

# 土壌中の窒素動態の土壌タイプによる違いと 有機質資材施用の影響について

西尾 隆\*

Difference in N Transformations in Various Types of Soils,  
and Effect of Applied Organic Materials on N Dynamics

Takashi NISHIO

\* National Agricultural Research Center for Tohoku Region, 4 Akahira,  
Shimo-kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0198, Japan

## Abstract

Difference in N transformations in 4 types of soils, and effect of applied organic materials on N transformations were investigated in experiments using  $^{15}\text{N}$  as a tracer. The rates of nitrification and N immobilization were conspicuously different by the soil types, and the total amount of immobilized N in each soil was predictable by using the rates of nitrification and immobilization determined by the incubation experiments.

The organic materials such as dried hog feces and wheat straw enhanced N immobilization by microorganisms, which resulted in depressing N absorption by crops as well as mitigating the risk of nitrate leaching. It was demonstrated quantitatively that combined use of chemical fertilizer and organic materials did not always diminish the amount of nitrate leaching due to comparative large amount of applied N in comparison with the sole application of chemical fertilizer.

**Key words** : N immobilization, Nitrification,  $^{15}\text{N}$ , soil type, organic materials

## 1. はじめに

近年、農耕地への窒素投入量の増加に起因する硝酸態窒素の環境負荷の増大に関して、溶脱メカニズムを解明・把握し、シミュレーションモデルを用いて窒素負荷量を予測するための研究が盛んに行われている。しかし、一般的に地上部の作物窒素吸収量の予測に比べ、地下への窒素溶脱量の予測精度ははるかに劣る結果となっている (de Willigen, 1991)。予測精度が低い原因としては、マクロポアを通してのプレファレンシャルフロー等の現場の物理的過程の複雑さをメカニスティックモデルで的確に表現できないことが一つの原因と考えられるが (Bergstrom and Brink, 1991)、それに脱窒の評価も加えて総合的に硝酸態窒素の動態を把握する必要があるとされている。また、Vereecken *et al.* (1991) は、5種類のシミュレーションモデルの比較を行い、モデルの予測

精度を高めるには、蒸発散、無機化、脱窒に関する予測をもっと改善する必要があると結論している。

土壌中の窒素循環過程のうち微生物が関与するものの中で、脱窒はわずかな土壌条件、気象条件等の違いにより大きく変動することで最も定量性、予測性に乏しい (Robertson, 1988) が、概して普通に管理された畑土壌からの窒素損失のメカニズムとしては脱窒よりも溶脱の方の寄与率が高い (Nishio *et al.*, 2002) と考えられる。従って、無機化、有機化、硝化に伴う窒素の形態変化とそれらが土壌の窒素溶脱に及ぼす影響についての的確に把握することができれば当面のモデルの解析の予測精度の向上につながる可能性が高いと考えられる。

関連する過程の相互関係を図-1に簡単に示したが、土壌微生物バイオマスを中心とした土壌内での窒素フローが一つの重要な核を形成しており、各種要因との関係で整理、体系化が必要である。そこで本報告では、 $\text{NO}_3^-$  溶

\* (独)東北農業研究センター 〒020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平4

キーワード : 窒素有機化, 硝化,  $^{15}\text{N}$ , 土壌タイプ, 有機質資材

脱に大きく影響を及ぼすと考えられる要因のうち、土壌タイプと有機質資材施用の二要因を選び、土壌微生物作用に及ぼすそれらの影響に着目しながらいくつかのモデル実験や圃場試験を実施したので、その結果を紹介する。

2. 土壌タイプと施肥窒素の硝化、有機化との関係

畑土壌に施用したアンモニア態窒素の硝化と有機化量の土壌タイプによる差を明らかにし、定量的な予測の基礎データを得るために、重窒素で標識した硫酸アンモニウムを添加した土壌の窒素形態変化の経時的推移を求める長期インキュベーション実験を行った(西尾・荒尾, 2002)。典型淡色黒ボク土, 多腐植質厚層黒ボク土, 細粒質普通灰色低地土, 細粒質台地黄色土の4種類の土壌に対して、重窒素標識硫酸アンモニウム (31.2 atom% <sup>15</sup>N)

