

Megascolecidae ミミズが  
土壌環境に及ぼす影響に  
関する研究

2021 年

金子 貴徳

博士論文

Megascolecidae ミミズが  
土壌環境に及ぼす影響に  
関する研究

金子 貴徳

主査 藤川 智紀

副査 三原 真智人

副査 横田 健治

副査 中島 亨

2021年3月20日

# 論文要旨

## 第 1 章 研究背景と目的

近年、農業の生産性を高めるために、化学肥料の使用が増加傾向である（FAOSTAT, 2019）が、過度の化学肥料の使用によって、土壌微生物や土壌動物の減少や死滅（Bagyaraj and Patil, 1975; Wessen *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2014）、土壌の物理性や化学性の低下（Batey, 2009; Jaffar and Behzad, 2016; Chandini *et al.*, 2019）する危険性が指摘されている。今後も化学肥料の多投が続くと、土壌環境の生態系が崩壊することが危惧される。一方、土壌動物は有機物の粉砕や土壌と有機物の混合により、土壌養分の蓄積や腐植形成などの土壌環境の変化が現れる。土壌環境の変化によって、動植物の増減や作物成長の促進などの有能な働きを有するものが多く、中でもミミズは生息する面積当たりの生重量が最も大きい種の一つであることから土壌の理化学性への影響が大きいと考えられる。ミミズは一般的に土壌中で目視ができる大型ミミズ類と目視できない小型ミミズ類に分類される。特に大型ミミズ類は活動量も大きく、土壌の理化学性に与える影響が大きいと予想される。この大型ミミズ類は大きく 2 つの科、ヨーロッパなどの冷帯から温帯などの広く地域に分布するツリミミズ科（Lumbriculidae）と、東南アジア

アやオーストラリア、ニュージーランド、日本、インドなどの温帯地域に分布するフトミミズ科 (Megascolecidae) に分類される。ミミズ研究が盛んなヨーロッパでは一般的にツリミミズ科をミミズと指す。日本に生息するミミズ相の 95% はフトミミズ科であり、約 8 科 134 種以上生息していると言われている。ミミズの生活型は、生息層位や形態、食性などを基に分けられ、ミミズの分類際にも必要となる。最も一般的に用いられているのは、Bouché (1977) が提案しているツリミミズ科の表層性種、地中性種、表層採食地中性種の 3 つ生活型である。日本のフトミミズ科の生活型は表層種、浅層種、深層種に分けられ、色や環帯、剛毛などの外部形態ではなく、腸盲嚢や生殖腺などの内部形態との関係性があることが分かっている (石塚, 2001)。また、フトミミズ科の表層種、浅層種、深層種は、それぞれツリミミズ科の表層性種、地中性種、表層採食地中性種に対応するのでないかと考えられている。しかし、外部形態や内部形態の変異も多いので、分類だけではなく、生活型の分類も海外に比べて進んでいない。土壌理化学性の観点から見ると、ミミズは、摂食・排泄・移動の 3 つの働きを持っており、理化学的性質に対して様々な影響をもたらす。摂食では、ミミズより有機物は粉碎される (Wall and Moore, 1993)。さらに腸内で共生する微生物により分解される (Lavelle *et al.*, 1997)。排泄では、排泄後の

糞中の有機物は微生物により分解され、さらに土壌養分が増加される (Darwin, 1881; Joachim & Kandiah, 1940; 佐々木ら, 1994; 松本, 1977)。移動では、坑道による土壌改変や有機物の地下への移動により、土壌の物理構造の変化 (Jones, 1994) や植物の根の成長に影響する (Langmaack *et al.*, 1999; 伊藤ら, 2001; Edwards, 2004; Kavdir and Ilay, 2011)。

このように、国内外において、糞と周辺土壌の土壌養分濃度の違いや糞内の微生物活性の上昇、ミミズの移動による間隙構造の変化が確認され、またこれらの作用による作物生育の促進効果についての研究が進められている。しかし、土壌環境や気候、植生などの条件によって、農地に生息するミミズの密度は一定ではないことや土壌中を動き回っていることで現場の把握が難しいことから、摂食・排泄・移動の各要素が土壌環境に対してどのような影響を与えるのかが十分に解明されていない。本研究ではミミズの密度（匹数）をパラメータとして、ミミズの摂食・排泄・移動の活動が土壌の土壌養分濃度の変化量や変化速度、さらに作物成長に対してどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とした

## 第 2 章 フトミミズ科が排泄する糞の成分

フトミミズ科の糞の特性や糞量を明らかにするために培養試験を行った。実験では、十分に洗浄した後、24 時間ビーカー内に入れ、消化器官内に含まれている餌や糞を排泄させたフトミミズ科を、土壌を入れたビーカーに入れ、再度 24 時間培養した。培養後、土壌からミミズを取り出し、体外をもう一度洗浄した後、ビーカー内で 24 時間もしくは 48 時間静置し、ビーカー内に排泄された糞の質量および可給態リン酸、硝酸態窒素濃度を測定した。なお、今回の実験では糞や尿、粘液の区別が難しいので排泄物を全て糞とした。実験で用いたフトミミズ科は、神奈川県川崎市の果樹地の地表面から 10 cm 深に生息しているものを採取した。土壌試料はミミズを採取した農地と同じ神奈川県川崎市の果樹地の地表面から 10 cm 深から採取し、2 mm 通過分を実験に使用した。培養温度は、採取地の年平均気温  $17.1\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ （横浜市，2018 年）に設定した。分析項目は糞量、可給態リン酸（Trough method）、硝酸態窒素（Cataldo method）である。

その結果、生重量と糞量には排泄時間に関係なく、正の相関が認められた。フトミミズ科の種でほぼ体重に比例した排泄量であること（Watanabe, 1975）が報告されており、本実験でも同様の比例関係が示された。また、排泄時間が異なっても比例関係が示さ、24 時間で生重量の約 36% の糞量、48 時間で約 65% の糞量が

排泄されることが確認された。既往の研究で報告されているミミズの腸内における餌の滞留時間の2～20時間程度（Brown, 1995）と比較すると、本実験でも同様の滞留時間もしくはさらに長い滞留時間ではないかと推察された。24時間で排泄された糞に含まれる栄養成分の濃度を元の土壌と比較すると、可給態リン酸が0.23 mg/g（元の土壌の6倍）、硝酸態窒素が1.89 mg/g（945倍）と高くなった。このことから、ミミズの摂食によりリンと窒素に対する無機化の能力が上昇することが示唆された。リンについては、ミミズの体内や糞内に共生する土壌酵素の一つであるホスファターゼの働きで難溶性リン酸から可溶性リン酸に変化すること（Satchell and Martin, 1984; 宮崎, 2010）が、また窒素に関してはミミズの腸内に共生する細菌により窒素の無機化や硝化反応が行われていたこと（蘇ら, 2017）が理由として考えられる。可給態リン酸と硝酸態窒素を比較すると、硝酸態窒素の濃度の上昇が可給態リン酸の濃度上昇よりも大きくなった。ビーカー内にミミズを48時間静置した場合、可給態リン酸が0.23 mg/g（6倍）、硝酸態窒素が1.84 mg/g（元の土壌の920倍）と高くなった。

このことから、ミミズの摂食および排泄作用により、フトミミズ科の糞は元の土壌より可給態リン酸、硝酸態窒素ともに濃度が高くなることが明らかになった。

### 第 3 章 フトミミズ科による土壤養分と団粒構造の 変化

フトミミズ科の土壤中での動きや糞が土壤の理化学性や団粒構造の変化に各層で生じているかを明らかにするために土壤カラムを用いた培養実験を行った。実験では、内径 15 cm (断面積 1/5,555 a)、高さ 2 cm のアクリルリングを積み重ねたカラムに、土壤を深さ 12 cm まで充填し、そこにミミズを入れた。ミミズの投入後 28 日間放置した後、表層より 0~4 cm、4~8 cm、8~12 cm の 3 つの層に分け土壤を採取し、土壤養分および耐水性団粒に関する分析を行った。投入したミミズは 0、3、10 匹 (0、167、555 匹/m<sup>2</sup>) であり、それぞれ EI、EII、EIII と表した。実験で用いたフトミミズ科および土壤は、第 2 章と同じ採取地から採取した。分析項目は可給態リン酸 (Trouw method)、硝酸態窒素 (Cataldo method)、耐水性団粒 (Yoder method) である。

その結果、今回実験に用いたミミズは、どの時点でも密度に関係なく、4~8 cm と 8~12 cm の層に多く生息しており、今回の実験条件では、フトミミズ科は表層部よりも下層部で活動することが確認された。土壤分析の結果、28 日後に採取した EIII (10 匹) 区の可給態リン酸濃度は、表層より、10 mg/100 g (0~4 cm)、13 mg/100 g (4~8 cm)、18 mg/100 g (8~12 cm) になり、ミミズの活動が活発な深い層ほど濃度が高くなっ



ていることが示された。ミミズの有無（0匹と10匹）で比較すると、1.2倍（0～4 cm）、1.7倍（4～8 cm）、2.2倍（8～12 cm）に上昇し、さらにEII（3匹）よりEIII（10匹）の濃度の方が高かった。また硝酸態窒素濃度は、11 mg/100 g（0～4 cm）、12 mg/100 g（4～8 cm）、9 mg/100 g（8～12 cm）になった。硝酸態窒素もミミズの有無（0匹と10匹）で比較すると、1.9倍（0～4 cm）、2.5倍（4～8 cm）、2.0倍（8～12 cm）に上昇し、さらにEII（3匹）よりEIII（10匹）の濃度の方が高くなる傾向を示した。可給態リン酸とは異なり、上層部ほど硝酸態窒素濃度が高い傾向となった。ミミズの生息域において土壤中の細菌による硝酸の生成が活性化しているだけでなく、硝化菌は好気性微生物のため、好気条件である上層部において活性が高く、硝酸態窒素が高濃度になったと推測される。耐水性団粒の分析結果からは、表層部においても団粒化が進んでいることが確認されており、団粒化の促進により、特に表層では大きな間隙が生成され、排水性が上がることで気相率が高まり、好気的な環境が生成されやすくなることで硝化菌の活性がより高められた可能性もある。

このことから、ミミズの移動作用によって、下層部で活動することで土壤中に坑道を形成し、摂食および排泄作用により、土壤中に糞を排泄し、可給態リン酸や硝酸態窒素、耐水性団粒の濃度が高くなることや粒

割合の変化が明らかになった。

また、本章のカラム実験の結果と、第3章のミミズによる土壌養分の増加量を用いて、土壌養分の増加がミミズの摂食や排泄作用による糞由来の土壌養分の割合を計算した。その結果、可給態リン酸は10～20%、硝酸態窒素は数値の幅が大きく80～200%が糞由来の成分であることが推測された。可給態リン酸については、糞として土壌中に排泄された有機物が土壌微生物により分解され、可給態リン酸量が増加するのに対し、硝酸態窒素は水分による移動が容易のため、下方へ溶脱したり、下層部が還元状態だったためにアンモニアに変化、さらには有機態窒素への窒素固定が生じたりしていた可能性が考えられる。

#### 第4章 フトミミズ科が作物生長に与える影響

フトミミズ科を入れて培養した土壌で作物を栽培した際にどのような影響が起こるのかを解明するための栽培試験を実施した。1/5,000 a のワグネルポットに土壌を充填し、ミミズと化成肥料を入れて14日間培養した。培養後、コマツナを播種して栽培を行った。実験で用いたフトミミズ科および土壌は、第2、3章と同様の採取地から採取し、ミミズの密度の条件については第3章と同様である。化学肥料は8:8:8の化成肥料を用いた。分析項目は作物の生重量および乾物重量である。各条件下で3反復のポットで実験を行っ

た。

その結果、ミミズの密度が高くなるにつれて、作物の生重量および乾物重量が重くなり、大きくなる傾向が示された。ミミズ区で収穫したコマツナの重量を化成肥料区の重量と比較した結果、EII（3匹）は化成肥料の施肥量の0.18 gに相当し、EIII（10匹）は化成肥料の施肥量の1.0 gに相当することが分かり、化成肥料の施肥量を約1/8～1/2ぐらいまでの抑制できると示唆された。これらのことから、ミミズの動きや糞の働きで作物成長を促進させ、化学肥料量も抑制することが可能性であることが示された。

## 第5章 総括

フトミミズ科から排泄された糞は元の土壌より、可給態リン酸や硝酸態窒素濃度が大きく上昇させた。また土壌中において、可給態リン酸がミミズの活動する深い層において濃度上昇するのに対して、硝酸態窒素はより表層に近い部分で濃度が上昇した。また、ミミズの密度が高いほど、濃度上昇も促進された。ミミズの排泄物の可給態リン酸濃度および硝酸態窒素濃度と、土壌全体の可給態リン酸および硝酸態窒素の濃度上昇を比較したところ、可給態リン酸においては10～20%であるのに対して、硝酸態窒素については80～200%となり、特に硝酸態窒素においては、排泄後の土壌中微生物による変化が大きく影響することが示唆

された。また栽培試験の結果からは、ミミズの摂食・排泄・移動の働きで、作物成長を促進することが分かった。さらに、ミミズの密度を管理することで、化学肥料の施肥量を抑制できる可能性が示唆された。以上のことから、日本に生息するフトミミズ科の摂食・排泄・移動の働きによって、土壌養分の上昇や団粒形成の促進させることが分かった。また、ミミズの働きによって作物成長を促進し、化学肥料の施肥量を抑制させることが示唆された。これらの働きをさらに、ミミズの密度を高めることで、その働きは促進されることが推察された。

今後の展望として、本研究でミミズの働きが他の微生物や酵素などの生物に影響や依存していることが分かり、これらの影響を把握することで、更なるミミズ働きの影響を調べることで土壌利用方法の検討や化学肥料の施肥量の抑制にも応用することができると考えられる。また、ミミズは土壌中を一定の所に留まらないので、どのような管理方法が適切なのかなどの議論も進めていく必要がある。

## Summary

Study on Effects of Megascolecidae on Soil Environment

A Thesis

by

Takanori Kaneko

Submitted to Graduate School of Agriculture,

Tokyo University of Agriculture

in partial fulfillment of the requirements

for the degree of Doctor of Philosophy

March 2021

### Chapter-1 Background and objectives

In recent years, use of chemical fertilizers for increasing agricultural productivity is on the rise (FAOSTAT, 2019). Excessive use of chemical fertilizers has resulted in the reduction or complete removal of soil microorganisms and soil animals (Bagyaraj and Patil, 1975; Wessen *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2014). Additionally, there are risks associated with deterioration of the physical and chemical properties of soil (Batey, 2009; Jaffar and Behzad, 2016; Chandini *et al.*, 2019). If excessive use of chemical fertilizers continues in the future, the ecosystem of the soil environment will be affected. Soil animals are important living things as it

helps in enhancing soil properties by decomposing organic matter and mixing it with the soil, also they are responsible for accumulation of soil nutrients and humus formation. Due to these change they cause in the soil environment, many of soil animals have useful functions, such as increasing or decreasing the number of plants and animals and promoting crop growth. Earthworms are major soil animals and have a significant impact in soil physical and chemical properties. They have the highest mass per area inhabited amongst all soil animal species.

Earthworms are generally classified into two groups: large earthworms, which can be seen in the soil, and small earthworms, which cannot be seen easily with the naked eye. Large earthworms are particularly active and are thought to have a significant impact on physicochemical properties of the soil. Large earthworms are divided into two families: the Lumbricidae, which are widely distributed in the cool temperate to temperate regions of Europe, and the Megascolecidae, which are distributed in the temperate zones of Southeast Asia, Australia, New Zealand, Japan, and India. In Europe, significant number of earthworm researches are conducted which belong to earthworm from Lumbricidae family. In Japan, however, an

estimated 95% of earthworms are in the Megascolecidae family, with more than 134 species in about eight families. Other than their sizes, earthworms are classified through their ecological behavior based on the strata of the soil they live, morphology, and feeding habits. These characteristics of the earthworm are necessary for its classification. The most commonly used ecological classification was proposed by Bouché in 1977, which are epigeic, endogiec and anenic earthworms. The Megascolecidae family found in Japan are also from epigeic, endogeic and anecic earthworms. These earthworms have been found to be related by internal morphology such as intestinal appendages and gonads and by external morphology such as color, ring bands, and chaeta (Ishizuka, 2001). It is also thought that the epigeic, endogeic, and anecic species of the Megascolecidae family and epigeic, endogiec and anenic species of Lumbricidae family have similar characteristics. However, since there is a lot of variation in internal and external morphology, research on ecological classifications and taxonomy in Japan is not as advanced as in other countries.

Generally, earthworms have three physiochemical functions: feeding, excretion, and movement, which have various effects on physiochemical properties of

soil. When feeding, earthworms break down organic matter (Wall and Moore, 1993). It is then broken down by symbiotic microorganisms present in the earthworm's gut (Lavelle et al., 1997). The organic matter present in the casts excreted is further decomposed by microorganisms, increasing the available nutrients in the soil (Darwin, 1881; Joachim & Kandiah, 1940; Sasaki *et al.*, 1994; Matsumoto, 1977). The movements of earthworms enhances the soil physical properties by transporting the organic matter to lower layers of soil (Jones, 1994), by the tunnels they make. Additionally, earthworm movement also affect plant root growth (Langmaack *et al.*, 1999; Ito *et al.*, 2001; Edwards, 2004; Kavdir and Ilay, 2011).

There are significant number of researches focusing on nutrient content of the casts and the surrounding soil, microbial activity in casts, and changes in the soil's physical structure due to earthworm movements. Additionally, researches on effect in crop growth are also being conducted. However, the effects of feeding, excretion, and movement on the soil environment have not been fully explored. This is due to the fact that the distribution of earthworms in agricultural fields is not constant, which depends on the soil environment, climate, vegetation, and other conditions. Earthworms



also move around in the soil, making it difficult to monitor their movements in the field. In this study, we used the number of earthworms as a parameter to indicate how the feeding, excretion, and movement of earthworms affect the level and rate of change in soil nutrient concentrations and crop growth.

## Chapter-2 Nutritional composition of casts excreted by Megascolecidae earthworms

An incubation test was conducted to determine the amount and properties of casts produced by earthworms from Megascolicidae family. The earthworms used in the experiment were collected from 10 cm depth of soil surface from an orchard in Kawasaki City, Kanagawa Prefecture. Soil samples were collected from a depth of 10 cm from surface on the same orchard where earthworms were collected. The soil was passed through a 2 mm sieve before using it in the experiment. The incubation temperature was set at  $17.1^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ , which corresponds to the annual mean temperature of the sampling site (for Yokohama City in 2018). In the experiments, the earthworms were thoroughly washed and placed in an empty beaker for 24 hours to excrete the casts contained in their digestive system. Next, they were placed in a beaker containing soil and incubated

for 24 hours. After incubation, the earthworms were removed from the soil, washed, and left in the beakers for 24 or 48 hours. The mass of the excreted casts was sampled and concentration of available phosphate and nitrate nitrogen were analyzed. Since it was difficult to distinguish between casts, urine and mucus, all excretions were considered to be casts for this experiment. Casts mass, available phosphate (Trough method), and nitrate nitrogen (Cataldo method) were analyzed for the produced casts during the incubation test.

The results showed a positive correlation between wet weight and casts mass regardless of the time taken for excretion. It has been previously reported that the amounts of casts excreted is nearly proportional to the body weight of the earthworm from Megascolecidae family (Watanabe, 1975). The results of our study showed similar trend to that of Watanabe, 1975. Additionally, the proportional relationship of casts mass and incubation time was seen regardless of the length of incubation time; in 24 hours 36% of the wet weight was excreted, whereas, in 48 hours, 65% of the wet weight was excreted. Compared with the retention time of food in earthworm intestines reported in a previous paper which ranged from 2 to 20 hours (Brown,

1995), the retention time in this experiment was quite similar, and likely even longer. The concentrations of nutrients in the excreted casts at 24 hours were: 0.23 mg/g available phosphate (6 times that of the original soil), and 1.89 mg/g nitrate nitrogen (945 times that of the original soil). This indicates that earthworm eating of organic matter increased the mineralization of phosphorus and nitrogen in the soil. It can be speculated that phosphorus is converted from insoluble phosphate to soluble phosphate by phosphatase, an enzyme found inside earthworm's body and casts (Satchell and Martin, 1984; Miyazaki, 2010); whereas, nitrogen is said to mineralized and nitrified by the bacteria that live in the gut of earthworms. (So *et al.*, 2017). The concentration of nitrate nitrogen increase was greater than available phosphate in this study. When earthworms were left in the beaker for 48 hours, the concentrations of soluble phosphate and nitrate nitrogen were 0.23 mg/g (6 times higher than the original soil) and 1.84 mg/g (920 times higher than the original soil), respectively. These results indicated that the ecological behavior of eating and excreting by earthworms of the Megascolecidae family led their casts to have higher concentrations of both soluble phosphate and nitrate nitrogen than the original soil.

### Chapter-3 Changes in soil nutrients and aggregates by Megascolecidae movements

A column experiment was conducted to see the effects of Megascolicidae movements on soil physical and chemical properties and formation of soil aggregates. In the experiments, a column made up of stacked acrylic rings was used which had an inner diameter of 15 cm and a height of 2 cm (with a cross-sectional area of  $1/5,555 \text{ a}$ ). This column was filled with soil to a depth of 12 cm, and earthworms were placed in the column. The number of earthworms added were 0, 3, and 10 (0, 167, and 555 earthworms/m<sup>2</sup>), and named as group EI, EII, and EIII, respectively. The earthworm and soil used in the experiment were collected from the same sampling site as in Chapter 2. After 28 days of incubation, the soil was sampled from the surface of the three layers (0-4 cm, 4-8 cm, and 8-12 cm). The soil sampled was analyzed for soil nutrients and water-stable aggregates. Available phosphate (Trouw method), nitrate nitrogen (Cataldo method), and water-stable aggregates (Yoder method) were analyzed for the sampled soil.

The results showed that the earthworms were mostly found in the 4-8 cm and 8-12 cm depth at any point in time regardless of their population density, confirming that under the given conditions of this experiment,

Megascolecidae are more active in the sub-surface soil. The soil analysis showed that the concentration of available phosphate in group EIII (10 worms) layers after 28 days were 10 mg/100 g (0-4 cm), 13 mg/100 g (4-8 cm), and 18 mg/100 g (8-12 cm). This suggests that concentrations were higher in the lower layers, where earthworms were more active. When compared between EI and EIII, the concentration of available phosphate was 1.2 times (0-4 cm), 1.7 times (4-8 cm) and 2.2 times (8-12 cm). In addition, the concentrations in group EIII (10 worms) were higher than those in group EII (3 worms). The concentration of nitrate nitrogen showed 11 mg/100 g (0-4 cm), 12 mg/100 g (4-8 cm), and 9 mg/100 g (8-12 cm). The concentrations of nitrate nitrogen were 1.9 times (0-4 cm), 2.5 times (4-8 cm) and 2.2 times (8-12 cm) when compared between EIII and EI. Additionally, the concentrations in group EIII (10 worms) were higher than those in group EII (3 worms).

In contrast to the results of available phosphate, nitrate nitrogen concentrations tended to be higher in the upper layers. The formation of nitrate nitrogen in the earthworm habitat is carried out by nitrogen-fixing bacteria which is aerobic in nature, and are likely to be active in the upper layers of the soil where the

conditions are aerobic, resulting in a higher concentration of nitrate nitrogen in the upper layer. The results of formation of water-stable aggregates were high in the surface layer. The formation of aggregates created large pore spaces, especially in the surface layer, which increased soil drainage as well as the gas phase, creating aerobic conditions, further promoting the activity of nitrogen-fixing bacteria.

The movements of the earthworms resulted in formation of tunnels in the soil. The earthworms decomposed organic matter and excreted casts into the soil, resulting in higher concentrations of available phosphate, nitrate nitrogen, and water-stable aggregates, as well as changes in the aggregate size.

Using the results of this chapter and the increase in soil nutrients by earthworms described in chapter 3, estimation was made in for soil nutrients derived from casts due to feeding and excretion by earthworms. Available phosphate was estimated at 10-20%, whereas nitrate nitrogen had a wide range of 80-200% derived from casts. As for available phosphate, casts excreted into the soil is broken down by microorganisms that break down organic matter. In contrast to the increase in the available phosphate levels, nitrate nitrogen is easily moved by moisture, so it can leach into lower

layers, and is converted to ammonia under the reduced environment. There is also the possibility of it being fixed into organic nitrogen.

#### Chapter-4 The effects of Megascolecidae on crop growth

A plant growth experiment was conducted to clarify the effects of Megascolicidae earthworms in crop growth. Wagnel pots of 1/5,000 a cross sectional area were used for the experiment. The pots were filled with soil, and two variation of earthworms and chemical fertilizer were madex. The pots were sown with komatsuna (*Brassica rapa*). The Megascolecidae and soil used in the experiment were collected from the same sampling sits as mentioned in chapter 2 and 3. The number of earthworms placed were the same as in chapter 3. A variation of 8:8:8 chemical fertilizers were used. The experiment was conducted in triplicate for pots in each condition. The crops harvested were analyzed for their wet weight and dry weight. The results indicated that with the number of earthworms increased, the wet and dry weights of the crop became high. Additionally, the weight of crops harvested in the earthworm pots was compared with that in the chemical fertilizer pots. Group EII (3 earthworms) was equivalent to the addition

of 0.18 g of chemical fertilizer and group EIII (10 earthworms) was equivalent to 1.0 g of chemical fertilizer, suggesting that the amount of chemical fertilizer can be reduced to approximately 1/8 to 1/2 of that in the chemical fertilizer plots if earthworms were present. The results above suggest that the movement of earthworms and their excretion of casts in the soil can promote crop growth and reduce the amount of chemical fertilizer required.

#### Chapter-5 Conclusion

Casts excreted by the Megascolecidae greatly increased the concentrations of available phosphate and nitrate nitrogen in soil. The concentration of available phosphate showed increasing trend in the deeper layers, where the earthworms were active, while the concentration of nitrate nitrogen was high closer to the surface. In addition, with increase in earthworm numbers the concentration of available phosphate and nitrate nitrogen were higher. A comparison of the concentrations of available phosphate and nitrate nitrogen in earthworm casts with the concentrations of available phosphate and nitrate nitrogen in the soil showed that the concentrations of available phosphate were 10-20%, while those of nitrate nitrogen were 80-



200%. The effects of microorganisms after excretion have a particularly large influence on nitrate nitrogen formation. The results of incubation experiment showed that the feeding, excretion, and movement of earthworms promoted crop growth. Furthermore, our findings indicates that the amount of chemical fertilizer applied may be reduced by controlling the number of earthworms. Also, the obtained results indicate that the feeding, excretion, and movement of Megascolecidae can promote soil nutrient uptake and aggregate formation. The results of plant growth experiment indicated that presence of earthworms promote crop growth and can reduce the amount of chemical fertilizer used in the fields. We can speculate with our findings to say that the results observed in the present study will be further enhanced by increasing the number of earthworms.

In our research, we have found that the effects of earthworms are affected by and dependent on microorganisms and other living things, as well as enzymes etc. By understandings the effects of earthworm role in enhancing soil properties and plant growth, considerations can be made for better management of soil fertigation methods. In addition to that, the findings of this research will help to control

the amount of chemical fertilizer applied to fields. Also, since earthworms do not stay in any particular place in the soil, it is necessary to consider suitable management methods for earthworm.

## 目次

論文要旨 .....	i
Summary .....	xi
第 1 章 研究背景と目的 .....	1
第 1 節 研究背景 .....	2
1. 科学的農業による土壌劣化 .....	2
2. 土壌生物の種類と分類 .....	5
2-1 土壌生物の分類 .....	5
2-2 土壌動物の分類 .....	8
3. ミミズの分類と分布 .....	11
4. ミミズの生態系 .....	15
5. 日本のミミズ相 .....	18
6. ミミズに関する既往の研究 .....	20
6-1 ミミズ研究の始まり .....	20
6-2 土壌に対する働き .....	20
6-3 その他に対する働き .....	22
第 2 節 目的及び本論の構成 .....	24
参考・引用文献（第 1 章） .....	27
第 2 章 フトミミズ科が排泄する糞の成分 .....	34
第 1 節 本章の目的 .....	35
第 2 節 実験試料と実験方法 .....	37

1. 実験試料 .....	37
1-1 供試ミミズ .....	37
1-2 供試土壌 .....	41
2. 実験方法 .....	44
2-1 実験フローチャート .....	44
2-2 実験項目 .....	45
第3節 結果および考察 .....	46
1. 排泄させた糞量 .....	46
2. 糞に含まれる可給態リン酸 .....	48
3. 糞に含まれる硝酸態窒素 .....	52
第4節 本章のまとめ .....	55
参考・引用文献（第2章） .....	56
第3章 フトミミズ科による土壌養分と団粒構造 の変化 .....	59
第1節 本章の目的 .....	60
第2節 実験試料と実験方法 .....	61
1. 実験試料 .....	61
1-1 供試ミミズ .....	61
1-2 供試土壌 .....	65
2. 実験方法 .....	68
2-1 実験条件 .....	68
2-2 実験フローチャート .....	70

2-3 測定項目 .....	70
第 3 節 結果および考察 .....	71
1. 各層のミミズ分布および表土の変化 .....	71
2. 深さによる耐水性団粒の変化 .....	75
3. 深さによる可給態リン酸の変化 .....	84
4. 深さによる硝酸態窒素の変化 .....	87
5. 土壌養分濃度の糞由来の割合 .....	91
第 4 節 本章のまとめ .....	97
参考・引用文献（第 3 章） .....	100
第 4 章 フトミミズ科が作物成長に与える影響 ...	102
第 1 節 本章の目的 .....	103
第 2 節 実験試料と実験方法 .....	104
1. 実験試料 .....	104
1-1 供試ミミズ .....	104
1-2 供試土壌 .....	108
2. 実験方法 .....	111
2-1 実験条件 .....	111
2-2 実験フローチャート .....	113
2-3 測定項目 .....	113
第 3 節 結果および考察 .....	114
第 4 節 本章のまとめ .....	129
参考・引用文献（第 4 章） .....	130

第 5 章 総括 .....	131
謝 辞 .....	137
付 録 .....	138

## 圖表一覽表

Fig. 1-1	Change in world's population . . . . .	4
Fig. 1-2	Change in use of agricultural fertilizer	4
Fig. 1-3	Abundance ratio of soil and soil surface	6
Fig. 1-4	Soil animal movements and it's effects	7
Fig. 1-5	Classification of soil animals . . . . .	10
Fig. 1-6	Phylogenetic tree of earthworms . . . . .	12
Fig. 1-7	Distribution of major terrestrials' earthworms by continent . . . . .	13
Fig. 1-8	Classification of earthworm according to their ecological behavior . . . . .	17
Fig. 1-9	Structure of the thesis . . . . .	26
Fig. 2-1	No. of Megascolicidae earthworm according to their body length . . . . .	40
Fig. 2-2	No. of Megascolicidae earthworm according to their body weight . . . . .	40
Fig. 2-3	Relation between earthworms weight and casts produced . . . . .	47
Fig. 2-4	Relation between cast mass and concentration of available phosphate ( mg/g) . . . . .	50
Fig. 2-5	Concentration of available phosphate in cast ( mg) . . . . .	51
Fig. 2-6	Relation between cast mass and	

concentration of nitrate nitrogen ( mg/g)	5 3
Fig. 2-7 Concentration of nitrate nitrogen in cast ( mg)	5 4
Fig. 3-1 No. of Megascolicidae earthworm according to their body length	6 4
Fig. 3-2 No. of Megascolicidae earthworm according to their body weight	6 4
Fig. 3-3 Model diagram of experimental plot ①	6 9
Fig. 3-4 Model diagram of experimental plot ②	6 9
Fig. 3-5 Periodic change in water resistant aggregates ( EI · 0~4 cm)	7 7
Fig. 3-6 Periodic change in water resistant aggregates ( EI · 4~8 cm)	7 7
Fig. 3-7 Periodic change in water resistant aggregates ( EI · 8~12 cm)	7 8
Fig. 3-8 Periodic change in water resistant aggregate ( EII · 0~4 cm)	7 8
Fig. 3-9 Periodic change in water resistant aggregates ( EII · 4~8 cm)	7 9
Fig. 3-10 Periodic change in water resistant aggregates ( EII · 8~12 cm)	7 9
Fig. 3-11 Periodic change in water resistant aggregates ( EIII · 0~4 cm)	8 0
Fig. 3-12 Periodic change in water resistant aggregates ( EIII · 4~8 cm)	8 0



Fig. 3-13	Periodic change in water resistant aggregates ( EIII • 8~12 cm) . . . . .	8 1
Fig. 3-14	Change in water resistant aggregate percentage after 28 days ( 0~4 cm) . . . . .	8 1
Fig. 3-15	Change in water resistant aggregate percentage after 28 days ( 4~8 cm) . . . . .	8 2
Fig. 3-16	Change in water resistant aggregate percentage after 28 days ( 8~12 cm) . . . . .	8 2
Fig. 3-17	Vertical distribution of Mean Weight Diameter ( MWD) over time . . . . .	8 3
Fig. 3-18	Vertical distribution of Mean Weight Diameter ( MWD) at 28 days . . . . .	8 3
Fig. 3-19	Vertical distribution of available phosphate over time . . . . .	8 6
Fig. 3-20	Vertical distribution of available phosphate at 28 days . . . . .	8 6
Fig. 3-21	Vertical distribution of nitrate nitrogen over time . . . . .	8 9
Fig. 3-22	Vertical distribution of nitrate nitrogen at 28 days . . . . .	8 9
Fig. 3-23	Vertical distribution of water content over time . . . . .	9 0
Fig. 3-24	Vertical distribution of water content at 28 days . . . . .	9 0
Fig. 3-25	Flowchart of the calculation ① . . . . .	9 5

Fig. 3-26 Flowchart of the calculation②	9 6
Fig. 4-1 No. of Megascolicidae earthworm according to their body length	1 0 7
Fig. 4-2 No. of Megascolicidae earthworm according to their body weight	1 0 7
Fig. 4-3 Wet weight of crop ( Worm)	1 2 3
Fig. 4-4 Wet weight of crop ( Chemical fertilizer)	1 2 4
Fig. 4-5 Dry weight of crop ( Worm)	1 2 5
Fig. 4-6 Dry weight of crop ( Chemical fertilizer)	1 2 6
Fig. 4-7 Periodic change in temperature in greenhouse and soil temperature	1 2 7
Fig. 4-8 Difference in plant weight ( wet and dry) with various application rate of fertilizer	1 2 8
Table 1-1 No. and amount of soil organisms present in top layer of soil	7
Table 1-2 Major large terrestrial earthworms	1 4
Table 3-1 Distribution of earthworm habitat over time	7 1
Photo. 2-1 Sampled area of earthworm	3 8
Photo. 2-2 Sampled Megascolicidae earthworm①	3 8

Photo. 2-3 Sampled Megascolicidae earthworm ②	
.....	3 8
Photo. 2-4 Sampled Megascolicidae earthworm ③	
.....	3 9
Photo. 2-5 Sampled area of soil used for the experiment ①	4 1
Photo. 2-6 Sampled area of soil used the experiment ②	4 2
Photo. 2-7 Sampled area of soil used the experiment ③	4 2
Photo. 2-8 2 mm sieved soil used for the experiment	4 3
Photo. 3-1 Sampled area of earthworm	6 2
Photo. 3-2 Sampled Megascolicidae earthworm ①	
.....	6 2
Photo. 3-3 Sampled Megascolicidae earthworm ②	
.....	6 2
Photo. 3-4 Sampled Megascolicidae earthworm ③	
.....	6 3
Photo. 3-5 Sampled area of soil used the experiment ①	6 5
Photo. 3-6 Sampled area of soil used the experiment ②	6 6
Photo. 3-7 Sampled area of soil used the experiment ③	6 6

Photo. 3-8 2 mm sieved soil used for the experiment .....	6 7
Photo. 3-9 Depth of EII ( 3 worms) at 28 days for 4~8 cm column layer.....	7 2
Photo. 3-10 Depth of EII ( 3 worms) at 28 days for 8~12 cm column layer.....	7 2
Photo. 3-11 Depth of EIII ( 10 worms) at 28 days for 4~8 cm column layer.....	7 3
Photo. 3-12 Depth of EIII ( 10 worms) at 28 days for 8~12 cm column layer.....	7 3
Photo. 3-13 Periodic change in surface soil between 0 day and 28 days.....	7 4
Photo. 3-14 Earthworms bounds found in Thailand .....	7 4
Photo. 4-1 Sampled area of earthworm .....	1 0 5
Photo. 4-2 Sampled Megascolicidae earthworm ① .....	1 0 5
Photo. 4-3 Sampled Megascolicidae earthworm ② .....	1 0 5
Photo. 4-4 Sampled Megascolicidae earthworm ③ .....	1 0 6
Photo. 4-5 Sampled area of soil used the experiment ① .....	1 0 8
Photo. 4-6 Sampled area of soil used the experiment ② .....	1 0 9

Photo. 4-7	Sampled area of soil used the experiment ③	109
Photo. 4-8	2 mm sieved soil used for the experiment	110
Photo. 4-9	Chemical fertilizer used in the experiment	112
Photo. 4-10	Growth of plant over time (EI (No worm))	116
Photo. 4-11	Growth of plant over time (EII (3 worms))	117
Photo. 4-12	Growth of plant over time (EIII (10 worms))	118
Photo. 4-13	Growth of plant over time (Chemical fertilizer 0.1~0.5 g)	119
Photo. 4-14	Growth of plant over time (Chemical fertilizer 0.75~2.0 g)	120
Photo. 4-15	Change in each pot at 44 days (Worm)	121
Photo. 4-16	Change in each pot at 44 days (Chemical fertilizer)	122

# 第 1 章

## 研究背景と目的

## 第 1 節 研究背景

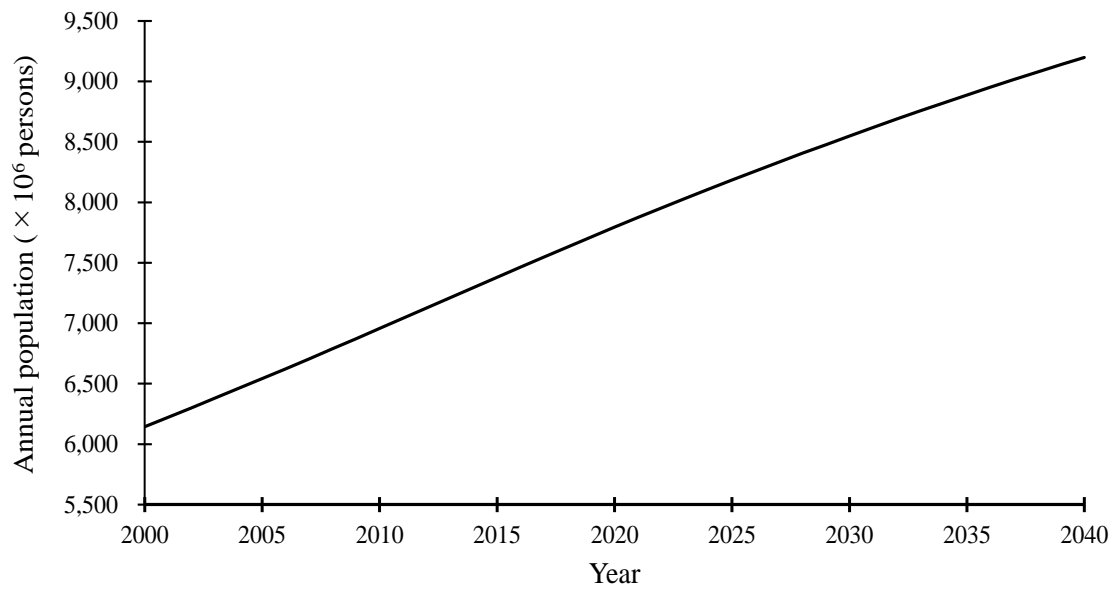
### 1. 科学的農業による土壌劣化

現在、世界の人口は増加傾向にある。2000 年から 2018 年まで約 1.2 倍に増加し、今後さらに増加すると予想されており (FAOSTAT, 2019; Fig. 1-1)、食料危機が懸念される。今後、食料危機を回避するための農作物の増産が求められ、化学肥料の施肥が予想され、現実には化学肥料の農業利用量は増加している (FAOSTAT, 2019; Fig. 1-2)。一方、化学肥料の多投により、農地に棲息している土壌微生物や土壌動物の減少や死滅 (Bagyaraj and Patil, 1975; Wessen *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2014)、土壌の物理性や化学性の低下 (Batey, 2009; Jaffar and Behzad, 2016; Chandini *et al.*, 2019) という影響が生じることが報告されている。今後も化学肥料の投入の増加が続けば、土壌環境の生態系が崩壊することが危惧される。このような背景の元、土壌環境の生態系の保護の対策として、環境保全型農業に注目が集まっている。環境保全型農業は、化学肥料や農薬の使用を抑え、環境と調和した持続可能な農業生産を行う農業 (農林水産省, 2020) と定義されており、この中には有機農業や自然農法、代替農業、低投入持続型農業などが含まれている。一言で環境保全型農業と言っても、化学資材を使用しない無化学肥料栽培から減化学肥料まで大きな幅がある。具体的な農法として、

農家や家庭から排出される家畜排泄物や野菜、稲などの屑を利用した堆肥を利用した有機農法、化学肥料を低減した減化学肥料、緑肥作物の利用、フェロモン・微生物の働き等の生物防除、動物を利用した合鴨農法などがある。その中でも、堆肥化や減化学肥料の利用が一般的に使用されると言われている（合田，1996）。一方、土壌中に生息している土壌微生物や土壌動物の働き利用したものの農法は少ない。この農法のメリットは、多種多様な土壌微生物や動物によって、土壌養分の生産や作物に悪影響を与える病原菌の抑制などの効果、土壌環境や生態系のバランスを整える効果をもたらす。デメリットは、この農法は時間をかけて土壌環境を整えるので、近年の農産物の増産に対して作物の成長に時間がかかるため、即効性である化学肥料が使われる。

このことから、短期的な効果があらわれる化学肥料の多投による土壌環境の劣化よりも、土壌や作物に対して、有能な働きを持つ土壌微生物や土壌動物を利用した方が長期的に良いと考える。そこで、土壌微生物や土壌動物に注目した。

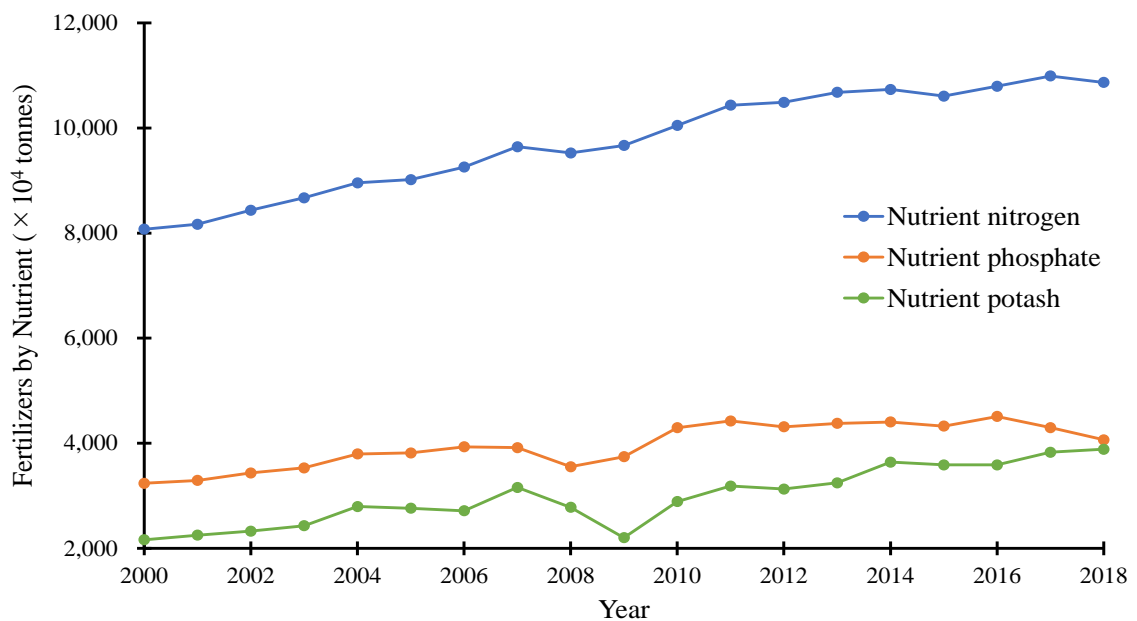




※ 2018 年以降は予測値

※ FAOSTAT (2019) を参考に作図

Fig. 1-1 Change in world's population



※ FAOSTAT (2019) を参考に作図

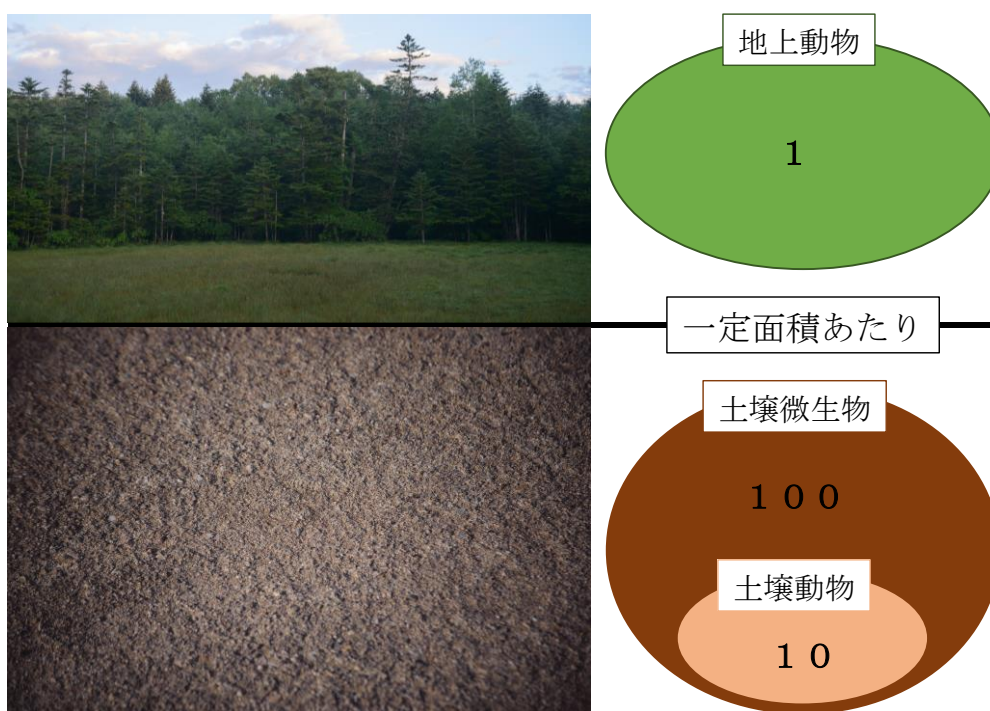
Fig. 1-2 Change in use of agricultural fertilizer

## 2. 土壌生物の種類と分類

### 2-1 土壌生物の分類

土壌中に棲息する土壌微生物や土壌動物は、ある森林の一定面積中の地上部に棲息する哺乳類や鳥類、昆虫などの無脊椎動物の現在量を1とした時、土壌表層に棲息する土壌動物は10倍、土壌微生物はさらにその10倍といわれている (Fig. 1-3; 金子, 2014)。また、森林の状態や土壌の利用状況、気候などの様々な条件によって異なるが、100 m<sup>2</sup>あたりに約700 kgの土壌生物が棲息しており、その内訳はカビが70~75%、細菌が20~25%、土壌動物5%以下とされている (西尾, 1996)。このように、地上よりはるかに多くの土壌生物が棲息していることや Brady and Weil (2008) によって、表土層の一般的に認められる土壌生物の数と量を示している (Table 1-1) が報告されている。中でも体が大きい、土壌動物は地表や地中の植物遺体の粉碎と、土壌中での摂食や移動による土壌の耕耘や有機物・無機物の混合の働きがある。例えば、有機物はミミズの消化管を通過すると2 mm以下に、トビムシは $30 \sim 50 \times 10^{-6}$  m、ダニは $10 \times 10^{-6}$  mにも細かく粉碎される (妹尾, 2001)。この2つの働きによって、土壌の理化学的性質を様々に変化させる。例えば、アリやシロアリが形成するアリ塚は周辺土壌より、K<sub>2</sub>OやP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、炭素、有機物量などは高い含量を示す結果がある (Czerwinski *et al.*, 1971; Lee and Wood, 1971)。また、

