

## 黒ボク土水田に連用する有機物の違いが水稻の窒素吸収パターンと収量構成要素に違いをもたらす

吉澤比英子・高沢由美<sup>1)</sup>・常見譲史<sup>2)</sup>・大島正捨<sup>3)</sup>

**摘要** : 黒ボク土水田において、堆肥または稲わらを 25 年間連続施用し、水稻の生育収量および土壌理化学性への影響を調査した。その結果、堆肥または稲わらを連用することで、窒素無機化量、土壌の可給態リン酸含量および交換性カリウムの増加がみられた。また、有機物連用により精玄米重は増収した。堆肥を連用した場合は穂数が、また稲わらを連用した場合は一穂粒数が増加した。この違いは、堆肥連用では主に幼穂形成期までの窒素供給量が増加し、稲わら連用では出穂期前の窒素供給量が増加し、体内のカリウム濃度が高くなる事によってもたらされたと考えられた。

**キーワード** : 黒ボク土水田, 有機物連用, 堆肥, 稲わら

## Relationship between nitrogen nutrition and rice crops yield under long-term application of organic matter to Andosol paddy fields

Chieko YOSHIKAWA, Yumi TAKAZAWA, Jyozi TSUNEMI, and Masatoshi OSHIMA

**Summary** : we studied the effect of successive application of organic matter(rice straw compost , chaff compost and rice straw) during 25 years in an Andosol paddy field on the growth and yield of rice and on the physical and chemical properties of the soil. Long-term application of compost resulted in available phosphoric acid and potassium. The rice yield increased in the compared plot that had received successive application of organic matter. Equilateral correlation with the yield of rice in every treatment was high in the number of grains per square meter. The number of grains per square meter increased in the compared plot that had received successive application of organic matter. In the plot where the compost application, the panicle number was increased by absorption nitrogen into the paddy after transplanting. In the plot where rice straw application, the number of grains per panicle was increased by absorption nitrogen into the paddy in heading stage, and high potassium concentration in rice.

**Key words** : Ando paddy field, long term successive application, compost rice, straw

## I 緒言

従来農耕地土壌への有機物の施用は地力の維持増進に効果があるとして、積極的に堆肥が施用されていた。近年では環境に配慮した環境保全型農業の推進、米の高品質化、差別化を図るために堆肥の施用が強調されており、有機物の施用による効果として土壌養分の維持・増強、物理性の改善等が報告されている。また、コンバインの導入によって収穫時に稲わらが表面散布されるようになり、水田の稲わら施用に対する影響も検討されてきた。一方で農業労働力の減少、耕作者の高齢化により堆肥の施用は減少しており、地力の低下が懸念されている。

有機物施用による効果は土壌類型、気候、土地利用形態に支配されて一様ではないため、長期間にわたる検討が必要である。本試験は水田での有機物の連用効果を明らかにすることを目的に土壌保全対策事業「土壌環境基礎調査・基準点調査」の中で実施されたものであり、本県の北中部に広がる黒ボク土一毛作水田において行った。なお、県南部に多い灰色低地土の二毛作水田における有機物の長期連用試験の結果は既に小林ら<sup>6)</sup>が報告している。本県以外の都道府県でも同様の試験が実施され、とりまとめ報告されている<sup>4, 5, 11, 14, 15)</sup>。しかし、事業の廃止に伴い試験を終了している都道府県も多く、25年以上にわたる長期で堆肥等有機物を連用した場合の影響の報告は少ない。本試験は1984年に開始され、14作の終了時に武田ら<sup>18)</sup>が有機物連用の効果として、土壌の膨軟性の維持、腐植や塩基の集積、水稻の安定増収に寄与

しているとした。また黒ボク土水田における有機物連用の効果として加藤ら<sup>5)</sup>は全窒素、有効態リン酸のわずかな減少、水稻の初期生育が堆肥により促進され、稲わら施用により抑制されたことを報告している。前田<sup>7)</sup>は堆肥のみ連用しても好天候年で適期に窒素の供給が多くなれば収量増が期待できること、pHの上昇、有効態リン酸の増加、土壌三相の気相の増加を報告している。関矢ら<sup>13)</sup>は沖積土壌、火山灰土壌を用いて土壌に有機物を添加した場合の水稲生育期間中の窒素吸収に及ぼす影響として炭素率の低いものは初期から分解して窒素を供給し、高いものは施肥窒素の一部をいったん有機化して吸収を遅くすることを報告している。以上のように堆肥施用と土壌の変化、水稻の窒素の養分吸収と収量等に関し、多くの研究がおこなわれている。

試験継続にあたり、15作から処理内容を変更し、有機物施用量と堆肥の種類を変更した。有機物施用にあたっては有機物由来成分を考慮し、現物重換算から窒素換算に変更した。堆肥施用では稲わら堆肥からもみがら牛ふん堆肥に変更した。堆肥変更にあたっては、本県では畜産が盛んであり、年間300万tもの家畜ふん尿が排出され、これらを堆肥化すると150万tの堆肥が生産されている現状を踏まえた。特に近年の畜産経営は、大規模化、地域的偏在化が進み、排泄される家畜ふん尿量が増大し、処理が難しくなっている。家畜ふん尿は、過剰に飼料畑や耕作地へ還元され、地域環境への悪影響等も危惧されている。堆肥は2008年以降の化学肥料の価格高騰もあり、化学肥料に代わる肥料の効果の面からも利用促進が求められている。