を 200 mgN kg<sup>-1</sup> 或いは 2,000 mgN kg<sup>-1</sup> 添加して、温度 25℃, 最大容水量の 60% で最長 180 日間インキュベーション実験を行った。また、重窒素同位体希釈法を用いてそれぞれの土壌の無機化、有機化、硝化速度を測定した。

土壌タイプによる硝化速度を比較すると、アンモニア態窒素の添加量によらず淡色黒ボク土>厚層黒ボク土>灰色低地土>台地黄色土の順に速かった。また、土壌中にアンモニア態窒素が残存している条件下では、2種の黒ボク土の有機化速度は、灰色低地土や台地黄色土よりも速かった。硫酸アンモニウム添加量 2,000 mgN kg<sup>-1</sup> の時には、180 日後になっても総ての土壌でアンモニア態窒素が残存していたため、2種類の黒ボク土で有機化量がアンモニア態窒素施用量の 5.2% まで増加したが、台地黄色土では 1.4% 止まりであった。しかし、硫酸アンモニウム添加量 200 mgN kg<sup>-1</sup> の場合は、台地黄色土以外の土壌ではアンモニア態窒素のほとんどが 20 日以内に硝化され土壌中からほぼ消失した。アンモニア態窒素が消失した土壌では窒素有機化量が施用量の 3% 前後で停止し、その後時間と共に緩やかに減少に転じるような推移を示したことから、アンモニア態窒素消失後の有機化は無視できると推察された。最後までアンモニア態窒素が残っていた台地黄色土では、有機化量はインキュベーション終了時まで継続し、90 日後には施用量の 12% 以上まで増加した(表-1)。

重窒素同位体希釈法で求めた土壌の有機化速度と、長期インキュベーション実験で土壌にアンモニア態窒素が残存した期間との積をとると、同実験の最終的な重窒素標識窒素有機化量と、高い相関関係が得られた。従って、単純な室内培養実験系では、それぞれの土壌タイプの有機化速度と硝化速度から有機化量が推定できると考えられた。また、アンモニア態窒素が残存している限り、窒素有機化量がバイオマス窒素の値を超えても、なお着実に増加して行くことから、いったん微生物に取り込まれ

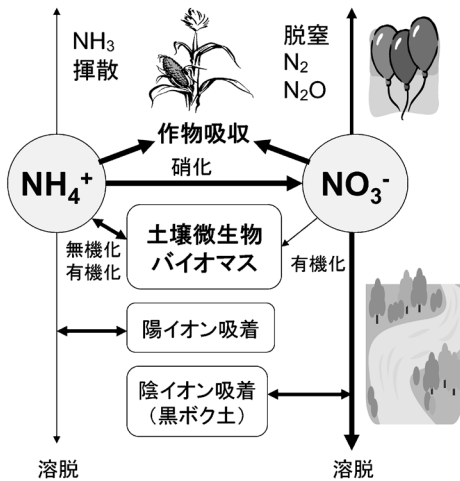


図-1 畑土壌からの無機態窒素溶脱に関する化学・生物的要因

Fig. 1 Chemical and biological factors affecting N leaching from soil.

表-1 土壌培養実験における重窒素有機化量

Table 1 The amount of <sup>15</sup>N immobilized in soils in the incubation experiments

窒素施用量	窒素有機化量 (mg N kg <sup>-1</sup> )		有機態窒素 (g N kg <sup>-1</sup> )	バイオマス窒素 (mg N kg <sup>-1</sup> )
	200 mg N kg <sup>-1</sup> (90 日後)	2000 mg N kg <sup>-1</sup> (180 日後)		
淡色黒ボク土	5.6 ( 2.8)	103.6 (5.2)	4.01	39.7
厚層黒ボク土	5.7 ( 2.9)	103.3 (5.2)	5.45	44.8
灰色低地土	6.4 ( 3.2)	71.5 (3.6)	1.76	26.2
台地黄色土	24.3 (12.2)	28.0 (1.4)	0.99	30.0

\* ( ) 内の数字は全窒素施用量に占める割合 (%)

表-2 土壌中の全窒素及びバイオマス窒素に占める<sup>15</sup>N 標識肥料由来画分の割合Table 2 The amount of total N and biomass N in soil, and ratio of the N originated from <sup>15</sup>N-labelled fertilizer

(トウモロコシ収穫後採土 2000 年 8 月)

