

# 環境保全型水稲生産のためのリン酸ベースでの家畜ふん堆肥施用体系の検討 —施用1年目での評価—

伊藤 豊彰・谷川 法聖・三枝 正彦

Study of phosphorus-based application system of animal manure composts for environmentally conscious paddy rice production—first year estimation

Toyoaki ITO, Norimasa TANIKAWA and Masahiko SAIGUSA

キーワード：家畜ふん堆肥，可給態リン酸，リン酸ベース，水稲，環境保全型農業

## 1. はじめに

1994年におけるわが国の家畜排泄物の年間排出量は9,700万トンであり、これに由来する窒素とリン酸排出量は年間76万tおよび12万tであると推定されている<sup>1)</sup>。家畜排泄物は窒素，リン酸，カリウムなどの養分を豊富に含む資源であり，これを適正に処理し，有効に利用していく必要がある。2004年には「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」<sup>2)</sup>が施行され，家畜排せつ物の素掘り・野積みでの処理・保管が禁止され，家畜ふん堆肥中の肥料成分が上昇することが予測される。土壌の養分バランスを健全に維持するために，堆肥中の肥料成分を踏まえた施肥設計を行うことが必要である。

近年，農業の集約化による環境汚染が問題となり，環境保全型農業や資源循環型農業に関心が集まっている。これら環境保全型農業において，有機物による土づくりは基本技術であるが，家畜ふん堆肥などの過剰施用が，土壌への養分蓄積を引き起こしている例もある<sup>3)</sup>。

家畜ふん堆肥の過剰施用は，土壌へのリン酸蓄積を引き起こす。なぜなら，家畜ふん堆肥の窒素とリンの比(N/P比)は作物が吸収するN/P比に比べ小さいため，作物の生育を強く支配する窒素量を基準に家畜ふん堆肥を施用すると，リン酸は作物の必要量以上に施用され，過剰分は土壌に蓄積する。この土壌に蓄積したリン酸が表面流去水，土壌侵食を介して水系に流入すると，水系の富栄養化を引き起こす可能性がある。

そのため，真の環境保全型農業を目指すには，土壌にリン酸を蓄積させない家畜ふん堆肥の施用法の確立が必要である。海外ではリン酸ベースでの家畜ふん堆肥施用により，土壌へのリン酸蓄積を抑制した報告<sup>4)</sup>はあるが，水田における研究例は全くない。

そこで本研究では，家畜ふん堆肥を窒素ベース，リン酸ベースで水田に施用し，水稲収量と土壌へのリン酸蓄積の点から各家畜ふん堆肥施用体系を比較した，初年目の結果について報告する。

## 2. 材料と方法

### 1) 試験圃場

東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター(宮城県玉造郡鳴子町)の4号水田(統一の土壌分類体系第二次案<sup>5)</sup>では非アロフェン黒ぼく土に分類される)において水稲の圃場栽培試験を行った。

土壌は2mmのふるいを通した風乾土を分析試料とし，pH，可給態リン酸，リン酸吸収係数の測定を常法<sup>6)</sup>に従って行った。全窒素含量はNCアナライザー法で，全リン酸含量は焙焼法で測定した。土性は土壌調査ハンドブック<sup>7)</sup>の野外土性の判定法に従った。

### 2) 供試堆肥

牛ふん堆肥は当センターで製造された牛ふん堆肥を，鶏ふん堆肥はイセファーム(宮城県色麻町)で製造された発酵鶏ふん堆肥を用いた。堆肥は風乾後に微粉碎したものを分析サンプルとした。NCアナライザー法で全炭素，全窒素含量を，焙焼法により全リン酸含量を測定した。Frossardら<sup>8)</sup>による逐次抽出法により，堆肥の無機態リン酸を溶解性の違いに基づき4つの画分(水，0.5M重炭酸ナトリウム，0.1M水酸化ナトリウム，1M塩酸可溶性リン酸)に分画し，それぞれの画分のリン酸含量はアスコルビン酸還元法により測定した。

