

鮫川村における新規造成水田への 堆肥施用が土壤窒素無機化特性 および水稻の生産性に及ぼす影響

石井洋平*・大谷穂菜美**・関口幸世**・上地由朗**†

(平成 26 年 11 月 20 日受付/平成 27 年 3 月 10 日受理)

要約：本研究は福島県鮫川村にある「豊かな土づくりセンター」で作られた堆肥を利用した循環型農業を推進させるための基礎資料を得るため、新たに造成された水田 I (750m²) と水田 II (900m²) において、2011 年から 2013 年の 3 年間に水稻コシヒカリの栽培試験を行い、成熟期における地上部乾物重、体内窒素、玄米収量を調査するとともに、土壤の窒素無機化特性を評価した。栽培試験 1 年目の成熟期地上部乾物重、玄米収量からみた生産性は明らかに低く、土壤窒素無機化速度も著しく低かった。3 年目には土壤の窒素無機化量に 2~3 gN/m² の増加が見られたが、水稻の生育量や玄米収量は依然低いレベルにあった。これらのことから供試水田の土壤は易分解性有機物が大きく不足しており、堆肥連年施用の必要性が示唆された。今後は堆肥の連年施用により無機態窒素量の増加、土壤の物理性の改善を図るとともに、堆肥の施用量、施用時期、水田の管理方法を検討し、鮫川村全域の循環型農業の推進を目指す。

キーワード：循環型農業, イネ, 堆肥, 土壤の窒素無機化特性, 生産性

1. 緒 言

福島県南西部に位置する鮫川村では農業が基幹産業で、水稻を中心に畜産などとの複合型農業経営が主に行われており、家畜排泄物が豊富に存在する。家畜排泄物は河川や地下水汚染など環境問題の発生源となる側面もあるが¹⁻³⁾、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が平成 16 年に本格施行され、肥料としての有効活用が期待されている。すでに農林水産省の「特別栽培農産物に係る表示ガイドライン」に従い、村独自の「ゆききの里づくりブランド認証制度」を設けて農産物のブランド化が進んでいるが、村内に豊富に存在する家畜排泄物や落ち葉などを有効利用した堆肥を生産し、農地に還元することによって村のブランド化と一層の農業振興を目指している。村で製造した堆肥の施用効果の解明は生産者にとっては栽培方法を選択する判断材料や堆肥の適切な利用、村にとってはバイオマス・ヴィレッジ構想⁴⁾の目的である資源を有効利用した循環型社会の形成と自然環境を守ることに繋がると考えられる。

鮫川村の堆肥センターである「豊かな土づくりセンター」は平成 24 年に完成し、そこでは村内の多くの複合農家から出る家畜の排泄物と山林からの落ち葉、間伐材等を利用して堆肥が作られている。落ち葉、間伐材以外に利用する未利用のバイオマスは椎茸廃菌床、道、畦畔の刈り草が中

心である。これまでも山林からかいてきた落ち葉を家畜の敷料として使い、それを堆肥にして使うことはされてきたが⁵⁾、高齢化や農業従事者の減少により落ち葉かきという作業が困難になってきたことが集約した堆肥センターが作られた理由の一つである。「豊かな土づくりセンター」は、次世代に美しく魅力ある村を遺すことを目的としたバイオマス・ヴィレッジ構想のもと、基幹産業である農業の基本の土づくりの核となる施設として作られた。そこでは良質な堆肥が作られ、鮫川ブランド米などの生産のために耕作農家に供給されている。

一方、鮫川村では昭和 60 年代から耕作放棄田が増加し始め、この 30 年間で 200 ha 以上に及んでおり⁶⁾、村全域における農業活性化のためにもこれらの再生が強く望まれている。本研究はこのような現状にも目を向けながら、「豊かな土づくりセンター」で作られる堆肥を利用した循環型農業を推進させるための基礎資料を得るために行った。ここでは堆肥センターで製造される堆肥を利用して新規造成水田で実証実験を行い、施用による効果や周辺環境に及ぼす影響を明らかにして、近い将来にそれを実際の栽培にフィードバックさせることを目的として実施した。

2. 材料と方法

(1) 栽培概要

栽培試験は 2011 年 4 月に新たに造成された福島県東白

* 東京農業大学短期大学部生物生産技術学科, 福島県鮫川村

** 東京農業大学短期大学部生物生産技術学科

† Corresponding author (E-mail: kamiji@nodai.ac.jp)