ミミズの糞は周辺土壌より、強熱減量や有機物含量、炭素含量、マグネシウムやカルシウムなどの置換性塩基、リンなどは高い含量を示す結果（Joachim and Kandiah, 1940）が報告されている。それらの働きにより、土壌に根を下ろす植物の生長に大きな影響を与え、同時に土壌中に棲息する動植物群の増減などにも影響し、それらはまた互いに影響しあっている（Fig. 1-4；渡辺，1967；1971）。



※金子（2014）を参考に作図

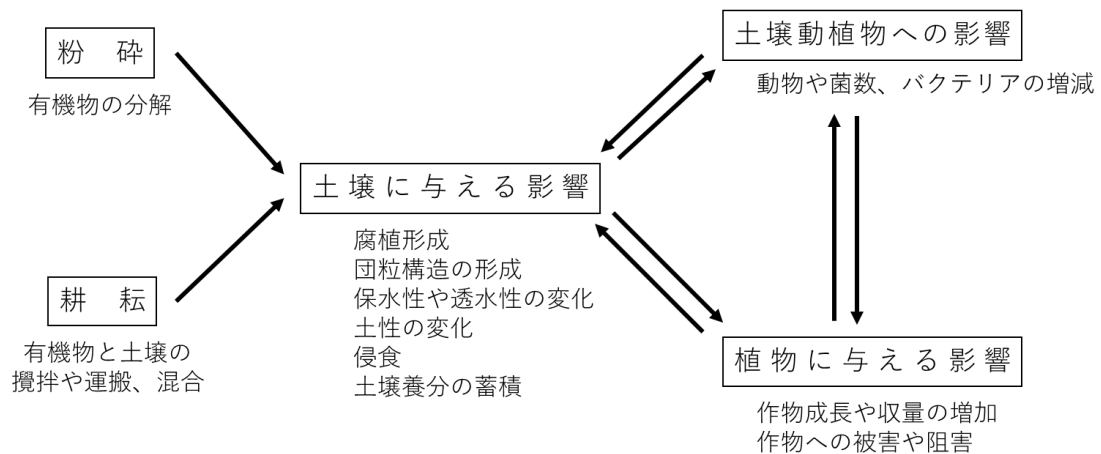
Fig. 1-3 Abundance ratio of soil and soil surface animals

Table 1-1 No. and amount of soil organisms present in top layer of soil

生物種	数		生重量		
	m <sup>2</sup> 当たり	g当たり	kg/ha	g/m <sup>2</sup>	
土壌動物	原生動物	10 <sup>7</sup> ~10 <sup>11</sup>	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>6</sup>	20~300	2~30
	線虫	10 <sup>5</sup> ~10 <sup>7</sup>	1~10 <sup>2</sup>	10~300	1~30
	ダニ	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>6</sup>	1~10	2~500	0.2~5
	トビムシ	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>6</sup>	1~10	2~500	0.2~5
	ミミズ	10~10 <sup>3</sup>		100~4,000	10~400
	その他	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>4</sup>		10~100	1~10
	土壌微生物	細菌※1	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>9</sup> ~10 <sup>10</sup>	400~5,000
	放線菌	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>	10 <sup>7</sup> ~10 <sup>8</sup>	400~5,000	40~500
	糸状菌※2	10 <sup>6</sup> ~10 <sup>8</sup> m	10 <sup>6</sup> ~10 <sup>8</sup> m	1000~15,000	100~1,500
	藻類	10 <sup>9</sup> ~10 <sup>10</sup>	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>5</sup>	10~500	1~50

※1: Torsvik *et al.* (2002) による推定値。その他は、多くのデータから計算して求めた  
 ※2: 糸状菌は個体の識別が困難なので、菌糸の長さで表現している

※ Brady and Weil (2008) を参考に作図



※ 渡辺 (1967, 1971) を参考に作図

Fig. 1-4 Soil animal movements and it's effects

## 2-2 土 壤 動 物 の 分 類

土 壤 動 物 は、『大 型 動 植 物 遺 体 を も 含 め た 土 壤 環 境 に、永 続 的 あ る い は 一 時 的 に 生 息 し、そ こ で 何 ら か の 活 動 を 行 な っ て い る 動 物 群 で あ る』と 定 義 さ れ て い る (青 木, 2010)。土 壤 動 物 と 一 口 に い っ て も、き わ め て 多 種 多 様 な 動 物 群 が 存 在 し て い る。そ の た め 土 壤 動 物 の 分 類 が 必 要 と な り、体 の サ イ ズ や 生 息 層、食 性 な ど の 様 々 な 類 別 が 存 在 す る。そ の 中 で も、Fenton (1947) な ど の 方 式 に よ る 体 の サ イ ズ に よ る 類 別 が 一 般 的 で あ り、サ イ ズ に 基 づ い て 小 型 土 壤 動 物、中 型 土 壤 動 物、大 型 土 壤 動 物、巨 大 土 壤 動 物 の 4 つ に 分 け ら れ る (Fig. 1-5)。

### (1) 小 型 土 壤 動 物 (ミ ク ロ フ ァ ウ ナ, Microfauna)

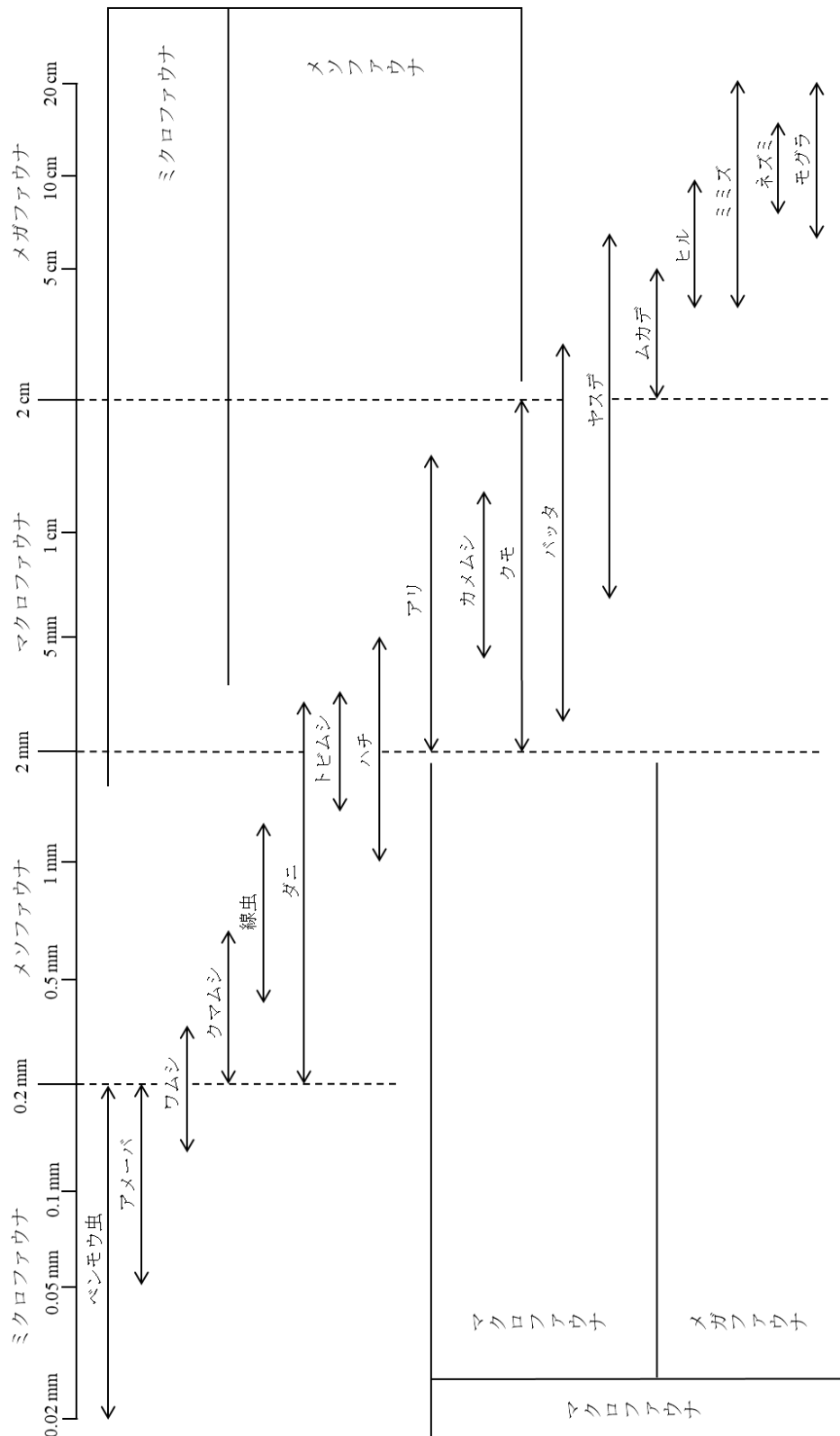
体 長 0.2 mm 以 下 の 微 小 な 動 物 で、鞭 毛 虫 な ど の 原 生 動 物 や 根 足 虫 (ア メ ー バ・有 殻 ア メ ー バ)、ワ ム シ 類 の 大 部 分 が 入 る。ま た、ク マ ム シ 類 や 線 虫 類 (ネ マ ト ー ダ) は 体 長 0.2 mm を 超 え る も の が 多 い が、こ こ に 分 類 さ れ る。

### (2) 中 型 土 壤 動 物 (メ ソ フ ァ ウ ナ, Mesofauna)

体 長 0.2 ~ 2.0 mm ま で の 範 囲 に 入 る も の で、ダ ニ や カ ニ ム シ、ト ビ ム シ、小 型 半 翅 類 (ア ブ ラ ム シ・カ イ ガ ラ ム シ)、ハ チ な ど の 微 小 な 節 足 動 物 が 入 る。こ の 他 に も ア リ や カ メ ム シ、ク モ、結 合 類 な ど も 体 長 2.0 mm を 超 え て も こ こ に 分 類 さ れ る。

- (3) 大型土壌動物（マクロファウナ, *Macrofauna*）  
体長 2.0 mm～2.0 cm の大きさのもので、野外で肉眼により採集容易な群である。比較的大型の甲虫やムカデなどの多足類、ゴキブリ、ワラジムシ、ダンゴムシなどの等脚類、長脚大型のザトウムシなどが入る。
- (4) 巨大土壌動物（メガファウナ, *Megafauna*）  
体長 2.0 cm を超えるもので、土壌動物としては最も大型な群であるが、特に巨大土壌動物を区別せずに、大型土壌動物の中に含まれることが多い。カエルやトカゲ、ヘビ、ネズミ、モグラなどの脊椎動物、ミミズなどもここに分類される。しかし、大型土壌動物とは区別しないこともある。

これらのことから、土壌動物は土壌に対して有用な働きを持つことが分かり、その中でも大型土壌動物のミミズは面積当たりの数は少ないが、生重量が最も大きい。そのことから、土壌の理化学性への影響が大きいと考えられるためミミズに注目した。



※青木（2010）を参考に作図

Fig. 1-5 Classification of soil animals

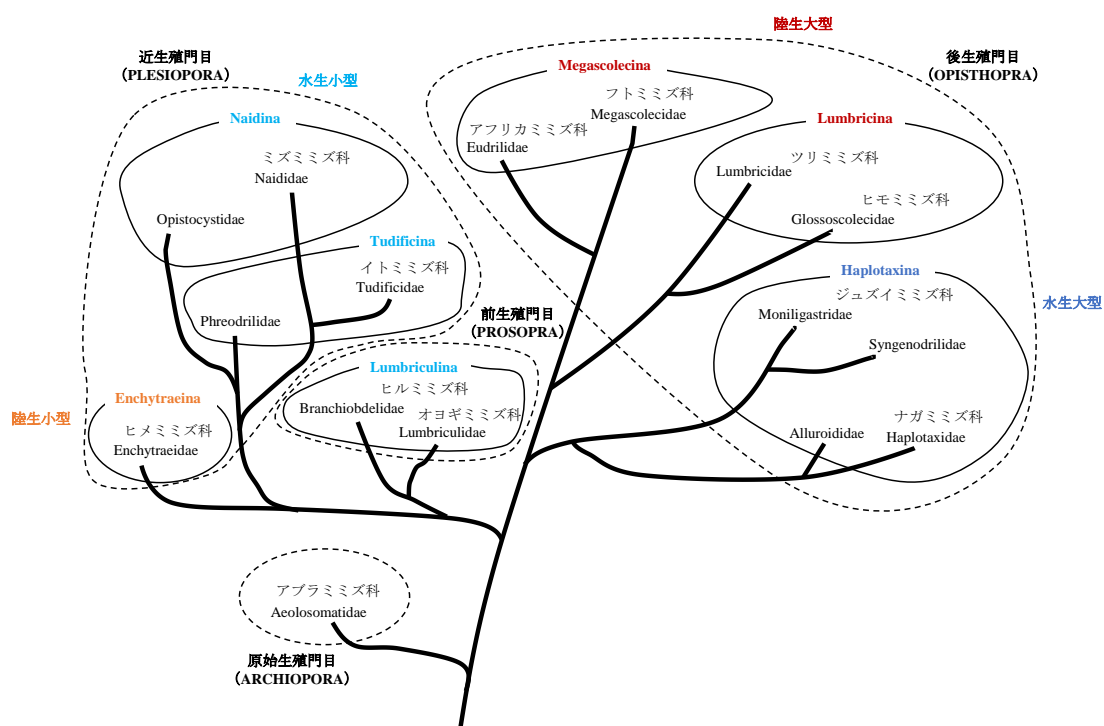
### 3. ミミズの分類と分布

ミミズは、ヒルやゴカイなどと同じ環形動物門 (Annelida) の動物群中のミミズ綱 (貧毛綱, Oligochaeta) に分類される。ミミズ綱の分類体系は、Michaelson の旧分類体系が従来よく用いられており、原始貧毛類 (Archioligochaera) と真貧毛類 (Neoligochaera) の 2 類に分けられる。近年は山口 (1967) の提案する分類体系が用いられており、新たに修正した新義によると、1 種を除くミミズ以外は真貧毛類に分けられ、Fig. 1-6 のように真貧毛類は生殖門目 (Plesiopora)、前生殖門目 (Prosopora)、後生殖門目 (Opisthopora) の 3 目に分かれている。また、生息場の特徴によって、水田や河川に棲むミミズを水生類、畑やゴミ捨て場に棲む陸生類とわけることがある。体の長さによっても分けられ、小型類は 1 mm ~ 5 cm (多くは 5 ~ 15 mm) で大型類は 7 ~ 20 cm になる。一般的に国内で見られるミミズは陸生類であり、大型類であることから陸生大型ミミズと呼ばれるものである。本研究は、この陸生大型ミミズに注目していく。以後、単にミミズと記述した場合には、陸生大型ミミズを指すものとする。

ミミズは地域ごとに分布する科が異なることが分かっている。ミミズは耐塩性でないため、古生代からの大陸移動時に現在の分布になったとされる (Fig. 1-7)。ミミズの科レベルで分類が正確でないため、未だ

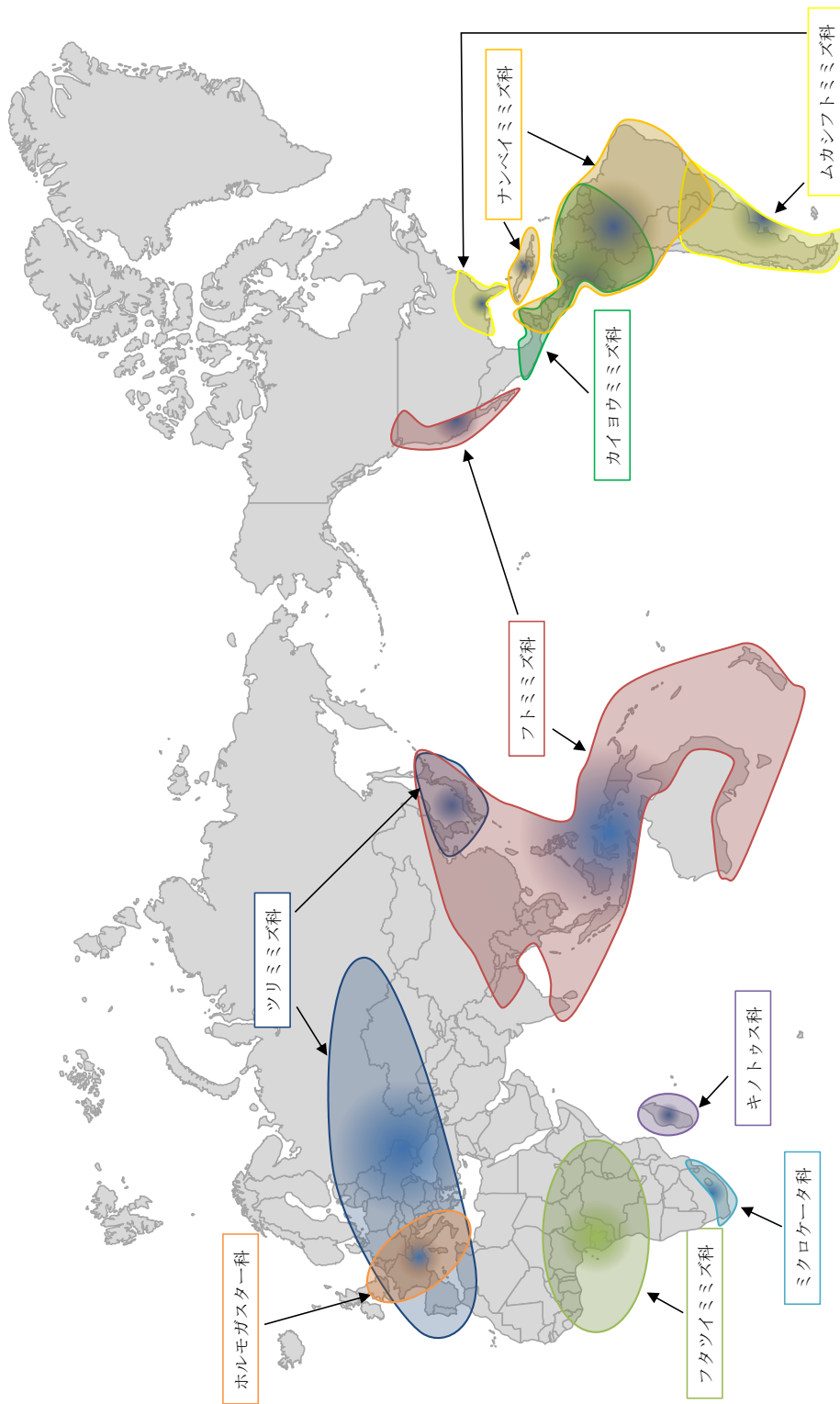


に正確な種の個体数は明らかになっていないものの、2019年現在、約25科5357種以上発見されている（DriloBASE:World Earthworm Database, 2020）。その中でも、代表的なものとしてTable 1-2に10科を示した。ミミズの割合は、フトミミズ科が38%、ムカシフトミミズ科（フタツイミミズ科を含む）が22%、ツリミミズ科が11%も占めており、残りの22科で29%しか占めていない。



※ 山口（1967）を参考に作図

Fig. 1-6 Phylogenetic tree of earthworms



※金子（2018）を参考に作図

Fig. 1-7 Distribution of major terrestrials' earthworms by continent

Table 1-2 Major large terrestrial earthworms

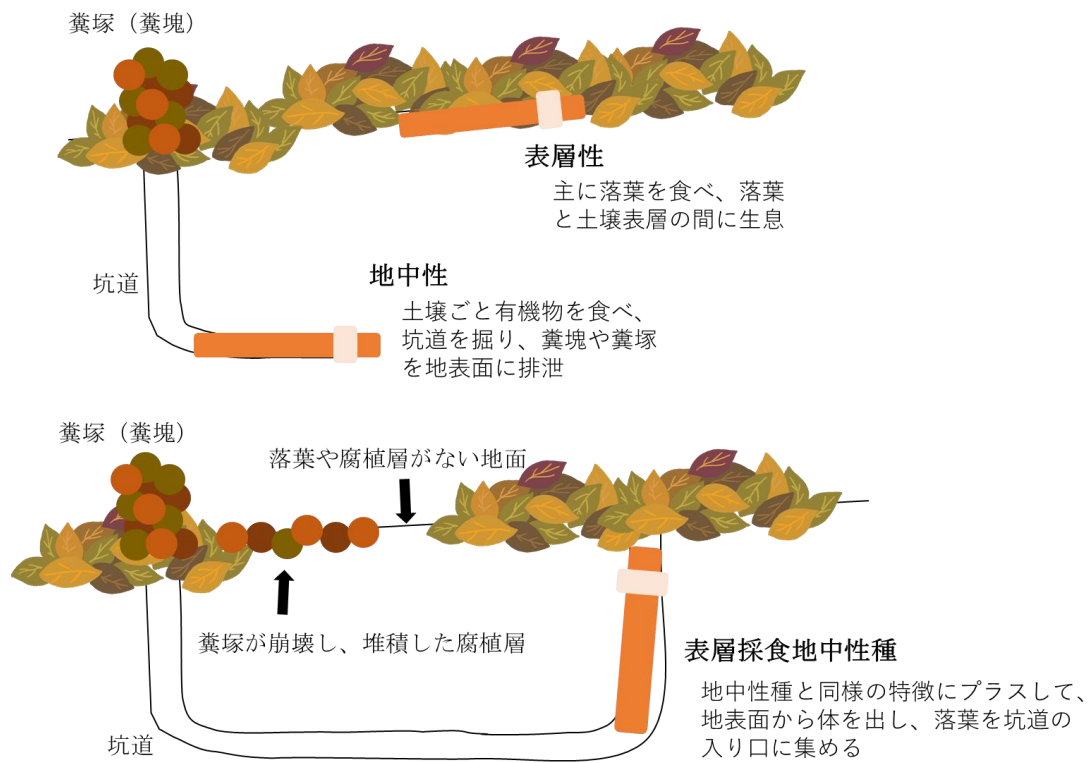
和名	学名
ジュズイミミズ科	Moniligastridae
フトミミズ科	Megascolecidae
ムカシフトミミズ科	Acanthodrilidae
カイヨウミミズ科	Ocnerodrilidae
アフリカミミズ科	Eudrilidae
ナンベイミミズ科	Glossoscolecidae
ツリミミズ科	Lumbricidae
ホルモガスター科	Hormogastridae
マイクロケータ科	Microchaetide
キノトウス科	Kynotidae

#### 4. ミミズの生態系

ミミズの生活型に関する議論は古くから行われている。ミミズの生活型は、棲息層位や形態、食性などを基に分けられ、ミミズの分類際にも必要となる。その中でも最も一般的に用いられている生活型は、フランスのツリミミズ科を研究した Bouché (1977) が提案していた表層性種 (epigeic)、地中性種 (endogeic)、表層採食地中性種 (anecic) の 3 つの区分である (Fig. 1-8)。表層性種は坑道を掘らず、落葉層に棲息し、落葉を主に摂食している。地中性種は坑道を掘り、一部の種は糞を地表面に排泄する。土壌層に棲息し、土壌を主に摂食している。表層採食地中性種は、坑道を持ち、坑道から地表面に落葉を集積し、落葉溜めを形成する習性がある。また、坑道から地表面に糞を排泄し、糞塚を形成する。さらに、Lavelle (1983) は、熱帯アフリカに棲息するミミズは、地中性種で腐植の多い土壌や少ない土壌に棲息する種がいることから、地中性種をさらに 3 分割し、高腐植性 (polyhumic)、中腐植性 (mesohumic)、貧腐植性 (oligohumic) に分けた。それに対して、日本のフトミミズ科も同様の 3 つの生活型が明らかになり、各生活型のミミズには色や環帯、剛毛などの外部形態や消化器官である腸盲嚢の形や性徴、生殖腺などの内部形態、棲息層位などに一定のパターンがあることが明らかになった (Ishizuka, 1999; 石塚, 2001; 石塚, 2015)。フトミミズ科では表

層種、浅層種、深層種に分けられる。Ishizuka (1999)によると、表層種、浅層種、深層種は、それぞれツリミミズ科の表層性種、地中性種、表層採食地中性種に対応するとされている。しかし、日本のフトミミズ科は外部形態や内部形態の変異も多い（石塚，2015）ので、分類だけではなく、生活型の分類も海外に比べて進んでいない。

本研究では、ミミズを生きた状態で実験に使用するため、内部形態まで調べることができず、正確な種レベルまでは判断することができない。このことから、外部形態で判断ができる科レベルまで判断し、正確な種レベルまでは特定しなかった。



※ 金子 (2007) を参考に作図

Fig. 1-8 Classification of earthworm according to their ecological behavior

## 5. 日本のミミズ相

日本には、約 8 科 165 種のミミズが分布しており、未記載種が 200 以上存在していると考えられている（小林, 1941a; 小林, 1941b; 石塚, 2001; 上平, 2004; Blakemore, 2012）。日本では、フトミミズ科が大半を占めており、その他にもツリミミズ科やナガミミズ科及びジュズイミミズ科が 1 割ほど占めている。また、1~数種の科は他の大陸から移動してきた外来種だと考えられている。日本に主に生息しているナガミミズ科及びジュズイミミズ科、ツリミミズ科、フトミミズ科について説明する。

### (1) ナガミミズ科及びジュズイミミズ科

ナガミミズ亜目は 4 科あり、このうちの 2 科のみが日本で発見されている。現在まで井戸や泉、水田などの水圏域で発見されている。陸生種もいるので、今後の調査によって多湿な土壌や湿地で発見される可能性がある。しかし、現在の状況を考えると、次の 2 科に比べて土壌動物学的意義が低いとされている。

### (2) ツリミミズ科

主にヨーロッパから中央アジア、日本の本州以北で生息している。ヨーロッパでは、普通にミミズといえば本科のことを指し、ヨーロッパでは古くから研究が行われている。代表的な種として、オウシュウツリミミズ (*Lumbricus*

*terrestris*) やシマミミズ (*Eisenia fetida*) があげられる。この種は世界中で分布しており、多くの研究でよく用いられている。この種は、家庭用コンポストなどの有機性廃棄物の処理に利用されているほか、温度と湿度の許容範囲が広いことや回復力及び再生力が高いという特徴から、取り扱いが容易な生物として実験に適しており、OECD や ISO の国際規約で毒性評価の指標動物などに取り上げられている。

### (3) フトミミズ科

ヨーロッパにはほとんど分布せず、オーストラリアやニュージーランド、インド、東南アジア、中国、日本などに生息し、他にも北アメリカの一部に分布している。特に日本には、約 100 種以上を生息し、日本のミミズ相の約 95% 以上を占めている。日本に生息するフトミミズ科は外部形態や内部形態の変異も多い (石塚, 2015) ので、属と種レベルの分類研究は、かなり遅れている。現在、フトミミズ科は 14 属に分割され、このうちの 6 属が日本に分布している。このため、日本から産出するミミズは、すべてフトミミズ科と考えていいと思われる。



## 6. ミミズに関する既往の研究

### 6-1 ミミズ研究の始まり

初めてミミズに注目したものが、進化論『種の起源』で有名なチャールズ・ダーウィンである。ダーウィンは約40年間という長期間をかけて、ミミズによる土壌の働きや生成について研究をまとめた。それを最後の著書として『The formation of vegetable mould through the action of worms with observations on their habitats』(Darwin, 1881)という本を出版した。彼が研究したミミズは、日本に生息しないオウシュウツリミミズ (*Lumbricus terrestris*) という種である。このミミズは50 cm ぐらいの体長になる大きなミミズで、土壌の深い位置まで潜って坑道を作り、餌である落葉(リター)を求めて地表と土壌中を往来するという

生態がある。これをきっかけに、世界中で多くの研究をやられるようになった。特にヨーロッパでは、ダーウィンと同種のオウシュウツリミミズ (*Lumbricus terrestris*) を用いた研究が多く行われている。

### 6-2 土壌に対する働き

土壌に対するミミズの働きをみると、ミミズは、理化学性に対して様々な影響をもたらす。まず、ミミズが土壌中を活動することで坑道が形成される。オウシュウツリミミズ (*Lumbricus terrestris*) では、1年間で82.3 km/ha の坑道が形成されると考えられている (Langmaack *et al.*, 1999)。その活動に伴って、ミミズ

の体内を通過して排泄される糞の量は、8～18 t/acre/year (平均 14 t/acre/year) (Darwin, 1881)。また、各国に生息するミミズから排泄される糞量をまとめられ、2.1～107 t/acre/year (平均 18 t/acre/year) (Evans and Guild, 1947)。この排泄された糞は、地表面に糞が積上げられた糞塚を形成することも確認された (Darwin, 1881)。糞塚は種によって形成の有無が異なり、特に表層採食地中性種では形成するものが多いとされている。この糞塚は、イギリスの酸性土壌やアルカリ性土壌の周辺土壌に比べて、pH が中性に近いことがわかっている (Salisbury, 1923)。また、スリランカのセイロンの糞塚は周辺土壌より、強熱減量や有機物含量、炭素含量、マグネシウムやカルシウムなどの置換性塩基、リンなどの数値が高くなることがわかっている (Joachim and Kandiah, 1940)。この排泄された糞や糞塚の内部は微生物活性が高く、分泌された酵素も存在し、有機物の分解が促進される (Wall and Moore, 1993)。この糞や糞塚は、土壌粒子や腐植などが高次に絡まりあった団粒構造で、土壌が崩れにくい耐水性団粒である (Kawaguchi *et al.*, 2011)。また、炭素がこの糞に蓄積されること (炭素固定) が明らかになっている (Salisbury, 1923; Six, 2002; Mikha and Rice, 2004; Arai *et al.*, 2014; Lubbers *et al.*, 2017)。さらに、ミミズの活動を通して、腸内や糞内で窒素固定菌や菌根菌などの有用微生物、特異的な微生物の活性を高め

たり、抑制することで、病虫害の抑制に効果があることが分かっている (Webster and Dixon, 1991; Nakamura *et al.*, 1995; 豊田, 2009)。また、ミミズの土壌中の動きによって、通気性や透水性が変化することで根の成長の向上、また体から分泌される粘液や排泄される糞などによって、土壌養分の上昇による作物の収量増加することが分かっている (板倉, 1990; 伊藤ら, 2001; Kavdir and Ilay, 2011; van Groenigen *et al.*, 2014)。

### 6-3 その他に対する働き

ミミズは土壌以外にも生息している。シマミミズ (*Eisenia fetida*) というミミズは、生ごみや家畜のし尿などの有機物に富む場所を好みため、コンポストの作成に利用されている。このコンポストは、ミミズ堆肥 (Vermicompost) といわれ、有機肥料として使われている。

このようにミミズは摂食・排泄・移動の 3 つの働きを通して、土壌に大きい影響を与えていることが分かる。しかし、日本に生息するミミズ種は、糞塚の形成はあまり見られないことから、土壌中に排泄されていると推察される。しかし、ミミズは一定の所に留まりはせず、土壌中を動き回っていることや土壌環境・気候などの条件によって、土壌中にどれぐらいの密度が生息しているのかや土壌中にどのぐらいの糞量が排泄されているのかなどを把握することが難しい (Kaneda *et al.*, 2014)。密度をパラメータとして、ミ

ミズの摂食・排泄・移動の活動に対して影響し、ミミズの密度が土壌の土壌養分濃度の変化量や変化速度、さらに作物成長に対してどのような影響を与えるかが十分に解明されていない。

## 第 2 節 目的及び本論の構成

国内外の研究で明らかになっているように、ミミズの 3 つの大きな働きである摂食・排泄・移動の活動によって、排泄された糞などによる土壌養分濃度の上昇や糞内の微生物の活性上昇、土壌構造の変化の効果があり、これらの作用による作物成長の促進効果について研究が進められている。しかし、土壌環境や気候、植生によって、農地に生息するミミズの密度は異なり、また一定の面積に生息する数を把握することは困難であることから、ミミズの密度が土壌への影響は十分に解明されていない。そこで、ミミズの密度をパラメータとして、ミミズの摂食・排泄・移動の活動が土壌の土壌養分濃度の変化量や変化速度、さらに作物成長に対してどのような影響を与えるかを明らかにすることとした。

そこで本研究は、土壌中のミミズの密度に注目して、ミミズの摂食・排泄・移動の働きが土壌環境に対してどのような影響を与えるのかを明らかにすることを目的とした。本研究は Fig. 1-9 のように、全 5 章で構成されている。

第 1 章「研究の背景と目的」では、ミミズの働きや種類などを述べ、それに関連した既往の研究の結果を議論し、取り組むべき課題を明確にした。

第 2 章「フトミミズ科が排泄する糞の成分」では、

フトミミズ科が排泄される糞量や糞自体にどのくらいの土壌養分が含まれているのかを調べ、さらに排泄時間がどのような影響を与えるのかを室内実験で明らかにした。

第3章「フトミミズ科による土壌養分と団粒構造の変化」では、フトミミズ科の土壌中での動きや糞が土壌の理化学性や団粒構造の変化に各層で生じているかを室内カラム実験で明らかにした。さらに、ミミズの密度の違いがどのような影響するのかにも注目した。また、第2章の糞濃度の結果を用いて、カラム実験の濃度のうち、糞濃度の割合がどのくらいなのかを試算で求め明らかにした。

第4章「フトミミズ科が作物成長に与える影響」では、第3章のミミズの密度の実験条件を用いて、ポット試験で作物の成長実験を行った。

第5章では、研究の総括と今後の課題について述べた。

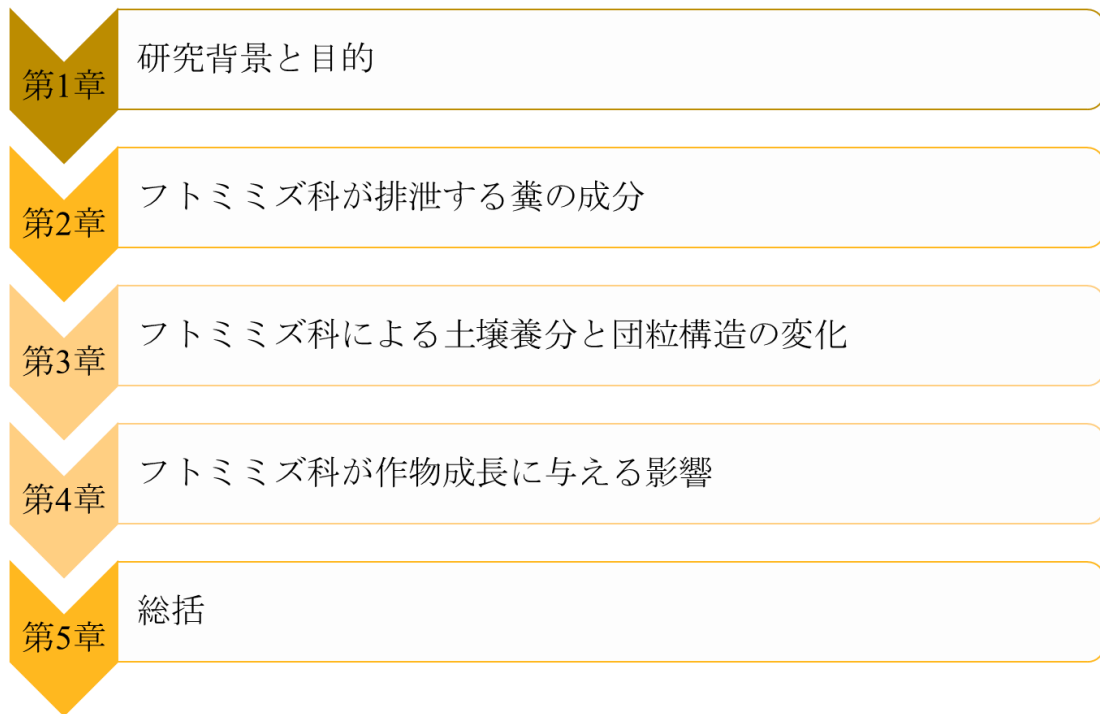


Fig. 1- 9 Structure of the thesis

参考・引用文献（第1章）

- Arai, M., Minamiya, Y., Tsuzura, H., Watanabe, Y., Yagioka, A. and Kanekoa, N. (2014) : Changes in water stable aggregate and soil carbon accumulation in a no-tillage with weed mulch management site after conversion from conventional management practices. *Geoderma*, 221, 50-60.
- Bagyaraj, D.J. and Patil, R.B. (1975) : Azobacter research in Karnataka. *Current Research*, 4, 145-147.
- Batey, T. (2009) : Soil compaction and soil management a review. *Soil use and management*, 25 (4) , 335-345.
- Blakemore, R. J. (2012) : Japanese earthworms revisited a decade on. *Zoology in the Middle East*. 58 (suppl 4) , 15-22.
- Bouché, M.B. (1977) : Soil Organisms as Components of Ecosystems. *Ecological Bulletin*, 25, 122-132.
- Brady, N. C. and Weill, R. R. (2008) : The nature and properties of soil 14<sup>th</sup> edition. Pearson Prentice Hall, 453.
- Chandini, Randeep K., Ravendra K. and Om P. (2019) : Research trends in environmental sciences 2nd edition, chapter 5, 69-86.



- Czerwinski, Z., Jakubczye and Petal, J. (1971)  
 Influence of ant hills on the meadow soils.  
 Pedobiol, 11, 277-285.
- Darwin, C.R. (1881) : The Formation of Vegetable Mould  
 Through the Action of Worms with Observations of  
 their habits. John Murray.
- DriloBASE World Earthworm Database (2020) :  
[http://taxo.drilobase.org/index.php?title=Index\\_of\\_taxa](http://taxo.drilobase.org/index.php?title=Index_of_taxa)
- Evans, A. C. and Guild, W. J. M. (1947) : Studies on  
 the relationships between earthworms and soil  
 fertility II. Annals of Applied Biology, 34, 307-330.
- FAOSTAT Change in use of agricultural fertilizer  
 (2020) : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN>
- FAOSTAT Change in world's population (2020) :  
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>
- Fenton, G. R (1947) : The soil fauna : with special  
 references to the ecosystem of forest soil. *J. Anim.  
 Ecol.*, 16, 76-93.
- van Groenigen J. W., Lubbers, I.M., Vos, H.M.J.,  
 Brown, G.G., de Deyn, G.B. and van Groenigen, K.J.  
 (2014) : Earthworms increase plant production.  
*Sci. Rep.*, 4, 6365.
- Ishizuka, K (1999) : A review of the genus Genus  
*Pheretima s. lat.* (Megascolecidae) from Japan.

- Edaphologia, 62, 55-80.
- Jaffar, M. and Behzad, A. (2016) : Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America., 47 (1) , 44-50.
- Joachim, A. W. R. and Kandiah, S. (1940) : Studies on Ceylon soils. XIV. A comparison of soils from termite mounds and adjacent land. *Trop. Agric. Mag. Ceylon Agric. Soc.*, 95, 333-338, pls. 1-2.
- Kaneda, S., Nakajima, M., Urashima, Y. and Murakami, T. (2014) : Effectiveness of Reduced Tillage on the Cast Production of *Pheretima (Amyntas) carnosus* and Yields of Chinese Cabbage on Volcanic-ash Soil. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 24 (2) , 147-153.
- Kawaguchi, T., Kyohima, T., and Kaneko, N. (2011) : Mineral nitrogen dynamics in the casts of epigeic earthworms (*Metaphire hilgendorfi* : Megascolecidae) . *Soil Sci. Plant Nutr.*, 57, 387-395.
- Kavdir, Y. and R, Ilay. (2011) : Earthworms and soil structure. Springer-Verlag, 39-50.
- Langmaack, M., Schrader, S., Rapp-Bernhardt, U. and Kotzke, K. (1999) : Quantitative analysis of earthworm burrow systems with respect to biological soil-structure regeneration after soil compaction.

- Biol. Fertil. Soils*, 28, 219-229
- Lavelle, P. (1983) : Earthworm Ecology, Darwin to Vermiculture. Chapman and Hall, 444-466.
- Lavelle P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Spain, A., Toutain, F., Barois, I. and Schaefer, R. (1993) : A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems-Application to soils of the humid tropics-. *Biotropica*, 25, 130-150.
- Lee, K. E. and Wood, T. G. (1971) : Physical and chemical effects on soil of some Australian termites and their pedological significance. *Pedobiol.*, 11, 376-409.
- Li, C., Tang, L., Xiong, Z., Wang, B., Jia, Z., and Li, Y. (2014) : Effect of long term fertilizing regime on soil microbial diversity and soil property. *Wei Sheng Wu Xue Bao.*, 54, 319-329.
- Lubbers, I. M. (2017) : Can earthworms simultaneously enhance decomposition and stabilization of plant residue carbon?. *Soil Biol. Biochem.*, 105, 12-24.
- Mikha, M.M. and Rice, C. W. (2004) : Tillage and Manure Effects on Soil and Aggregate-Associated Carbon and Nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 809-816.

- Nakamura, Y., Itakura, J. and Matsuzaki, I. (1995)  
Influence of the earthworm *Pheretima hilgendorfi*  
(megascolucidae) on *Plasmodiophora brassicae*  
clubroot galls of cabbage seedlings in pot.  
*Edaphologia*, 54, 39-41.
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S. M., Sa, J. C. D.  
and Albrecht, A. (2002) : Soil organic matter, biota  
and aggregation in temperate and tropical soils -  
Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22, 755-775.
- Salisbury, E.J. (1923) : The Influence of Earthworms  
on Soil Reaction and the Stratification of  
Undisturbed Soils. *Botanical Journal of the Linnean  
Society*, Vol46, 311, 415-425.
- Webster, M. A. and Dixon, G. R. (1991) : Calcium, pH  
and inoculum concentration influencing colonization  
by *Plasmodiophora brassicae*. *Mycol. Res.*, 95, 64-  
73.
- Wessen, E., Hallin, S, and Philippot, L. (2010) :  
Differential responses of bacterial and archaeal  
groups at high taxonomical ranks to soil  
management. *Soil biology and biochemistry*, 42,  
1759-1765.
- 青木 淳一 (2010) : 土壤動物学. 北隆館, 22-23.
- 石塚小太郎 (2001) : 日本産フトミミズ属 (Genus  
*Pheretima s. lat.*) の分類学的研究. 成蹊大学一般

- 研究報告, 33 (3), 1-125.
- 石塚小太郎 (2015): ミミズの学術的研究 -日本産フトミミズ属の形態、生態、分類および研究手法-. 全国農村教育協会, 1-50.
- 板倉寿三郎 (1990): フトミミズが大麥の生育と成分及び土壌条件に与える効果. 東北農業研究, 43, 117-118.
- 伊藤歌奈子・藤嶋・千陽・由田宏一・中嶋博・春木雅寛 (2001): ミミズの移入が土壌の性質および作物の生育に及ぼす影響. 北海道大学農学部農場研究報告, 32, 47-54.
- 金子信博 (2007): 土壌生態学入門 -土壌動物の多様性と機能-. 東海大学出版会.
- 金子信博 (2014). 土の百科事典. 丸善出版, 30-33.
- 金子信博 (2018): 土壌生態系. 朝倉書店, 58.
- 上平幸好 (2004): 東北地方における陸棲貧毛類の分布に関する考察. 函館短期大学紀要, 30, 23-32.
- 小林新二郎 (1941a): 四国、中国、近畿及中部諸地方の陸棲貧毛類に就て. 動物学雑誌, 53, 258-266.
- 小林新二郎 (1941b): 九州地方陸棲貧毛類相の概況. 植物及動物, 9, 511-518.
- 合田素行 (1996): 日本における環境保全型農業の現状とその可能性. 農業経済研究, 68, 2, 88-96.
- 妹尾啓史 (2001): 土壌学概論. 朝倉書店, 37-50.
- 中村好男 (1999): ミミズは土の健康診断に有効

- (1) . 農業と科学, 7.
- 豊田剛己 (2009) : ミミズと土壌病害 . 農業および園芸, 84 (1) , 213-218.
- 西尾道徳 (1966) : 土壌微生物の基礎知識 . 農山漁村文化協会, 199.
- 農林水産省 環境保全型農業 (2020) :  
[https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/](https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/)
- 山口英二 (1966) : 貧毛環虫の分類と系統について . 動物分類学会, 2, 16-21.
- 渡辺弘之 (1967) : 土壌動物の働き . *Edaphologia.*, 1, 7-9.
- 渡辺弘之 (1971) : 森林における大型土壌動物の落葉粉砕と土壌耕耘に関する研究 : ミミズ類を主として . 京都大学 .

