia | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Centropages | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 36.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 2.5 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pseudocalanus | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 13.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Metridia | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 104.3 | 91.3 | 4.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 516.6 | 735.7 | 136.2 | 114.5 | 81.8 | 2.5 | 10.9 | 2.5 | 5.9 | 2.5 | 0 | 0.8 | 1.7 | 4.2 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Temora | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmanni</i> | 16.5 | 13.4 | 0 | 4.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 5.5 | 6.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Undinella | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 5.2 | 20.1 | 4.9 | 12.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 49.5 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| Oithona | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 106.2 | 94.3 | 3.4 | 31.9 | 1.7 | 0.8 | 0 | 0 | 0.8 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 0 | 3.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 13.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 |

Appendix Table 21. Abundance (ind./m³) of copepods collected with 330 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2013.

| | 18-Apr | 9-May | 23-May | 12-Jun | 26-Jun | 11-Jul | 29-Jul | 8-Aug | 26-Aug | 12-Sep | 26-Sep | 11-Oct | 29-Oct | 14-Nov | 20-Dec |
|----------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acartia | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80.0 | 45.0 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 170.8 | 139.0 | 176.7 | 24.4 | 402.9 | 87.7 | 3.7 | 0.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.7 |
| <i>Acartia omorii</i> | 170.8 | 37.9 | 68.7 | 15.4 | 188.1 | 298.1 | 14.7 | 2.9 | 0.9 | 0 | 1.6 | 1.7 | 47.0 | 149.1 | 42.4 |
| <i>Acartia steueri</i> | 113.9 | 19.7 | 108.6 | 15.1 | 120.3 | 25.1 | 5.3 | 5.1 | 0 | 0 | 0 | 1.6 | 0 | 12.6 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 654.6 | 49.8 | 17.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 479.7 | 27.7 | 8.4 | 0 | 8.5 | 0 | 0 | 2.9 | 0 | 0 | 2.7 | 0.4 | 3.3 | 0 | 10.2 |
| Neocalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 19.7 | 0 | 23.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 5.5 | 0 | 8.4 | 4.7 | 0 | 0 | 15.3 | 1.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Candacia | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Centropages | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 14.2 | 35.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.5 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 0.7 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.6 | 31.6 | 8.3 | 31.2 |
| Pseudocalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46.5 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 1850.8 | 625.8 | 1100.4 | 61.2 | 940.9 | 311.5 | 8.6 | 1.8 | 0 | 0.7 | 1.1 | 0 | 4.3 | 387.5 | 710.3 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metridia | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0.0 | 6.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21.5 | 11.2 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 210.2 | 87.5 | 106.3 | 9.6 | 243.8 | 28.5 | 10.7 | 7.7 | 4.3 | 0 | 2.7 | 8.4 | 109.8 | 222.8 | 34.6 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 27.1 | 0 | 2.1 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.6 | 0 | 5.6 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21.5 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temora | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 0 | 54.2 | 224.2 | 7.0 | 33.1 | 94.0 | 4.9 | 1.8 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 2.6 | 34.0 | 10.2 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Undinella | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.9 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 142.3 | 10.0 | 20.0 | 7.5 | 109.9 | 25.0 | 34.9 | 15.8 | 0 | 0 | 0 | 2.4 | 6.5 | 8.2 | 10.2 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oithona | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 0 | 0 | 0 | 14.6 | 68.0 | 43.5 | 3.0 | 1.4 | 0 | 0 | 0 | 3.6 | 0 | 4.1 | 3.9 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 0 | 0 | 0 | 4.6 | 15.1 | 6.4 | 2.6 | 0 | 1.4 | 0 | 0 | 0 | 1.9 | 4.2 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 22. Abundance (ind./m³) of copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2013.

| | 7-Feb | 14-Feb | 22-Feb | 28-Feb | 7-Mar | 13-Mar | 21-Mar | 29-Mar | 18-Apr | 9-May | 23-May | 12-Jun | 26-Jun | 11-Jul | 29-Jul | 8-Aug | 26-Aug | 12-Sep | 26-Sep | 11-Oct | 29-Oct | 14-Nov | 20-Dec |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 135.8 | 30.2 | 75.5 | 67.9 | 7.5 | 0 | 0 | 0 | 5.0 | 442.4 | 284.5 | 150.4 | 1598.9 | 227.9 | 25.2 | 74.9 | 151.0 | 44.9 | 74.9 | 1.2 | 586.3 | 228.0 | 149.1 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 271.6 | 75.5 | 120.7 | 0 | 15.1 | 18.9 | 11.3 | 37.7 | 149.2 | 377.4 | 328.2 | 326.0 | 1169.3 | 169.2 | 5.0 | 0 | 123.8 | 0 | 6.7 | 0 | 0 | 42.9 | 311.4 |
| <i>Acartia omorii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 427.9 | 1910.6 | 857.0 | 516.2 | 4521.6 | 1510.3 | 78.0 | 121.8 | 985.6 | 134.6 | 74.9 | 2.4 | 972.6 | 375.9 | 59.4 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 139.3 | 131.4 | 994.6 | 438.0 | 1511.9 | 342.9 | 5.0 | 49.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 149.9 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 692.1 | 1019.4 | 353.0 | 45.7 | 63.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 433.7 | 836.0 | 0 | 17.4 | 205.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.0 | 0 |
| <i>Mesocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 134.7 | 0 |
| <i>Neocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 298.6 | 10.6 | 178.6 | 28.3 | 0 | 0 | 16.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1343.7 | 948.3 | 1917.8 | 843.3 | 129.3 |
| <i>Pseudocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 15.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.5 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 1735.4 | 2837.0 | 1856.1 | 1079.0 | 498.0 | 445.2 | 422.5 | 762.1 | 2833.1 | 4137.5 | 4797.8 | 575.6 | 1478.6 | 276.4 | 129.4 | 964.1 | 1752.2 | 1640.6 | 401.1 | 0 | 249.3 | 2061.5 | 4035.5 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 985.2 | 0 | 219.1 | 0 | 127.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1135.8 | 439.3 | 986.8 | 176.3 | 1143.1 | 148.0 | 292.1 | 608.8 | 1709.6 | 1691.9 | 532.3 | 440.2 | 1172.2 | 698.7 | 39.6 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Lahidocera</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Lahidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITHRICIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora breckmani</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 304.3 | 124.3 | 141.0 | 329.2 | 166.1 | 39.1 | 0 | 44.5 | 16.2 | 12.4 | 51.6 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tomsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYRIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.0 | 194.0 | 62.2 | 34.8 | 141.2 | 0.0 | 41.9 | 20.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 51.6 | 21.3 | 0.0 | 0.0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTHONIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 0 | 0 | 0 | 120.7 | 34.0 | 177.3 | 26.4 | 143.4 | 231.5 | 897.5 | 762.0 | 989.1 | 525.1 | 487.3 | 28.5 | 15.0 | 86.6 | 86.2 | 93.4 | 311.3 | 416.1 | 424.9 | 288.1 |
| <i>Oithona davisiae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 0 | 90.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 380.9 | 479.3 | 615.1 | 1649.3 | 632.2 | 1502.2 | 353.2 | 294.1 | 1576.1 | 1483.9 | 912.1 | 833.4 | 516.0 | 1303.3 | 2131.1 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2014.

| | 6-Feb | 13-Feb | 21-Feb | 27-Feb | 5-Mar | 12-Mar | 19-Mar | 8-May | 28-May | 17-Jun | 30-Jun | 15-Jul | 29-Jul | 8-Aug | 27-Aug | 11-Sep | 25-Sep | 8-Oct | 28-Oct | 11-Nov | 26-Nov | 10-Dec |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACARTHIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acartia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 70.0 | 27.8 | 0.0 | 0.0 | 11.4 | 42.7 | 37.7 | 126.8 | 125.0 | 298.6 | 163.3 | 244.6 | 350.8 | 458.1 | 187.4 | 101.2 | 114.4 | 125.6 | 167.8 | 429.1 | 168.3 | 480.2 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 17.5 | 27.8 | 41.9 | 80.8 | 57.2 | 149.5 | 62.8 | 321.0 | 158.9 | 114.4 | 67.4 | 50.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.1 |
| <i>Acartia omori</i> | 122.5 | 13.9 | 41.9 | 13.5 | 11.4 | 42.7 | 12.6 | 241.5 | 145.0 | 221.3 | 173.6 | 166.9 | 230.8 | 599.5 | 360.9 | 107.0 | 100.0 | 158.8 | 158.8 | 414.1 | 131.0 | 278.0 |
| <i>Acartia steuerei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARTIIDIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.9 | 26.4 | 42.5 | 78.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calanus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21.4 | 0 | 0 | 13.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Mesocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 0 | 14.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Candacia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Centropages | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26.6 | 22.4 | 0 | 14.2 | 19.5 | 3.4 | 22.7 | 6.1 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50.1 | 56.9 | 702.6 | 463.9 | 551.6 | 450.2 | 211.3 | 197.7 | 56.4 | 420.3 | 200.2 |
| <i>Pseudocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 13.9 | 27.9 | 53.9 | 11.4 | 64.1 | 87.9 | 0 | 0 | 17.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 1172.8 | 1110.6 | 1005.0 | 1023.6 | 891.6 | 1494.7 | 866.8 | 1603.9 | 958.5 | 1927.7 | 1033.0 | 337.6 | 244.2 | 1969.4 | 700.3 | 318.8 | 340.0 | 177.6 | 95.1 | 398.5 | 372.1 | 557.6 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus hungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metridia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 13.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.0 | 0 | 53.6 | 15.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 0 | 13.9 | 14.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68.5 | 51.9 | 141.3 | 0 | 13.1 | 66.8 | 780.7 | 470.3 | 809.9 | 315.4 | 92.5 | 55.8 | 5.0 | 68.1 | 36.1 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56.0 | 0 | 16.3 | 0 | 100.4 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECTRICHIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temora | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 13.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.6 | 0 | 0 | 0 | 52.8 | 92.2 | 53.7 | 216.2 | 136.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.9 | 114.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21.3 | 0 | 18.1 | 0 | 0 | 13.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Undinella | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21.3 | 23.8 | 21.1 | 14.9 | 479.6 | 13.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTTHONIDAE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oithona | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 122.5 | 13.9 | 83.8 | 26.9 | 0.0 | 64.1 | 25.1 | 68.5 | 13.1 | 116.5 | 57.5 | 105.6 | 50.0 | 193.9 | 154.1 | 213.8 | 96.3 | 214.1 | 143.3 | 54.8 | 148.5 | 248.5 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42.6 | 39.9 | 21.1 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 245.1 | 138.8 | 167.5 | 148.1 | 160.0 | 256.2 | 150.8 | 86.9 | 124.3 | 577.5 | 399.9 | 119.4 | 158.8 | 804.3 | 221.1 | 62.1 | 425.8 | 141.2 | 398.4 | 339.3 | 364.0 | 374.3 |
| <i>Unidentifed</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 24. Abundance (ind./m³) of copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2015.

| | 24-Feb | 7-Mar | 16-Mar | 28-Apr | 20-May | 3-Jun | 30-Jun | 15-Jul | 28-Jul | 18-Aug | 31-Aug | 22-Sep | 20-Oct | 3-Nov | 10-Dec |
|----------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acartia | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 100.4 | 51.0 | 37.7 | 75.9 | 869.1 | 234.4 | 1381.6 | 1557.6 | 443.5 | 689.2 | 317.1 | 0 | 599.1 | 3030.6 | 1465.7 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 80.3 | 25.5 | 75.5 | 227.8 | 1185.2 | 703.3 | 518.1 | 519.2 | 44.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1465.7 |
| <i>Acartia omorii</i> | 40.1 | 63.8 | 56.6 | 493.7 | 869.1 | 468.9 | 1727.0 | 1038.4 | 399.2 | 984.6 | 211.4 | 0 | 252.3 | 852.4 | 0 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 88.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mesocalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 20.1 | 0 | 18.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Candacia | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Centropages | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 869.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 886.1 | 0 | 0 | 31.5 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1302.8 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 310.5 | 2067.7 | 4862.8 | 3798.5 | 1103.7 | 1988.8 | 7328.4 |
| Pseudocalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 40.1 | 0 | 37.7 | 38.0 | 0 | 0 | 0 | 129.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 1625.7 | 981.8 | 1546.8 | 2430.4 | 3397.5 | 7736.1 | 3453.9 | 5841.2 | 1862.8 | 2264.6 | 1480.0 | 990.9 | 378.4 | 852.4 | 2280.0 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metridia | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 20.1 | 0 | 0 | 113.9 | 0 | 234.4 | 172.7 | 389.4 | 266.1 | 1476.9 | 2008.5 | 1156.1 | 346.9 | 1041.8 | 0 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temora | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmanni</i> | 0 | 12.8 | 56.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.8 | 0 | 98.5 | 0 | 0 | 63.1 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 38.0 | 0 | 351.6 | 604.4 | 129.8 | 44.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 162.9 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Undinella | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 0 | 0 | 75.9 | 0 | 1172.1 | 259.0 | 519.2 | 310.5 | 590.8 | 105.7 | 82.6 | 0 | 94.7 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oithona | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 20.1 | 25.5 | 0 | 151.9 | 158.0 | 117.2 | 431.7 | 1557.6 | 310.5 | 492.3 | 634.3 | 165.2 | 63.1 | 0 | 162.9 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 60.2 | 114.8 | 56.6 | 151.9 | 553.1 | 703.3 | 86.3 | 1168.2 | 354.8 | 295.4 | 951.4 | 2064.4 | 315.3 | 1610.0 | 2117.1 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 25. Abundance (ind./m³) of copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2016.

| | 17-Feb | 24-Feb | 7-Mar | 15-Mar | 26-Apr | 21-May | 27-Jun | 26-Jul | 29-Aug | 26-Sep | 18-Nov | 6-Dec |
|----------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Acartia | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 726.5 | 181.7 | 145.5 | 67.4 | 931.4 | 1536.4 | 195.1 | 1928.8 | 380.5 | 0 | 101.8 | 651.0 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 242.2 | 499.6 | 58.2 | 168.5 | 279.4 | 1300.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia omorii</i> | 242.2 | 181.7 | 29.1 | 67.4 | 0 | 236.4 | 0 | 361.7 | 108.7 | 0 | 0 | 46.5 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46.5 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Calanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mesocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Candacia | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Centropages | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46.5 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 482.2 | 2392.0 | 1422.6 | 2239.0 | 465.0 |
| Pseudocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 242.2 | 90.8 | 145.5 | 0 | 186.3 | 118.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101.8 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 22037.5 | 2770.3 | 1979.1 | 2695.4 | 6426.7 | 7091.1 | 6437.1 | 4339.8 | 163.1 | 158.1 | 5495.8 | 2325.1 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Metridia | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 0 | 90.8 | 29.1 | 0 | 93.1 | 0 | 1170.4 | 843.9 | 1685.3 | 1011.7 | 407.1 | 46.5 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54.4 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPATOMIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54.4 | 31.6 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101.8 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Temora | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 118.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 0 | 0 | 29.1 | 0 | 0 | 0 | 195.1 | 0 | 326.2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 195.1 | 0 | 0 | 0 | 203.5 | 93.0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Undinella | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 0 | 29.1 | 0 | 186.3 | 0 | 390.1 | 723.3 | 0 | 31.6 | 101.8 | 93.0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Oithona | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 242.2 | 136.2 | 87.3 | 0 | 186.3 | 827.3 | 585.2 | 723.3 | 54.4 | 63.2 | 508.9 | 279.0 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 484.3 | 590.4 | 378.4 | 370.6 | 1024.5 | 590.9 | 585.2 | 2652.1 | 217.5 | 442.6 | 1017.7 | 558.0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 26. Abundance (ind./m³) of copepods collected by 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2017.

| | 1-Feb | 10-Feb | 23-Feb | 8-Mar | 14-Mar | 25-Apr | 17-May | 20-Jun | 25-Jul | 25-Aug | 28-Sep | 24-Oct | 27-Nov | 12-Dec |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 48.3 | 229.6 | 89.5 | 0 | 60.1 | 0 | 316.2 | 1409.8 | 271.8 | 733.6 | 0 | 0 | 217.4 | 77.6 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 144.9 | 153.0 | 44.7 | 94.5 | 60.1 | 122.0 | 737.8 | 704.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 155.2 |
| <i>Acartia omorii</i> | 48.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 488.1 | 527.0 | 352.4 | 51.0 | 137.5 | 0 | 0 | 289.8 | 77.6 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 352.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Mesocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 0 | 89.5 | 18.9 | 30.1 | 244.0 | 105.4 | 0 | 17.0 | 0 | 29.2 | 87.3 | 0 | 77.6 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 730.4 | 2246.5 | 1603.5 | 4627.6 | 797.0 | 232.7 |
| <i>Pseudocalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 144.9 | 153.0 | 134.2 | 132.3 | 180.3 | 732.1 | 105.4 | 352.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 3429.5 | 5968.7 | 2594.4 | 1398.7 | 2194.0 | 8907.3 | 6745.7 | 28547.6 | 118.9 | 550.2 | 262.4 | 785.8 | 4636.8 | 5430.3 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LUCICUTIIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Lucicutia</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Lucicutia flavicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72.5 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 48.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 0 | 0 | 44.7 | 0 | 0 | 0 | 210.8 | 1057.3 | 118.9 | 183.4 | 612.2 | 1309.7 | 144.9 | 232.7 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58.3 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 144.9 | 0 | 0 | 37.8 | 60.1 | 122.0 | 105.4 | 704.9 | 0 | 0 | 29.2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 105.4 | 352.4 | 17.0 | 137.5 | 0 | 0 | 144.9 | 155.2 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 122.0 | 421.6 | 704.9 | 67.9 | 0 | 0 | 0 | 72.5 | 77.6 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 241.5 | 459.1 | 536.8 | 56.7 | 210.4 | 366.1 | 316.2 | 0 | 84.9 | 366.8 | 0 | 960.4 | 289.8 | 310.3 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 579.6 | 688.7 | 939.3 | 151.2 | 210.4 | 1098.2 | 843.2 | 704.9 | 186.9 | 229.2 | 320.7 | 960.4 | 579.6 | 930.9 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 27. Abundance (ind./m³) of copepods collected with 330 µm NORPAC net at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea in 2013.

| | 15-Apr | 13-May | 10-Jun | 24-Jun | 8-Jul | 23-Jul | 19-Aug | 2-Sep | 30-Sep | 5-Nov | 18-Nov | 9-Dec |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Acartia | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.1 | 0 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 0 | 59.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.0 | 92.5 | 15.5 | 30.3 | 25.5 |
| <i>Acartia omorii</i> | 0 | 11.9 | 50.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0 | 4.9 | 46.5 | 0 | 12.7 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 101.2 | 51.3 | 10.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Calanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 331.3 | 83.0 | 50.6 | 51.3 | 10.3 | 43.6 | 0 | 4.0 | 19.5 | 46.5 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 165.6 | 23.7 | 0 | 34.2 | 10.3 | 72.6 | 3.4 | 2.0 | 19.5 | 15.5 | 20.2 | 12.7 |
| Mesocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77.5 | 111.1 | 6.4 |
| Neocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 276.1 | 23.7 | 101.2 | 68.4 | 20.6 | 0 | 0 | 22.1 | 0 | 15.5 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 1159.4 | 118.6 | 506.2 | 153.9 | 319.3 | 87.2 | 26.1 | 36.2 | 14.6 | 31.0 | 0 | 12.7 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Candacia | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31.0 | 10.1 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Centropages | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pseudocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.9 | 15.5 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 772.9 | 260.9 | 1468.1 | 444.7 | 103.0 | 217.9 | 5.7 | 2.0 | 4.9 | 325.3 | 272.7 | 197.4 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 17.1 | 10.3 | 14.5 | 0 | 0 | 4.9 | 0 | 10.1 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Metridia | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.7 | 0 | 0 | 6.4 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.5 | 0 | 0 | 0 | 93.0 | 30.3 | 25.5 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.7 | 31.0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 0 | 11.9 | 0 | 34.2 | 0 | 145.3 | 6.8 | 10.1 | 9.7 | 0 | 10.1 | 6.4 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPATOMIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.9 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Temora | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19.5 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tomponi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Undinella | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 55.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29.1 | 1.1 | 0 | 0 | 15.5 | 0 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Oithona | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 0 | 0 | 151.9 | 0 | 30.9 | 101.7 | 10.2 | 14.1 | 19.5 | 15.5 | 0 | 12.7 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 0 | 0 | 101.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.9 | 0 | 0 | 0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 28. Abundance (ind./m³) of copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea in 2014.

| | 16-Apr | 28-Apr | 13-May | 26-May | 9-Jun | 23-Jun | 7-Jul | 4-Aug | 20-Aug | 17-Sep | 8-Oct | 10-Nov |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Acartia | | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 79.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 37.2 | 142.1 | 374.7 | 274.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia omorii</i> | 0 | 0 | 124.9 | 0 | 79.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33.7 | 0 | 46.5 | 87.3 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Calanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 47.4 | 0 | 0 | 0 | 33.7 | 217.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93.0 |
| Mesocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 39.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34.2 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 55.8 | 236.8 | 124.9 | 439.1 | 198.9 | 33.7 | 1086.0 | 0 | 0 | 147.3 | 68.4 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Candacia | | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Centropages | | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.7 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 626.0 | 342.2 | 31.0 |
| Pseudocalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 465.4 | 1515.6 | 4870.8 | 1042.8 | 795.4 | 1144.2 | 3040.7 | 1255.6 | 1047.3 | 184.1 | 376.4 | 712.7 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 124.9 | 0 | 79.5 | 67.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34.2 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Metridia | | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 54.9 | 0 | 33.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 109.8 | 238.6 | 33.7 | 651.6 | 46.5 | 43.6 | 36.8 | 136.9 | 93.0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 37.2 | 94.7 | 249.8 | 54.9 | 0 | 33.7 | 217.2 | 186.0 | 349.1 | 257.8 | 273.8 | 154.9 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Temora | | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Undinella | | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 18.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | | |
| Oithona | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 55.8 | 66.0 | 143.5 | 128.4 | 137.9 | 85.9 | 1973.3 | 669.6 | 455.0 | 202.7 | 223.9 | 111.6 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 217.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 260.6 | 255.4 | 268.4 | 512.6 | 257.2 | 153.2 | 1539.0 | 111.6 | 236.8 | 313.2 | 223.9 | 297.5 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 29. Abundance (ind./m³) of copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea in 2015.

| | 1-Apr | 13-Apr | 11-May | 25-May | 7-Jul | 21-Jul | 19-Aug | 2-Sep | 16-Sep | 7-Oct | 7-Dec |
|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| CALANOIDA | | | | | | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | | | | | | |
| Acartia | | | | | | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 14.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.9 | 0 | 0 | 0 | 142.4 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 44.2 | 27.0 | 0 | 110.2 | 39.4 | 0 | 0 | 50.3 | 0 | 28.4 | 142.4 |
| <i>Acartia omorii</i> | 14.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21.7 | 50.3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.1 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | | | | | | |
| Calanus | | | | | | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.2 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 27.0 | 0 | 110.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.1 | 71.1 | 0 |
| Mesocalanus | | | | | | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 39.2 | 0 | 39.4 | 0 | 0 | 50.3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 88.5 | 189.0 | 313.5 | 0 | 118.2 | 147.1 | 0 | 50.3 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | | | | | | |
| Candacia | | | | | | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | | | | | | |
| Centropages | | | | | | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 294.2 | 369.6 | 1760.1 | 577.6 | 327.0 | 3774.4 |
| Pseudocalanus | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 14.7 | 54.0 | 39.2 | 0 | 0 | 0 | 10.9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 973.3 | 1674.0 | 1998.4 | 8597.3 | 2088.6 | 3825.1 | 206.5 | 502.9 | 170.7 | 142.2 | 1780.4 |
| EUCALANIDAE | | | | | | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 27.0 | 39.2 | 110.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | | | | | | |
| Metridia | | | | | | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 110.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 352.7 | 330.7 | 236.4 | 0 | 43.5 | 50.3 | 52.5 | 71.1 | 71.2 |
| PARACALANIDAE | | | | | | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 603.4 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 14.7 | 27.0 | 117.6 | 330.7 | 39.4 | 735.6 | 65.2 | 603.4 | 223.2 | 270.1 | 0 |
| PONTELLIDAE | | | | | | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | | | | | | |
| Temora | | | | | | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 14.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tomponi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | | | | | | |
| Undinella | | | | | | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.2 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.9 | 0 | 0 | 0 | 142.4 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | | | | | | |
| Oithona | | | | | | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 88.5 | 351.0 | 587.8 | 881.8 | 945.8 | 1471.2 | 141.3 | 502.9 | 157.5 | 113.7 | 427.3 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 206.5 | 324.0 | 431.0 | 440.9 | 433.5 | 882.7 | 206.5 | 804.6 | 105.0 | 369.6 | 640.9 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 30. Abundance (ind./m³) of 0-5 m copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2015.

| | 3-Nov | | | 4-Nov | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 | 15:00 |
| CALANOIDA | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | |
| Acartia | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 1013.4 | 1791.3 | 866.7 | 619.8 | 888.0 | 148.6 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia omorii</i> | 506.7 | 248.8 | 452.2 | 45.9 | 384.8 | 8.3 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 37.7 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | |
| Calanus | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mesocalanus | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | |
| Candacia | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | |
| Centropages | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 50.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 2178.8 | 1393.3 | 1394.3 | 803.5 | 1006.4 | 206.4 |
| Pseudocalanus | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 101.3 | 447.8 | 188.4 | 160.7 | 59.2 | 4.1 |
| EUCALANIDAE | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | |
| Metridia | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 354.7 | 298.6 | 226.1 | 160.7 | 29.6 | 12.4 |
| PONTELLIDAE | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 75.4 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | |
| Temora | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 50.7 | 0 | 37.7 | 23.0 | 88.8 | 12.4 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 50.7 | 49.8 | 0 | 23.0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | |
| Undinella | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 50.7 | 49.8 | 75.4 | 45.9 | 0 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | |
| Oithona | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 0 | 149.3 | 0 | 45.9 | 88.8 | 0 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 709.4 | 547.4 | 414.5 | 367.3 | 414.4 | 20.6 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 31. Abundance (ind./m³) of 5-10 m copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2015.

| | 3-Nov | | | 4-Nov | | |
|----------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 | 15:00 |
| CALANOIDA | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | |
| Acartia | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 303.3 | 180.7 | 672.4 | 229.1 | 240.5 | 124.2 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia omorii</i> | 19.0 | 54.2 | 130.1 | 43.6 | 68.7 | 13.8 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 21.7 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | |
| Ariestellus | | | | | | |
| <i>Ariestellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | |
| Calanus | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 21.8 | 0 | 0 |
| Mesocalanus | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 0 | 0 | 10.9 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | |
| Candacia | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | |
| Centropages | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 293.8 | 1102.6 | 498.9 | 349.1 | 343.5 | 184.0 |
| Pseudocalanus | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 9.5 | 18.1 | 173.5 | 87.3 | 8.6 | 9.2 |
| EUCALANIDAE | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | |
| Metridia | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 9.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 37.9 | 108.4 | 238.6 | 43.6 | 42.9 | 13.8 |
| PONTELLIDAE | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 151.8 | 10.9 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | |
| Temora | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 9.5 | 18.1 | 21.7 | 10.9 | 34.4 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmanni</i> | 0 | 0 | 0 | 21.8 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 10.9 | 8.6 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | |
| Undinella | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 54.2 | 21.7 | 32.7 | 17.2 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | |
| Oithona | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 0 | 0 | 43.4 | 54.6 | 0 | 23.0 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 265.4 | 271.1 | 195.2 | 163.7 | 94.5 | 92.0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 32. Abundance (ind./m³) of 10-15 m copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2015.

| | 3-Nov | | | 4-Nov | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 | 15:00 |
| CALANOIDA | | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | | |
| Acartia | | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 102.6 | 42.9 | 123.4 | 223.3 | 460.6 | 197.8 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia omorii</i> | 0 | 64.3 | 72.6 | 69.8 | 131.6 | 65.9 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | | |
| Chiridius | | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | | |
| Arietellus | | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | | |
| Calanus | | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 7.3 | 0 | 16.5 | 0 |
| Mesocalanus | | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | | |
| Candacia | | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | | |
| Centropages | | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 7.0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 382.4 | 417.8 | 275.8 | 181.5 | 460.6 | 514.3 |
| Pseudocalanus | | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 0 | 32.1 | 29.0 | 27.9 | 32.9 | 52.7 |
| EUCALANIDAE | | | | | | |
| Eucalanus | | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | | |
| Metridia | | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | | |
| Paracalanus | | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 102.6 | 21.4 | 50.8 | 7.0 | 115.2 | 197.8 |
| PONTELLIDAE | | | | | | |
| Labidocera | | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 29.0 | 0 | 49.4 | 13.2 |
| SCOLECITRICIDAE | | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | | |
| Temora | | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 7.3 | 7.0 | 0 | 13.2 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 0 | 0 | 0 | 7.0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 7.0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | | |
| Undinella | | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | | |
| Tortanus | | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 46.6 | 0 | 7.3 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | | |
| Oithona | | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 18.7 | 96.4 | 0 | 7.0 | 65.8 | 26.4 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 279.8 | 396.4 | 123.4 | 132.6 | 312.6 | 237.4 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 33. Abundance (ind./m³) of 0-5 m copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Notoro-ko in 2016.