川郡鮫川村富田地区八斗蒔の水田2枚（水田Ⅰ：750m²、水田Ⅱ：900m²）で行った。なお、両水田ともに土性は砂壤土（SL）である。供試品種はコシヒカリで、栽培試験は2011年から2013年の3年間行った。2011年は移植時に24g/m²の化成肥料（8-8-8）を全層施用し、7月29日には18g/m²の有機肥料（10-10-10）を表層施用した。また、2012年は移植時に2kg/m²の堆肥のみを全層施用した。なお、2011年および2012年は両水田ともに試験区の設定を行っていない。2013年はそれぞれの水田を畔によって2等分し、化成区と堆肥区を設けた。化成区は化成肥料（8-8-8）のみ、堆肥区は堆肥のみを用いて、窒素成分がともに4g/m²となるように全層施用した。なお、製造される堆肥の成分には若干の変動があると考えられるが、ここでは2012年4月10日に製造された堆肥を採取し、その成分などについては表1に示した。播種日および移植日は2011年が5月1日および5月29日、2012年が5月1日および5月31日、2013年が4月30日および5月29日であった。播種量は育苗箱あたり乾籾100gで、成苗を30cm×24cm（m²あたり13.9株）の栽植密度で移植した。3年間ともに生育期間を通じて薬剤散布は行わないで、雑草防除は生育初期から中期にかけては水田除草機およびチェーンを使用し、それ以降は手除草を行った。

(2) 調査内容

2011年5月28日および2013年5月25日に両水田のそれぞれ3ヶ所から土壌を採取し、根やゴミは取り除き2mmの円孔篩に全通させたものを土壌調査に供した。pHは土壌10gと純水あるいは1規定の塩化カリウム溶液25mlを大型試験管に入れ、10分間の攪拌後に上澄み液をポータブルpH計HM-31P型（東亜ディーディーケー株式会社製）で測定した。また、土壌の無機化特性を把握するため、湛水培養実験を以下の方法に従って行った。乾土10g相当量をバイアル瓶に入れて純水で密閉し、30℃に設定した恒温器で培養した。培養期間中3～7日ごと42日まで3反

復分を取り出し、ポリ容器に移し20% KCl溶液と蒸留水を加えて10% KCl溶液にして振とう機にかけた。その後遠心分離した上澄み液をサンプル液とし、インドフェノール法で定量した。

3年間を通して、成熟期にイネの採取を中庸な6株3反復について行い、地上部乾物重と体内窒素濃度を調査した。また、成熟期には24株、3反復のサンプリングを行って玄米収量を調査した。地上部乾物重は通風高温乾燥機FC-62T特型（東洋化学製）またはDRM620TA型（アドバンテック東洋製）で80℃、5日間の乾燥後に電子天びん（A&D製）で測定した。稲体窒素は地上部乾物をミルT-626型（株式会社東京ユニコム製）で粉碎後、ケルダール分解し、蒸留装置K-350型（柴田科学製）にかけてから、0.05Nまたは0.01Nの硫酸で滴定してサンプルの窒素濃度を算出した。

3. 結 果

(1) 日平均気温

2011年から2013年における移植から成熟期の日平均気温の推移は図1に示した。数値はすべて気象庁のデータベース（福島県東白川）⁷⁾から引用したものである。2012年は2011年および2013年に比して6月では低温であったが、8月では逆に高温となり、栽培期間を通じた日平均気温は21.3～21.4℃で、3カ年ともほぼ同じであった。

(2) 土壌酸度および窒素無機化速度

2011年および2013年に採取した水田土壌のpH（H₂O）は5.6～5.7、pH（KCl）は4.3で、水田による違いはなかった。また、土壌の湛水培養実験から得られた窒素無機化曲線を図2に示した。すなわち、基準温度を15℃としたときの有効積算温度（℃・日）と窒素無機化量（mgN/100乾土）の関係を示している。2011年、2013年ともに水田Ⅰ、Ⅱで大きな違いは認められなかったが、水田Ⅰの方が水田Ⅱよりも若干高く推移した。また、2011年と2013年を比較

表1 堆肥の特性および成分含有率

pH(H ₂ O)	EC(mS)	C/N	炭素(%)	窒素(%)	リン酸(%)	カリ(%)	石灰(%)	苦土(%)	銅(ppm)	亜鉛(ppm)
7.3	4.26	15.7	32.2	2.05	4.43	2.77	6.52	1.54	42	208