土壌有機物	全窒素 (g N kg <sup>-1</sup> )		<sup>15</sup> N 肥料由来 (mg N kg <sup>-1</sup> )		( <sup>15</sup> N 肥料/全体) (%)
		SD		SD	
無施用区	3.03	0.16	15.00	1.30	0.50
麦わら区	3.13	0.00	30.44	14.22	0.97
なたね区	3.22	0.04	22.58	2.34	0.70
乾燥豚糞区	4.86	0.61	49.20	21.89	1.01
牛糞堆肥区	3.47	0.33	11.17	0.94	0.32
植物堆肥区	3.62	0.17	10.32	1.35	0.29
土壌微生物	バイオマス N (mg N kg <sup>-1</sup> )		<sup>15</sup> N 肥料由来 (mg N kg <sup>-1</sup> )		( <sup>15</sup> N 肥料/全体) (%)
		SD		SD	
無施用区	15.41	10.32	0.25	0.02	1.60
麦わら区	18.62	9.52	1.16	0.19	6.23
なたね区	32.30	5.05	1.16	0.12	3.60
乾燥豚糞区	92.66	32.42	4.94	0.95	5.34
牛糞堆肥区	32.67	5.16	0.72	0.06	2.20
植物堆肥区	26.07	11.32	0.21	0.03	0.82

た窒素が、死菌体残さ、空の孢子等として蓄積したり、或いは腐植化したりしている可能性が考えられた (Mueller *et al.*, 1998)。

### 3. 各種有機質資材施用下における窒素の有機化と微生物バイオマスの変動

畑土壌への有機質資材施用が、施肥窒素の有機化と再無機化、及び作物の窒素吸収利用等に及ぼす影響を解明するために、麦わら、青刈りなたね、牛糞堆肥、乾燥豚糞、植物堆肥の5種の有機質資材をそれぞれ<sup>15</sup>N 標識施肥窒素と合わせて同時に施用し、<sup>15</sup>N の行方を調査した (Nishio and Oka, 2003)。淡色黒ボク土を充填した人工コンクリート枠圃場に、2000年に夏作としてトウモロコシ、冬作として小麦を栽培した。トウモロコシの基肥として 10 g N m<sup>-2</sup> の重窒素標識硫酸アンモニウム (5.5 atom% <sup>15</sup>N) を用い、各試験区ごとに異なる有機質資材と組み合わせて施用した。作物収穫後、窒素吸収量とそれに占める<sup>15</sup>N 標識窒素の割合を求めるとともに、土壌中の<sup>15</sup>N の分布を調査した。なお、冬作の小麦に関しては、施肥窒素は非標識の硫酸アンモニウムを基肥 6 g N m<sup>-2</sup>、追肥 2 g N m<sup>-2</sup> 施用した。

トウモロコシと小麦の窒素吸収量は、窒素投入量の多かった試験区で増加し、特に乾燥豚糞が最も高い値と

なった。小麦収穫後に土壌を採取して土壌中の<sup>15</sup>N 標識施肥窒素の分布 (0-30 cm) を見たところ、植物堆肥区や牛糞堆肥区では有機物無施用の対照区と施肥窒素の有機化量が余り変わらなかったが、乾燥豚糞区では著しい土壌微生物バイオマスの増加を伴って施肥窒素の有機化が進み、表層 30 cm に<sup>15</sup>N 施肥量の 25% 余りが残存していた。土壌に有機化された<sup>15</sup>N 量は、土壌微生物バイオマス中の窒素量とほぼ同レベルの量であったが、バイオマス窒素中に占める<sup>15</sup>N 施肥由来の窒素の割合は 10% 以下であった。また、土壌全窒素に占める<sup>15</sup>N 肥料由来窒素の比率は 1% 以下だったのに比べ、バイオマス窒素中の<sup>15</sup>N 肥料由来窒素の比率は概ねそれより 1 桁高い値を示した。麦わら添加区ではバイオマス窒素量が施用区とほとんど変わらなかったが、バイオマス窒素中の<sup>15</sup>N 含有率は最も高い値を示し、小麦収穫後土壌では 10% 近くになった (表-2)。

この試験により得られたデータから土壌中の微生物バイオマス増加と作物の窒素吸収の関係について、図-2 に示す結果が得られた。図-2 の左側は、各試験区のトウモロコシ収穫直後の土壌の土壌微生物バイオマス N に対して、作物の吸収した窒素量を土壌・有機質資材由来と重窒素で標識した化学肥料由来の部分に分けてプロットしたものである。土壌・有機質資材由来部分は土壌バイオ