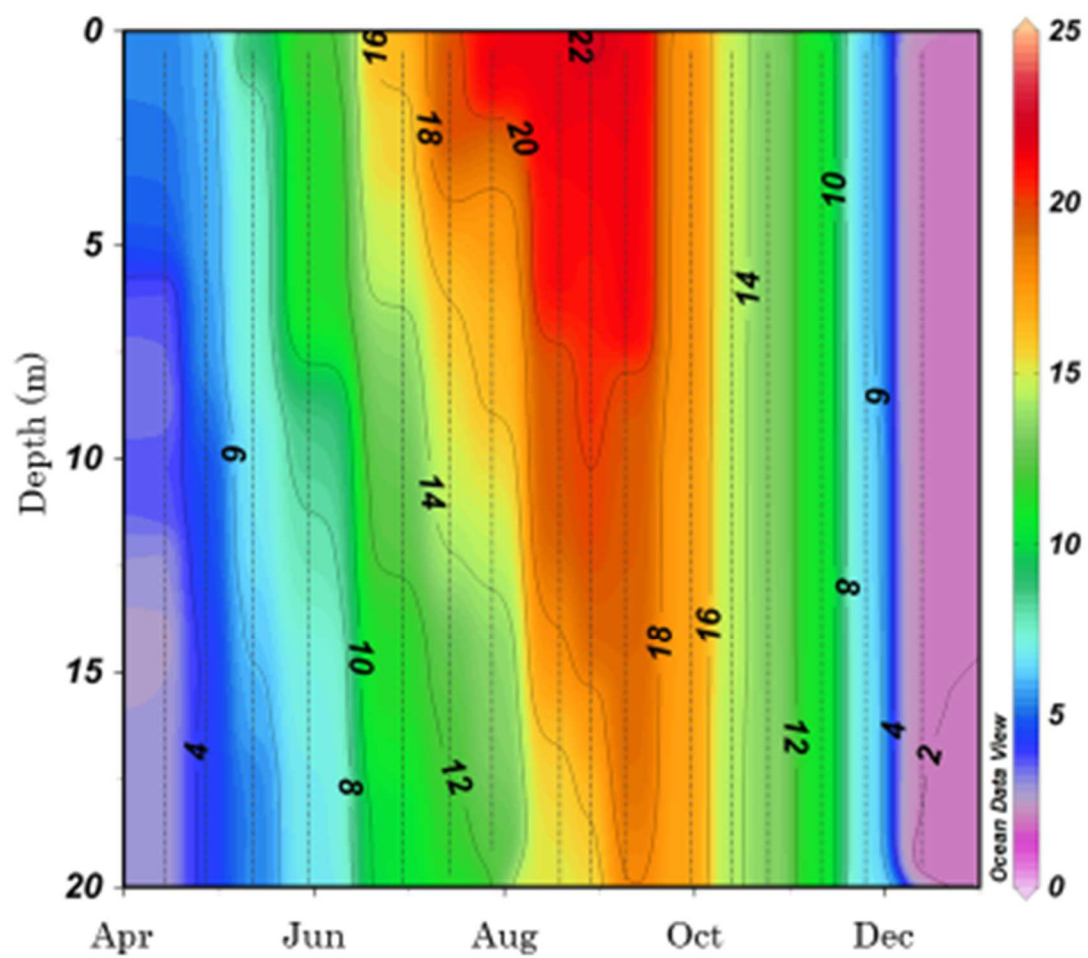
| | 21-May | | 22-May | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 |
| CALANOIDA | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | |
| Acartia | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 554.9 | 193.3 | 281.4 | 51.9 | 358.4 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 610.4 | 241.6 | 140.7 | 103.8 | 102.4 |
| <i>Acartia omorii</i> | 554.9 | 72.5 | 70.4 | 51.9 | 102.4 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | |
| Chiridius | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | |
| Ariestellus | | | | | |
| <i>Ariestellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | |
| Calanus | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mesocalanus | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 24.2 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | |
| Candacia | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | |
| Centropages | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pseudocalanus | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 0 | 140.7 | 51.9 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 2219.5 | 1208.1 | 5488.0 | 4409.8 | 3788.6 |
| EUCALANIDAE | | | | | |
| Eucalanus | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | |
| Metridia | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | |
| Paracalanus | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PONTELLIDAE | | | | | |
| Labidocera | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | |
| Temora | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 111.0 | 0 | 70.4 | 51.9 | 51.2 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | |
| Undinella | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | |
| Tortanus | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 221.9 | 120.8 | 140.7 | 51.9 | 51.2 |
| CYCLOPOIDA | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | |
| Oithona | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 554.9 | 96.6 | 422.2 | 51.9 | 153.6 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 721.3 | 459.1 | 281.4 | 363.2 | 512.0 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 34. Abundance (ind./m³) of 5-10 m copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Noto-ro-ko in 2016.

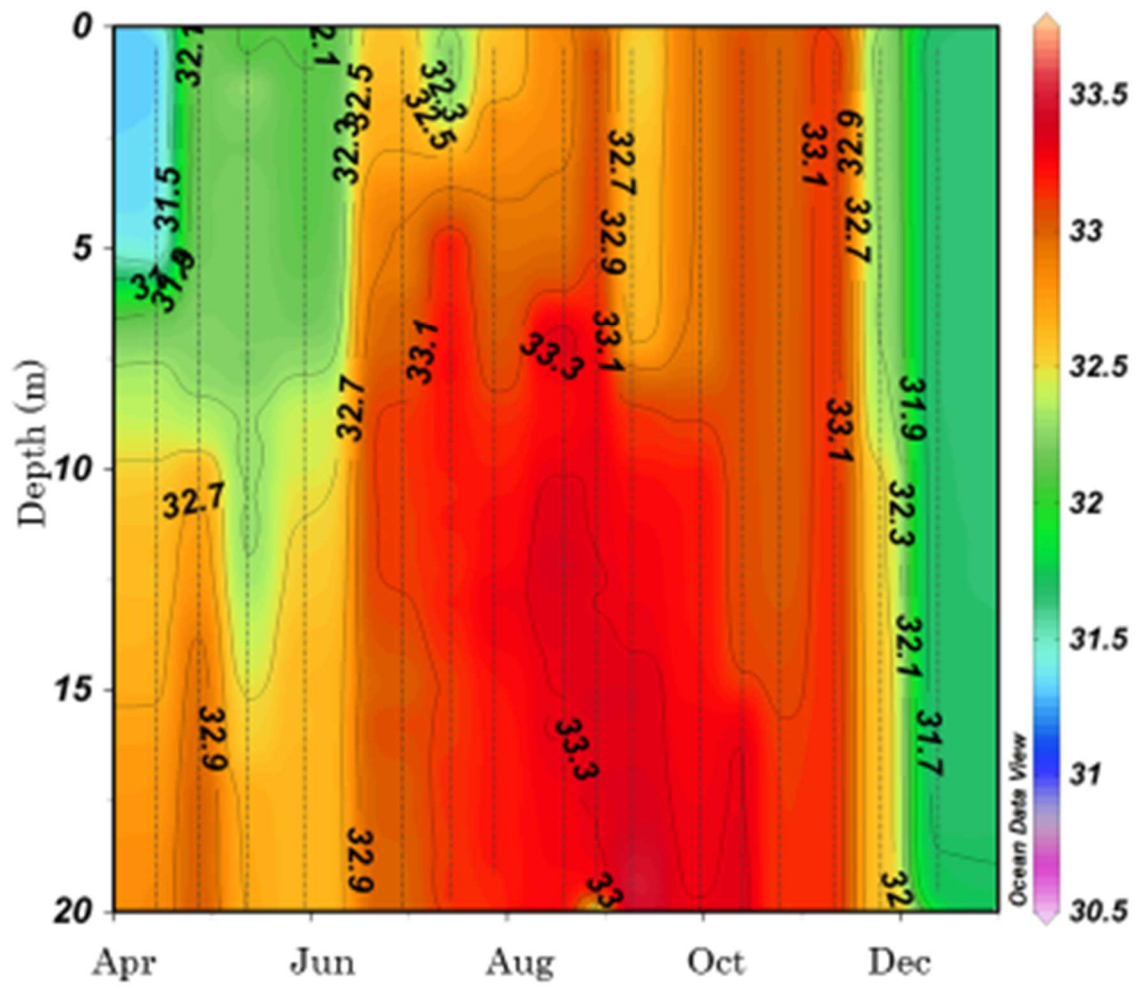
| | 21-May | | 22-May | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 |
| CALANOIDA | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | |
| <i>Acartia</i> | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 133.2 | 16.7 | 68.7 | 9.4 | 317.1 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 0 | 0 | 68.7 | 0 | 70.5 |
| <i>Acartia omorii</i> | 88.8 | 0 | 68.7 | 4.7 | 70.5 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | |
| <i>Chiridius</i> | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | |
| <i>Arietellus</i> | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | |
| <i>Calanus</i> | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Mesocalanus</i> | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus</i> | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | |
| <i>Candacia</i> | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | |
| <i>Centropages</i> | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | |
| <i>Clausocalanus</i> | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus</i> | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 0 | 34.4 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 1753.9 | 1502.5 | 2783.4 | 206.6 | 2783.1 |
| EUCALANIDAE | | | | | |
| <i>Eucalanus</i> | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | |
| <i>Metridia</i> | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | |
| <i>Paracalanus</i> | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 35.2 |
| PONTELLIDAE | | | | | |
| <i>Labidocera</i> | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus</i> | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICHIDAE | | | | | |
| <i>Scolecithricella</i> | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | |
| <i>Temora</i> | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora</i> | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 22.2 | 16.7 | 34.4 | 4.7 | 0 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | |
| <i>Undinella</i> | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | |
| <i>Tortanus</i> | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 16.7 | 34.4 | 0 | 70.5 |
| CYCLOPOIDA | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | |
| <i>Oithona</i> | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 0 | 0 | 103.1 | 0 | 70.5 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 222.0 | 116.9 | 240.5 | 14.1 | 105.7 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Appendix Table 35. Abundance (ind./m³) of 10-15 m copepods collected with 100 µm NORPAC net at St. A in Lagoon Noto-ro-ko in 2016.

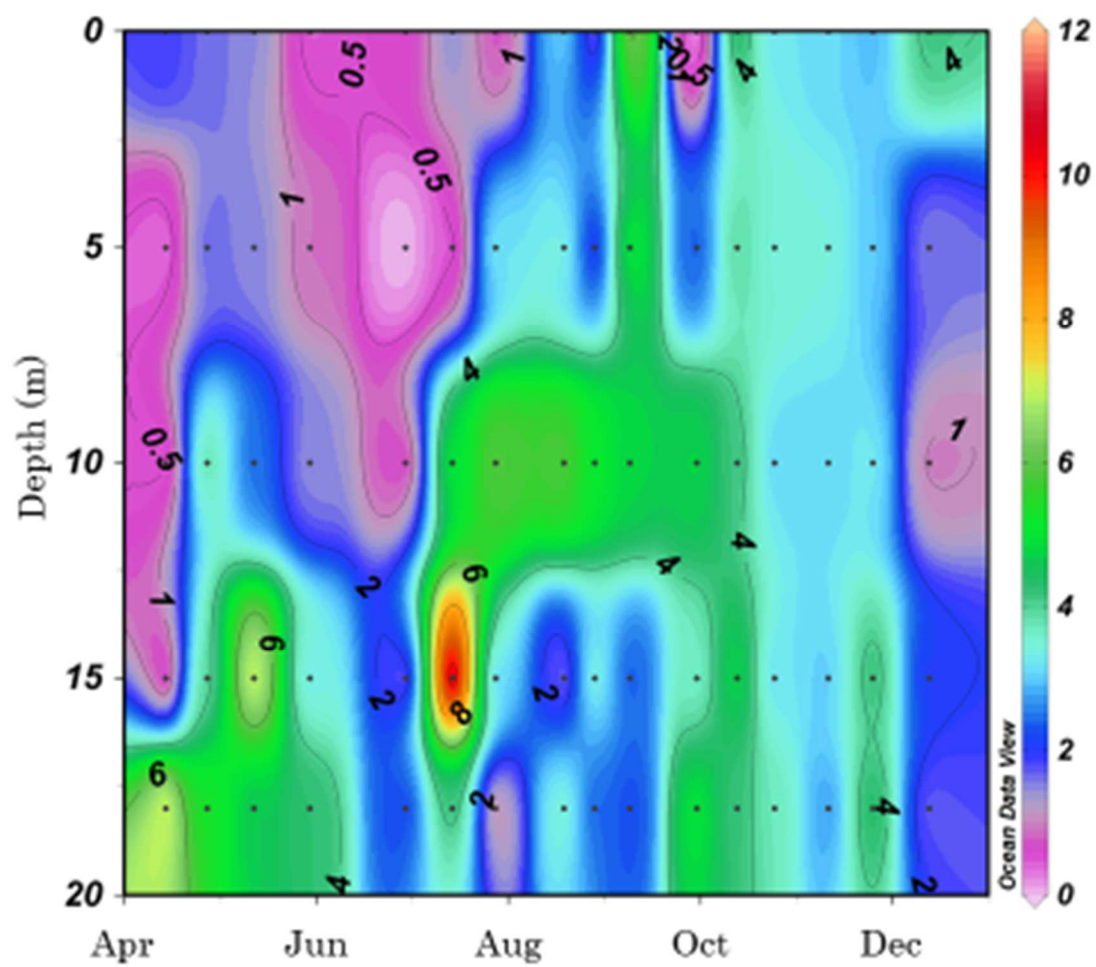
| | 21-May | | 22-May | | |
|----------------------------------|---------|-------|--------|-------|--------|
| | 9:00 | 15:00 | 21:00 | 3:00 | 9:00 |
| CALANOIDA | | | | | |
| ACARTIIDAE | | | | | |
| Acartia | | | | | |
| <i>Acartia hudsonica</i> | 359.5 | 129.6 | 404.7 | 83.4 | 274.9 |
| <i>Acartia longiremis</i> | 539.2 | 82.5 | 161.9 | 8.3 | 68.7 |
| <i>Acartia omorii</i> | 718.9 | 70.7 | 60.7 | 0 | 45.8 |
| <i>Acartia steueri</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Acartia tumida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AETIDEIDAE | | | | | |
| Chiridius | | | | | |
| <i>Chiridius poppei</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ARIETELLIDAE | | | | | |
| Arietellus | | | | | |
| <i>Arietellus simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALANIDAE | | | | | |
| Calanus | | | | | |
| <i>Calanus glacialis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calanus pacificus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mesocalanus | | | | | |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neocalanus | | | | | |
| <i>Neocalanus cristatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Neocalanus plumchrus</i> | 179.7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CANDACIIDAE | | | | | |
| Candacia | | | | | |
| <i>Candacia bipinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CENTROPAGIDAE | | | | | |
| Centropages | | | | | |
| <i>Centropages abdominalis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages bradyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Centropages tenuiremis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CLAUSOCALANIDAE | | | | | |
| Clausocalanus | | | | | |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clausocalanus pergens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pseudocalanus | | | | | |
| <i>Pseudocalanus minutus</i> | 0 | 11.8 | 60.7 | 0 | 0 |
| <i>Pseudocalanus newmani</i> | 14558.3 | 754.0 | 1032.0 | 633.7 | 1809.9 |
| EUCALANIDAE | | | | | |
| Eucalanus | | | | | |
| <i>Eucalanus bungii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| METRIDINIDAE | | | | | |
| Metridia | | | | | |
| <i>Metridia okhotensis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metridia pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PARACALANIDAE | | | | | |
| Paracalanus | | | | | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paracalanus parvus s.l.</i> | 0 | 0 | 20.2 | 0 | 0 |
| PONTELLIDAE | | | | | |
| Labidocera | | | | | |
| <i>Labidocera japonica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PSEUDODIAPTOMIDAE | | | | | |
| Pseudodiaptomus | | | | | |
| <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCOLECITRICIDAE | | | | | |
| Scolecithricella | | | | | |
| <i>Scolecithricella minor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEMORIDAE | | | | | |
| Temora | | | | | |
| <i>Temora discauda</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eurytemora | | | | | |
| <i>Eurytemora affinis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora herdmani</i> | 1078.4 | 70.7 | 0 | 0 | 68.7 |
| <i>Eurytemora pacifica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eurytemora tompsoni</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| THARYBIDAE | | | | | |
| Undinella | | | | | |
| <i>Undinella oblonga</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TORTANIDAE | | | | | |
| Tortanus | | | | | |
| <i>Tortanus derjugini</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tortanus discaudatus</i> | 0 | 35.3 | 20.2 | 16.7 | 0 |
| CYCLOPOIDA | | | | | |
| OITHONIDAE | | | | | |
| Oithona | | | | | |
| <i>Oithona atlantica</i> | 179.7 | 11.8 | 80.9 | 25.0 | 0 |
| <i>Oithona davisae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Oithona similis</i> | 359.5 | 11.8 | 182.1 | 66.7 | 22.9 |
| Unidentified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |



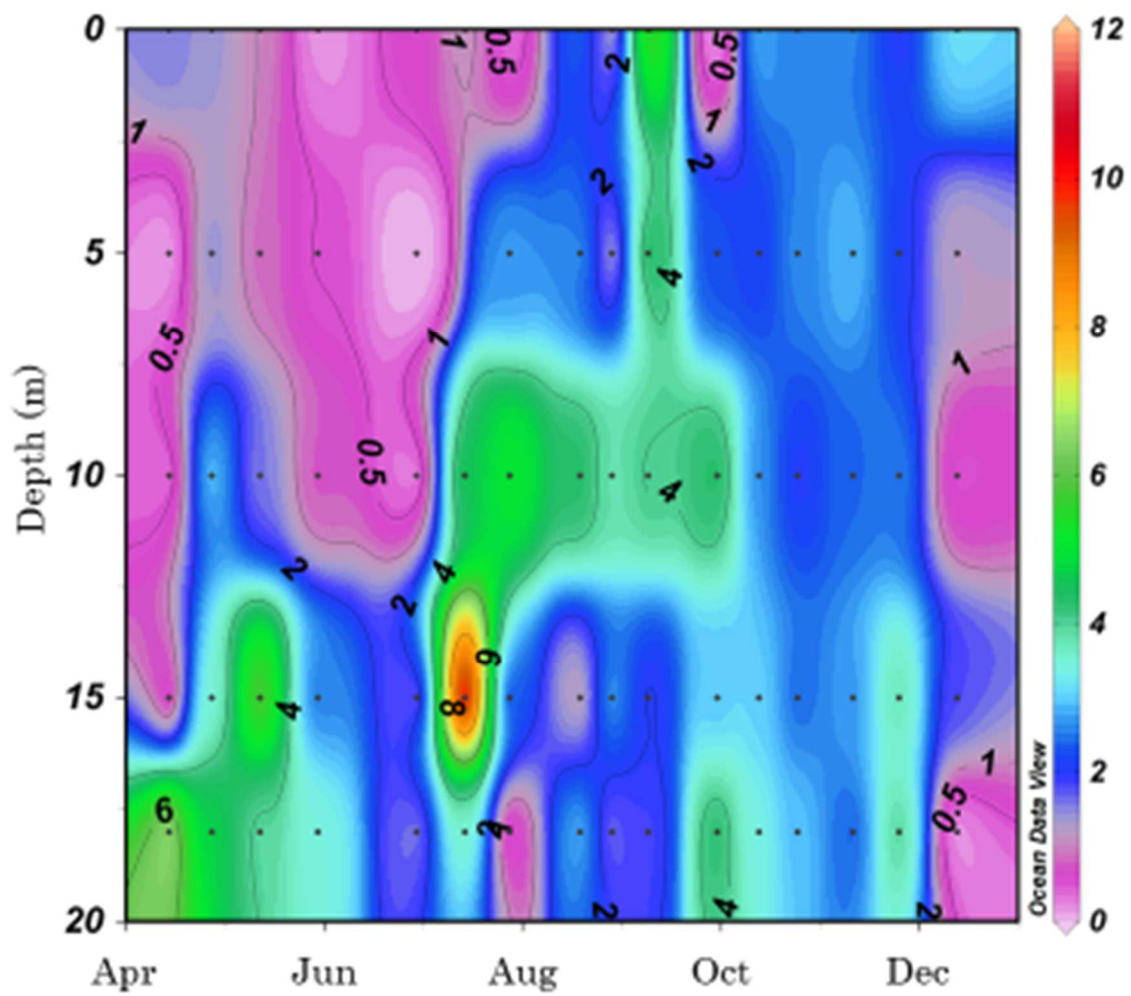
Appendix fig. 1. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. A in Lagoon Notoro-ko from April to December 2011.



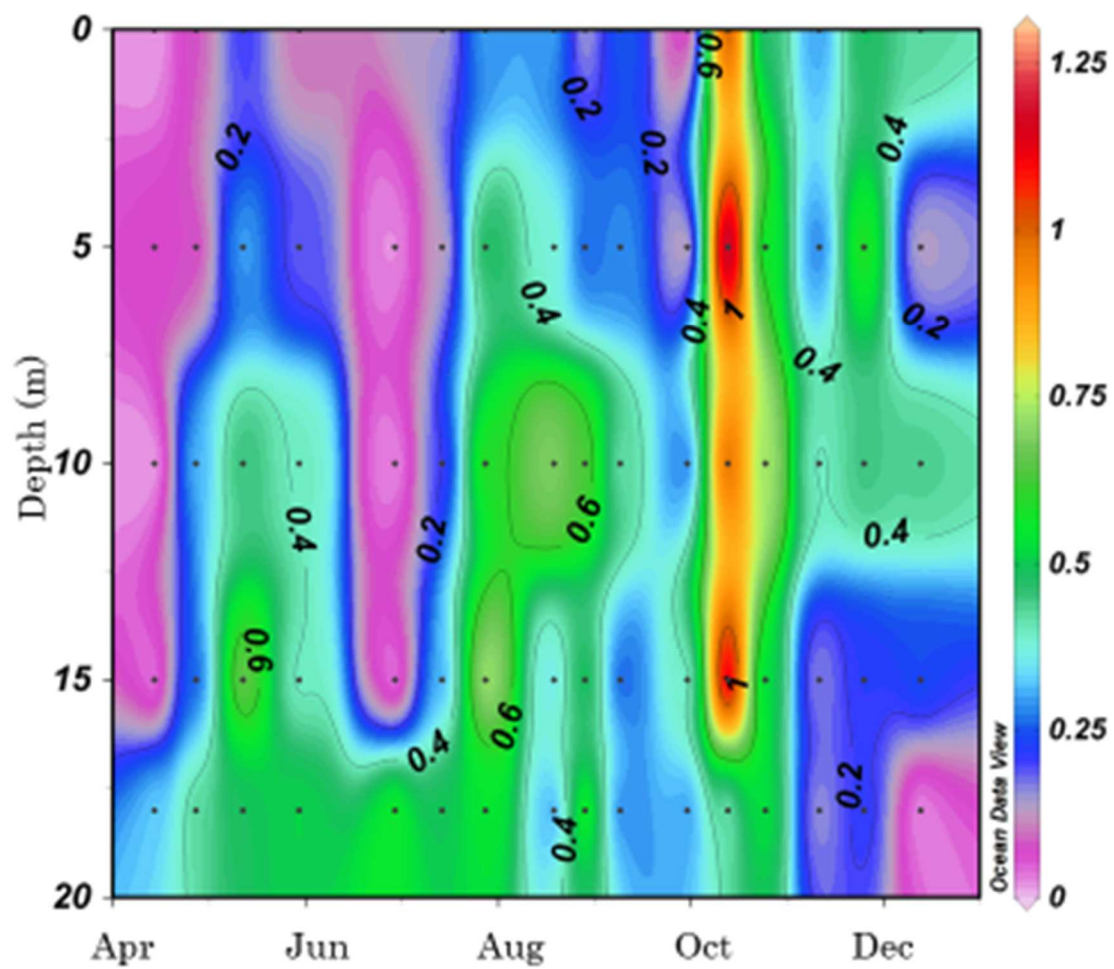
Appendix fig. 2. Seasonal changes of salinity at St. A in Lagoon Notoro-ko from April to December 2011.



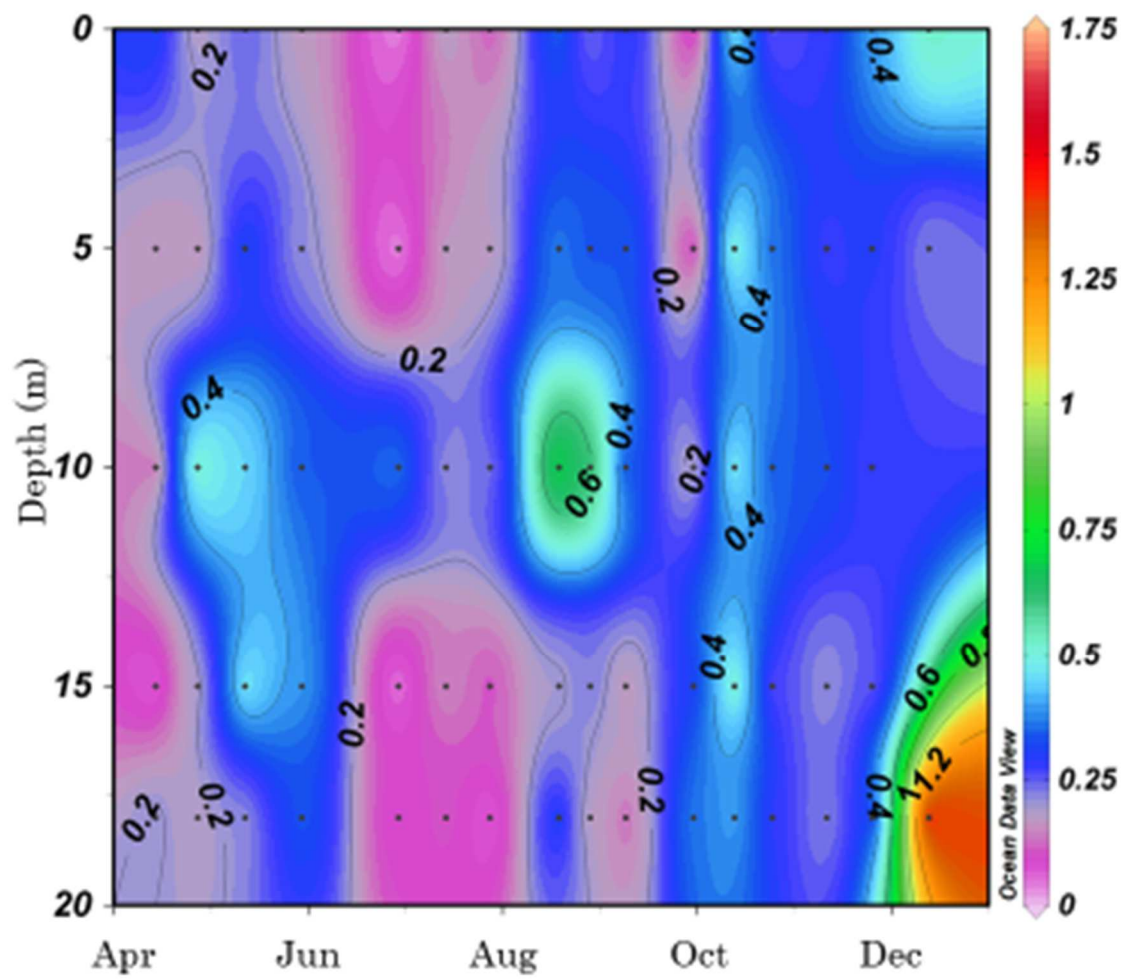
Appendix fig. 3. Seasonal changes of total size fraction Chl.*a* concentration (µg/L) at St. A in Lagoon Noto-ro-ko from April to December.



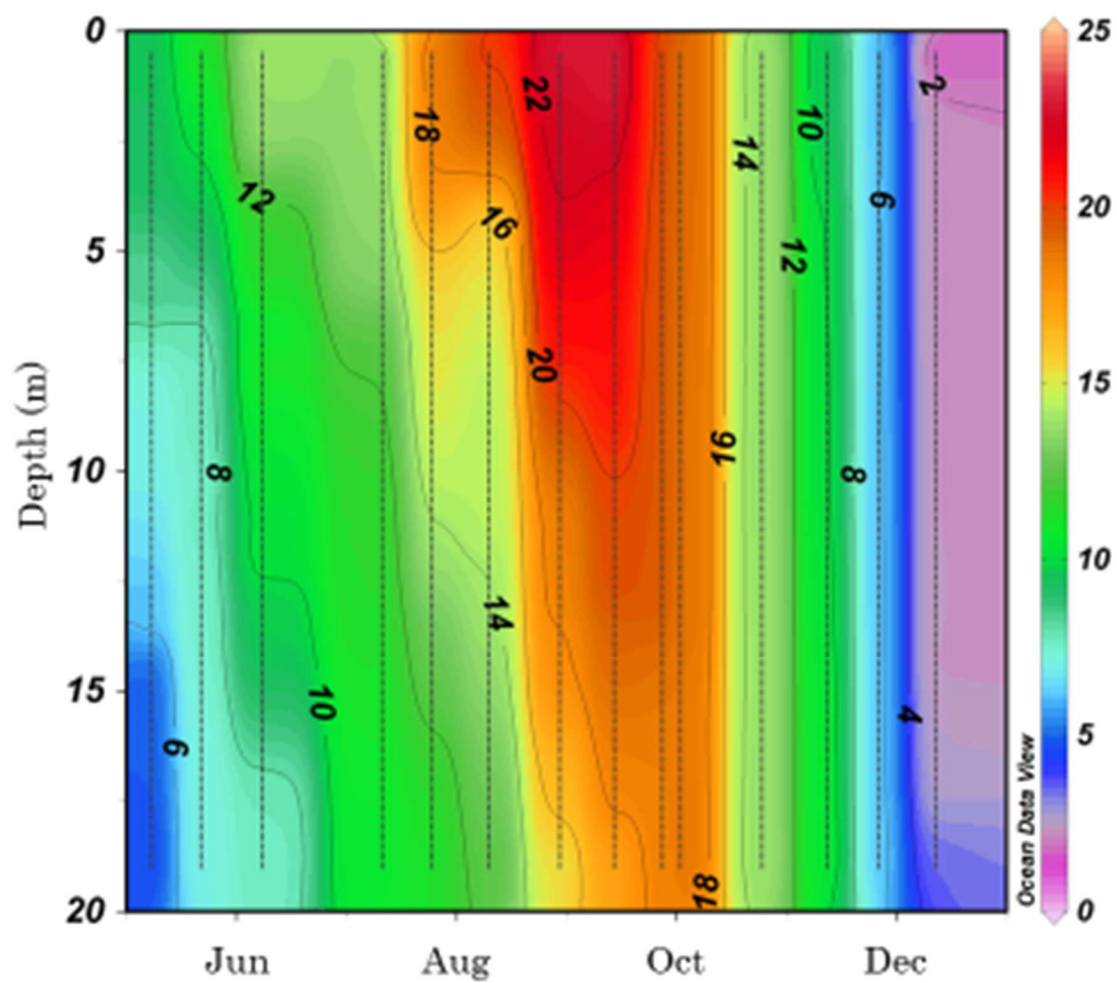
Appendix fig. 4. Seasonal changes of >10 μm fraction Chl.*a* concentration (μg/L) at St. A in Lagoon Noto-ro-ko from April to December 2011.



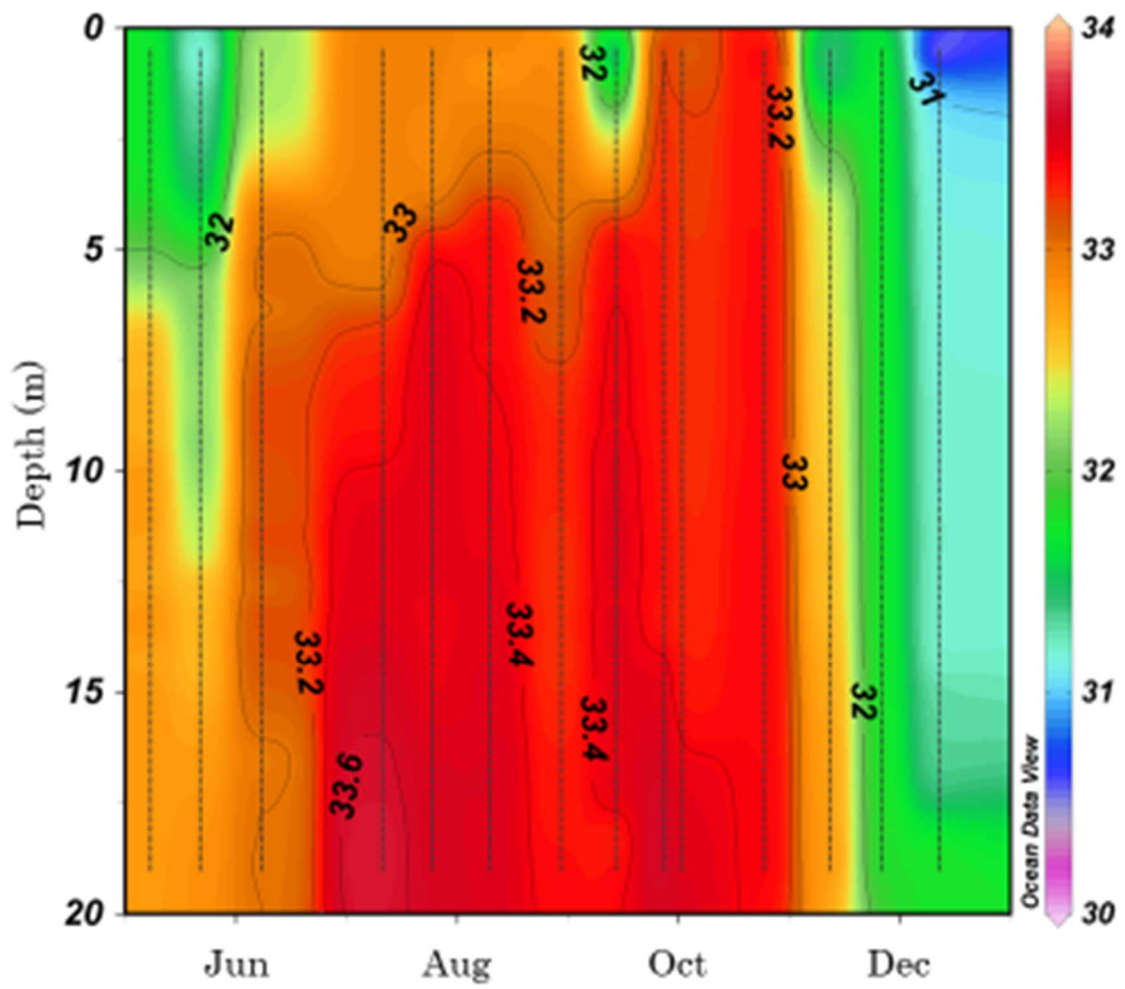
Appendix fig. 5. Seasonal changes of 2-10 μm fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Noto-ro-ko from April to December 2011.



