

にしだ みずひこ

氏名（本籍地） 西 田 瑞 彦

学 位 の 種 類 博士（農学）

学 位 記 番 号 農第 734 号

学位授与年月日 平成 20 年 4 月 10 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 2 項

論 文 題 目 重窒素による直接的追跡手法を用いた水田における有機質資材の窒素動態に
関する研究

博士論文審査委員 （主査）教 授 南 條 正 巳

教 授 國 分 牧 衛

教 授 齋 藤 元 也

論文内容要旨

第1章 緒言

農業においては、作物残渣や家畜排泄物といった多様で大量の有機性廃棄物が生じる。これらは本来貴重な有機性資源であり、それを再び農業において利用し、なるべく循環的でしかもそれが生産性とも結びつく農業を進めていく必要がある。一方近年消費者においても、環境問題に対する意識の高まり、安全・安心な食品への志向などから、有機農産物に代表されるような有機性資源を活用した農産物の需要が高まっている。このような状況下で 2006 年 12 月に有機農業推進法が成立し、国を挙げて有機質資材を活用した農業を推進しようとしている。水田を含む農業生態系の中で循環的な有機質資材の利用を続けるためには、水田に施用された有機質資材由来窒素の動態に関する詳細な情報が不可欠である。

水田に施用された有機質資材由来の窒素動態は主に施用区と無施用区を比較する差引法によって推定され、有機質資材の窒素分解率はガラス繊維ろ紙法で推定されてきた。しかし、有機質資材そのものの窒素動態に注目した場合、これらの間接的な評価手法から得られる情報では十分ではなく、有機質資材由来窒素の水稲による吸収量、土壌残存量、またこれらの水稲生育期間中の経過、年次経過等の詳細は不明であった。有機質資材由来窒素の動態を把握するためには、重窒素 (^{15}N) を用いた直接的な窒素動態追跡法が有効である。そこで本研究では ^{15}N による直接的追跡手法を用いて水田に施用された有機質資材の窒素動態を明らかにしようとした。

第2章 ^{15}N 標識有機質資材を用いたガラス繊維ろ紙法における有機質資材の窒素残存率

ガラス繊維ろ紙法は圃場条件での有機質資材の分解率の測定法であり、一部の有機質資材については本手法を用いた評価値が施用基準の根拠にもなっている。しかし、 ^{15}N 標識法を用いてガラス繊維ろ紙法における有機質資材そのものの窒素収支が直接的に調べられたことはない。そこで、C/N 比の異なる 3 種類（小麦わら、稲わら、牛ふんオガクズ堆肥）の有機質資材をガラス繊維ろ紙法へ供試し、有機質資材を由来とする窒素の収支を評価した。

供試した全ての有機質資材において、窒素量と ^{15}N 存在比により評価された有機質資材の窒素残存率は異なった（図 1）。窒素量による小麦わらと稲わらの窒素残存率（ガラス繊維ろ紙法における窒素残存率とされているもの）は 310 日間の埋設期間を通じて 100% を超えていたが、 ^{15}N 存在比によると有機質資材由来窒素の消失が認められた。供試有機質資材の中で最も C/N 比の低い牛ふんオガクズ堆肥では、窒素量から求めた窒素残存率と ^{15}N 存在比から求めた窒素残存率は他の有機質資材よりも類似した値となった。窒素量および ^{15}N 存在比から求めた窒素残存率の結果から、ガラス繊維ろ紙筒外部からのろ紙筒内への窒素の流入と、ろ紙筒内からの窒素の消失が同時に起きていることが確かめられた。また、窒素量から求める有機質資材の窒素残存率と ^{15}N 存在比から求める有機質資材そのものの窒素残存率との相違の程度は、有機質資材の C/N 比に依存し、C/N 比の上昇に伴い大きくなり