堆肥中の水稲が吸収利用可能な窒素，リン酸を有効態窒素，有効態リン酸と呼ぶことにする。窒素無機化率は，牛ふん堆肥，鶏ふん堆肥ともに30%と推定し，各供試堆肥の有効態窒素含量は全窒素含量から概算した(表2)。各堆肥の窒素無機化率の推定には，牛ふん堆肥については草地試験場資料<sup>9)</sup>の窒素無機化率(30%)を，鶏ふん堆肥については湛水培養窒素無機化量は $9.71 \times T-N\% - 8.18$ の式で表され，遅効性窒素量は乾物1t当たり3kg程度であるという報告<sup>10)</sup>を根拠とした。リン酸については，逐次抽出法の4つ画分のうち溶解性の高い水抽出と重炭酸ナトリウム抽出リン酸の合計を有効態リン酸とした<sup>11)</sup>。

### 3) 処理区と堆肥施用量

処理区は，牛ふん堆肥窒素ベース区(牛N区)，牛ふん

堆肥リン酸ベース区(牛 P 区), 鶏ふん堆肥窒素ベース区(鶏 N 区), 鶏ふん堆肥リン酸ベース区(鶏 P 区), 化学肥料区(化肥区), 無施肥区の 6 処理区である。各処理区における堆肥, 化学肥料の施用量および有効態窒素, 有効態リン酸, 全リン酸投入量を表 3 に示した。標準施肥量を  $N-P_2O_5-K_2O=6-6-6g\ m^{-2}$  と考え, 窒素ベース区では堆肥由来の有効態窒素投入量が  $6g\ m^{-2}$  となるように, リン酸ベース区では堆肥由来の有効態リン酸投入量が  $6g\ m^{-2}$  となるように, それぞれ堆肥施用量を決定した。リン酸ベース区では, 有効態窒素の投入量が不足するため, 不足分を化学肥料で補った。化肥区では全量を化学肥料で施肥した。窒素肥料は LP40 と LP70 を 1:2 で混合して用い, リン酸肥料は重過石を, カリ肥料は塩化カリを用いた。以上の 6 処理区を 3 反復の乱塊法で圃場に配置した。1 試験区の大きさは  $8m \times 5m$  とした。

#### 4) 栽培概要

2004 年の 5 月 7 日に堆肥および化学肥料を全層施肥し, 5 月 13 日にポット苗(葉齢 6.1)を移植した。供試品種はひとめぼれ(*Oryza sativa* L. cv. Hitomebore)を用いた。最高分けつ期は 7 月 2 日(移植後 50 日), 出穂日は 7 月 28 日(移植後 76 日)であった。水稻は 9 月 13 日に収穫し, 乾物重, 収量構成要素, 養分吸収量を測定した。同日に土

壤を採取し, 風乾後, 2mm の篩いを通し, 可給態リン酸(ブレイ II 準法)<sup>4)</sup>の測定を行った。

#### 5) 水稻の調査, 養分分析

収穫後の稲は籾, 茎葉に分け  $72^\circ C$  通風乾燥機で乾燥後, 乾物重を測定した。なお, 籾は乾燥前に均分し収量構成要素用と分析用に分けた。籾, 茎葉は乾燥, 粉碎したものを試料としてケルダール分解<sup>12)</sup>を行い, 蒸留法<sup>13)</sup>により窒素含量を, アスコルビン酸還元法によりリン酸含量を測定した。収量構成要素の調査は, 均分した籾を塩水選(1.06)により登熟籾と未登熟籾に分け, 籾摺り, 水分計により水分を測定し,  $m^2$  あたり穂数・1 穂平均粒数・登熟歩合・千粒重(水分 15%)を測定した。玄米収量は各収量構成要素の積により求めた。

#### 6) 統計解析法

Tukey の多重比較法(5% 水準)によって各処理区間の平均の差の検定を行った。表, 図中の異なるアルファベットは Tukey の多重比較法で 5% 水準で有意差があることを表している。