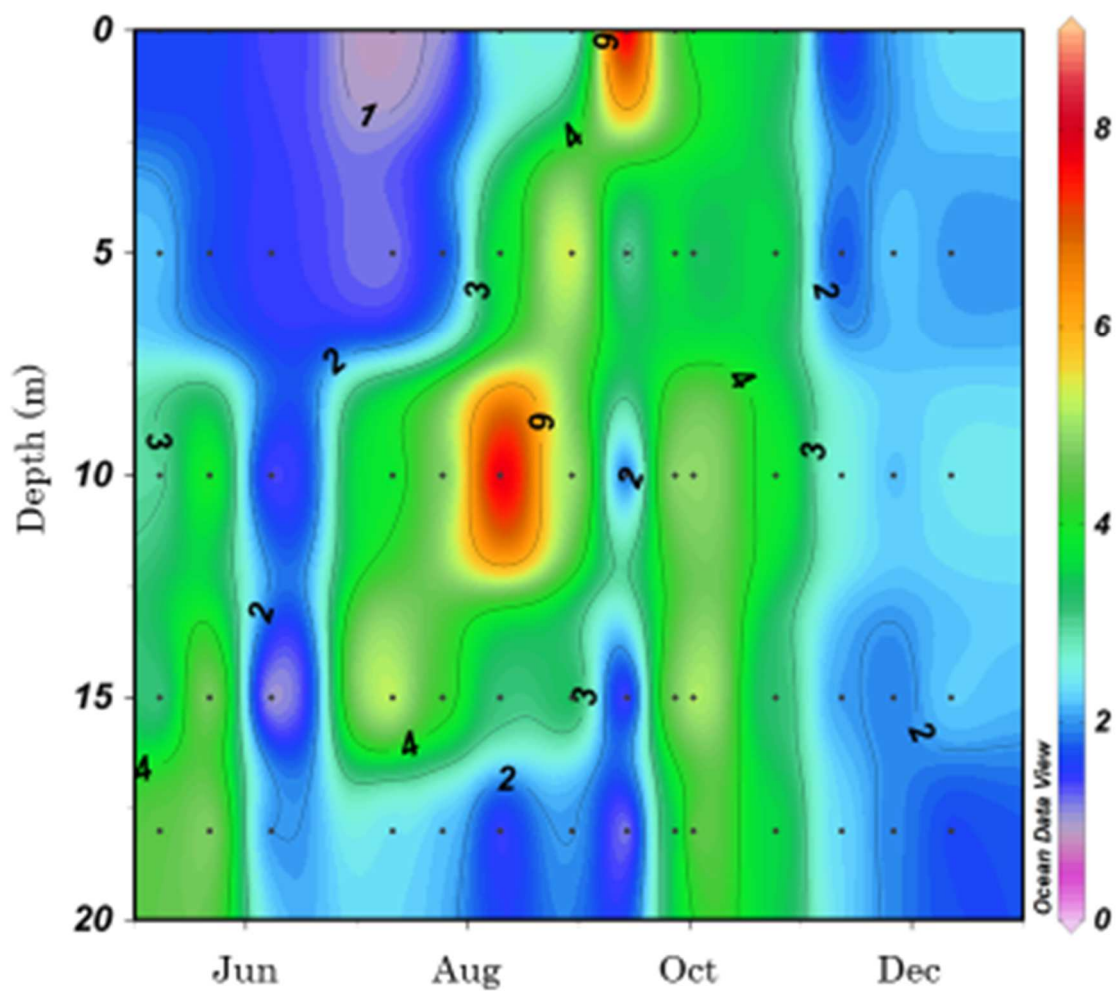
Appendix fig. 6. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl. *a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Noto-ro-ko from April to December 2011.



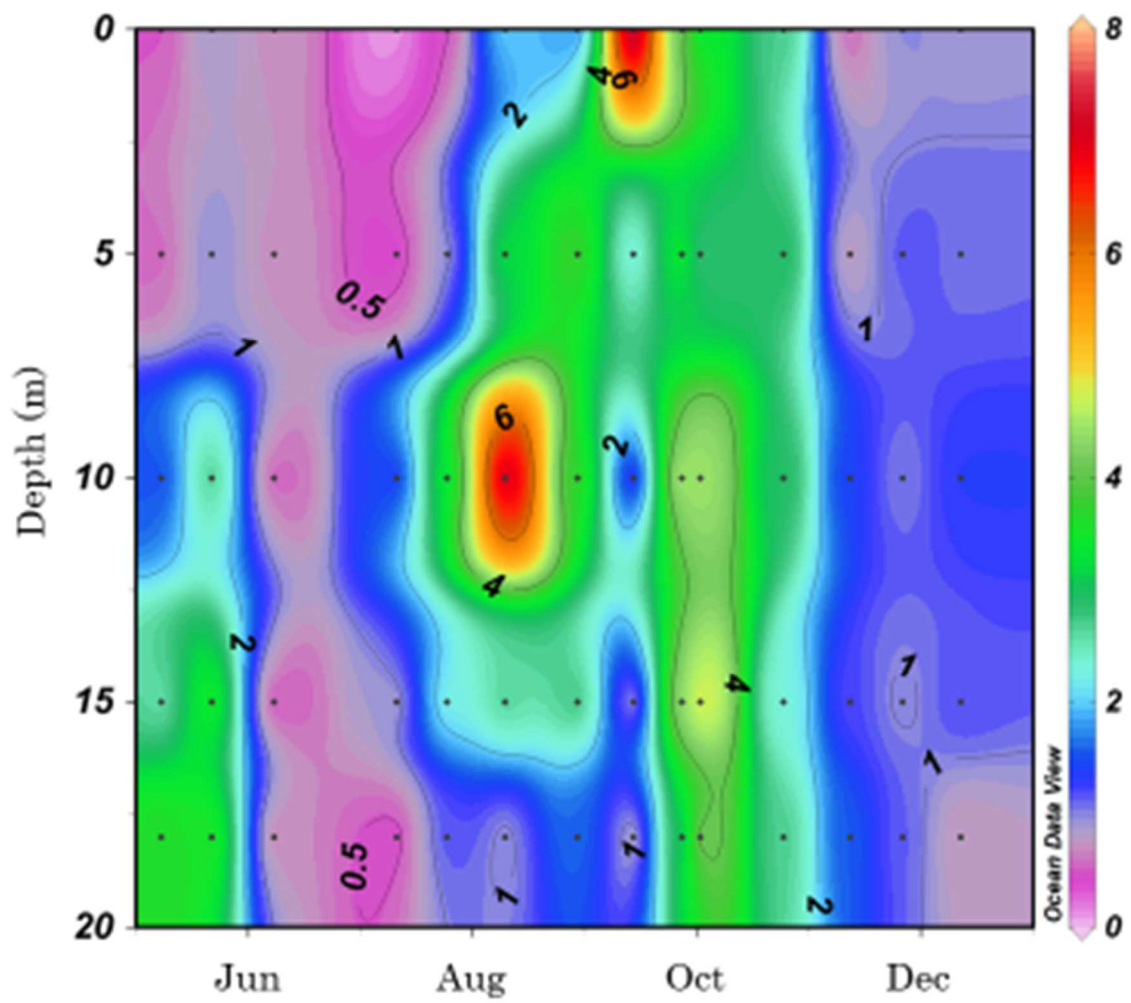
Appendix fig. 7. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. A in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012.



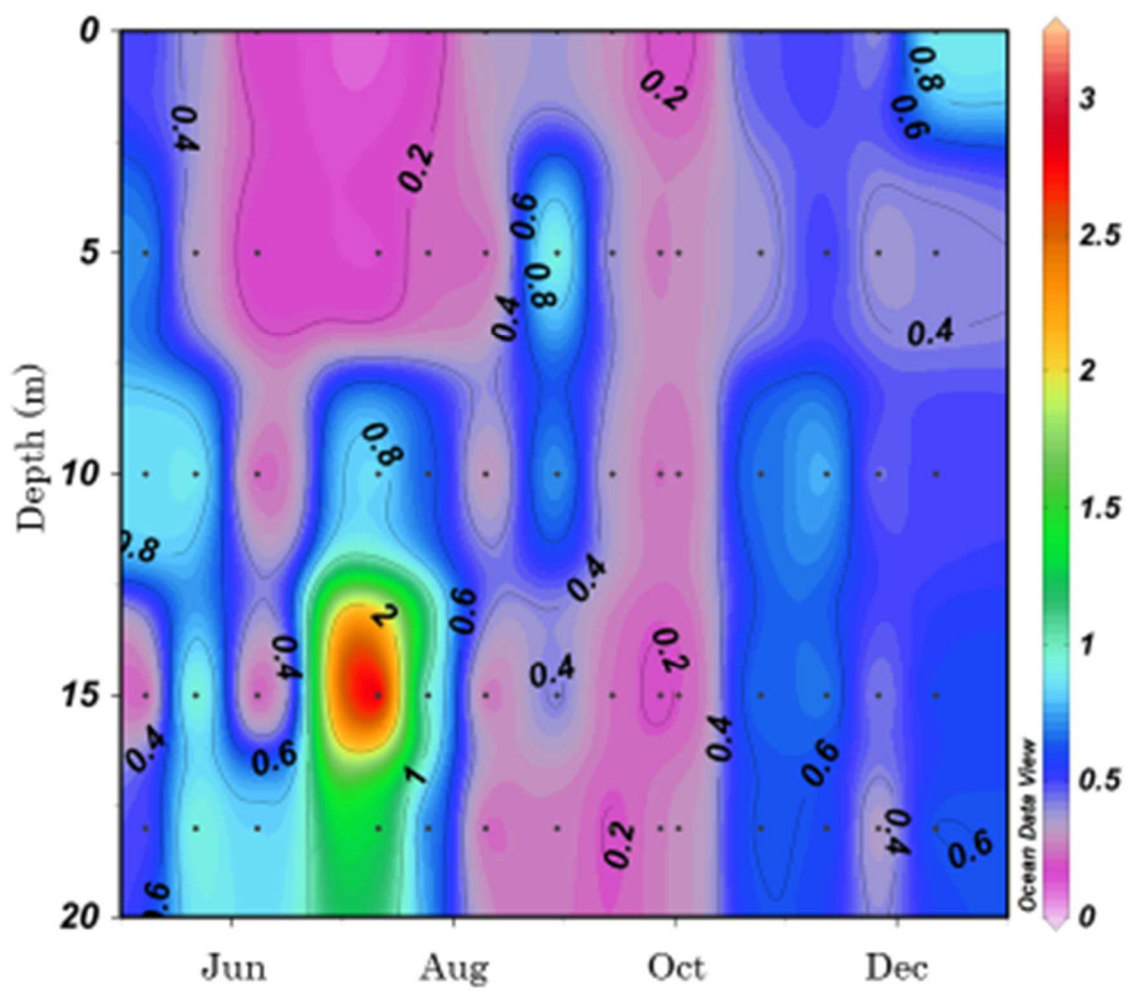
Appendix fig. 8. Seasonal changes of salinity at St. A in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012.



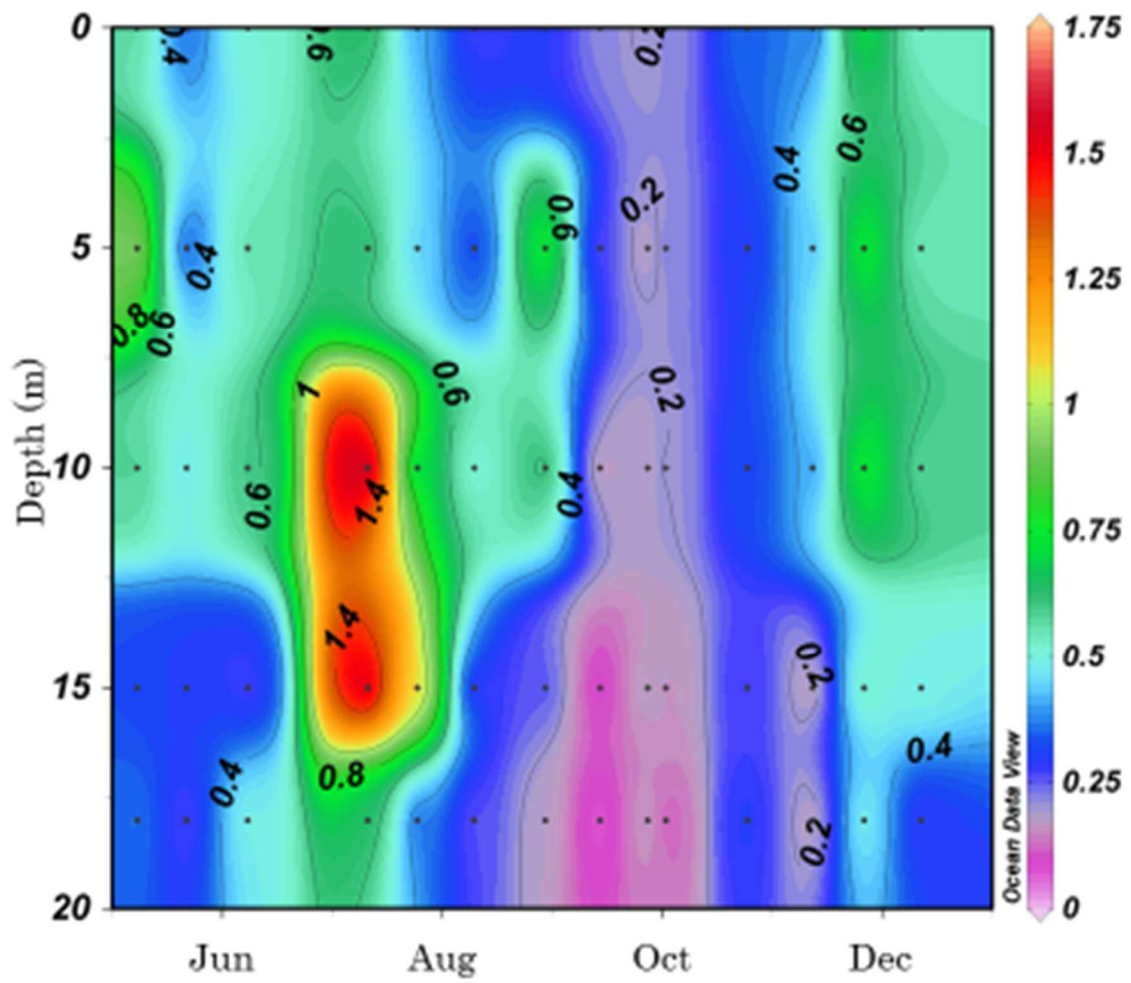
Appendix fig. 9. Seasonal changes of total size fraction Chl.*a* concentration (µg/L) at St. A in Lagoon Noto-ro-ko from May to December 2012.



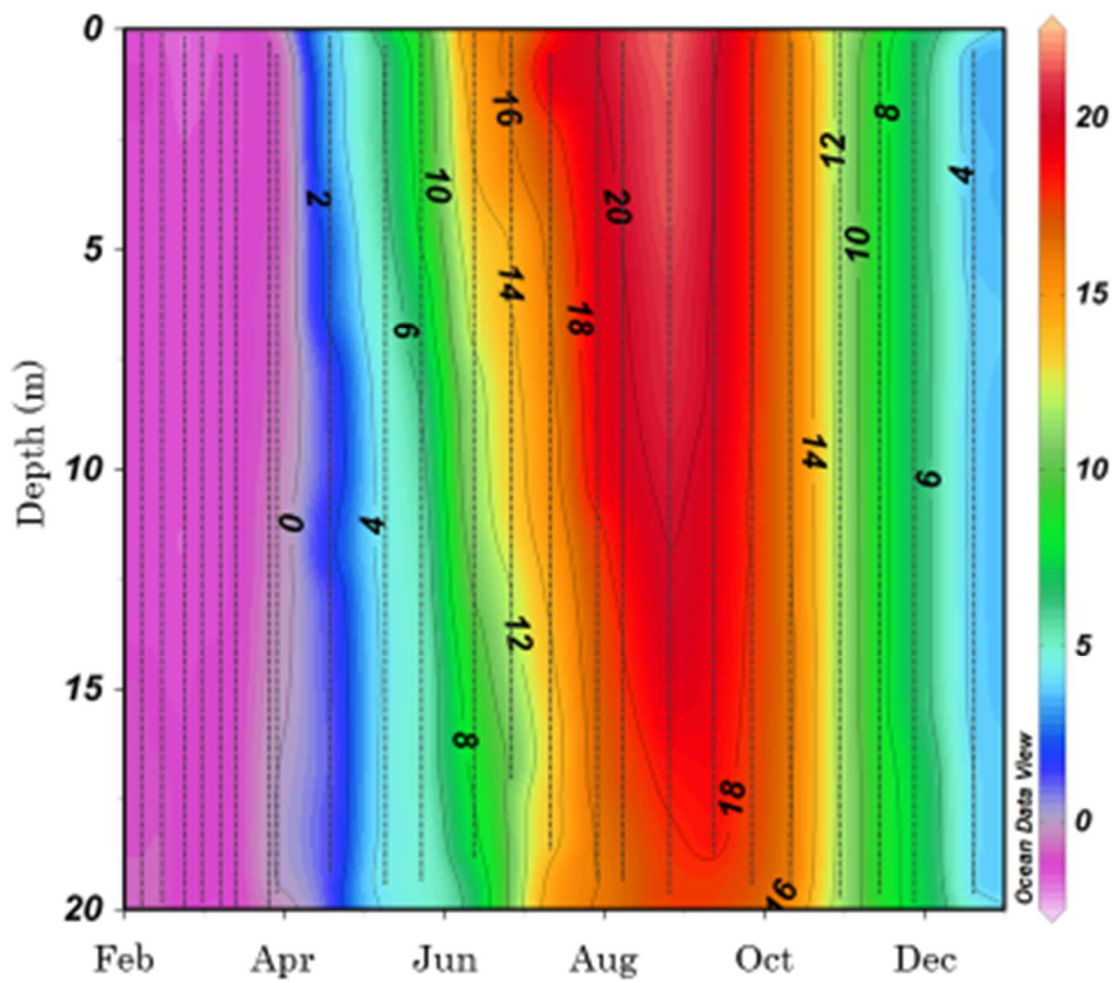
Appendix fig. 10. Seasonal changes of >10 μm fraction Chl.*a* concentration (μg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012.



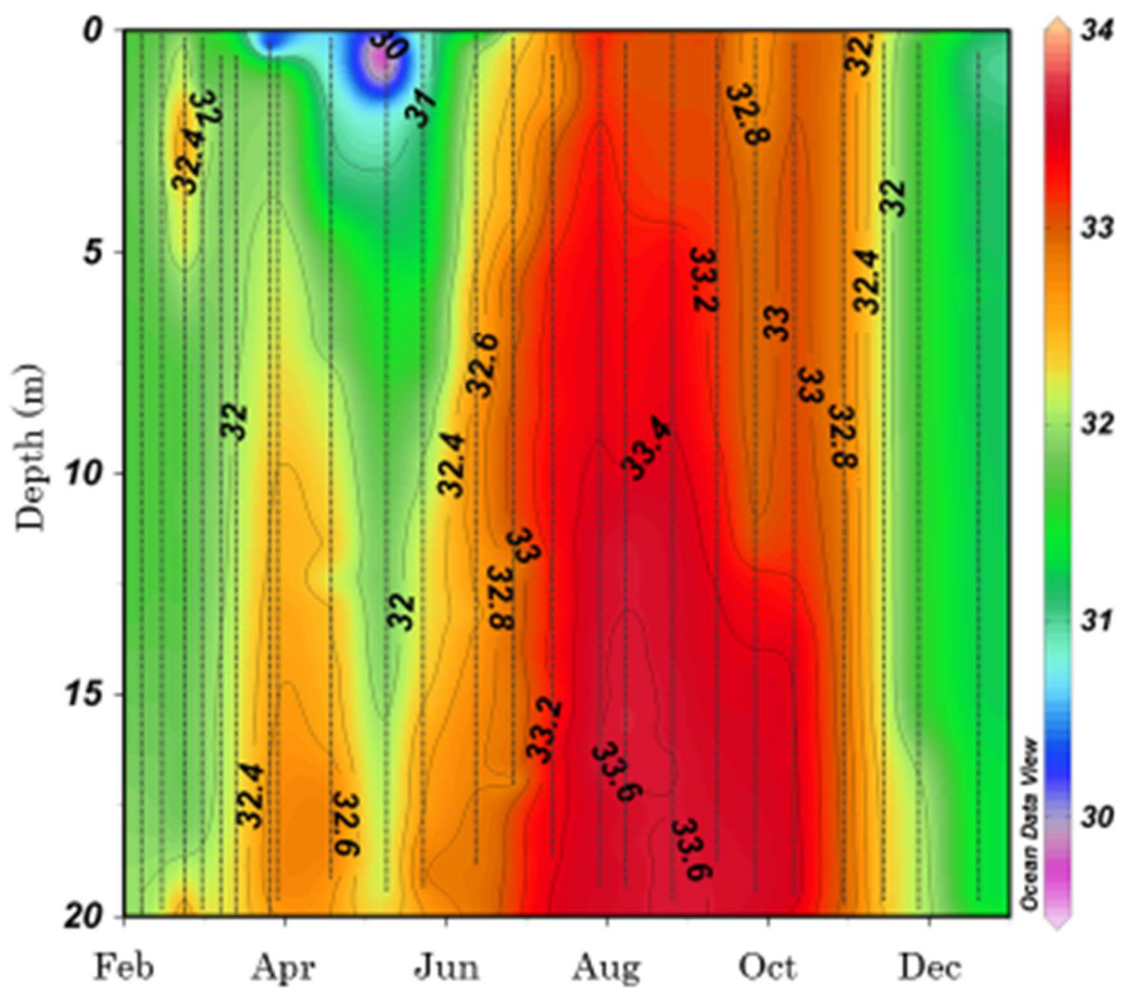
Appendix fig. 11. Seasonal changes of 2-10 μm fraction Chl.*a* concentration (μg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from May to December 2012.



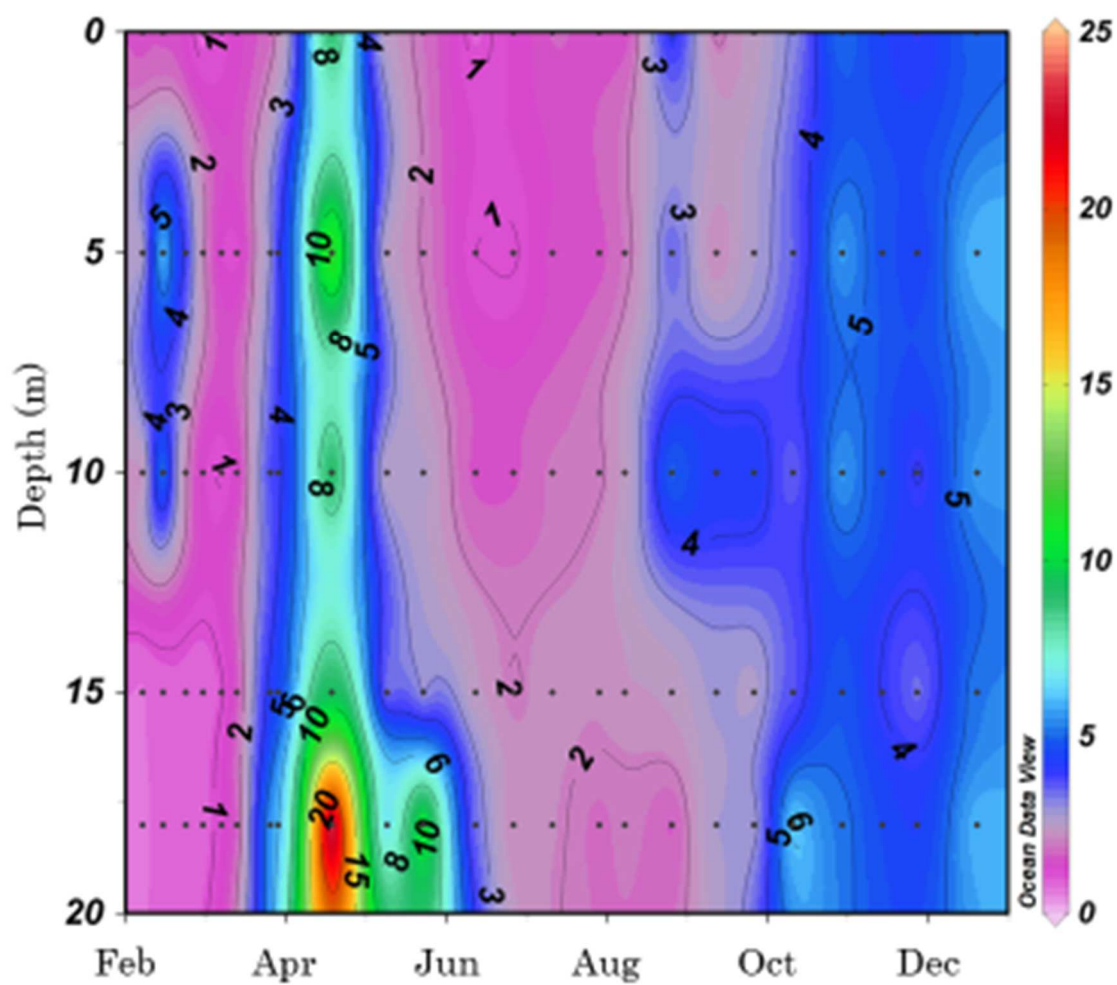
Appendix fig. 12. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Noto-ko from May to December 2012.



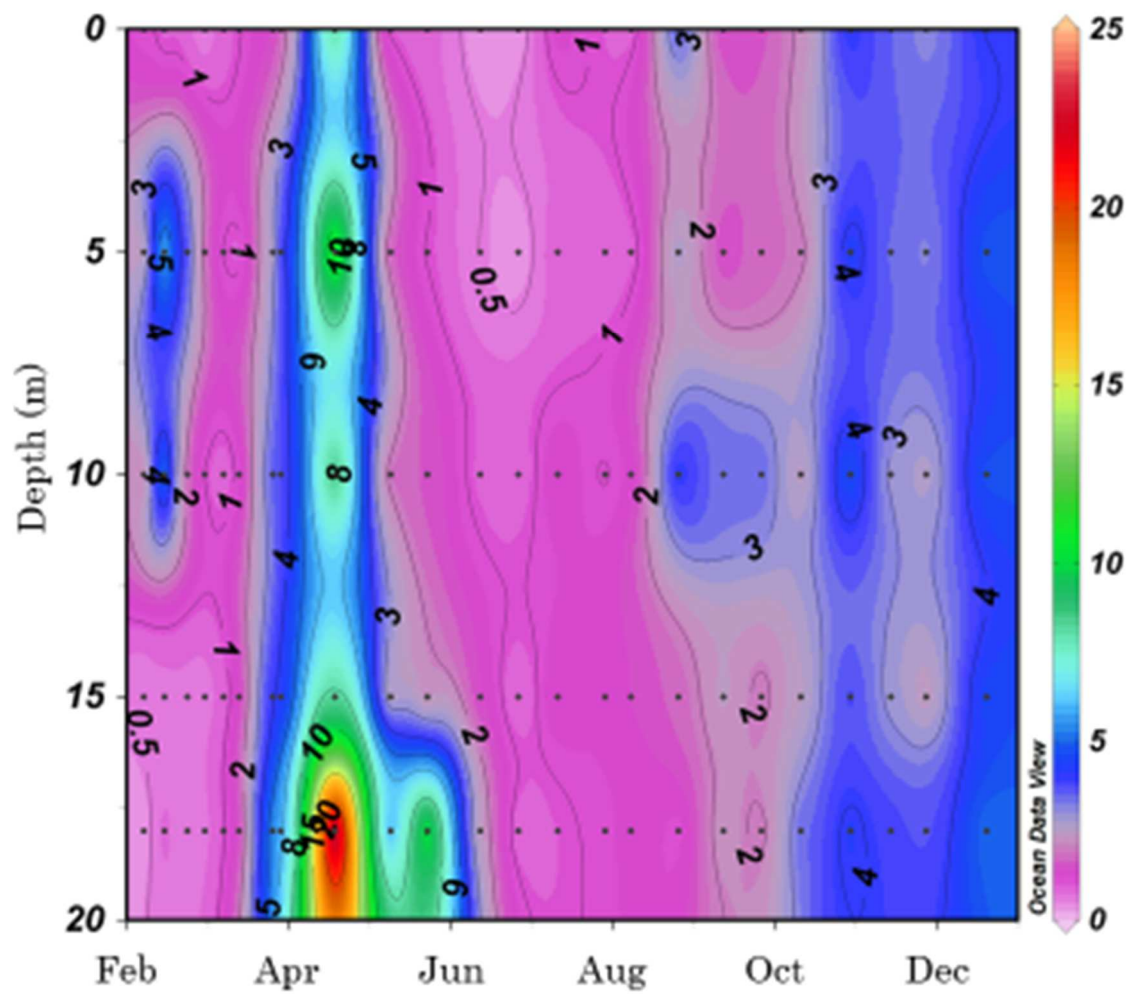
Appendix fig. 13. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2013.