得ることが示された。

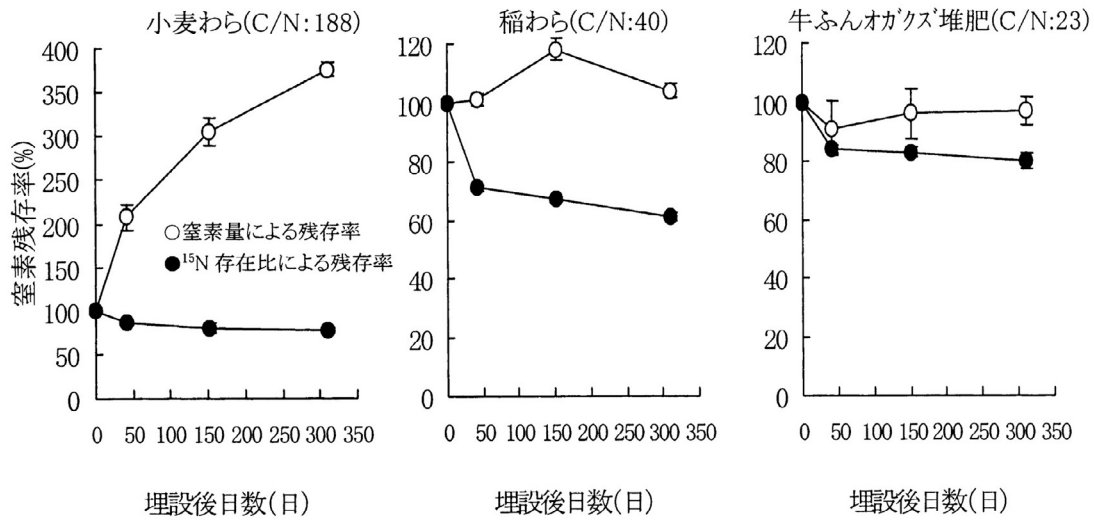


図1 ガラス繊維ろ紙法における¹⁵N標識有機質資材の窒素残存率の推移(エラーバーは標準誤差、埋設後42日目と153日目はn=4、埋設後310日目はn=5)

第3章 暖地水田に施用された多様な¹⁵N標識有機質資材由来窒素の水稲1作期間中の動態

暖地水田における多様な有機質資材の窒素動態を明らかにするために、7種類(牛ふんオガクズ堆肥、鶏ふん堆肥、豚ふん、稲わら堆肥、米ぬか、稲わら、小麦わら)の¹⁵N標識有機質資材を北部九州の水田に施用し、その窒素動態を調査し肥効率を評価した。

有機質資材の種類によって水稲による有機質資材の窒素吸収率に有意な違いが認められ

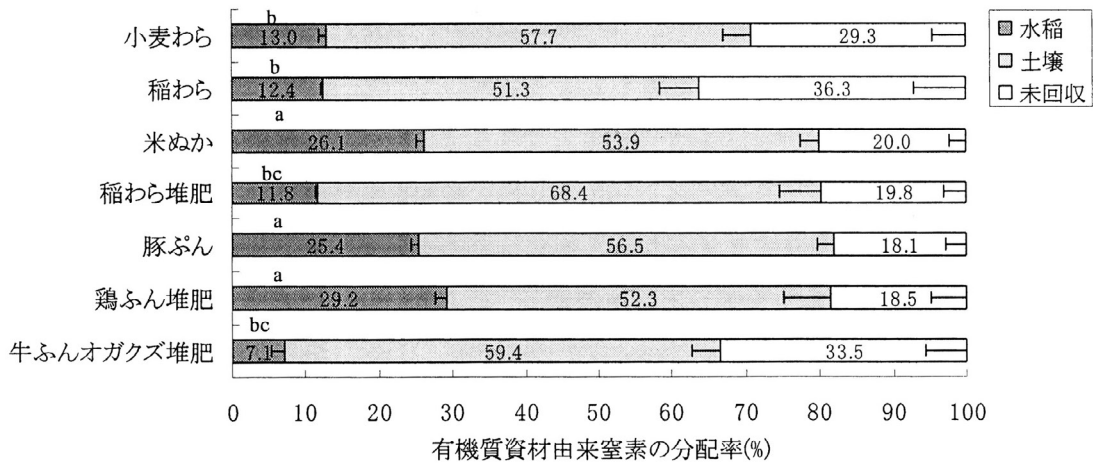


図2 水稲成熟期における有機質資材由来窒素の分配率(エラーバーは標準誤差、n=2) 水稲への分配で同符号間では有意な差はない、土壌、未回収では有意差は検出されなかった(Tukey-Kramer法、p<0.05)