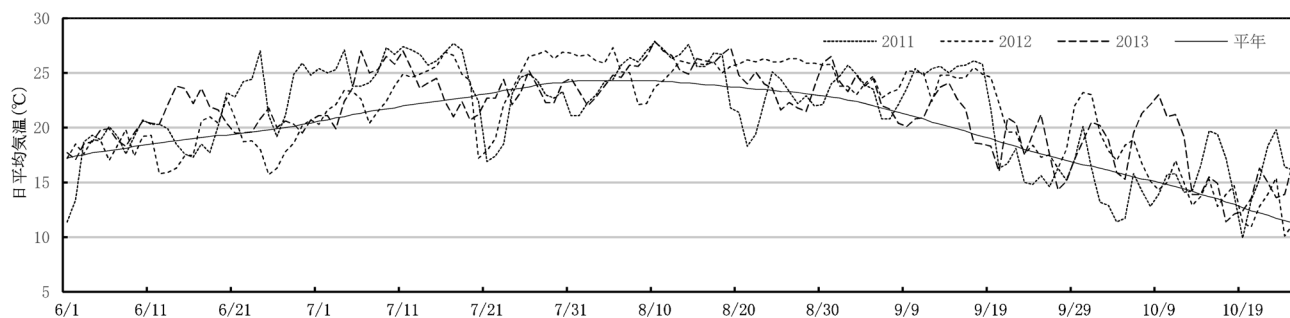


図1 2011年から2013年および平年の日平均気温

すると、2013年の方が無機化速度の値が高く、2013年は2011年の7~10倍の速度で推移した。42日間の湛水培養が終了した時点では2013年における窒素無機化量は2011年におけるそれよりも1~1.5Nmg/100g乾土多くなったが、既報の数値^{8,9)}に比べて明らかに低い値であった。

(3) 地上部乾物重、体内窒素濃度および玄米収量

成熟期の地上部乾物重、体内窒素濃度および玄米収量については、2011年および2012年は表2に、2013年は表3に示した。2011年および2012年における地上部乾物重は水田I > 水田IIであったが、2013年においては化成区、堆肥区ともに水田Iと水田IIの間には地上部乾物重の差は見られなかった。また、堆肥区の地上部乾物重は化成区のそれよりも有意に低い値であった。

2013年における成熟期の体内窒素濃度は1.1~1.5%の範囲にあって、比較的低い値であった。水田Iでは化成区 >

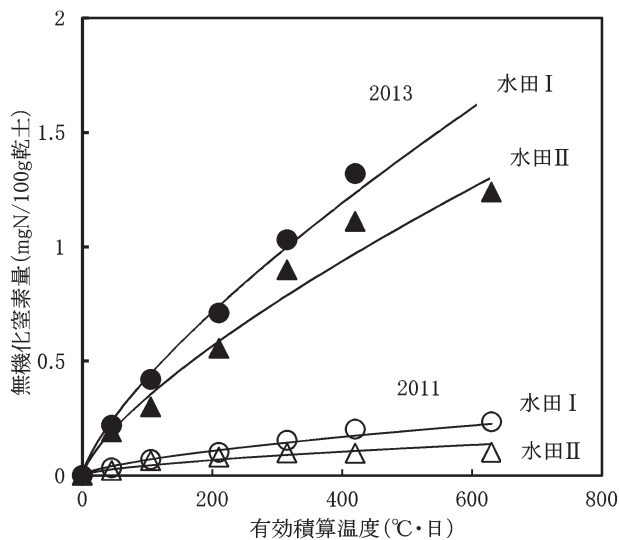


図2 水田Iおよび水田IIにおける土壌の窒素無機化曲線

堆肥区になったものの有意差はなかった。また、水田IIでは化成区、堆肥区ともにほぼ同じ値であった。

玄米収量については2011年では水田I > 水田IIの傾向にあったが、それ以降は水田Iと水田IIの差はほとんど見られなかった。2013年では水田I、水田IIを通じて化成区の玄米収量が堆肥区のそれよりもおよそ100g/m²多かった。2011年の鮫川村における平均収量は10aあたり486kgで、その値と比較すると水田I、IIともに明らかに低収であった。