## 第 2 章

# フトミミズ科が 排泄する糞の成分

## 第1節 本章の目的

海外では、Salisbury (1923) や Joachim and Kandiah (1940)、Lunt and Jacobson (1944) などによって、ミミズの糞や糞塚の方が周辺土壌よりも強熱減量や有機物含量、リン酸、窒素などの理工学的性質が高いことが報告されている。また、ミミズの糞や糞塚は地表面に排泄され、その生産量は種や環境によっても異なる。それによると、ミミズが地表面に運び上げる量は、1エーカー当たり1年に2~30トンになると報告されている (Evans and Guild, 1947)。これらの糞や糞塚を排泄する種は、地中性種 (endogeic) や表層採食地中性種 (anecic) であることが明らかになっている (Bouché, 1977)。

それに対して日本では、Watanabe (1975) はクソミミズ (*Amyntas hupeiensis*) が糞塊を排泄することや Kaneke (2019) がフトミミズ科から排泄される糞は、地表面に糞塚の形成がみられないことが報告されている。また、日本には糞塚を形成する表層採食地中性種 (anecic) が生息していないことや地中性種 (endogeic) も糞や糞塚を地表面に排泄される種が少ない。このことから、日本に生息するフトミミズ科は土壌中に糞を多く排泄し、蓄積されると予想される。しかし、土壌中にどのくらいの量が排泄するのかを把握することができない。



そこで、フトミミズ科が排泄される糞量や糞自体にどのくらいの土壌養分が含まれているのかを明らかにすることとした。また、糞の排泄時間が糞量や土壌養分に与える影響についても検討した。

## 第2節 実験試料と実験方法

### 1. 実験試料

#### 1-1 供試ミミズ

採取地は神奈川県川崎市の果樹地（ $35^{\circ} 34'15.3''\text{N}$ ,  $139^{\circ} 36'40.0''\text{E}$ ）（Photo. 2-1）で、土壌表面から10 cmまでに生息しているフトミミズ科をハンドソーティング法で採取した。採取深さから、採取したミミズは表層種と浅層種の生活型だと判断できる。観察の結果からは、主にハタケミミズ（*Metaphire agrestis*）、フツウミミズ（*Metaphire communissima*）、ヒトツモンミミズ（*Metaphire hilgendorfi*）とみられる種が多かった（Photo. 2-2, Photo. 2-3, Photo. 2-4）。実験では生きた状態で使用するため、外部形態で判断できるところまで行い、厳密に種の選別は行わないこととした。採取したミミズの体長と生重量の個体数を Fig. 2-1、Fig. 2-2 に示した。ミミズの体は移動する際に、体を伸縮し移動するため大まかな体長を測定した結果、8～10 cmのミミズが最も多く生息していた（全体の約70%）。また、生重量をみると、0.9～1.3 gのミミズが多く生息していた（全体の約60%）。実験で使用する際は、個体数に対してミミズの生重量を合わせて用いることとした。

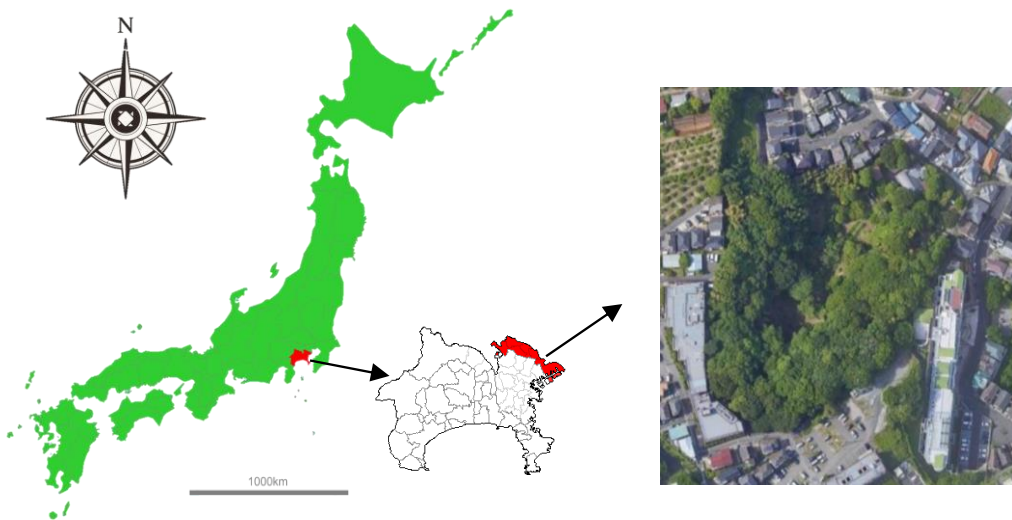


Photo. 2-1 Sampled area of earthworm



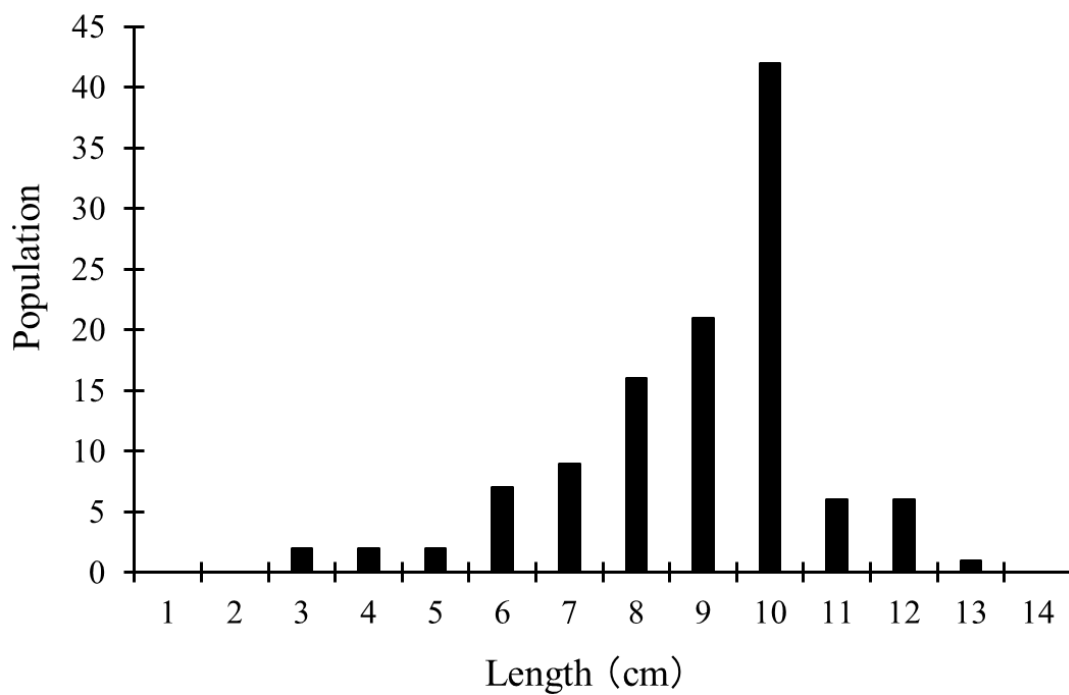
Photo. 2-2 Sampled Megascolicidae earthworm ①



Photo. 2-3 Sampled Megascolicidae earthworm ②

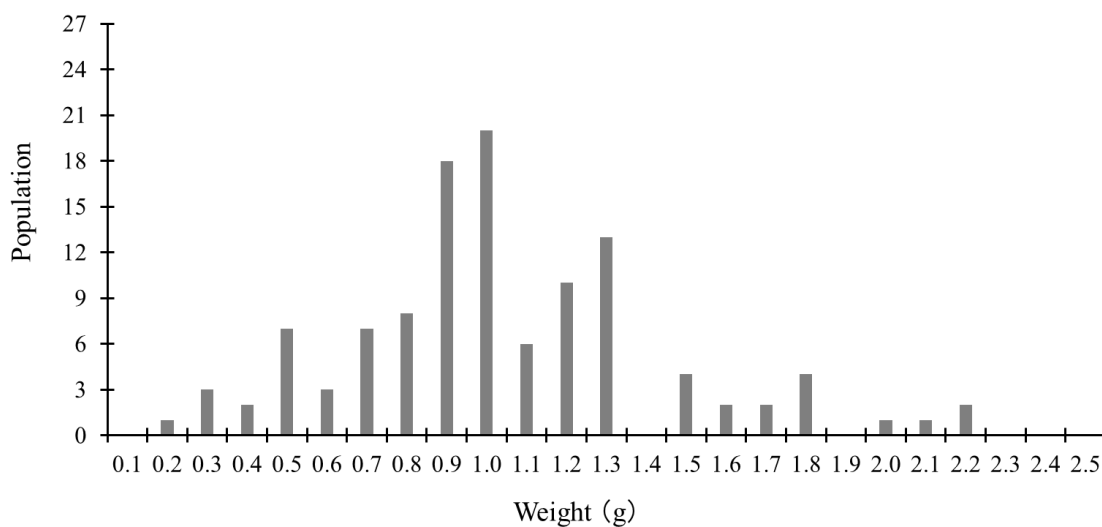


Photo. 2-4 Sampled Megascolicidae earthworm ③



n = 114

Fig. 2-1 No. of Megascolicidae earthworm according to their body length



n = 114

Fig. 2-2 No. of Megascolicidae earthworm according to their body weight

## 1-2 供試土壌

フトミミズ科のミミズの採取地（ $35^{\circ} 34'15.3''\text{N}$ ,  $139^{\circ} 36'40.0''\text{E}$ ）（Photo 2-1）と同じ神奈川県川崎市の果樹地の土壌（ $35^{\circ} 34'15.3''\text{N}$ ,  $139^{\circ} 36'40.0''\text{E}$ ）（Photo. 2-5, Photo. 2-6, Photo. 2-7）で、ミミズが生息していた深さ 10 cm 程度までの土壌を掘り、実験に使用した。土壌のタイプは黒ボク土で、土壌中に含まれる石や植物残渣を取り除くため、2 mm のふるいでふるい分けし、通過分を用いた（Photo. 2-8）。この果樹地は、20 年以上化成肥料や有機堆肥などの肥料の施肥は行っておらず、年に数回土壌表面に生えている草を刈る程度の状況である。



Photo. 2-5 Sampled area of soil used  
for the experiment①



Photo. 2-6 Sampled area of soil used  
for the experiment②



Photo. 2-7 Sampled area of soil used  
for the experiment③



Photo. 2-8 2 mm sieved soil used for the experiment



## 2. 実験方法

### 2-1 実験フローチャート

- (1) 採取したミミズの体外を蒸留水で洗浄後、ビーカーに入れ体内に含まれる糞などを排泄させる。ミミズの腸内における餌の滞留時間は2～20時間程度(Brown, 1995)と報告されており、それを参考して、20～24時間と設定した。ビーカーにミミズを入れ、インキュベータで培養した。この時のインキュベータの温度は、採取地点である川崎市の年平均気温のデータがなかったため、川崎市に近い横浜市の2018年のデータを参考にし、 $17.1 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ に設定した。また、ミミズは乾燥に弱いため、乾燥しないように5 mlの蒸留水を加えた。
- (2) 体内の洗浄後、ミミズの体内を蒸留水で洗浄した土壌に入れる。2 mmふるい通過分の土壌を使用した。その後、インキュベータで24時間以上培養する。
- (3) ミミズを土壌から出し、体外を洗浄した。洗浄したミミズをファルコンチューブに入れ、乾燥しないように2 mlの蒸留水を加えた。その後、インキュベータで24、48時間培養した。

## 2-2 実験項目

初期条件のファルコンチューブの重さと24、48時間後の重さをはかり、ミミズから排泄された糞の重さ算出する。そして、排泄された糞に含まれる土壌養分の分析を行った。なお、本実験では糞や尿、粘液の区別が難しいので排泄物を全て糞とした。土壌養分は、可給態リン酸と硝酸態窒素を分析した。可給態リン酸はトルオーグ法（Trouw, 1930）、硝酸態窒素をサリチル硫酸法（Cataldo *et al.*, 1975）で行った。

### 第3節 結果および考察

#### 1. 排泄した糞量

生重量と糞量の関係を示す (Fig. 2-3)。24 時間および 48 時間ともに、正の相関が認められた。Watanabe (1975) はクソミミズ (*Pheretima hupeiensis*) を対象に時期や天気によって同じ体重でも、排泄量に違いがあるが、ほぼ体重に比例した排泄量であることが報告されることから、本実験においても同様の比例関係の傾向が示された。また、生重量があっても糞量が少ないのは、ミミズの個体差や培養環境のストレスなどが影響していると考えられる。

48 時間の方が 24 時間よりも糞量が多く排泄された。24 時間で生重量の約 36%、48 時間で生重量の約 65% の糞量が排泄された。これは Brown (1995) がミミズの腸内における餌の滞留時間は 2~20 時間程度と報告されているように、日本に生息しているフトミミズ科も同様の滞留時間もしくはさらに長い滞留時間ではないかと推察されることから、48 時間の方が多いと考えられた。

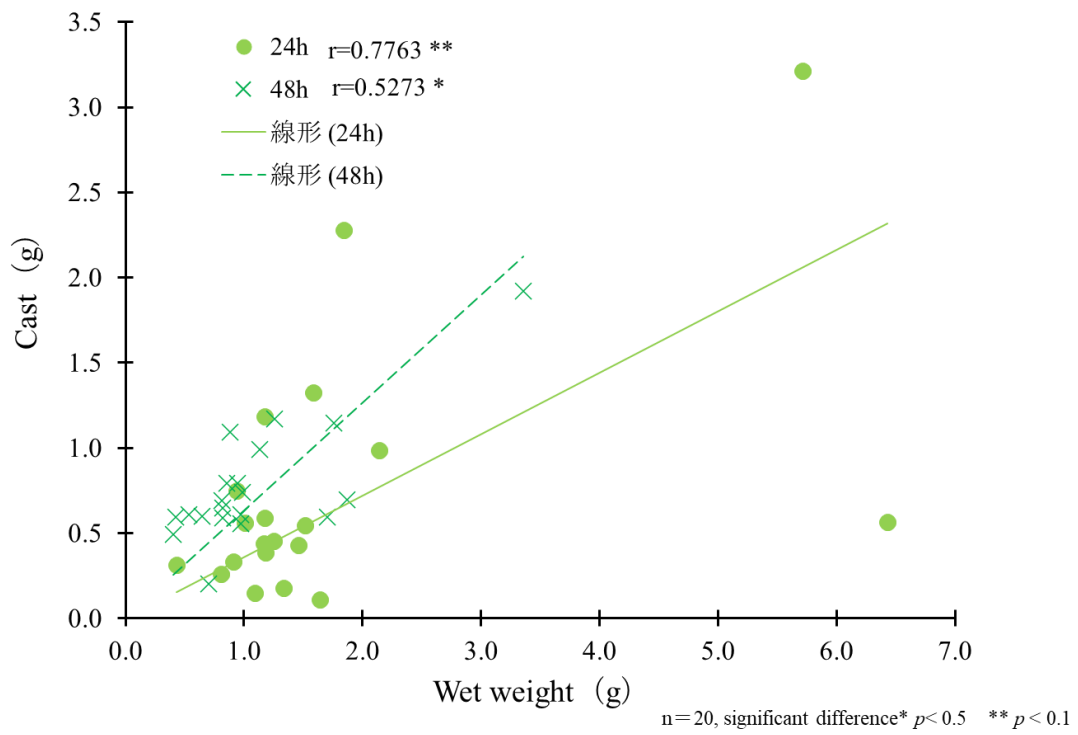


Fig. 2-3 Relation between earthworms weight and casts produced

## 2. 糞に含まれる可給態リン酸

時間経過による排泄された糞量と可給態リン酸の関係を示す (Fig. 2-4, Fig. 2-5)。

まず、排泄された糞 1 g に含まれる可給態リン酸濃度と元の土壌 1 g の濃度 (0.04 mg/g) を平均したものを比較すると、24 時間で 0.23 mg/g (元の土壌の約 6 倍)、48 時間で 0.21 mg/g (元の土壌の約 5 倍) とともに高くなる結果になった (Fig. 2-4)。しかし、24 時間および 48 時間ともに相関が見られなかった。そこで、糞 1 g に含まれる可給態リン酸濃度を排泄された糞量をかけて、糞量に含まれる濃度を算出し、排泄された糞量に含まれる可給態リン酸量を比較した。その結果、24 時間で 0.16 mg、48 時間で 0.17 mg となり、24 時間および 48 時間ともに高い正の相関が見られた (Fig. 2-5)。また、排泄時間に関係なく、糞量に含まれる可給態リン酸量は変わらない傾向が見られた。

土壌中では、不溶性や可溶性有機態リンやポリリン酸が無機化によって、可溶性無機態リンの変化に変化することが知られている。この無機化には、土壌酵素の一つであるホスタファーゼやリン溶解菌である硫酸還元菌、無機強酸生成細菌、有機酸生成菌などの微生物が関与することが報告されている。その中でも、ミミズの腸内や排泄された糞内は土壌と比べて、ホスタファーゼ活性が高いことが明らかになっている (Satchell and Martin, 1984 ; 松本・谷口, 1995 ; 宮崎,

2010)。

このことから、本実験で用いたミミズも同様に腸内や糞内のホスタファーゼが存在し、活性が高いと推測でき、ホスタファーゼによる加水分解によって、可溶化が行われたことで元の土壌より濃度が高くなったと思われる。また、ミミズの腸内や糞内には多くの微生物が存在しており、微生物による有機物の分解 (Darwin, 1881; Joachim & Kandiah, 1940; 松本・柘植, 1977; 佐々木ら, 1994) や微生物から排泄される酵素が分解を促進 (Lavelle *et al.*, 1997) などの影響も推測される。また、24時間と48時間を比較すると、可給態リン酸濃度および量の変化が見られなかったのは、24時間でホスタファーゼが有機物などを分解しきったため、濃度や量が変わらなかったためだと推察された。

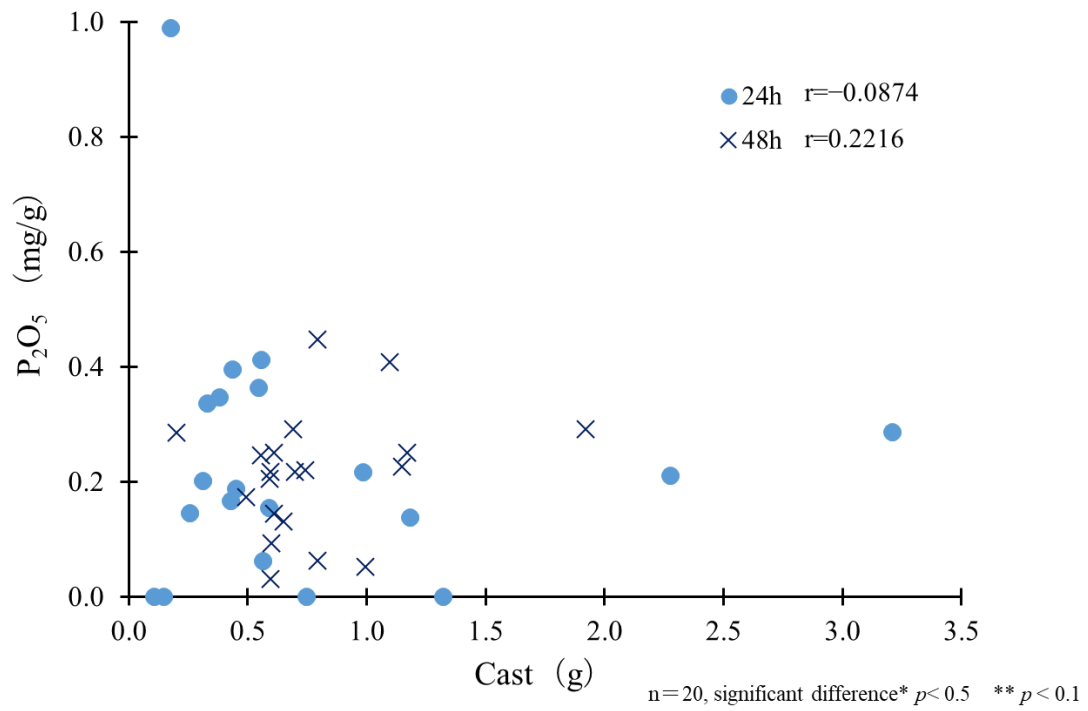


Fig. 2-4 Relation between cast mass and concentration of available phosphate (initial content in soil at 0.04 mg/g, 24 hrs : 0.23 mg/g and 48 hrs : 0.21 mg/g)

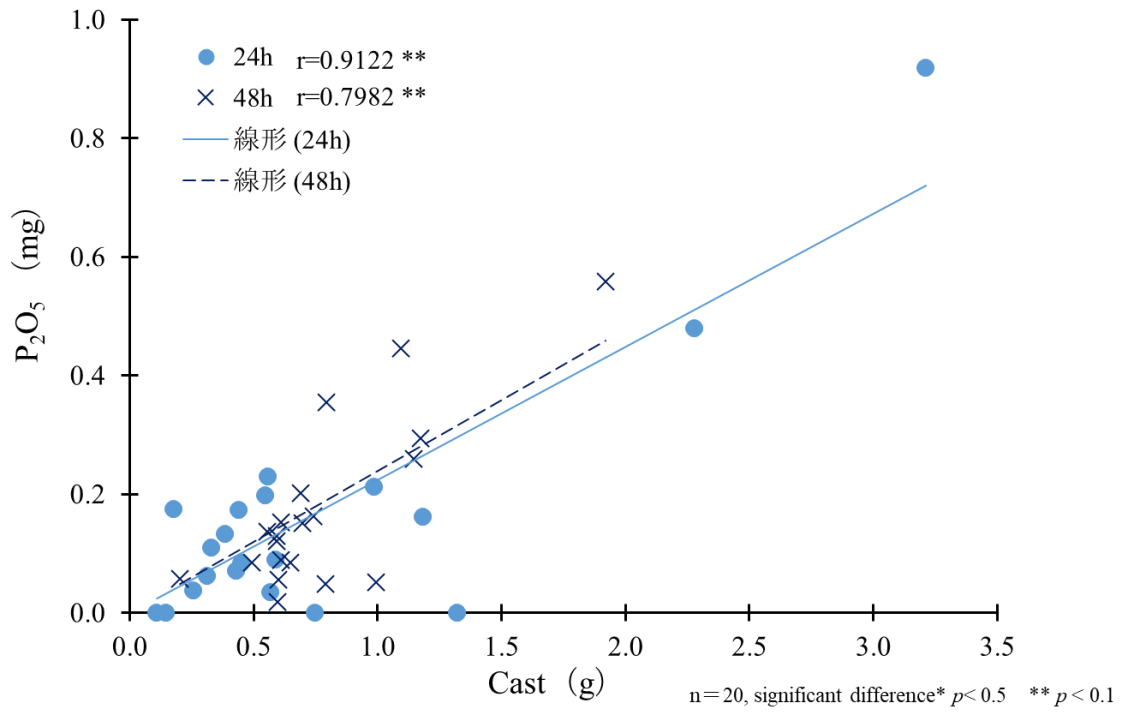


Fig. 2-5 Concentration of available phosphate in cast  
 ( 24 hrs : 0.16 mg, 48hrs : 0.17 mg )



### 3. 糞に含まれる硝酸態窒素

時間による排泄された糞量と硝酸態窒素の関係を示す (Fig. 2-6, Fig. 2-7)。

可給態リン酸と同様に、排泄された糞 1 g に含まれる硝酸態窒素濃度と元の土壌 1 g の濃度 (0.002 mg/g) を平均したものを比較すると、24 時間で 1.89 mg/g (元の土壌の約 945 倍)、48 時間で 1.84 mg/g (元の土壌の約 920 倍) とともに高くなる結果になった (Fig. 2-6)。しかし、24 時間および 48 時間ともに相関が見られなかった。そこで、糞 1 g に含まれる硝酸態窒素濃度を排泄された糞量をかけて、糞量に含まれる濃度を算出し、排泄された糞量に含まれる硝酸態窒素量を比較した。その結果、24 時間で 1.69 mg、48 時間で 1.47 mg となり、24 時間および 48 時間ともに高い正の相関が見られた (Fig. 2-7)。また、排泄時間に関係なく、糞量に含まれる可給態リン酸量は変わらない傾向が見られた。

土壌中では、有機態窒素が無機化や微生物によって植物にとって利用されやすい硝酸態窒素の形態に変化する。硝酸態窒素の生成は、アンモニア酸化菌や亜硝酸酸化菌などを含まれる硝化菌などの微生物が関与していることが報告されている。ミミズの糞内に硝化菌が存在していることが分かっている (蘇ら, 2017)。

このことから、本実験で用いたミミズも糞内に硝化菌に存在していると考えられる。また、ミミズの糞は

耐水性団粒であり、耐水性団粒は通気性や透水性などが優れていること（Kawaguchi *et al.*, 2011）から好気的になる。そのため、糞内に存在する硝化菌は好気性微生物であるため（Ward, 2008）、硝化菌の活性が高まったことで、濃度が高くなったと考えられる。また、時間の経過とともにミミズの呼吸でファルコンチューブ内が嫌氣的な条件になったため、48時間の方が好気性微生物である硝化菌の働きを弱まったことで生成される硝酸態窒素量が少ないことが考えられる。

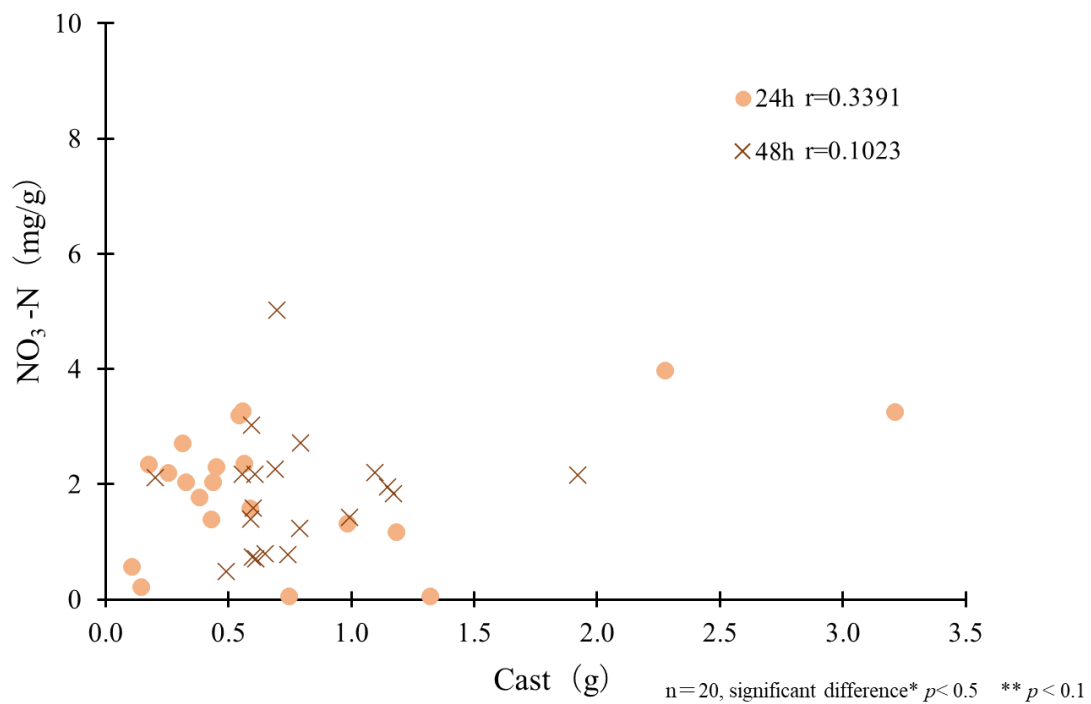


Fig. 2-6 Relation between cast mass and concentration of nitrate nitrogen (initial content in soil at 0.002 mg/g, 24 hrs : 1.89 mg/g and 48 hrs : 1.84 mg/g)

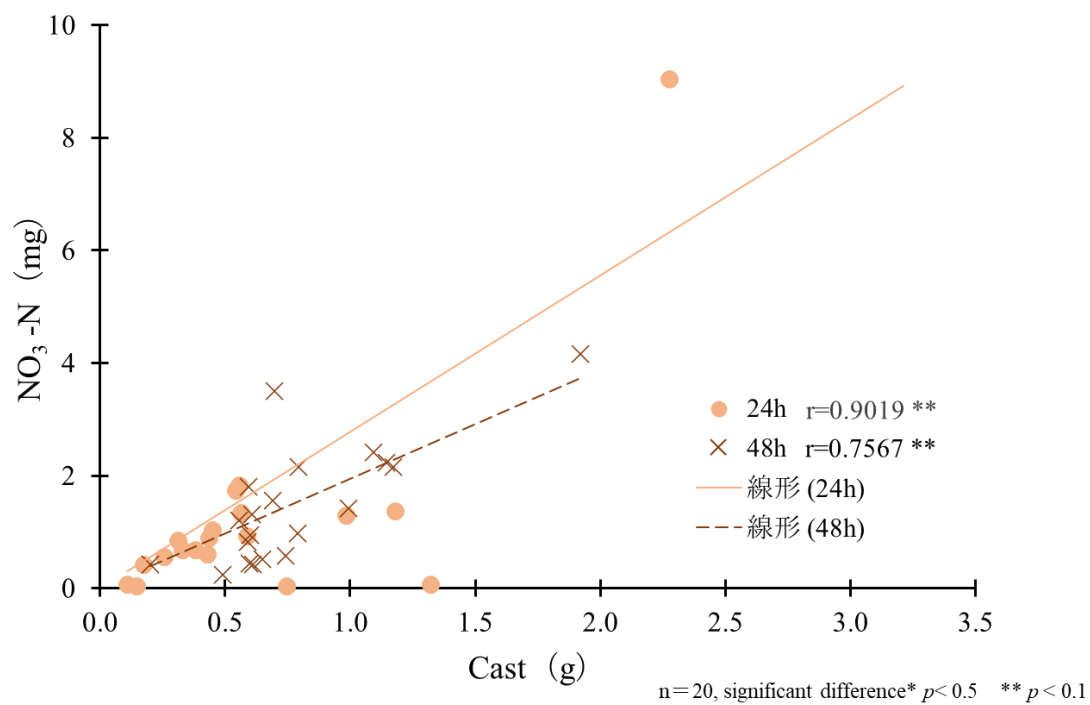


Fig. 2-7 Concentration of nitrate nitrogen in cast  
 ( 24 hrs : 1.69 mg, 48 hrs : 1.47 mg )

#### 第4節 本章のまとめ

本章では、フトミミズ科から排泄される糞量や糞自体に含まれる土壌養分量が含まれているのかや排泄時間によって、どのような影響を与えるのかを解明した。

排泄された糞量は24時間に比べて、48時間の方が多くなる結果となった。また、可給態リン酸および硝酸態窒素ともに、24時間および48時間ともに元の土壌よりも濃度が高くなる傾向がみられた。これはミミズの腸内や糞内に生息する微生物や酵素による影響だと分かった。また、糞量に含まれる可給態リン酸および硝酸態窒素量は排泄時間による変化は見られず、排泄時間に関わらず、ともに高い正の相関がみられた。

以上のことから、日本に生息するフトミミズ科から排泄される糞は、元の土壌よりも濃度が高くなることが分かった。また、土壌中に排泄された糞を介して、糞以外の土壌に影響し、濃度が上昇するのではないかと考えられる。

これらの結果を受け、第3章ではフトミミズ科から排泄される糞が土壌中のどの深さで多く出るのかや土壌中の移動に伴う土壌構造にどのような影響をするのかについて議論していく。

参考・引用文献（第2章）

- Arai, M., Tayasu, I., Komatsuzaki, M., Uchida., Shibata, Y. and Kaneko, N. (2013) : Changes in soil aggregate carbon dynamics under no-tillage with respect to earthworm biomass revealed by radiocarbon analysis. *Soil and Tillage Research*, 126, 42-49.
- Bouché, M.B. (1977) : Soil Organisms as Components of Ecosystems. *Ecological Bulletin*, 25, 122-132.
- Brown, G. G. (1995) : How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?. *Plant and Soil*, 170, 209-231.
- Cataldo, D. A., Maroon, M., Schrader, L. E. and Youngs, V. L. (1975) : Rapid colorimetric determination of nitrate in plant-tissue by nitration of salicylic-acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6, 71-80.
- Darwin, C.R. (1881) : The Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms with Observations of their habits. John Murray.
- Evans, A. C. and Guild, W. J. M. (1947) : Studies on the relationships between earthworms and soil fertilityII. *Annals of Applied Biology*, 34, 307-330.
- Joachim, A. W. R. and Kandiah, S. (1940) : Studies on

- Ceylon soils. XIV. A comparison of soils from termite mounds and adjacent land. *Trop. Agric. Mag. Ceylon Agric. Soc.*, 95, 333-338, pls. 1-2.
- Kaneko, T., Fujikawa, T. and Mihara, M. (2019) : Effects of Earthworm Megascolicidae Population and Litter Quantity on Soil Properties in Experimental Containers. *IJERD*, 10 (2) , 120-126.
- Kawaguchi, T., Kyohima, T., and Kaneko, N. (2011) : Mineral nitrogen dynamics in the casts of epigeic earthworms (*Metaphire hilgendorfi* : Megascolecidae) . *Soil Sci. Plant Nutr.*, 57, 387-395.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, Roger, V., Ineson, P., Heal, P., O.W., and Dhillion, S. (1997) : Soil function in a changing world : the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Sci.*, 33, 159-193.
- Lunt, H. A. and Jacobson, G. M. (1994) : The chemical composition of earthworm casts. *Soil Sci.*, 58, 367.
- Satchell, J. E. and Martin, K. (1984) : Phosphatase activity in earthworm faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 16 (2) , 191-194.
- Truog, E. (1930) : Determination of readily available phosphorus of soils. *J. Am. Soc. Agron. J.*, 22, 874-

882.

Walanabe, H. (1975) : On the amount of cast production by the Megascolecidae earthworm *Pheretima hupeiensis*. *Pedobiologia*, 15, 20-28.

Ward, B. B. (2008) : Nitrification in the marine environment. 2<sup>nd</sup> edition, 199-261.

蘇 霆 軒 ・ 江 邊 正 平 ・ 大 池 達 矢 ・ 岡 南 政 宏 ・ 阿 野 貴 司  
(2017) : ミミズが土壌成分と植物生長に与える効果の研究. 近畿大学生物理工学部紀要, 39, 27-38.

松 本 貞 義 ・ 柘 植 利 久 (1977) : ミミズとその糞土について. 日本土壌肥料学会雑誌, 48 (4) , 142-144.

松 本 貞 義 ・ 谷 口 孝 誠 (1995) : 土壌の肥沃化に寄与するミミズの摂食排糞活動 (1) . *Edaphologia*, 53, 19-24. 佐々木秀明・安藤豊・小林四郎 (1994) : ミミズが土壌の化学性に与える影響について. 日本土壌肥料学会雑誌, 65 (2) , 184-186.

宮 崎 あ か ね (2010) : 大型土壌動物 (ミミズ) による土壌浄化の可能性. 日本家政学会誌, 61 (7) , 431-434.

## 第 3 章

# フトミミズ科による 土壌養分と団粒構造の変化



## 第1節 本章の目的

第2章で日本に生息するフトミミズ科から排泄された糞は元の土壌より栄養成分が高くなることが分かった。しかし、ミミズは土壌中に一定留まらず、移動しているため、糞が土壌中のどこに蓄積されるのかは明らかになっていない。また、ミミズの密度や有機物含有量も地域や土壌の環境によって、異なり一定ではない。そこで、ミミズの移動を制限するためにカラムを用い、さらに土壌の深さ方向にミミズの密度がどのような影響を与えるかを検証することとした。また、ミミズの移動や糞によって、カラム土壌の土壌養分の上昇が予想される。この濃度上昇に対して、第2章で作成したミミズの生体重から24時間後の可給態リン酸や硝酸態窒素の増加量を予測する式を用いて、24時間当たりに増加量したカラムの土壌濃度の割合がミミズの糞にどのくらい影響するのかを算出した。

本章ではフトミミズ科の密度や土壌有機物含有量の違いによって、土壌中での動きや糞が土壌の理化学性、団粒構造の変化が各層でどのような変化を生じているかを明らかにすることを目的とした。

## 第2節 実験試料と実験方法

### 1. 実験試料

#### 1-1 供試ミミズ

第2章同様、採取地は神奈川県川崎市の果樹地(35°34'15.3"N, 139°36'40.0"E) (Photo. 3-1) で、土壌表面から10 cmまでに生息しているフトミミズ科をハンドソーティング法で採取した。採取深さから、採取したミミズは表層種と浅層種の生活型だと判断できる。観察の結果からは、主にハタケミミズ (*Metaphire agrestis*)、フツウミミズ (*Metaphire communissima*)、ヒトツモンミミズ (*Metaphire hilgendorfi*) とみられる種が多かった (Photo. 3-2, Photo. 3-3, Photo. 3-4)。実験では生きた状態で使用するため、外部形態で判断できるところまで行い、厳密に種の選別は行わないこととした。採取したミミズの体長と生重量の個体数を Fig. 3-5、Fig. 3-6 に示した。ミミズの体は移動する際に、体を伸縮し移動するため大まかな体長を測定した結果、8~10 cm のミミズが最も多く生息していた(全体の約70%)。また、生重量をみると、0.9~1.3 g のミミズが多く生息していた(全体の約60%)。実験で使用する際は、個体数に対してミミズの生重量を合わせて用いることとした。

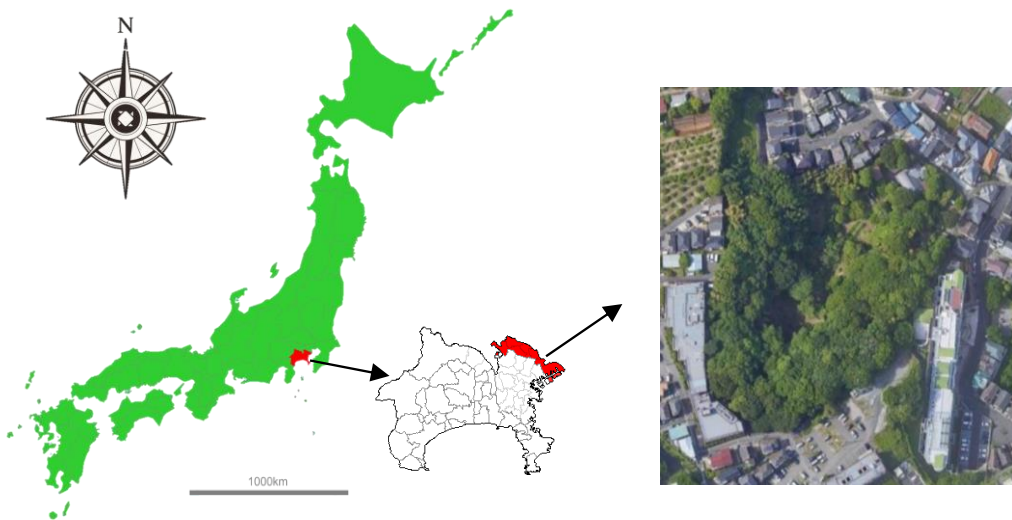


Photo. 3-1 Sampled area of earthworm



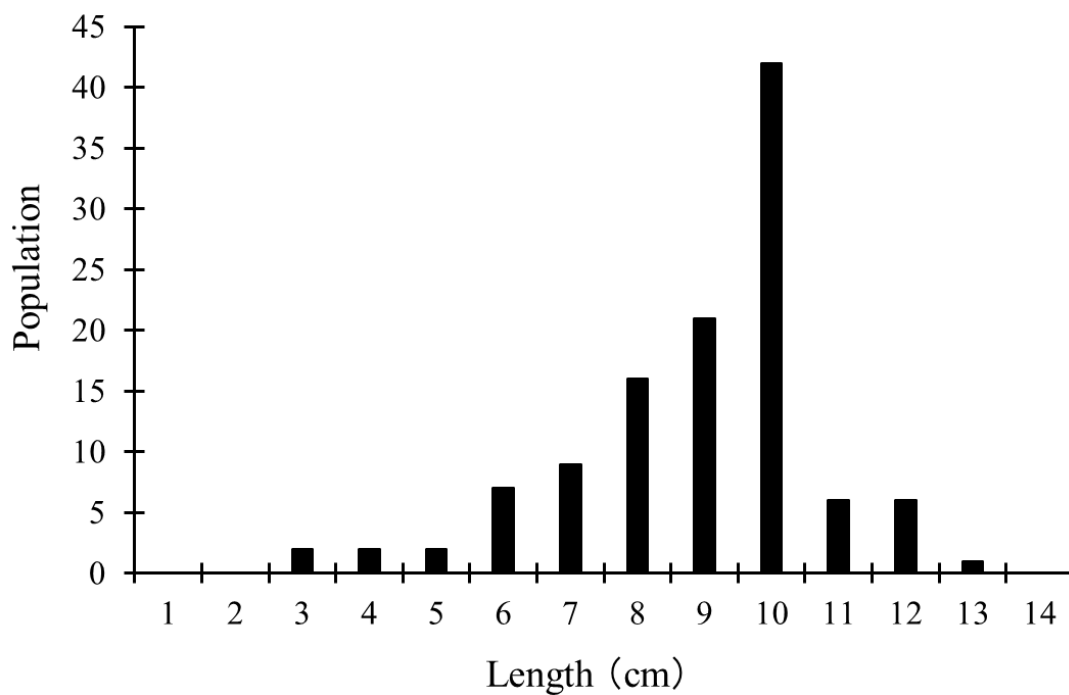
Photo. 3-2 Sampled Megascolicidae earthworm ①



Photo. 3-3 Sampled Megascolicidae earthworm ②

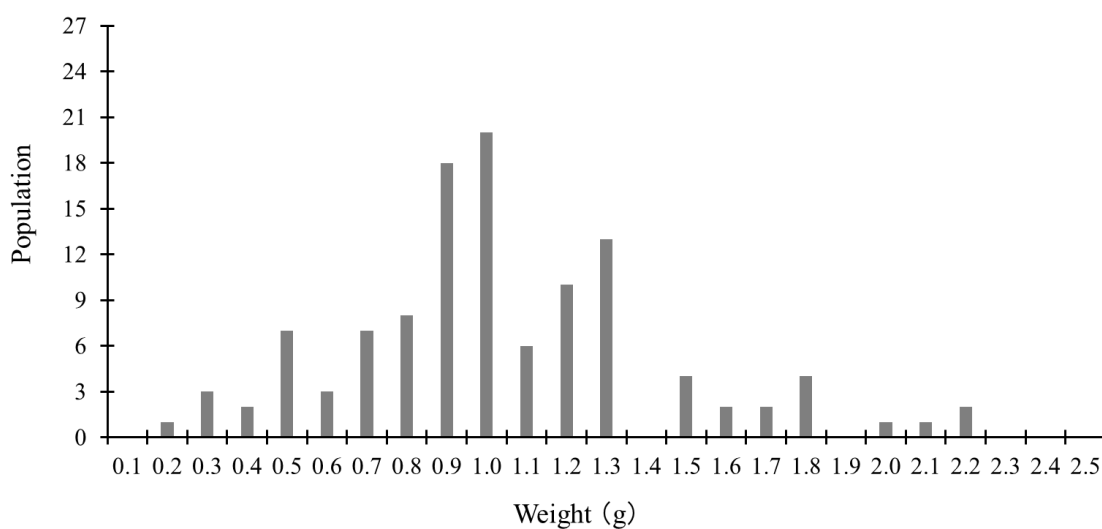


Photo. 3-4 Sampled Megascolicidae earthworm③



n = 114

Fig. 3-1 No. of Megascolicidae earthworm according to their body length



n = 114

Fig. 3-2 No. of Megascolicidae earthworm according to their body weight

## 1-2 供試土壌

第 2 章 同様、フトミミズ科のミミズの採取地（ $35^{\circ} 34'15.3''\text{N}$ ,  $139^{\circ} 36'40.0''\text{E}$ ）と同じ神奈川県川崎市の果樹地の土壌（ $35^{\circ} 34'15.3''\text{N}$ ,  $139^{\circ} 36'40.0''\text{E}$ ）（Photo. 3-5, Photo. 3-6, Photo. 3-7）で、ミミズが生息していた深さ 10 cm 程度までの土壌を掘り、実験に使用した。土壌のタイプは黒ボク土で、土壌中に含まれる石や植物残渣を取り除くため、2 mm のふるいでふるい分けし、通過分を用いた（Photo. 3-8）。この果樹地は、20 年以上化成肥料や有機堆肥などの肥料の施肥は行っておらず、年に数回土壌表面に生えている草を刈る程度の状況である。



Photo. 3-5 Sampled area of soil used  
for the experiment①



Photo. 3-6 Sampled area of soil used  
for the experiment②



Photo. 3-7 Sampled area of soil used  
for the experiment③



Photo. 3-8 2 mm sieved soil used for the experiment



## 2. 実験方法

### 2-1 実験条件

実験区画は、内径 15 cm (断面積 1/5,555 a)、高さ 2 cm のアクリルリングを積み重ねたカラムを用いた (Fig. 3-3, Fig. 3-4)。ミミズは土壤中で活動しているため、暗所で実験することが適していると考え、暗所の設定したインキュベータ内で一定の温度で管理した。この際の温度は採取地点である川崎市の年平均気温のデータがなかったため、川崎市に近い横浜市の 2018 年のデータを参考にし、温度は  $17.1^{\circ}\text{C} \pm 1.0$  に設定した。水分条件は、土壌を入れたカラムを水に浸け、24 時間土壌に吸わせた。その後、バットに置き 24 時間水分を出し、圃場容水量に設定した。ミミズは乾燥に弱いいため、水分管理をした。毎日カラムの重さを計り、初期条件の圃場容水量に一定に保つため、適時水分を散布した。ミミズの密度は、0、3、10 匹 (0、167、555 匹/ $\text{m}^2$ ) に設定した。ミミズの各個体は長さや重さに違いが生じるので、今回は重さで揃え、使用した。ミミズの密度が 0、3、10 匹をそれぞれ EI、EII、EIII と表した。

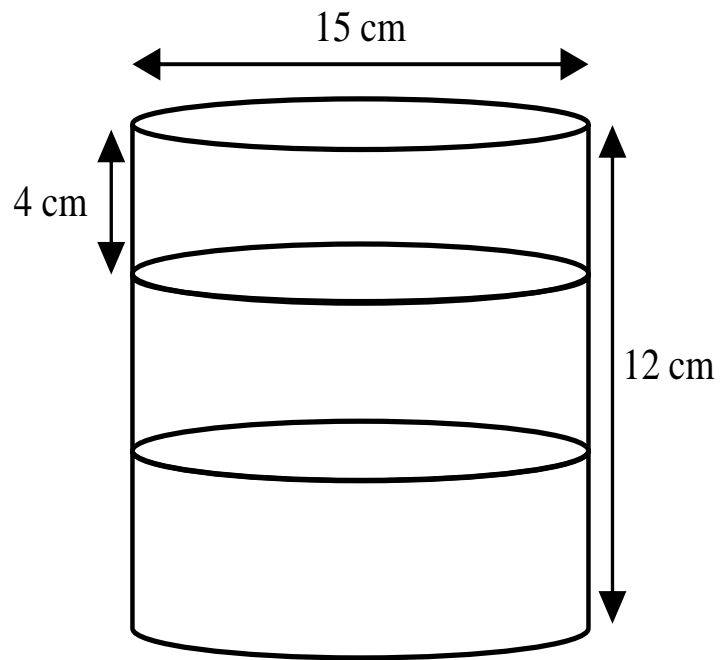


Fig. 3-3 Model diagram of experimental plot ①



Fig. 3-4 Model diagram of experimental plot ②

## 2-2 実験フローチャート

- (1) カラムに 2 mm のふるいを通過した土壌を深さ 12 cm まで充填した ( $1.42 \text{ g/cm}^3$ )。
- (2) 土壌を充填したカラムを圃場容水量にした。その後、ミミズを投入し、インキュベータで培養した。
- (3) 培養期間は 7、14、28 日間放置後、表層より 0～4 cm、4～8 cm、8～12 cm の 3 つの層に分け土壌を採取し、耐水性団粒および土壌養分である可給態リン酸、硝酸態窒素の分析を行った。

## 2-3 測定項目

土壌構造を指標として耐水性団粒、土壌成分である可給態リン酸と硝酸態窒素を分析した。耐水性団粒は湿式ふるい法 (Yoder, 1936)、可給態リン酸はトルオーグ法 (Trouw, 1930)、硝酸態窒素をサリチル硫酸法 (Cataldo *et al.*, 1975) で行った。

### 第3節 結果および考察

#### 1. 各層のミミズ分布および表土の変化

日ごとの各層のミミズ分布を Table 3-1 に示す。今回採取したミミズは、土壤中に生息しないとされている表層種も含まれたが、密度に関係なく、4～8 cm と 8～12 cm の層に多く分布しており、表層部よりも下層部で活動が盛んであることが分かった。さらに、4～8 cm と 8～12 cm の層のカラムにミミズの移動によって、土壤中に坑道の形成が見られた (Photo. 3-9～Photo. 3-12)。また、Photo. 3-13 のようにミミズの密度が高いことで表土に粒状に固まった土壤粒子の変化が見られたが、Dawin (1881) などの既往研究で明らかになっているように糞塚 (Photo. 3-14) などは現れなかった。今回の条件では、ミミズの移動によって、土壤粒子が攪拌され、日本のフトミミズ科から排泄される糞は土壤中に蓄積されるのではないかと推察された。

Table 3-1 Distribution of earthworm habitat over time

Treatments	Layer (cm)	Number of earthworms 7days	Number of earthworms 14 days	Number of earthworms 28 days
EII (3匹)	0～4	0	0	0
	4～8	3	2	2
	8～12	0	1	1
	<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
EIII (10匹)	0～4	0	0	0
	4～8	5	6	7
	8～12	5	3	2
	<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>9</b>