た(図2)。成熟期における水稻による吸収率は、鶏ふん堆肥(29%)、豚ふん(25%)、米ぬか(26%)で他の有機質資材(6~13%)より有意に高かった。一方、最も吸収率が低いのは牛ふんオガクズ堆肥であった。¹⁵N 標識硫安の吸収率に対する各有機質資材の窒素肥効率を求めたところ、牛ふんオガクズ堆肥が 16~19%、鶏ふん堆肥は 81%で堆肥に含まれるアンモニア態窒素を除外すると 72%、豚ふんは 71%であった。作物残渣由来の有機質資材の肥効率は、稲わら堆肥が 25~31%、米ぬかは 73%、稲わらは 33%、小麦わらは 34%であった。有機質資材由来窒素の吸収は、牛ふんオガクズ堆肥と豚ふんでは水稻の全生育期間にわたり継続したが、他の有機質資材では移植後 54 日目以降はほとんどなかった。土壌残存率と未回収率については、供試有機質資材間で有意な違いは認められなかった。しかし稲わら堆肥、牛ふんオガクズ堆肥の残存率が高い、牛ふんオガクズ堆肥、稲わら、小麦わらの未回収率が高いといった傾向がみられた。

第4章 牛ふん堆肥との併用による ¹⁵N 標識有機質資材由来窒素の水稻による吸収過程の変化

最も大量に排泄される家畜排泄物は牛ふんであり、その農地での有効利用が求められている。そのひとつの方法として肥効の低い牛ふん堆肥と肥効の高い他の有機質資材との併用が提案されている。しかし、牛ふん堆肥とともに施用された硫安の肥効は変化することが報告されており、牛ふん堆肥とともに施用される有機質資材の肥効も変化する可能性がある。従って、牛ふん堆肥と併用した場合の ¹⁵N 標識米ぬかと ¹⁵N 標識豚ふん堆肥由来窒素の直播水稻による吸収過程を単用の場合と比較した。

牛ふん堆肥との併用条件では、供試した全ての ¹⁵N 標識資材、すなわち豚ふん堆肥、米ぬか、硫安由来窒素の水稻による吸収過程はそれらの単独施用の場合とは異なった(図3)。

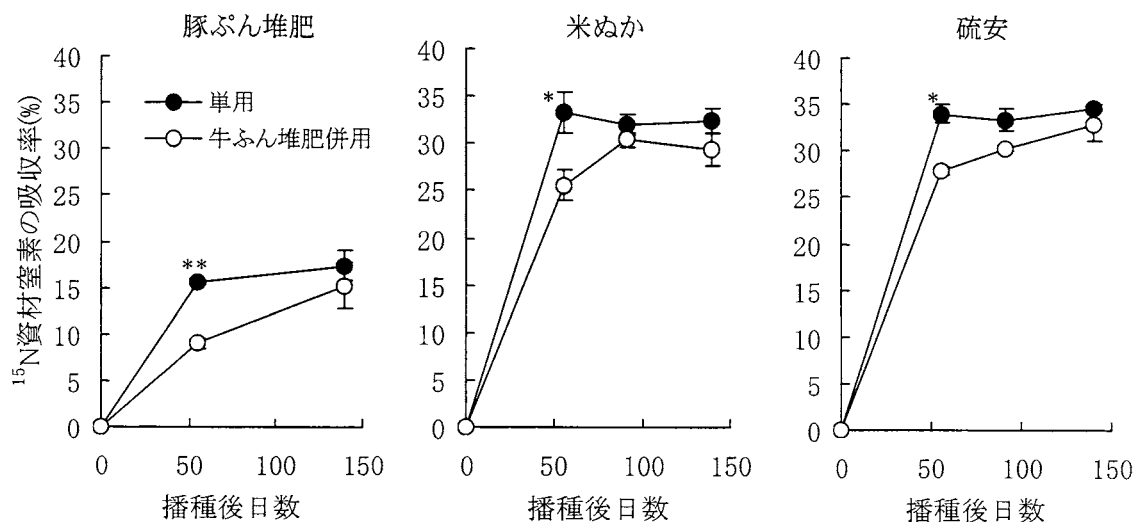


図3 水稻による¹⁵N資材窒素の吸収率(エラーバーは標準誤差、播種後55、91日目はn=2、播種後140日目はn=3)