### 3. 結果と考察

#### 1) 供試土壌および供試堆肥の特徴

供試圃場作土の土壌化学性を表 1 に示した。供試土壌は,

表 1 試験圃場作土の土壌化学性

pH(H <sub>2</sub> O)	土性	全窒素 (gNkg <sup>-1</sup> )	全リン酸 (gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	可給態リン酸 (トルオーグ法) (gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	可給態リン酸 (ブレイ準法) (gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	可給態リン酸 (オルセン法) (gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	リン酸吸収係数 (gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )
5.9	CL	4.5	5.35	0.19	1.25	0.17	18.7

表 2 供試堆肥の全炭素, 全窒素, 全リン酸含量, リン酸組成および有効態窒素, リン酸含量

供試堆肥	全炭素 (gkg <sup>-1</sup> )	全窒素 (gkg <sup>-1</sup> )	C/N 比	全リン酸 (gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	逐次抽出法 (gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )		有効態窒素 (gN kg <sup>-1</sup> )	有効態リン酸 (gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )
					H <sub>2</sub> O	0.5M NaHCO <sub>3</sub>		
牛ふん堆肥	359	30	12	27	12.4 (46) <sup>*1</sup>	7.9 (29)	9.1 (30%) <sup>*2</sup>	20.3 (75%) <sup>*2</sup>
鶏ふん堆肥	254	29	8	59	15.7 (27)	5.1 (9)	8.8 (30%)	20.8 (36%)

\*1 ( ) 内の数字は全リン酸中にしめる各リン酸画分の割合 (%)

\*2 ( ) 内の数字は全窒素, リン酸に占める有効態窒素, リン酸の割合 (%)

表 3 各処理区における堆肥, 化学肥料の施用量および有効態窒素, 有効態リン酸, 全リン酸投入量

処理区	堆肥施用量 (g 乾物 m <sup>-2</sup> )	堆肥由来の有効態窒素, リン酸投入量 (gm <sup>-2</sup> )		化学肥料施用量 (gm <sup>-2</sup> )		全リン酸投入量 (gm <sup>-2</sup> )
		有効態窒素	有効態リン酸	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
牛 N	659	6.0	13.4	-	-	17.8
牛 P	296	2.7	6.0	3.3	-	11.3
鶏 N	682	6.0	13.8	-	-	40.2
鶏 P	288	2.5	6.0	3.5	-	20.5
化肥	-	-	-	6.0	6.0	6.0
無施肥	-	-	-	-	-	-

リン酸固定力が  $18.7\text{gP}_2\text{O}_5\text{kg}^{-1}$  と高く、黒ボク土の性質を示していた。可給態リン酸は比較的高く、トルオーグ法による可給態リン酸は国の地力増進基本指針の改善目標値である  $0.1\text{gP}_2\text{O}_5\text{kg}^{-1}$  を上回っていた。このことから供試圃場は黒ボク土でありながら、リン酸肥沃度は低くないと考えられた。

供試堆肥の全炭素、全窒素、全リン酸含量、リン酸組成および有効態窒素、リン酸含量を表2に示した。供試堆肥はどちらも十分に発酵の進んだ完熟堆肥であった。牛ふん堆肥と鶏ふん堆肥の成分量を比較すると、全窒素含量はほぼ同じであり、C/N比は牛ふん堆肥でやや高く、全リン酸含量は鶏ふん堆肥が牛ふん堆肥の2倍以上と高かった。しかし、全リン酸に占める比較的溶解性の高い水抽出と重炭酸ナトリウム抽出画分の割合は、牛ふん堆肥で高くなっていた。そのため有効態リン酸含量は両堆肥ともほぼ同じになった。また、有効態窒素含量も両堆肥でほぼ同じであった。

2) 水稻の生育・収量

葉齢は、いずれの処理区においても同様に推移し、処理区間での違いは見られなかった。図1に各処理区における水稻の茎数の推移を示した。茎数は、鶏N区で生育期間を通して最も多く推移し、以下、化肥区 > 鶏P区 > 牛P区 > 牛N区 > 無施肥区の順であった。最高分けつ期茎数は、鶏N区の  $615\text{本/m}^2$  から無施肥区の  $397\text{本/m}^2$  の範囲にあった。穂数は、鶏N区の  $478\text{本/m}^2$  から無施肥区の  $349\text{本/m}^2$  の範囲にあった。鶏ふん堆肥を施用した区(鶏N区と鶏P区)