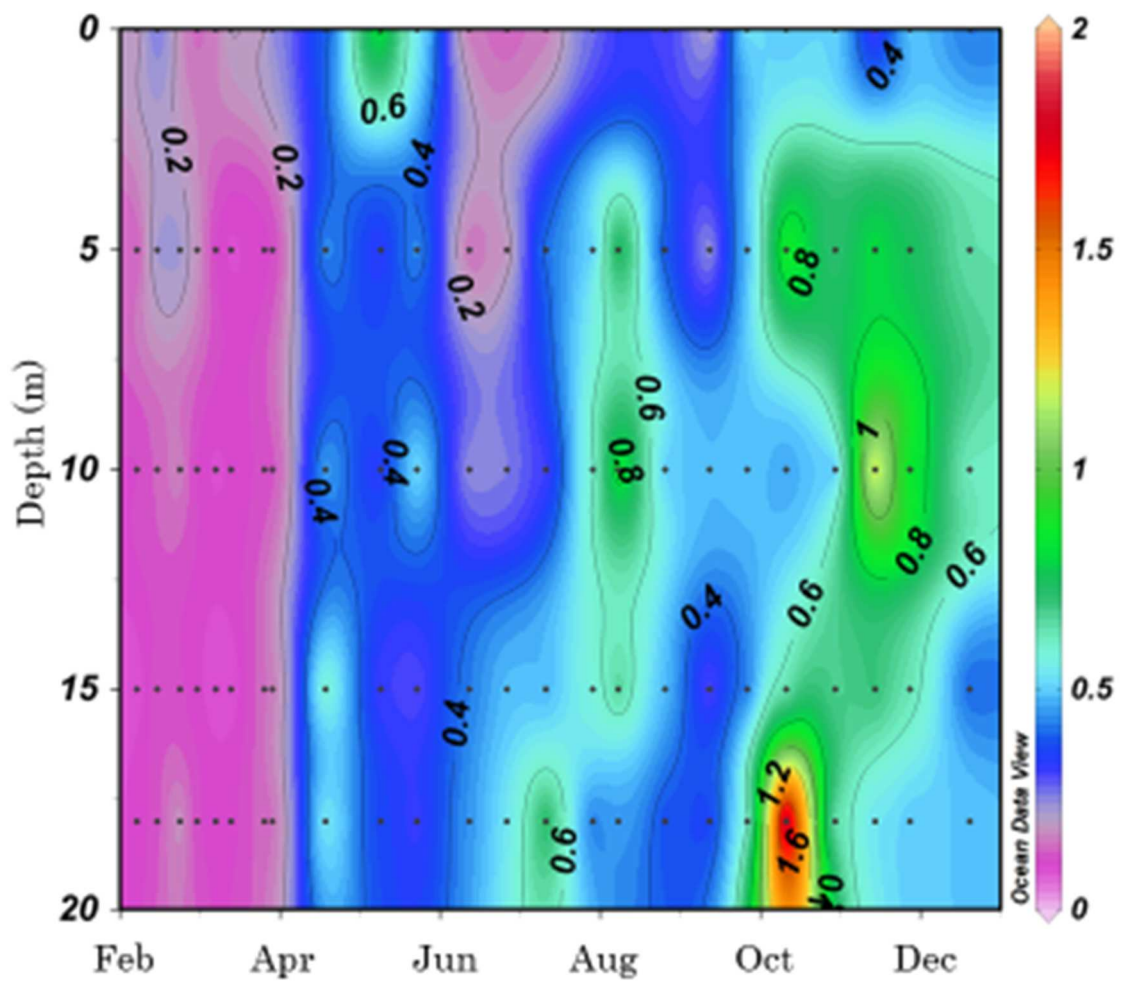
Appendix fig. 14. Seasonal changes of salinity at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2013.



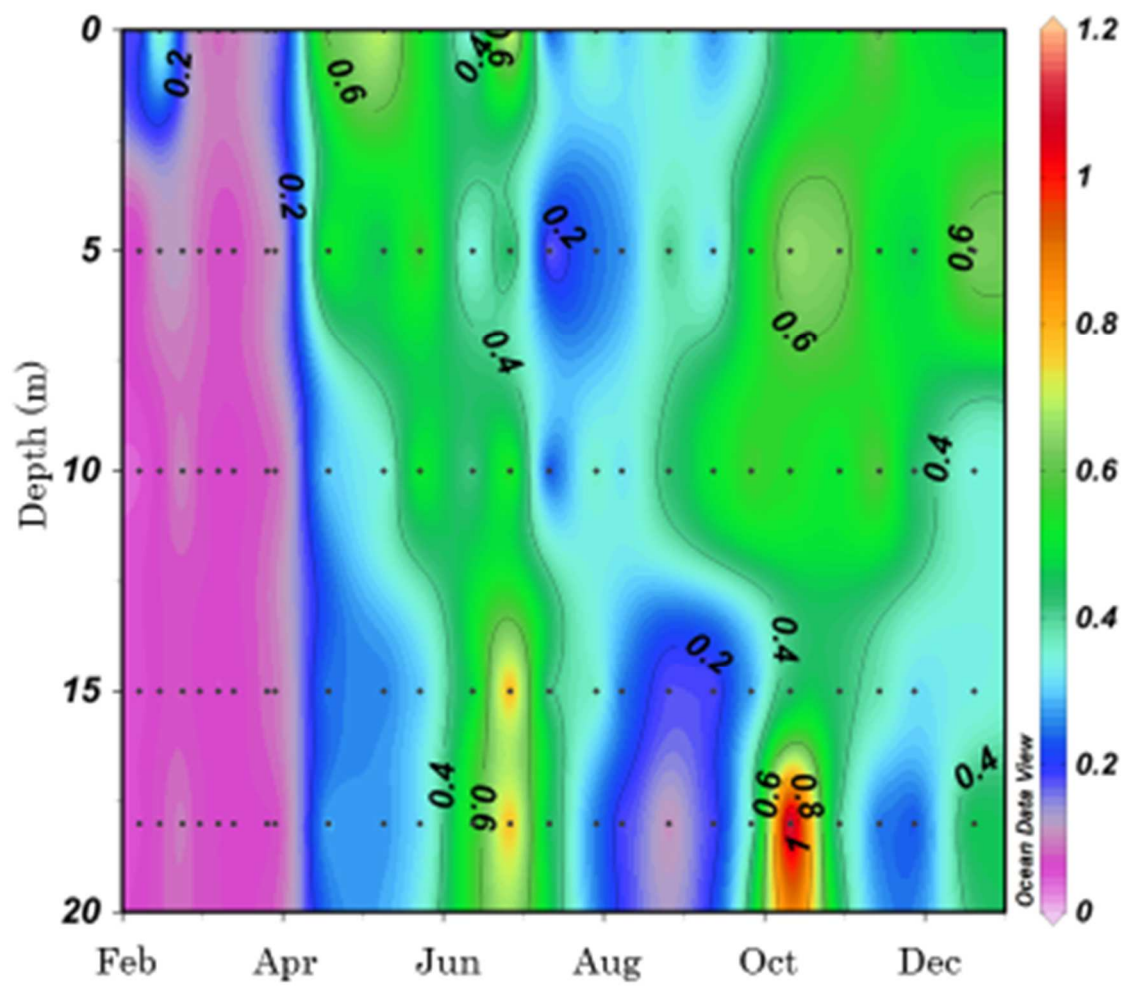
Appendix fig. 15. Seasonal changes of total size fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2013.



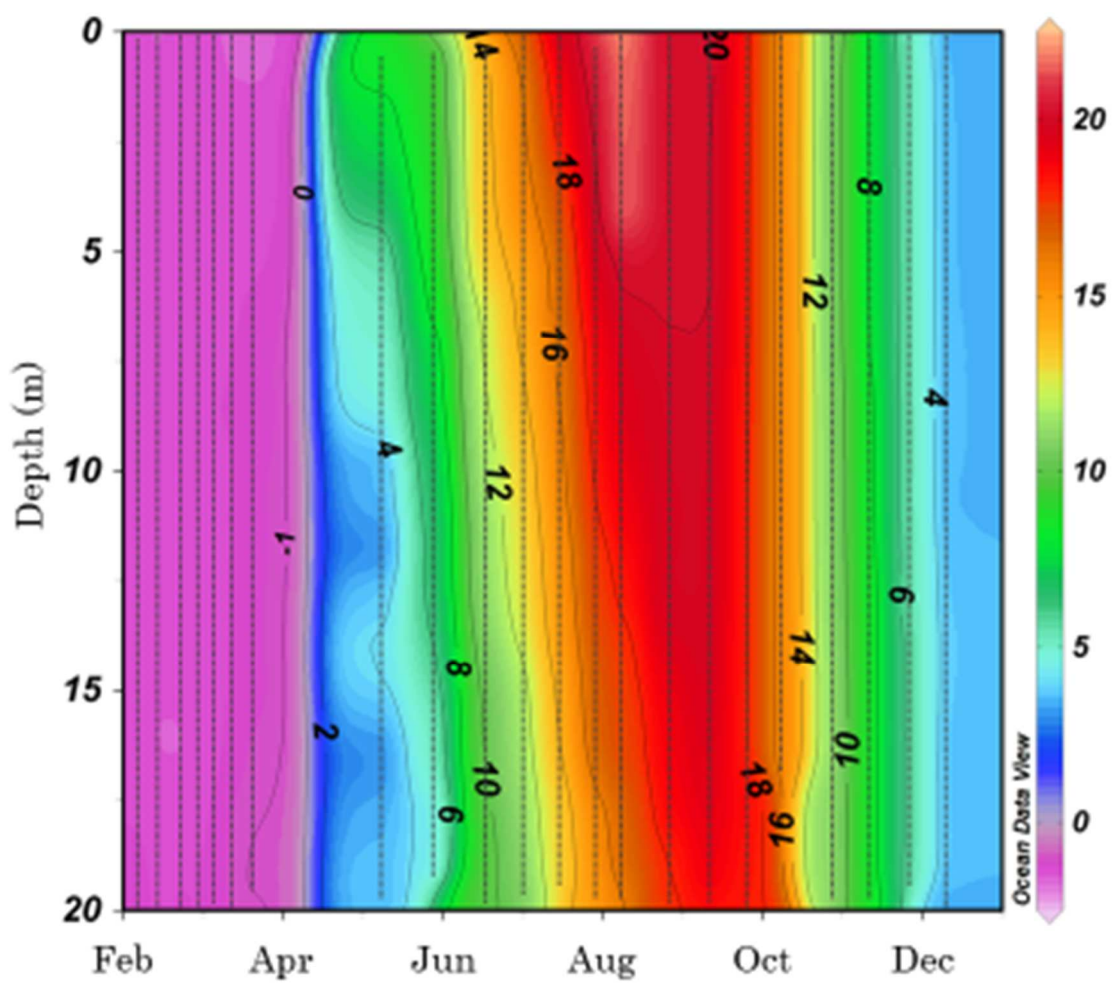
Appendix fig. 16. Seasonal changes of >10 μm fraction Chl.*a* concentration (μg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2013.



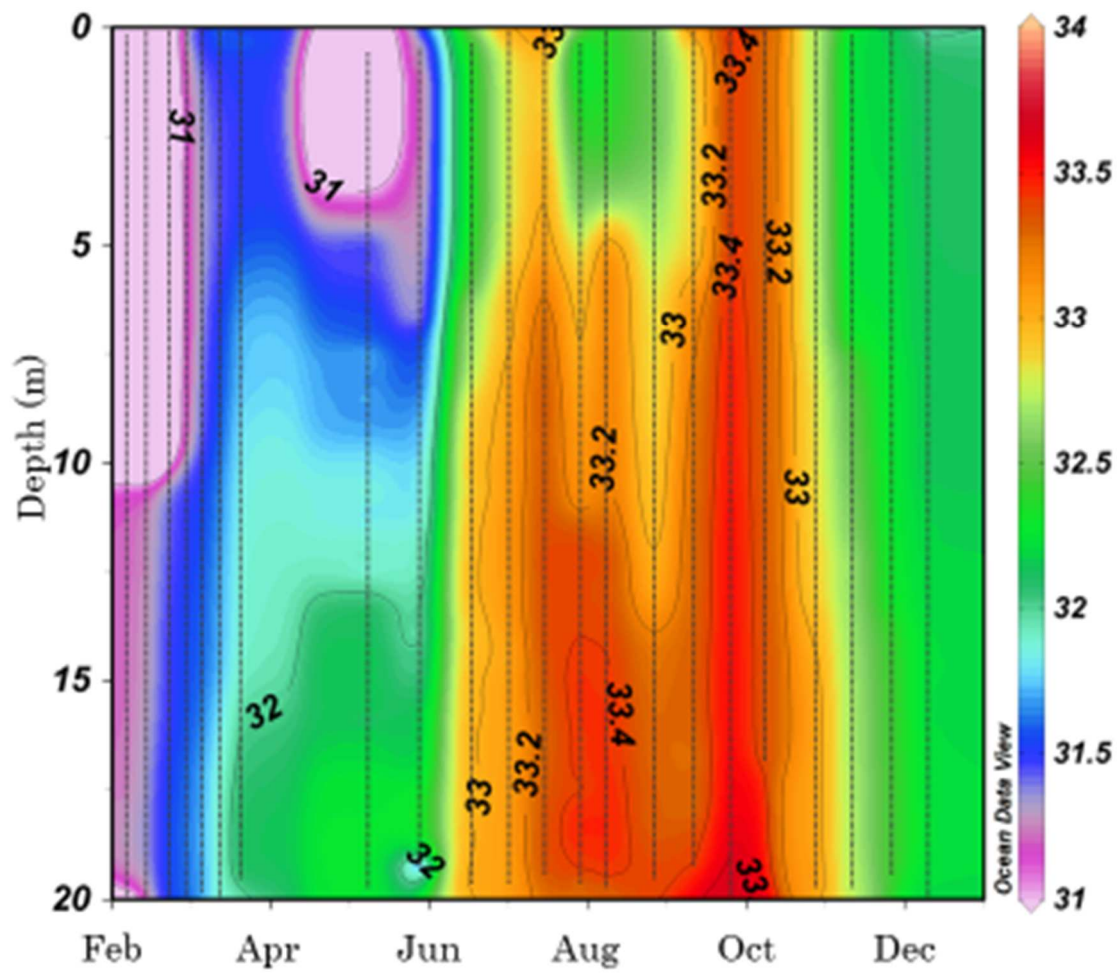
Appendix fig. 17. Seasonal changes of 2-10 μm fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2013.



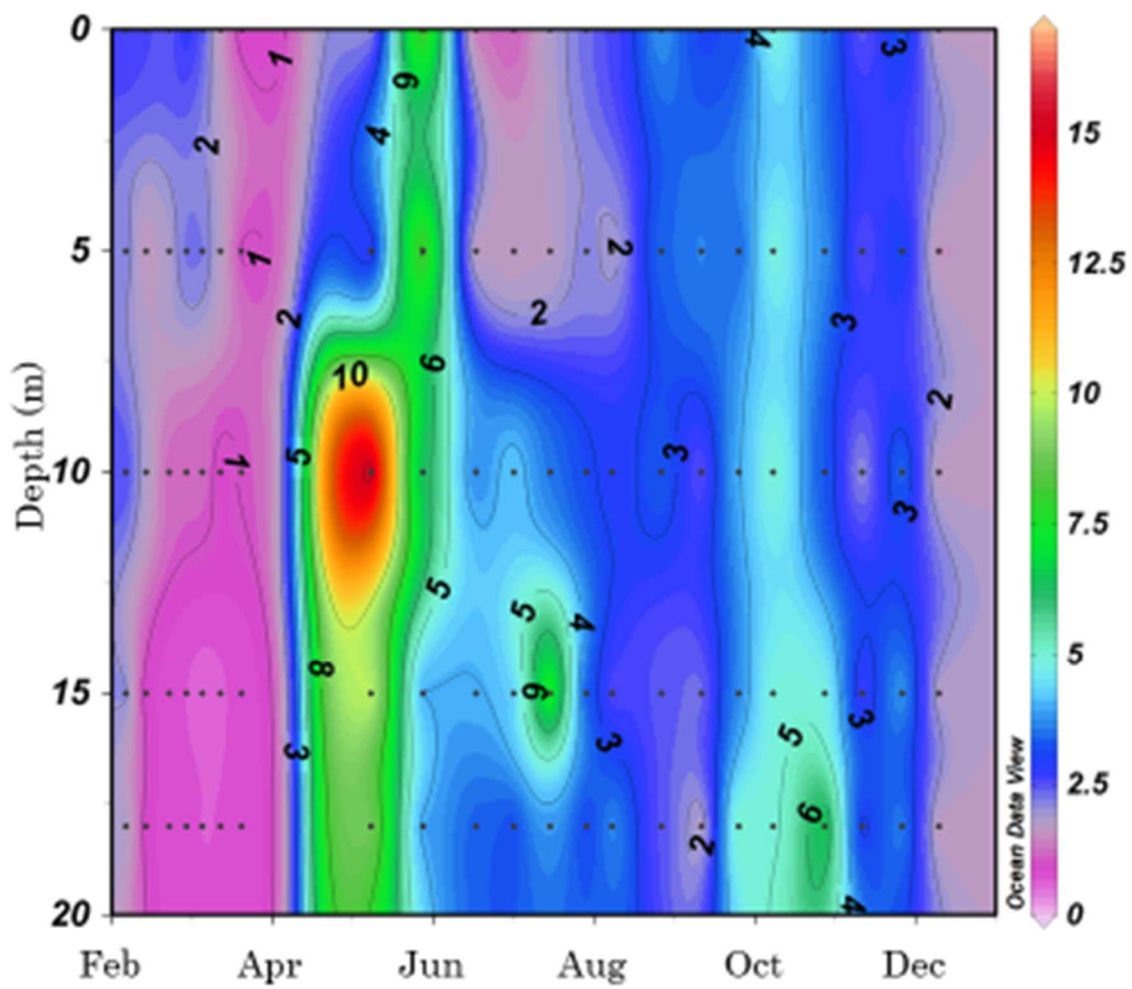
Appendix fig. 18. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2013.



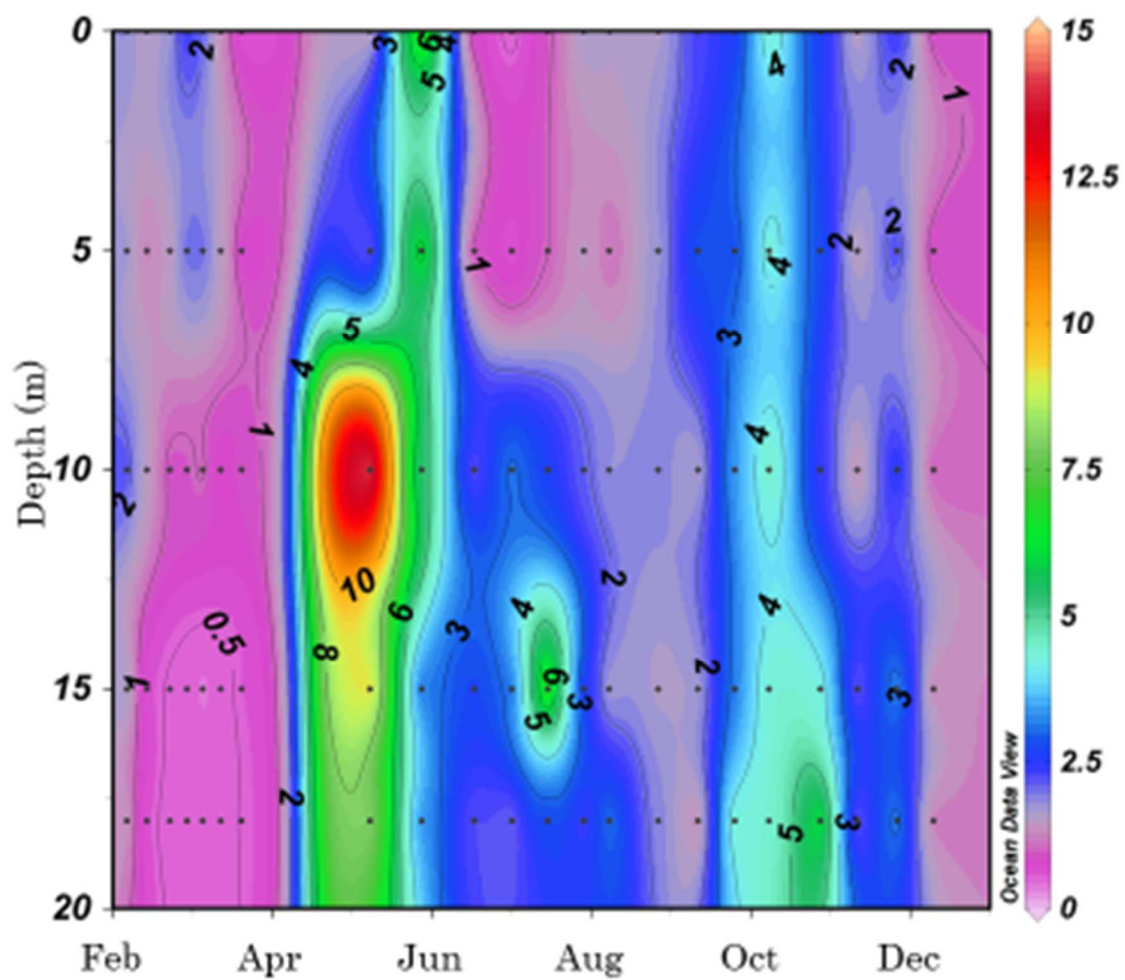
Appendix fig. 19. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2014.



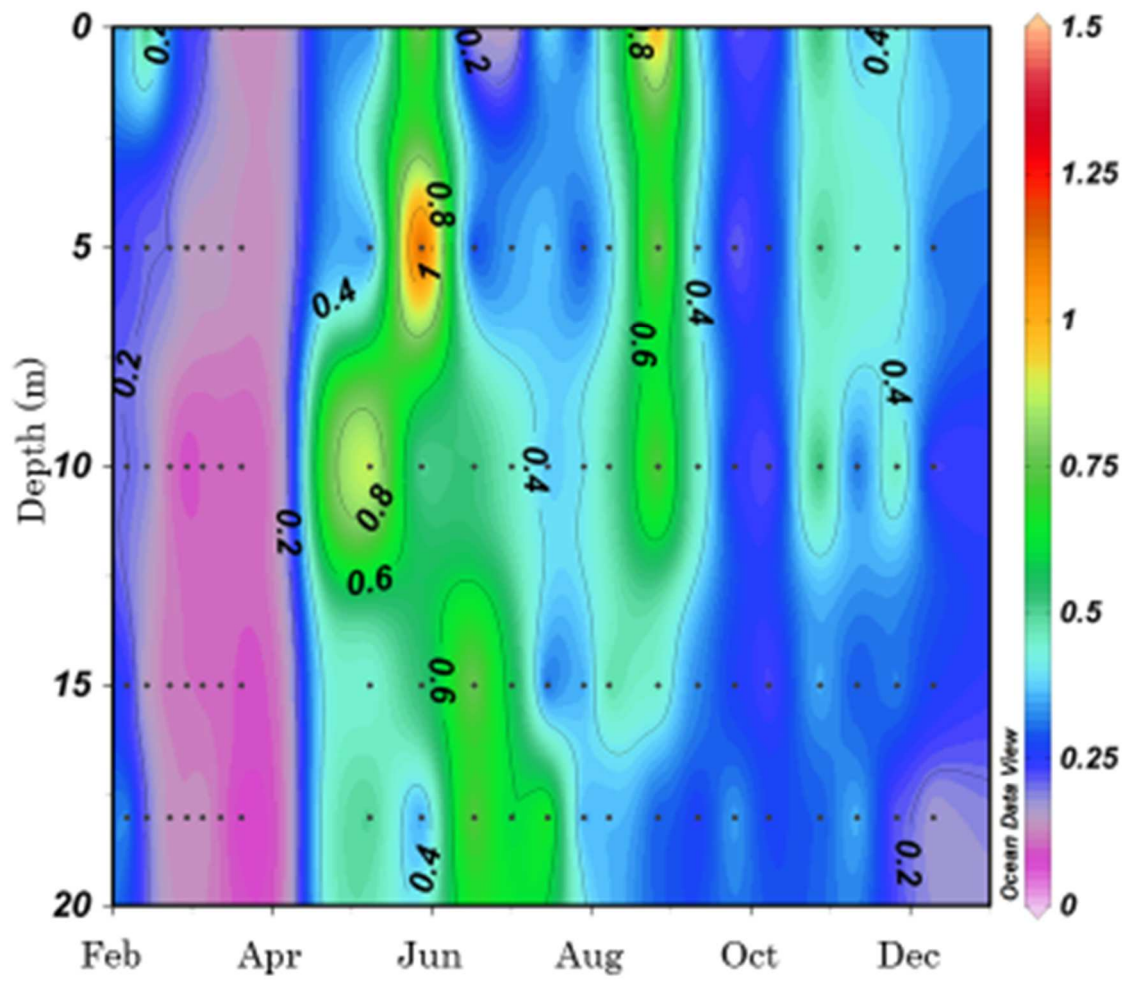
Appendix fig. 20. Seasonal changes of salinity at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2014.



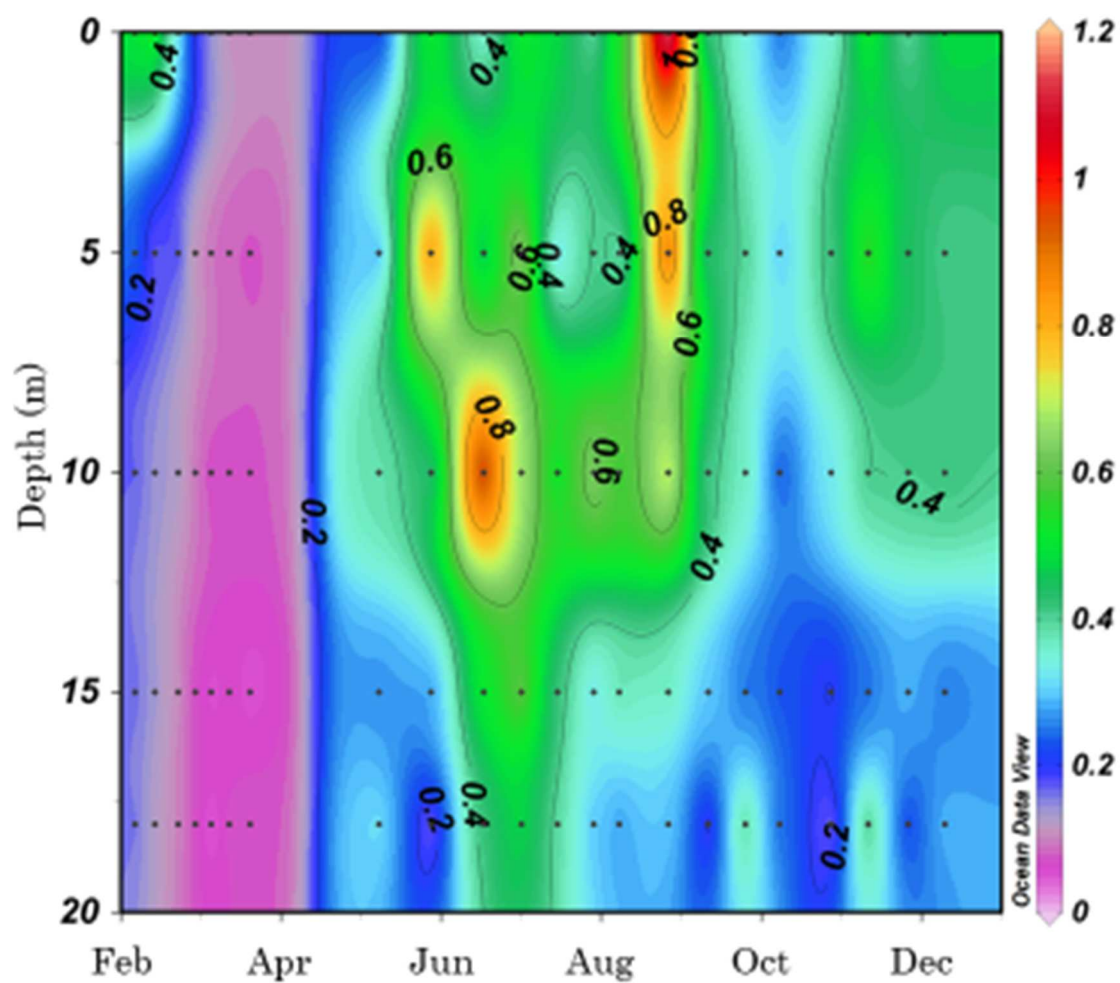
Appendix fig. 21. Seasonal changes of total size fraction Chl. *a* concentration (µg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2014.



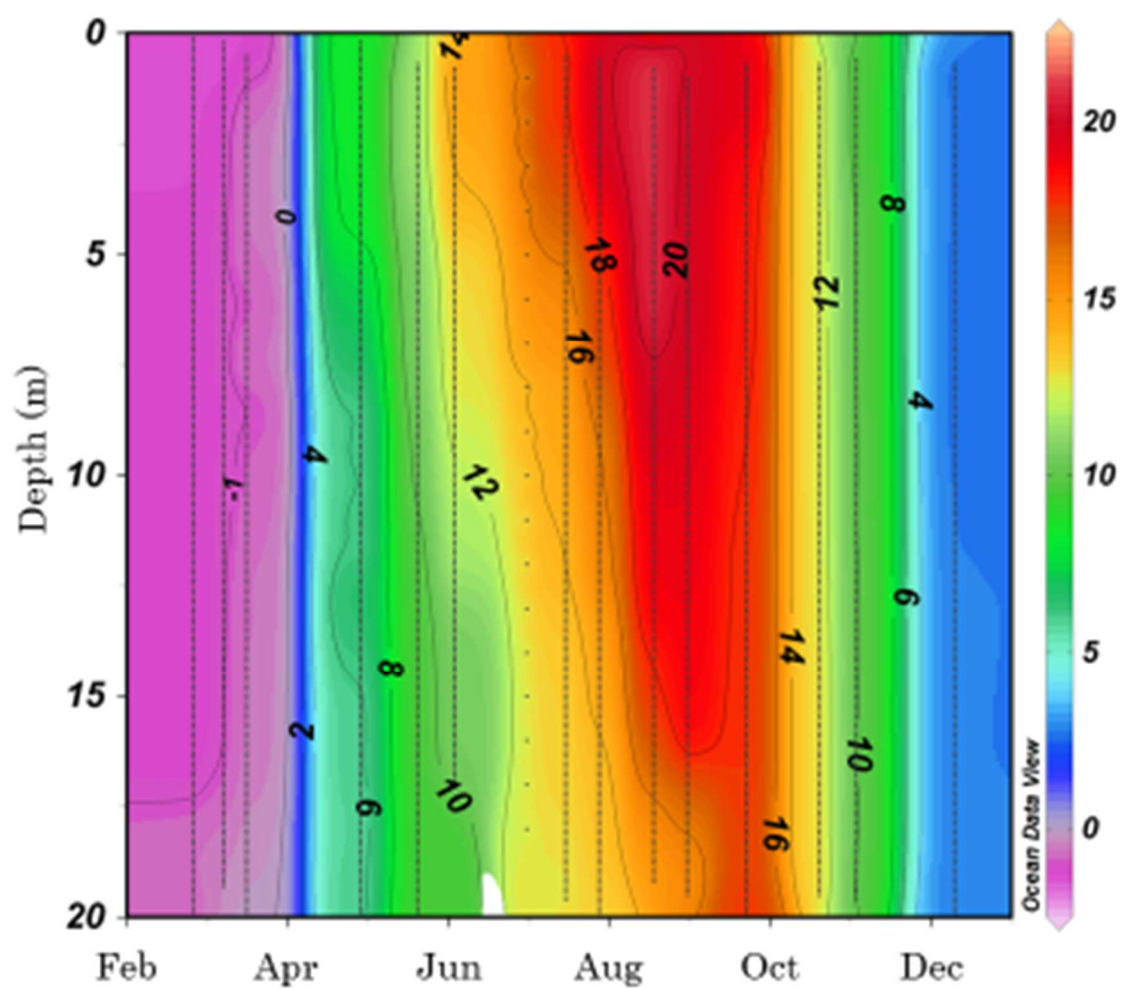
Appendix fig. 22. Seasonal changes of >10 μm fraction Chl.*a* concentration (μg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2014.