* および**は同時期の窒素吸収率で有意差あり(* p <0.05, ** p <0.01)

分けつ期においては、牛ふん堆肥との併用によって¹⁵N 資材由来窒素の吸収率は単独施用の場合に比べて低下した。しかし、その吸収率の相違は生育の進行とともに小さくなり、成熟期では同等の吸収率となった。以上のことから牛ふん堆肥との併用によって、無機質肥料である硫酸のみならず、有機質資材である豚ふん堆肥、米ぬかも緩効化され得ることが明らかとなった。またその理由は、水稻の生育初期に豚ふん堆肥、米ぬかから無機化した窒素の一部が牛ふん堆肥との併用条件では再有機化し、その後その一部が再無機化して水稻に吸収されたためであると考えられた。

第5章 寒冷地水田に施用された¹⁵N 標識牛ふんオガクズ堆肥由来窒素の3年間の動態

寒冷地水田において¹⁵N 標識家畜ふん堆肥の窒素動態が研究されたことはなく、寒冷な気象条件下の水田における家畜ふん堆肥の窒素動態の詳細は未だ不明である。そこで、寒冷地水田における牛ふんオガクズ堆肥由来窒素の動態を明らかにする目的で、¹⁵N 標識牛ふんオガクズ堆肥（完熟）を施用し、その窒素動態を調査した。

水稻による堆肥由来窒素の吸収率（堆肥窒素吸収率）は各年2～3%であった（図4）。堆肥由来窒素は全生育期間を通じて水稻に吸収され続け、各年の堆肥窒素吸収率は幼穂形成期で1～2%、出穂期で2%、成熟期で2～3%であった。3年間の堆肥由来窒素の水稻による吸収経過（累積）と標準温度変換日数(25℃)の間には、有意な正の一次相関が認められた（図5）。堆肥窒素吸収率は、堆肥現物施用量1～4 kg m⁻²の範囲では同程度であった。以上のことから、寒冷地において完熟牛ふんオガクズ堆肥は、少なくとも3年間は水稻の安定した窒素源となることが明らかとなった。水稻3作後の堆肥由来窒素の収支は、7%が水稻に吸収され（累計）、66～69%が土壌に残存し、24～27%が未回収であった。

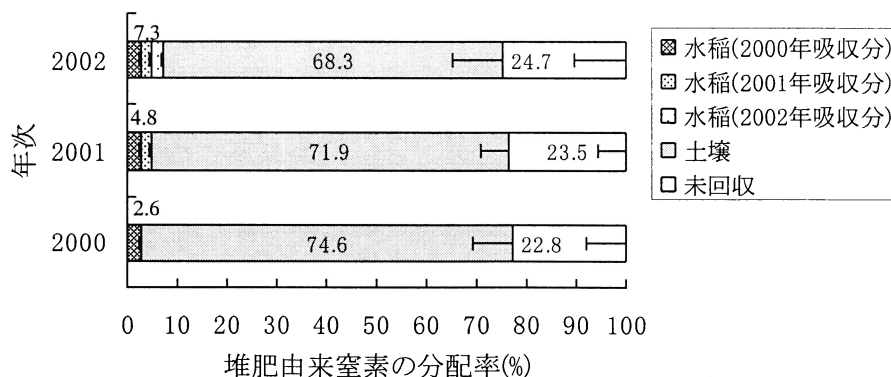


図4 堆肥2 kg m⁻²施用区における¹⁵N 標識牛ふんオガクズ堆肥由来窒素の各年次の成熟期における分配率(エラーバーは標準偏差、2000年はn=15、2001年はn=9、2002年はn=3、堆肥は2000年の作付け前に施用)