Photo. 3-9 Depth of EII ( 3 worms ) at 28 days  
for 4 ~ 8 cm column layer



Photo. 3-10 Depth of EII ( 3 worms ) at 28 days  
for 8 ~ 12 cm column layer



Photo. 3-11 Depth of EIII ( 10 worms ) at 28 days  
for 4 ~ 8 cm column layer



Photo. 3-12 Depth of EIII ( 10 worms ) at 28 days  
for 8 ~ 12 cm column layer

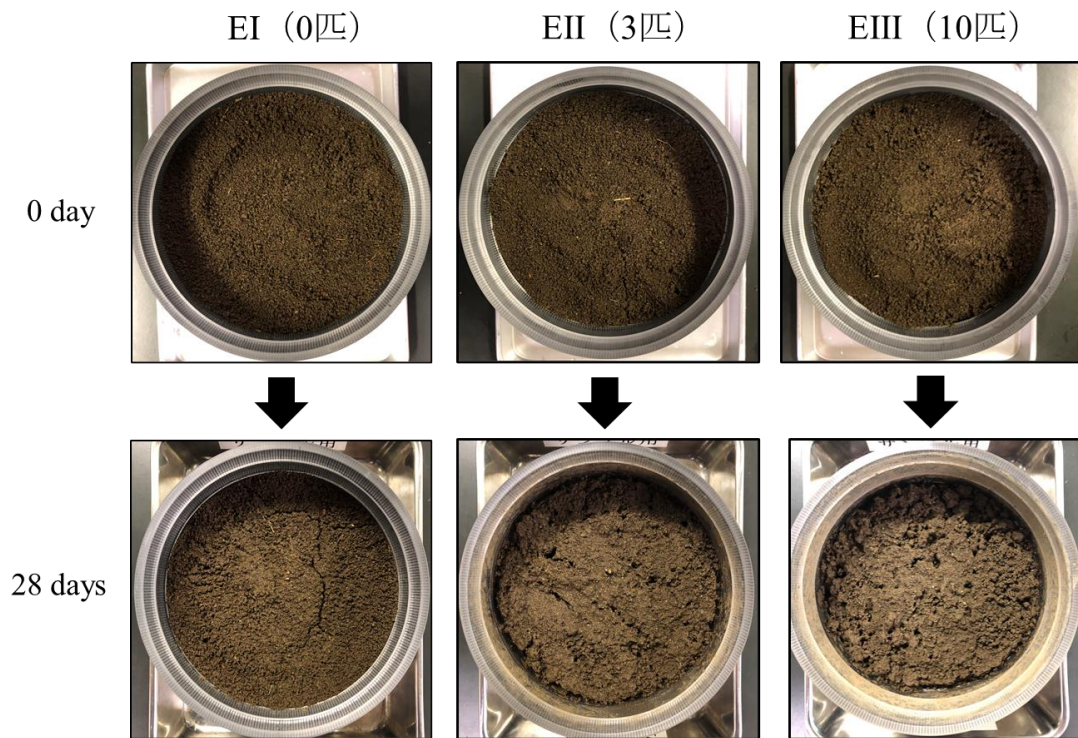


Photo. 3-13 Periodic change in surface soil  
between 0 day and 28 days



Photo. 3-14 Earthworms bounds found in Thailand

## 2. 深さによる耐水性団粒の変化

経過日数による各層の耐水性団粒の変化を示す (Fig. 3-5~Fig. 3-13)。また、28日間経過後における耐水性団粒の鉛直分布を示す (Fig. 3-14, Fig. 3-15, Fig. 3-16)。さらに、平均重量直径の変化を示す (Fig. 3-17, Fig. 3-18)。

その結果、EII (3匹) と EIII (10匹) をみると、28日目の2 mm以上の割合は14日目に比べて割合が高くなった。経過日数の変化により、特に深さ4~8 cm、8~12 cmの層で2 mm以上の割合が増加した。また、28日間経過後の耐水性団粒の割合をみると、ミミズの密度が高くなるにつれて、2 mm以上の割合が増加した。この2 mm以上の割合が増加したことで、平均重量直径 (MWD) も大きくなった。

団粒の形成は、1次粒子である腐植質やカルシウムイオン、アルミニウム、鉄の加水酸化物を水の表面張力や化学結合により結合したものが微小団粒 (2次粒子) に形成され、微小団粒 (2次粒子) がカビの菌糸や微生物からの粘質物や多糖類、根の腐敗物を接着されたものが団粒となる。さらに、団粒が根の水吸収やカビの菌糸の脱水や圧縮などによって、形成されるのが耐水性団粒である。この耐水性団粒は雨滴により容易に破壊されないことや、耐水性団粒が集合し団粒構造が形成されることにより土壌の通気性や透水性などが高まることで、植物成長にも影響



を与える。そのため、団粒の形成には有機物の存在や腐植が必要不可欠であるため、ミミズの有無関係なく、時間の経過とともに形成され増加する。ミミズから排泄された糞は土壌と同化して 2 mm 以上の集合体を形成する (Marinissen and Hillenaar, 1997; Ketterings *et al.*, 1997; Kawaguchi *et al.*, 2011; Arai *et al.*, 2013) ことやミミズから排泄される糞の重量の 92% は、2 mm 以上の耐水性団粒を有している (Kawaguchi *et al.*, 2011) ということが明らかになっている。

このことから、ミミズを入れた区において、2 mm 以上の割合が増加したものは、カラム内のミミズの生息分布である 4~8 cm、8~12 cm と一致し、ミミズから排泄された糞だと推察できる。

また、平均重量直径 (MWD) の変化も、時間経過に伴って、ミミズの密度が高くなるにつれて、粒径が大きくなった。これらはミミズの活動によって、排泄された糞が耐水性団粒であるため、特に 2 mm 以上の割合が高くなったことで、平均重量直 (MWD) が大きくなったと考えられる。

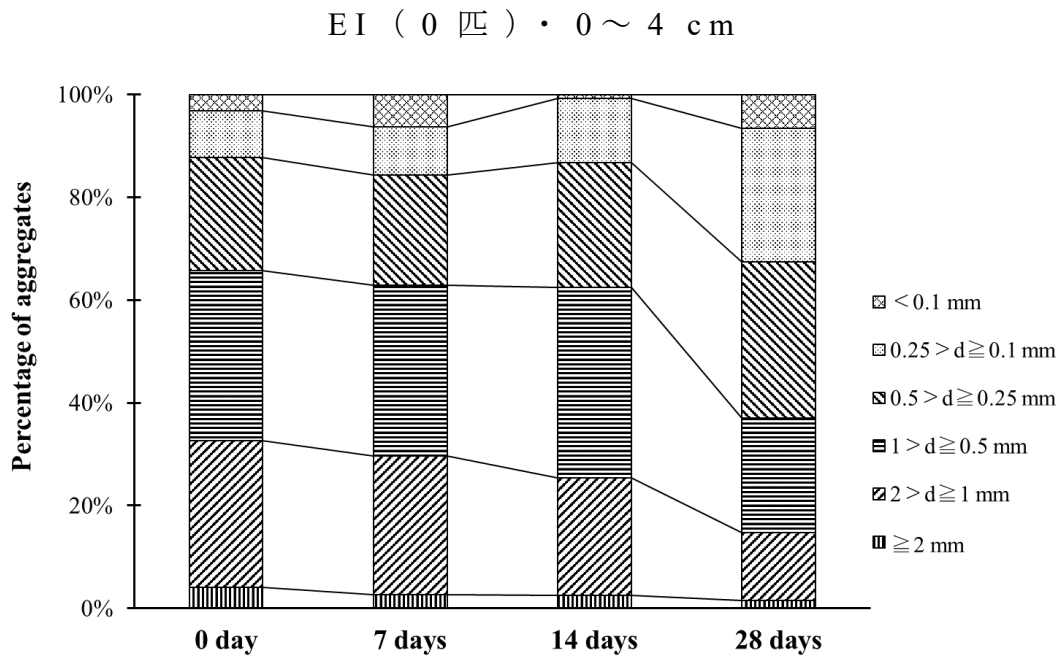


Fig. 3-5 Periodic change in water resistant aggregates  
( EI ( No worm ) ・ 0 ~ 4 c m )

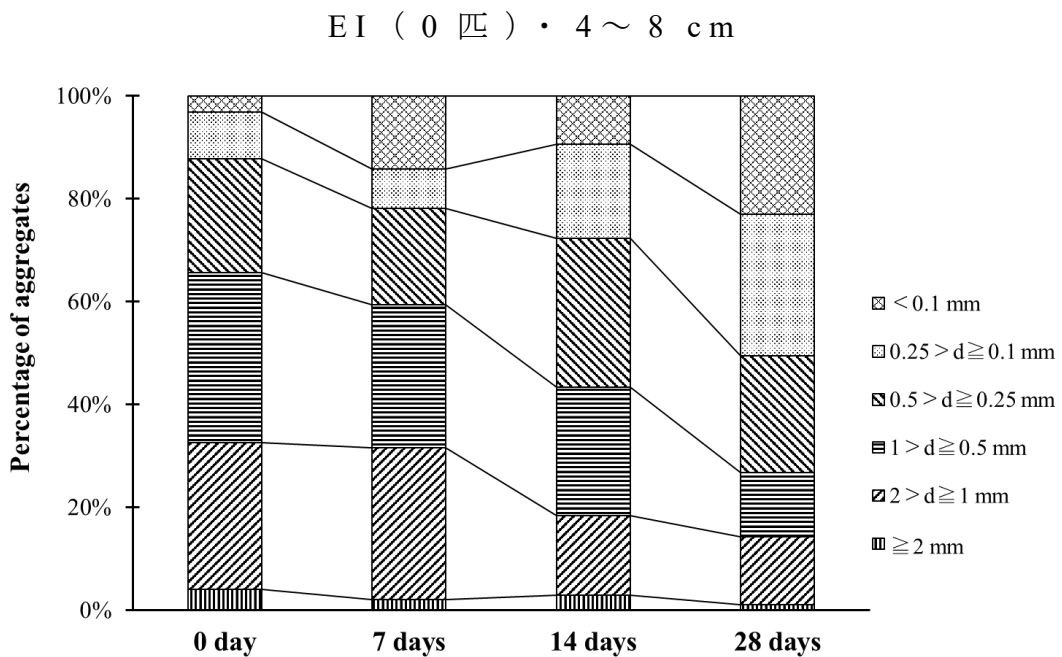


Fig. 3-6 Periodic change in water resistant aggregates  
( EI ( No worm ) ・ 4 ~ 8 c m )

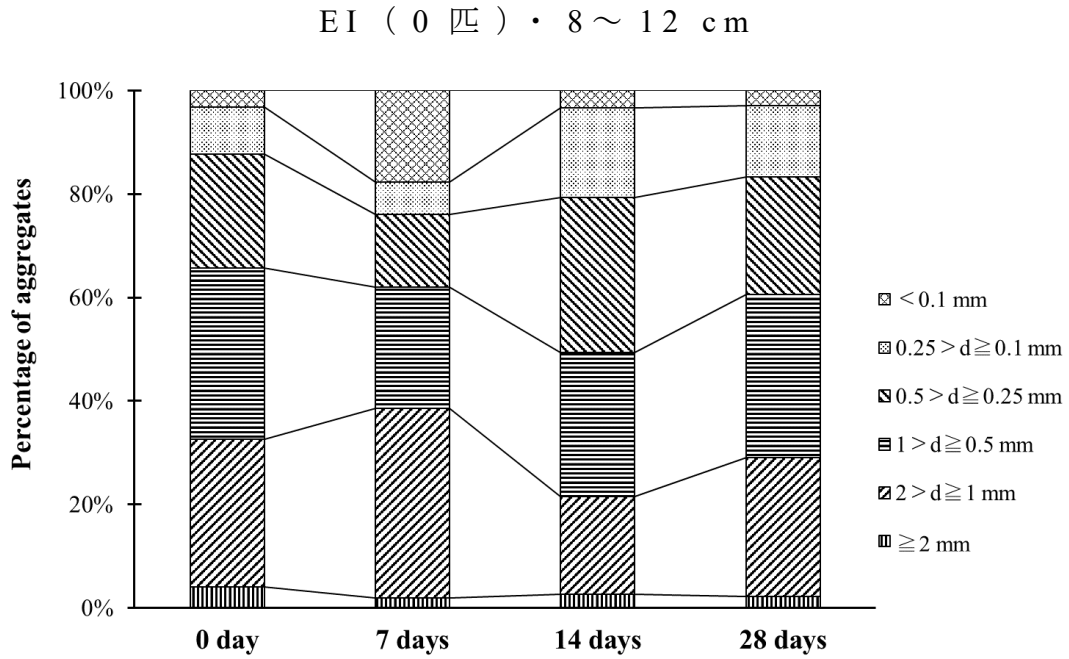


Fig. 3-7 Periodic change in water resistant aggregates  
( EI ( No worm ) ・ 8 ~ 12 cm )

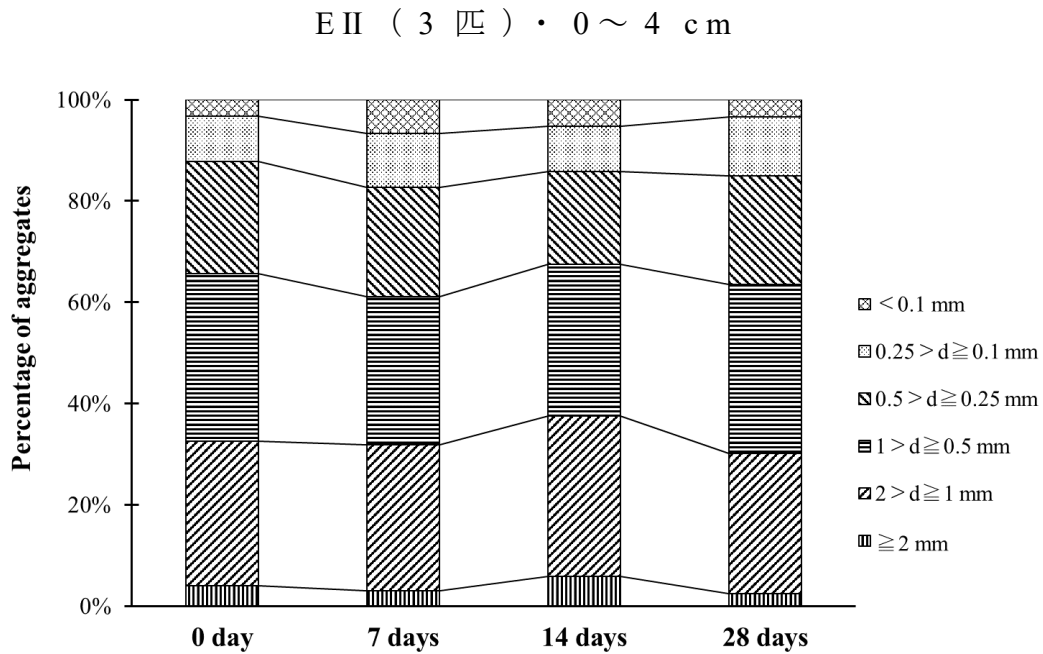


Fig. 3-8 Periodic change in water resistant aggregate  
( EII ( 3 worms ) ・ 0 ~ 4 cm )

E II ( 3 匹 ) · 4 ~ 8 cm

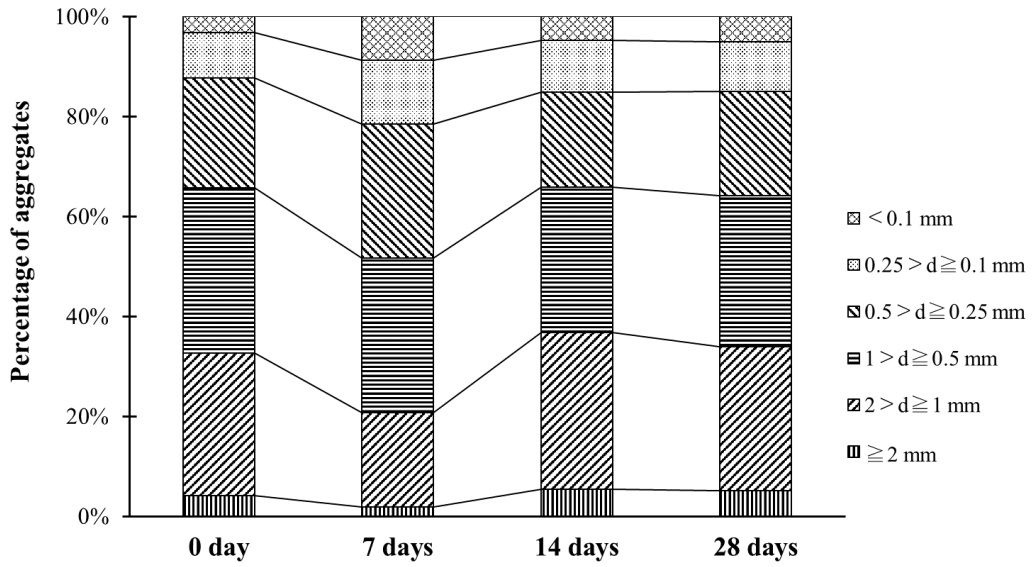


Fig. 3-9 Periodic change in water resistant aggregates  
( E II ( 3 worms ) · 4 ~ 8 cm )

E II ( 3 匹 ) · 8 ~ 12 cm

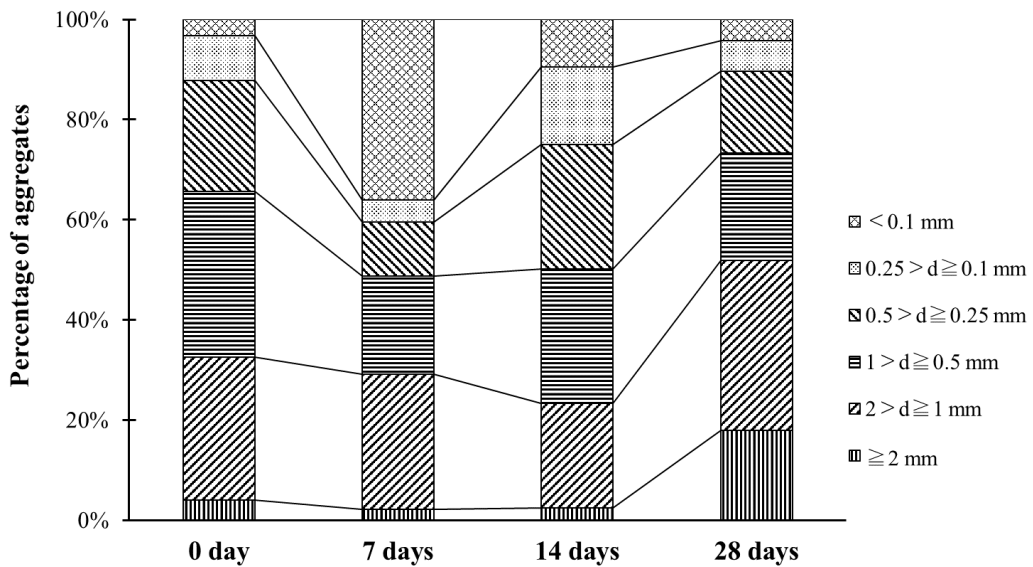


Fig. 3-10 Periodic change in water resistant aggregates  
( E II ( 3 worms ) · 8 ~ 12 cm )

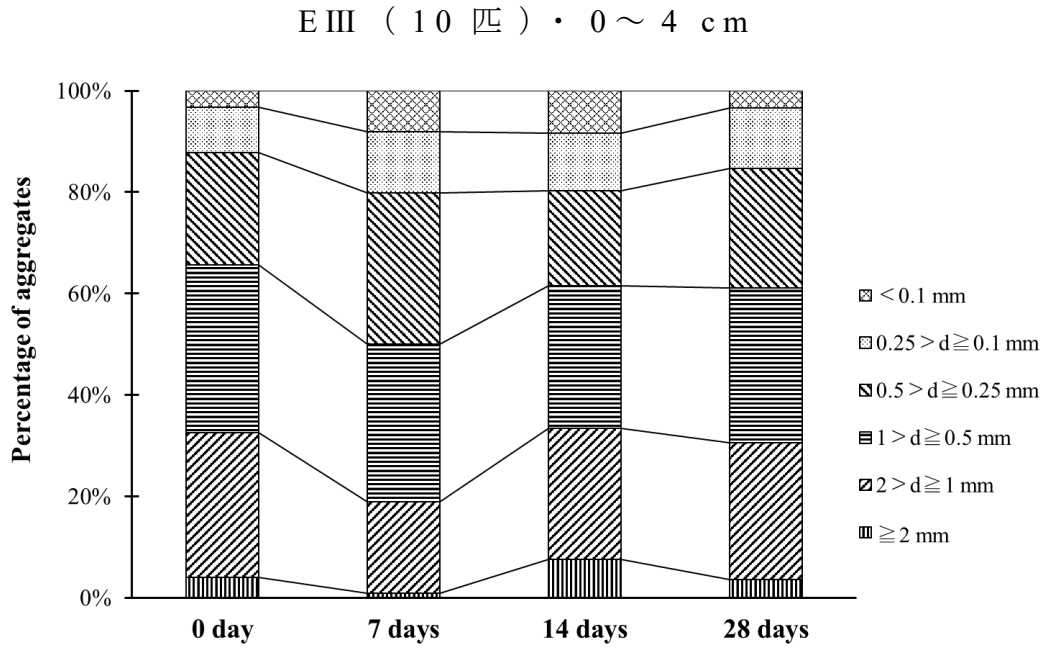


Fig. 3-11 Periodic change in water resistant aggregates  
( E III ( 10 worms ) ・ 0 ~ 4 c m )

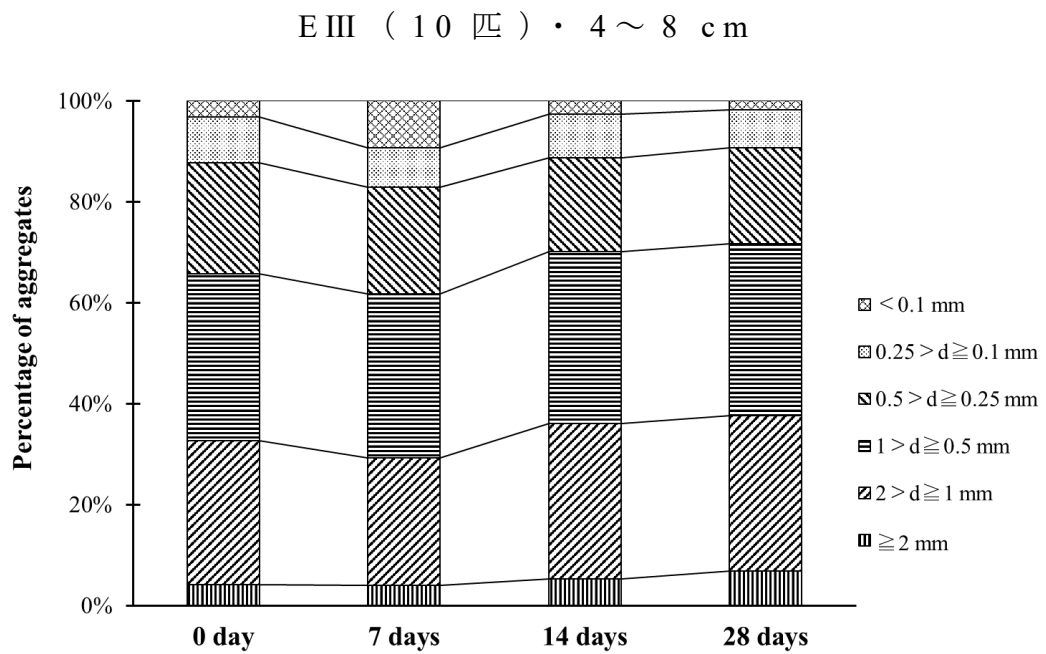


Fig. 3-12 Periodic change in water resistant aggregates  
( E III ( 10 worms ) ・ 4 ~ 8 c m )

E III ( 10 匹 ) ・ 8 ~ 12 c m

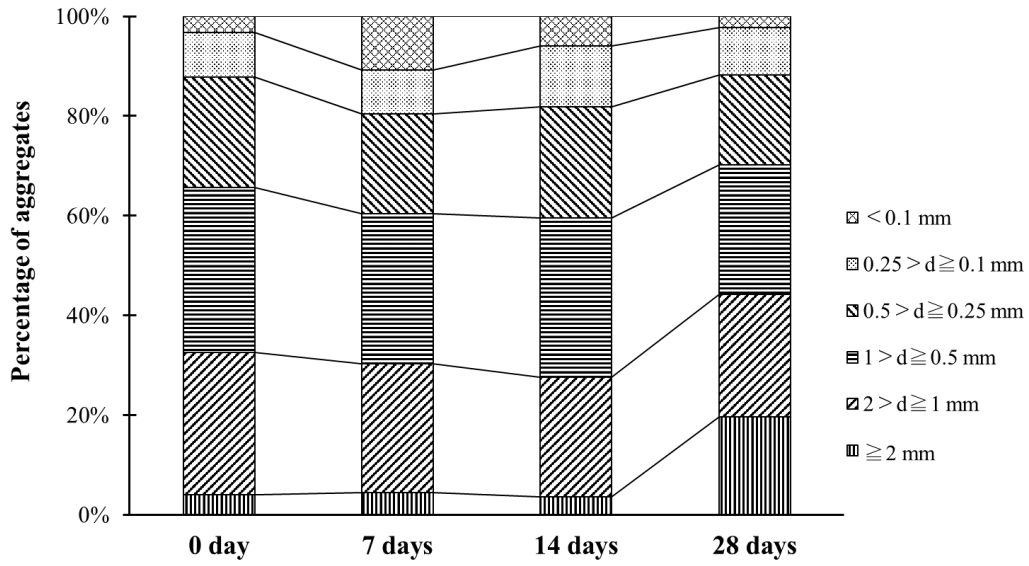


Fig. 3-13 Periodic change in water resistant aggregates  
( E III ( 10 worms ) ・ 8 ~ 12 c m )

0 ~ 4 c m

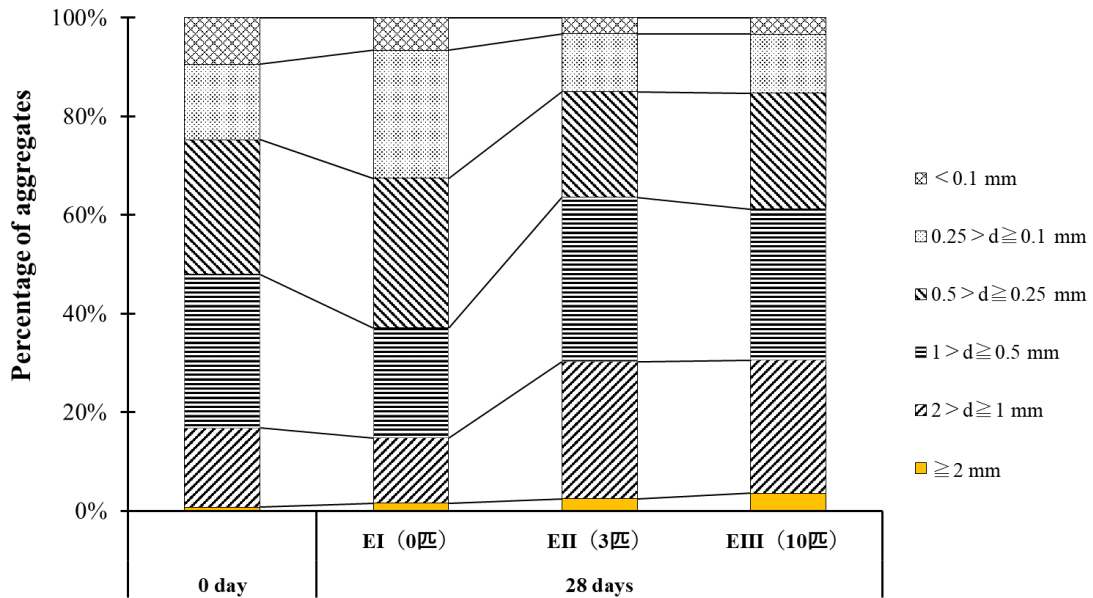


Fig. 3-14 Change in water resistant aggregate  
percentage after 28 days ( 0 ~ 4 c m )

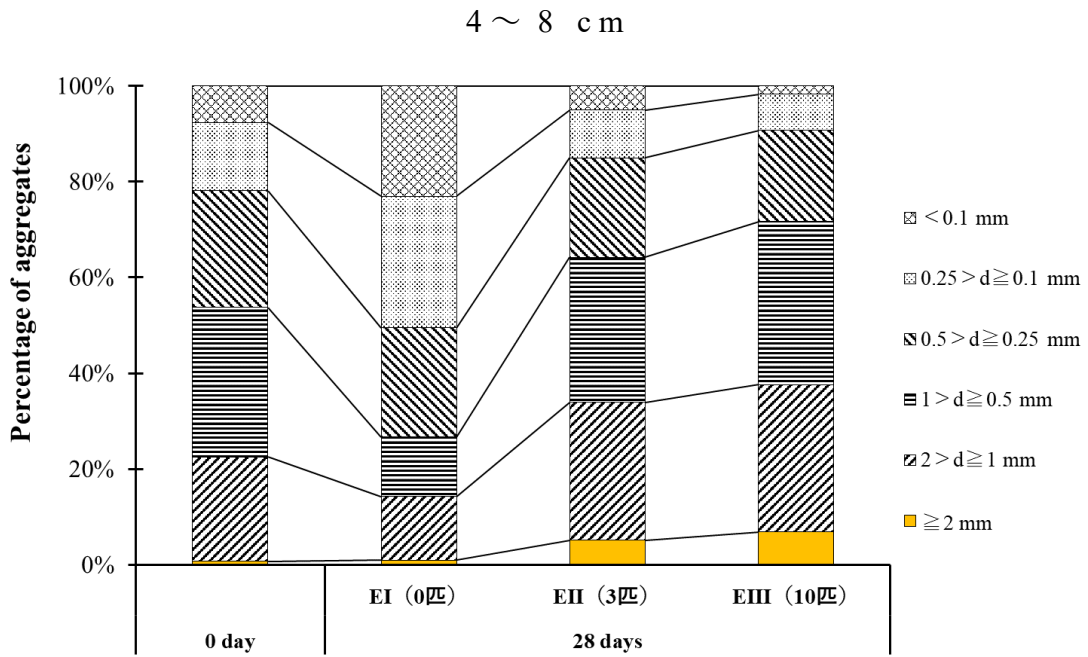


Fig. 3-15 Change in water resistant aggregate percentage after 28 days (4 ~ 8 cm)

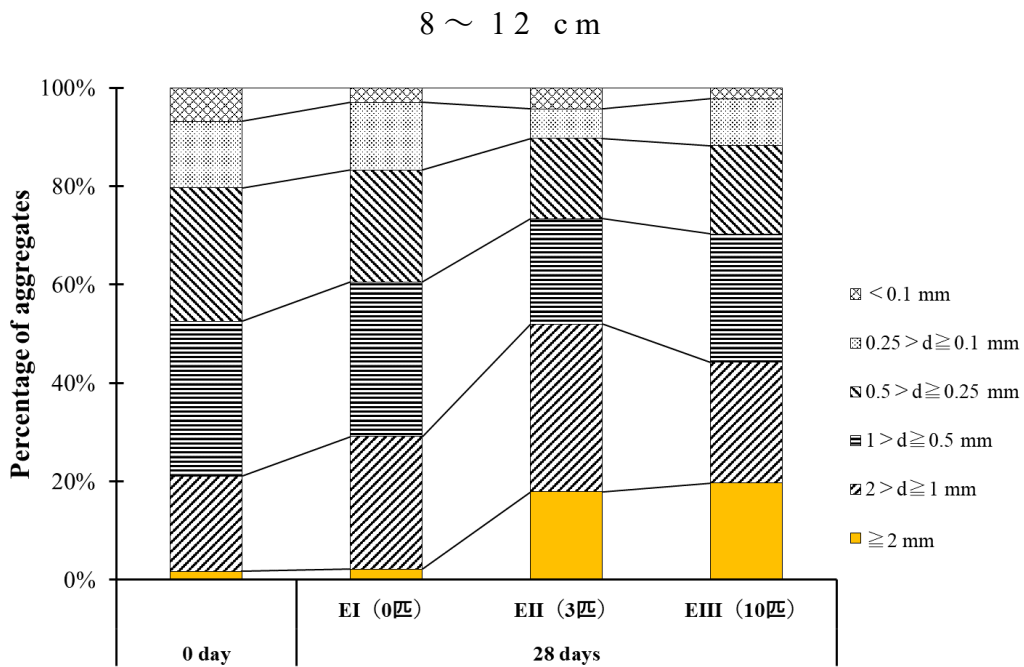


Fig. 3-16 Change in water resistant aggregate percentage after 28 days (8 ~ 12 cm)

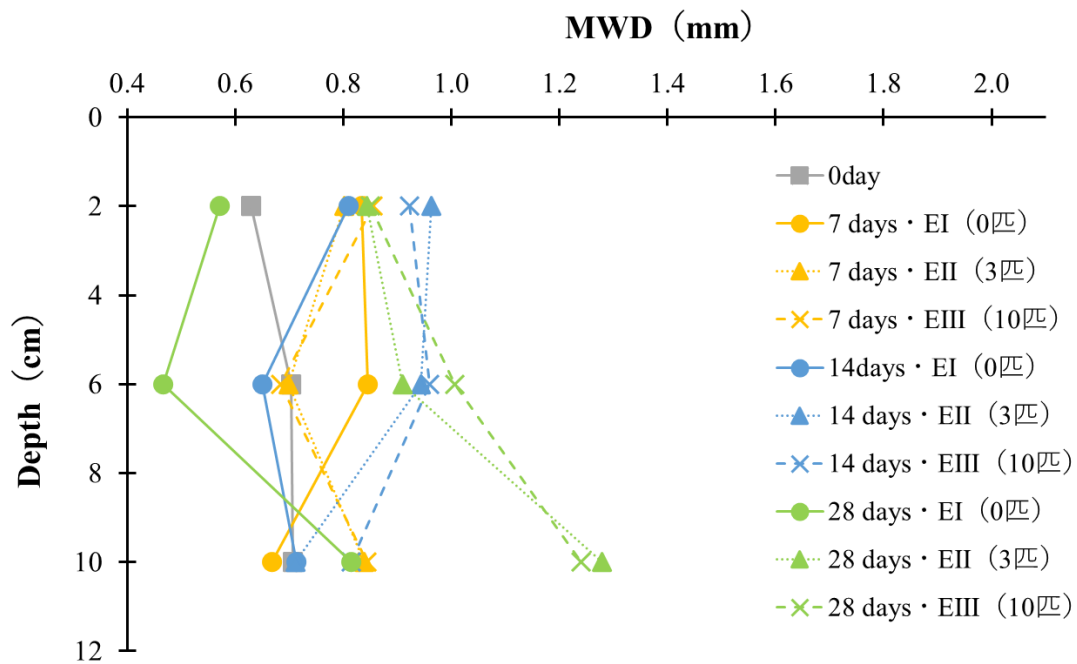


Fig. 3-17 Vertical distribution of Mean Weight Diameter (MWD) over time

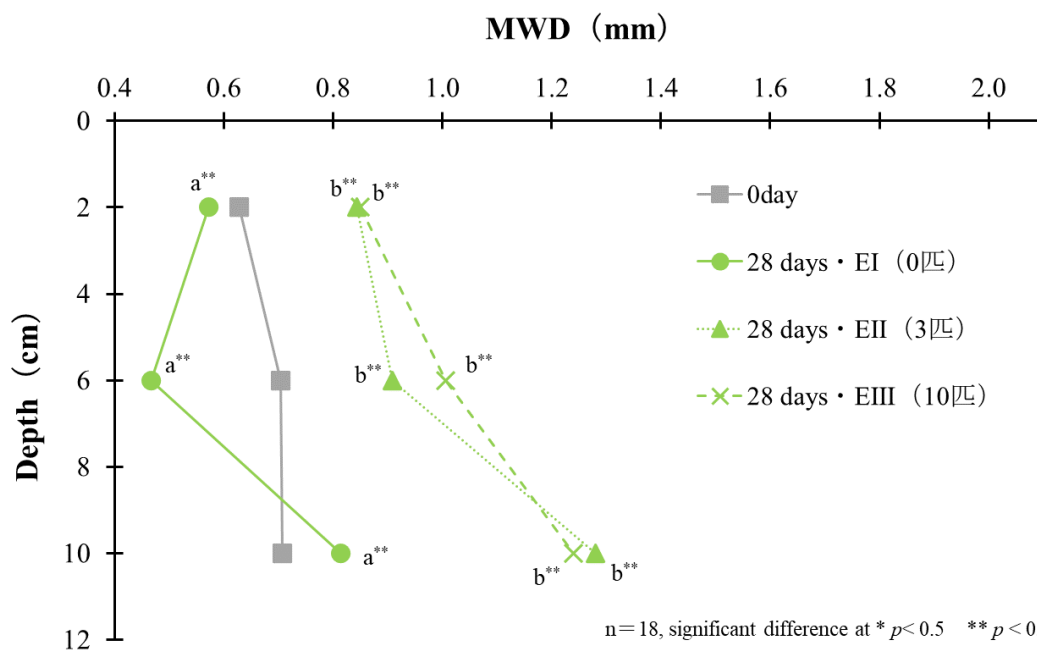


Fig. 3-18 Vertical distribution of Mean Weight Diameter (MWD) at 28 days



### 3. 深さによる可給態リン酸の変化

時間経過に伴う、可給態リン酸の鉛直分布を示す (Fig. 3-19)。また、28日間経過後の可給態リン酸の鉛直分布を示す (Fig. 3-20)。

その結果、時間経過に伴って、下層部の可給態リン酸濃度が高くなる傾向となった。さらにミミズの密度が高くなるにつれて、濃度が高くなった。28日目の濃度は EIII (10匹) で、表層より、10 mg/100 g (0~4 cm)、13 mg/100 g (4~8 cm)、18 mg/100 g (8~12 cm) になった。0日目と比べて、EIII (10匹) の 0~4 cm で 1.2 倍、4~8 cm で 1.4 倍、8~12 cm で 2.0 倍に増加した。また、EII (3匹) よりも EIII (10匹) の方が高くなるのが見られた。

土壌中では、不溶性や可溶性有機態リンやポリリン酸が無機化によって、可溶性無機態リンの変化に変化することが知られている。この無機化には、土壌酵素の一つであるホスタファーゼやリン溶解菌である硫酸還元菌、無機強酸生成細菌、有機酸生成菌などの微生物が関与することが報告されている。その中でも、ミミズの腸内や排泄された糞内は土壌と比べて、ホスタファーゼ活性が高いことが明らかになっている (Satchell and Martin, 1984 ; 松本・谷口, 1995 ; 宮崎, 2010)。

このことから、本実験で使用したミミズの糞内にもホスファターゼが存在していたことで、濃度が高

くなつたと推察される。また、下層部で濃度が高くなつたのは、カラム内のミミズの生息分布である 4～8 cm、8～12 cm と一致し、排泄された糞が蓄積されたことで濃度が高くなつたと考えられる。

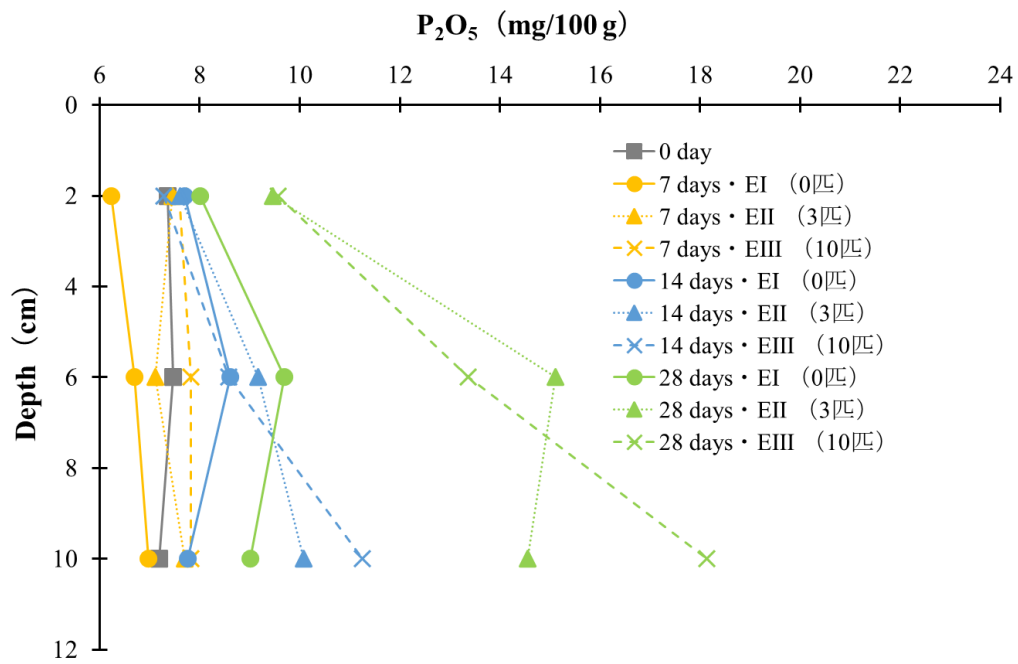


Fig. 3-19 Vertical distribution of available phosphate over time

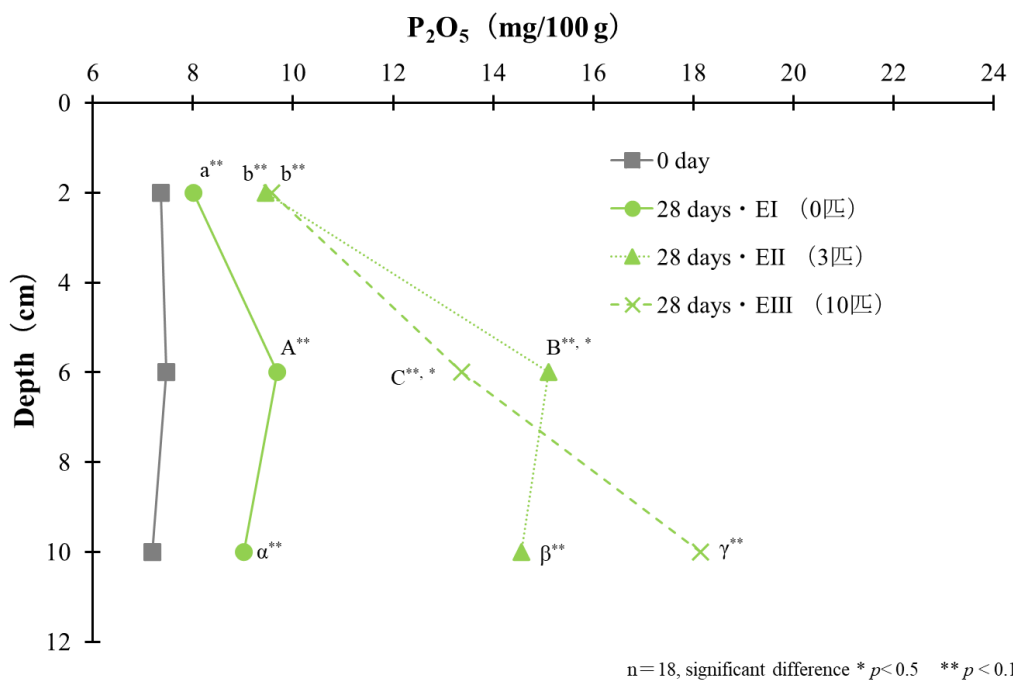


Fig. 3-20 Vertical distribution of available phosphate at 28 days

#### 4. 深さによる硝酸態窒素の変化

時間経過に伴う、可給態リン酸の鉛直分布を示す (Fig. 3-21)。また、28日間経過後の可給態リン酸の鉛直分布を示す (Fig. 3-22)。

その結果、可給態リン酸とは逆に時間経過に伴って、上層部の硝酸態窒素濃度が高くなった。さらにミミズの密度が高くなるにつれて、濃度が高くなった。28日目の濃度はEIII (10匹) で、表層より、11 mg/100 g (0~4 cm)、12 mg/100 g (4~8 cm)、9 mg/100 g (8~12 cm) になった。0日目と比べて、EIII (10匹) の0~4 cmで2.0倍、4~8 cmで2.4倍、8~12 cmで2.1倍に増加した。また、EII (3匹) よりもEIII (10匹) の方が高くなるのが見られた。

土壌中では、有機態窒素が無機化や微生物によって植物にとって利用されやすい硝酸態窒素の形態に変化する。硝酸態窒素の生成は、アンモニア酸化菌や亜硝酸酸化菌などを含まれる硝化菌などの微生物が関与していることが報告されている。ミミズの糞内に硝化菌が存在していること (蘇ら, 2017) が報告されている。

これらのことから、本実験で使用したミミズの糞内にも硝化菌が存在していたことで、濃度が高くなったと推察される。そのため、カラム内のミミズの生息分布が4~8 cm、8~12 cmであるので下層部の

方が高いと考えていたが、本実験では表層部の方が高かった。これは硝酸態窒素が水分による移動が容易なため、水の散布によってカラムの下方へ溶脱したり、下層部で含水比が高かったため（Fig. 3-23, Fig. 3-24）、還元状態だったことからアンモニアに変化、さらには有機態窒素への窒素固定が生じたりしていた可能性が考えられる。また、可給態リン酸とは異なり、硝酸態窒素濃度がミミズの活動する下層部ではなく表層部で高かった理由として、硝化菌が好気性微生物（Ward, 2008）のため、好気条件である上層部において硝化菌の活性が高くなったことが考えられる。