第1表 水稻(コシヒカリ)に対する有機物連用圃場の試験開始時(1983年)の土壌理化学性

層位	細土無機物中%									
	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土	土性				
1 (0~20cm)	23.0	29.1	52.1	38.8	9.2	L				
2 (20~40cm)	29.7	27.6	27.3	30.1	12.7	L				
3 (40~80cm)	39.5	21.4	60.9	28.7	10.5	L				
層位	三相分布%			孔隙率	仮比重					
	固相	液相	気相							
1	30.9	65.5	3.6	69.1	0.75					
2	32.2	65.0	2.8	67.8	0.78					
3	33.0	57.0	10.0	67.0	0.79					
層位	pH	T-C	T-N	C/N	CEC	可給態リン酸	交換性塩基(mg/100g)			りん酸
	(H <sub>2</sub> O)	%	%		me/100g	mg/100g	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	吸収係数
1	6.5	8.21	0.58	14.2	44.3	2.4	723	123	13	2240
2	6.2	7.10	0.50	14.2	41.5	1.0	565	71	10	2260
3	6.1	8.31	0.50	16.6	41.7	0.7	525	48	12	2330

※ 可給態リン酸含量が低いいため、試験開始時の1984年3月によりりん600kg/100aを施用した。  
(1作目にあたる1984年の跡地土壌可給態リン酸量は4.4~5.9mg/100gであった)



第4表 有機物連用した水稻(コシヒカリ)の土壤物理性の変化(21~25作の平均値)

処理区	三相分布(%)			孔隙率 (%)	仮比重
	固相	液相	気相		
無窒素区	30.6	65.1	4.3	69.4	0.73
三要素区	31.7	65.2	3.1	69.5	0.74
堆肥区	31.4	65.5	3.3	69.6	0.72
稲わら区	30.6	64.6	4.8	70.1	0.71

第5表 有機物連用した水稻の土壤化学性の変化(21~25作)

pH	T-C (%)	T-N (%)	C/N	CEC me/100g	可給態リン酸 (トルオーグ法) mg/100g	交換性塩基 (mg/100g)			
						CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	
無窒素区	6.7	8.3	0.55	15.3	43.4	8.6	875	142	14.0
三要素区	6.6	8.4	0.57	14.9	43.3	8.7	834	124	11.2
堆肥区	6.6	8.9	0.62	14.7	45.4	10.6	882	135	25.6
稲わら区	6.5	8.3	0.58	14.3	43.0	8.1	774	108	17.6

第6表 有機物連用した水稻の跡地土壤窒素無機化量及び乾土効果 (mg/100g)

処理区	無機化量		乾土効果
	乾土	生土	
試験開始時	10.2	1.5	8.7
無窒素区	15.0	1.8	13.2
三要素区	16.5	1.8	14.7
堆肥区	20.9	1.9	18.9
稲わら区	20.3	1.8	18.6

### III 試験結果

#### 1. 土壤理化学性の変化

有機物連用 21 から 25 作の跡地土壤の物理性の平均値を第 4 表に示した。試験開始時の作土層の固相率 30.9%であったのに対し、21-25 作後の無窒素区 30.6%、三要素区は 31.7%、堆肥区は 31.4%、稲わら区では固相率 30.6%で、平野ら<sup>2)</sup>の報告とは異なり有機物施用することによる固相率の減少が見られず、土壤物理性の改善効果は認められなかった。

有機物連用 21 作から 25 作の栽培後跡地土壤の化学性の平均値を第 5 表に示した。pH は 6.5~6.7 で、稲わら区が最も低く無窒素区が最も高かった。T-C は堆肥区で 8.9%と最も高く、無窒素区と稲わら連用区が 8.3%で相対的に低かった。T-N は堆肥区で 0.62%と最も高く、無窒素区で 0.55%と最も低かった。CEC は堆肥区で 45.4 me/100g と最も高く、稲わら区で 43.0 me/100g と最も低かった。

可給態リン酸は堆肥区で 10.6mg/100g と最も高く、稲わら区が 8.1mg/100g と最も低かった。

交換性カルシウムは堆肥区で 882mg/100g と最も高く、稲わら区で 774mg/100g と最も低かった。交換性マグネシウムは無窒素区で 142mg/100g で最も高く、稲わら区で 108mg/100g と最も低かった。交換性カリウムは堆肥区で 25.6mg/100g と最も高く、三要素区で 11.2mg/100g と最