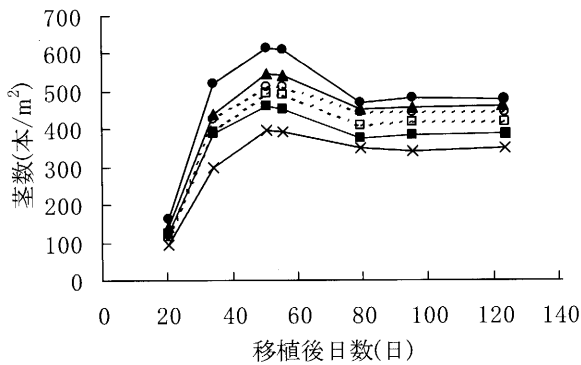


図1 水稻の茎数の推移

—■— 牛N    - - - □ - - - 牛P    —●— 鶏N  
 - - - ○ - - - 鶏P    —▲— 化肥    —×— 無施肥

では化肥区と同等あるいはそれよりも多い茎数(穂数)が得られ、一方牛ふん堆肥を施用した区(牛N区と牛P区)では化肥区よりも少ない傾向が得られたが統計的に有意差はみられなかった。牛ふん堆肥を施用した区で生育が劣った理由として、想定していた30%という窒素無機化率よりも実際の無機化率が低かったためと考えられる。窒素栄養の指標と考えられる葉色を見ても、牛N区では他の処理区に比べ、生育期間を通して低く推移していた。牛P区では化学肥料を施用したため、窒素不足がある程度緩和されたものと考えられる。鶏ふん堆肥の窒素無機化率の想定はおおよそ合っていたと推察された。

表4に各処理区における有効茎歩合および収量構成要素を示した。有効茎歩合は78から88%と高く、処理区間での違いは見られなかった。牛P区、鶏N区、鶏P区の穂数は、化肥区と同程度、牛N区ではやや低い傾向にあったが、化肥区と有意差はなかった。 $\text{m}^2$ あたり粒数においても傾向は同様で、無施肥区以外では牛N区でもっとも低かった。有効茎歩合、登熟歩合、千粒重には統計的に有意差は認められなかった。玄米収量は化肥区の  $710\text{g m}^{-2}$  から無施肥区の  $506\text{g m}^{-2}$  の範囲にあり、牛N区、牛P区、鶏N区、鶏P区、化肥区の収量は統計的に有意な差はなかった。

3) 水稻の養分吸収量

牛P区、鶏N区、鶏P区の処理区で化肥区と同等の乾物重が得られた。牛N区では化肥区よりもやや低い傾向があったが、統計的に有意差はなかった。図2に各処理区における収穫期の窒素およびリン酸吸収量を示した。窒素吸収量については、牛P区、鶏N区、鶏P区で化肥区と同等の窒素吸収量を示した。牛N区の窒素吸収量は、化肥区よりも有意に低かった。リン酸吸収量についても同様の結果が得られ、牛P区、鶏N区、鶏P区で化肥区と同等、牛N区で化肥区よりも有意に低いリン酸吸収量を示した。これは、牛ふん堆肥の窒素無機化率が想定値よりも低く、窒素吸収量により乾物重が制限され、その乾物に見合うだけのリン酸が吸収されたためと考えられた。

牛N区、鶏N区における有効態リン酸の投入量はそれぞれ  $13.4, 13.8\text{gP}_2\text{O}_5\text{m}^{-2}$  と、牛P区、鶏P区の  $6\text{gP}_2\text{O}_5\text{m}^{-2}$  の2倍以上であるにもかかわらず、リン酸吸収量も乾物重も増加していなかった。このことから、有効態リン酸を過