4. 考 察

堆肥施用による地力再生産は土壌を基本的生産手段とする作物栽培でもっとも重要な課題である。堆肥の連用試験といえばイギリスのローザムステッド国立農業試験場で畑作物を対象として続けられてきたが^{10,11)}、日本でも近年水稲を取り扱った長期試験が行われている。堆肥の施用効果は増収に結びつく肥料的、土壌改良効果をはじめ、多岐にわたるが、とくに長期継続施用による累積効果は他の技術的要素をもって代え難いことはすでに何年も前から示されている¹²⁾。そのようななかで、40年の継続試験ではイネによる追肥窒素ならびに地力窒素の利用効率を高め、増収に結びつく一方、土壌窒素を着実に集積させ¹²⁾、施肥の有無に関わらず、イネの生育が旺盛になることが認められている¹³⁾。また、堆肥連年施用によって地上部や根が登熟期後半まで健全な生育を示すことも報告されている^{14,15)}。さらには、飼料用米でも堆肥施用によって一定の収量レベルを維持することが報告されている¹⁶⁾。一方で、堆肥連用水田では穂数の停滞が見られ、その結果低収となる場合が多いものの^{17,18)}、堆肥の連年施用によって土壌全炭素、全窒素含有率が増大して地力が高まり、10年間の連年施用では慣行栽培の90%程度の収量が確保されることが示されている¹⁹⁾。

本研究においては山土を入れて水田を新規造成したため、栽培試験を始めた2011年における試験圃場の生産性

表2 2011年および2012年における地上部乾物重、体内窒素濃度および玄米収量

	地上部乾物重 (g/m ²)		体内窒素濃度 (%)		玄米収量 (g/m ²)	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
水田 I	722	564	1.04	1.21	361	266
水田 II	616	533	0.72	0.98	306	258
	*	ns	*	*	*	ns

*, **: 水田間で1%, 5%レベルで有意差がある, ns: 水田間で有意差がない

表3 2013年における化成区および堆肥区の地上部乾物重、体内窒素濃度および玄米収量

	地上部乾物重 (g/m ²)		体内窒素濃度 (%)		玄米収量 (g/m ²)				
	化成区	堆肥区	化成区	堆肥区	化成区	堆肥区			
水田 I	998	548	**	1.49	1.14	ns	378	228	*
水田 II	943	569	**	1.19	1.13	ns	365	262	*
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

*, **: 試験区間あるいは水田間で1%, 5%レベルで有意差がある
ns: 試験区間あるいは水田間で有意差がない

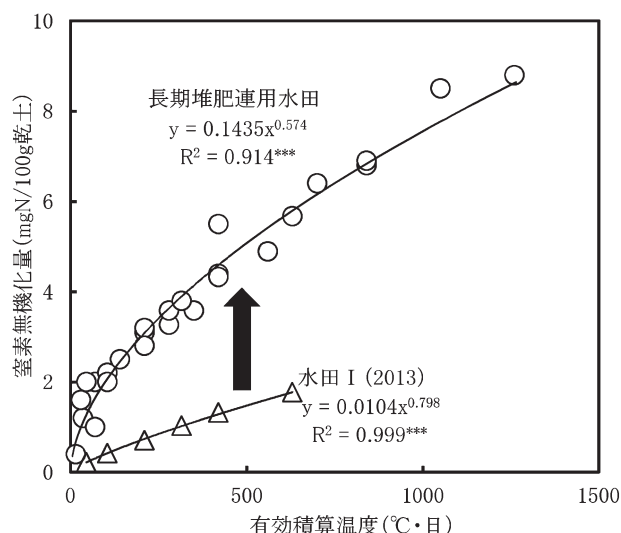


図3 試験水田と堆肥連用水田の窒素無機化曲線の比較

は著しく低かった。その生産性は徐々に向上していることは地上部乾物重の推移からうかがえるものの、依然低いレベルであった。また、土壤の湛水培養実験終了時には2011年と2013年の間で1~1.5mgN/100g乾土の窒素無機化量の差があった。30℃、42日間の湛水培養は6月から7月にかけての期間にほぼ相当しており、8月に入った時点では作土層を15cmとした場合には、圃場レベルで2~3g/m²程度の無機化窒素量の差があることになる。したがって、2年間の堆肥施用によってある程度の地力向上が認められたといえる。水田に使用した堆肥は表1に示した通り、炭素が少なめでC/N比が若干低めであったものの、適性範囲にあり、他の成分もあわせて標準的な堆肥であった。しかしながら、図3に示したように、本実験における結果を長期堆肥連用水田における結果²⁰⁾と比較すると、窒素無機化特性に大きな差が認められた。ここでの長期堆肥連用水田とは鮫川村富田地区の慣行栽培田を示している。図3からわかるように、試験圃場のその特性は明らかに貧弱なので、無機化曲線をさらに上方へ押し上げるように(矢印)、長期間の施用によって易分解性有機物を多く含む地力の高い土壌づくりが必要になってくる²¹⁾。新規造成水田において堆肥施用が収量面でプラスの効果があることは大森(2003)²²⁾が示しているが、施用量が多いほど多収となり²³⁾、林ら(1982)²⁴⁾は造成後の初期段階では5~10kg/m²の堆肥施用が望ましいとしている。堆肥施用による収量の向上は土壤の物理性の改善とともに窒素無機化量の増加が主因としてあげられており²⁵⁾、これらの報告は本研究の結果と一致している。