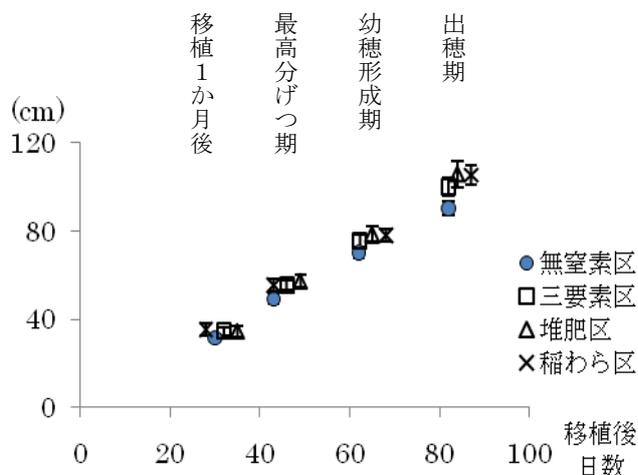
も低かった。

有機物連用 21 作から 25 作の水稻栽培跡地土壤の窒素無機化量および乾土効果の平均を第 6 表に示した。乾土での無機化量は、無窒素区 15.0mg/100g に対し三要素区 16.5mg/100g、堆肥区 20.9mg/100g、稲わら区 20.3mg/100g と有機物施用区で無機化量が増加した。生土での無機化量は、1.8~1.9 mg /100g でいずれの区も同程度であった。乾土効果は無窒素区が 13.2mg/100g であったのに対し、三要素区 14.7mg/100g、堆肥区 18.9mg/100g、稲わら区 18.6mg/100g と有機物施用により高まった。

#### 2. 水稻の生育

有機物連用後、各処理区 21~25 作の草丈の平均の推移を第 1 図に示した。草丈は最高分げつ期において三要素区 55.4cm に対して堆肥区 57.0cm と長く、幼穂形成期は三要素区 75.4cm に対して堆肥区 78.2cm、稲わら区 78.0cm と長かった。出穂期も三要素区 99.8cm に対して堆肥区 105.4cm と稲わら区 105.2cm と高かった。同様に 21~25 作平均の茎数の推移を第 2 図に示した。茎数は移植 1 か月後および最高分げつ期に三要素区と比べて稲わら区が同程度、堆肥区で多く、その後も堆肥区が最も多かった。幼穂形成期には稲わら区が三要素区より多かった。

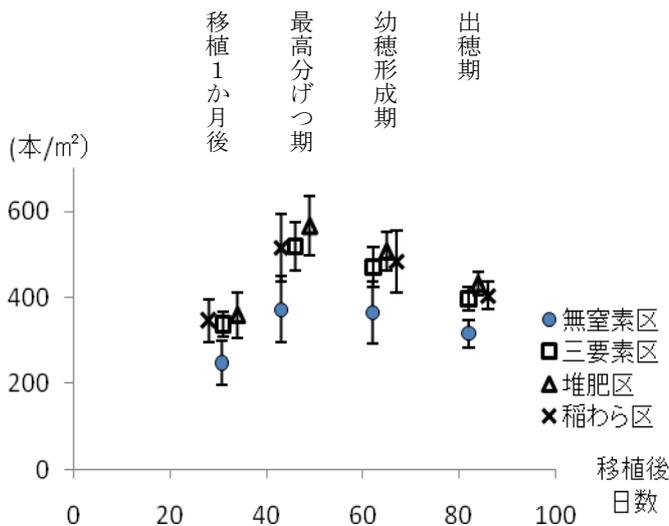
21~25 作の乾物重の平均値の推移を第 3 図に示した。移植 1 か月後~出穂期まで堆肥区が最も多かった。稲わら区は三要素区と比べて移植 1 か月後~幼穂形成期までほぼ変らなかったが出穂期に大きく増加し、堆肥区と同程度となった。



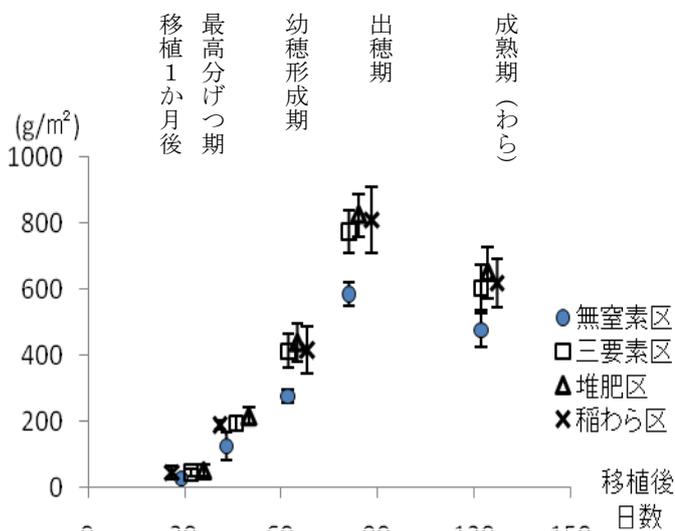
第1図 有機物を連用した水稻(コシヒカリ)の草丈の推移(21~25作)

注1. エラーバーは標準偏差を表す(第6図まで同様)