表4 各処理区における水稻の有効茎歩合および収量構成要素

処理区	有効茎歩合 (%)	穂数 (本/ $\text{m}^2$ )	1穂粒数 (粒/穂)	$\text{m}^2$ あたり粒数 ( $\times 10^4$ 粒/ $\text{m}^2$ )	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米収量 ( $\text{g}/\text{m}^2$ )
牛N	85	$388 \pm 8\text{bd}$	$68.6 \pm 0.3\text{bc}$	$26.8 \pm 0.7\text{ab}$	$93.2 \pm 1.4\text{a}$	$23.2 \pm 0.1\text{a}$	$574 \pm 18\text{ab}$
牛P	84	$418 \pm 17\text{abc}$	$75.2 \pm 0.5\text{a}$	$31.4 \pm 1.4\text{a}$	$91.0 \pm 1.5\text{a}$	$23.2 \pm 0.1\text{a}$	$666 \pm 37\text{a}$
鶏N	78	$478 \pm 21\text{a}$	$67.3 \pm 1.5\text{bc}$	$32.0 \pm 1.7\text{a}$	$93.1 \pm 1.6\text{a}$	$22.9 \pm 0.1\text{a}$	$686 \pm 36\text{a}$
鶏P	87	$444 \pm 20\text{ab}$	$72.7 \pm 1.6\text{ac}$	$32.4 \pm 2.1\text{a}$	$91.1 \pm 1.7\text{a}$	$23.3 \pm 0.1\text{a}$	$687 \pm 48\text{a}$
化肥	84	$460 \pm 7\text{ab}$	$71.8 \pm 2.3\text{ac}$	$33.1 \pm 0.7\text{a}$	$92.9 \pm 1.8\text{a}$	$23.2 \pm 0\text{a}$	$710 \pm 14\text{a}$
無施肥	88	$349 \pm 12\text{cd}$	$68.3 \pm 1.0\text{bc}$	$23.7 \pm 1.2\text{bc}$	$91.0 \pm 1.9\text{a}$	$23.3 \pm 0.2\text{a}$	$506 \pm 31\text{bc}$

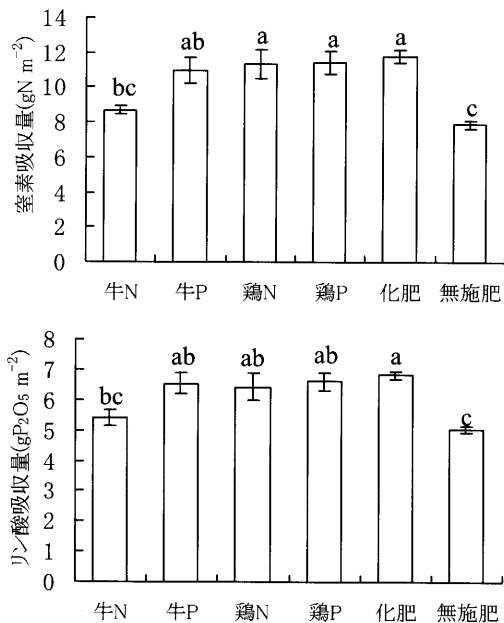


図2 各処理区における収穫期の水稻の窒素, リン酸吸収量

刺に施用してもリン酸吸収や乾物生産は増加することはない、過剰に施用されたリン酸は土壤に蓄積するものと考えられた。

#### 4) 土壤へのリン酸蓄積

図3に栽培前後における土壤の可給態リン酸含量(ブレイII準法)の変化を示した。鶏N区において、可給態リン酸は1.23から1.47gP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>kg<sup>-1</sup>に有意に増加していた。その他の区では、有意な増加は認められなかった。牛N区で有効態リン酸の投入量は過剰であるにもかかわらず、有意な増加はみられなかった。これは全リン酸投入量が鶏N区に比べ少ないためと考えられる。

以上のことから、黒ボク土水田での家畜ふん堆肥施用1年においては、リン酸ベースでの施用によって、水稻収量を維持しつつ、土壤へのリン酸蓄積を抑制できることが明らかとなった。