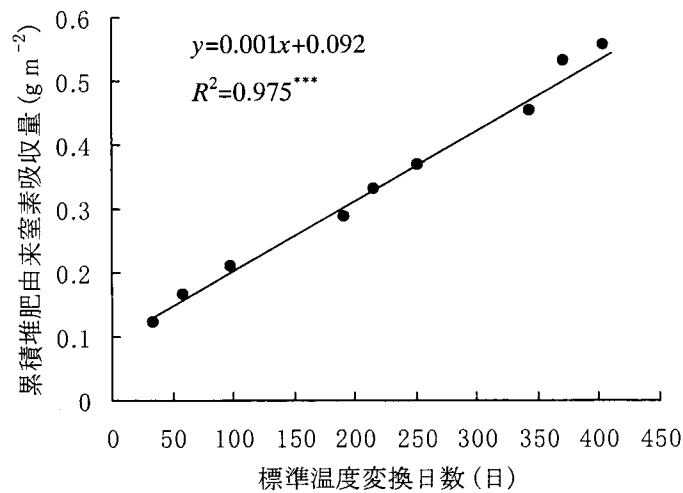


図5 全試験期間中(非作付け期間含む)の標準温度変換日数(25°C)と ^{15}N 標識牛ふんオガクズ堆肥由来窒素吸収量の累積値との関係

第6章 長期堆肥連用水田における ^{15}N 自然存在比 ($\delta^{15}\text{N}$ 値) の変化

自然条件での ^{15}N 存在比 ($\delta^{15}\text{N}$ 値) の違いを利用し、有機質資材の窒素動態を推定するための基礎的知見を得るため、長期間堆肥連用試験が行われてきた水田土壌とそこで用いられた堆肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値と窒素含量を調査し、長期にわたる土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変化と窒素源の $\delta^{15}\text{N}$ 値の関係を検討した。

家畜ふん堆肥は時期により製造方法、畜種が異なったが、それにより $\delta^{15}\text{N}$ 値は異なっていた (図6)。稲わら堆肥は1986年以前の堆積期間が1.5年でそれ以降では0.5年と異なるが、 $\delta^{15}\text{N}$ 値には有意な違いはみられなかった。家畜ふん堆肥が連用された土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値は上昇し、家畜ふん堆肥無施用土壌では低下傾向がみられた (図7上)。稲わら堆肥が連用された土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値はほとんど変化しなかったが、稲わら堆肥無施用土壌では低下した (図7下)。堆肥と窒素質肥料が長期間施用されなかった土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値の低下は、水田に天然供給される窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値が土壌よりも低いと推定された。 $\delta^{15}\text{N}$ 値の長期的推移か

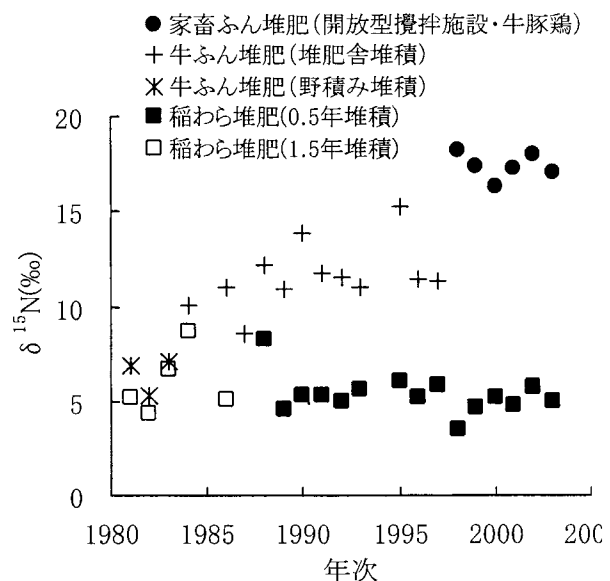


図6 長期連用試験に供試された堆肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値

ら、水田土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、化学肥料や有機物として施用される窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値およびその蓄積量の影響を受けることが明らかとなった。さらに、天然供給される窒素の影響も受けることが明らかとなった。