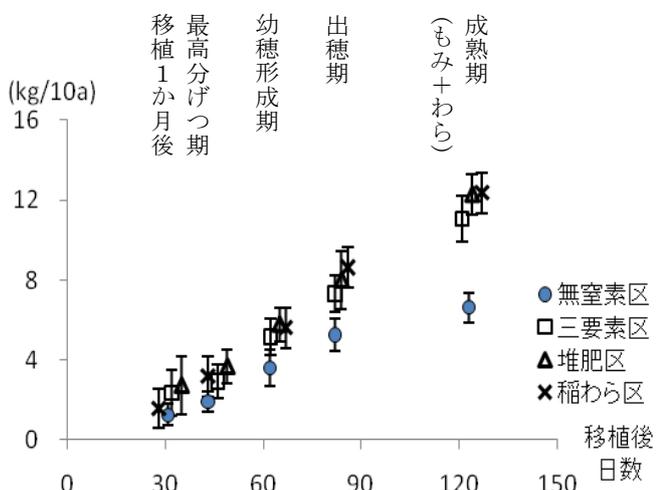
注2. 見やすくするためにマーカーを処理区ごとに数日ずつずらしてある(第6図まで同様)



第2図 有機物を連用した水稻(コシヒカリ)の茎数の推移 (21~25作)



第3図 有機物を連用した水稻(コシヒカリ)の乾物重の推移 (21~25作)



第4図 有機物を連用した水稻(コシヒカリ)の窒素吸収量の推移 (21~25作)

### 3. 水稻の各養分吸収量および含有率

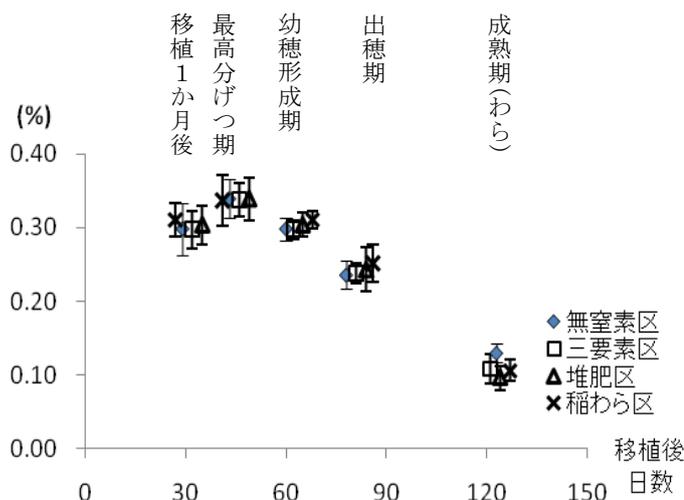
有機物連用 21 作から 25 作の水稻の窒素吸収量の平均値の推移を第 4 図に示した。移植 1 か月後の吸収量は、三要素区が 2.4kg/10a、堆肥区が 2.7kg/10a と他の 2 処理区よりも高かった。最高分けつ期には三要素区が 2.9kg/10a であったのに対し堆肥区は 3.7kg/10g、稲わら区は 3.2kg/10a と高くなった。幼穂形成期の吸収量は、三要素区 5.2kg/10a に対して堆肥区 5.8kg/10a、稲わら区 5.6kg/10a で高くなった。出穂期の吸収量は三要素区が 7.3kg/10a であったのに対し堆肥区は 8.0kg/10g、稲わら区は 8.6kg/10a とこれらの区が高くなった。成熟期の吸収量は、三要素区が 11.1kg/10a であったのに対し堆肥区は 12.3kg/10g、稲わら区は 12.4kg/10a と高くなった。

有機物連用 21 作から 25 作のリンの含有率の推移を第 5 図に示した。移植 1 か月後のリン含有率は 0.30%から 0.31%の範囲でほとんど差がなかった。最高分けつ期のリン酸含有率は各区とも 0.34%で移植 1 か月後に比べ高くなったが、処理区間の差は小さかった。各区の含有率はその後低下し、成熟期は堆肥区が 0.10%と最も低く、無窒素区が 0.13%と最も高かった。

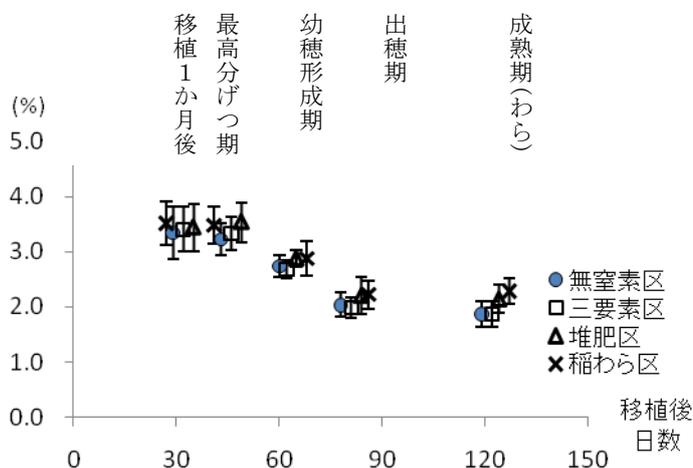
有機物連用 21 作から 25 作の水稻のカリウム含有率の平均値を第 6 図に示した。移植 1 か月後のカリウム含有率は、稲わら区が 3.5%で最も高かった。最高分けつ期は堆肥区 3.5%、稲わら区 3.5%で他の 2 区に比べ高くなった。それ以後は各区ともに低下し、成熟期は稲わら区が 2.3%、堆肥区が 2.3%、三要素区 1.9%、無窒素区 1.9%であった。