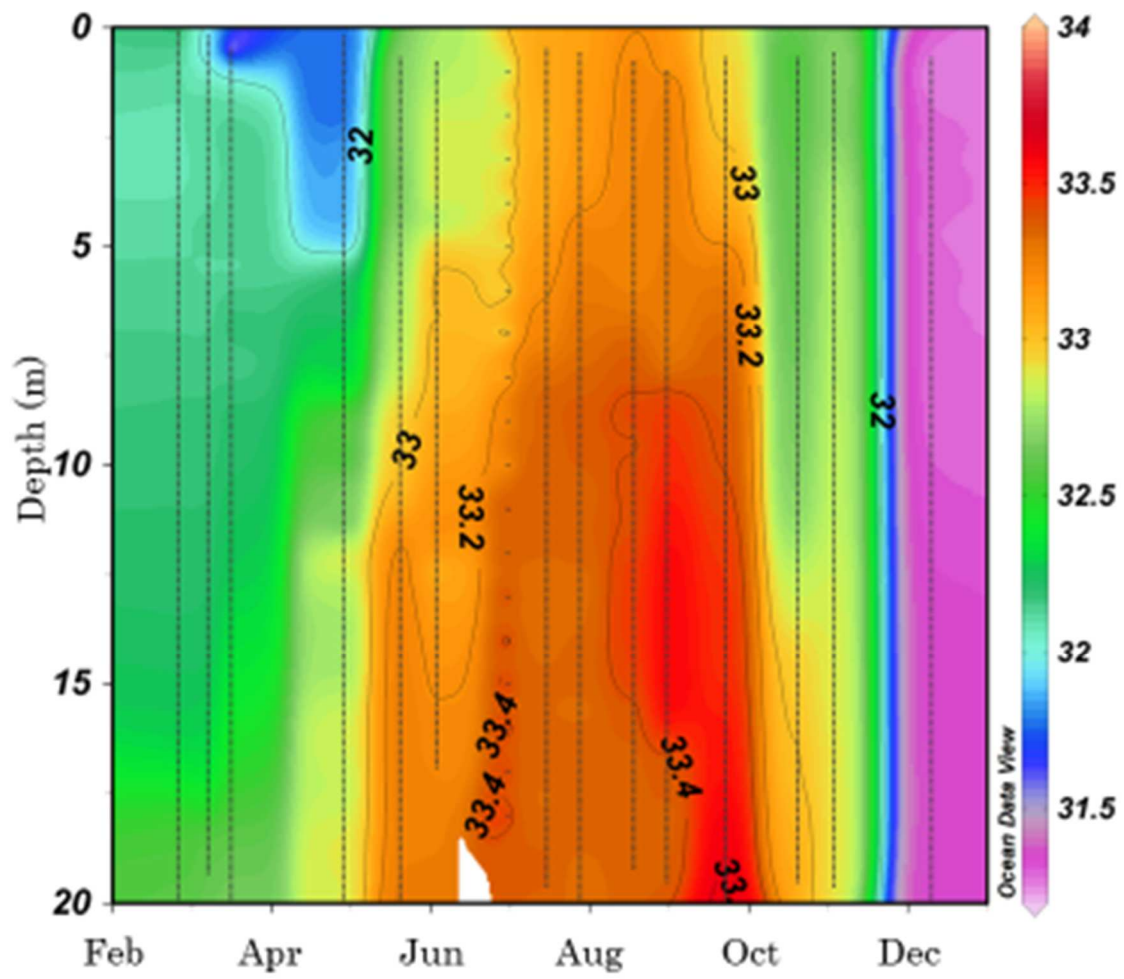
Appendix fig. 23. Seasonal changes of 2-10 μm fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Noto-ro-ko from February to December 2014.



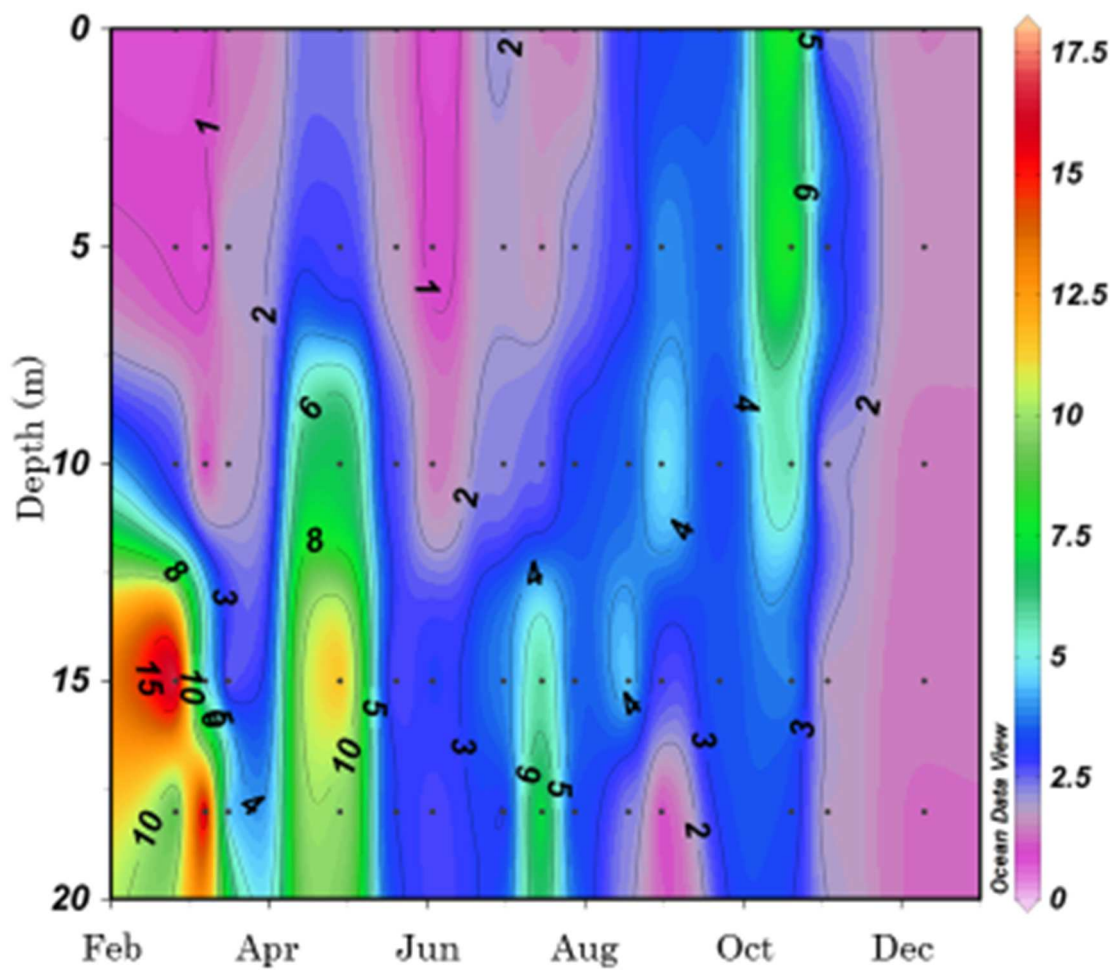
Appendix fig. 24. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Noto-ro-ko from February to December 2014.



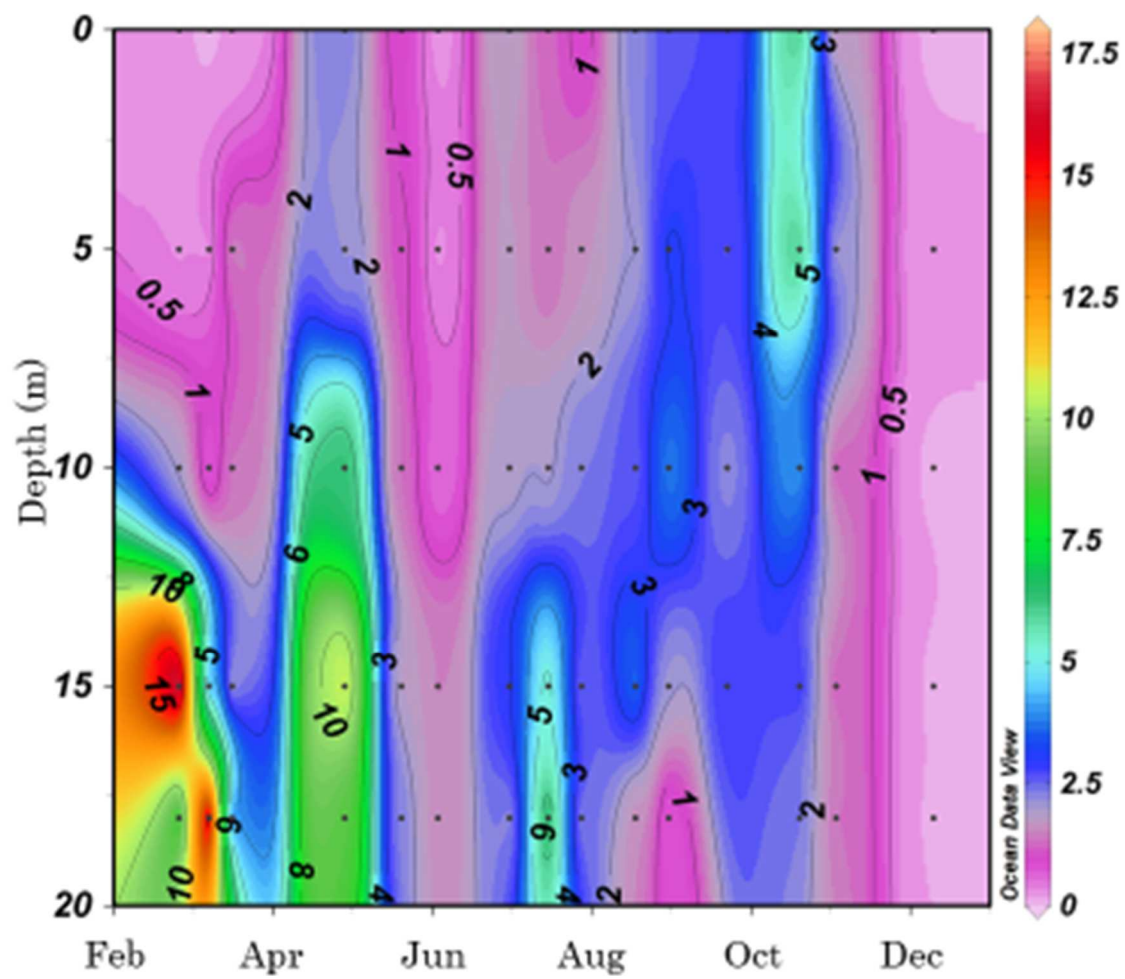
Appendix fig. 25. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2015.



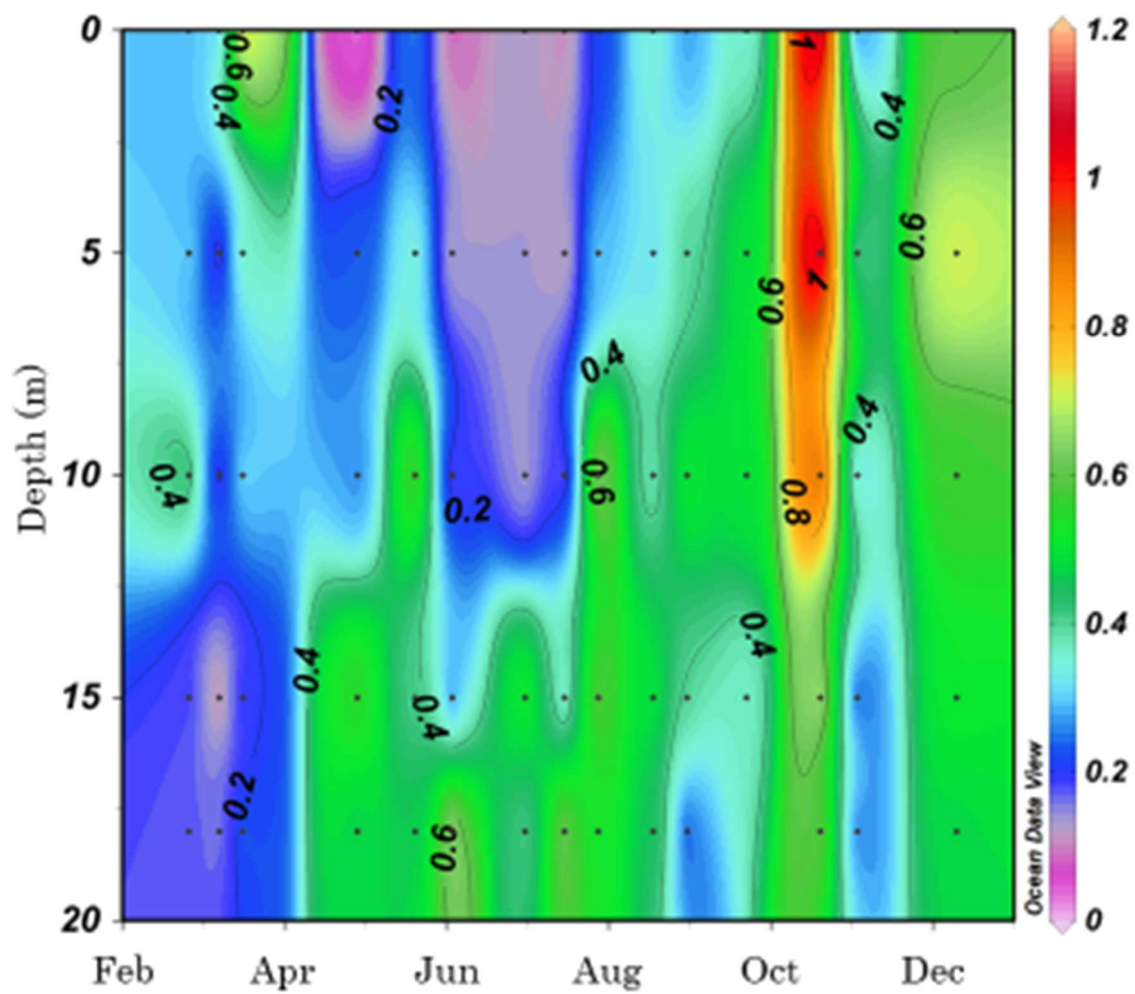
Appendix fig. 26. Seasonal changes of salinity at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2015.



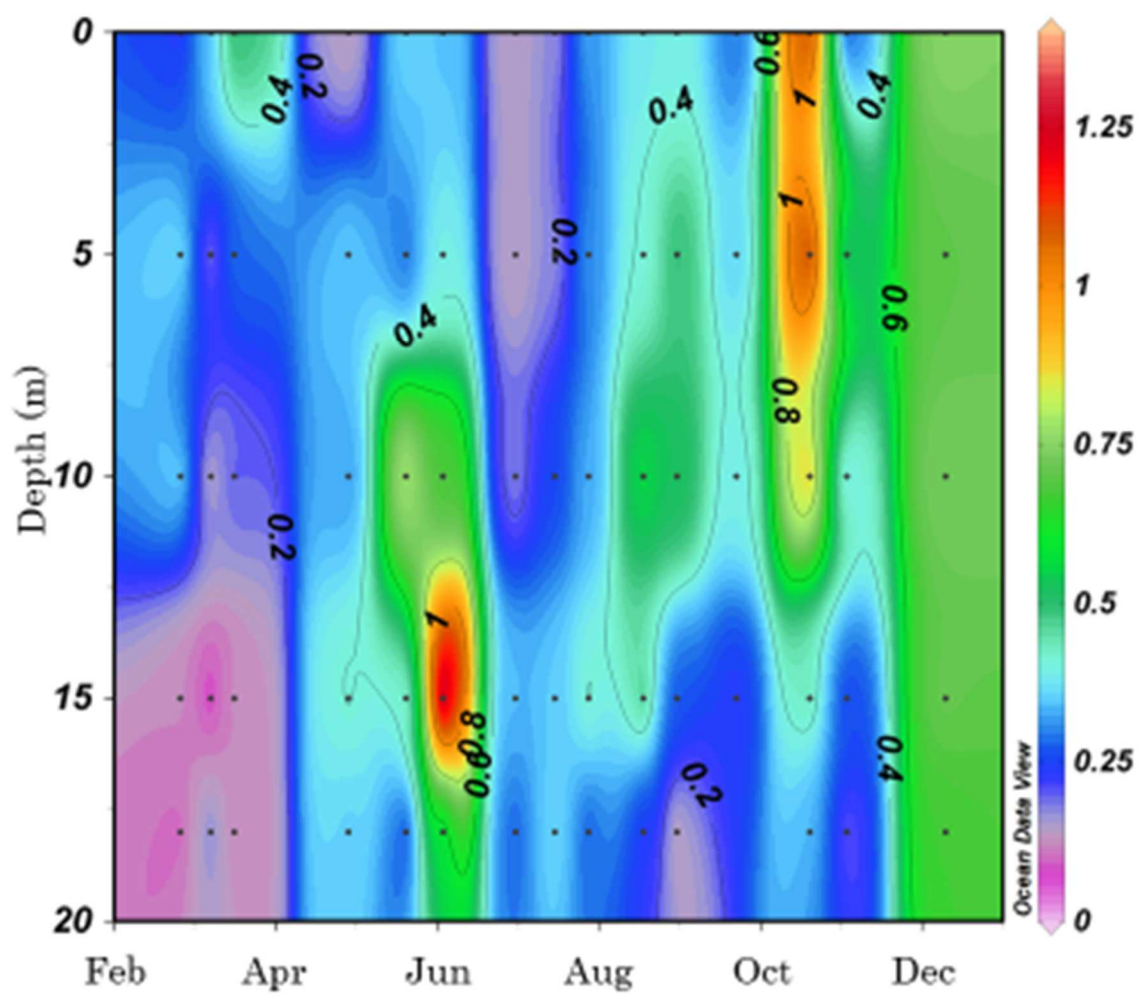
Appendix fig. 27. Seasonal changes of total size fraction Chl. *a* concentration (µg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2015.



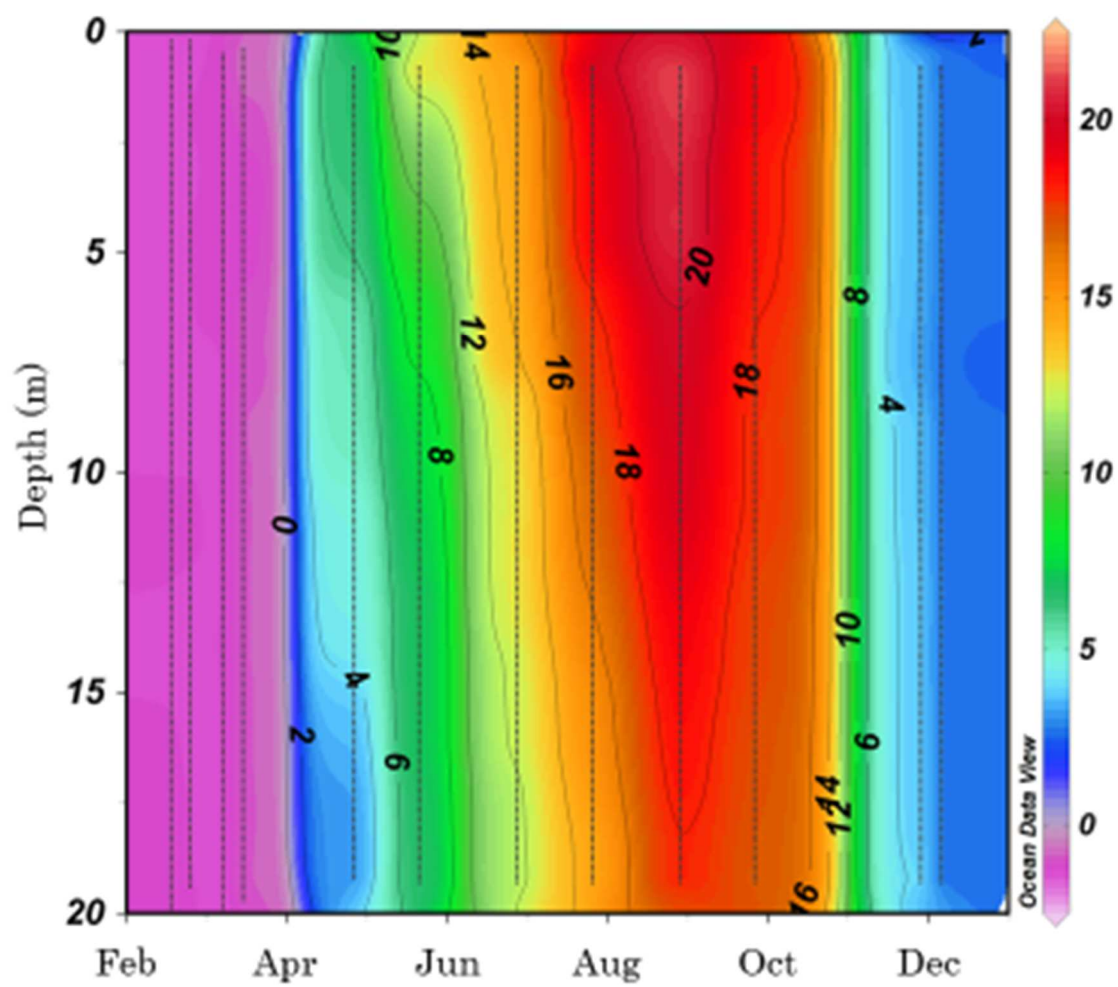
Appendix fig. 28. Seasonal changes of >10 μm fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Noto-ro-ko from February to December 2015.



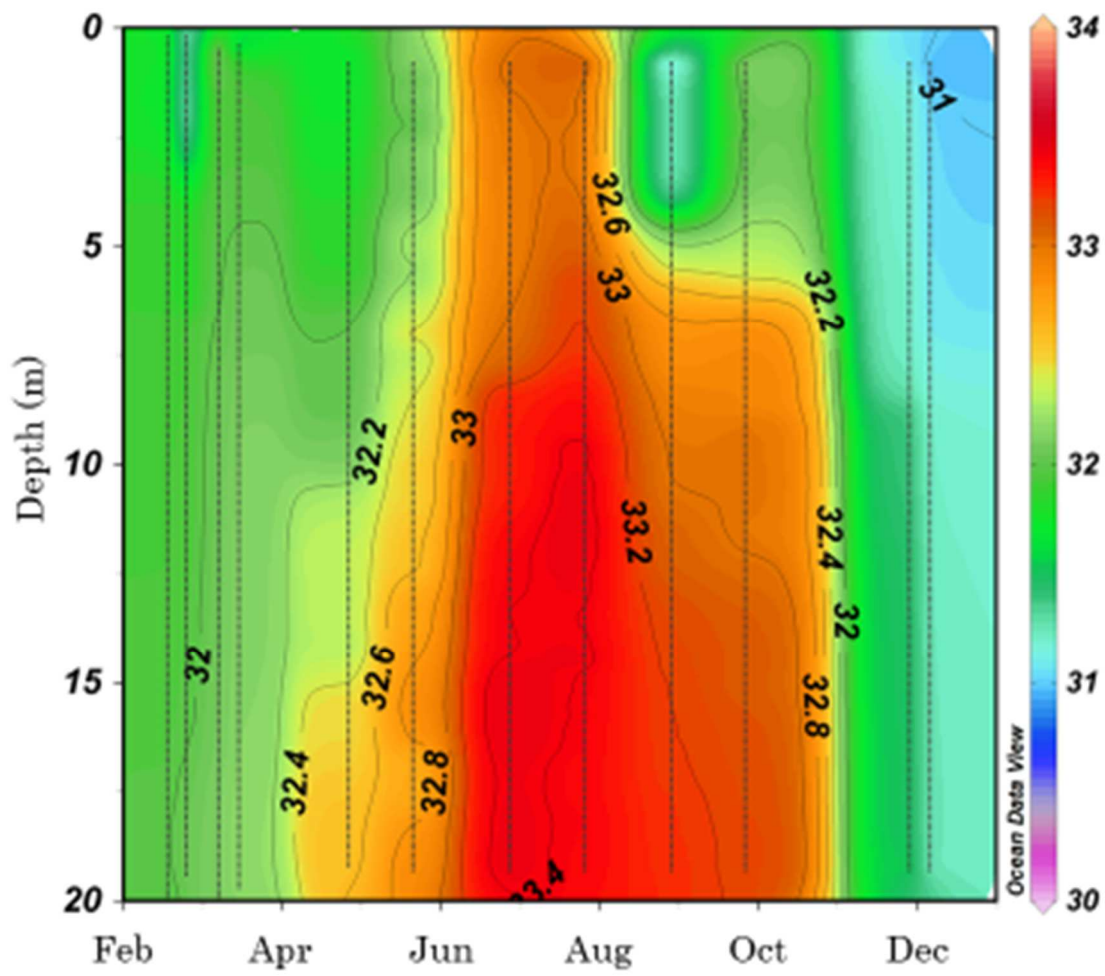
Appendix fig. 29. Seasonal changes of 2-10 μm fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2015.



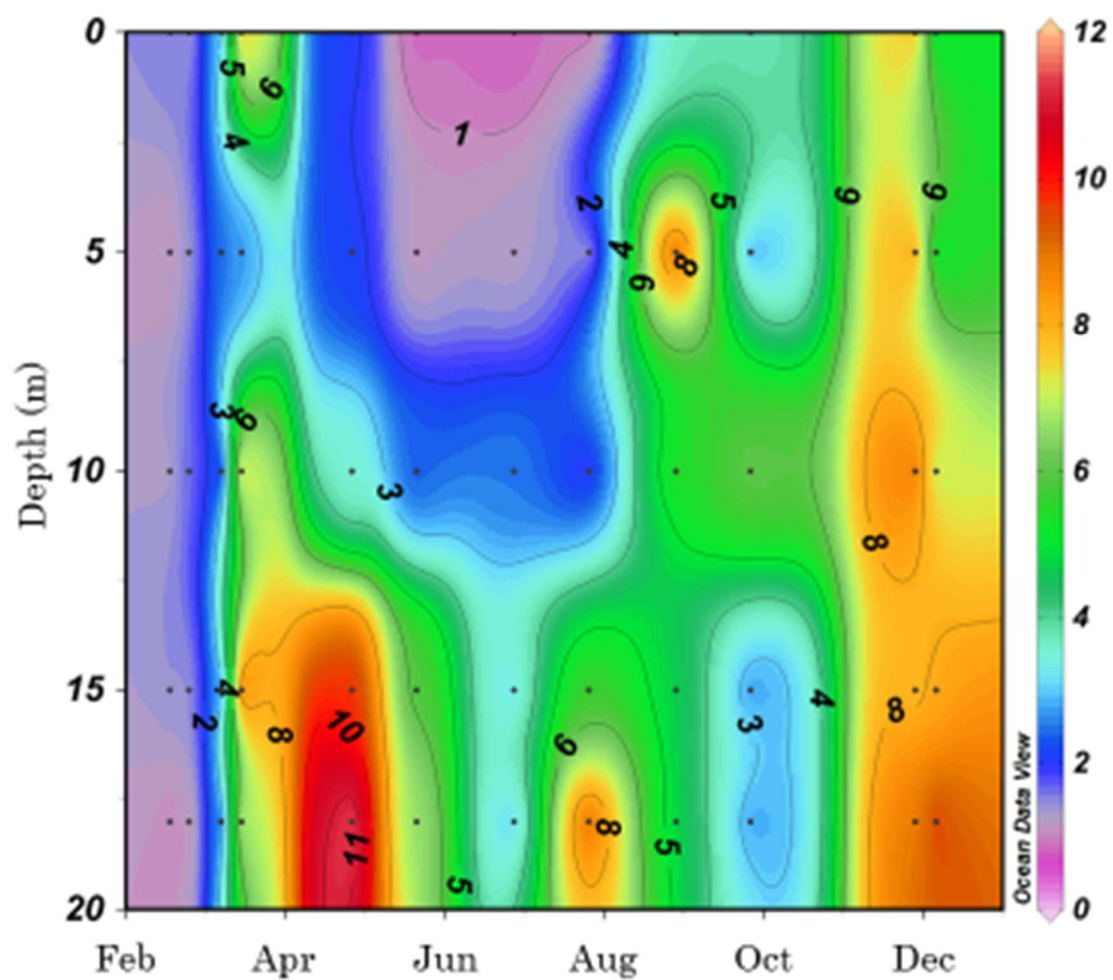
Appendix fig. 30. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2015.



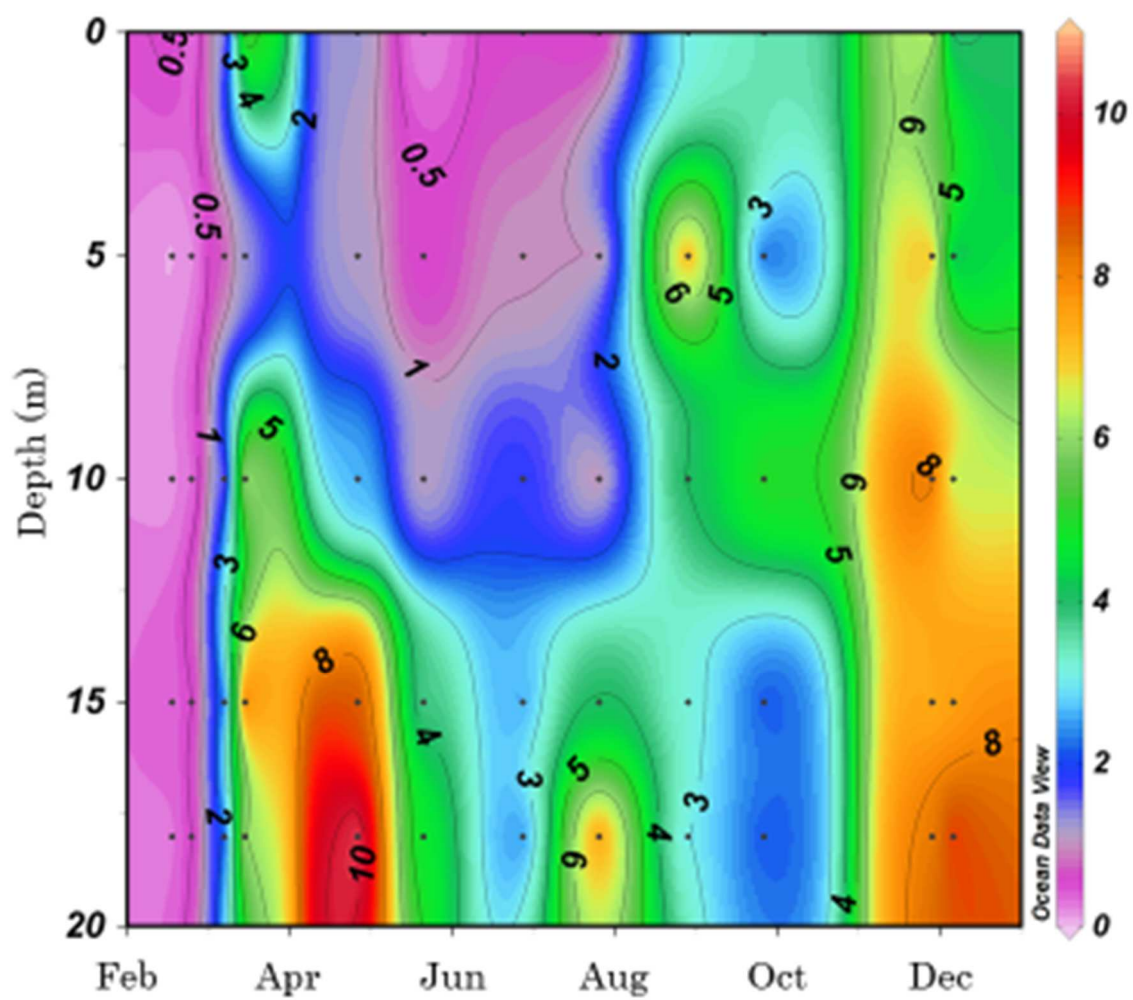
Appendix fig. 31. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2016.