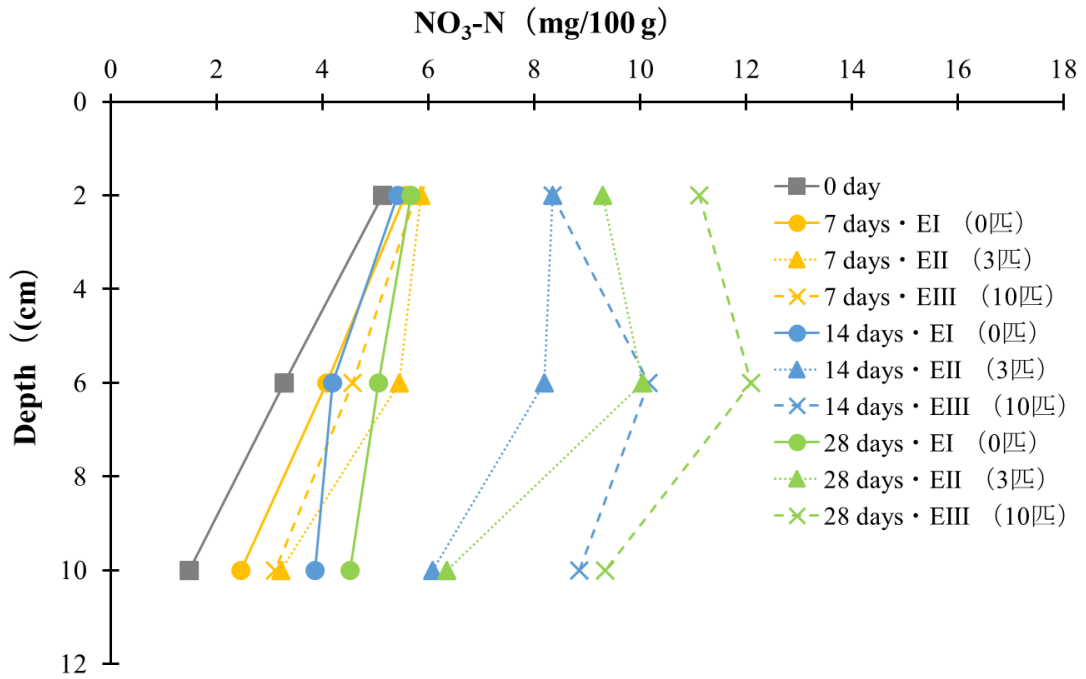


Fig. 3-21 Vertical distribution of nitrate nitrogen over time

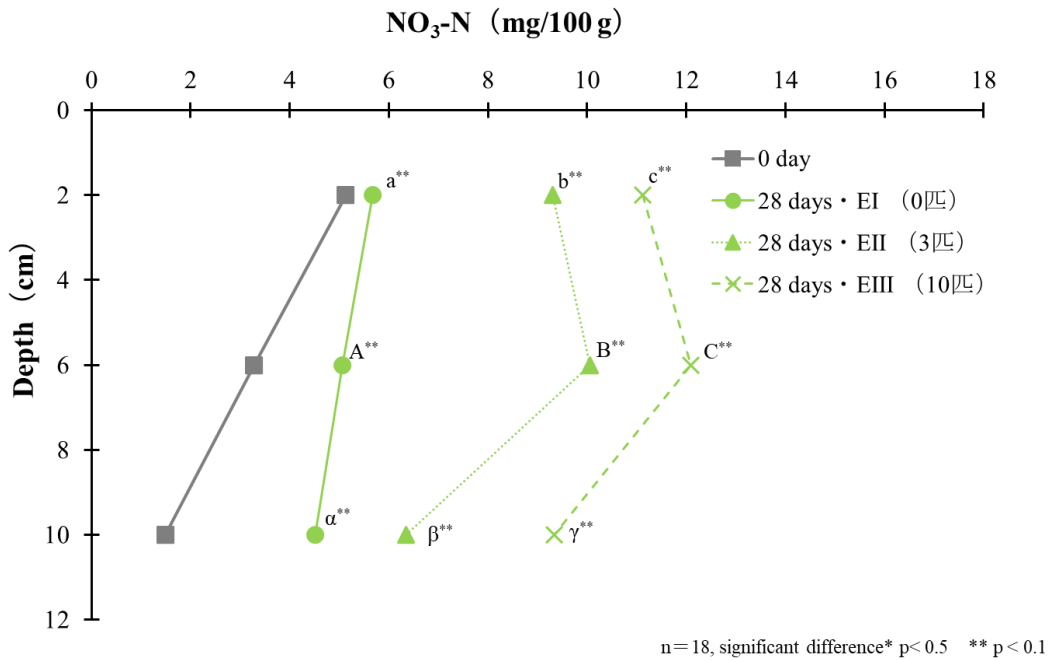


Fig. 3-22 Vertical distribution of nitrate nitrogen at 28 days

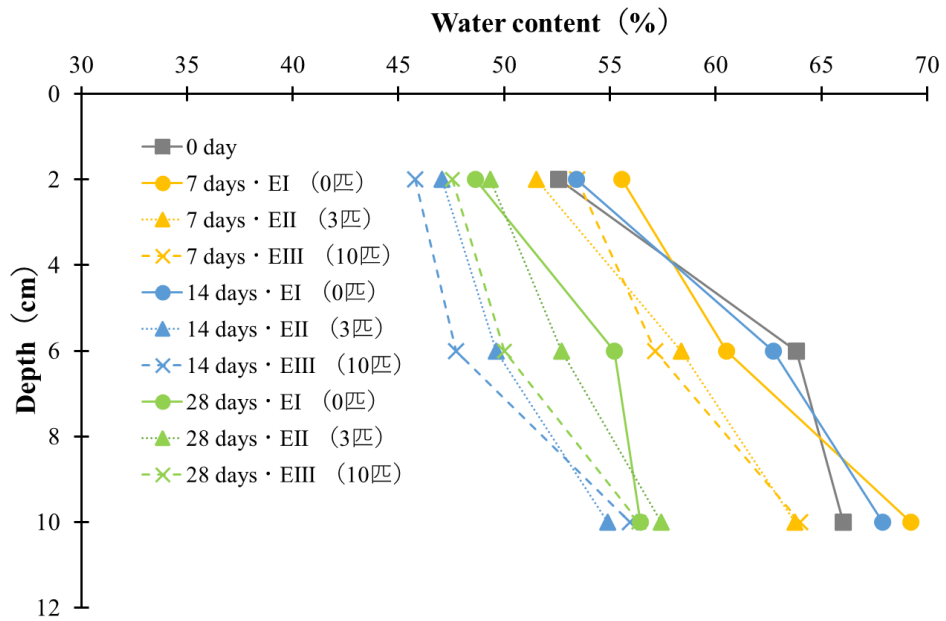


Fig. 3-23 Vertical distribution of water content over time

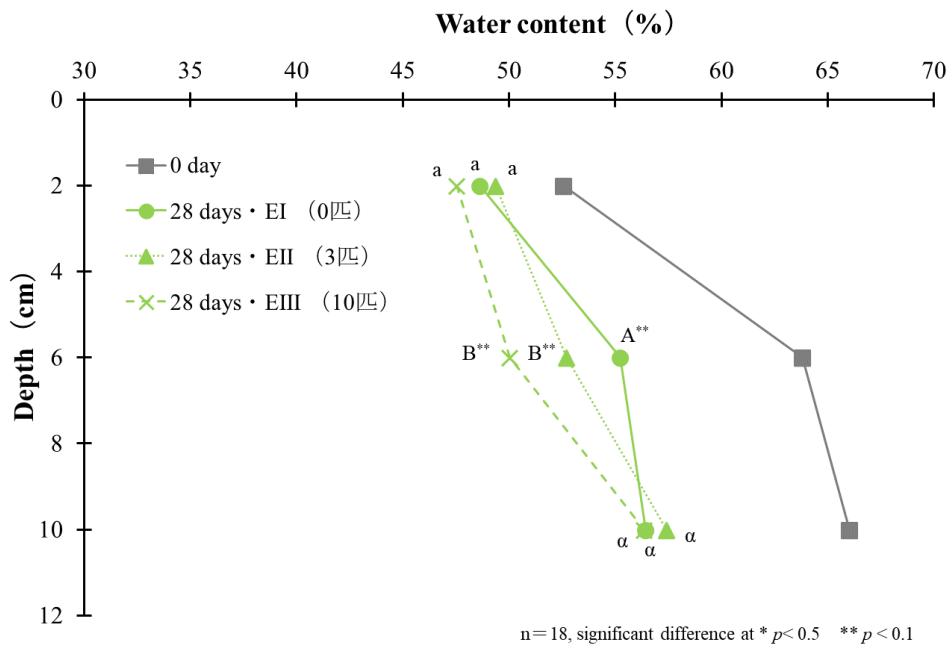


Fig. 3-24 Vertical distribution of water content at 28 days

## 5. 土壌養分濃度の糞由来の割合

第2章の24時間で排泄される糞の土壌養分の結果を用いて、カラム実験で用いたミミズの生重量から24時間当たりに排泄された糞量を推定し、糞量に含まれる土壌養分を算出した。その後、本カラム実験のEII（3匹）、EIII（10匹）の28日間の土壌養分の増加量を推定した糞量の土壌成分がどのくらいの割合を占めているのかを計算した。（Fig. 3-25, Fig. 3-26）。この糞を介して増加した割合を糞由来とする。

第2章の結果を用いて、24時間当たりに排泄される糞量のグラフの近似曲線から式（1）を求められ、 $y$ は糞量（g）、 $x$ はミミズの生重量（g）を指す。

$$y = 0.3601x \dots (1)$$

この式（1）に本カラム実験で用いたミミズの生重量（g）を入れ、カラム実験で24時間当たりに排泄される糞量（g）を求めた。カラム実験で用いたミミズの生重量（g）は、EII（3匹）で2.99 g、EIII（10匹）で12.41 gである。その後、式（1）に入れ、カラム実験で24時間当たりに排泄される糞量（g）の推定値を算出した。EII（3匹）で1.08 g、EIII（10匹）で4.47 gであった。

次に、同様に第2章の結果を用いて、24時間当たりに排泄される糞量に含まれる可給態リン酸量のグラフの近似曲線から式（2）を求められ、 $P$ は可給態リン酸量（ $P_2O_5$  : mg）、 $y$ は推定した糞量（g）を指



す。

$$P = 0.2241y \dots (2)$$

この式(2)に推定した糞量を代入して、推定した可給態リン酸濃度を算出した。24時間あたりに排泄される糞量に含まれる  $P_2O_5$  (mg)の推定される濃度は、EII(3匹)で 0.24 mg、EIII(10匹)で 1.00 mg になった。本章の28日間のカラム実験の結果を用いて、ミミズのいないEI(0匹)から引いて各層の  $P_2O_5$  (mg/100 g)の増加量を求めた。その後、各層を平均し、カラム全体での濃度の増加量にした。本研究で用いたカラムの深さは12 cmであり、この深さは作物栽培などには各層より全体で大きく影響するため、層全体として捉えた。また、この増加量は28日間なので、24時間あたりに変換した。さらに100 g当たりの濃度なので、カラム全体に含まれる土壌は3000 gなので、30倍し、カラム全体の濃度に変換した。24時間当たりの増加量 (mg/3000 g) は、EII(3匹)で 4.43 mg/3000 g、EIII(10匹)で 5.14 mg/3000 g になった。これらのことから、カラム全体の24時間当たりの増加量 (mg/3000 g) から、先ほど求めたカラム実験で使用したミミズ生重量から推定される24時間あたりに排泄される  $P_2O_5$  (mg) から割合を計算した。その結果、EII(3匹)で10%、EIII(10匹)で20%となった。カラム実験で増加した可給態リン酸量の内、約15%程度がミミズの糞由来

であったことが分かり、残りの約 85% は排泄後糞中に含まれる有機物などが土壌微生物や酵素により分解され、排泄直後の糞よりも濃度や量が上昇したと考えられる。

また硝酸態窒素でも、可給態リン酸と同様にカラム実験で 24 時間あたりに排泄される糞量 (g) まで同じように求められた。次に、第 2 章の結果を用いて、24 時間あたりに排泄される糞量に含まれる硝酸態窒素量のグラフの近似曲線から式 (3) を求められ、 $N$  は硝酸態窒素量 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ : mg)、 $y$  は推定した糞 (g) を指す。

$$N = 0.7797y \dots (3)$$

この式 (3) に推定した糞量を代入して、推定した硝酸態窒素濃度を算出した。24 時間あたりに排泄される糞量に含まれる  $\text{NO}_3\text{-N}$  (mg) の推定される濃度は、EII (3 匹) で 2.99 mg、EIII (0%・10 匹) で 12.42 mg、になった。本章の 28 日間のカラム実験の結果を用いて、ミミズのいない EI (0 匹) から引いて各層の  $\text{NO}_3\text{-N}$  (mg/100 g) の増加量を求め、カラム全体の濃度 (mg/3000 g) に変換した。24 時間当たりの増加量 (mg/3000 g) は、EII (3 匹) で 3.73 mg/3000 g、EIII (10 匹) で 6.18 mg/3000 g になった。これらのことから、カラム全体の 24 時間当たりの増加量 (mg/3000 g) から、先ほど求めたカラム実験で使用したミミズ生重量から推定される 24 時間当

たりに排泄される  $\text{NO}_3\text{-N}$  (mg) から割合を計算した。その結果、EII (3匹) で 80%、EIII (10匹) で 200%となった。カラム実験で増加した濃度や量よりも、排泄直後の糞自体の方が濃度や量が高くなったのは、カラム実験では硝化菌などから生成された硝酸態窒素は水分による移動が容易のため、排泄後に含まれる硝酸態窒素が下方へ溶脱したことが考えられる。また、ミミズによる団粒形成が促進されたことで、間隙が大きくなり、水分が下層部で溜まり、還元状態になったことで、アンモニアに変化、さらには有機態窒素への窒素固定が生じたりしていた可能性が考えられた。

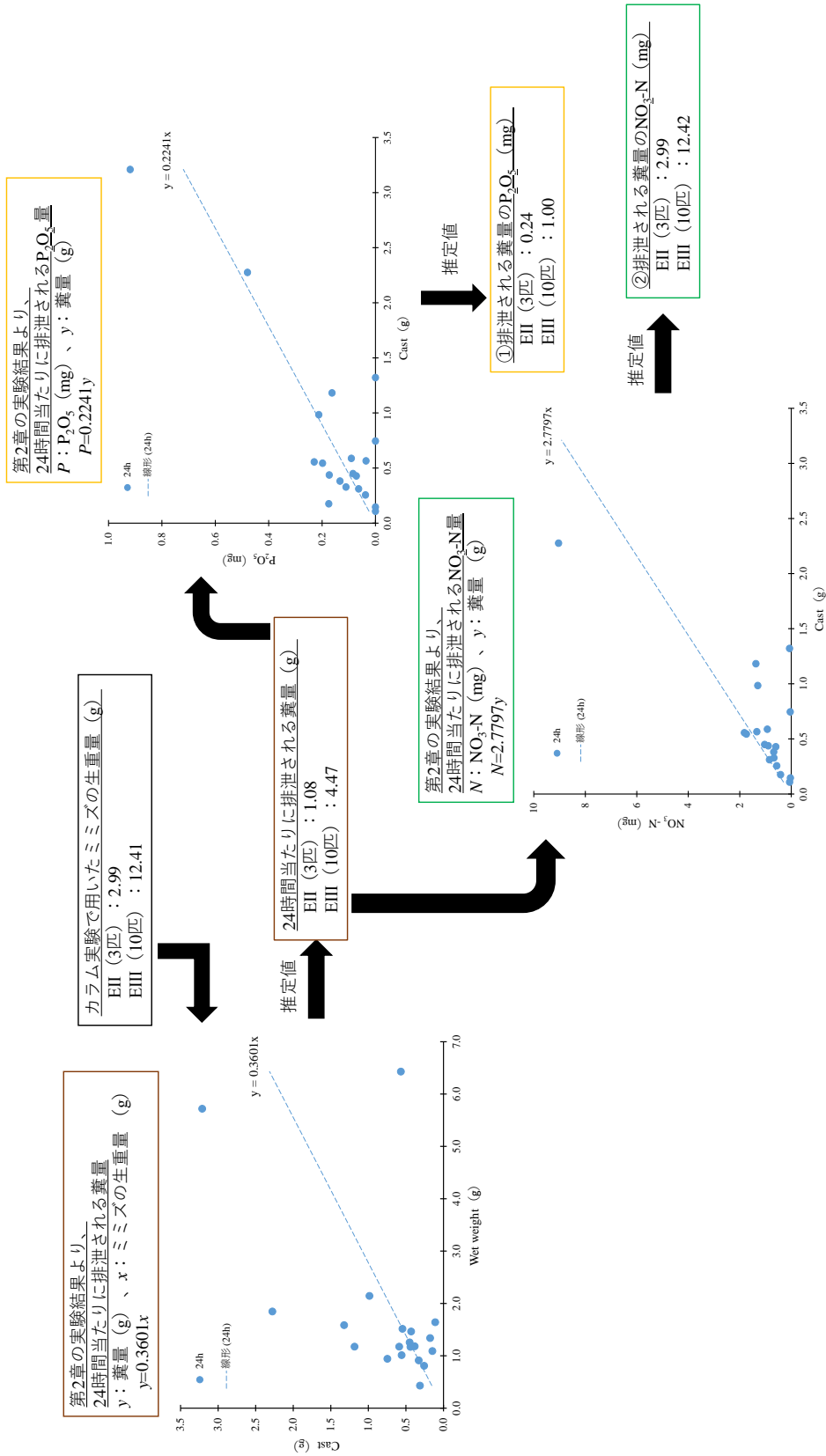
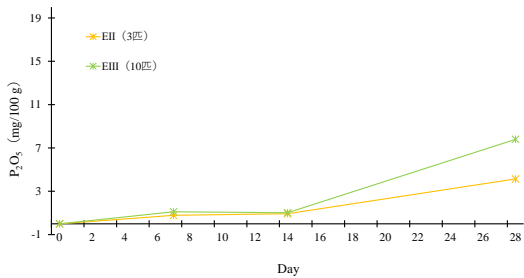
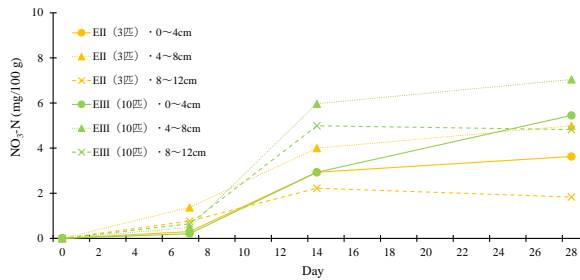


Fig. 3-25 Flowchart of the calculation ①

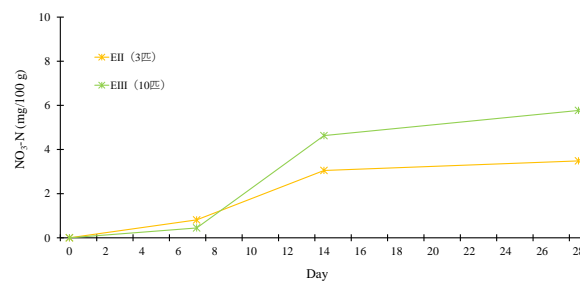
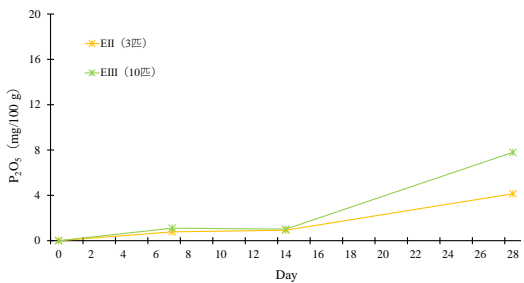
カラム実験より、  
28日間の各層の変化：P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>増加量 (mg/100 g)



カラム実験より  
28日間の各層の変化：NO<sub>3</sub>-N増加量 (mg/100 g)



カラム全層の増加量に変化



各層を平均し、カラム全体の平均の24時間当たりの増加量を算出

24時間当たりのP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>増加量 (mg/100 g)

EII (3匹) : 0.148  
EIII (10匹) : 0.171

24時間当たりのNO<sub>3</sub>-N増加量 (mg/100 g)

AII (3匹) : 0.125  
AIII (10匹) : 0.206

24時間当たりのカラム全体の増加量を算出

③カラム全体の変化：P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>増加量 (mg/3000 g)

EII (3匹) : 4.435  
EIII (10匹) : 5.135

④カラム全体の変化：NO<sub>3</sub>-N増加量 (mg/3000 g)

EII (3匹) : 3.734  
EIII (10匹) : 6.184

24時間当たりのカラム全体で増加量を排泄される糞量の濃度の推定値を割る  
→カラム全体の増加量がどのくらいの糞量が由来なのかを求める

Fig. 3-26 Flowchart of the calculation ②

#### 第4節 本章のまとめ

本実験では、フトミミズ科の密度の違いが土壌中での動きや排泄された糞が土壌の理化学性、団粒構造の変化が各層でどのような変化を生じているかを明らかにすることを解明した。

その結果、ミミズは密度に関係なく、表層部よりも下層部で活動することが確認された。また、地表面に粒径が大きくなった土壌粒子が見られたが、既往の研究のような糞塚の形成は見られなかった。耐水性団粒はミミズの密度が高くなるにつれて、表層部よりも下層部の方で2 mm以上の割合が増加し、さらに有機物があることによって、2 mm以上の割合が増加することが示された。これはミミズから排泄される糞は耐水性団粒であるので、2 mm以上の割合が増加したと考えられ、下層部で増加したのはミミズの生息分布と一致した。可給態リン酸は耐水性団粒と同様にミミズの密度が高くなるにつれて、表層部よりも下層部の方で可給態リン酸濃度が増加することが示された。これはミミズの糞内に含まれるホスファターゼによって、可給態リン酸濃度が増加することが考えられ、下層部で増加したのはミミズの生息分布と一致した。それに対して、硝酸態窒素は耐水性団粒や可給態リン酸とは逆にミミズの密度が高くなるにつれて、下層部よりも表層部の方で硝酸態窒素濃度が増加することが示され

た。これはミミズの糞内に含まれる硝化菌によって、硝酸態窒素が増加することが考えられた。硝酸態窒素がミミズの生息域である下層部ではなく表層部で高くなった原因としては、下層部の硝酸態窒素が溶脱や還元状態による窒素固定、アンモニア化されたことがある。また、耐水性団粒の形成によって、表層部の通気性が上がることによる硝化の促進が考えられた。

また、第2章の24時間で排泄される糞の土壌養分の結果を用いて、カラムを用いたミミズの生重量から24時間当たりに排泄された糞量を推定し、糞量に含まれる土壌養分を算出した。その後、本章のカラム実験の28日間の土壌養分の増加量を推定した糞量の土壌成分がどのくらいの割合を占めているのかを求めた。その結果、可給態リン酸はカラム実験で増加した濃度や量の内、約15%程度がミミズの糞由来であったことが分かり、残りの約85%は糞中に含まれる有機物などが土壌微生物や酵素により分解され、排泄直後の糞よりも濃度や量が上昇したと考えられた。それに対して、硝酸態窒素はカラム実験で増加した濃度よりも、排泄直後の糞の濃度や量の方が高くなったのは、硝化菌などから生成された硝酸態窒素は水分による移動が容易のため、排泄後に含まれる硝酸態窒素が下方へ溶脱したことが考えられる。また、ミミズによる団粒形成が促進されたことで、間隙が大きくなり、水分が下層部で溜まり、還元状態になったことで、アンモニアに

変化、さらには有機態窒素への窒素固定が生じたりしていたことから排泄直後の糞の方が高くなったことが推察された。

以上のことから、時間経過に伴って日本に生息するフトミミズ科から排泄される糞によって、微生物や酵素などを介して、異なる土壌の層で土壌養分濃度が高まることが明らかになった。さらに、ミミズの密度が高くなるにつれて、土壌養分濃度が高くなることが明らかになった。

これらの結果を受け、第4章ではカラム実験の条件を用いて、作物成長にどのような影響をするのかについて議論していく。



参考・引用文献（第3章）

Arai, M., Tayasu, I., Komatsuzaki, M., Uchida., Shibata, Y. and Kaneko, N. (2013) : Changes in soil aggregate carbon dynamics under no-tillage with respect to earthworm biomass revealed by radiocarbon analysis. *Soil and Tillage Research*, 126, 42-49.

Cataldo, D. A., Maroon, M., Schrader, L. E. and Youngs, V. L. (1975) : Rapid colorimetric determination of nitrate in plant-tissue by nitration of salicylic-acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6, 71-80.

Kawaguchi, T., Kyohima, T., and Kaneko, N. (2011) : Mineral nitrogen dynamics in the casts of epigeic earthworms (*Metaphire hilgendorfi* : Megascolecidae) . *Soil Sci. Plant Nutr.*, 57, 387-395.

Ketterings, Q. M., Blair, J. M., and Marinissen, J. C. Y. (1997) : Effect of earthworms on soil aggregate stability and carbon and nitrogen storage in a legume cover crop agroecosystem. *Soil Biol.*, 29, 401-408.

Marinissen, J. C. Y. and Hillenaar, S. I. (1997) : Earthworm-induced distribution of organic matter in macro-aggregates from differently managed arable

- fields. *Soil Biology and Biochemistry*, 29 (3) ,  
391-395.
- Truog, E. (1930) : Determination of readily available  
phosphorus of soils. *J. Am. Soc. Agron. J.*, 22, 874-  
882.
- Ward, B. B. (2008) : Nitrification in the marine  
environment. 2<sup>nd</sup> edition, 199-261.
- Yoder, R. E. (1936) : A direct method of aggregate  
analysis of soils and a study of the physical nature of  
erosion losses. *Agro. J.*, 28, 337-351.
- 蘇 霆 軒 ・ 江 邊 正 平 ・ 大 池 達 矢 ・ 岡 南 政 宏 ・ 阿 野 貴 司  
(2017) : ミミズが土壌成分と植物生長に与える効  
果の研究. 近畿大学生物理工学部紀要, 39, 27-38.
- 宮崎あかね (2010) : 大型土壌動物 (ミミズ) による  
土壌浄化の可能性. 日本家政学会誌, 61 (7) , 431-  
434.

## 第 4 章

# フトミミズ科が作物成長 に与える影響

## 第1節 本章の目的

第2章、第3章で日本に生息するフトミミズ科の土壌中の動きや排泄された糞によって、異なる深さで元の土壌より栄養成分が高くなることや糞を介して周辺土壌に影響ことが分かった。

しかし、ミミズは土壌中を移動しているため、面積当たりに生息数は一定ではないことからと作物成長の関係が明確ではないことが多い。このことから、既往の研究ではポットを用いたミミズによる作物成長に関する研究は容易に作物の成長促進効果が見られることからやられている。板倉（1990）は、ポット内で異なる数のミミズに応じて大麦の生育は良好となり、収量が増加することや松本ら（1990）は室内実験でミミズの生息により二十日大根の生育が良くなること、蘇ら（2017）はミミズがいることでトマトやキュウリの成長促進効果や生息数が増えるとミニチンゲンサイの成長促進が見られた。このように、ミミズが作物成長に効果があることが分かった。しかし、ミミズの密度の違いが化成肥料のどのくらい量に相当するのかは明らかになっていない。

このことから、本章では第3章の実験条件を用いて、ポットにフトミミズ科を入れて、培養した土壌で作物と化成肥料で栽培した作物の成長効果を比較する。

## 第2節 実験試料と実験方法

### 1. 実験試料

#### 1-1 供試ミミズ

第2、3章同様、採取地は神奈川県川崎市の畑地(35°34'15.3"N, 139°36'40.0"E) (Photo. 4-1)で、土壌表面から10 cmまでに生息しているフトミミズ科をハンドソーティング法で採取した。採取深さから、採取したミミズは表層種と浅層種の生活型だと判断できる。観察の結果からは、主にハタケミミズ (*Metaphire agrestis*)、フツウミミズ (*Metaphire communissima*)、ヒトツモンミミズ (*Metaphire hilgendorfi*)とみられる種が多かった (Photo. 4-2, Photo. 4-3, Photo. 4-4)。実験では生きた状態で使用するため、外部形態で判断できるところまで行い、厳密に種の選別は行わないこととした。採取したミミズの体長と生重量の個体数を Fig. 4-1、Fig. 4-2に示した。ミミズの体は移動する際に、体を伸縮し移動するため大まかな体長を測定した結果、8~10 cmのミミズが最も多く生息していた(全体の約70%)。また、生重量をみると、0.9~1.3 gのミミズが多く生息していた(全体の約60%)。実験で使用する際は、個体数に対してミミズの生重量を合わせて用いることとした。

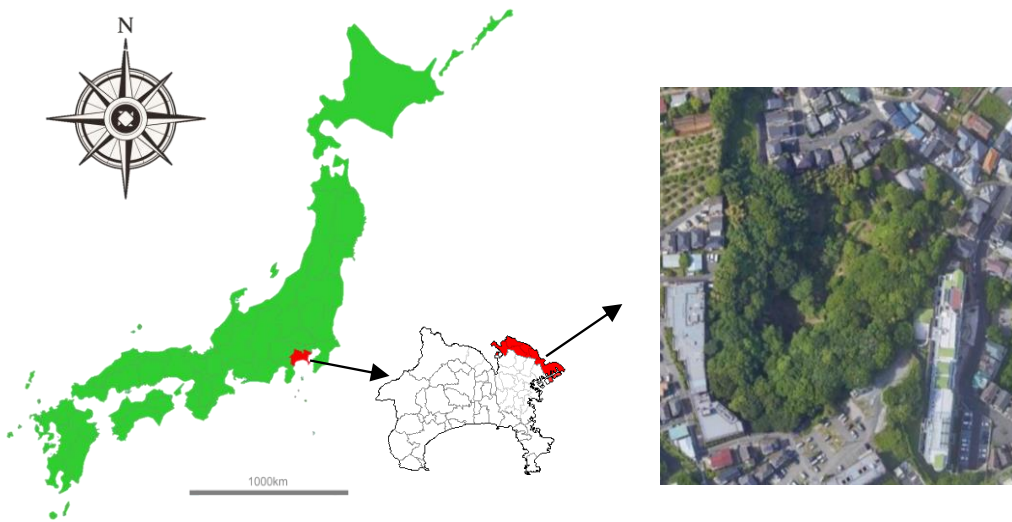


Photo. 4-1 Sampled area of earthworm



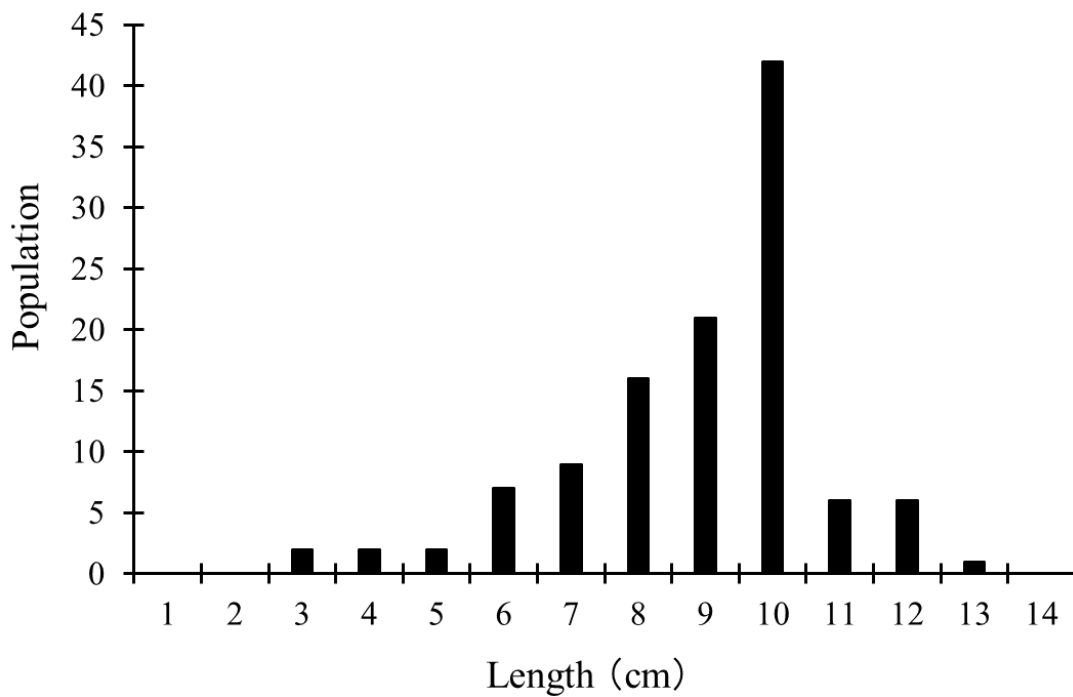
Photo. 4-2 Sampled Megascolicidae earthworm ①



Photo. 4-3 Sampled Megascolicidae earthworm ②

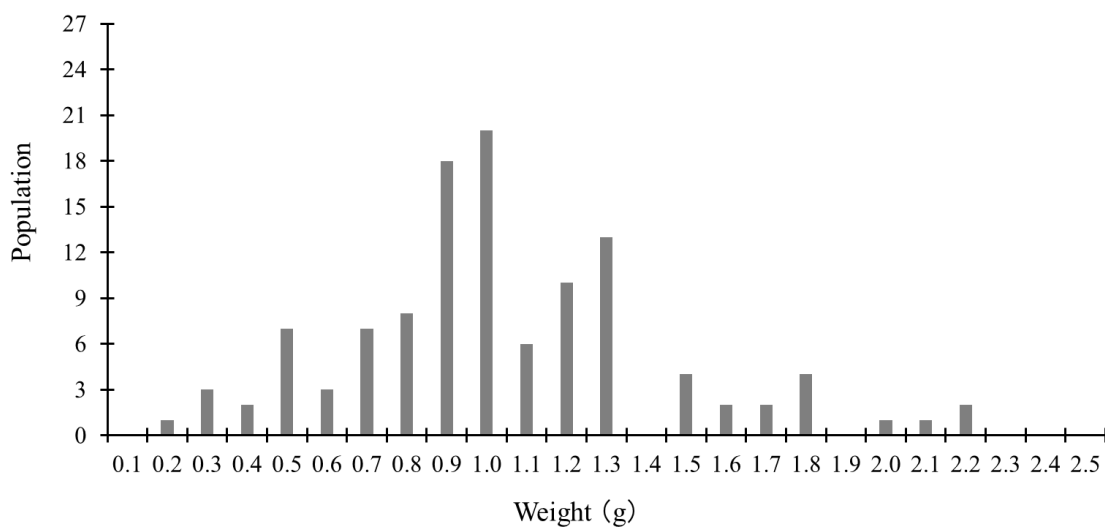


Photo. 4-4 Sampled Megascolicidae earthworm③



n = 114

Fig. 4-1 No. of Megascolicidae earthworm according to their body length



n = 114

Fig. 4-2 No. of Megascolicidae earthworm according to their body weight



## 1-2 供試土壌

第 2、3 章 同様、フトミミズ科のミミズの採取地（ $35^{\circ}34'15.3''\text{N}$ ,  $139^{\circ}36'40.0''\text{E}$ ）と同じ神奈川県川崎市の果樹地の土壌（ $35^{\circ}34'15.3''\text{N}$ ,  $139^{\circ}36'40.0''\text{E}$ ）（Photo. 4-5, Fig. 4-6, Fig. 4-7）で、ミミズが生息していた深さ 10 cm 程度までの土壌を掘り、実験に使用した。土壌のタイプは黒ボク土で、土壌中に含まれる石や植物残渣を取り除くため、2 mm のふるいでふるい分けし、通過分を用いた（Photo. 4-8）。この畑地は、20 年以上化成肥料や有機堆肥などの肥料の施肥は行っておらず、年に数回土壌表面に生えている草を刈る程度の状況である。



Photo. 4-5 Sampled area of soil used  
for the experiment①



Photo. 4-6 Sampled area of soil used  
for the experiment②



Photo. 4-7 Sampled area of soil used  
for the experiment③



Photo. 4- 8 2 mm sieved soil used for the experiment

## 2. 実験方法

### 2-1 実験条件

実験区画は、ワグネルポット (1/5,000 a) を用いた。また水分条件は、土壌を入れたワグネルポットを水に浸け、24 時間土壌に吸わせた。その後、バットに置き 24 時間水分を出し、圃場容水量に設定した。ミミズは乾燥に弱いため、水分管理をした。毎日ワグネルポットの重さを計り、初期条件の圃場容水量に一定に保つため、適時水分を散布した。

第 3 章の実験区画と大きく差がないため、ミミズの密度は同様の条件を用いた。ミミズの密度 (匹数) は、0、3、10 匹 (0、150、500 匹/m<sup>2</sup>) になり、処理区は 0、3、10 匹をそれぞれ EI、EII、EIII と示した。

また化学肥料は、標準的な化成肥料である窒素：リン酸：カリウム = 8：8：8 (刀川平和農園 888) を使用した (Photo. 4-9)。この肥料の施肥基準は 1m<sup>2</sup> = 100 g である。本研究は 1/5,000 a = 0.02 m<sup>2</sup> のため、2 g が施肥基準になる。そこで本実験では、ミミズによる成長効果がどのくらいの施肥量に相当するのかを検討するために施肥量に違いを出した。施肥量は 0.1 g、0.25 g、0.5 g、0.75 g、1.0 g、2.0 g の 6 つ作成し、化成肥料区を C とし、施肥量 0.1 ~ 2.0 g をそれぞれ CI ~ VI と示した。

本実験で用いた作物は、コマツナ (*Brassica rapa* var. *perviridis*) を栽培した。



Photo. 4-9 Chemical fertilizer used in the experiment

## 2-2 実験フローチャート

- (1) ワグネルポットに 2 mm のふるいを通した土壌を深さ 15 cm まで充填した ( $1.25 \text{ g/cm}^3$ )。
- (2) 土壌を充填したワグネルポットを圃場容水量にした。その後、ミミズを投入した。また、6 つの異なる施肥量の化成肥料を地表面に散布した。各条件につき、3 反復作成した。
- (3) ミミズを投入後、 $20^\circ\text{C}$  ぐらいの暗所に設置し、14 日間培養した。また、化成肥料区も同様に行った。
- (4) 培養後、地表面の 5 地点に種を 5 粒ずつ植えた。発芽後、1 週間ずつ間引きして、収穫までに 1 地点に 1 株残した。ビニールハウスにワグネルポットを静置し、ビニールハウス内の温度は  $25^\circ\text{C}$  に設定した。
- (5) 作物を収穫後、生重量および乾物重量を測定した。

## 2-3 測定項目

作物の生重量と乾物重量を測定した。また、化成肥料区の作物の生重量と乾物重量を比較し、化成肥料の施肥量に相当するのかを求めた。

### 第3節 結果および考察

経時変化に伴う、作物の成長を Photo. 4-10～Photo. 4-16 に示す。種を植えた3日後には、全ての処理区で種の発芽が見られた。その後、順調に作物の成長が見られていたが、同じ処理区でも成長の差が見られた (Photo. 4-15, Photo. 4-16)。その後、58日目まで成長したコマツナを収穫し、生重量や乾物重量を測定した (Fig. 4-3～Fig. 4-6)。また、水分管理をしていたが、連日晴れ日が続いてことで、ビニールハウス内の設定温度より高くなってしまった (Fig. 4-7)。そのため、ポット内の土壌の乾燥などが進んでしまったことで、35～42日目辺りにミミズの遺体が地表面にあった。

生重量や乾物重量の成長が見られ、さらにミミズの密度が高くなったにつれて大きくなったのは、第3章で明らかになっているように、ミミズから排泄される糞の栄養成分や移動に伴う土壌構造の変化によるものだと推察される。また、死んだミミズも乾燥し水分が飛んで残った大部分はタンパク質である。その遺体は分解され、可溶態の形態に変化し、その後作物に吸収され、作物成長などに使われたと思われる。

この傾向をみて、化成肥料区の生重量や乾物重量のグラフからどの施肥量に相当するのかを比較した (Fig. 4-8)。生重量で比較すると、EII (3匹) は化成肥料 0.18 g、EIII (10匹) は化成肥料 0.95 g に相当す

る。また、乾物重量で比較すると、EII（3匹）は化成肥料 0.14 g、EIII（10匹）は化成肥料 0.95 gに相当することが分かった。そのことから、EII（3匹）はCII（化成 0.25 g）、EIII（10匹）はCII（化成 1.0 g）に対応することが分かった。これを1 aあたりに換算すると、CII（化成・0.25 g）は150匹/a、CV（化成 1.0 g）は500匹/a必要となることが分かった。以上のことから、農地にミミズがある一定数生息することで、化成肥料の施肥量を約 1/8～1/2 ぐらいまで抑制できることがと推察できた。



EI (0匹)

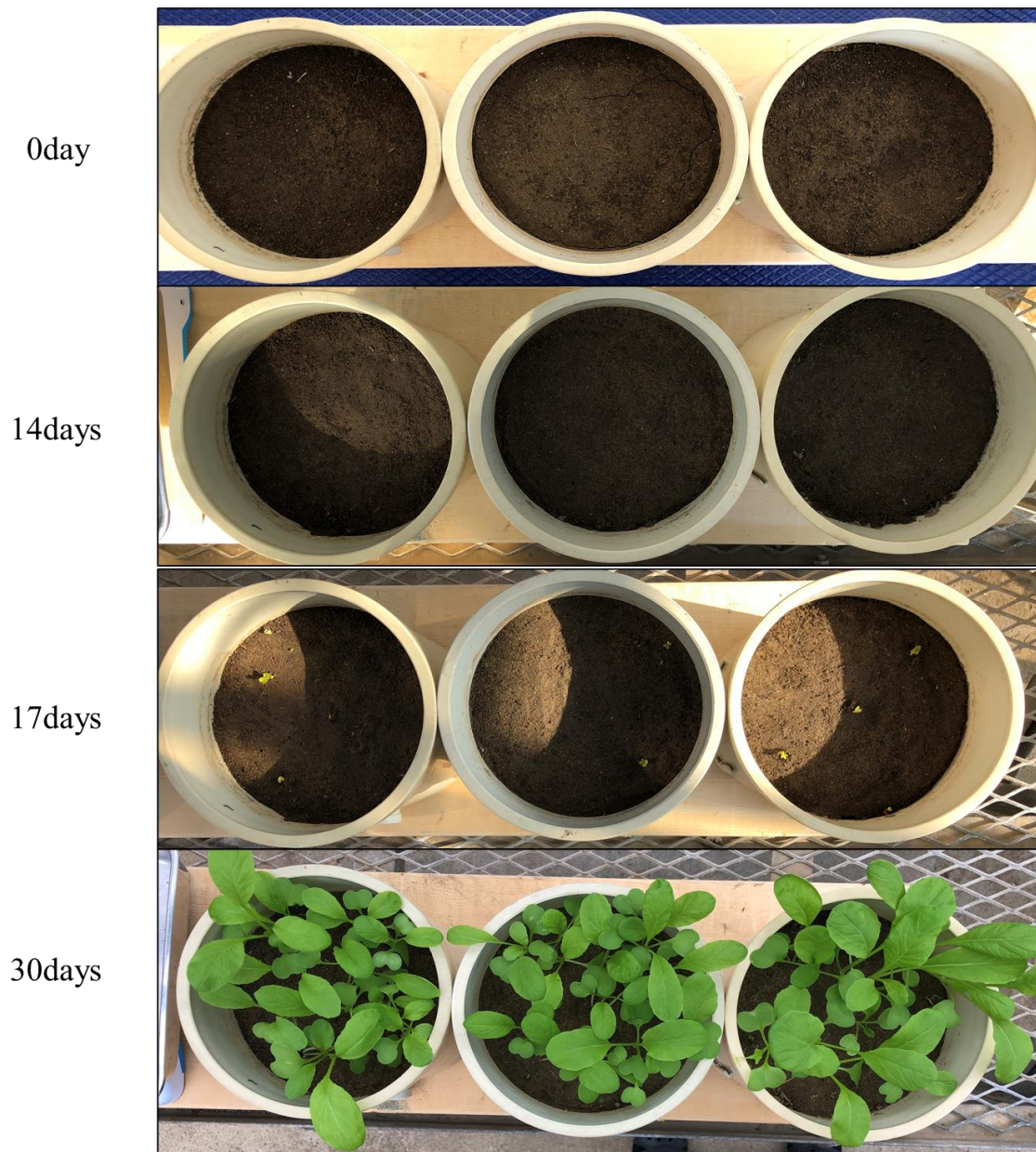


Photo. 4-10 Growth of plant over time  
(EI (No worm))

EII (3匹)

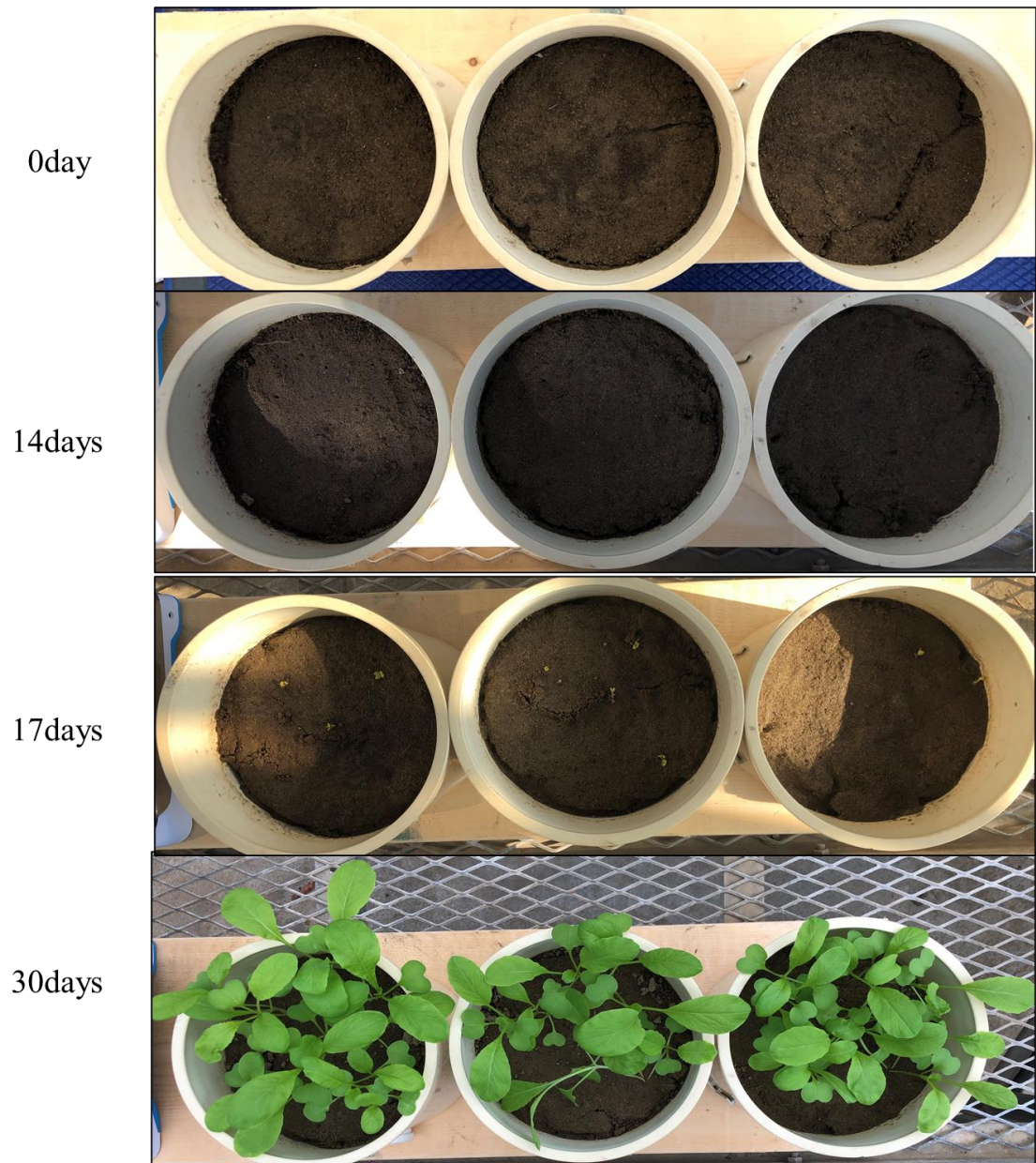


Photo. 4-11 Growth of plant over time  
( EII ( 3 worms ) )

EIII (10匹)

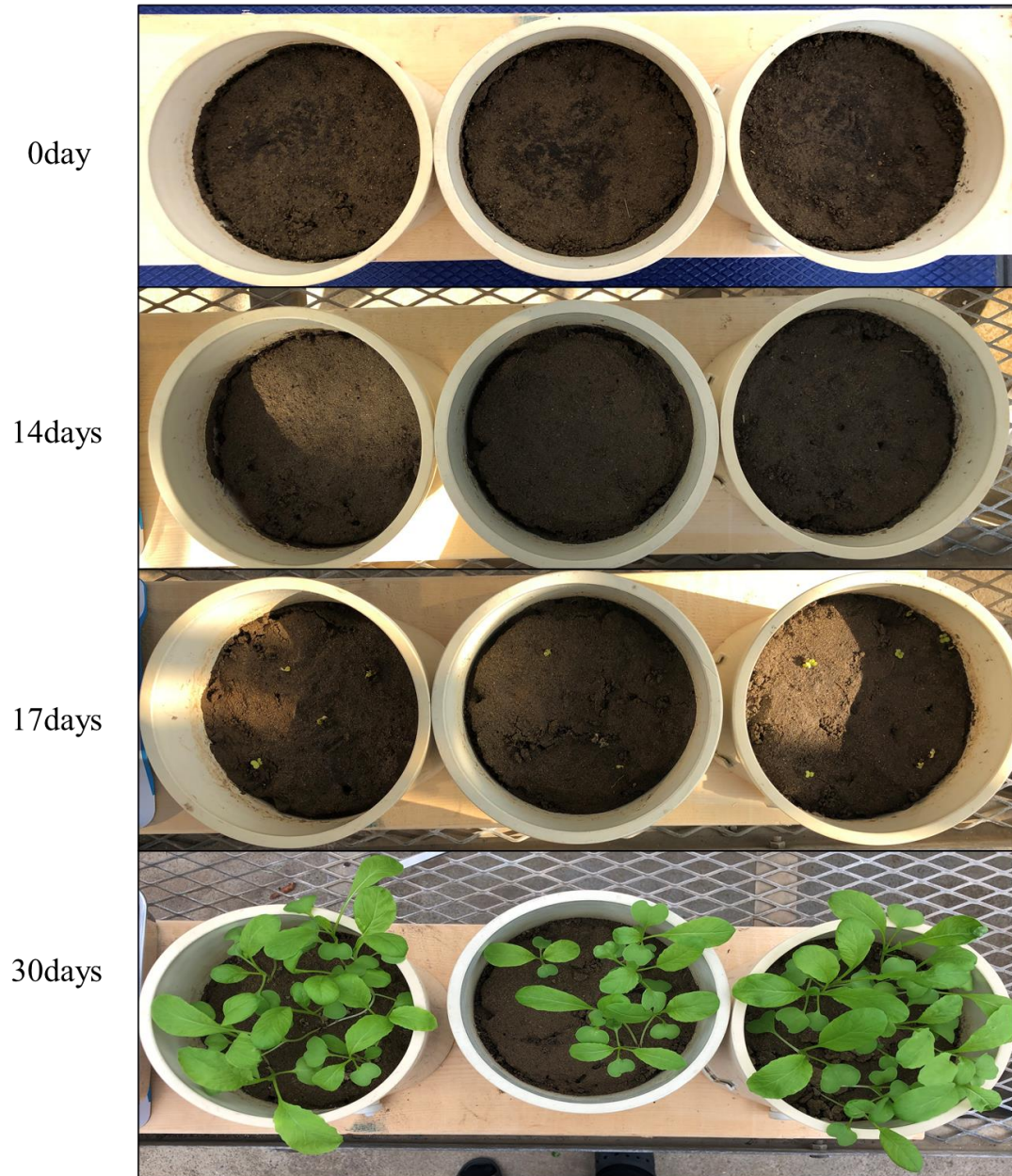


Photo. 4-12 Growth of plant over time  
( EIII ( 10 worms ) )