### 4. 水稻の収量および収量構成要素

水稻の収量および収量構成要素の 21~25 作平均値を第 7 表に示した。精玄米重は三要素区が 556kg/10a であったのに対し堆肥区は 588kg/10a、稲わら区は 584kg/10a と高かった。わら重は、三要素区が 604kg/10a であったのに対し堆肥区は 650kg/10a と最も高かった。穂数は三要素区が 326 本/m<sup>2</sup>であったのに対し堆肥区は 355 本/m<sup>2</sup>と多かった。総もみ数は三要素区が 28200 粒/m<sup>2</sup>であったのに対し堆肥区が 30500 粒/m<sup>2</sup>、稲わら区が 30500/粒m<sup>2</sup>と多かった。一穂粒数は、三要素区が 86 粒であったのに対し稲わら区が 93 粒で最も多かった。登熟歩合は、無窒素区が 89.0%で最も高く、堆肥区が 85.9%、稲わら区が 86.8%と総もみ数が多い区ほど低い傾向であった。千粒重は、無窒素区が 21.7 g で最も低く、三要素区が 22.6 g で最も高かった。倒伏程度は有機物を連用した堆肥区および稲わら区で大きい傾向を示した。



第5図 有機物を連用した水稻(コシヒカリ)のリン含有率の推移(21~25作)



第6図 有機物を連用した水稻(コシヒカリ)のカリウム含有率

第7表 有機物を連用した水稻(コシヒカリ)収量構成要素平均値(21~25作平均)

処理区	わら重 kg/10a	精玄米重 kg/10a	穂数 本/m <sup>2</sup>	総稈数 ×100/m <sup>2</sup>	1穂 稈数	登熟 歩合(%)	千粒重 g	倒伏 程度
無窒素区	477	406	252	211	84	89.0	21.7	0.4
三要素区	604	556	326	282	86	87.8	22.6	0.9
堆肥区	650	588	355	305	86	85.9	22.5	1.2
稲わら区	619	584	329	305	93	86.8	22.1	1.4

## IV 考察

### 1. 総もみ数および穂数に及ぼす窒素吸収量の影響

松島<sup>8)</sup>によると同一品種の場合には千粒重が収量に及ぼす影響は小さく、収量は単位面積あたりの稈数と登熟歩合で決まるとしており、その稈数は穂数と1穂稈数を乗じて求められる。また、穂数は生育初期である分けつ最盛期の生育に影響を受け、早期の茎数確保が重要であ

るとしている。一方、1穂稈数は穂首分化期からえい花分化期の良好な生育が1穂稈数の増加に影響を与えている。第7表に示した収量構成要素の処理間差から、本研究では、千粒重に加えて登熟歩合の処理間差も相対的に小さいため、総稈数が収量を決定づけていると判断できる。さらに堆肥区では稈数に対する穂数の寄与が大きく一方稲わら区では一穂粒数の寄与が大きい。

そこで、生育に大きな影響を及ぼす窒素吸収量と穂数の関係を最高分けつ期、幼穂形成期および出穂期について第7図に示した。三時期ともに各プロットは右上がりの直線上に分布し、無窒素区は吸収量、穂数ともに相対的に小さく、一方堆肥区は吸収量、穂数共に大きい位置に分布した。相関係数は最高分けつ期が0.91と最も大きかった。最高分けつ期におけるこの傾向は、第8図に示したとおり本試験の全期間の結果についても同様で、これによれば、この時期の窒素吸収量がおおよそ5kg/10a程度で穂数は頭打ちとなる。

一方、一穂粒数は、影響が大きいとされる幼穂形成期、出穂期の一穂あたりの窒素吸収量との関係を第9図に示した。出穂期には、稲わら区で吸収量、1穂粒数ともに大きい位置に分布したが、幼穂形成期には両者の関係は見られなかった。

これらのことから、堆肥連用は、最高分けつ期までの水稻への窒素供給量を増加することによって穂数を増やし、稲わら施用は主に穂首分化期からえい花分化期、減数分裂期の窒素供給を増やすことによって一穂粒数を増加させ、それらが収量を高めているものと推察された。