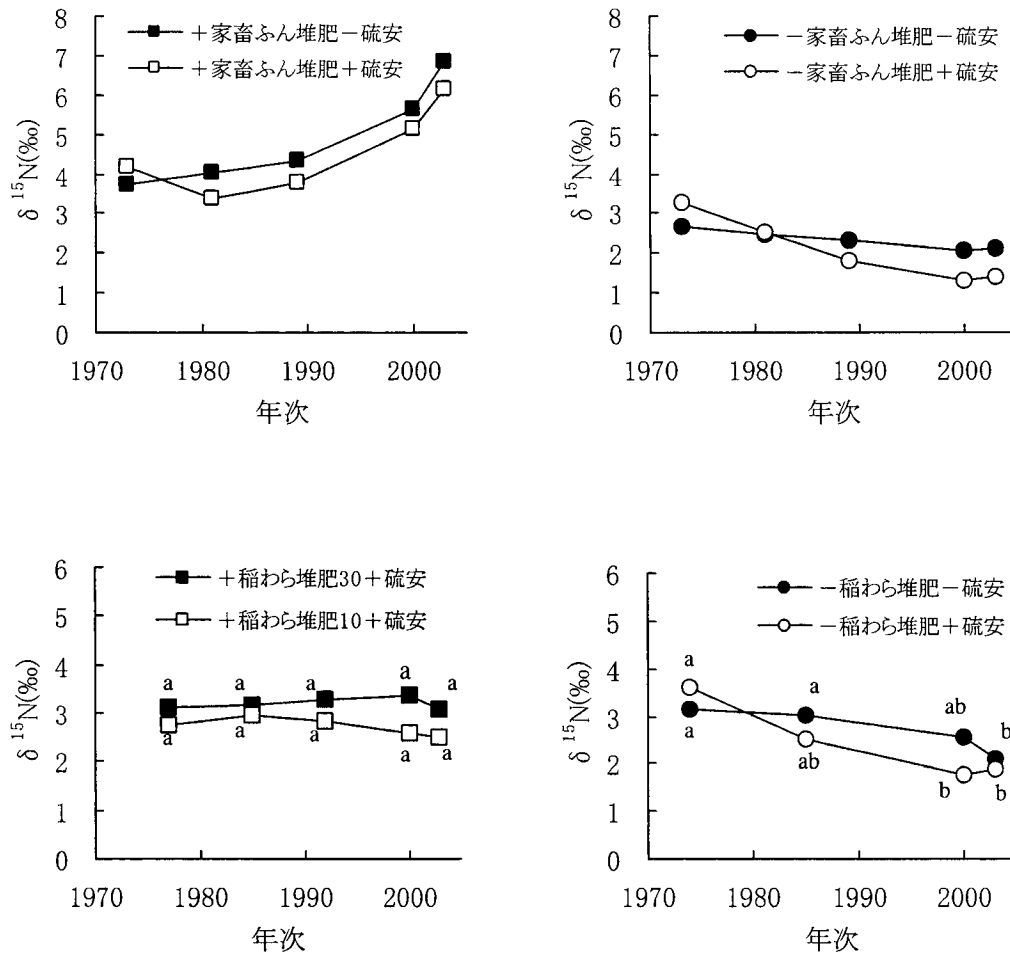


図7 長期連用試験土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値の推移(上:家畜ふん堆肥連用試験、下:稲わら堆肥連用試験
+:施用、-:無施用、「稲わら堆肥」の後の数値は堆肥施用量 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$)
稲わら堆肥連用試験の各処理区において同符号間で有意差はない(Tukey-Kramer法、 $n=2$ 、 $p<0.05$)

第7章 総合考察

ガラス繊維ろ紙法による有機質資材の窒素残存率は有機質資材由来窒素を表現しているとは限らないことが明らかとなった。C/N 比の低い有機質資材では、ガラス繊維ろ紙法の残存率とされている窒素量による残存率と ^{15}N 存在比による有機質資材由来窒素の残存率は

比較的近く、窒素量から求められる残存率／分解率でも実態に近いものを表していると考えられた。一方 C/N 比の高い有機質資材については、分解率が過小評価され残存率が過大評価されるので、作物への影響や土壌への蓄積を評価するためには栽培条件での ^{15}N 標識有機質資材の施用試験が有効であると考えられた。