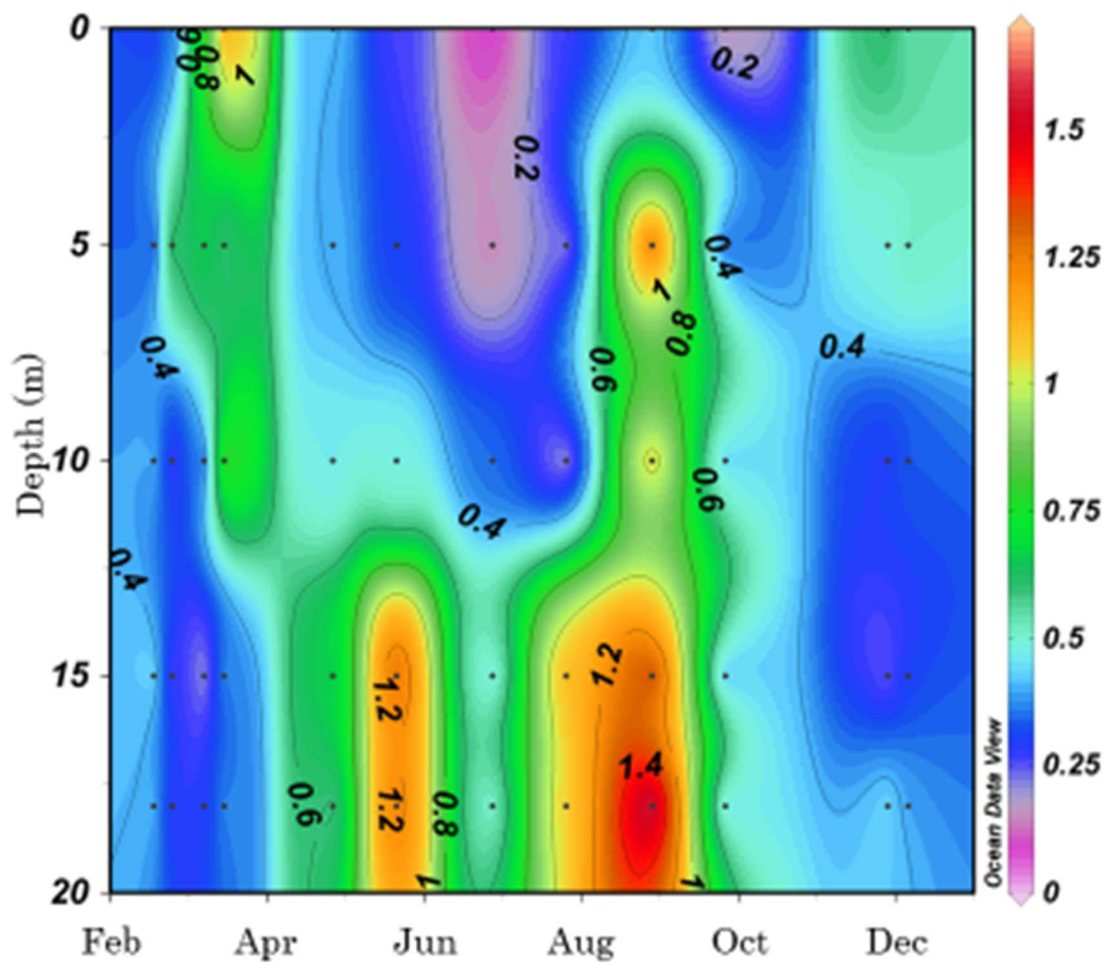
Appendix fig. 32. Seasonal changes of salinity at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2016.



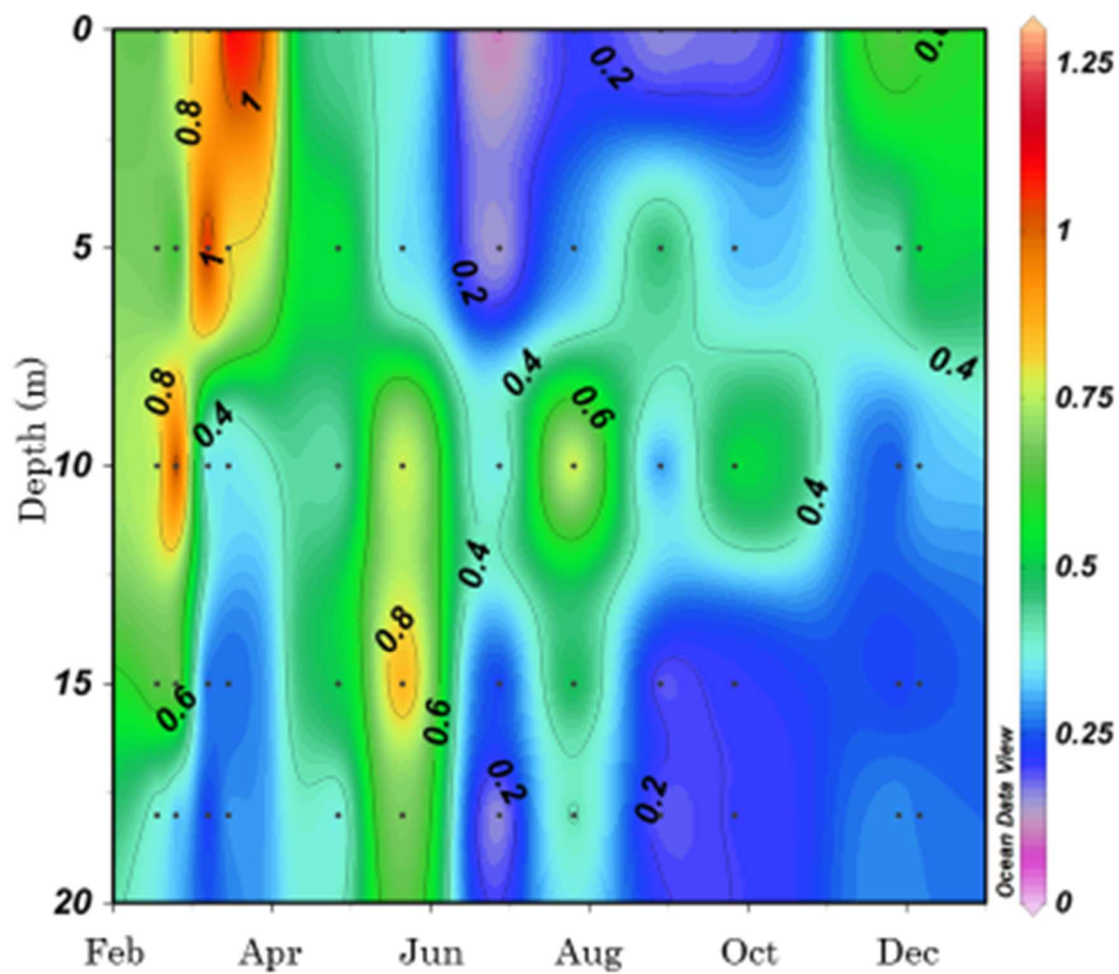
Appendix fig. 33. Seasonal changes of total size fraction Chl. *a* concentration (µg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2016.



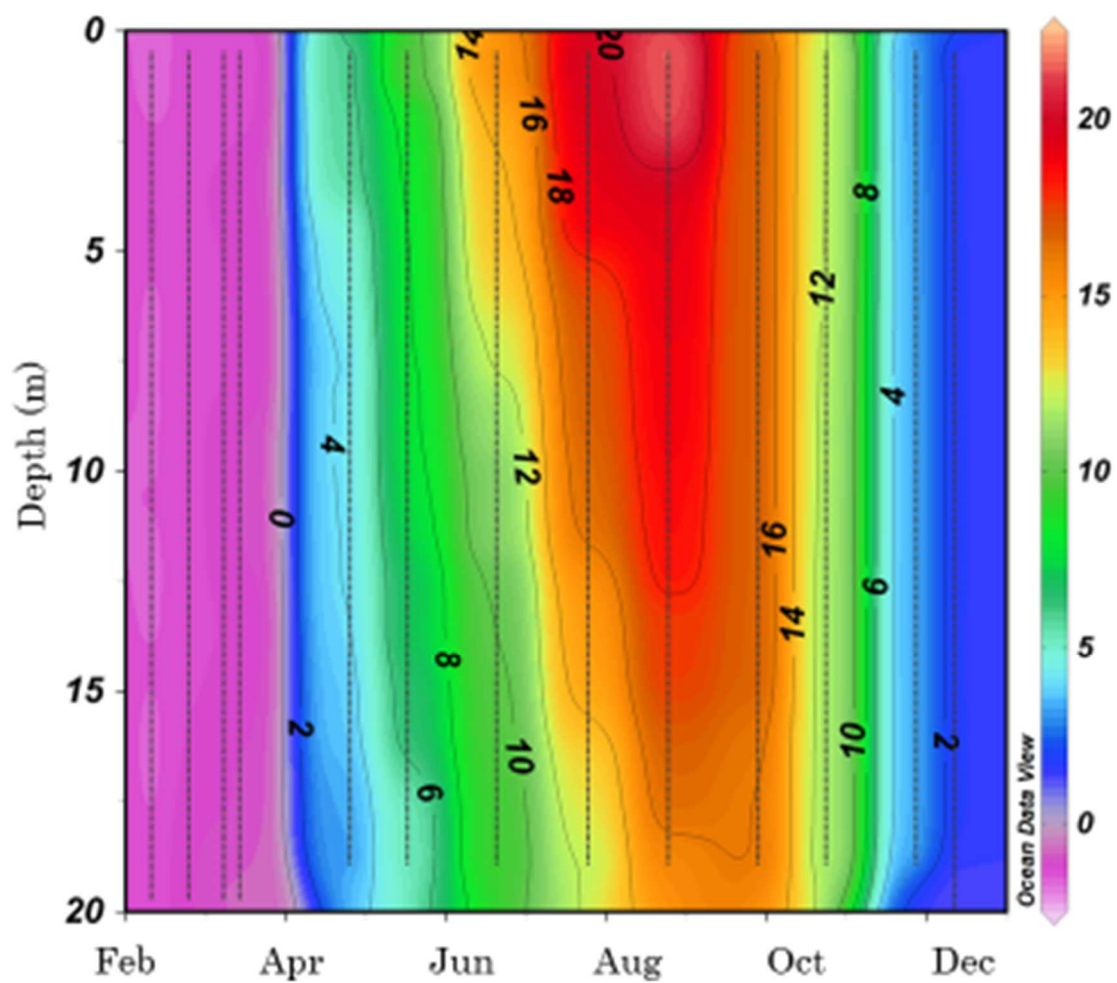
Appendix fig. 34. Seasonal changes of >10 μm fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Noto-ro-ko from February to December 2016.



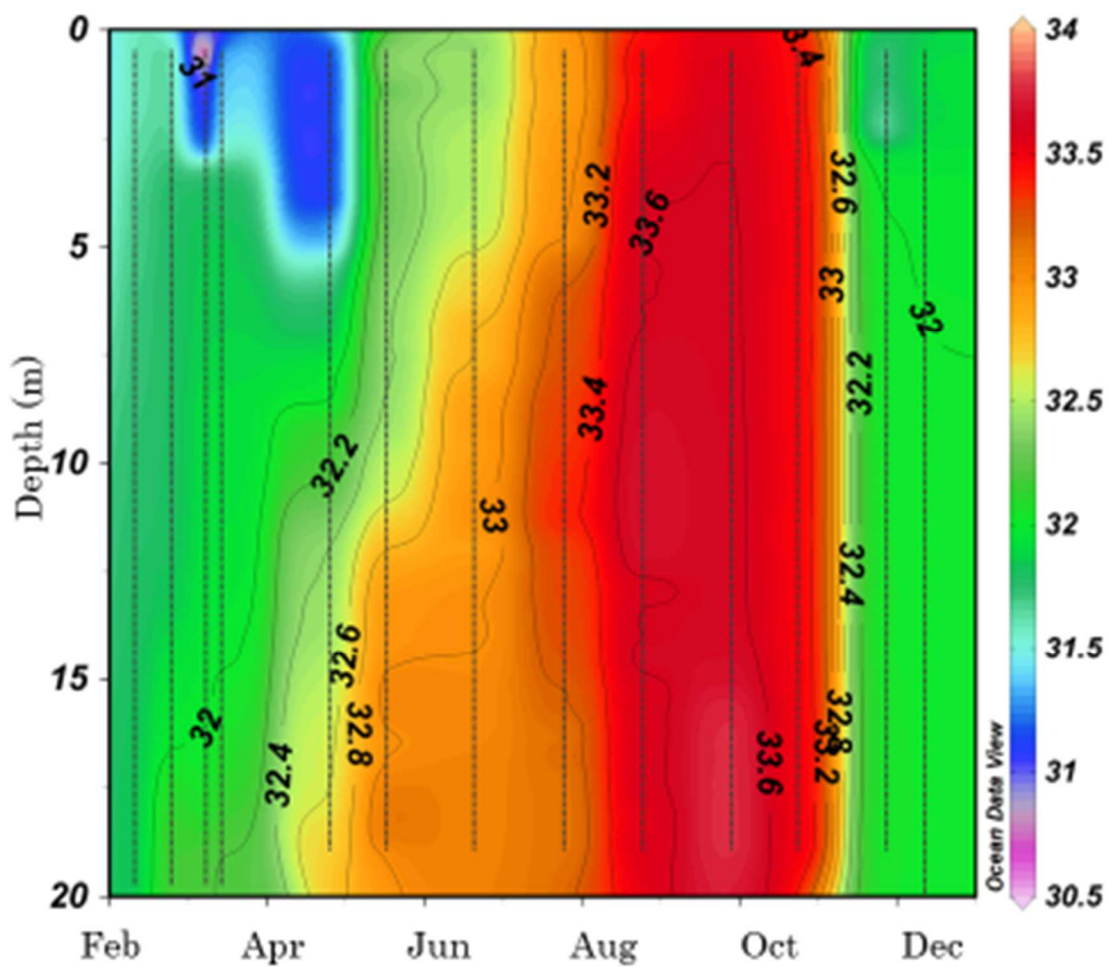
Appendix fig. 35. Seasonal changes of 2-10 µm fraction Chl.*a* concentration (µg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2016.



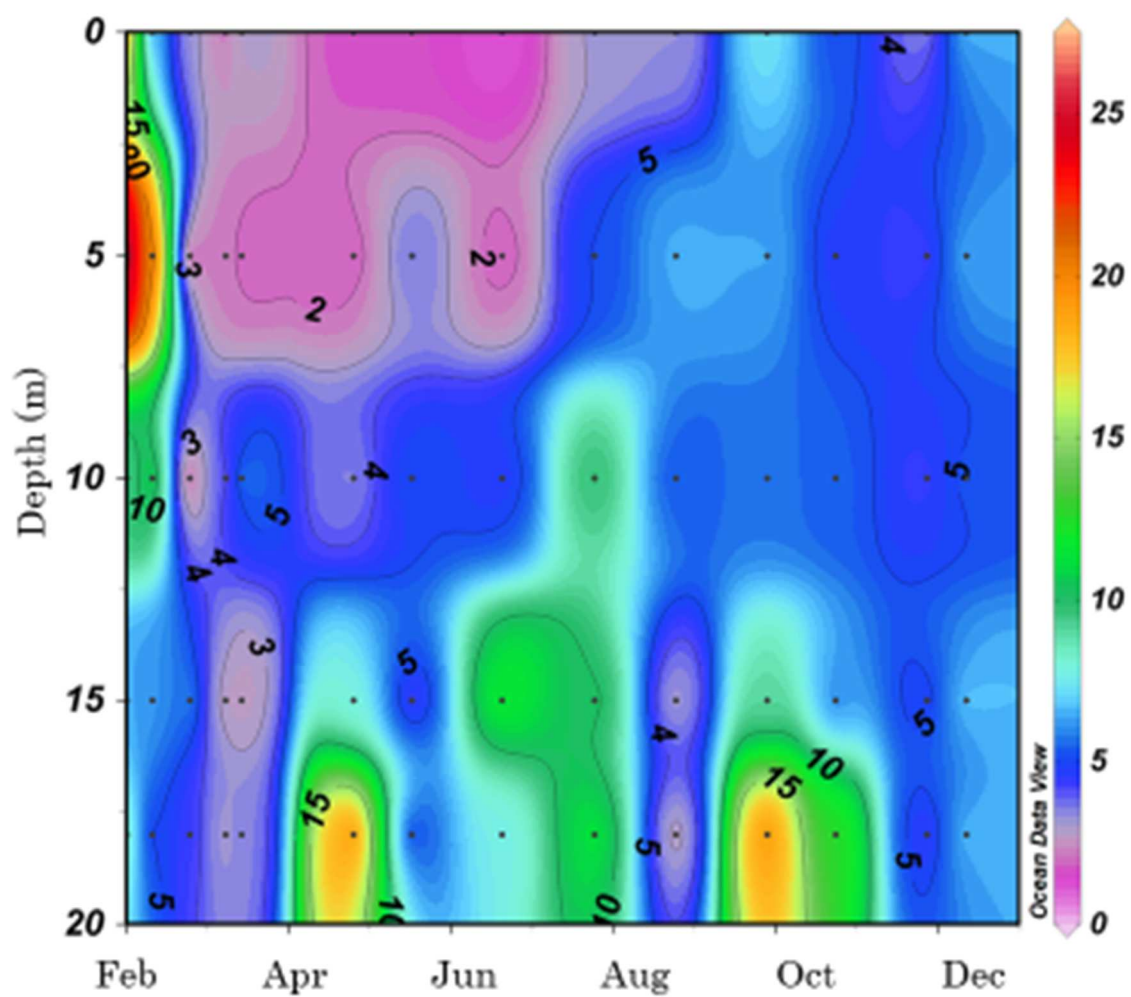
Appendix fig. 36. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2016.



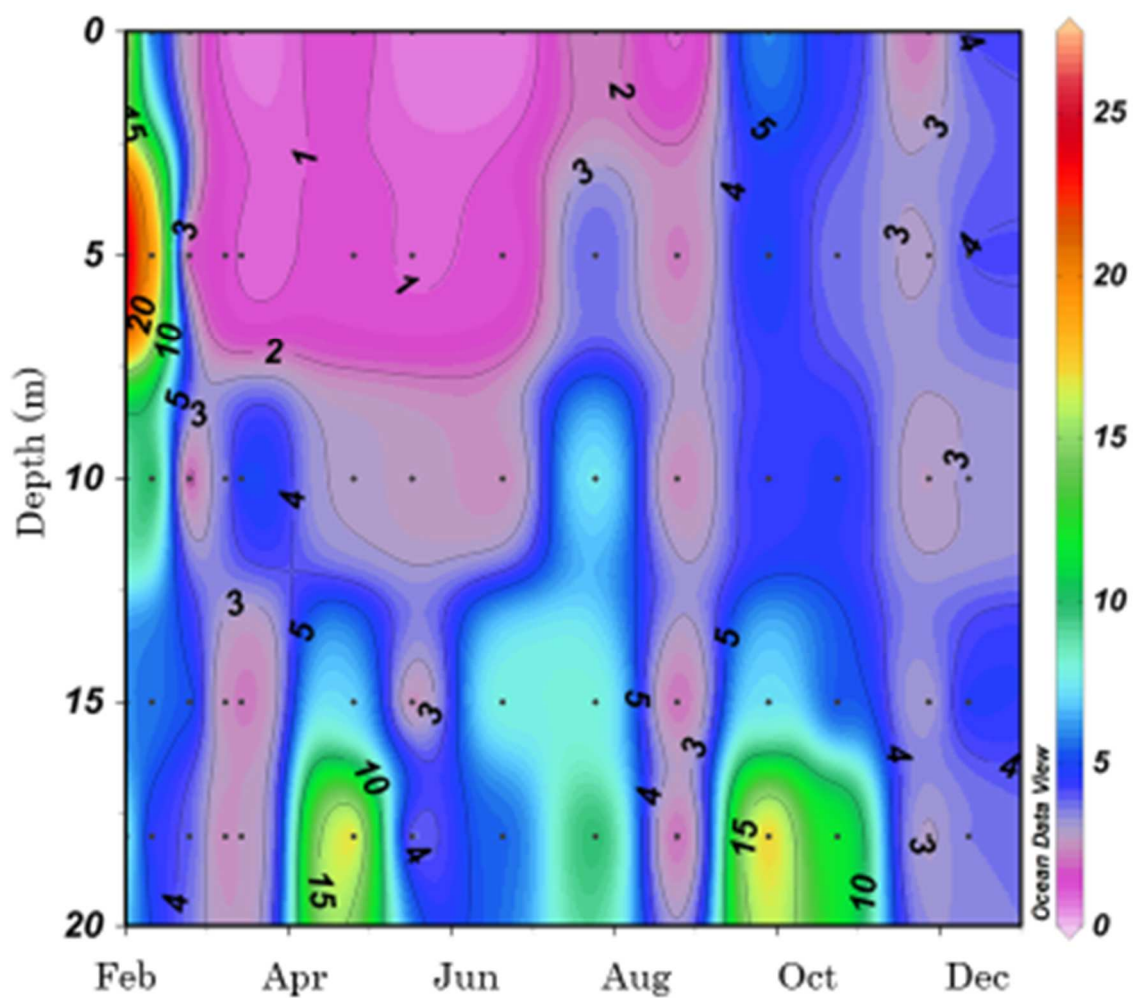
Appendix fig. 37. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2017.



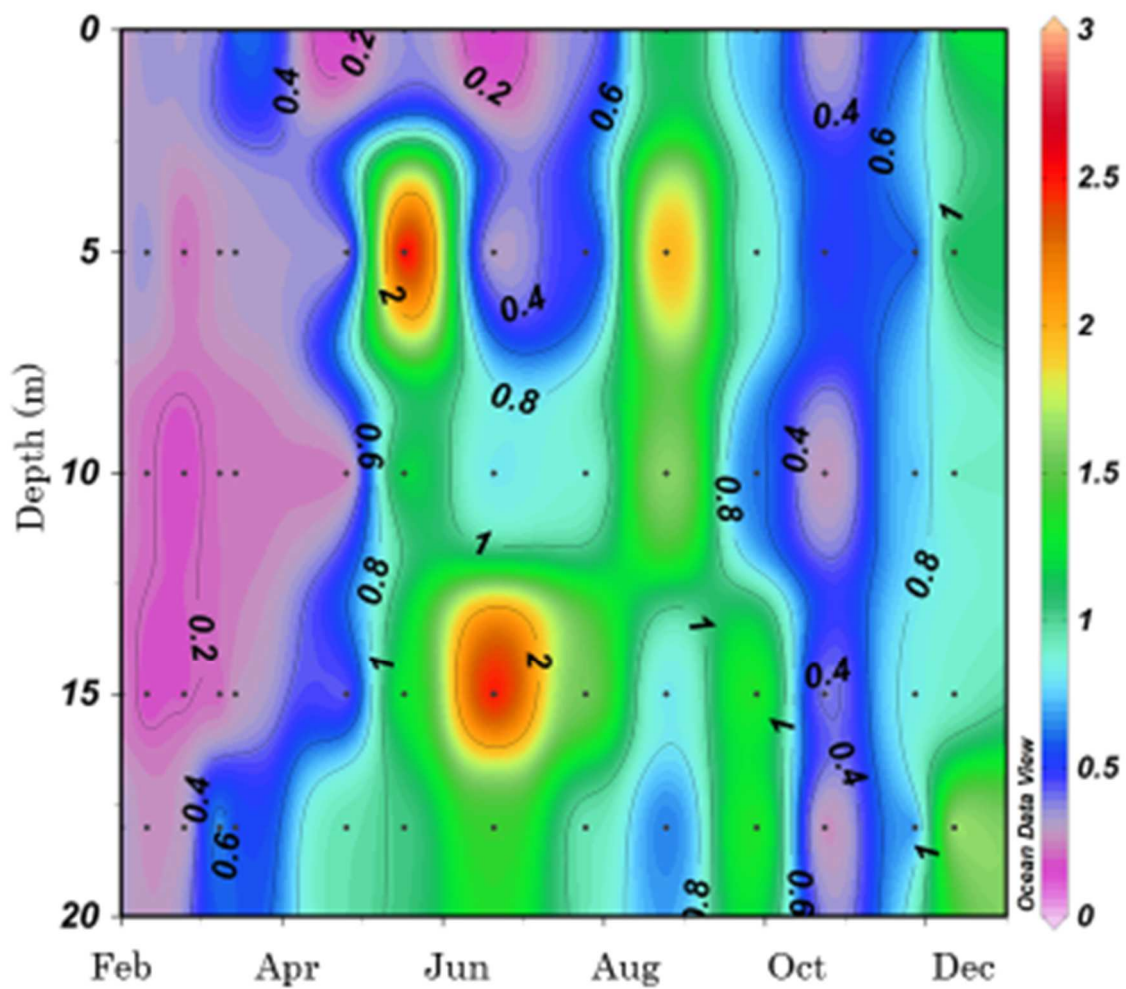
Appendix fig. 38. Seasonal changes of salinity at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2017.



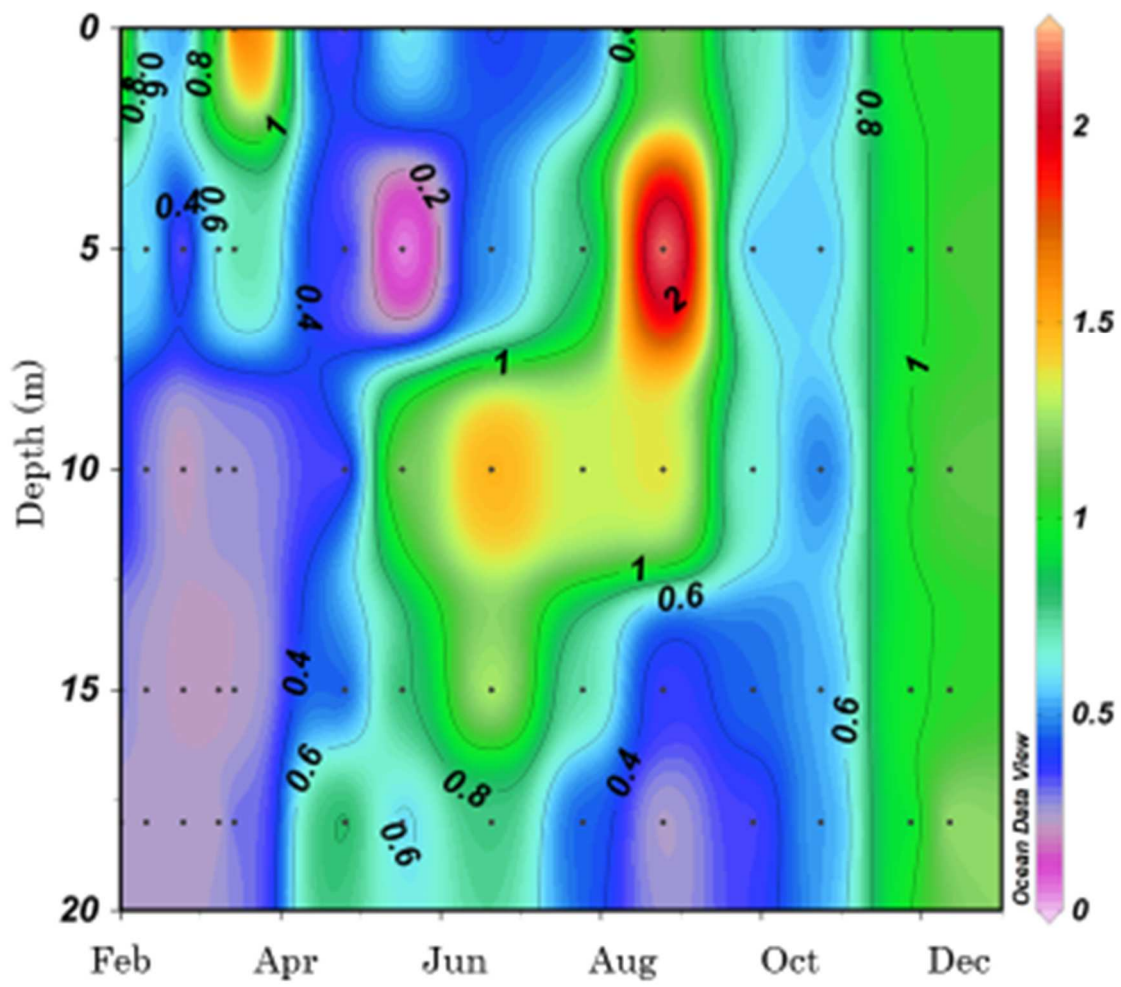
Appendix fig. 39. Seasonal changes of total size fraction Chl. *a* concentration (µg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2017.



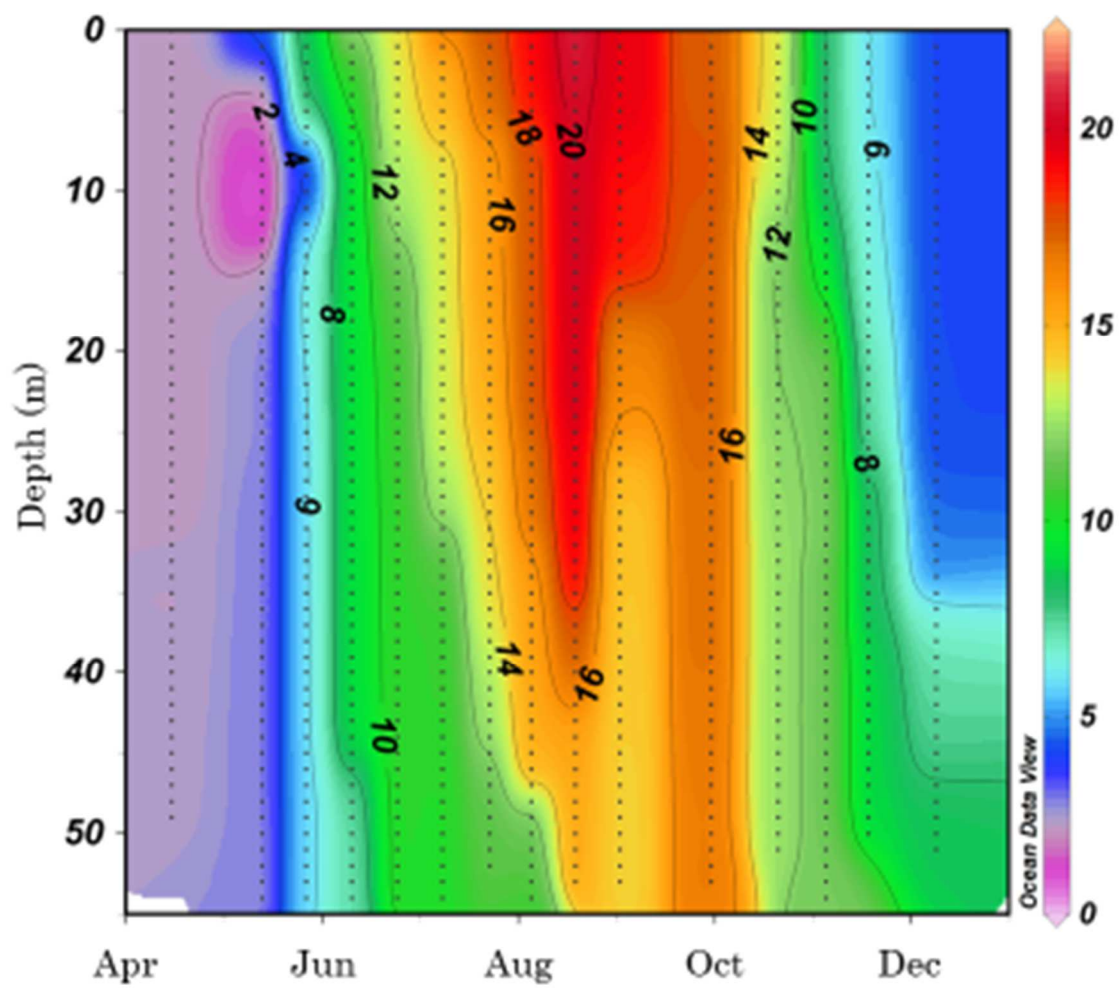
Appendix fig. 40. Seasonal changes of >10 µm fraction Chl.*a* concentration (µg/L) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2016.