### 2. 養分吸収量の変化

第8表に見かけの由来、時期別の窒素吸収速度を示した。土壌・灌漑水・雨水等由来窒素は全生育期間を通して吸収され、最高分けつ期から幼穂形成期に最も高まった。

化学肥料由来窒素は全生育期間を通して吸収され、最高分けつ期から幼穂形成期および出穂期から成熟期に最も増加し、前半が主に基肥を、後半が主に追肥由来と推測される。

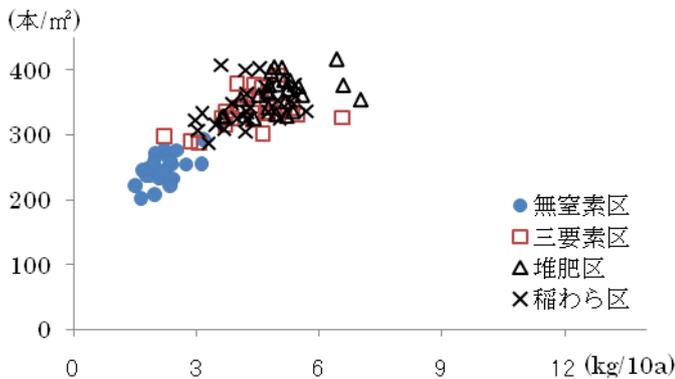
堆肥由来窒素も全生育期間を通して吸収されたが、その中心は最高分けつ期から幼穂形成期で、出穂期から成熟期は低下した。高橋ら<sup>17)</sup>によると堆肥を連用した土壌の水稻窒素吸収量は無窒素区に比べて初期から多く、7月前後に最も多くなるとされており、本研究による結果もおおむね一致した。

稲わら由来窒素は、移植1か月後にはマイナスとなり、この時期には窒素が有機化していると考えられ、仲谷ら

8)の報告と一致した。さらに本研究では、最高分けつ期前と出穂期前の両時期で急激に高まり、幼穂形成期には低下するという傾向が示された。

中野<sup>10)</sup>によると水稻生育と分けつ期のリン酸含有率の間には密接な関係が見られ、0.26%で分けつが劣るとしているが、本報における水稻の最高分けつ期リン含有率は一様に0.34%と高かった。最高分けつ期の茎数は、堆肥区が566本/m<sup>2</sup>で栃木県生育診断指標における最高分けつ期の目標茎数570~600本/m<sup>2</sup>に近かったが、三要素区は518本/m<sup>2</sup>、稲わら区は515本/m<sup>2</sup>と目標茎数よりかなり少なかった。しかし、本研究での水稻のリン酸含有率は生育期間を通して区間差がほとんど見られず、本研究において茎数の処理間差がリン酸の供給力に影響されたとは考えにくい。

カリウム含有率は、全生育期間をとおして稲わら区で相対的に僅かに高かった。長谷川ら<sup>9)</sup>によると、水稻のカリウム吸収は、最高分けつ期までの要求強度は極めて強いが、乾物生産量が少なく吸収量は相対的に少なく、最高分けつ期から出穂期までは要求強度は急激に低下するが乾物生産量の増加が著しく、吸収量も最も多くなり、出穂後ほとんど吸収量は増加しないとしている。必要な茎葉のカリウム濃度は最高分けつ期3.1%、幼穂形成期2.8%、出穂期2.0%、成熟期2.0%としており、第6図に示したとおり幼穂形成期と成熟期(わら)において無窒素区と三要素区で0.1%達していなかった以外は必要なカ



第8図 最高分けつ期の窒素吸収量と穂数 (1~25作)

第8表 有機物連用した水稻見かけの由来、時期別窒素吸収速度 (21~25作平均) g/10a/day

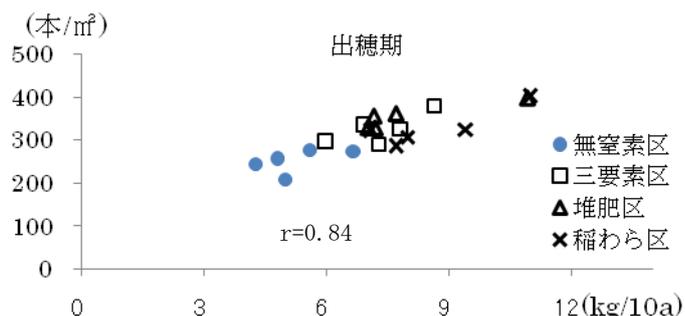
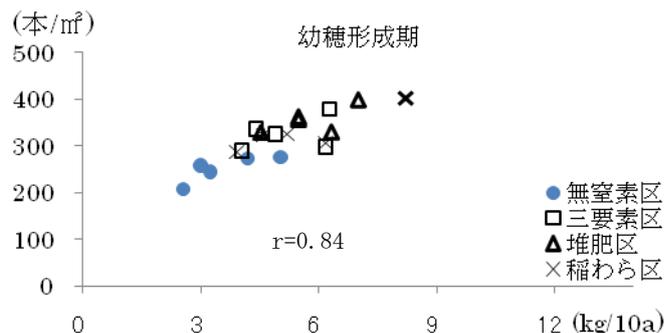
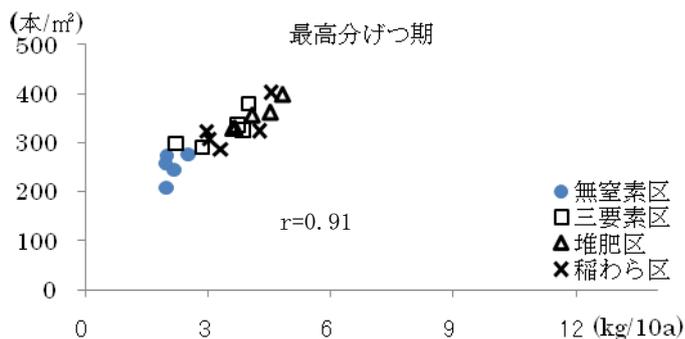
	移植 1か月後	最高 分けつ期	幼穂 形成期	出穂期	成熟期
土壌・灌漑水・雨水等由来※	30.2	58.9	113.3	86.7	38.1
肥料由来※※	22.7	19.4	37.7	28.4	46.6
堆肥由来※※※	7.7	9.4	14.0	2.3	1.6
稲わら由来※※※※	-1.5	40.3	-5.9	44.9	-4.5