鮫川村に存在する耕作放棄田の多くは谷間にある気象条件に恵まれない谷戸田である。谷戸田は平地よりも低温で推移するので、低温障害を受けることが多い。このことに関連して、天野・森脇(1984)²⁶⁾や関谷・君和田(1995)²⁷⁾は堆肥施用が低温障害対策になることを示しており、堆肥利用は鮫川村の水稲栽培において重要な位置づけになると考えられる。

このように堆肥の連年施用によって土壤の無機態窒素量の増加、土壤の物理性の改善が期待されるが、堆肥の施用量、施用時期、水田の管理方法の検討が必要になってくる^{18,28)}。さらには、地域内に広範囲にわたって存在する耕作放棄田の再生を目指すとともに、水田環境を考慮に入れた循環型農業を推進するためには、水田生物への関係をも考慮に入れた技術も取り入れなければならない²⁹⁾。今後は水稻の生産性だけでなく、水田周辺の生物調査も実施し、循環型農業推進のための堆肥施用の普及に加え、循環型社会の形成と自然環境の保全を目指す。

引用文献

- 1) 國松孝男(1985)水資源と水環境. 久馬一剛, 祖田 修編. 農業と環境. 富民協会. 大阪. pp.3-147.
- 2) 小川吉雄(2000)地下水の硝酸汚染と農法転換. 流出機構の解析と窒素循環の再生. 農文協. 東京.
- 3) 前田守弘(2003)農耕地における硝酸態窒素の溶脱と地下水汚染. 重窒素利用研究会. ¹⁵NInformation 15 : 1-12.
- 4) 鮫川村(2008)鮫川村バイオマス・ヴィレッジ構想(鮫川村バイオマス・タウン構想), 1-15.
- 5) 郷倉久徳, 入江彰昭(2012)農林業の活動暦と伝統的年中行事. 里山の自然とくらし. 福島県鮫川村. 東京農業大学短期大学部生活科学研究編. 東京農大出版会. 東京, pp.60-61.
- 6) 上地由朗(2012)鮫川村における水稻生産. 里山の自然とくらし. 福島県鮫川村. 東京農業大学短期大学部生活科学研究編. 東京農大出版会. 東京, pp.75.
- 7) 気象庁, 過去のデータ検索, (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)(最終アクセス2014年11月1日)
- 8) 山本富三, 田中浩平, 角重和浩(1992)暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断. 第1報 地力窒素の発現が暖地水稲ニシホマレ, ヒノヒカリの生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 61 : 369-374.
- 9) 山本富三, 田中浩平, 角重和浩(1993)暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断. 第2報 水田土壌の窒素無機化特性と水稻生育期間中の窒素吸収パターン. 日作紀 62 : 363-371.
- 10) JENKINSON DS, RAYNER JH(1977) The turnover of the soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science* 123 : 298-305.
- 11) SALLIH Z, PANSU M(1993) Modeling of soil carbon forms after organic amendment under controlled conditions. *Soil Biol. Biochem.* 25 : 1755-1762.
- 12) 渡部忠世, 森脇 勉(1981)堆肥連用田における窒素の動態に関する研究. 自然農法研究. 193-197.
- 13) 牛尾昭浩, 須藤健一, 岩井正志(2001)家畜ふん堆肥多量連用水田における水稲「ヒノヒカリ」の収量, 品質と収穫期における稲体窒素保有量の関係. 兵庫県農技研報(農業) 49 : 17-20.
- 14) 片野 学, 佐藤 宏, 佐藤種治, 佐藤正広(1983)自然農法水田における水稲栽培に関する研究. 第1報 自然農法実施年数を異にする水田の生育, 収量及び根群の形態について岩手県の一事例. 日作東北支部報 26 : 1-4.
- 15) 大山信雄(1985)地力増強, 施肥改善による水稲冷害軽減効果(1). 農及園 60 : 1269-1274.
- 16) 原 嘉隆, 土屋一成, 中野恵子(2009)飼料用水稲栽培での牛糞堆肥の窒素肥料的效果における腐熟度と施用時期の影響. 土肥誌 80 : 241-249.
- 17) 前田忠信(2001)堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田における低農薬栽培した水稻収量の年次変動とその要因. 日作紀 70 : 525-529.