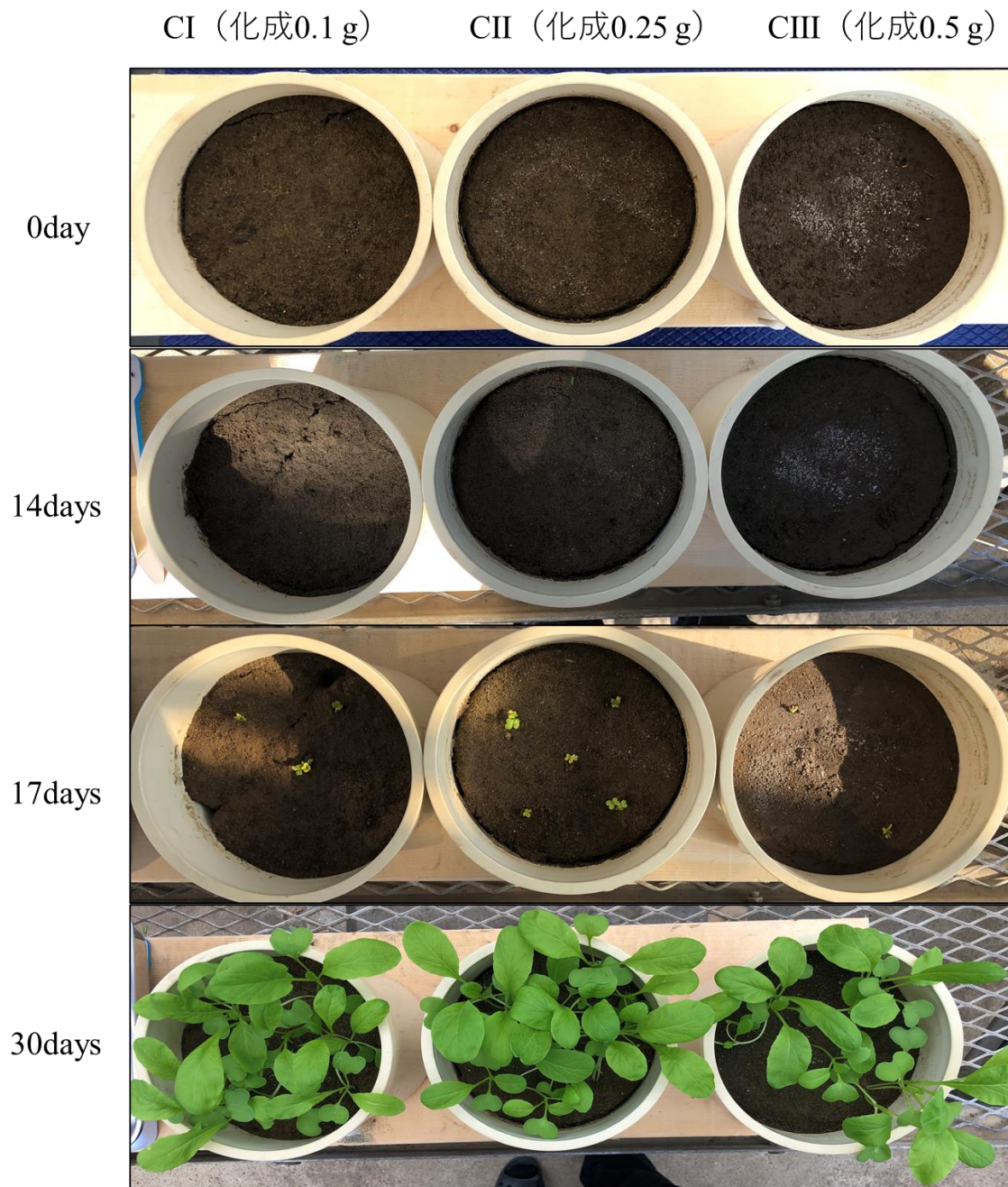


Photo. 4-13 Growth of plant over time (From left CI (CF 0.1 g) , CII (CF 0.25 g) , CIII (CF 0.5 g)) ※CF : Chemical fertilizer input

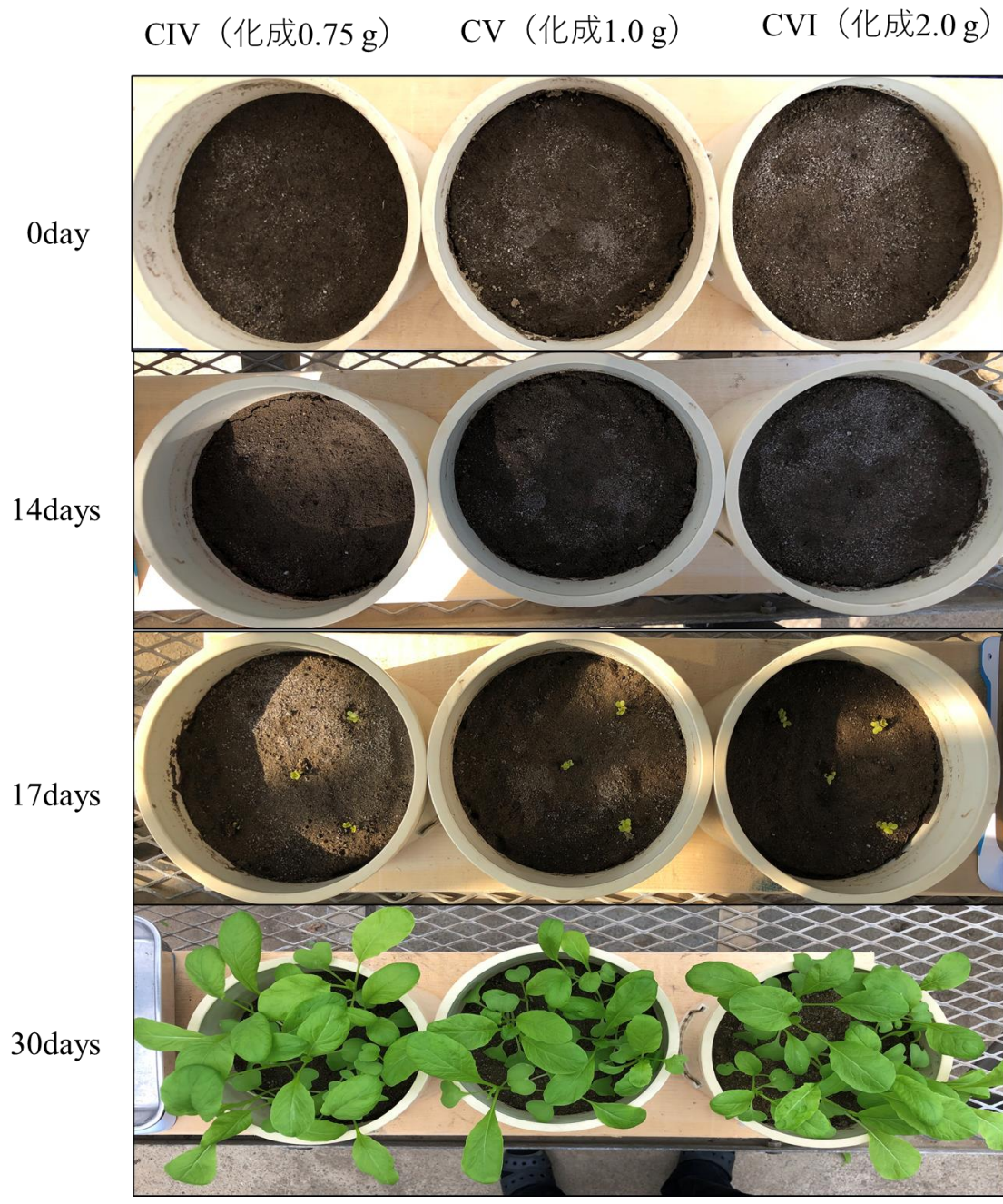


Photo. 4-14 Growth of plant over time ( From left CIV ( CF 0.75 g ) , CV ( CF 1.0 g ) , CVI ( CF 2.0 g ) ) ※ CF : Chemical fertilizer input



Photo. 4-15 Change in each pot at 44 days  
( From top EI ( No worm ) , EII  
( 3 worms ) , EIII ( 10 worms ) )



Photo. 4-16 Change in each pot at 44 days (From left CI (CF 0.1 g) , CII (CF 0.25 g) , CIII (CF 0.5 g) , CIV (CF 0.75 g) , CV (CF 1.0 g) , CVI (CF 2.0 g)) ※CF : Chemical fertilizer input

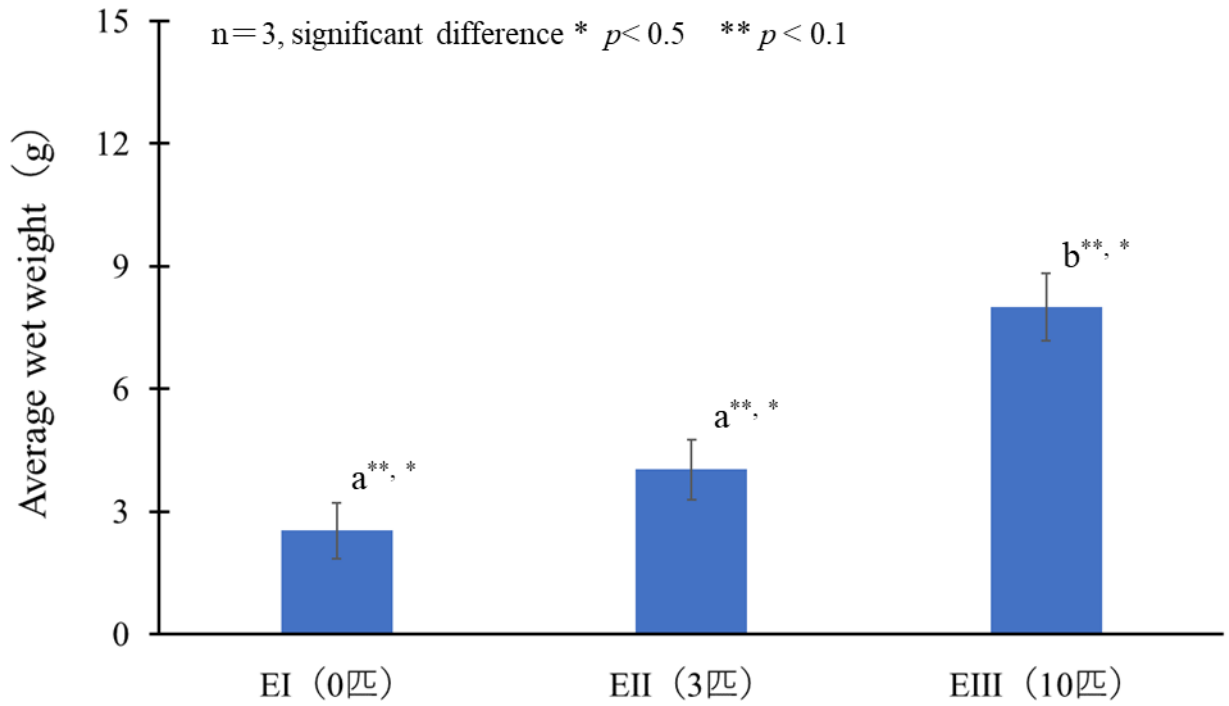


Fig. 4-3 Wet weight of crop ( From left EI  
 ( No worm ) , EII ( 3 worms ) , EIII  
 ( 10 worms ) )



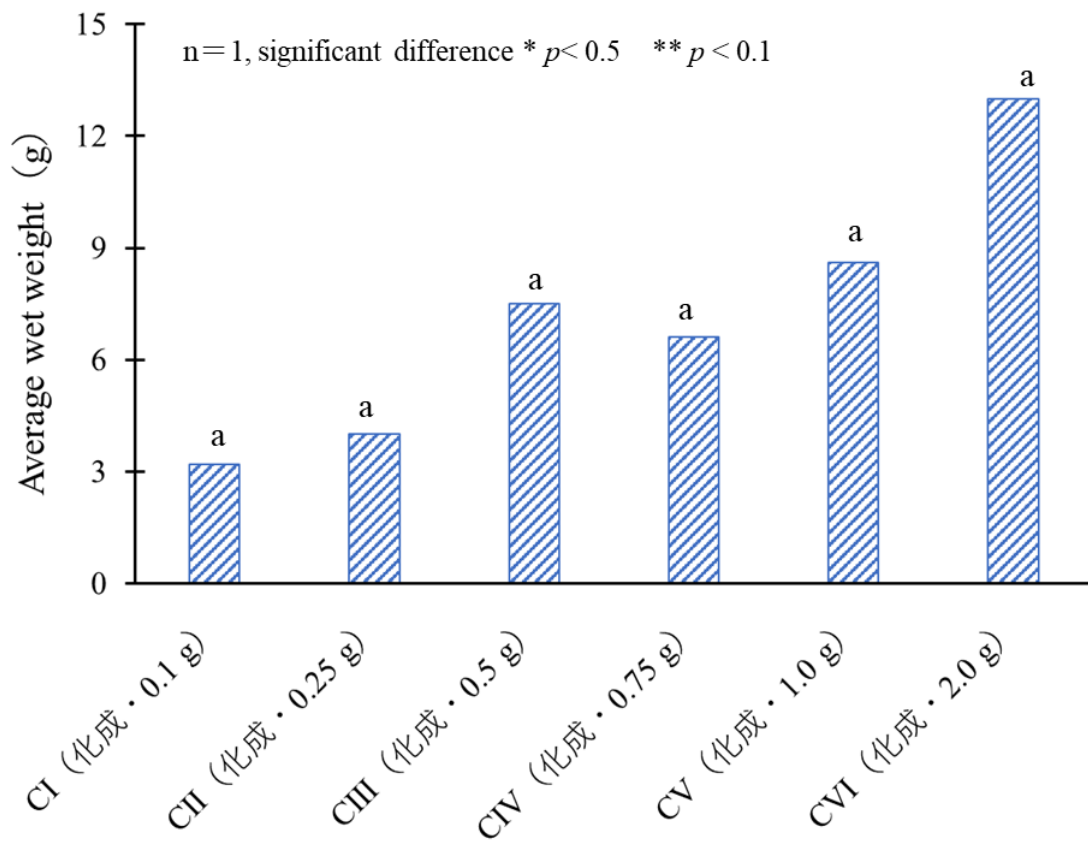


Fig. 4-4 Wet weight of crop ( From left CI ( CF 0.1 g ) , CII ( CF 0.25 g ) , CIII ( CF 0.5 g ) , CIV ( CF 0.75 g ) , CV ( CF 1.0 g ) , CVI ( CF 2.0 g ) ※ CF : Chemical fertilizer input

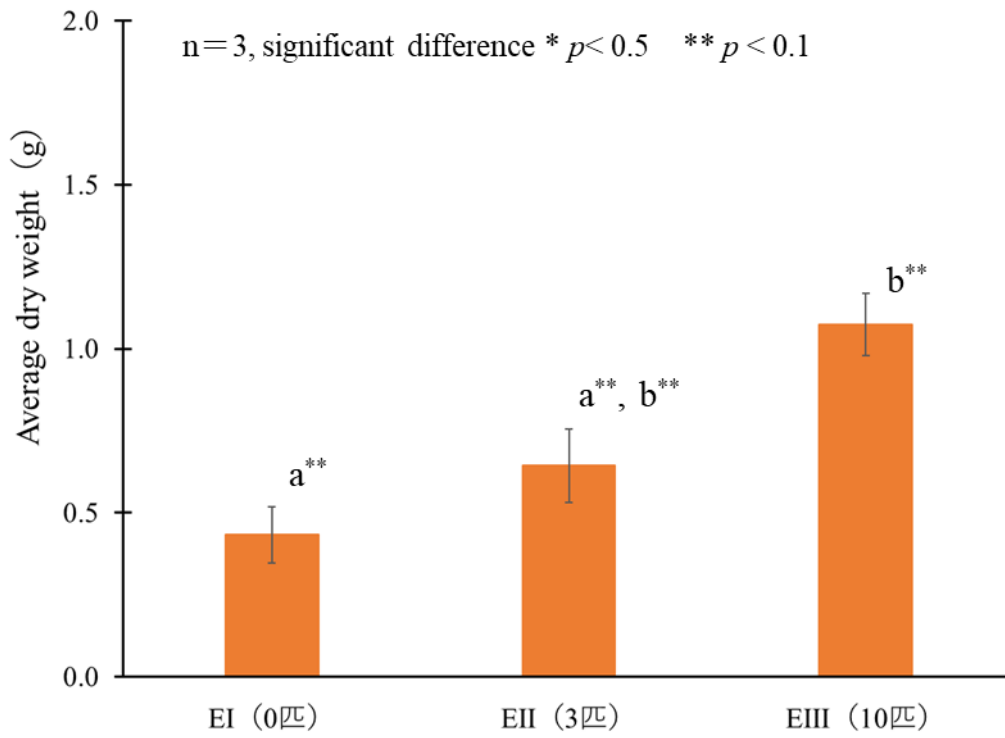


Fig. 4-5 Dry weight of crop ( From left EI ( No worm ) , EII ( 3 worms ) , EIII ( 10 worms ) )

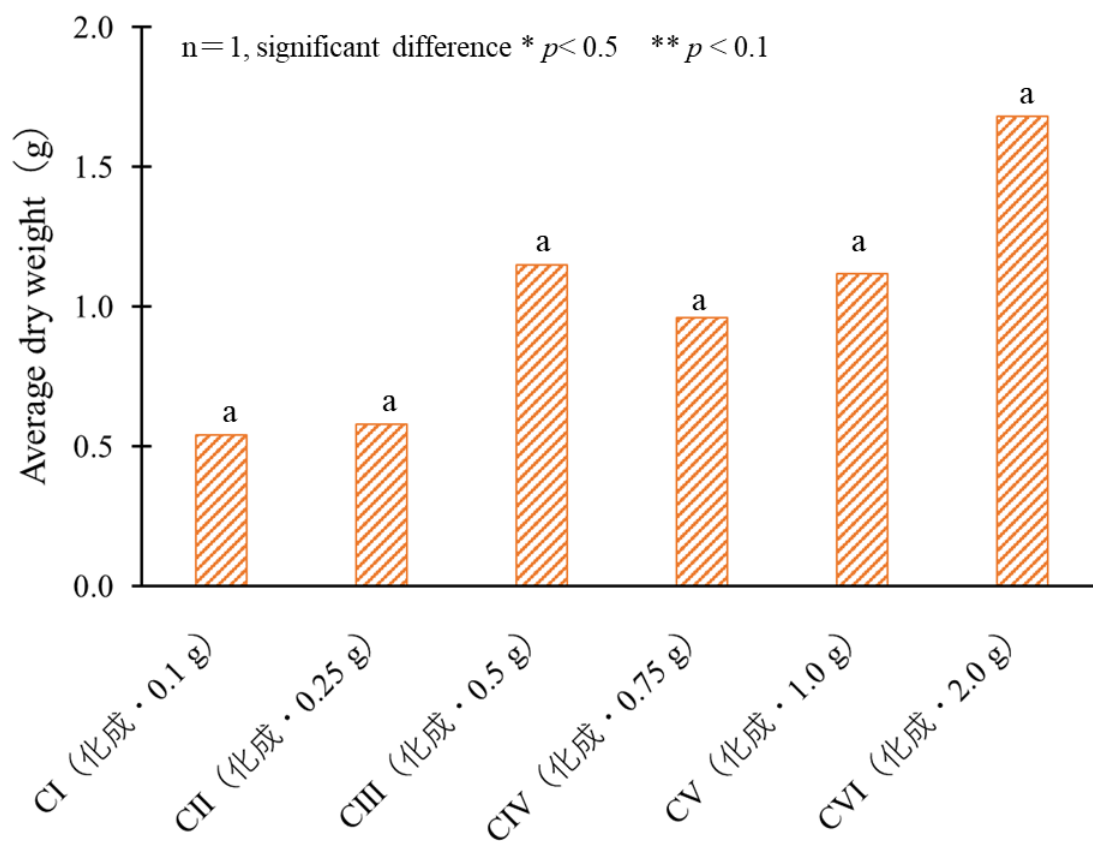


Fig. 4-6 Dry weight of crop ( From left CI ( CF 0.1 g ) , CII ( CF 0.25 g ) , CIII ( CF 0.5 g ) , CIV ( CF 0.75 g ) 、 CV ( CF 1.0 g ) 、 CVI ( CF 2.0 g ) ※CF : Chemical fertilizer input

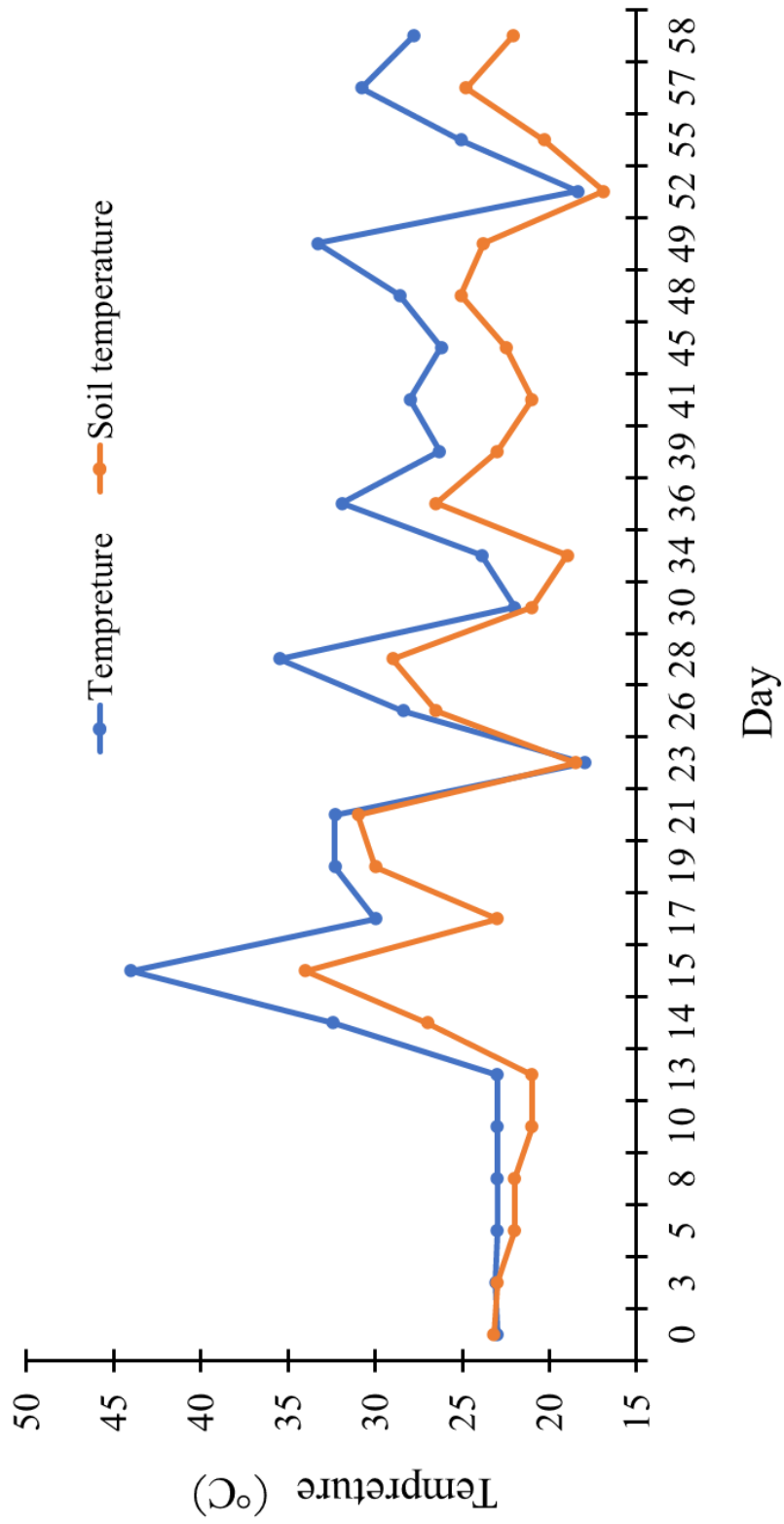


Fig. 4-7 Periodic change in temperature in greenhouse and soil temperature

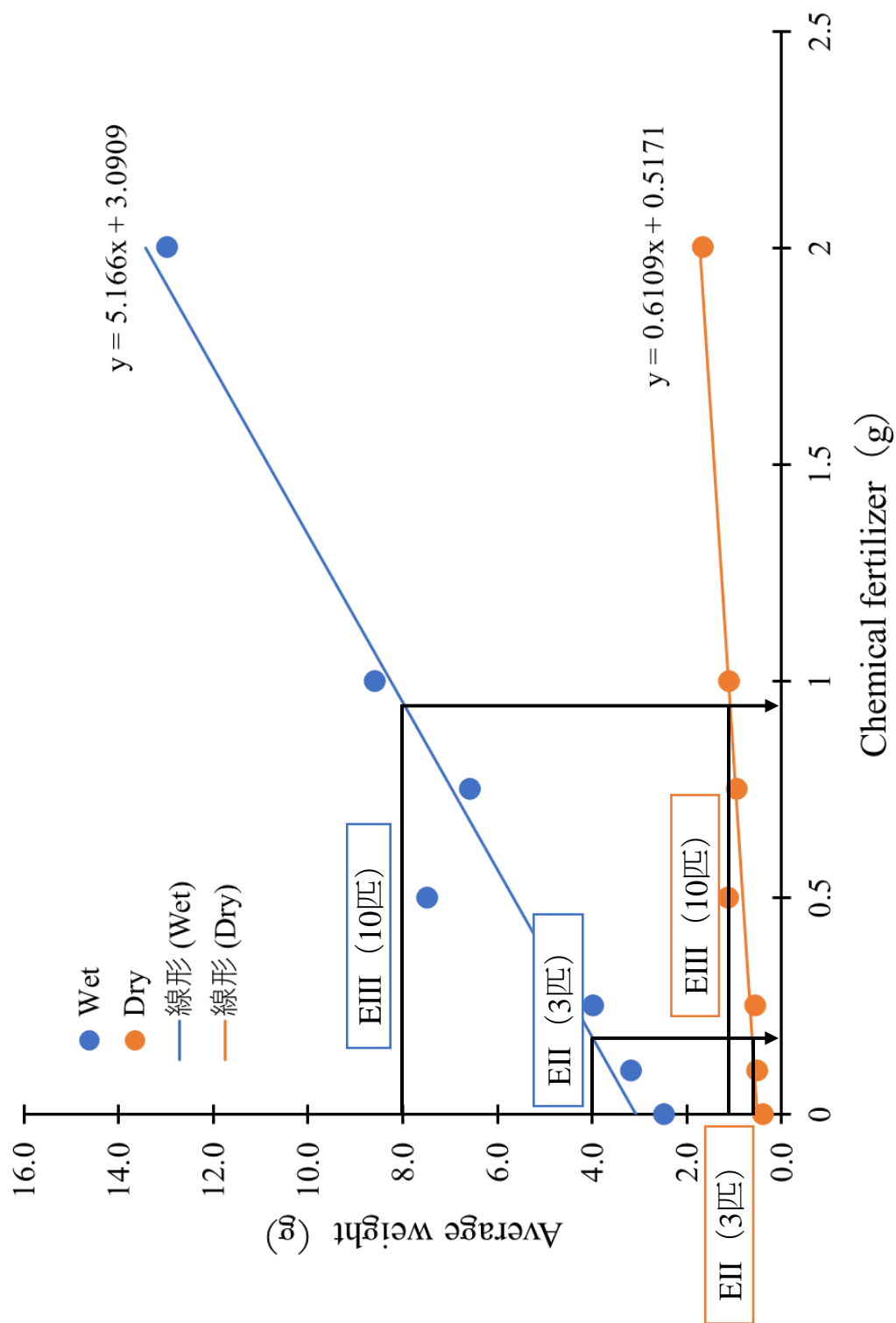


Fig. 4-8 Difference in plant weight ( wet and dry) with various application rate of fertilizer

#### 第4節 本章のまとめ

本実験では、第3章の実験条件を用いて、ポットにフトミミズ科を入れて、培養した土壌で作物と化学肥料で栽培した作物の成長効果を比較し、ミミズの密度が化学肥料のどのくらい量に相当するのかを明らかにした。

第3章の実験条件と同様の化成肥料区はミミズの密度は0、3、10匹の処理区を作成した。また、化成肥料区は0.1 g、0.25 g、0.5 g、0.75 g、1.0 g、2.0 gの6つの異なる施肥量の処理区を作成した。その結果、ミミズが土壌中にいることで作物成長を促進させ、ミミズの密度が高くなるにつれて、作物の重量が大きくなることが明らかになった。次に、ミミズがいることで成長した作物の重量が化成肥料区の成長した作物の重量のどの施肥量に相当するのかを求めた。その結果、EII（3匹）はCII（化成0.25 g）、EIII（10匹）はCV（化成1.0 g）の相当量に匹敵することが分かった。これを1 aあたりに換算すると、CII（化成0.25 g）は150匹/a、CV（化成1.0 g）は500匹/a必要となることが分かった。これらのミミズの密度を農地に投入することで、化成肥料の施肥量を約1/8～1/2ぐらいまでの抑制することができると推察された。

各章で明らかになったことをまとめ、第5章で議論していく。

参考・引用文献（第4章）

板倉寿三郎（1990）：フトミミズが大麥の生育と成分及び土壌条件に与える効果．東北農業研究，43，117-118．

蘇霆軒・江邊正平・大池達矢・岡南政宏・阿野貴司（2017）：ミミズが土壌成分と植物生長に与える効果の研究．近畿大学生物理工学部紀要，39，27-38．

松本貞義・津村明秀・高亨（1990）：土壌の肥沃化とミミズの働き．*Edaphologia*，43，41-49．

# 第 5 章

## 総括



国内外の研究で明らかになっているように、ミミズには土壤中の移動による土壌構造の変化、排泄された糞などによる土壌養分濃度の上昇や糞内の微生物の活性上昇の効果があり、これらの作用による作物成長の促進効果について研究が進められている。しかし、土壌環境や気候、植生によって、変化するミミズの密度が土壌への影響は十分に解明されていない。そこで本研究は、ミミズの密度をパラメータとして、ミミズの摂食・排泄・移動の活動が土壌の土壌養分濃度の変化量や変化速度、さらに作物成長に対してどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とした。

まず、第2章ではフトミミズ科が排泄される糞量や糞自体にどのくらいの土壌養分が含まれているのかを室内実験で明らかにすることを目的に、体外内を綺麗にしたミミズを土壌に入れ、24と48時間で排泄される糞量や糞量に含まれる土壌養分量の違いを調べた。その結果、48時間の方が24時間よりも糞量が多く排泄され、24時間で生重量の約36%、48時間で生重量の約65%の糞量が排泄された。また、排泄時間に関係なく、高い正の相関がみられた。可給態リン酸および硝酸態窒素ともに、排泄時間に関係なく、元の土壌よりも糞量1gに含まれる濃度は高くなる傾向がみられたが、相関はみられなかった。そこで、糞量に含まれる可給態リン酸および硝酸態窒素量に変換した。その結果、糞量や排泄時間に関係なく、総量は変化せ

ず、高い正の相関がみられた。可給態リン酸は、ミミズの腸内や排泄された糞内は土壌と比べて、ホスファターゼ活性が高いことから、可給態リン酸濃度が高くなった。また、硝酸態窒素は、ミミズの糞内に好気性微生物の硝化菌が生息していることやミミズの糞は通気性や透水性が優れていることから、硝酸態窒素濃度が高くなった。このことから、ミミズの腸内や糞内に生息するホスファターゼや硝化菌などの酵素や微生物によって、元の土壌より土壌養分が高くなることが明らかになった。また、生体重と糞量、糞量と糞に含まれる可給態リン酸および硝酸態窒素量が相関のある線形関係であることから、ミミズの生体重から24時間後の可給態リン酸や硝酸態窒素の増加量を予測する式を作成した。

次に、第3章では第2章で日本に生息するフトミミズ科から排泄された糞は元の土壌より土壌養分が高くなることが明らかになった。しかし、ミミズは土壌中に一定留まらず、移動しているため、糞が土壌中のどこに蓄積されるのかは明らかになっていない。そこでカラムを用いて、土壌の深さ方向にミミズの密度がどのような影響を与えるかを目的に、ミミズの密度は0、3、10匹を用いて、土壌養分や土壌構造の影響を調べた。また、第2章で作成したミミズの生体重から24時間後の可給態リン酸および硝酸態窒素の増加量を予測する式を用いて、24時間当たりに増加量したカラ

ムの土壌濃度の割合がミミズの糞にどのくらい影響するのかを算出した。その結果、ミミズは密度に関係なく、表層部よりも下層部で活動することが確認された。排泄された糞は地表面に糞塚は形成されず、土壌中に蓄積されている可能性が示唆された。耐水性団粒の割合分布は、どの層においても耐水性団粒の 2 mm 以上の割合が大きくなり、同時に平均重量直径 (MWD) も大きくなることが明らかになった。また、ミミズの密度が高くなるにつれて、2 mm 以上の割合が大きくなる結果となった。既往の研究からミミズの糞は 2 mm 以上の耐水性団粒であることから、2 mm 以上の割合が増加したのはミミズの糞であることが推察された。また、可給態リン酸は耐水性団粒と同様にミミズの密度が高くなるにつれて、表層部よりも下層部の方で可給態リン酸濃度が増加することが示された。これはミミズの糞内に含まれるホスファターゼによって、可給態リン酸濃度が増加することが考えられ、下層部で増加したのはミミズの生息分布と一致した。それに対して、硝酸態窒素は耐水性団粒や可給態リン酸とは逆にミミズの密度が高くなるにつれて、下層部よりも表層部の方で硝酸態窒素濃度が増加することが示された。これはミミズの糞内に含まれる硝化菌によって、硝酸態窒素が増加することが考えられた。硝酸態窒素がミミズの生息域である下層部ではなく表層部で高くなった原因としては、下層部の硝酸態窒素が溶脱や

還元状態による窒素固定、アンモニア化されたことがある。また、耐水性団粒の形成によって、表層部の通気性が上がることによる硝化の促進が考えられた。これらの結果を用いて、24時間当たりの可給態リンおよび硝酸態窒素濃度の増加量を算出した。さらに、第2章で作成したミミズの生体重から24時間後の可給態リン酸および硝酸態窒素の増加量を予測する式にカラムを用いたミミズの生重量を代入し、予測される増加量を求め比較した。その結果、可給態リン酸は10～20%を由来し、残りは排泄された後に微生物や酵素によって上昇することが示された。また、硝酸態窒素は80～200%を由来し、硝酸態窒素は水分による移動が容易のため、排泄直後にカラムの下方に溶脱やアンモニア態窒素の変化によって濃度が減少したことが推察された。このことから、ミミズから排泄される糞を介して土壌の物理化学性に影響し、土壌の深さにも影響することが明らかになった。

最後に、ミミズが作物成長に効果があることが分かっている。しかし、化学肥料と比較されておらず、どのくらいの施肥量に相当するのかは明らかになっていない。そこでコマツナを栽培し、第3章と同様のミミズの密度を用いたものと化学肥料の6つの異なる施肥量で栽培したコマツナと比較した。その結果、ミミズが土壌中にいることで作物成長を促進させ、ミミズの密度が高くなるにつれて作物の重量が大きくなっ

た。また、化学肥料のどの施肥量に相当するのかを求めた。3匹は化成0.25g、10匹は化成1.0gの相当量に匹敵することが分かり、1aあたりに換算すると、化成0.25gは150匹/a、化成1.0gは500匹/a必要となることが分かった。これらのミミズの密度を農地に投入することで、化学肥料の施肥量を約1/8～1/2ぐらいまでの抑制することができることが分かった。

これらのことから、日本に生息するフトミミズ科の活動により、元の土壌よりも肥料成分の濃度が上昇することや、粒径が大きい団粒を作り出すことで土壌構造の変化させることが明らかになった。また、本研からの条件においては、化学肥料の施肥量を約1/8～1/2ぐらいまでの抑制できる可能性が示唆された。ミミズの密度が大きく影響することから、最適な条件を見いだすことで、さらなる化学肥料の抑制ができると考えられる。

今後の展望として、本研究でミミズの働きのみ注目していたが、実際の土壌には様々な生物や微生物、酵素が存在している。今回はホスファターゼや硝化菌の影響が見られたが、他にどのような生物や微生物に影響するのかを把握することで更なるミミズ働きを促進することができると考えられる。また、ミミズは土壌中を一定の所に留まらないので、どのような管理方法が適切なのかなど議論を進めていく必要がある。

## 謝 辞

博士前期および後期課程 5 年間に渡り、指導教授である東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科の三原真智人教授並びに主査である東京農業大学地域環境科学部地域創成科学科の藤川智紀教授には終始丁寧なご指導を賜りました。

あわせて、副査である東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科の中島亨准教授、東京農業大学応用生物学部農芸化学科の横田健治教授にも論文の構成などについても助言を賜りました。

研究を進めるにあたり、東京農業大学地域環境科学部地域創成科学科の浅井俊光准教授には実験、分析に関しての助言を賜りました。

共に研究に励んだ地域資源利用工学研究室の大学院生ならびに学部生の皆様には、実験や発表練習などの多くのご協力を頂きました。

最後に、大学生活 9 年間に関わった方皆様、そして経済的、精神的に支えていただいた両親に心より感謝申し上げます。

## 付録

第 2 章 フトミミズ科から排泄される糞の成分

ミミズが 24 および 48 時間で排泄された糞量

排泄時間 (h)	ミミズ重量	糞量 (粘液含む)	平均
24	1.2578	0.4500	0.7503
24	1.0138	0.5563	
24	1.6418	0.1086	
24	1.4661	0.4292	
24	1.1767	0.5885	
24	0.4310	0.3119	
24	1.1709	0.4380	
24	0.9130	0.3289	
24	1.5173	0.5447	
24	1.0922	0.1465	
24	6.4303	0.5657	
24	5.7205	3.2106	
24	1.8472	2.2766	
24	1.1758	1.1828	
24	1.3409	0.1765	
24	0.9436	0.7460	
24	1.5862	1.3215	
24	1.1819	0.3822	
24	0.8101	0.2565	
24	2.1460	0.9846	
48	0.4232	0.5959	0.7768
48	0.7033	0.2011	
48	0.8216	0.6488	
48	1.7031	0.5936	
48	0.9726	0.5559	
48	1.8682	0.6962	
48	0.8203	0.5919	
48	0.9710	0.6092	
48	1.2614	1.1716	
48	1.7612	1.1463	
48	3.3602	1.9208	
48	0.8146	0.6899	
48	0.6448	0.5994	
48	1.1305	0.9929	
48	0.9446	0.7914	
48	0.8557	0.7938	
48	0.8811	1.0949	
48	0.4016	0.4915	
48	0.5368	0.6097	
48	0.9846	0.7414	



供試土壌の初期土壌養分（可給態リン酸）

ppm	mg/100g	mg/g	平均
0.035	3.206	0.032	0.035
0.0405	3.710	0.037	
0.0403	3.691	0.037	

24時間でミミズから排泄された糞に含まれる  
可給態リン酸

排泄時間 (h)	ミミズ重量	糞量 (粘液含む)	ppm	mg/糞量 (1g)	平均	全平均	mg	平均	全平均
24h	1.2578	0.4500	0.7747	0.193	0.187	0.2305	0.087	0.084	0.1586
			0.7551	0.188			0.085		
			0.7190	0.179			0.081		
	1.9956	0.420	0.412	0.234					
	1.8893	0.398		0.221					
	1.9930	0.419		0.233					
	1.6418	0.1086	0.0000	0.000	0.000		0.000	0.000	
			0.0000	0.000			0.000		
			0.0000	0.000			0.000		
	1.4661	0.4292	0.6712	0.174	0.166		0.075	0.071	
			0.6446	0.167			0.072		
			0.6104	0.158			0.068		
	1.1767	0.5885	0.7932	0.160	0.154		0.094	0.090	
			0.7549	0.152			0.089		
			0.7385	0.149			0.088		
	0.4310	0.3119	0.5559	0.189	0.201		0.059	0.063	
			0.6173	0.210			0.065		
			0.6058	0.206			0.064		
	1.1709	0.4380	1.5361	0.392	0.395		0.172	0.173	
			1.5344	0.391			0.171		
			1.5759	0.402			0.176		
	0.9130	0.3289	1.0524	0.341	0.336		0.112	0.110	
			0.9496	0.308			0.101		
			1.1021	0.357			0.118		
	1.5173	0.5447	1.7901	0.383	0.364		0.209	0.198	
			1.6784	0.359			0.196		
			1.6316	0.349			0.190		
	1.0922	0.1465	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	
			0.000	0.000			0.000		
			0.2893	0.060			0.034		
	6.4303	0.5657	0.2994	0.062	0.063		0.035	0.035	
			0.3153	0.065			0.037		
			3.9308	0.292			0.938		
	5.7205	3.2106	3.7899	0.282	0.286		0.904	0.919	
			3.8282	0.285			0.914		
			2.3942	0.206			0.469		
	1.8472	2.2766	2.3933	0.206	0.211		0.469	0.479	
			2.5532	0.220			0.500		
			1.2080	0.149			0.176		
	1.1758	1.1828	1.0364	0.128	0.138		0.151	0.163	
			1.1044	0.136			0.161		
			1.7650	0.997			0.176		
	1.3409	0.1765	1.7313	0.978	0.989		0.173	0.175	
			1.7588	0.993			0.175		
			0.000	0.000			0.000		
	0.9436	0.7460	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	
			0.000	0.000			0.000		
			0.000	0.000			0.000		
1.5862	1.3215	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
		0.000	0.000		0.000				
		1.1407	0.326		0.124				
1.1819	0.3822	1.1383	0.325	0.347	0.124	0.133			
		1.3699	0.391		0.149				
		0.3506	0.141		0.036				
0.8101	0.2565	0.3573	0.144	0.146	0.037	0.037			
		0.3778	0.152		0.039				
		1.5445	0.214		0.211				
2.1460	0.9846	1.5517	0.215	0.216	0.212	0.212			
		1.5623	0.217		0.214				

48 時間でミミズから排泄された糞に含まれる  
可給態リン酸

排泄時間 (h)	ミミズ重量	糞量 (粘液含む)	ppm	mg/糞量 (1 g)	平均	全平均	mg	平均	全平均
48h	0.4232	0.5959	0.1541	0.031	0.031	0.2122	0.018	0.018	0.1730
			0.1496	0.030			0.018		
			0.1561	0.031			0.019		
	0.5675	0.284	0.057						
	0.7033	0.2011	0.5686	0.285	0.285		0.057	0.057	
			0.5694	0.285			0.057		
			0.7008	0.131			0.085		
	0.8216	0.6488	0.7038	0.132	0.131		0.085	0.085	
			0.7004	0.131			0.085		
			1.1003	0.220			0.131		
	1.7031	0.5936	1.0827	0.217	0.217		0.129	0.129	
			1.0712	0.214			0.127		
			1.1788	0.248			0.138		
	0.9726	0.5559	1.1512	0.242	0.245		0.135	0.136	
			1.1669	0.246			0.137		
			1.2413	0.220			0.153		
	1.8682	0.6962	1.2398	0.220	0.217		0.153	0.151	
			1.1976	0.212			0.148		
			1.029	0.206			0.122		
	0.8203	0.5919	1.0191	0.204	0.205		0.121	0.122	
			1.0246	0.205			0.122		
			1.2863	0.252			0.154		
	0.9710	0.6092	1.2398	0.243	0.250		0.148	0.153	
			1.3037	0.256			0.156		
			2.0186	0.250			0.293		
	1.2614	1.1716	2.1305	0.264	0.251		0.309	0.294	
			1.9259	0.239			0.280		
			1.8649	0.234			0.269		
	1.7612	1.1463	1.8184	0.229	0.226		0.262	0.260	
			1.7218	0.216			0.248		
			3.2198	0.301			0.578		
	3.3602	1.9208	3.0767	0.288	0.291		0.552	0.559	
			3.0406	0.284			0.546		
			1.6541	0.295			0.204		
	0.8146	0.6899	1.6261	0.290	0.292		0.200	0.201	
			1.6205	0.289			0.200		
			0.4671	0.093			0.056		
	0.6448	0.5994	0.4639	0.092	0.093		0.055	0.056	
			0.4699	0.093			0.056		
			0.3679	0.051			0.050		
	1.1305	0.9929	0.3768	0.052	0.051		0.052	0.051	
			0.3713	0.051			0.051		
			0.3792	0.061			0.048		
	0.9446	0.7914	0.3901	0.063	0.062		0.050	0.049	
			0.3827	0.062			0.049		
			1.6810	0.271			0.215		
	0.8557	0.7938	3.3442	0.539	0.447		0.428	0.355	
			3.3030	0.532			0.423		
3.1882			0.413	0.452					
0.8811	1.0949	3.2085	0.415	0.407	0.455	0.446			
		3.0405	0.394		0.431				
		0.6987	0.162		0.080				
0.4016	0.4915	0.7691	0.179	0.174	0.088	0.085			
		0.7792	0.181		0.089				
		0.6984	0.137		0.083				
0.5368	0.6097	0.6463	0.127	0.145	0.077	0.088			
		0.8743	0.171		0.105				
		1.3170	0.223		0.165				
0.9846	0.7414	1.1935	0.202	0.220	0.150	0.163			
		1.3950	0.236		0.175				

供試土壌の初期土壌養分（硝酸態窒素）

ppm	mg/100 g	mg/g	平均
4.6528	0.0535	0.00054	0.001
4.6389	0.0533	0.00053	
4.7500	0.0546	0.00055	