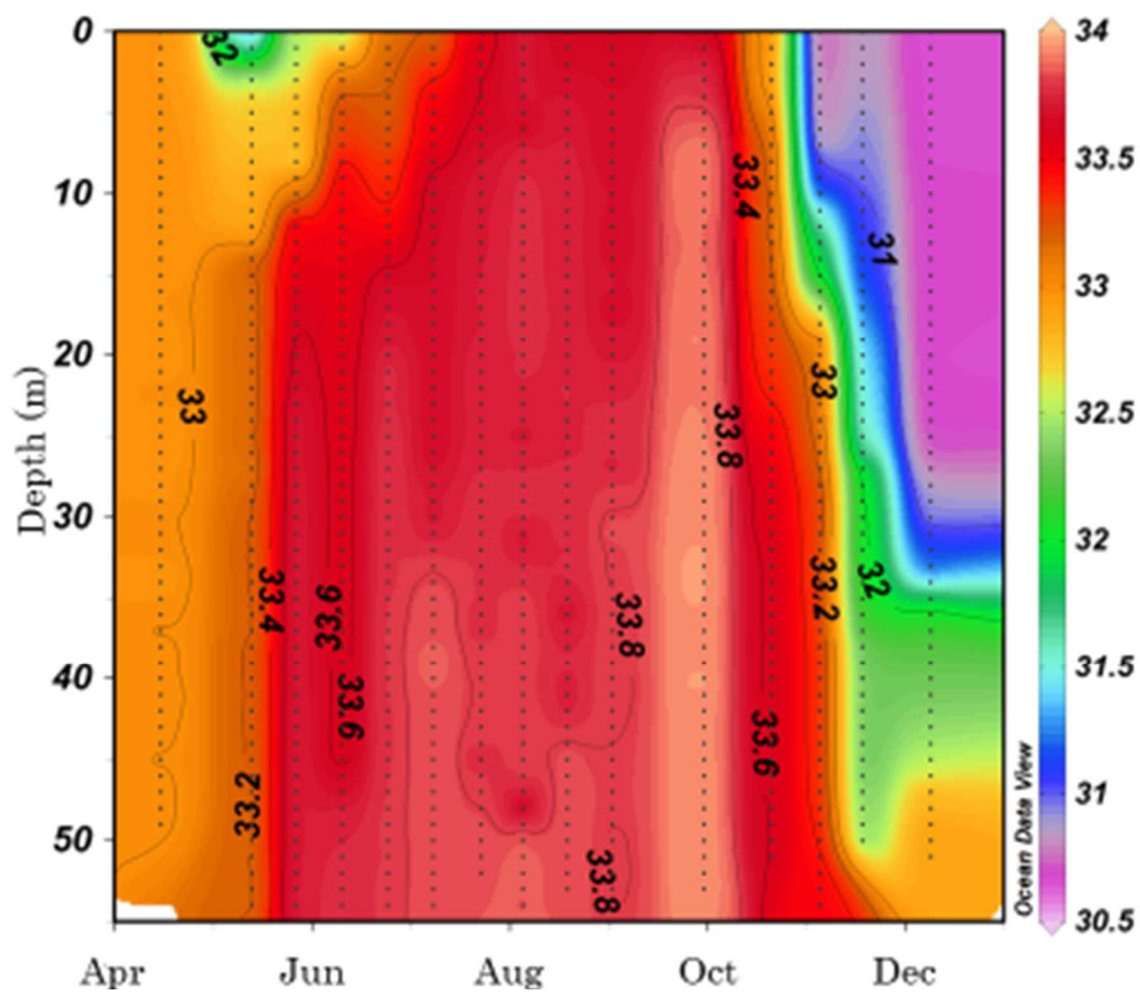
Appendix fig. 41. Seasonal changes of 2-10 μm fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2017.



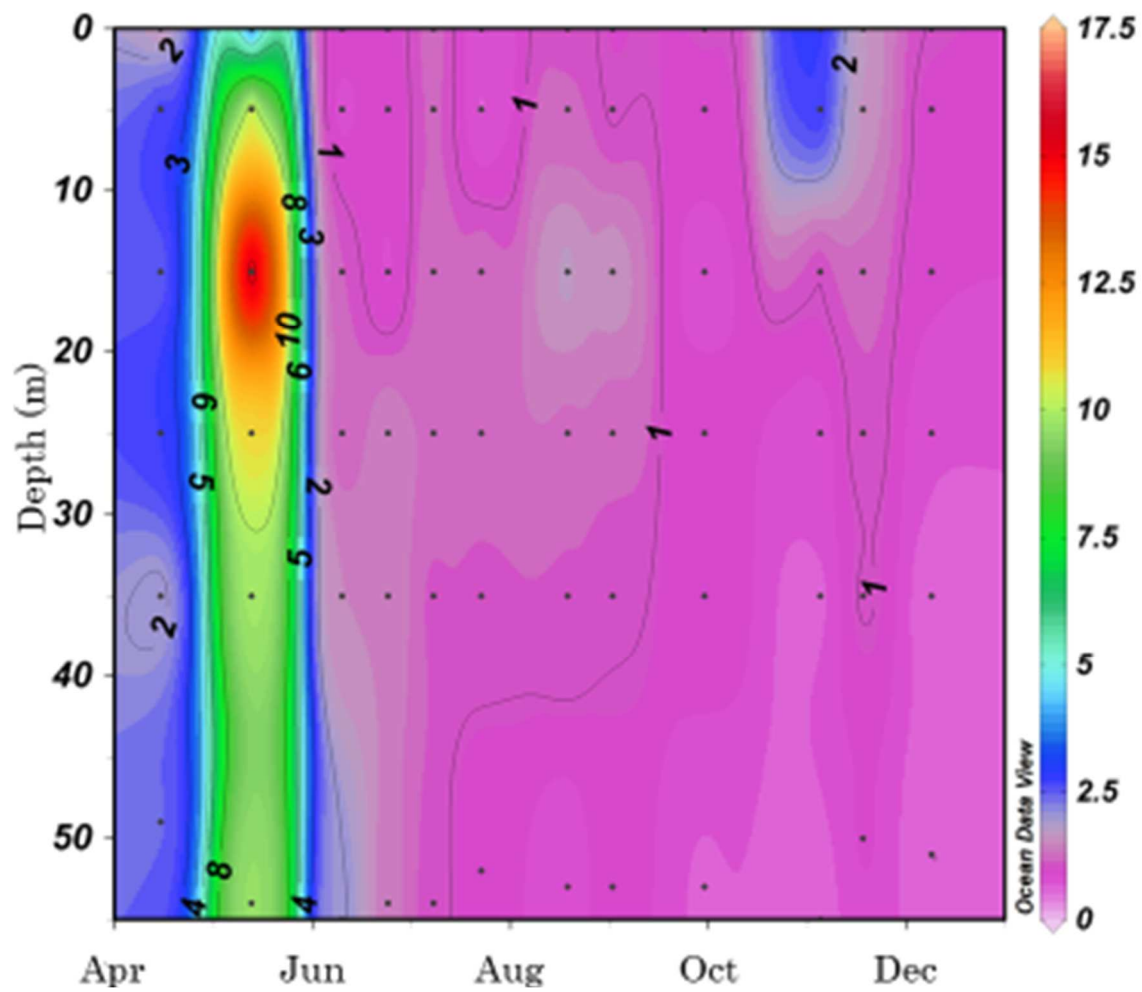
Appendix fig. 42. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. A in Lagoon Notoro-ko from February to December 2017.



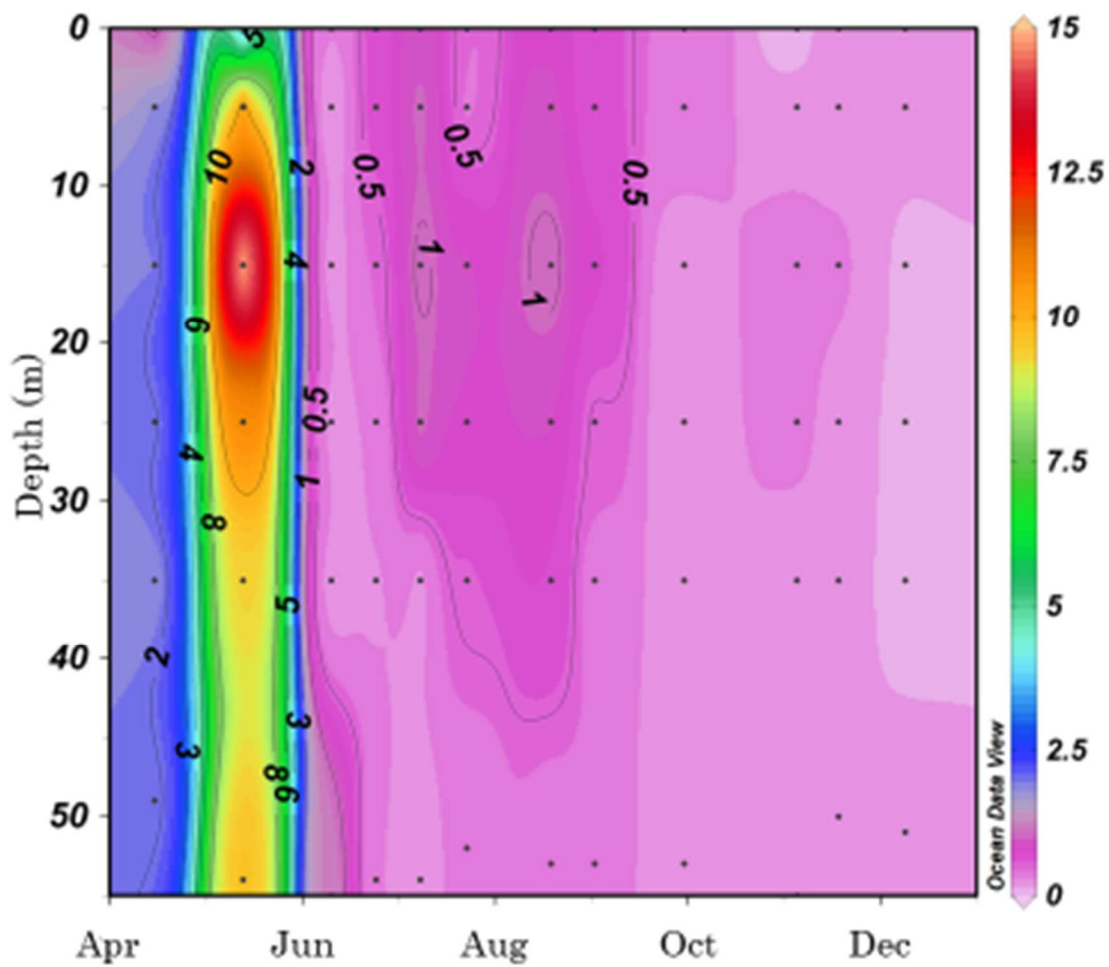
Appendix fig. 43. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2013.



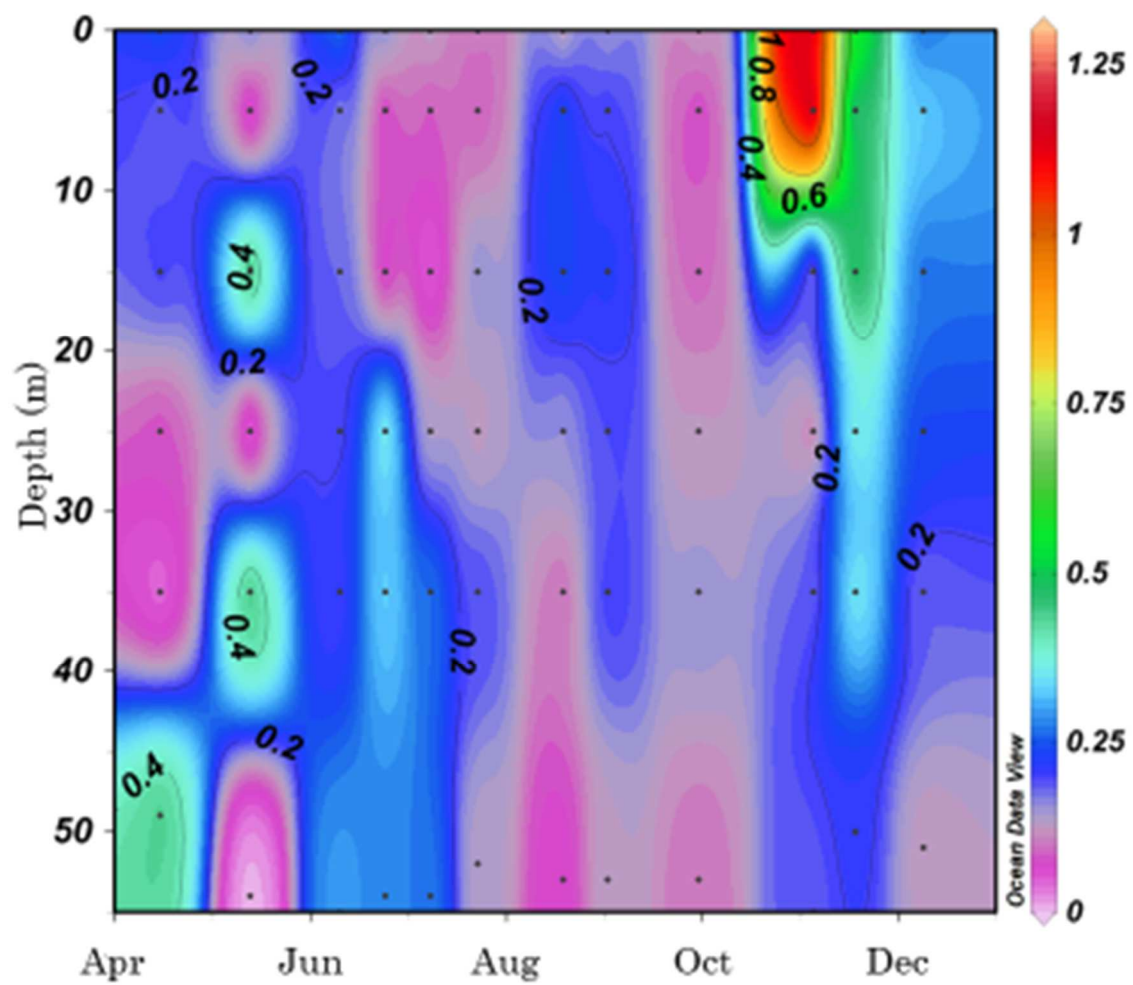
Appendix fig. 44. Seasonal changes of salinity at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2013.



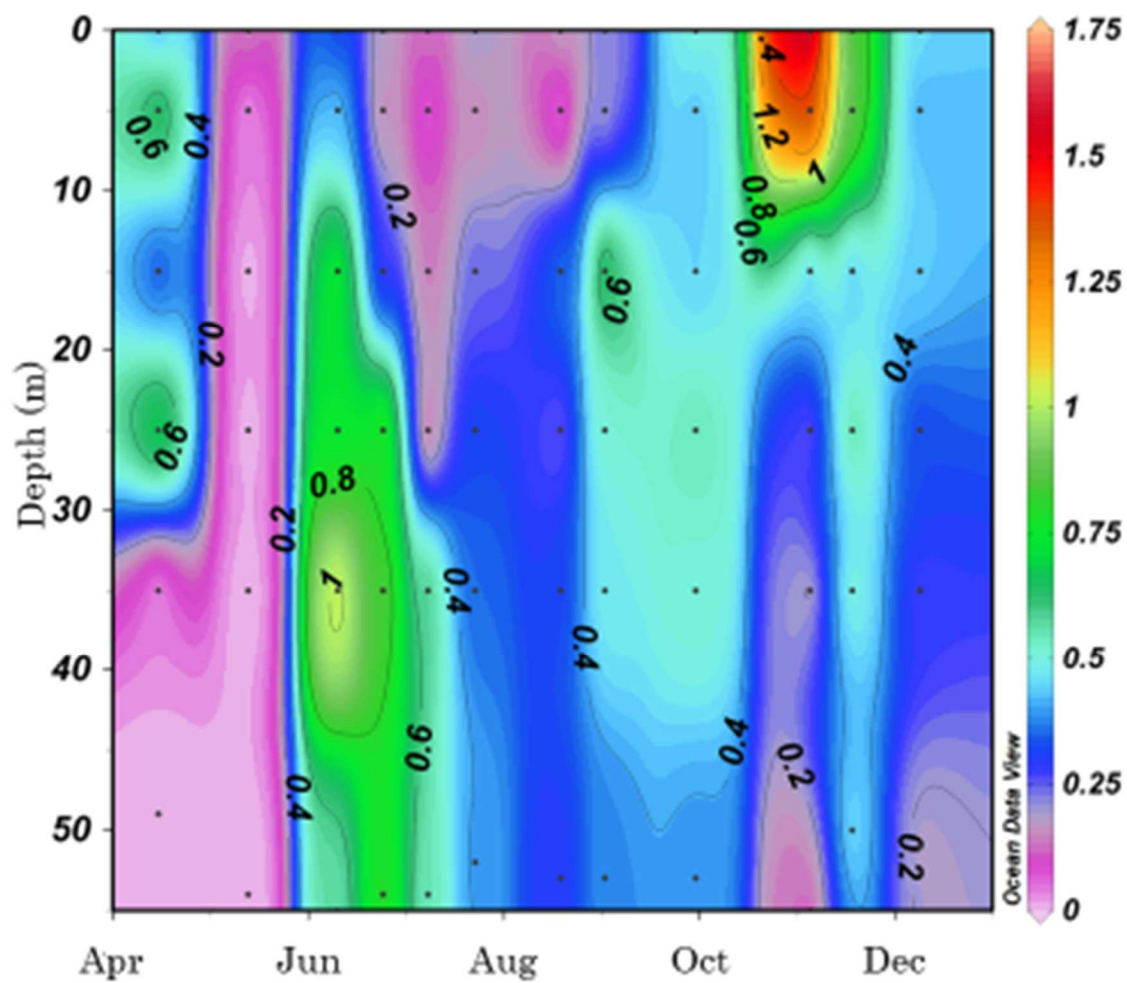
Appendix fig. 45. Seasonal changes of total size fraction Chl. *a* concentration (µg/L) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2013.



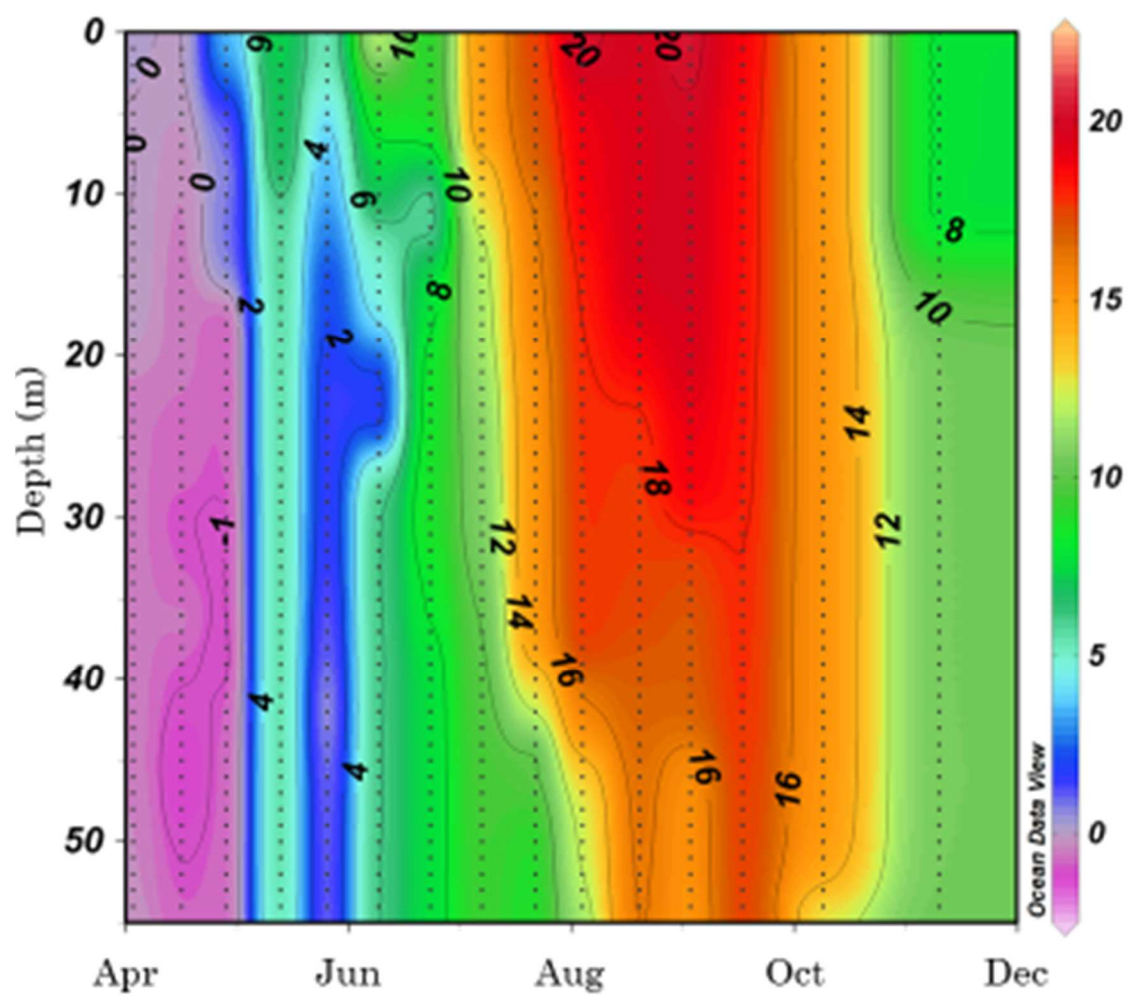
Appendix fig. 46. Seasonal changes of >10 μm fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2013.



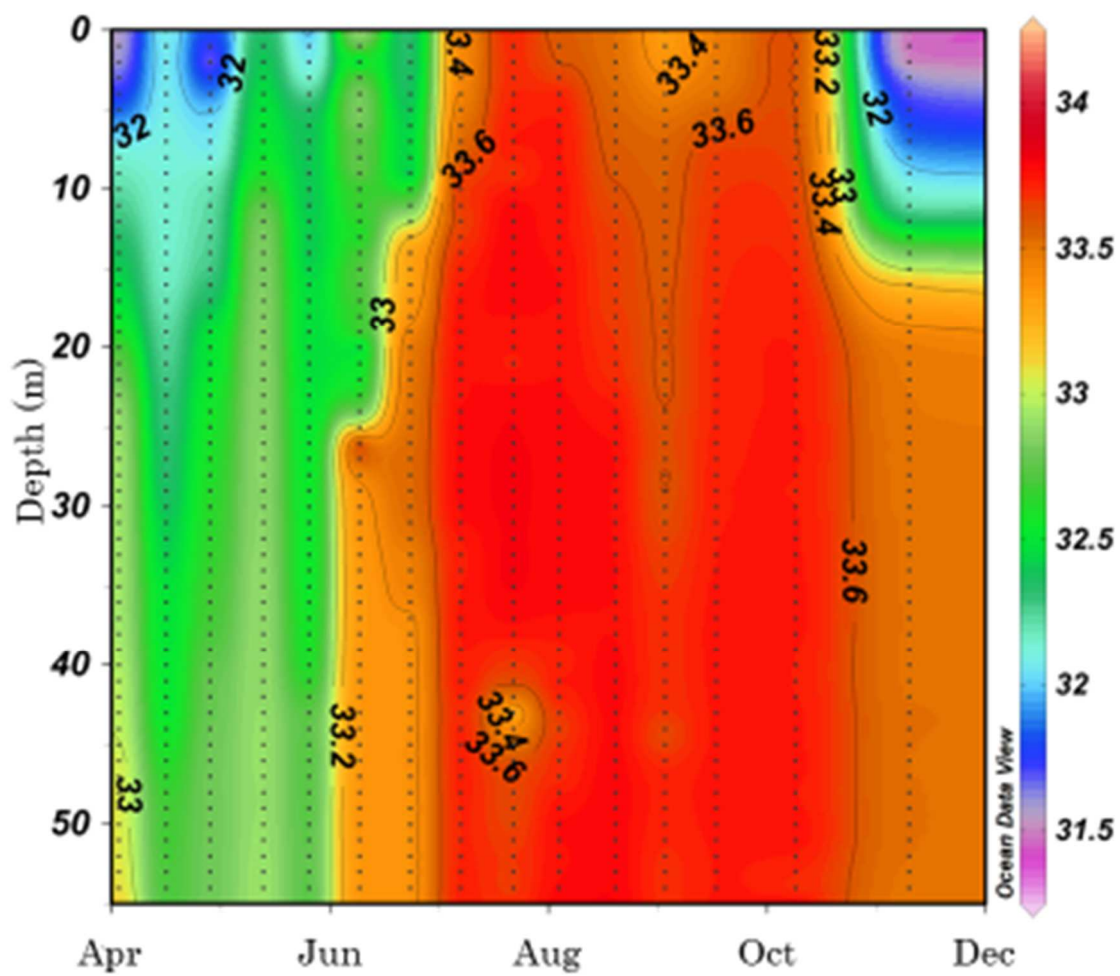
Appendix fig. 47. Seasonal changes of 2-10 µm fraction Chl.*a* concentration (µg/L) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2013.



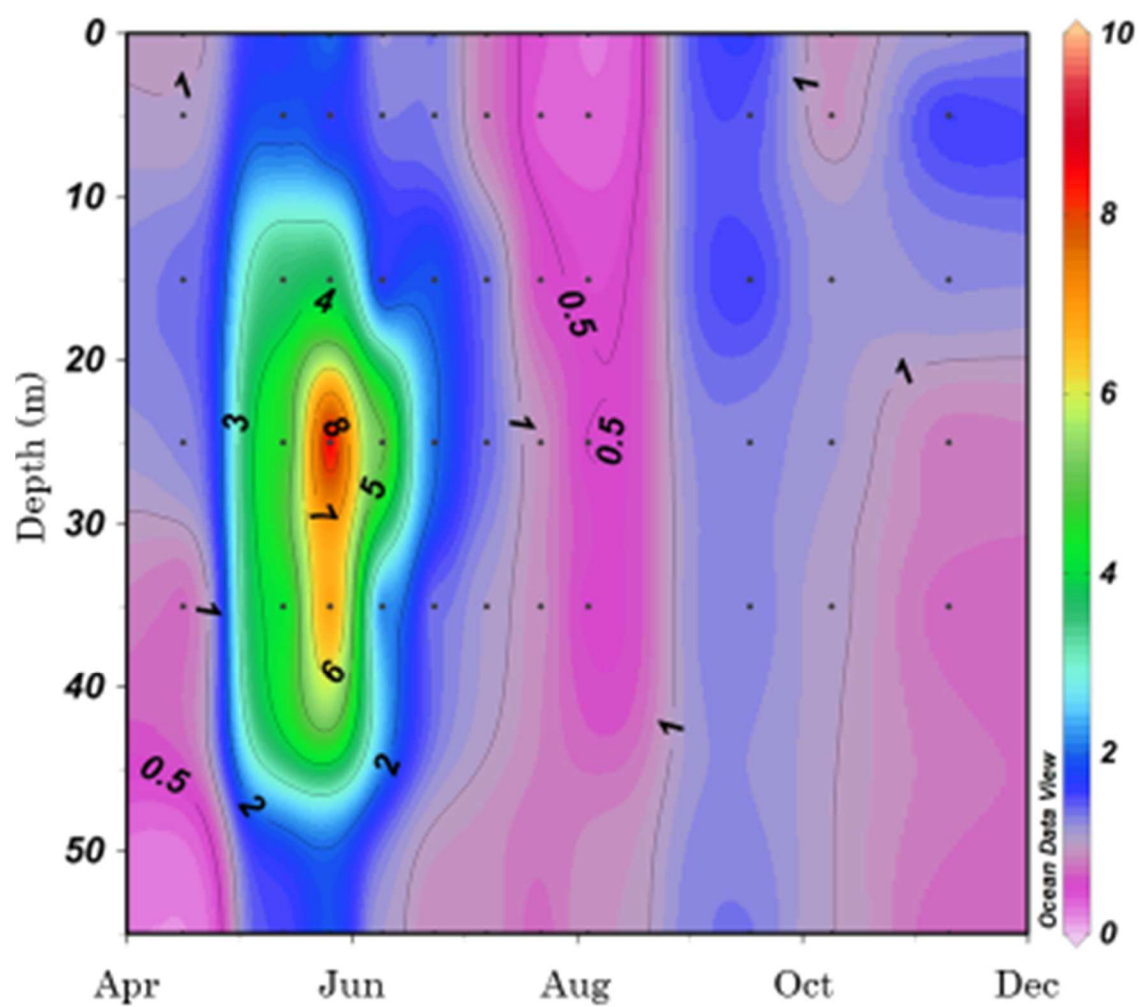
Appendix fig. 48. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2013.