※無窒素区窒素吸収量÷日数

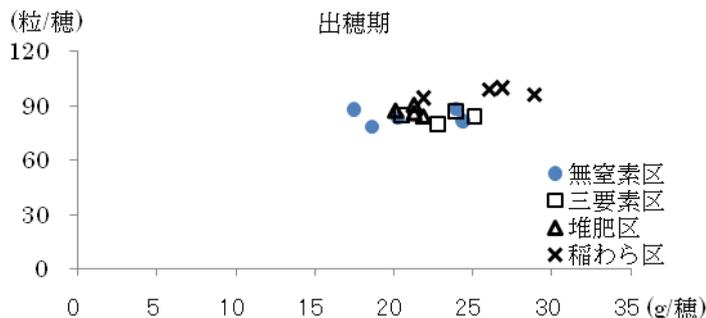
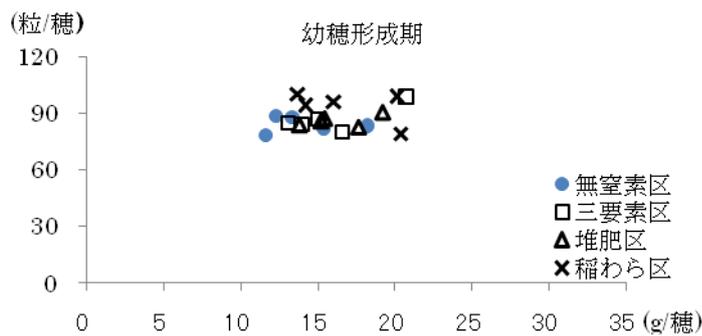
※※(三要素区-無窒素区窒素吸収量)÷日数

※※※(堆肥区-三要素区窒素吸収量)÷日数

※※※※(稲わら区-三要素区窒素吸収量)÷日数



第7図 窒素吸収量と穂数 (21~25作)



第9図 1穂あたりの窒素吸収量と1穂粒数 (21~25作)

リウム濃度に達していた。そこで、吸収量の多い幼穂形成期、出穂期における1穂粒数とカリウム含有率の関係を第10図に示した。稲わら区で幼穂形成期に1穂粒数、カリウム含有率がともに大きい位置に分布した。また堆肥区および稲わら区で土壌のカリウム供給力が高かったことが両処理区の穂数の増加に関連した可能性も考えられた。土壌中交換性カリウムは第5表に示したとおり、稲わら区よりも堆肥区で高い。連用された稲わらの分解過程で放出されるカリウムが、交換性画分よりも効率よく吸収された、または、稲わら分解過程で生成される有機酸により交換性画分の脱着が促進した可能性も考えられた。

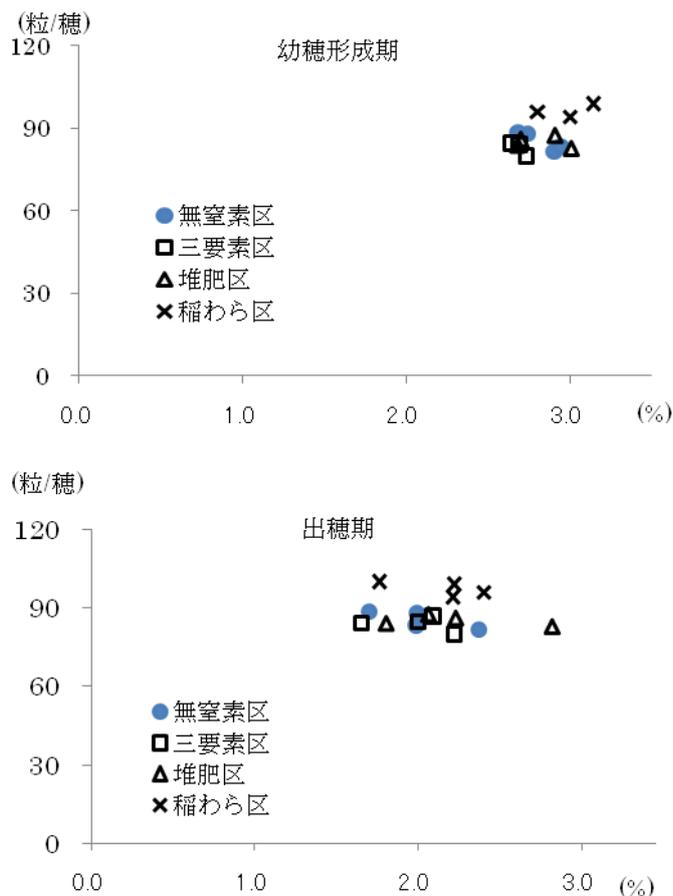
以上のことから、黒ボク土水田に堆肥または稲わらを連用すると、堆肥は主に最高分げつ期から幼穂形成期の窒素供給力を高め、穂数や総粒数を増加させ、増収がもたらされると考えられた。一方、稲わらを連用すると、移植1か月後までの窒素吸収量は窒素の有機化により化学肥料のみ施用するよりも減少するものの、最高分げつ期と出穂期の窒素吸収量が増加し、一穂粒数が増加、これによって総粒数が増加し、増収するものと考えられた。