24 時間でミミズから排泄された糞に含まれる  
硝酸態窒素

排泄時間 (h)	ミミズ重量	糞量 (粘液含む)	ppm	mg/糞量 (1g)	平均	全平均	mg	平均	全平均
24h	1.2578	0.4500	18.3750	2.301	2.293	1.8892	1.035	1.032	1.6943
			18.4860	2.315			1.042		
			18.0690	2.263			1.018		
	30.5280	3.226	1.795						
	1.0138	0.5563	30.0280	3.174	3.270		1.765	1.819	
			32.2640	3.410			1.897		
			0.7361	0.329			0.036		
	1.6418	0.1086	0.6111	0.273	0.566		0.030	0.062	
			2.4583	1.098			0.119		
			10.6390	1.385			0.594		
	1.4661	0.4292	10.7220	1.396	1.390		0.599	0.597	
			10.6810	1.390			0.597		
			15.5560	1.574			0.926		
	1.1767	0.5885	15.8890	1.607	1.576		0.946	0.927	
			15.2780	1.546			0.910		
			16.4860	2.811			0.877		
	0.4310	0.3119	15.7920	2.692	2.711		0.840	0.845	
			15.4210	2.629			0.820		
			16.0420	2.054			0.900		
	1.1709	0.4380	15.8190	2.025	2.036		0.887	0.892	
			15.8470	2.029			0.889		
			12.8330	2.090			0.687		
	0.9130	0.3289	12.3470	2.011	2.040		0.661	0.671	
			12.4030	2.020			0.664		
			30.6810	3.297			1.796		
	1.5173	0.5447	30.0690	3.231	3.198		1.760	1.742	
			28.5420	3.067			1.671		
			0.7361	0.248			0.036		
	1.0922	0.1465	0.5417	0.183	0.220		0.027	0.032	
			0.6806	0.229			0.034		
			23.0830	2.408			1.362		
	6.4303	0.5657	23.3470	2.435	2.363		1.378	1.336	
			21.5140	2.244			1.270		
			88.5560	3.306			10.613		
	5.7205	3.2106	87.1940	3.255	3.258		10.450	10.461	
			86.1110	3.214			10.320		
			93.0970	4.022			9.157		
	1.8472	2.2766	92.5280	3.998	3.970		9.101	9.039	
			90.0560	3.891			8.858		
			18.8190	1.165			1.378		
	1.1758	1.1828	18.8060	1.164	1.161		1.377	1.373	
			18.6530	1.154			1.365		
			8.3056	2.356			0.416		
	1.3409	0.1765	8.2917	2.352	2.343		0.415	0.413	
			8.1806	2.320			0.410		
			0.4722	0.040			0.030		
	0.9436	0.7460	0.8056	0.068	0.053		0.051	0.039	
			0.5972	0.051			0.038		
0.8194			0.047	0.063					
1.5862	1.3215	1.0139	0.059	0.050	0.077	0.066			
		0.7639	0.044		0.058				
		12.5560	1.800		0.688				
1.1819	0.3822	12.5420	1.798	1.775	0.687	0.678			
		12.0420	1.726		0.660				
		10.9580	2.217		0.569				
0.8101	0.2565	10.7780	2.181	2.192	0.559	0.562			
		10.7640	2.178		0.559				
		19.0690	1.329		1.309				
2.1460	0.9846	19.3330	1.348	1.319	1.327	1.298			
		18.3330	1.278		1.258				

48 時間でミミズから排泄された糞に含まれる  
硝酸態窒素

排泄時間 (h)	ミミズ重量	糞量 (粘液含む)	ppm	mg/糞量 (1g)	平均	全平均	mg	平均	全平均
48h	0.4232	0.5959	7.3611	0.738	0.739	1.840	0.439	0.441	1.4657
			7.3750	0.739			0.440		
			7.4028	0.742			0.442		
	8.2361	2.073	0.417						
	0.7033	0.2011	8.2222	2.070	2.118		0.416	0.426	
			8.7778	2.210			0.444		
			8.3750	0.786			0.510		
	0.8216	0.6488	8.1528	0.766	0.791		0.497	0.513	
			8.7361	0.820			0.532		
			30.4440	3.059			1.816		
	1.7031	0.5936	30.4030	3.055	3.029		1.814	1.798	
			29.5830	2.973			1.765		
			20.7640	2.196			1.221		
	0.9726	0.5559	20.9580	2.216	2.181		1.232	1.212	
			20.1390	2.130			1.184		
			56.6670	5.047			3.514		
	1.8682	0.6962	57.7360	5.143	5.028		3.580	3.501	
			54.9580	4.895			3.408		
			14.2640	1.437			0.850		
	0.8203	0.5919	14.2220	1.432	1.402		0.848	0.830	
			13.2640	1.336			0.791		
			22.5140	2.218			1.351		
	0.9710	0.6092	23.0970	2.275	2.168		1.386	1.321	
			20.4030	2.010			1.224		
			30.5280	1.901			2.227		
	1.2614	1.1716	30.2360	1.883	1.842		2.206	2.158	
			28.0000	1.743			2.043		
			30.6940	1.938			2.221		
	1.7612	1.1463	32.1250	2.028	1.953		2.325	2.238	
			29.9720	1.892			2.169		
			46.5690	2.186			4.200		
	3.3602	1.9208	47.4440	2.227	2.165		4.278	4.158	
			44.3060	2.080			3.995		
			25.6250	2.298			1.585		
	0.8146	0.6899	25.4310	2.281	2.260		1.573	1.559	
			24.5560	2.202			1.519		
			16.2920	1.625			0.974		
	0.6448	0.5994	16.1110	1.607	1.588		0.963	0.952	
			15.3470	1.531			0.918		
			21.3890	1.483			1.472		
	1.1305	0.9929	21.0140	1.457	1.432		1.447	1.422	
			19.5690	1.357			1.347		
			15.4170	1.251			0.990		
	0.9446	0.7914	15.5970	1.265	1.237		1.001	0.979	
			14.7220	1.194			0.945		
			34.3890	2.784			2.210		
	0.8557	0.7938	33.1530	2.684	2.711		2.130	2.152	
			32.9310	2.666			2.116		
34.5560			2.247	2.460					
0.8811	1.0949	33.2080	2.159	2.206	2.364	2.415			
		34.0140	2.211		2.421				
		4.2361	0.494		0.243				
0.4016	0.4915	3.9722	0.463	0.483	0.228	0.237			
		4.2083	0.491		0.241				
		6.5972	0.649		0.396				
0.5368	0.6097	6.4583	0.636	0.702	0.388	0.428			
		8.3472	0.822		0.501				
		8.8194	0.750		0.556				
0.9846	0.7414	8.5694	0.729	0.776	0.540	0.576			
		10.0000	0.850		0.631				

### 第 3 章 フトミミズ科による土壌養分と団粒構造の 変化

深さ毎の耐水性団粒および MWD (0 日目)

0~4cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
38.7	46.7	46.2	6.7	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.1	0.4	Mt
1mm	1.5	3.1	12.9	25.7
0.5mm	0.75	7.7	32.0	Ms
0.25mm	0.375	7.4	30.7	24.1
0.125mm	0.175	4.3	17.8	MWD
0.1mm	0.05	1.5	6.2	0.6
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.2	1.0	Mt
1mm	1.5	4.0	19.2	22.2
0.5mm	0.75	5.4	26.0	Ms
0.25mm	0.375	4.8	23.1	20.8
0.125mm	0.175	2.8	13.5	MWD
0.1mm	0.05	3.6	17.4	0.6
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.2	0.7	Mt
1mm	1.5	3.6	16.1	23.7
0.5mm	0.75	6.9	31.1	Ms
0.25mm	0.375	6.1	27.3	22.2
0.125mm	0.175	3.4	15.3	MWD
0.1mm	0.05	2.1	9.4	0.6
4~8cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
46.8	53.8	52.6	20.7	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.2	1.0	Mt
1mm	1.5	4.6	23.5	23.6
0.5mm	0.75	5.9	30.1	Ms
0.25mm	0.375	5.1	26.0	19.6
0.125mm	0.175	2.5	12.8	MWD
0.1mm	0.05	1.3	6.4	0.7
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.1	0.6	Mt
1mm	1.5	3.6	19.9	21.9
0.5mm	0.75	5.9	32.6	Ms
0.25mm	0.375	4.6	25.4	18.1
0.125mm	0.175	2.7	14.9	MWD
0.1mm	0.05	1.2	6.9	0.7
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.1	0.7	Mt
1mm	1.5	4.0	21.9	22.3
0.5mm	0.75	5.8	31.3	Ms
0.25mm	0.375	4.5	24.5	18.4
0.125mm	0.175	2.6	14.3	MWD
0.1mm	0.05	1.4	7.7	0.7
8~12cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
42.4	50.0	49.8	2.7	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.3	1.4	Mt
1mm	1.5	4.2	19.6	22.0
0.5mm	0.75	7.0	32.7	Ms
0.25mm	0.375	5.5	25.7	21.4
0.125mm	0.175	2.9	13.6	MWD
0.1mm	0.05	1.5	7.1	0.7
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.6	2.7	Mt
1mm	1.5	3.6	16.4	22.6
0.5mm	0.75	7.3	33.2	Ms
0.25mm	0.375	5.8	26.4	22.0
0.125mm	0.175	2.9	13.2	MWD
0.1mm	0.05	1.8	8.2	0.7
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.4	1.7	Mt
1mm	1.5	4.2	19.3	22.1
0.5mm	0.75	6.8	31.5	Ms
0.25mm	0.375	5.8	27.1	21.5
0.125mm	0.175	2.9	13.5	MWD
0.1mm	0.05	1.5	6.8	0.7

深さ毎の耐水性団粒および MWD (7 日目・0 匹)

0匹・0~4cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
41.6	52.0	51.5	5.1	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.1	0.6	Mt
1mm	1.5	4.3	21.9	20.5
0.5mm	0.75	7.4	37.7	Ms
0.25mm	0.375	4.4	22.6	19.5
0.125mm	0.175	2.0	10.3	MWD
0.1mm	0.05	1.4	7.0	0.7
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.9	4.5	Mt
1mm	1.5	5.9	29.6	20.8
0.5mm	0.75	6.0	30.3	Ms
0.25mm	0.375	4.1	20.7	19.8
0.125mm	0.175	1.8	9.2	MWD
0.1mm	0.05	1.1	5.7	0.9
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.3	1.5	Mt
1mm	1.5	4.8	24.7	20.3
0.5mm	0.75	6.0	31.0	Ms
0.25mm	0.375	4.8	24.9	19.3
0.125mm	0.175	2.1	10.9	MWD
0.1mm	0.05	1.3	7.0	0.8
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.5	2.7	Mt
1mm	1.5	5.2	26.9	20.5
0.5mm	0.75	6.5	33.3	Ms
0.25mm	0.375	4.2	21.5	19.5
0.125mm	0.175	1.8	9.4	MWD
0.1mm	0.05	1.2	6.2	0.8

0匹・4~8cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
40.6	50.8	50.4	4.1	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.4	2.0	Mt
1mm	1.5	4.9	24.6	20.8
0.5mm	0.75	6.2	30.8	Ms
0.25mm	0.375	4.2	21.0	20.0
0.125mm	0.175	1.8	8.9	MWD
0.1mm	0.05	2.5	12.6	0.8
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.3	1.6	Mt
1mm	1.5	8.0	37.7	22.2
0.5mm	0.75	5.0	23.2	Ms
0.25mm	0.375	2.9	13.6	21.3
0.125mm	0.175	1.1	5.0	MWD
0.1mm	0.05	4.0	18.9	0.9
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.5	2.4	Mt
1mm	1.5	5.0	24.9	20.9
0.5mm	0.75	5.9	29.6	Ms
0.25mm	0.375	4.6	22.8	20.0
0.125mm	0.175	1.9	9.6	MWD
0.1mm	0.05	2.2	10.7	0.8
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.4	2.0	Mt
1mm	1.5	6.0	29.5	21.1
0.5mm	0.75	5.6	27.8	Ms
0.25mm	0.375	3.8	18.8	20.3
0.125mm	0.175	1.5	7.6	MWD
0.1mm	0.05	2.9	14.2	0.8

0匹・8~12cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
42.1	50.7	50.2	6.2	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.5	2.4	Mt
1mm	1.5	6.9	35.9	20.4
0.5mm	0.75	4.9	25.4	Ms
0.25mm	0.375	2.5	13.2	19.2
0.125mm	0.175	1.2	6.4	MWD
0.1mm	0.05	3.2	16.7	0.9
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.4	1.9	Mt
1mm	1.5	7.2	37.4	20.4
0.5mm	0.75	4.2	22.0	Ms
0.25mm	0.375	2.7	14.1	19.2
0.125mm	0.175	1.2	6.2	MWD
0.1mm	0.05	3.5	18.4	0.9
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	単位
2mm	3	0.4	1.9	Mt
1mm	1.5	7.1	36.7	20.6
0.5mm	0.75	4.5	23.4	Ms
0.25mm	0.375	2.7	14.1	19.4
0.125mm	0.175	1.2	6.2	MWD
0.1mm	0.05	3.4	17.7	0.9

深さ毎の耐水性団粒および MWD (7日目・3匹)

3匹・0~4cm									
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比						
41.6	46.5	46.1	8.9						
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.6	3.4	Mt	2mm	3	0.6	3.4	Mt
1mm	1.5	5.5	29.5	20.4	1mm	1.5	5.8	30.3	20.7
0.5mm	0.75	5.5	29.3	Ms	0.5mm	0.75	5.4	28.5	Ms
0.25mm	0.375	3.8	20.3	18.7	0.25mm	0.375	3.8	20.1	19.0
0.125mm	0.175	1.7	9.0	MWD	0.125mm	0.175	2.1	10.8	MWD
0.1mm	0.05	1.6	8.5	0.9	0.1mm	0.05	1.3	6.9	0.9
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.5	2.5	Mt	2mm	3	0.6	2.8	Mt
1mm	1.5	6.0	31.7	20.6	1mm	1.5	4.7	24.1	21.4
0.5mm	0.75	5.7	30.1	Ms	0.5mm	0.75	5.7	28.8	Ms
0.25mm	0.375	4.2	22.3	18.9	0.25mm	0.375	4.6	23.5	19.7
0.125mm	0.175	1.7	9.1	MWD	0.125mm	0.175	2.7	13.6	MWD
0.1mm	0.05	0.8	4.3	0.9	0.1mm	0.05	1.4	7.1	0.8
平均									
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.6	3.0	Mt	2mm	3	0.6	3.0	Mt
1mm	1.5	5.5	28.8	20.8	1mm	1.5	5.6	29.2	Ms
0.5mm	0.75	5.6	29.2	Ms	0.5mm	0.75	4.1	21.6	19.1
0.25mm	0.375	4.1	21.6	19.1	0.25mm	0.375	2.0	10.7	MWD
0.125mm	0.175	2.0	10.7	MWD	0.125mm	0.175	1.3	6.7	0.8
0.1mm	0.05	1.3	6.7	0.8	0.1mm	0.05	1.3	6.7	0.8
3匹・4~8cm									
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比						
48.1	57.4	56.9	5.7						
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.3	1.4	Mt	2mm	3	0.7	3.5	Mt
1mm	1.5	2.8	14.2	20.7	1mm	1.5	3.6	18.3	20.7
0.5mm	0.75	6.4	32.7	Ms	0.5mm	0.75	6.2	31.6	Ms
0.25mm	0.375	5.7	29.1	19.6	0.25mm	0.375	5.3	27.2	19.6
0.125mm	0.175	2.9	14.5	MWD	0.125mm	0.175	2.2	11.2	MWD
0.1mm	0.05	1.6	8.0	0.6	0.1mm	0.05	1.6	8.2	0.7
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.3	1.2	Mt	2mm	3	0.3	1.3	Mt
1mm	1.5	4.7	22.9	21.8	1mm	1.5	4.1	20.0	21.9
0.5mm	0.75	5.7	27.5	Ms	0.5mm	0.75	6.6	31.8	Ms
0.25mm	0.375	5.3	25.7	20.6	0.25mm	0.375	5.3	25.6	20.7
0.125mm	0.175	2.7	13.0	MWD	0.125mm	0.175	2.5	12.0	MWD
0.1mm	0.05	2.0	9.6	0.7	0.1mm	0.05	1.9	9.4	0.7
平均									
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.4	1.8	Mt	2mm	3	0.4	1.8	Mt
1mm	1.5	3.8	18.9	21.3	1mm	1.5	3.8	18.9	21.3
0.5mm	0.75	6.2	30.9	Ms	0.5mm	0.75	6.2	30.9	Ms
0.25mm	0.375	5.4	26.9	20.1	0.25mm	0.375	5.4	26.9	20.1
0.125mm	0.175	2.6	12.7	MWD	0.125mm	0.175	2.6	12.7	MWD
0.1mm	0.05	1.8	8.8	0.7	0.1mm	0.05	1.8	8.8	0.7
3匹・8~12cm									
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比						
41.9	50.6	50.0	7.4						
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.3	1.6	Mt	2mm	3	0.7	3.7	Mt
1mm	1.5	5.9	28.4	22.2	1mm	1.5	5.9	30.2	21.0
0.5mm	0.75	3.8	18.5	Ms	0.5mm	0.75	4.5	23.2	Ms
0.25mm	0.375	2.1	10.4	20.6	0.25mm	0.375	2.7	13.7	19.6
0.125mm	0.175	0.9	4.5	MWD	0.125mm	0.175	1.2	5.9	MWD
0.1mm	0.05	7.6	36.6	0.7	0.1mm	0.05	4.5	23.2	0.8
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.5	1.8	Mt	2mm	3	0.4	2.0	Mt
1mm	1.5	5.2	18.8	29.5	1mm	1.5	6.4	33.6	20.3
0.5mm	0.75	4.9	18.0	Ms	0.5mm	0.75	3.7	19.5	Ms
0.25mm	0.375	2.8	10.3	27.5	0.25mm	0.375	1.7	8.9	18.9
0.125mm	0.175	1.1	4.0	MWD	0.125mm	0.175	0.6	3.4	MWD
0.1mm	0.05	13.0	47.2	0.5	0.1mm	0.05	6.2	32.5	0.8
平均									
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.5	2.2	Mt	2mm	3	0.5	2.2	Mt
1mm	1.5	5.8	26.9	23.2	1mm	1.5	5.8	26.9	23.2
0.5mm	0.75	4.2	19.6	Ms	0.5mm	0.75	4.2	19.6	Ms
0.25mm	0.375	2.3	10.8	21.6	0.25mm	0.375	2.3	10.8	21.6
0.125mm	0.175	1.0	4.4	MWD	0.125mm	0.175	1.0	4.4	MWD
0.1mm	0.05	7.8	36.0	0.7	0.1mm	0.05	7.8	36.0	0.7

深さ毎の耐水性団粒および MWD (7日目・10匹)

10匹・0~4cm									
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比						
41	51.5	50.8	7.1						
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.1	0.6	Mt	2mm	3	0.3	1.4	Mt
1mm	1.5	3.3	16.9	20.9	1mm	1.5	2.5	13.3	20.1
0.5mm	0.75	6.4	33.0	Ms	0.5mm	0.75	4.8	25.5	Ms
0.25mm	0.375	5.6	28.9	19.5	0.25mm	0.375	6.8	36.4	18.8
0.125mm	0.175	2.4	12.3	MWD	0.125mm	0.175	2.9	15.5	MWD
0.1mm	0.05	1.6	8.3	0.7	0.1mm	0.05	1.5	7.8	0.6
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.2	1.1	Mt	2mm	3	0.1	0.7	Mt
1mm	1.5	4.8	24.6	20.93	1mm	1.5	3.3	17.1	20.94
0.5mm	0.75	6.6	33.8	Ms	0.5mm	0.75	6.2	31.8	Ms
0.25mm	0.375	4.8	24.6	19.5	0.25mm	0.375	5.7	29.3	19.5
0.125mm	0.175	1.9	9.6	MWD	0.125mm	0.175	2.2	11.3	MWD
0.1mm	0.05	1.2	6.3	0.8	0.1mm	0.05	1.9	9.9	0.6
平均									
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.2	1.0	Mt	2mm	3	0.1	0.7	Mt
1mm	1.5	3.5	18.0	20.7	1mm	1.5	3.3	17.1	20.94
0.5mm	0.75	6.0	31.1	Ms	0.5mm	0.75	6.2	31.8	Ms
0.25mm	0.375	5.8	29.7	19.3	0.25mm	0.375	5.7	29.3	19.5
0.125mm	0.175	2.3	12.1	MWD	0.125mm	0.175	2.2	11.3	MWD
0.1mm	0.05	1.6	8.1	0.7	0.1mm	0.05	1.9	9.9	0.6

10匹・4~8cm									
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比						
76.5	80.7	80.4	7.7						
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.3	1.4	Mt	2mm	3	0.5	2.6	Mt
1mm	1.5	4.3	22.1	20.9	1mm	1.5	5.0	25.7	21.06
0.5mm	0.75	7.4	37.8	Ms	0.5mm	0.75	6.6	33.6	Ms
0.25mm	0.375	4.4	22.7	19.4	0.25mm	0.375	4.3	22.0	19.6
0.125mm	0.175	1.6	8.3	MWD	0.125mm	0.175	1.4	7.4	MWD
0.1mm	0.05	1.5	7.6	0.8	0.1mm	0.05	1.7	8.7	0.8
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	1.5	7.7	Mt	2mm	3	0.8	4.2	Mt
1mm	1.5	6.1	31.4	20.77	1mm	1.5	4.1	21.6	20.2
0.5mm	0.75	5.0	26.2	Ms	0.5mm	0.75	6.1	32.5	Ms
0.25mm	0.375	3.3	17.3	19.3	0.25mm	0.375	4.3	22.8	18.8
0.125mm	0.175	1.0	5.3	MWD	0.125mm	0.175	1.9	10.2	MWD
0.1mm	0.05	2.3	12.1	1.0	0.1mm	0.05	1.6	8.6	0.8
平均									
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.8	4.0	Mt	2mm	3	0.8	4.0	Mt
1mm	1.5	4.9	25.2	20.7	1mm	1.5	4.1	21.6	20.2
0.5mm	0.75	6.3	32.5	Ms	0.5mm	0.75	6.1	32.5	Ms
0.25mm	0.375	4.1	21.2	19.3	0.25mm	0.375	4.3	22.8	18.8
0.125mm	0.175	1.5	7.8	MWD	0.125mm	0.175	1.9	10.2	MWD
0.1mm	0.05	1.8	9.3	0.8	0.1mm	0.05	1.6	8.6	0.8

10匹・8~12cm									
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比						
76.8	82.9	82.4	8.9						
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.6	3.0	Mt	2mm	3	1.1	5.6	Mt
1mm	1.5	5.9	31.6	20.4	1mm	1.5	4.5	23.2	21.4
0.5mm	0.75	5.8	31.1	Ms	0.5mm	0.75	6.0	30.5	Ms
0.25mm	0.375	3.3	17.7	18.7	0.25mm	0.375	3.9	19.9	19.6
0.125mm	0.175	1.3	7.1	MWD	0.125mm	0.175	1.9	9.6	MWD
0.1mm	0.05	1.8	9.5	0.9	0.1mm	0.05	2.2	11.2	0.8
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	1.5	7.9	Mt	2mm	3	0.2	1.1	Mt
1mm	1.5	5.5	29.7	20.3	1mm	1.5	3.7	19.3	21.03
0.5mm	0.75	4.7	25.3	Ms	0.5mm	0.75	6.5	33.5	Ms
0.25mm	0.375	3.4	18.1	18.6	0.25mm	0.375	4.7	24.2	19.3
0.125mm	0.175	1.5	8.3	MWD	0.125mm	0.175	2.0	10.5	MWD
0.1mm	0.05	2.0	10.8	1.0	0.1mm	0.05	2.2	11.4	0.7
平均									
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.8	4.4	Mt	2mm	3	0.2	1.1	Mt
1mm	1.5	4.9	25.9	20.7	1mm	1.5	3.7	19.3	21.03
0.5mm	0.75	5.7	30.2	Ms	0.5mm	0.75	6.5	33.5	Ms
0.25mm	0.375	3.8	20.1	19.0	0.25mm	0.375	4.7	24.2	19.3
0.125mm	0.175	1.7	8.9	MWD	0.125mm	0.175	2.0	10.5	MWD
0.1mm	0.05	2.0	10.8	0.8	0.1mm	0.05	2.2	11.4	0.7



深さ毎の耐水性団粒および MWD (14 日目・0 匹)

0匹・0~4cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
40.2	45	44.6	9.1	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.4	2.1	Mt
1mm	1.5	4.4	23.2	20.7
0.5mm	0.75	7.1	37.4	Ms
0.25mm	0.375	4.7	24.7	19.0
0.125mm	0.175	2.3	12.1	MWD
0.1mm	0.05	0.1	0.4	0.8
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.5	2.6	Mt
1mm	1.5	4.6	24.2	20.7
0.5mm	0.75	7.1	37.4	Ms
0.25mm	0.375	4.5	23.7	19.0
0.125mm	0.175	2.2	11.6	MWD
0.1mm	0.05	0.1	0.4	0.8
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.5	2.5	Mt
1mm	1.5	4.4	22.9	20.8
0.5mm	0.75	7.1	37.0	Ms
0.25mm	0.375	4.6	24.2	19.1
0.125mm	0.175	2.4	12.6	MWD
0.1mm	0.05	0.1	0.7	0.8

0匹・4~8cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
38.6	44	43.7	5.9	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.6	3.2	Mt
1mm	1.5	2.9	15.3	20.0
0.5mm	0.75	4.7	24.9	Ms
0.25mm	0.375	5.7	30.2	18.9
0.125mm	0.175	3.5	18.5	MWD
0.1mm	0.05	1.5	7.9	0.7
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.6	3.2	Mt
1mm	1.5	2.8	14.7	20.1
0.5mm	0.75	4.6	24.2	Ms
0.25mm	0.375	5.6	29.5	19.0
0.125mm	0.175	3.7	19.5	MWD
0.1mm	0.05	1.7	8.9	0.6
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.6	2.9	Mt
1mm	1.5	2.9	15.4	20.1
0.5mm	0.75	4.8	25.0	Ms
0.25mm	0.375	5.5	28.9	19.0
0.125mm	0.175	3.5	18.3	MWD
0.1mm	0.05	1.8	9.4	0.7

0匹・8~12cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
42.1	48.8	47.9	15.5	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.5	2.7	Mt
1mm	1.5	3.7	19.8	21.6
0.5mm	0.75	4.4	23.5	Ms
0.25mm	0.375	5.7	30.5	18.7
0.125mm	0.175	3.2	17.1	MWD
0.1mm	0.05	1.2	6.4	0.7
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.5	2.7	Mt
1mm	1.5	4.6	25.0	21.3
0.5mm	0.75	5.4	29.3	Ms
0.25mm	0.375	5.0	27.2	18.4
0.125mm	0.175	2.8	15.2	MWD
0.1mm	0.05	0.1	0.8	0.8
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.5	2.6	Mt
1mm	1.5	3.5	18.9	21.2
0.5mm	0.75	5.1	27.7	Ms
0.25mm	0.375	5.5	29.9	18.4
0.125mm	0.175	3.2	17.4	MWD
0.1mm	0.05	0.6	3.3	0.7

深さ毎の耐水性団粒および MWD (14 日目・3 匹)

3匹・0~4cm									
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比						
41.6	46.5	46.1	8.9						
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜
2mm	3	1.0	5.4	Mt	2mm	3	1.2	6.5	Mt
1mm	1.5	5.3	28.8	20.0	1mm	1.5	6.6	35.9	20.0
0.5mm	0.75	5.8	31.5	Ms	0.5mm	0.75	5.6	30.4	Ms
0.25mm	0.375	3.6	19.6	18.4	0.25mm	0.375	3.2	17.4	18.4
0.125mm	0.175	1.7	9.2	MWD	0.125mm	0.175	1.5	8.2	MWD
0.1mm	0.05	1.0	5.3	0.9	0.1mm	0.05	0.3	1.5	1.0
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜
2mm	3	1.1	5.8	Mt	2mm	3	1.0	5.4	Mt
1mm	1.5	5.9	31.2	20.6	1mm	1.5	5.7	30.8	20.1
0.5mm	0.75	5.8	30.7	Ms	0.5mm	0.75	5.0	27.0	Ms
0.25mm	0.375	3.3	17.5	18.9	0.25mm	0.375	3.5	18.9	18.5
0.125mm	0.175	1.6	8.5	MWD	0.125mm	0.175	1.8	9.7	MWD
0.1mm	0.05	1.2	6.4	1.0	0.1mm	0.05	1.5	7.9	0.9
平均									
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜
2mm	3	1.1	5.8	Mt	2mm	3	1.1	5.8	Mt
1mm	1.5	5.9	31.8	20.2	1mm	1.5	5.9	31.8	20.2
0.5mm	0.75	5.6	30.0	Ms	0.5mm	0.75	5.6	30.0	Ms
0.25mm	0.375	3.4	18.4	18.5	0.25mm	0.375	3.4	18.4	18.5
0.125mm	0.175	1.7	8.9	MWD	0.125mm	0.175	1.7	8.9	MWD
0.1mm	0.05	1.0	5.3	1.0	0.1mm	0.05	1.0	5.3	1.0
3匹・4~8cm									
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比						
41.1	47.1	46.5	11.1						
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜
2mm	3	1.0	5.2	Mt	2mm	3	1.0	5.5	Mt
1mm	1.5	6.0	30.9	21.6	1mm	1.5	5.7	31.3	20.2
0.5mm	0.75	5.7	29.4	Ms	0.5mm	0.75	5.2	28.6	Ms
0.25mm	0.375	4.0	20.6	19.4	0.25mm	0.375	3.5	19.2	18.2
0.125mm	0.175	1.9	9.8	MWD	0.125mm	0.175	2.0	11.0	MWD
0.1mm	0.05	0.8	4.3	0.9	0.1mm	0.05	0.8	4.3	0.9
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜
2mm	3	1.0	5.4	Mt	2mm	3	1.0	5.3	Mt
1mm	1.5	5.9	31.9	20.5	1mm	1.5	6.0	31.7	21.0
0.5mm	0.75	5.3	28.6	Ms	0.5mm	0.75	5.6	29.6	Ms
0.25mm	0.375	3.3	17.8	18.5	0.25mm	0.375	3.4	18.0	18.9
0.125mm	0.175	2.1	11.4	MWD	0.125mm	0.175	1.8	9.5	MWD
0.1mm	0.05	0.8	4.6	0.9	0.1mm	0.05	1.1	5.8	0.9
平均									
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜
2mm	3	1.0	5.3	Mt	2mm	3	1.0	5.3	Mt
1mm	1.5	5.9	31.6	20.8	1mm	1.5	5.9	31.6	20.8
0.5mm	0.75	5.5	29.1	Ms	0.5mm	0.75	5.5	29.1	Ms
0.25mm	0.375	3.6	19.0	18.7	0.25mm	0.375	3.6	19.0	18.7
0.125mm	0.175	2.0	10.4	MWD	0.125mm	0.175	2.0	10.4	MWD
0.1mm	0.05	0.9	4.8	0.9	0.1mm	0.05	0.9	4.8	0.9
3匹・8~12cm									
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比						
41.9	47.6	46.9	14.0						
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜
2mm	3	0.4	2.2	Mt	2mm	3	0.2	1.1	Mt
1mm	1.5	3.7	20.1	21.0	1mm	1.5	3.4	17.9	21.7
0.5mm	0.75	5.2	28.3	Ms	0.5mm	0.75	4.3	22.6	Ms
0.25mm	0.375	4.8	26.1	18.4	0.25mm	0.375	5.0	26.3	19.0
0.125mm	0.175	3.1	16.8	MWD	0.125mm	0.175	2.8	14.7	MWD
0.1mm	0.05	1.2	6.6	0.7	0.1mm	0.05	3.3	17.6	0.6
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜
2mm	3	0.8	4.5	Mt	2mm	3	0.4	2.2	Mt
1mm	1.5	4.4	24.7	20.3	1mm	1.5	3.7	20.8	20.3
0.5mm	0.75	5.0	28.1	Ms	0.5mm	0.75	5.2	29.2	Ms
0.25mm	0.375	4.0	22.5	17.8	0.25mm	0.375	4.3	24.2	17.8
0.125mm	0.175	2.6	14.6	MWD	0.125mm	0.175	2.8	15.7	MWD
0.1mm	0.05	1.0	5.7	0.8	0.1mm	0.05	1.4	7.9	0.7
平均									
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜	メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	傾斜
2mm	3	0.5	2.5	Mt	2mm	3	0.5	2.5	Mt
1mm	1.5	3.8	20.8	20.8	1mm	1.5	3.8	20.8	20.8
0.5mm	0.75	4.9	26.9	Ms	0.5mm	0.75	4.9	26.9	Ms
0.25mm	0.375	4.5	24.7	18.3	0.25mm	0.375	4.5	24.7	18.3
0.125mm	0.175	2.8	15.4	MWD	0.125mm	0.175	2.8	15.4	MWD
0.1mm	0.05	1.7	9.5	0.7	0.1mm	0.05	1.7	9.5	0.7

深さ毎の耐水性団粒および MWD (14日目・10匹)

10匹・0~4cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
41	46.5	46.1	7.8	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	1.4	7.6	Mt
1mm	1.5	4.8	25.9	20.0
0.5mm	0.75	5.2	28.1	Ms
0.25mm	0.375	3.5	18.9	18.5
0.125mm	0.175	2.1	11.4	MWD
0.1mm	0.05	1.5	8.4	0.9
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	1.4	7.6	Mt
1mm	1.5	4.8	25.9	20.0
0.5mm	0.75	5.2	28.1	Ms
0.25mm	0.375	3.5	18.9	18.5
0.125mm	0.175	2.1	11.4	MWD
0.1mm	0.05	1.5	8.4	0.9

10匹・4~8cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
76.5	81.6	81.1	10.9	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.8	4.1	Mt
1mm	1.5	5.4	28.0	21.4
0.5mm	0.75	6.5	33.7	Ms
0.25mm	0.375	4.2	21.8	19.3
0.125mm	0.175	2	10.4	MWD
0.1mm	0.05	0.4	2.1	0.9
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	1.0	5.1	Mt
1mm	1.5	5.9	30.1	21.7
0.5mm	0.75	6.8	34.7	Ms
0.25mm	0.375	3.7	18.9	19.6
0.125mm	0.175	1.6	8.2	MWD
0.1mm	0.05	0.6	2.9	1.0

10匹・8~12cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
76.3	82.4	81.9	8.9	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.6	3.1	Mt
1mm	1.5	5.0	25.6	21.2
0.5mm	0.75	6.5	33.3	Ms
0.25mm	0.375	4.1	21.0	19.5
0.125mm	0.175	2.1	10.8	MWD
0.1mm	0.05	1.2	6.0	0.8
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.8	4.3	Mt
1mm	1.5	4.7	25.5	20.0
0.5mm	0.75	6.1	33.2	Ms
0.25mm	0.375	3.8	20.7	18.4
0.125mm	0.175	2.2	12.0	MWD
0.1mm	0.05	0.8	4.1	0.9

深さ毎の耐水性団粒および MWD (28 日目・0 匹)

0匹・0~4cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
77.1	84.4	83	23.7	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.2	1.5	Mt
1mm	1.5	2.1	12.6	20.2
0.5mm	0.75	4.4	26.9	Ms
0.25mm	0.375	4.9	30.1	16.3
0.125mm	0.175	4.0	24.4	MWD
0.1mm	0.05	0.8	4.8	0.6
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.3	2.4	Mt
1mm	1.5	2.3	12.8	21.9
0.5mm	0.75	4.0	22.4	Ms
0.25mm	0.375	5.5	31.0	17.7
0.125mm	0.175	4.5	25.1	MWD
0.1mm	0.05	1.1	6.3	0.6
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.3	1.5	Mt
1mm	1.5	2.3	13.2	21.4
0.5mm	0.75	3.9	22.3	Ms
0.25mm	0.375	5.2	30.2	17.3
0.125mm	0.175	4.5	25.9	MWD
0.1mm	0.05	1.1	6.6	0.6

0匹・4~8cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
76.4	86.2	83.2	44.1	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.2	15.0	Mt
1mm	1.5	2.3	12.8	22.5
0.5mm	0.75	2.0	21.9	Ms
0.25mm	0.375	3.4	28.0	15.6
0.125mm	0.175	4.4	21.2	MWD
0.1mm	0.05	3.3	0.0	0.9
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.1	0.8	Mt
1mm	1.5	1.8	11.1	23.8
0.5mm	0.75	2.1	12.7	Ms
0.25mm	0.375	4.1	24.8	16.5
0.125mm	0.175	4.4	26.5	MWD
0.1mm	0.05	4.0	24.1	0.4
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.2	1.0	Mt
1mm	1.5	2.1	13.3	23.2
0.5mm	0.75	2.0	12.5	Ms
0.25mm	0.375	3.7	22.8	16.1
0.125mm	0.175	4.4	27.5	MWD
0.1mm	0.05	3.7	23.1	0.5

0匹・8~12cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
41.4	50.1	48.6	20.8	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.3	1.6	Mt
1mm	1.5	4.0	21.3	22.7
0.5mm	0.75	5.8	30.9	Ms
0.25mm	0.375	4.8	25.5	18.8
0.125mm	0.175	3.0	16.0	MWD
0.1mm	0.05	0.9	4.7	0.7
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.5	2.9	Mt
1mm	1.5	5.8	33.1	21.2
0.5mm	0.75	5.5	31.4	Ms
0.25mm	0.375	3.4	19.4	17.5
0.125mm	0.175	2.0	11.4	MWD
0.1mm	0.05	0.3	2.0	0.9
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.4	2.2	Mt
1mm	1.5	5.0	26.9	22.2
0.5mm	0.75	5.8	31.4	Ms
0.25mm	0.375	4.2	22.7	18.4
0.125mm	0.175	2.5	13.7	MWD
0.1mm	0.05	0.5	3.0	0.8

0匹・0~4cm				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.3	1.7	Mt
1mm	1.5	3.0	17.3	21.6
0.5mm	0.75	4.3	24.4	Ms
0.25mm	0.375	5.0	28.8	17.5
0.125mm	0.175	4.2	24.1	MWD
0.1mm	0.05	0.6	3.5	0.6

0匹・4~8cm				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.1	0.3	Mt
1mm	1.5	1.8	10.3	21.7
0.5mm	0.75	2.8	16.0	Ms
0.25mm	0.375	5.5	31.4	17.5
0.125mm	0.175	5.3	30.2	MWD
0.1mm	0.05	2.1	11.9	0.5

0匹・8~12cm				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	▲
2mm	3	0.1	0.7	Mt
1mm	1.5	2.3	14.4	22.8
0.5mm	0.75	1.9	11.9	Ms
0.25mm	0.375	3.6	22.9	15.8
0.125mm	0.175	4.5	28.4	MWD
0.1mm	0.05	3.5	21.9	0.5

深さ毎の耐水性団粒および MWD (28 日目・3 匹)

3匹・0~4cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
39.6	45.6	45.2	7.1	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.3	1.4	Mt
1mm	1.5	6.4	30.8	22.3
0.5mm	0.75	7.2	34.6	Ms
0.25mm	0.375	4.4	21.2	20.8
0.125mm	0.175	1.8	8.7	MWD
0.1mm	0.05	0.7	3.4	0.9
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.7	3.4	Mt
1mm	1.5	5.0	24.6	21.7
0.5mm	0.75	6.5	32.0	Ms
0.25mm	0.375	4.4	21.7	20.3
0.125mm	0.175	3.0	14.8	MWD
0.1mm	0.05	0.7	3.2	0.8
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.5	2.4	Mt
1mm	1.5	5.7	27.8	22.0
0.5mm	0.75	6.9	33.4	Ms
0.25mm	0.375	4.4	21.5	20.5
0.125mm	0.175	2.4	11.7	MWD
0.1mm	0.05	0.7	3.3	0.8

3匹・4~8cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
41.0	43.2	43.0	10.0	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.7	3.6	Mt
1mm	1.5	5.4	27.6	21.6
0.5mm	0.75	6.4	32.7	Ms
0.25mm	0.375	4.5	23.0	19.6
0.125mm	0.175	2.2	11.2	MWD
0.1mm	0.05	0.4	2.2	0.9
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	1.3	6.1	Mt
1mm	1.5	7.4	34.7	23.4
0.5mm	0.75	6.5	30.5	Ms
0.25mm	0.375	3.7	17.4	21.3
0.125mm	0.175	1.4	6.6	MWD
0.1mm	0.05	1.0	4.6	1.0
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	1.1	5.1	Mt
1mm	1.5	6.1	28.8	23.2
0.5mm	0.75	6.4	30.2	Ms
0.25mm	0.375	4.4	20.7	21.1
0.125mm	0.175	2.1	10.0	MWD
0.1mm	0.05	1.1	5.1	0.9

3匹・8~12cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
76.7	82.9	82	17.0	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	3.4	18.2	Mt
1mm	1.5	6.6	35.3	21.9
0.5mm	0.75	4.2	22.5	Ms
0.25mm	0.375	2.9	15.5	18.7
0.125mm	0.175	1.2	6.4	MWD
0.1mm	0.05	0.4	2.3	1.3
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	4.0	21.5	Mt
1mm	1.5	5.1	27.4	21.7
0.5mm	0.75	4.1	22.0	Ms
0.25mm	0.375	4.1	22.0	18.6
0.125mm	0.175	1.0	5.4	MWD
0.1mm	0.05	0.2	1.3	1.3
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	3.5	17.9	Mt
1mm	1.5	6.6	33.9	22.5
0.5mm	0.75	4.1	21.4	Ms
0.25mm	0.375	3.2	16.3	19.3
0.125mm	0.175	1.2	6.0	MWD
0.1mm	0.05	0.8	4.3	1.3

メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	1.6	7.4	Mt
1mm	1.5	6.1	28.4	23.7
0.5mm	0.75	5.4	25.1	Ms
0.25mm	0.375	4.2	19.5	21.5
0.125mm	0.175	2.3	10.7	MWD
0.1mm	0.05	1.9	9.0	0.9

メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.7	3.2	Mt
1mm	1.5	5.4	24.8	24.0
0.5mm	0.75	7.2	33.0	Ms
0.25mm	0.375	5.1	23.4	21.8
0.125mm	0.175	2.5	11.5	MWD
0.1mm	0.05	0.9	4.2	0.8

深さ毎の耐水性団粒および MWD (28 日目・10 匹)

10匹・0~4cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
41.2	43.2	43.0	11.1	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.7	3.5	Mt
1mm	1.5	5.2	26.9	21.4
0.5mm	0.75	6.5	33.7	Ms
0.25mm	0.375	4.2	21.8	19.3
0.125mm	0.175	2.3	12.0	MWD
0.1mm	0.05	0.4	1.9	0.9
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.7	3.5	Mt
1mm	1.5	5.2	26.9	21.4
0.5mm	0.75	5.9	30.6	Ms
0.25mm	0.375	4.5	23.4	19.3
0.125mm	0.175	2.3	12.0	MWD
0.1mm	0.05	0.6	3.4	0.8
10匹・4~8cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
41.5	46.5	46.0	11.1	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	1.6	8.8	Mt
1mm	1.5	4.9	27.1	20.1
0.5mm	0.75	6.6	36.5	Ms
0.25mm	0.375	3.4	18.8	18.1
0.125mm	0.175	1.5	8.3	MWD
0.1mm	0.05	0.1	0.5	1.0
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	0.8	4.4	Mt
1mm	1.5	5.3	29.1	20.2
0.5mm	0.75	6.5	35.7	Ms
0.25mm	0.375	3.9	21.4	18.2
0.125mm	0.175	1.4	7.7	MWD
0.1mm	0.05	0.3	1.5	0.9
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	1.3	6.8	Mt
1mm	1.5	5.6	30.7	20.3
0.5mm	0.75	6.2	34.0	Ms
0.25mm	0.375	3.5	19.0	18.3
0.125mm	0.175	1.4	7.5	MWD
0.1mm	0.05	0.3	1.7	1.0
10匹・8~12cm				
缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	
40.8	50.2	49.5	8.0	
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	4.1	18.7	Mt
1mm	1.5	4.9	22.4	23.7
0.5mm	0.75	5.3	24.2	Ms
0.25mm	0.375	4.1	18.7	21.9
0.125mm	0.175	2.1	9.6	MWD
0.1mm	0.05	1.4	6.6	1.2
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	3.6	16.3	Mt
1mm	1.5	5.8	26.2	23.9
0.5mm	0.75	6.9	31.2	Ms
0.25mm	0.375	3.8	17.2	22.1
0.125mm	0.175	2.0	9.0	MWD
0.1mm	0.05	0.0	0.1	1.2
平均				
メッシュサイズ	代表粒径	質量	割合	
2mm	3	4.3	19.7	Mt
1mm	1.5	5.3	24.5	23.5
0.5mm	0.75	5.7	26.0	Ms
0.25mm	0.375	3.9	18.0	21.7
0.125mm	0.175	2.1	9.6	MWD
0.1mm	0.05	0.5	2.2	1.2

深さ毎の可給態リン酸濃度（0日目）

サンプル名	ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
0~4cm	①	0.0789	7.227	6.907	7.374	7.365	0.455	0.107
		0.0773	7.081					
		0.0700	6.412					
	②	0.0785	7.191	7.172				
		0.0764	6.998					
		0.0800	7.328					
	③	0.0906	8.299	7.905				
		0.0876	8.024					
		0.0807	7.392					
	④	0.0845	7.740	7.823				
		0.0866	7.933					
		0.0851	7.795					
	⑤	0.0777	7.117	7.065				
		0.0726	6.650					
		0.0811	7.429					
全体	0.0809	7.410	7.316	/				
	0.0799	7.319						
	0.0788	7.218						
サンプル名	ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
4~8cm	①	0.0842	7.713	7.697	7.453	7.474	0.226	0.053
		0.0839	7.685					
		0.0840	7.694					
	②	0.0822	7.530	7.545				
		0.0830	7.603					
		0.0819	7.502					
	③	0.0797	7.301	7.243				
		0.0789	7.227					
		0.0786	7.200					
	④	0.0836	7.658	7.627				
		0.0835	7.649					
		0.0827	7.575					
	⑤	0.0784	7.181	7.154				
		0.0765	7.007					
		0.0794	7.273					
全体	0.0813	7.447	7.578	/				
	0.0809	7.410						
	0.0860	7.878						
サンプル名	ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
8~12cm	①	0.0779	7.136	6.916	7.188	7.195	0.439	0.103
		0.0747	6.843					
		0.0739	6.769					
	②	0.0841	7.704	7.578				
		0.0832	7.621					
		0.0809	7.410					
	③	0.0689	6.311	6.406				
		0.0699	6.403					
		0.0710	6.504					
	④	0.0836	7.658	7.655				
		0.0825	7.557					
		0.0846	7.749					
	⑤	0.0804	7.365	7.383				
		0.0798	7.310					
		0.0816	7.475					
全体	0.0793	7.264	7.233	/				
	0.0785	7.191						
	0.0791	7.246						

深さ毎の可給態リン酸濃度（7日目・0匹）

サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
0匹・0~4cm	①	0.0588	5.386	5.499	6.162	6.234	0.450	0.106	
		0.0593	5.432						
		0.0620	5.679						
	②	0.0636	5.826	5.908					
		0.0649	5.945						
		0.0650	5.954						
	③	0.0669	6.128	6.107					
		0.0672	6.156						
		0.0659	6.036						
	④	0.0723	6.623	6.525					
		0.0703	6.439						
		0.0711	6.513						
	⑤	0.0741	6.788	6.772					
		0.0754	6.907						
		0.0723	6.623						
全体	0.0716	6.559	6.592						
	0.0711	6.513							
	0.0732	6.705							
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
0匹・4~8cm	①	0.0769	7.044	7.014	6.784	6.700	0.322	0.076	
		0.0764	6.998						
		0.0764	6.998						
	②	0.0697	6.385	6.461					
		0.0698	6.394						
		0.0721	6.604						
	③	0.0725	6.641	6.705					
		0.0741	6.788						
		0.0730	6.687						
	④	0.0787	7.209	7.072					
		0.0780	7.145						
		0.0749	6.861						
	⑤	0.0713	6.531	6.668					
		0.0732	6.705						
		0.0739	6.769						
	全体	0.0688	6.302	6.281					
		0.0641	5.872						
		0.0728	6.668						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
0匹・8~12cm	①	0.0785	7.191	6.992	7.006	6.981	0.488	0.115	
		0.0718	6.577						
		0.0787	7.209						
	②	0.0800	7.328	7.261					
		0.0786	7.200						
		0.0792	7.255						
	③	0.0675	6.183	6.101					
		0.0681	6.238						
		0.0642	5.881						
	④	0.0827	7.575	7.548					
		0.0839	7.685						
		0.0806	7.383						
	⑤	0.0798	7.310	7.126					
		0.0783	7.172						
		0.0753	6.897						
	全体	0.0747	6.843	6.861					
		0.0718	6.577						
		0.0782	7.163						