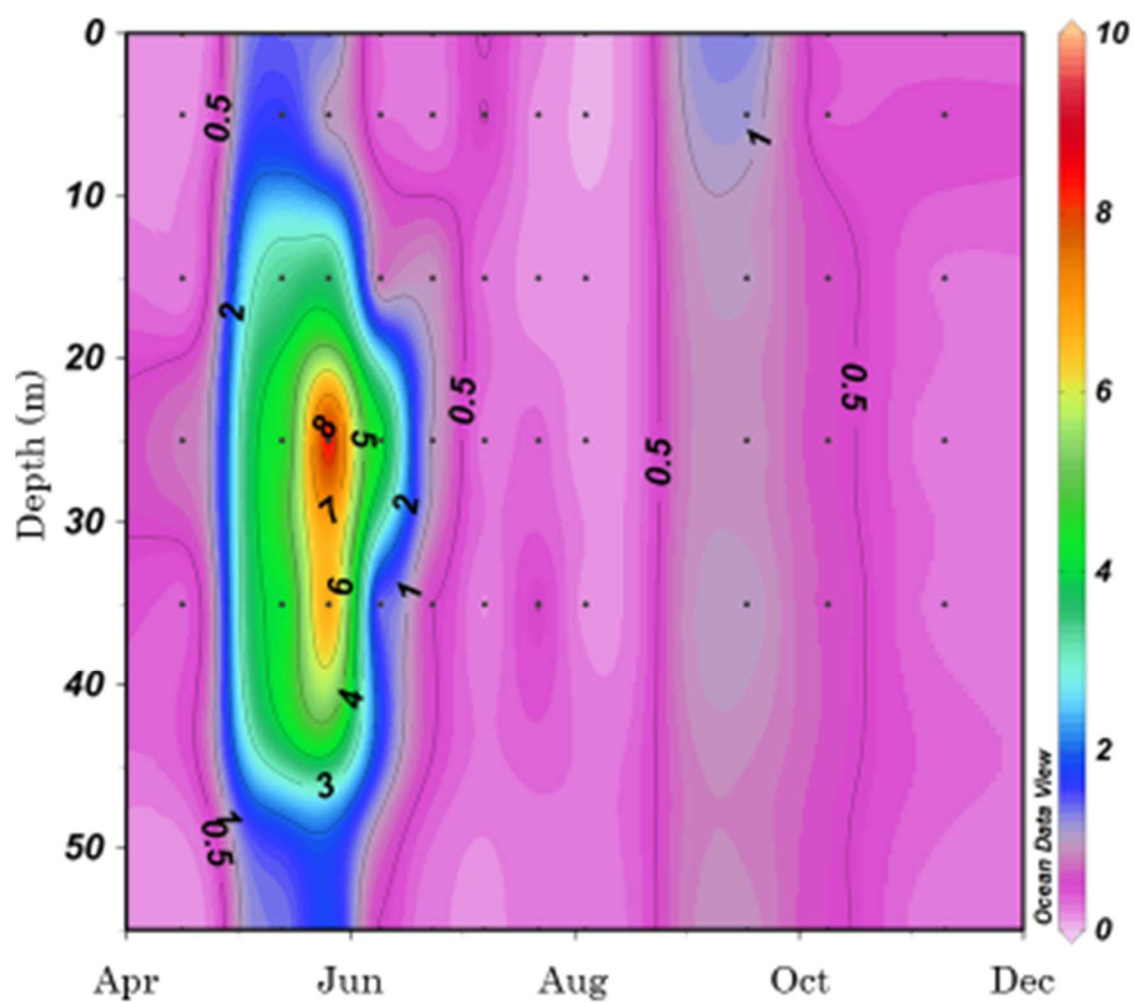
Appendix fig. 49. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2014.



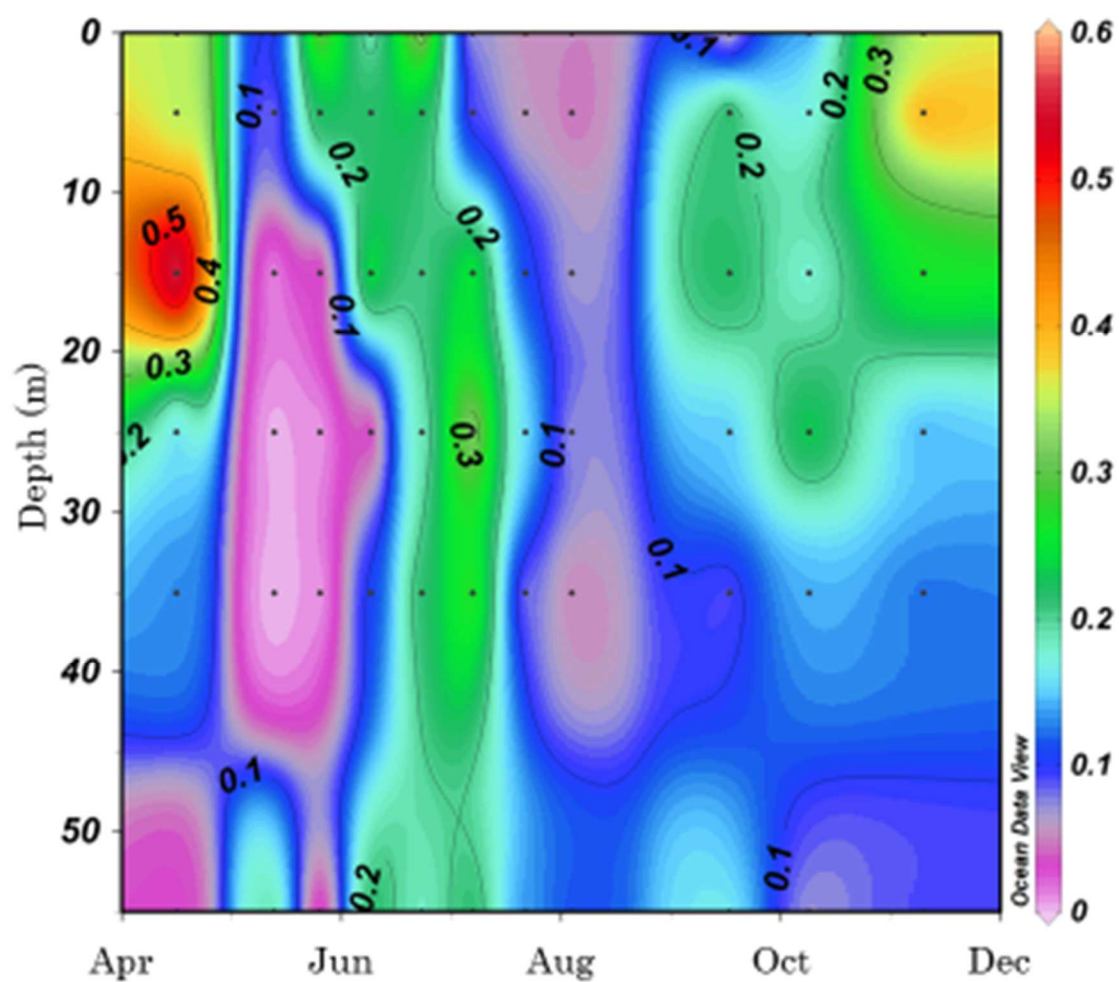
Appendix fig. 50. Seasonal changes of salinity at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2014.



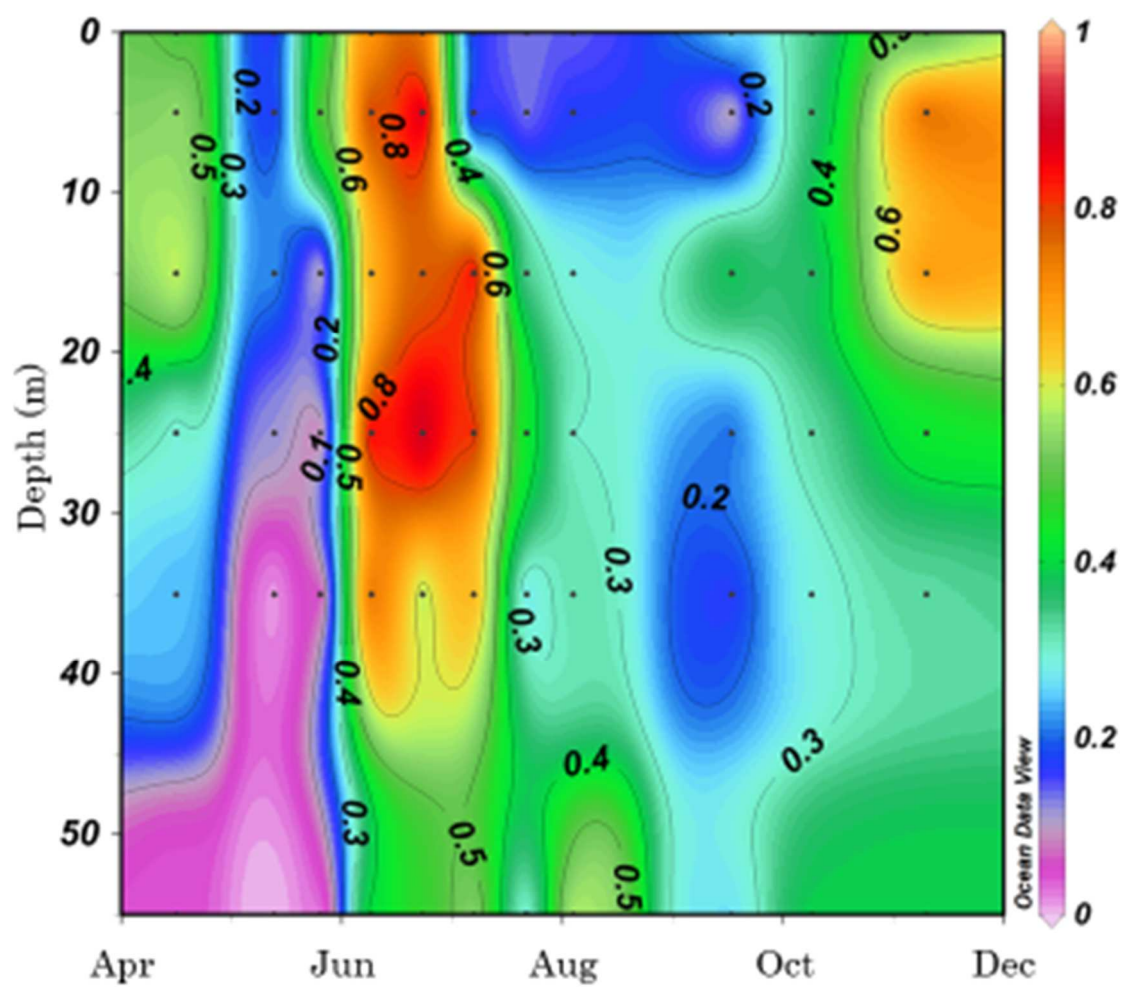
Appendix fig. 51. Seasonal changes of total size fraction Chl. *a* concentration (µg/L) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2014.



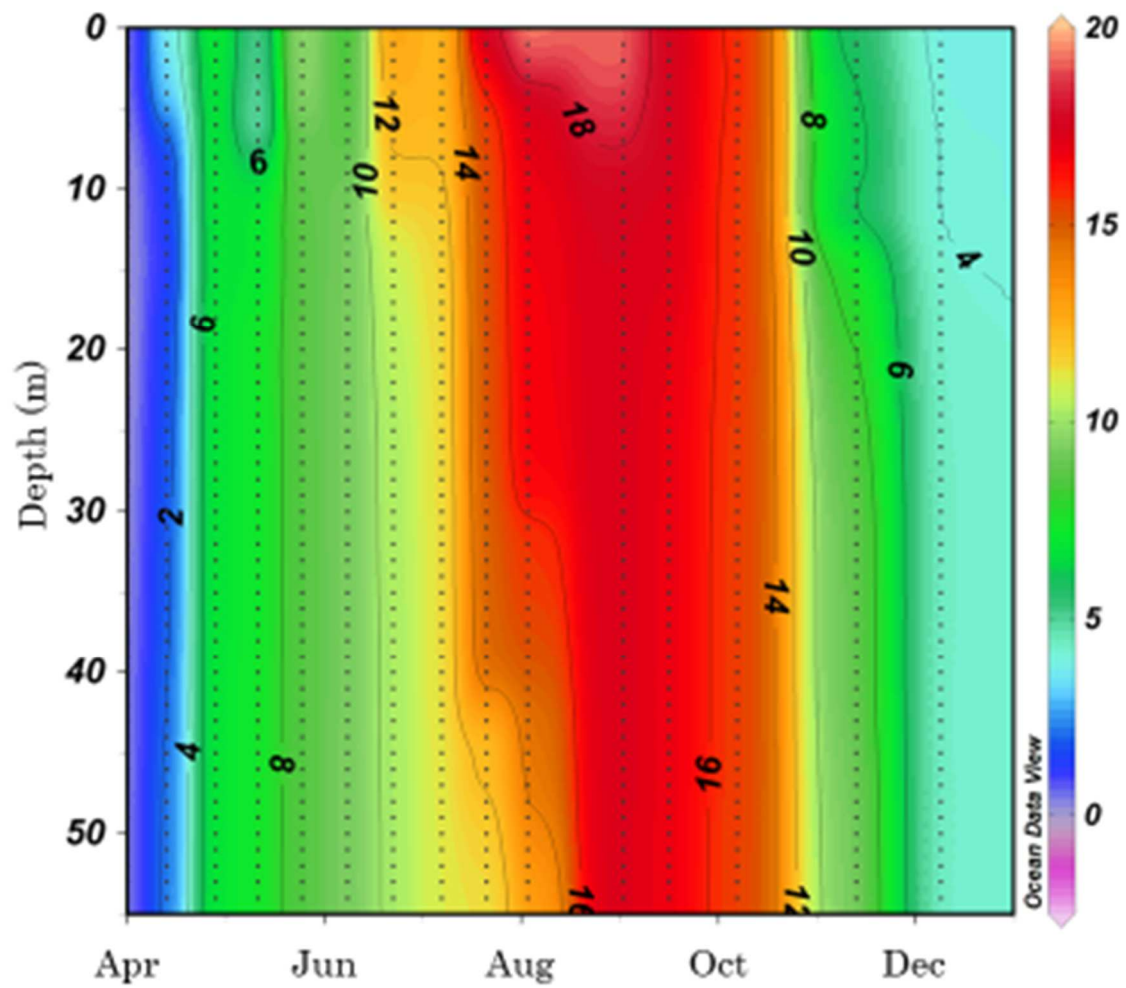
Appendix fig. 52. Seasonal changes of >10 μm fraction Chl.*a* concentration (μg/L) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2014.



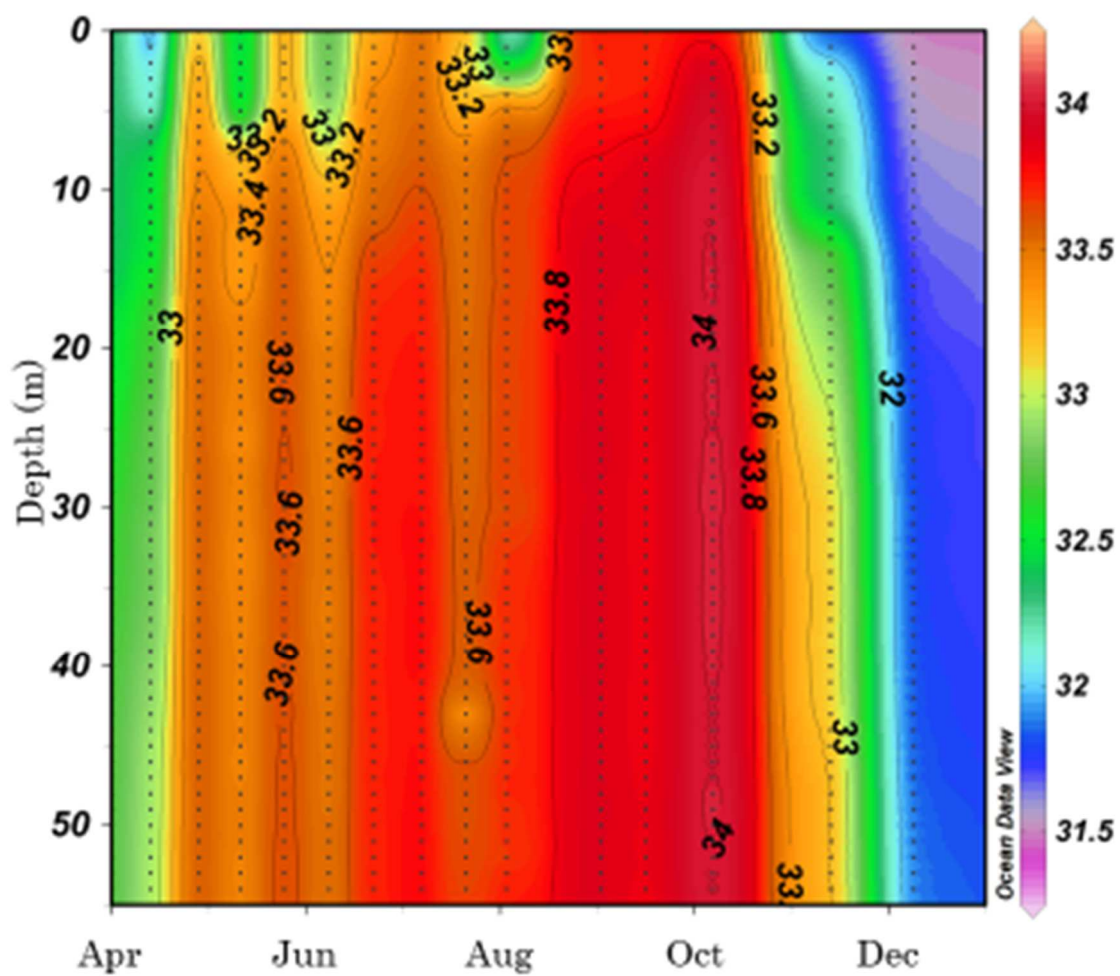
Appendix fig. 53. Seasonal changes of 2-10 µm fraction Chl.*a* concentration (µg/L) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2014.



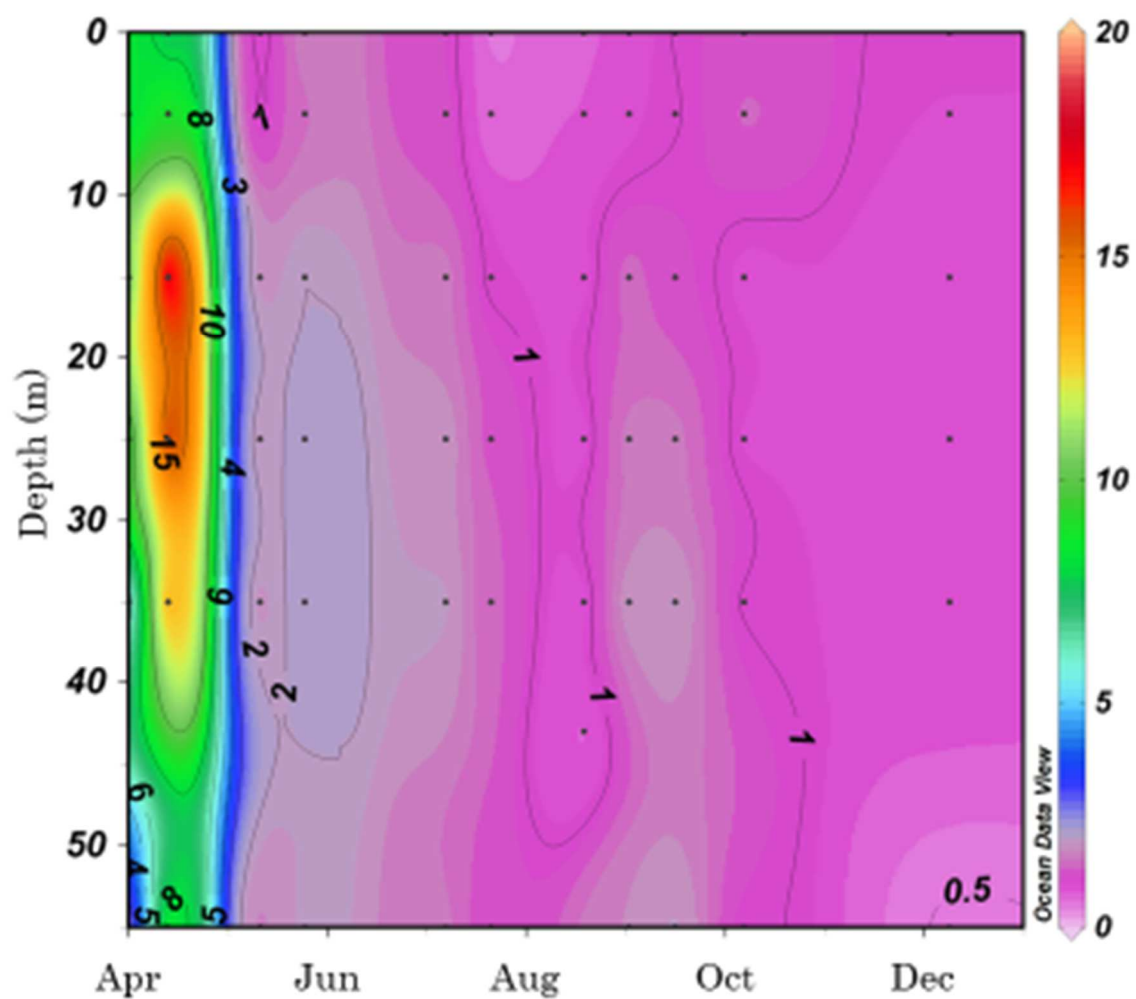
Appendix fig. 54. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2014.



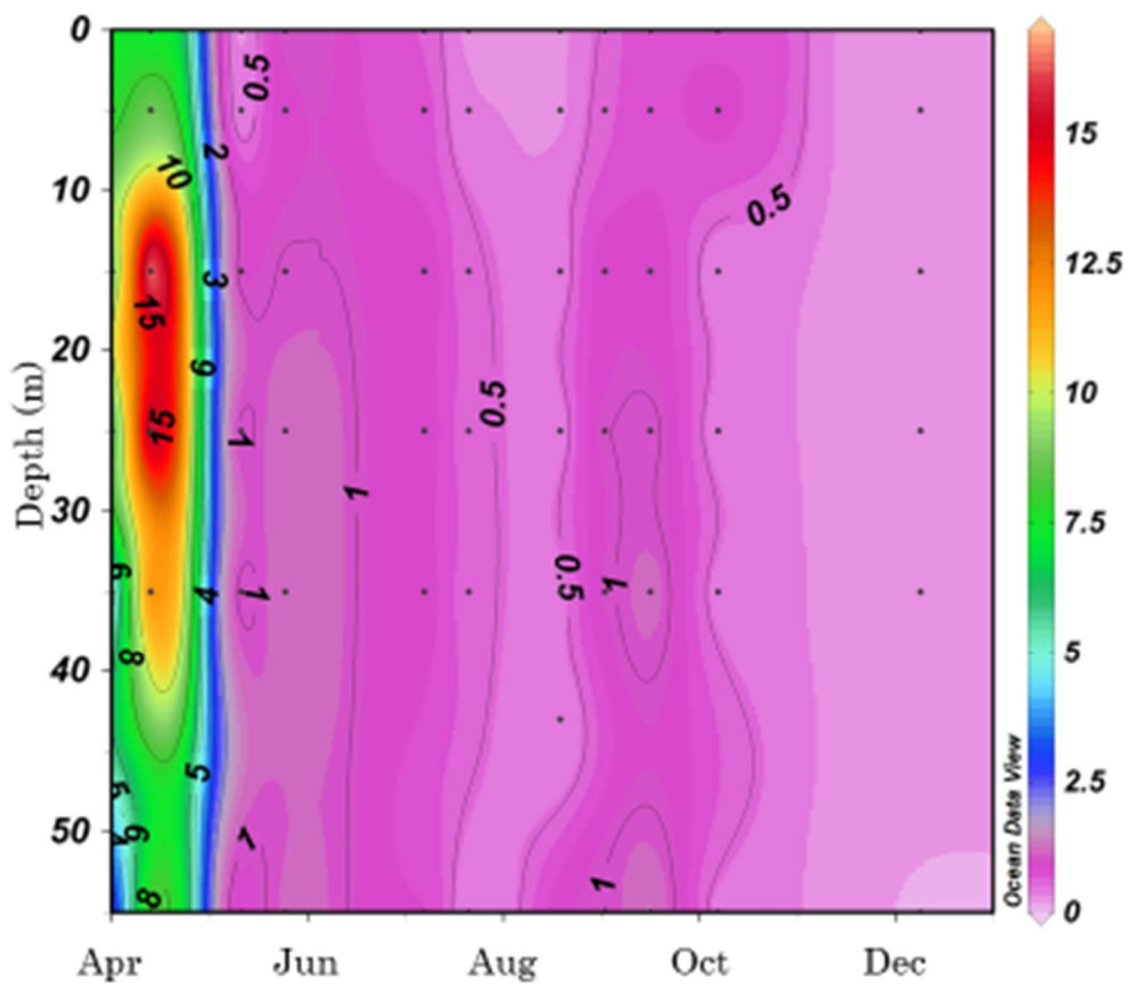
Appendix fig. 55. Seasonal changes of water temperature (°C) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2015.



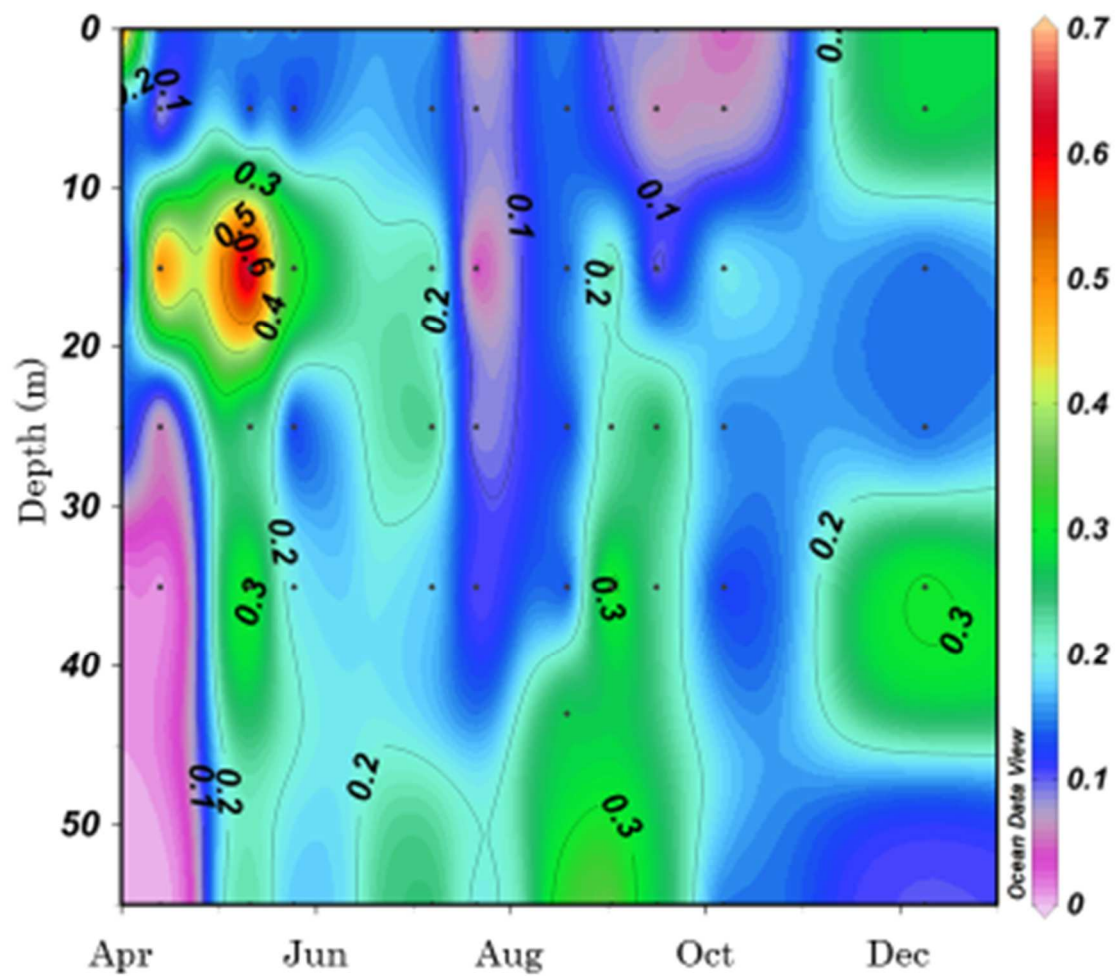
Appendix fig. 56. Seasonal changes of salinity at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2015.



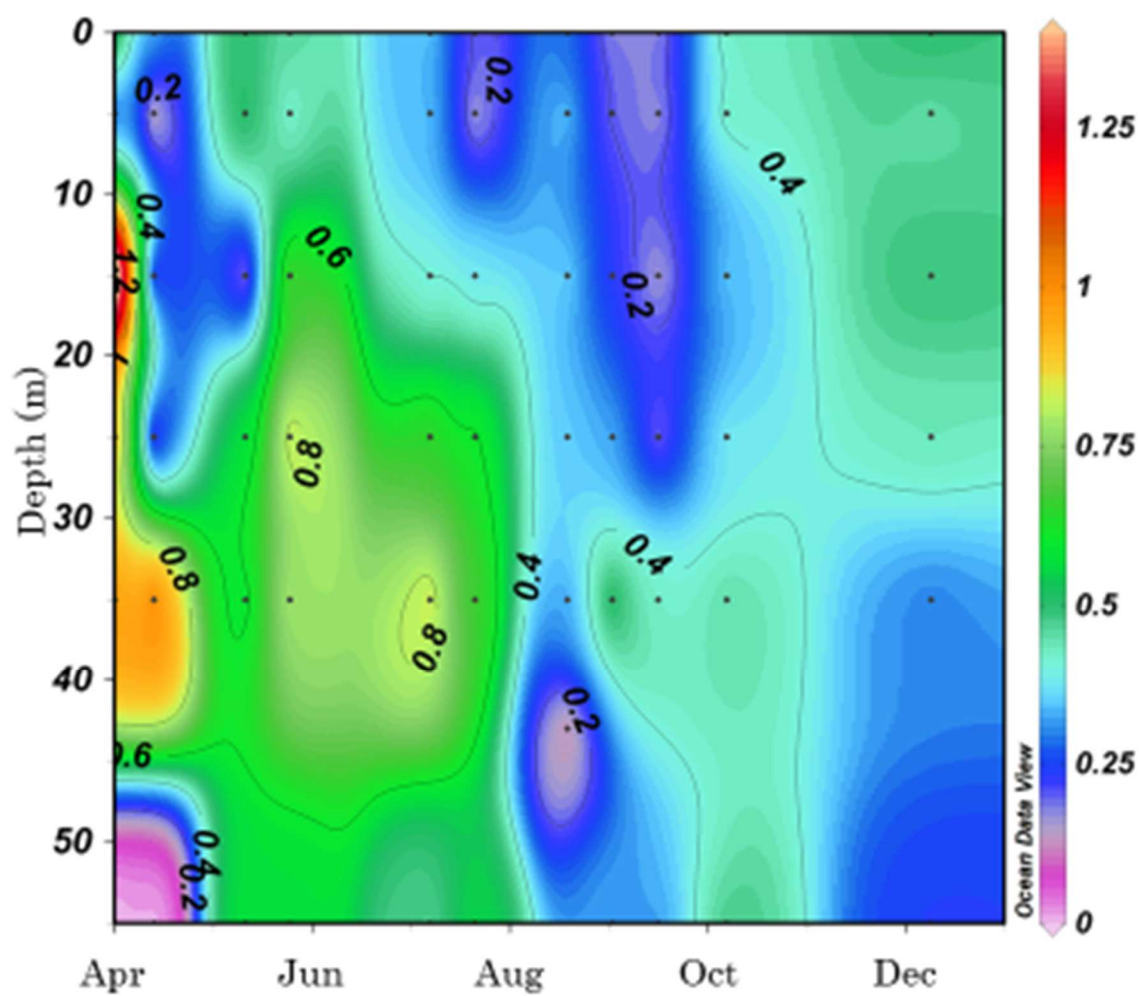
Appendix fig. 57. Seasonal changes of total size fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2015.



Appendix fig. 58. Seasonal changes of >10 µm fraction Chl.*a* concentration (µg/L) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2015.



Appendix fig. 59. Seasonal changes of 2-10 μm fraction Chl.*a* concentration (μg/L) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2015.



Appendix fig. 60. Seasonal changes of $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction Chl.*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at St. B in coastal area of southwestern Okhotsk Sea from April to December 2015.