- 18) 前田忠信, 久保二郎, 平井英明 (2005) 堆肥連年施用有機水田における堆肥多量施用と水管理が水稻の生育, 収量と温室効果ガスの発生に及ぼす影響. 日作紀 74 : 58-64.
- 19) 齊藤邦行, 黒田俊郎, 熊野誠一 (2001) 水稻の有機栽培に関する継続試験—10年間の生育調査—. 日作紀 70 : 530-540.
- 20) 上地由朗 (2010) 水稻栽培における合理的窒素施肥に関する研究. 京都大学. pp.7-14.
- 21) 玉置雅彦, 猪谷富雄, 中野尚夫 (2002) 有機農法継続年数が異なる水稻の生育と収量. 一山口県下での一事例—. 日作紀 71 : 439-445.
- 22) 大森誉紀 (2003) 造成水田における稲麦の栽培や有機物の連年施用が土壌の化学性と水稻収量に及ぼす影響. 愛媛県農業試験場研究報告 37 : 1-6.
- 23) 鈴木雅光, 長谷川愿, 宮野 齐, 大場伸一 (1993) 水稻の無農薬・無化学肥料栽培の基本指標. 東北農業研究 46 : 91-92.
- 24) 林甚太郎, 川口公男, 岡田俊美 (1982) 造成田における水稻, 裸麦に対する三要素および堆肥の連年施用効果. 徳島農試研報 20 : 43-48.
- 25) 高橋 茂, 山室成一 (1992) 堆肥連用水田における土壌無機化窒素発現量と土壌および灌漑水由来窒素の水稻吸収量の推移. 63 : 505-510.
- 26) 天野高久, 森脇良三郎 (1984) 水稻の冷害に関する栽培学的研究 (3). 穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果. 日作紀 53 : 7-11.
- 27) 関矢信一郎, 君和田健二 (1995) 水稻冷害と土壌肥料. 土肥誌 66 : 686-696.
- 28) 吉田 磨, 澤本卓治, 藤原沙弥香, 小林香雪, 今井 翔, 窪田千穂, 岡崎祐樹, 荻本拓史, 牛山克己 (2010) 北海道美唄市宮島沼周辺の早期湛水・有機栽培水田における2008-2009年のメタン放出. J. Rakuno Gakuen Univ. 35 : 93-102.
- 29) 西村いつき (2008) コウノトリ育む農法の意義と将来展望. 日作紀 77 (別2) : 350-351.

Influences of Manure Derived from Samegawa Village on N Mineralization and Physical Properties of the Soil in the New Paddy Field for Recycling Agriculture

By

Youhei ISHII*, Honami OTANI**, Sachiyo SEKIGUCHI** and Yoshiaki KAMIJI**†

(Received November 20, 2014/Accepted March 10, 2015)

Summary : This study was carried out in order to obtain basic data for propelling recycling agriculture using compost derived from Samegawa Village, Fukushima. The field experiments were conducted using rice cultivar, Koshihikari in paddy field No. 1 (700 m²) and No. 2 (900 m²). Top dry weight of rice plants and nitrogen concentration of the top, and grain yield were measured. Also nitrogen mineralization rate of the soils was investigated in water-logged soil. It was obvious that not only top dry weight at maturity and grain yield but nitrogen mineralization rate were low. Although these results showed that the soil had less easily decomposable matter, the inorganic nitrogen of the soil increased to 2–3 gNm⁻² in 2013. Therefore, we must apply much compost every year, probably leading to increased inorganic nitrogen and improved physical properties of the soil. We should promote recycling agriculture with special consideration of the rate and timing of compost application, and the method of field control.

Key words : Recycling-based Agriculture, Rice, Manure, Rice, Soil mineralization, Productivity

* Department of Bioproduction Technology of Junior College of Tokyo University of Agriculture, Samegawa Village Office

** Department of Bioproduction Technology of Junior College of Tokyo University of Agriculture

† Corresponding author (E-mail : kamiji@nodai.ac.jp)