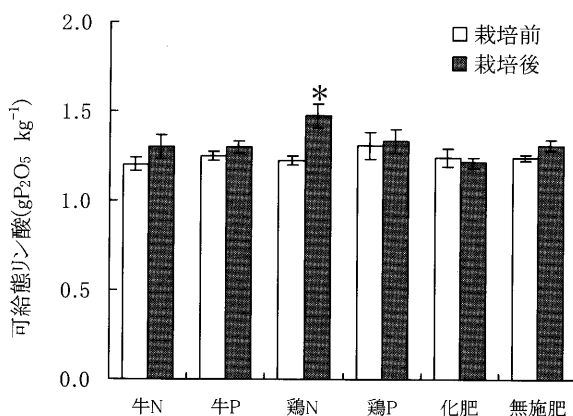


図3 栽培前後における土壤の可給態リン酸含量(ブレイII準法)の変化

\*は栽培前後の値がt検定(5%水準)によって有意差があることを表す。

#### 4. 要約

性質の異なる牛ふん堆肥および鶏ふん堆肥を窒素ベース、リン酸ベースで施用し、これらの堆肥施用が施用初年目の水稻収量および土壤のリン酸蓄積に及ぼす影響について明らかにした。

窒素ベース、リン酸ベースでの家畜ふん堆肥施用によって牛ふん堆肥Nベース区を除いて、化肥と同水準の玄米収量を得られることが明らかとなった。牛ふん堆肥施用区で生育がやや劣ったのは、窒素無機化率の想定が高かったことが原因であると考えられた。

鶏ふん堆肥Nベース区において作土の可給態リン酸の増加が施用初年目において観察されたが、リン酸ベースでの施用によって可給態リン酸の増加を抑制できることが明らかとなった。

黒ボク土水田での家畜ふん堆肥施用1年においては、リン酸ベースでの施用によって、水稻収量を維持しつつ、土壤へのリン酸蓄積を抑制できることが明らかとなった。今後は、連年施用条件下での堆肥施用による水稻収量と土壤リン酸蓄積量に対する影響を検討する予定である。

#### 4. 引用文献

- 1) 築城幹典・原田靖生(1997)我が国における家畜排泄物発生の実態と今後の課題, 環境保全と新しい畜産, 西尾道徳(監修), 農林水産技術協会, p15-29
- 2) 平成11年7月28日, 法律第112号: 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
- 3) 西尾道徳(2005)農業と環境汚染—日本と世界の土壤環境政策と技術—, 農山漁村文化協会, 215-217
- 4) B.Eghball, J.F. Power (1999) Phosphorus- and Nitrogen-Based Manure and Compost Applications, Soil Science society American journal, 63, 895-901
- 5) 日本ペドロジー学会編(2003)日本の統一的土壤分類体系—第二次案(2002)—
- 6) 土壤環境分析法編集委員会編(1997)土壤環境分析法, 博友社, 195-197, 263-264, 267-273
- 7) 日本ペドロジー学会編(1997)土壤調査ハンドブック改訂版, 博友社, 72-75
- 8) E.Frossard, P.Tekely and J.Y.Grimal (1994) Characterization of phosphate species in urban sewage sludges by high-resolution solid-state <sup>31</sup>P NMR, European Journal of Soil Science, 45, 403-408
- 9) 草地試験場(1983)草地試験場資料 No.58-2, 46-49
- 10) 棚橋寿彦・矢野秀治(2004)鶏ふん堆肥の窒素含量に基づく肥効推定法, 土壤肥料学会誌, 75, 2, 257-260
- 11) Toyoaki Ito, Tsuyosi Yokota and Masahiko Saigusa (2004) Relationship between phosphorus composition of animal manure composts and initial growth of dent corn (*Zea mays* L.), Proceedings International Symposium on Organics

- Recycling (ISOR) in Akita, JAPAN, 261-262
- 12) 水野直治・南松雄 (1980) 硫酸 - 過酸化水素による農作物中の N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法, 51, 418-420
- 13) 土壤環境分析法編集委員会編 (1997) 土壤環境分析法, 博友社, 233-241