深さ毎の可給態リン酸濃度（7日目・3匹）

サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
3匹・0~4cm	①	0.0788	7.218	7.331	7.628	7.455	0.633	0.149
		0.0793	7.264					
		0.0820	7.511					
	②	0.0836	7.658	7.740				
		0.0849	7.777					
		0.0850	7.786					
	③	0.0869	7.960	7.939				
		0.0872	7.988					
		0.0859	7.868					
	④	0.0923	8.455	8.357				
		0.0903	8.271					
		0.0911	8.345					
	⑤	0.0741	6.788	6.772				
		0.0754	6.907					
		0.0723	6.623					
全体	0.0716	6.559	6.592					
	0.0711	6.513						
	0.0732	6.705						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
3匹・4~8cm	①	0.0769	7.044	7.014	6.784	7.107	0.763	0.180
		0.0764	6.998					
		0.0764	6.998					
	②	0.0697	6.385	6.461				
		0.0698	6.394					
		0.0721	6.604					
	③	0.0725	6.641	6.705				
		0.0741	6.788					
		0.0730	6.687					
	④	0.0787	7.209	7.072				
		0.0780	7.145					
		0.0749	6.861					
	⑤	0.0713	6.531	6.668				
		0.0732	6.705					
		0.0739	6.769					
全体	0.0988	9.050	8.723					
	0.0941	8.620						
	0.0928	8.500						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
3匹・8~12cm	①	0.0785	7.191	6.992	7.861	7.694	0.714	0.168
		0.0718	6.577					
		0.0787	7.209					
	②	0.0800	7.328	7.871				
		0.0886	8.116					
		0.0892	8.171					
	③	0.0975	8.931	8.849				
		0.0981	8.986					
		0.0942	8.629					
	④	0.0827	7.575	7.548				
		0.0839	7.685					
		0.0806	7.383					
	⑤	0.0898	8.226	8.042				
		0.0883	8.088					
		0.0853	7.813					
全体	0.0747	6.843	6.861					
	0.0718	6.577						
	0.0782	7.163						

深さ毎の可給態リン酸濃度（7日目・10匹）

サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
10匹・0~4cm	①	0.0744	6.815	6.687	7.627	7.592	0.730	0.172
		0.0719	6.586					
		0.0727	6.659					
	②	0.0836	7.658	7.569				
		0.0792	7.255					
		0.0851	7.795					
	③	0.0971	8.894	8.965				
		0.0998	9.142					
		0.0967	8.858					
	④	0.0844	7.731	7.865				
		0.0861	7.887					
		0.0871	7.978					
	⑤	0.0770	7.053	7.047				
		0.0770	7.053					
		0.0768	7.035					
全体	0.0808	7.401	7.417					
	0.0803	7.355						
	0.0818	7.493						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
10匹・4~8cm	①	0.0718	6.577	6.455	7.955	7.817	0.860	0.203
		0.0689	6.311					
		0.0707	6.476					
	②	0.0846	7.749	7.728				
		0.0841	7.704					
		0.0844	7.731					
	③	0.1001	9.169	9.126				
		0.0993	9.096					
		0.0995	9.114					
	④	0.0901	8.253	8.339				
		0.0915	8.381					
		0.0915	8.381					
	⑤	0.0883	8.088	8.125				
		0.0887	8.125					
		0.0891	8.162					
全体	0.0785	7.191	7.130					
	0.0775	7.099						
	0.0775	7.099						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
10匹・8~12cm	①	0.1117	10.232	9.539	7.945	7.829	0.941	0.222
		0.0992	9.087					
		0.1015	9.297					
	②	0.0893	8.180	8.119				
		0.0877	8.033					
		0.0889	8.143					
	③	0.0879	8.052	7.829				
		0.0857	7.850					
		0.0828	7.584					
	④	0.0726	6.650	6.549				
		0.0716	6.559					
		0.0703	6.439					
	⑤	0.0857	7.850	7.691				
		0.0828	7.584					
		0.0834	7.639					
全体	0.0785	7.191	7.246					
	0.0791	7.246						
	0.0797	7.301						

深さ毎の可給態リン酸濃度（14日目・0匹）

サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・0~4cm	①	0.0806	7.383	7.459	7.462	7.693	0.763	0.180
		0.0891	8.162					
		0.0746	6.833					
	②	0.0795	7.282	7.322				
		0.0803	7.355					
		0.0800	7.328					
	③	0.0836	7.658	7.484				
		0.0842	7.713					
		0.0773	7.081					
	④	0.0904	8.281	8.345				
		0.0910	8.336					
		0.0919	8.418					
	⑤	0.0748	6.852	6.699				
		0.0753	6.897					
0.0693		6.348						
全体	0.0996	9.123	8.849	/				
	0.0973	8.913						
	0.0929	8.510						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・4~8cm	①	0.0951	8.711	8.125	8.331	8.604	0.825	0.194
		0.0896	8.207					
		0.0814	7.456					
	②	0.0906	8.299	7.905				
		0.0892	8.171					
		0.0791	7.246					
	③	0.0874	8.006	7.966				
		0.0876	8.024					
		0.0859	7.868					
	④	0.0944	8.647	8.858				
		0.0956	8.757					
		0.1001	9.169					
	⑤	0.0901	8.253	8.800				
		0.0993	9.096					
0.0988		9.050						
全体	0.1120	10.259	9.969	/				
	0.1005	9.206						
	0.1140	10.442						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・8~12cm	①	0.0913	8.363	8.424	7.837	7.768	0.428	0.101
		0.0925	8.473					
		0.0921	8.436					
	②	0.0837	7.667	7.600				
		0.0822	7.530					
		0.0830	7.603					
	③	0.0869	7.960	8.128				
		0.0917	8.400					
		0.0876	8.024					
	④	0.0796	7.291	7.194				
		0.0781	7.154					
		0.0779	7.136					
	⑤	0.0844	7.731	7.838				
		0.0869	7.960					
0.0854		7.823						
全体	0.0812	7.438	7.423	/				
	0.0805	7.374						
	0.0814	7.456						

深さ毎の可給態リン酸濃度（14日目・3匹）

サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・0~4cm	①	0.0787	7.209	7.142	7.839	7.600	0.940	0.222	
		0.0777	7.117						
		0.0775	7.099						
	②	0.1032	9.453	9.456					
		0.1011	9.261						
		0.1054	9.655						
	③	0.0806	7.383	7.444					
		0.0820	7.511						
		0.0812	7.438						
	④	0.0838	7.676	7.801					
		0.0866	7.933						
		0.0851	7.795						
	⑤	0.0789	7.227	7.352					
		0.0787	7.209						
		0.0832	7.621						
全体	0.0685	6.275	6.406						
	0.0697	6.385							
	0.0716	6.559							
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・4~8cm	①	0.0965	8.839	9.838	9.288	9.174	0.754	0.178	
		0.1194	10.937						
		0.1063	9.737						
	②	0.0934	8.555	8.528					
		0.0894	8.189						
		0.0965	8.839						
	③	0.1089	9.975	8.934					
		0.0905	8.290						
		0.0932	8.537						
	④	0.1087	9.957	9.939					
		0.1079	9.884						
		0.1089	9.975						
	⑤	0.0990	9.068	9.203					
		0.0997	9.133						
		0.1027	9.407						
	全体	0.1007	9.224	8.601					
		0.0901	8.253						
		0.0909	8.326						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・8~12cm	①	0.0851	7.795	7.820	9.826	10.071	1.397	0.329	
		0.0849	7.777						
		0.0861	7.887						
	②	0.0997	9.133	9.621					
		0.1129	10.342						
		0.1025	9.389						
	③	0.1132	10.369	10.250					
		0.1132	10.369						
		0.1093	10.012						
	④	0.1374	12.586	11.819					
		0.1369	12.540						
		0.1128	10.332						
	⑤	0.1067	9.774	9.618					
		0.1096	10.039						
		0.0987	9.041						
	全体	0.1233	11.294	11.297					
		0.1202	11.010						
		0.1265	11.587						

深さ毎の可給態リン酸濃度（14日目・10匹）

サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・0~4cm	①	0.0785	7.191	7.093	7.206	7.280	0.881	0.208
		0.0744	6.815					
		0.0794	7.273					
	②	0.0871	7.978	7.856				
		0.0849	7.777					
		0.0853	7.813					
	③	0.0711	6.513	6.427				
		0.0697	6.385					
		0.0697	6.385					
	④	0.0668	6.119	6.039				
		0.0638	5.844					
		0.0672	6.156					
	⑤	0.0925	8.473	8.617				
		0.0935	8.565					
		0.0962	8.812					
全体	0.0822	7.530	7.646					
	0.0835	7.649						
	0.0847	7.759						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・4~8cm	①	0.0923	8.455	8.323	8.044	8.579	2.496	0.588
		0.0888	8.134					
		0.0915	8.381					
	②	0.0660	6.046	6.204				
		0.0755	6.916					
		0.0617	5.652					
	③	0.1325	12.137	12.311				
		0.1341	12.284					
		0.1366	12.513					
	④	0.0592	5.423	5.478				
		0.0599	5.487					
		0.0603	5.523					
	⑤	0.0816	7.475	7.902				
		0.0896	8.207					
		0.0876	8.024					
全体	0.1210	11.084	11.258					
	0.1208	11.065						
	0.1269	11.624						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・8~12cm	①	0.0941	8.620	8.720	11.032	11.257	1.712	0.403
		0.0939	8.601					
		0.0976	8.940					
	②	0.1077	9.865	10.030				
		0.1105	10.122					
		0.1103	10.103					
	③	0.1475	13.511	13.764				
		0.1509	13.822					
		0.1524	13.960					
	④	0.1140	10.442	10.381				
		0.1146	10.497					
		0.1114	10.204					
	⑤	0.1333	12.210	12.265				
		0.1302	11.926					
		0.1382	12.659					
全体	0.1398	12.806	12.378					
	0.1302	11.926						
	0.1354	12.403						

深さ毎の可給態リン酸濃度（28日目・0匹）

サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・0~4cm	①	0.096	8.812	8.873	8.184	8.003	0.600	0.141
		0.098	8.958					
		0.097	8.849					
	②	0.091	8.308	8.141				
		0.089	8.189					
		0.087	7.926					
	③	0.082	7.548	7.780				
		0.091	8.299					
		0.082	7.493					
	④	0.090	8.226	8.165				
		0.096	8.775					
		0.082	7.493					
	⑤	0.085	7.804	7.963				
		0.087	7.923					
		0.089	8.162					
全体	0.080	7.291	7.096	/				
	0.076	6.971						
	0.077	7.026						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・4~8cm	①	0.103	9.471	9.667	9.652	9.689	0.228	0.054
		0.107	9.792					
		0.106	9.737					
	②	0.107	9.810	9.792				
		0.107	9.774					
		0.107	9.792					
	③	0.104	9.508	9.468				
		0.103	9.407					
		0.104	9.490					
	④	0.102	9.307	9.676				
		0.107	9.755					
		0.109	9.966					
	⑤	0.102	9.371	9.655				
		0.108	9.865					
		0.106	9.728					
全体	0.110	10.113	9.878	/				
	0.104	9.499						
	0.109	10.021						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・8~12cm	①	0.098	9.004	8.934	9.098	9.011	0.434	0.102
		0.091	8.363					
		0.103	9.435					
	②	0.099	9.032	9.059				
		0.100	9.114					
		0.099	9.032					
	③	0.101	9.224	9.020				
		0.101	9.206					
		0.094	8.629					
	④	0.092	8.427	8.815				
		0.097	8.867					
		0.100	9.151					
	⑤	0.106	9.700	9.661				
		0.106	9.737					
		0.104	9.545					
全体	0.096	8.812	8.580	/				
	0.096	8.812						
	0.089	8.116						

深さ毎の可給態リン酸濃度（28日目・3匹）

サンプル名	ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・0~4cm	①	0.094	8.620	8.610	9.863	9.455	1.797	0.424
		0.096	8.794					
		0.092	8.418					
	②	0.119	10.891	10.940				
		0.119	10.919					
		0.120	11.010					
	③	0.141	12.943	12.607				
		0.134	12.265					
		0.138	12.613					
	④	0.098	8.977	9.105				
		0.099	9.096					
		0.101	9.242					
	⑤	0.088	8.061	8.052				
		0.090	8.244					
		0.086	7.850					
全体	0.078	7.154	7.417	/				
	0.078	7.172						
	0.087	7.923						
サンプル名	ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・4~8cm	①	0.129	11.798	11.899	12.757	15.109	5.455	1.286
		0.131	12.027					
		0.130	11.871					
	②	0.176	16.158	14.430				
		0.144	13.172					
		0.152	13.960					
	③	0.114	10.442	10.473				
		0.114	10.461					
		0.115	10.516					
	④	0.145	13.255	13.807				
		0.145	13.273					
		0.163	14.894					
	⑤	0.145	13.245	13.175				
		0.136	12.476					
		0.151	13.804					
全体	0.293	26.811	26.872	/				
	0.294	26.921						
	0.294	26.885						
サンプル名	ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・8~12cm	①	0.144	13.227	13.328	14.475	14.556	1.468	0.346
		0.143	13.117					
		0.149	13.639					
	②	0.168	15.409	15.994				
		0.172	15.774					
		0.183	16.799					
	③	0.144	13.209	12.696				
		0.135	12.320					
		0.137	12.558					
	④	0.183	16.790	16.628				
		0.177	16.250					
		0.184	16.845					
	⑤	0.146	13.401	13.731				
		0.148	13.548					
		0.156	14.244					
全体	0.163	14.912	14.958	/				
	0.165	15.068						
	0.163	14.894						

深さ毎の可給態リン酸濃度（28日目・10匹）

サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・0~4cm	①	0.074	6.778	6.919	9.307	9.569	1.720	0.405
		0.077	7.081					
		0.075	6.897					
	②	0.085	7.795	7.786				
		0.087	7.923					
		0.083	7.639					
	③	0.126	11.551	11.764				
		0.130	11.881					
		0.130	11.862					
	④	0.110	10.103	10.433				
		0.112	10.287					
		0.119	10.910					
	⑤	0.102	9.371	9.630				
		0.104	9.526					
		0.109	9.994					
全体	0.119	10.910	10.879	/				
	0.117	10.726						
	0.120	11.001						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・4~8cm	①	0.114	10.461	10.613	13.110	13.371	2.057	0.485
		0.117	10.690					
		0.117	10.690					
	②	0.182	16.680	16.760				
		0.184	16.818					
		0.183	16.781					
	③	0.138	12.677	12.455				
		0.133	12.192					
		0.136	12.494					
	④	0.126	11.569	11.652				
		0.121	11.120					
		0.134	12.265					
	⑤	0.152	13.942	14.073				
		0.152	13.942					
		0.157	14.335					
全体	0.161	14.711	14.674	/				
	0.160	14.656						
	0.160	14.656						
サンプル名		ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・8~12cm	①	0.178	16.323	16.952	18.377	18.142	3.005	0.708
		0.195	17.871					
		0.182	16.662					
	②	0.227	20.784	22.128				
		0.203	18.558					
		0.295	27.040					
	③	0.173	15.856	16.378				
		0.177	16.250					
		0.186	17.028					
	④	0.179	16.424	16.439				
		0.187	17.111					
		0.172	15.783					
	⑤	0.253	23.147	19.990				
		0.165	15.141					
		0.237	21.682					
全体	0.180	16.515	16.964	/				
	0.187	17.166						
	0.188	17.212						



深さ毎の硝酸態窒素濃度（0日目）

サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0~4cm	①	43.226	4.971	5.595	5.024	5.130	0.605	0.143
		44.971	5.172					
		57.767	6.643					
	②	38.922	4.476	4.717				
		44.157	5.078					
		39.969	4.596					
	③	40.900	4.704	4.663				
		41.365	4.757					
		39.388	4.530					
	④	45.088	5.185	4.619				
		37.526	4.315					
		37.875	4.356					
	⑤	49.741	5.720	5.524				
		46.832	5.386					
		47.538	5.467					
全体	52.067	5.988	5.662					
	49.508	5.693						
	46.135	5.306						
サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N mg/100 g	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
4~8cm	①	29.384	3.379	3.236	3.420	3.281	0.732	0.173
		29.384	3.379					
		25.661	2.951					
	②	21.357	2.456	2.697				
		25.778	2.964					
		23.218	2.670					
	③	42.296	4.864	4.730				
		40.086	4.610					
		41.016	4.717					
	④	30.547	3.513	3.419				
		27.639	3.178					
		31.012	3.566					
	⑤	26.359	3.031	3.018				
		24.149	2.777					
		28.220	3.245					
全体	24.963	2.871	2.585					
	21.590	2.483						
	20.892	2.403						
サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N mg/100 g	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
8~12cm	①	14.494	1.667	1.805	1.587	1.485	0.428	0.101
		17.170	1.975					
		15.425	1.774					
	②	17.635	2.028	1.930				
		17.170	1.975					
		15.541	1.787					
	③	13.331	1.533	1.502				
		17.053	1.961					
		8.794	1.011					
	④	8.296	0.954	1.019				
		8.794	1.011					
		9.492	1.092					
	⑤	14.378	1.653	1.680				
		11.702	1.346					
		17.751	2.041					
全体	8.213	0.944	0.971					
	7.282	0.837						
	9.841	1.132						

深さ毎の硝酸態窒素濃度（7日目・0匹）

サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
0匹・0~4cm	①	49.533	5.696	5.901	5.456	5.561	0.843	0.199
		49.417	5.683					
		54.987	6.324					
	②	40.693	4.680	4.875				
		42.660	4.906					
		43.827	5.040					
	③	41.506	4.773	4.763				
		42.666	4.907					
		40.093	4.611					
	④	63.711	7.327	6.926				
		60.229	6.926					
		56.748	6.526					
	⑤	40.375	4.643	4.816				
		45.199	5.198					
		40.073	4.608					
全体	50.239	5.777	6.081	/				
	53.614	6.166						
	54.775	6.299						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
0匹・4~8cm	①	35.279	4.057	3.488	4.063	4.087	0.590	0.139
		28.200	3.243					
		27.503	3.163					
	②	30.057	3.457	3.391				
		28.780	3.310					
		29.620	3.406					
	③	35.627	4.097	3.932				
		33.420	3.843					
		33.538	3.857					
	④	42.242	4.858	4.885				
		42.590	4.898					
		42.590	4.898					
	⑤	40.965	4.711	4.621				
		40.117	4.613					
		39.456	4.537					
全体	34.698	3.990	4.208	/				
	40.501	4.658						
	34.582	3.977						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
0匹・8~12cm	①	19.844	2.282	2.474	2.507	2.458	0.608	0.143
		23.447	2.696					
		21.237	2.442					
	②	24.602	2.829	2.696				
		25.660	2.951					
		20.076	2.309					
	③	35.975	4.137	3.488				
		26.575	3.056					
		28.432	3.270					
	④	19.728	2.269	2.042				
		19.380	2.229					
		14.158	1.628					
	⑤	15.434	1.775	1.837				
		15.434	1.775					
		17.059	1.962					
全体	22.281	2.562	2.211	/				
	18.336	2.109						
	17.059	1.962						

深さ毎の硝酸態窒素濃度（7日目・3匹）

サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・0~4cm	①	50.789	5.841	6.125	5.843	5.859	0.474	0.112
		55.640	6.399					
		53.343	6.134					
	②	42.432	4.880	5.102				
		48.585	5.587					
		42.086	4.840					
	③	50.809	5.843	5.977				
		53.594	6.163					
		51.506	5.923					
	④	59.745	6.871	6.132				
		53.246	6.123					
		46.980	5.403					
	⑤	51.970	5.977	5.878				
		50.441	5.801					
		50.925	5.856					
全体	48.913	5.625	5.940	/				
	52.076	5.989						
	53.960	6.205						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・4~8cm	①	83.091	9.555	8.171	5.659	5.457	1.486	0.350
		66.148	7.607					
		63.915	7.350					
	②	43.054	4.951	4.613				
		40.269	4.631					
		37.019	4.257					
	③	43.750	5.031	4.190				
		34.234	3.937					
		31.333	3.603					
	④	45.259	5.205	5.392				
		51.525	5.925					
		43.866	5.045					
	⑤	61.738	7.100	5.930				
		46.187	5.312					
		46.767	5.378					
全体	36.787	4.231	4.449	/				
	37.600	4.324						
	41.661	4.791						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・8~12cm	①	19.728	2.269	2.651	3.035	3.223	0.748	0.176
		21.585	2.482					
		27.852	3.203					
	②	21.237	2.442	2.923				
		29.012	3.336					
		25.995	2.989					
	③	25.182	2.896	2.780				
		24.022	2.763					
		23.326	2.682					
	④	24.718	2.843	3.075				
		25.782	2.965					
		29.708	3.416					
	⑤	30.869	3.550	3.746				
		32.726	3.763					
		34.118	3.924					
全体	31.217	3.590	4.164	/				
	27.968	3.216						
	49.437	5.685						

深さ毎の硝酸態窒素濃度（7日目・10匹）

サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
10匹・0~4cm	①	56.748	6.526	6.375	5.976	5.767	0.790	0.186
		57.792	6.646					
		51.758	5.952					
	②	45.839	5.271	5.440				
		49.663	5.711					
		46.419	5.338					
	③	47.785	5.495	5.658				
		47.000	5.405					
		52.802	6.072					
	④	43.982	5.058	5.832				
		45.607	5.245					
		62.550	7.193					
	⑤	52.570	6.046	6.575				
		56.051	6.446					
		62.898	7.233					
全体	38.992	4.484	4.724	/				
	38.992	4.484						
	45.259	5.205						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
10匹・4~8cm	①	45.607	5.245	4.896	4.557	4.574	0.690	0.163
		38.296	4.404					
		43.806	5.038					
	②	42.009	4.831	5.129				
		49.321	5.672					
		42.474	4.885					
	③	35.390	4.070	4.310				
		30.173	3.470					
		46.884	5.392					
	④	38.290	4.403	4.880				
		43.286	4.978					
		45.723	5.258					
	⑤	28.432	3.270	3.572				
		27.852	3.203					
		36.902	4.244					
全体	39.921	4.591	4.658	/				
	40.733	4.684						
	40.849	4.698						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
10匹・8~12cm	①	25.763	2.963	2.847	3.175	3.101	0.600	0.141
		24.254	2.789					
		24.254	2.789					
	②	33.886	3.897	3.550				
		25.066	2.883					
		33.654	3.870					
	③	23.674	2.723	3.270				
		32.726	3.763					
		28.896	3.323					
	④	23.094	2.656	2.424				
		17.755	2.042					
		22.397	2.576					
	⑤	29.708	3.416	3.785				
		32.370	3.723					
		36.671	4.217					
全体	23.674	2.723	2.729	/				
	18.916	2.175						
	28.614	3.291						

深さ毎の硝酸態窒素濃度（14日目・0匹）

サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・0~4cm	①	39.504	4.543	5.613	5.470	5.427	0.778	0.183
		54.626	6.282					
		52.300	6.014					
	②	59.279	6.817	6.550				
		54.626	6.282					
		56.953	6.550					
	③	52.300	6.014	5.479				
		38.341	4.409					
		52.300	6.014					
	④	40.667	4.677	5.078				
		48.810	5.613					
		42.994	4.944					
	⑤	38.341	4.409	4.632				
		40.667	4.677					
		41.830	4.811					
全体	40.667	4.677	5.212	/				
	47.647	5.479						
	47.647	5.479						
サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・4~8cm	①	37.294	4.289	4.333	4.050	4.186	0.557	0.131
		36.712	4.222					
		39.039	4.489					
	②	35.084	4.035	4.021				
		34.735	3.994					
		35.084	4.035					
	③	29.035	3.339	3.339				
		29.384	3.379					
		28.686	3.299					
	④	42.063	4.837	4.756				
		39.830	4.580					
		42.180	4.851					
	⑤	34.037	3.914	3.798				
		35.898	4.128					
		29.151	3.352					
全体	43.343	4.984	4.868	/				
	42.993	4.944						
	40.667	4.677						
サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・8~12cm	①	29.035	3.339	3.517	3.901	3.867	0.707	0.167
		29.035	3.339					
		33.688	3.874					
	②	40.667	4.677	4.855				
		44.157	5.078					
		41.830	4.811					
	③	29.035	3.339	3.963				
		36.014	4.142					
		38.341	4.409					
	④	22.055	2.536	2.893				
		25.545	2.938					
		27.871	3.205					
	⑤	39.504	4.543	4.275				
		31.361	3.607					
		40.667	4.677					
全体	27.871	3.205	3.696	/				
	32.524	3.740						
	36.014	4.142						

深さ毎の硝酸態窒素濃度（14日目・3匹）

サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差		
3匹・0~4cm	①	65.561	7.540	8.102	8.360	8.357	0.446	0.105	
		69.791	8.026						
		75.998	8.740						
	②	75.797	8.717	8.904					
		80.567	9.265						
		75.914	8.730						
	③	72.797	8.372	8.259					
		66.025	7.593						
		76.635	8.813						
	④	71.144	8.182	8.329					
		72.772	8.369						
		73.354	8.436						
	⑤	72.144	8.297	8.207					
		73.936	8.503						
		68.004	7.820						
	全体	71.494	8.222	8.342					/
		76.960	8.850						
		69.167	7.954						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差		
3匹・4~8cm	①	68.325	7.857	7.914	8.137	8.185	0.568	0.134	
		71.378	8.208						
		66.757	7.677						
	②	70.911	8.155	8.195					
		75.215	8.650						
		67.654	7.780						
	③	75.449	8.677	8.685					
		75.215	8.650						
		75.914	8.730						
	④	67.046	7.710	8.085					
		74.630	8.582						
		69.237	7.962						
	⑤	68.120	7.834	7.807					
		68.468	7.874						
		67.074	7.713						
	全体	84.871	9.760	8.422					/
		62.769	7.218						
		72.075	8.289						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差		
3匹・8~12cm	①	71.144	8.182	8.106	6.187	6.088	1.086	0.256	
		66.606	7.660						
		73.704	8.476						
	②	42.877	4.931	4.953					
		43.109	4.958						
		43.226	4.971						
	③	55.557	6.389	6.755					
		62.536	7.192						
		58.116	6.683						
	④	49.972	5.747	5.435					
		45.903	5.279						
		45.903	5.279						
	⑤	51.719	5.948	5.685					
		44.854	5.158						
		51.719	5.948						
	全体	50.439	5.800	5.595					/
		47.181	5.426						
		48.346	5.560						

深さ毎の硝酸態窒素濃度（14日目・10匹）

サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・0~4cm	①	87.546	10.068	9.818	8.401	8.358	0.923	0.218
		82.078	9.439					
		86.500	9.947					
	②	73.704	8.476	9.185				
		79.519	9.145					
		86.382	9.934					
	③	69.981	8.048	7.981				
		70.911	8.155					
		67.306	7.740					
	④	65.211	7.499	7.368				
		64.165	7.379					
		62.821	7.224					
	⑤	66.958	7.700	7.654				
		62.188	7.152					
		70.516	8.109					
全体	70.447	8.101	8.141					
	71.726	8.248						
	70.213	8.075						
サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・4~8cm	①	91.618	10.536	10.384	10.353	10.156	0.875	0.206
		89.059	10.242					
		90.222	10.375					
	②	82.660	9.506	9.591				
		84.289	9.693					
		83.243	9.573					
	③	85.220	9.800	9.666				
		82.777	9.519					
		84.173	9.680					
	④	90.688	10.429	10.340				
		89.639	10.309					
		89.407	10.282					
	⑤	102.087	11.740	11.785				
		97.899	11.258					
		107.437	12.355					
全体	82.777	9.519	9.173					
	76.496	8.797						
	80.013	9.202						
サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・8~12cm	①	105.576	12.141	12.141	8.557	8.856	2.322	0.547
		102.901	11.834					
		108.251	12.449					
	②	44.040	5.065	5.029				
		43.109	4.958					
		44.040	5.065					
	③	88.011	10.121	10.193				
		90.920	10.456					
		86.964	10.001					
	④	69.517	7.994	7.959				
		69.051	7.941					
		69.051	7.941					
	⑤	64.631	7.433	7.465				
		62.770	7.219					
		67.328	7.743					
全体	89.639	10.309	10.349					
	89.175	10.255						
	91.152	10.482						

深さ毎の硝酸態窒素濃度（28日目・0匹）

サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・0~4cm	①	44.157	5.078	5.658	5.729	5.673	0.877	0.207
		53.463	6.148					
		49.973	5.747					
	②	59.279	6.817	6.550				
		54.626	6.282					
		56.953	6.550					
	③	53.463	6.148	6.862				
		63.932	7.352					
		61.606	7.085					
	④	44.157	5.078	4.944				
		41.830	4.811					
		42.994	4.944					
	⑤	38.341	4.409	4.632				
		40.667	4.677					
		41.830	4.811					
全体	51.136	5.881	5.390	/				
	41.830	4.811						
	47.647	5.479						
サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・4~8cm	①	41.830	4.811	5.033	5.060	5.056	0.810	0.191
		46.483	5.346					
		42.994	4.944					
	②	40.667	4.677	4.677				
		40.667	4.677					
		40.667	4.677					
	③	32.524	3.740	3.785				
		30.198	3.473					
		36.014	4.142					
	④	54.626	6.282	6.416				
		56.953	6.550					
		55.789	6.416					
	⑤	45.320	5.212	5.390				
		45.320	5.212					
		49.973	5.747					
全体	43.924	5.051	5.033	/				
	42.296	4.864						
	45.088	5.185						
サンプル名		ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹・8~12cm	①	48.810	5.613	5.301	4.284	4.521	1.250	0.295
		42.994	4.944					
		46.483	5.346					
	②	42.994	4.944	4.677				
		39.504	4.543					
		39.504	4.543					
	③	49.973	5.747	5.212				
		44.157	5.078					
		41.830	4.811					
	④	15.076	1.734	2.001				
		17.402	2.001					
		19.729	2.269					
	⑤	39.504	4.543	4.231				
		36.014	4.142					
		34.851	4.008					
全体	46.483	5.346	5.702	/				
	49.973	5.747						
	52.300	6.014						



深さ毎の硝酸態窒素濃度（28日目・3匹）

サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・0~4cm	①	71.610	8.235	8.141	9.523	9.302	1.474	0.347
		69.749	8.021					
		71.027	8.168					
	②	71.610	8.235	8.275				
		71.842	8.262					
		72.424	8.329					
	③	100.226	11.526	10.853				
		88.593	10.188					
		94.293	10.844					
	④	118.488	13.626	11.120				
		84.173	9.680					
		87.430	10.054					
	⑤	86.034	9.894	9.225				
		77.658	8.931					
		76.960	8.850					
全体	72.192	8.302	8.200	/				
	70.331	8.088						
	71.377	8.208						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・4~8cm	①	104.530	12.021	11.526	10.277	10.049	1.282	0.302
		97.899	11.258					
		98.249	11.299					
	②	102.785	11.820	11.062				
		94.526	10.870					
		91.268	10.496					
	③	89.989	10.349	10.804				
		93.363	10.737					
		98.481	11.325					
	④	92.316	10.616	9.858				
		82.660	9.506					
		82.196	9.453					
	⑤	69.981	8.048	8.137				
		69.865	8.034					
		72.424	8.329					
全体	72.772	8.369	8.908	/				
	77.774	8.944						
	81.846	9.412						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差	
3匹・8~12cm	①	81.382	9.359	9.029	6.561	6.352	1.500	0.354
		78.473	9.024					
		75.681	8.703					
	②	60.211	6.924	7.021				
		60.163	6.919					
		62.770	7.219					
	③	59.512	6.844	6.955				
		58.814	6.764					
		63.118	7.259					
	④	43.460	4.998	4.976				
		45.088	5.185					
		41.249	4.744					
	⑤	41.947	4.824	4.824				
		40.784	4.690					
		43.109	4.958					
全体	46.483	5.346	5.305	/				
	47.181	5.426						
	44.738	5.145						

深さ毎の硝酸態窒素濃度（28日目・10匹）

サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・0~4cm	①	109.416	12.507	11.412	11.122	1.045	0.246
		108.601					
		108.251					
	②	101.272	11.682				
		101.272					
		102.203					
	③	108.019	11.896				
		101.156					
		101.156					
	④	96.503	11.009				
		91.850					
		98.830					
	⑤	85.802	9.965				
		86.616					
		87.546					
全体	84.521	9.671					
	83.591						
	84.173						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・4~8cm	①	99.062	11.334	12.502	12.099	1.988	0.469
		98.829					
		97.783					
	②	89.059	10.228				
		89.059					
		88.709					
	③	106.275	12.222				
		105.460					
		107.089					
	④	136.752	15.967				
		136.868					
		142.916					
	⑤	108.601	12.757				
		112.323					
		111.859					
全体	88.129	10.086					
	88.011						
	86.964						
サンプル名	ppm	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	平均	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
10匹・8~12cm	①	65.793	7.718	9.712	9.342	1.284	0.303
		69.749					
		65.793					
	②	92.549	10.380				
		90.570					
		87.663					
	③	83.010	9.778				
		83.823					
		88.245					
	④	88.245	9.916				
		85.570					
		84.871					
	⑤	94.409	10.768				
		93.943					
		92.549					
全体	64.747	7.495					
	66.375						
	64.397						

深さ毎の含水比（0日目）

サンプル名	缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
0~4cm	①	76.8	86.3	83.1	50.8	52.72	52.56	1.692	0.691
	②	42.2	52.3	48.9	50.6				
	③	41.2	52.3	48.4	54.3				
	④	77.3	88.0	84.2	55.1				
	⑤	42.0	51.5	48.2	52.8				
全体	75.6	85.9	82.4	51.8					
4~8cm	①	76.9	86.4	82.8	61.5	63.54	63.83	1.786	0.729
	②	41.5	52.0	48.0	61.4				
	③	38.7	48.4	44.6	63.9				
	④	76.8	85.9	82.3	65.7				
	⑤	42.2	52.3	48.3	65.3				
全体	41.6	52.5	48.2	65.2					
8~12cm	①	38.7	48.4	44.7	61.9	65.91	66.04	1.985	0.810
	②	77.1	88.0	83.6	67.5				
	③	76.4	87.4	83.0	66.5				
	④	39.7	49.1	45.3	67.9				
	⑤	40.7	50.8	46.8	65.8				
全体	41.1	51.9	47.6	66.7					

深さ毎の含水比（7日目）

サンプル名		缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
0匹・0~4cm	①	42.0	52.0	48.4	56.3	55.91	55.56	1.410	0.576
	②	41.5	51.5	48.0	53.8				
	③	41.9	52.0	48.3	57.8				
	④	76.4	86.4	82.8	56.3				
	⑤	76.8	86.9	83.3	55.4				
	全体	77.2	87.2	83.7	53.8				
0匹・4~8cm	①	76.2	86.3	82.6	57.8	61.36	60.51	2.564	1.047
	②	76.7	86.7	82.9	61.3				
	③	42.5	52.6	48.7	62.9				
	④	76.3	86.4	82.5	62.9				
	⑤	41.1	51.3	47.4	61.9				
	全体	77.0	87.0	83.4	56.2				
0匹・8~12cm	①	41.9	52.1	47.9	70.0	69.43	69.25	2.608	1.065
	②	40.9	51.0	47.0	65.6				
	③	39.5	49.4	45.2	73.7				
	④	41.1	51.3	47.2	67.2				
	⑤	76.7	86.6	82.5	70.7				
	全体	77.1	87.2	83.1	68.3				
サンプル名		缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
3匹・0~4cm	①	40.8	51.0	47.6	50.0	51.50	51.50	1.140	0.465
	②	76.9	86.9	83.5	51.5				
	③	76.5	86.8	83.2	53.7				
	④	39.7	49.8	46.4	50.7				
	⑤	40.2	50.2	46.8	51.5				
	全体	40.5	50.5	47.1	51.5				
3匹・4~8cm	①	76.9	87.1	83.3	59.4	58.82	58.39	1.393	0.569
	②	40.8	51.0	47.3	56.9				
	③	39.3	49.3	45.6	58.7				
	④	77.0	87.1	83.3	60.3				
	⑤	76.5	86.5	82.8	58.7				
	全体	42.7	52.7	49.1	56.3				
3匹・8~12cm	①	76.5	86.6	82.6	65.6	62.61	63.76	3.397	1.387
	②	76.3	86.3	82.5	61.3				
	③	51.0	61.1	57.3	60.3				
	④	76.4	86.5	82.5	65.6				
	⑤	76.7	86.8	83.0	60.3				
	全体	41.6	51.6	47.5	69.5				
サンプル名		缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
10匹・0~4cm	①	43.2	53.3	49.8	53.0	53.83	53.44	1.166	0.476
	②	39.0	49.1	45.5	55.4				
	③	41.9	51.9	48.4	53.8				
	④	38.7	48.8	45.3	53.0				
	⑤	40.6	50.6	47.1	53.8				
	全体	76.7	86.7	83.3	51.5				
10匹・4~8cm	①	41.1	51.0	47.4	56.5	57.26	57.16	1.326	0.541
	②	40.9	50.5	47.1	55.3				
	③	41.1	50.5	47.0	59.5				
	④	42.7	52.5	48.9	57.1				
	⑤	39.8	49.9	46.2	57.9				
	全体	42.9	53.1	49.4	56.6				
10匹・8~12cm	①	41.5	51.8	47.8	63.6	62.10	64.00	4.565	1.864
	②	43.5	55.0	50.7	59.0				
	③	42.2	52.0	48.2	62.1				
	④	41.4	51.7	47.7	64.2				
	⑤	43.4	53.1	49.4	61.6				
	全体	41.9	52.0	47.7	73.5				

深さ毎の含水比（14日目）

サンプル名	缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
0匹・0~4cm	①	75.6	90.4	85.3	52.6	53.20	53.41	1.603	0.654
	②	76.8	90.0	85.6	50.5				
	③	77.2	89.2	84.9	55.0				
	④	76.6	89.6	85.0	54.9				
	⑤	77	88.5	84.5	52.9				
	全体	76.9	88.7	84.5	54.5				
0匹・4~8cm	①	76.7	89.8	85.0	57.3	61.40	62.72	5.291	2.160
	②	77.6	90.2	85.3	62.8				
	③	76.9	88.8	84.3	61.0				
	④	77.8	88.9	84.3	69.7				
	⑤	77.4	90.8	86.0	56.2				
	全体	77.1	89.9	84.7	69.3				
0匹・8~12cm	①	77.0	89.8	84.6	68.0	67.15	67.90	2.742	1.119
	②	76.5	89.4	84.1	70.4				
	③	78.0	89.2	84.7	66.9				
	④	76.7	88.7	84.1	63.0				
	⑤	77.0	88.3	83.8	67.4				
	全体	76.8	90.6	84.8	71.6				
サンプル名	缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
3匹・0~4cm	①	41	54.9	50.2	50.9	48.48	47.05	3.702	1.511
	②	43.4	55.5	51.7	45.1				
	③	41.7	54	49.9	49.5				
	④	41.2	53.5	49.4	49.5				
	⑤	40.3	55.3	50.5	47.5				
	全体	39.4	54.1	49.9	39.9				
3匹・4~8cm	①	41.9	54.8	50.4	51.8	48.54	49.61	4.474	1.827
	②	39.8	52.9	48.6	49.7				
	③	42.6	54.8	51.3	40.7				
	④	39.4	49.8	46.2	52.0				
	⑤	43.2	54.2	50.6	48.4				
	全体	41.6	57.1	51.6	55.0				
3匹・8~12cm	①	40.8	54.7	49.8	54.4	54.25	54.89	2.848	1.163
	②	41.5	55.2	50.3	55.7				
	③	42.2	53.9	49.6	58.1				
	④	41.6	58.7	53.0	50.0				
	⑤	40.9	55.3	50.3	53.0				
	全体	40.5	54.9	49.6	58.1				
サンプル名	缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差	
10匹・0~4cm	①	41.9	52.7	49.7	38.5	45.57	45.80	3.511	1.433
	②	39.1	49.9	46.5	45.9				
	③	40.1	50.5	47.1	49.6				
	④	42.2	52.1	49.0	46.0				
	⑤	42.0	53.1	49.5	47.8				
	全体	40.6	53.5	49.4	46.9				
10匹・4~8cm	①	42.8	53.3	50.1	44.0	48.20	47.72	2.648	1.081
	②	41.3	53.6	49.7	47.1				
	③	43.4	57.1	52.5	50.5				
	④	41.8	52.5	49.0	47.8				
	⑤	40.9	52.4	48.5	51.5				
	全体	42.1	54.7	50.8	45.3				
10匹・8~12cm	①	41.9	53.8	49.9	48.8	56.39	55.95	6.094	2.488
	②	41.8	55.8	51.1	50.1				
	③	41.1	54.1	48.9	66.7				
	④	39.8	53.1	48.3	56.5				
	⑤	40.1	52.1	47.6	60.0				
	全体	43.3	61.6	55.2	53.8				

深さ毎の含水比（28日目）

サンプル名		缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
0匹・0~4cm	①	42.2	52.1	48.5	56.7	47.45	48.63	6.213	2.537
	②	76.6	86.8	83.4	50.7				
	③	76.6	86.7	83.8	39.3				
	④	76.9	87.2	84.1	42.3				
	⑤	76.6	86.7	83.4	48.2				
	全体	39.9	50.0	46.4	54.5				
0匹・4~8cm	①	76.51	86.49	82.7	61.2	54.72	55.23	5.320	2.172
	②	40.8	50.69	47.1	56.5				
	③	77.77	87.51	84.5	44.1				
	④	76.08	86.5	82.8	55.3				
	⑤	38.36	48.08	44.6	56.5				
	全体	76.59	87.08	83.2	57.7				
0匹・8~12cm	①	40.46	50.66	47.2	52.2	55.57	56.45	3.747	1.530
	②	77.45	87.32	84.0	50.9				
	③	39.21	49.37	45.7	56.1				
	④	41.51	51.62	47.9	59.0				
	⑤	76.23	86.64	82.8	59.7				
	全体	76.44	86.99	83.0	60.8				
サンプル名		缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
3匹・0~4cm	①	76.5	86.7	83.2	52.4	52.47	49.36	7.212	2.944
	②	76.9	86.7	83.3	53.1				
	③	76.6	86.6	83.0	55.8				
	④	77.1	87.5	84.0	51.5				
	⑤	42.5	52.7	49.3	49.6				
	全体	77.6	87.5	85.0	33.8				
3匹・4~8cm	①	43.4	53.4	50.1	49.5	53.19	52.72	3.041	1.241
	②	41.9	51.9	48.5	51.5				
	③	42.7	52.6	48.9	58.9				
	④	41.6	51.4	48.0	53.1				
	⑤	39.4	49.5	46.0	52.9				
	全体	42.8	52.7	49.4	50.4				
3匹・8~12cm	①	42.1	52.2	48.5	56.9	56.93	57.43	4.172	1.703
	②	40.6	50.2	46.8	54.9				
	③	40.8	50.4	47.1	51.6				
	④	40.0	50.2	46.2	64.9				
	⑤	39.8	49.7	46.1	56.2				
	全体	39.1	49.2	45.4	59.9				
サンプル名		缶質量	缶+湿土	缶+乾土	含水比	平均	全平均	標準偏差	標準誤差
10匹・0~4cm	①	40.8	50.8	47.3	53.8	50.41	47.55	6.928	2.829
	②	76.5	86.6	83.5	45.6				
	③	40.9	51.0	47.6	52.6				
	④	40.8	51.1	47.6	51.1				
	⑤	40.3	50.3	47.0	48.9				
	全体	76.8	86.5	84.1	33.2				
10匹・4~8cm	①	41.6	51.7	48.3	49.3	51.02	50.03	4.574	1.867
	②	39.4	49.3	45.9	50.7				
	③	79.1	87.1	84.1	59.5				
	④	41.8	52.0	48.7	48.5				
	⑤	40.5	50.6	47.4	47.2				
	全体	42.6	52.0	49.1	45.0				
10匹・8~12cm	①	41.7	51.7	47.9	61.4	54.41	56.37	5.597	2.285
	②	43.2	53.3	49.9	50.0				
	③	39.8	49.8	46.3	53.1				
	④	43.4	53.4	49.9	52.9				
	⑤	41.5	51.6	48.0	54.7				
	全体	41.1	51.1	47.1	66.2				

第 4 章 フトミミズ科が作物成長に与える影響

最大葉長 (cm)

サンプル名	最大葉長(cm)	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹	14.5	16.0	16.4	3.1805	0.8212
	13.5				
	14.5				
	19.0				
	18.5				
	14.0	15.3			
	12.0				
	18.0				
	16.0				
	16.5	17.8			
	22.5				
	11.5				
	18.0				
	22.0				
15.0	16.2				
16.0					
17.5					
15.0					
17.0					
15.5					
19.5		20.5			
21.0					
20.2					
21.2					
-		14.5			
18.0					
17.0					
12.0					
14.0					
11.5	19.4				
20.0					
17.0					
17.0					
19.0					
24.0		20.9			
22.5					
18.0					
22.3					
-		18.9			
-					
18.5					
18.0					
18.0					
18.5					
21.5	17.1				
18.0					
17.0					
12.0					
14.0					
11.5					
20.0		19.7			
17.0					
17.0					
19.0					
24.0					
22.5					
18.0					
22.3					
-					
-					
18.5					
18.0					
18.0					
18.5					
21.5					

最大葉長 (cm)

サンプル名	最大葉長(cm)	平均	標準偏差	標準誤差
化成・0.1 g	18.5	15.4	1.6548	0.7401
	14.0			
	15.3			
	15.0			
	14.0			
化成・0.25 g	18.7	16.7	1.6833	0.7528
	16.3			
	16.3			
	18.3			
	14.0			
化成・0.5 g	20.0	20.4	3.8134	1.9067
	14.3			
	24.0			
	23.2			
	-			
化成・0.75 g	12.3	20.4	4.1205	1.8427
	22.0			
	21.0			
	23.0			
	23.5			
化成・1.0 g	18.8	21.3	2.3190	1.0371
	22.7			
	20.3			
	19.5			
	25.1			
化成・2.0 g	23.5	24.1	1.1268	0.5039
	25.2			
	22.2			
	25.0			
	24.7			



主根の長さ (cm)

サンプル名	主根の長さ(cm)	平均	全平均	全標準偏差	全標準誤差
0匹	6.0	9.2	8.2	1.9465	0.5026
	9.0				
	11.0				
	11.0				
	9.0	8.0			
	9.0				
	8.5				
	7.0				
	6.0	7.3			
	9.5				
	9.0				
	3.5				
	6.5				
	8.5				
9.0	12.3	12.4	2.9926	0.7998	
11.5					
17.0					
10.0					
14.0					
9.0					14.3
18.0					
12.5					
11.5					
15.0					10.6
-					
6.0					
11.0					
11.5					
13.0					
11.5	12.9	13.7	1.9657	0.5452	
13.5					
12.0					
14.5					
11.0					
13.5					14.7
13.0					
14.0					
17.0					
-					13.5
-					
17.0					
15.0					
10.0					
12.5					
13.0					

主根の長さ (cm)

サンプル名	主根の長さ(cm)	平均	標準偏差	標準誤差
化成・0.1 g	13.5	11.8	1.4353	0.6419
	9.5			
	12.0			
	13.0			
	11.0			
化成・0.25 g	10.0	12.0	1.6930	0.7572
	12.3			
	15.0			
	11.0			
	11.5			
化成・0.5 g	11.0	13.9	2.0535	1.0268
	13.0			
	16.0			
	15.7			
	-			
化成・0.75 g	14.0	15.1	1.0198	0.4561
	14.0			
	15.0			
	16.5			
	16.0			
化成・1.0 g	10.5	11.7	0.8718	0.3899
	13.0			
	12.0			
	11.0			
	12.0			
化成・2.0 g	11.0	11.5	0.4069	0.1820
	11.0			
	11.7			
	11.7			
	12.0			