さらに、本試験圃場は頗る腐植に富む黒ボク土であり、第8表に示したとおり、土壌からの窒素供給が成熟期まで高水準に継続する。このことによって生育後半の穂数や一穂粒数が維持されたものと考えられる。そのため、いずれの処理区も千粒重と登熟歩合が高水準に維持され、高水準の収量に繋がったものと考えられた。

また第8図に示したとおり、本研究での窒素の供給増加による穂数の増加は堆肥区で頭打ちとなっており、施用量を半分程度に減らしても同水準の収量が得られるものと考えられる。また、稲わら連用でも収量面では堆肥連用に劣らず、土壌の理化学性への影響からも問題が小さいと考えられるが、窒素無機化時期が遅れるため収量構成要素として茎数の確保が不十分になる。従って、稲わら鋤込みに加えて、少量の堆肥を連用することにより生育前期の窒素無機化が少ないという問題が改善される可能性がある。

### 謝辞

研究を遂行するにあたり、高崎恭子技術員には分析、調査補助、大貫悟技術員には試験ほ場の管理並びに調査等の補助にご協力いただいた。また、25年の長きにわたる研究課題を継続するにあたり参画あるいはご協力いただいた諸先輩方に多大なる感謝の意を表します。



第10図 カリウム含有率と1穂粒数の関係(21~25作)  
各区毎にカリウム含有率および一穂粒数の値について  
平均値±標準偏差を超える値を異常値として処理した

### 引用文献

1. 土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法(2001) 日本土壌協会
2. 長谷川栄一; 斎藤公夫; 安井孝臣(1987) 水稻のカリウム及びナトリウム吸収. 宮城県農業センター研究報告 55:19-34
3. 平野繁・田辺猛(1996) 堆肥施用による水稻吸収量の増加要因の解析. 土壌の物理性 73:31-35
4. 神谷啓明・大谷達明・島田昭史・水本順敏・堀兼明(1994) 中粗粒灰色低地土水田における有機物及び珪カルの連用が土壌及び水稻に与える影響. 静岡県農業試験場研究報告 38: 1-10
5. 加藤弘道・茂垣慶一・本田宏一・石川実(1985) 火山灰水田における有機物の連用効果に関する研究. 茨城県農業試験場研究報告 25:37-54
6. 小林靖夫・鈴木聡・渡辺修孝・吉沢崇・植木与四郎・鈴木智久・金田晋平(2007) 栃木県の二毛作水田における有機物連用が土壌および作物生育に及ぼす影響. 栃木県農業試験場研究報告 59:11 - 23

7. 前田忠信;平井英明(2002) 堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田における土壌の理化学的特性の変化と低農薬栽培した水稻の根系, 養分吸収, 収量. 日本作物学会紀事 71:506-512
8. 松島省三 稲作診断と増収技術 農文協
9. 仲谷紀男・鬼鞍豊(1974) 稲わら施用水田におけるアンモニア態窒素の消長の一例. 日本土壌肥料化学 45:546-548
10. 中野政行・橋本俊一・土山豊(1970) 開田地の生産力増強に関する研究 燐酸施用量とその持続性. 栃木県農試栃木県農業試験場研究報告 12:19-31
11. 野地良久;藤谷信二;上野通宏(1993) 有機物の長期連用が土壌の理化学性と水稻の生育に及ぼす影響. 大分県農業技術センター研究報告 23:1-12
12. 佐藤紀男・川島寛・菅野忠義(1983) 土壌中における有機物と土壌改良資材の施用効果に関する研究. 福島県農業試験場研究報告 22:43-54
13. 関矢信一郎 本谷耕一(1968) 水田土壌中の窒素の行動に関する研究. 東北農業試験場研究報告 36:1-5
14. 柴原藤善;武久邦彦;小松茂雄;浪部恒昭(1999) 水稻に対する有機物および土づくり肥料の連用効果(1). 滋賀県農業試験場研究報告 40:54-77
15. 篠田正彦・安西徹郎(1998) グライ土水稻に対する有機物の連用効果. 千葉県農試研報 39:59-69
16. 堆肥等有機物分析法(2000) 日本土壌協会
17. 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. 日本土壌肥料学雑誌 63:505-510
18. 武田容子・柴田和幸・橋本秀司(2000) 黒ボク土水田における有機物の長期連用効果. 栃木県農業試験場研究報告 49:15-23
19. 和田源七(1971) 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について第1報. 日本作物学会紀事 403:. 275-280
20. 山室成一(1990) 稲わら施用土壌における土壌および稲わら由来無機化窒素発現量とその有機化量の推移. 日本土壌肥料学雑誌 61:499-505