暖地水田における ^{15}N 標識有機質資材の施用試験による窒素の肥効率に基づくと、有機質資材を主たる窒素源として水稻を栽培するためには、稲わら堆肥や米ぬか等の作物残渣由来の有機質資材を主体とすると大量のわらや米ぬかが必要となる。必要量の有機質資材を確保することを考えると、家畜ふん堆肥を主体とし必要に応じて米ぬか等を併用するのが適当と考えられた。牛ふん堆肥は窒素肥効が低く、堆肥の分解が早い暖地であっても連用が必要と判断された。鶏ふん堆肥はそれだけで慣行栽培における水稻の窒素吸収量を賄うことが可能と考えられた。

寒冷地水田においては、牛ふんオガクズ堆肥の窒素肥効は暖地よりも低く、一定の収量を得るために必要な連用年数は暖地よりも多くなると考えられた。また、その年数は 3 年程度では不十分であると判断された。

施用した窒素源の水田土壌中での窒素動態に伴う $\delta^{15}\text{N}$ 値の変化、土壌中の窒素源と水稻の $\delta^{15}\text{N}$ 値の関係について解析が進めば、特に家畜ふん堆肥のように土壌との $\delta^{15}\text{N}$ 値の違いが大きい有機質資材については、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いてその窒素動態を追跡できる可能性はあると考えられた。

論文審査結果要旨

農地への有機質資材の適切な投入は地力維持、畜産廃棄物の循環と有効利用の観点から重要である。水田においても良質な有機質資材の投入は生産力の維持向上に有益である。しかしながら、有機質資材はその原料等による成分含量や養分の放出経過に関する変動が少なくない。特に水稻生育に影響の大きい窒素の有効化過程については、減化学肥料栽培、有機農業に対する市場からの要望が高まるにつれて、精度の高い制御が求められつつある。

これまで、有機質資材に含まれる窒素の放出経過は、作土中に有機質資材と土壌の混合物をガラス繊維濾紙に入れて埋設し、経時的に取り出して分析する方法が用いられてきた。土壌中では有機質資材は微生物による分解と微生物体の増殖が同時に進行し、そのバランスは有機質資材の C/N 比等の性質に影響される。当論文では有機質資材を ^{15}N で標識することにより分解の過程を解明した。その結果によると、窒素の全含量は有機質資材の C/N 比が大きい場合には一旦窒素含量が増加する段階を経て分解方向に向かうが、施与時に含まれていた窒素は単調に減少することが定量的に明らかになった。

わが国は南北に長く、地温にも幅が大きく、有機質資材の分解は生物活動によるので環境条件の影響を受ける。次に、牛ふんオガクズ堆肥、鶏ふん堆肥等 7 種類の ^{15}N 標識有機質資材を暖地である九州北部の水田に施与し、水稻による有機質資材由来の N 吸収率は鶏ふん堆肥、豚ふん、米ぬかでは 29~26% と他の有機質資材 (6~13%) より高いことを明らかにした。しかし、牛ふんオガクズ堆肥、豚ふん以外の有機質資材では水稻の生育中期までに窒素放出をほとんど終了することも示された。

以上のように有機質資材には分解過程に違いがあるため、使用目的と得られる資材によっては調節が必要な場合もある。そこで、分解が遅く肥効の長い牛ふん堆肥と吸収過程の速い豚ふん堆肥や米ぬかを組み合わせることにより、窒素の肥効を緩効化することも ^{15}N 標識資材により確認された。

暖地水田における検討を基に、 ^{15}N 標識牛ふんオガクズ堆肥由来の窒素の肥効を検討し、寒冷地水田における 3 年間の窒素肥効は各年 2~3% と暖地水田に比べて低く、地温の影響を受けた。しかし、年次毎の肥効は低いが、少なくとも 3 年間は安定して肥効が継続した。

以上のように本論文では多様な ^{15}N 標識有機質資材を用いて幅広い水田条件における有機質資材由来の窒素の動態が解明された。これらの知見は有機質資材を循環多用する農業において有用であり、高く評価される。よって、審査員一同は、本論文の著者が博士（農学）の学位を授与されるに相応しいと判定した。