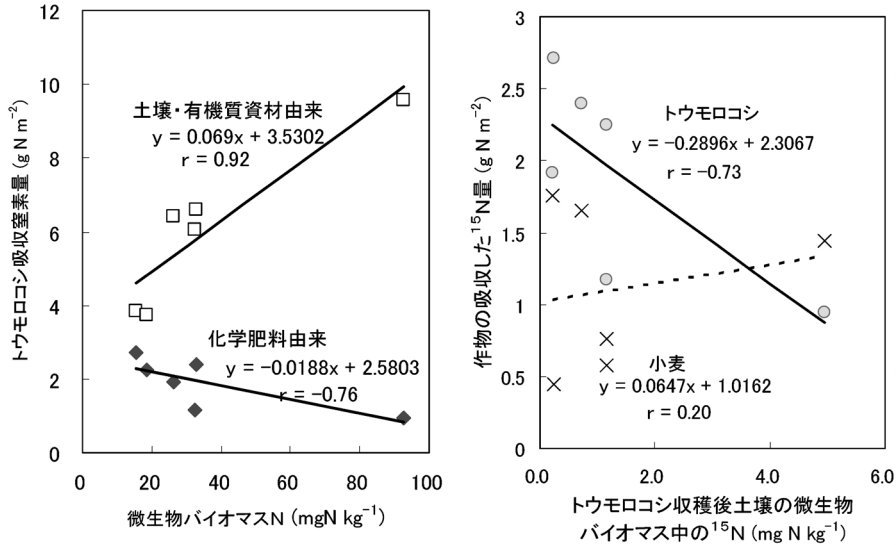


図-2 土壌微生物バイオマス N と作物の窒素吸収の関係

Fig. 2 Relationships between microbial biomass N and amount of N absorbed by crops.

オマス量に正の相関関係を示しているのに、化学肥料由来部分はむしろ負の相関関係となっている。これは易分解性の部分を多く含む土壤中で活発に分解する乾燥豚糞やナタネの施用下では、それぞれの有機物からの無機化量に応じて窒素が微生物バイオマスと作物の両者へ取り込まれていったのに対し、化学肥料として施用された一定量の窒素の吸収は、微生物と作物の窒素を巡る競争が起こった結果、微生物バイオマスの増加によって作物吸収が抑制される傾向にあったことを示している。また、右図を見ると、やはり土壌微生物に取り込まれた<sup>15</sup>N量とトウモロコシの吸収した<sup>15</sup>N量は負の相関関係と示しているのに対して、次作の小麦が吸収した<sup>15</sup>N量との間には顕著な相関関係が認められなかった。これは、一作目に微生物に取り込まれた<sup>15</sup>Nが次作物の小麦に必ずしも効率的に利用されなかったことを示唆している。

#### 4. 肥効率を勘案した有機質資材-化学肥料併用下における土壌中の窒素収支

有機質資材の肥効率及び肥料代替率を勘案して作物への窒素供給効果を同等に合わせるように施肥設計をした化学肥料・有機物併用区と化学肥料単用区の土壌-作物系の窒素収支および動態を比較した(西尾・三浦, 2004)。淡色黒ボク土, 灰色低地土, 台地黄色土の3種の土壌について、それぞれ(1)化学肥料区, (2)牛糞堆肥区, (3)乾燥豚糞区を設け、それぞれの試験区に化学肥料として施肥した<sup>15</sup>N標識硫酸アンモニウムの行方から窒素収支を

求めた。施肥設計としては、牛糞堆肥と乾燥豚糞の肥効率をそれぞれ30%と60%と仮定し、肥料代替率としては牛糞堆肥で30%(化学肥料45 kg N ha<sup>-1</sup>相当量)、乾燥豚糞で60%(化学肥料90 kg N ha<sup>-1</sup>相当量)を満たすように施用量を定めた。その結果、窒素投入量としては牛糞堆肥区が最も多くなり、264 kg N ha<sup>-1</sup>と化学肥料区の1.8倍となった(乾燥豚糞区は1.4倍)。

各試験区の<sup>15</sup>N標識硫酸アンモニウム施用量に占める作物吸収利用率は30~40%内外で大きな差がなく、土壌の種類、有機質資材併用による特段の傾向は認められなかった。また、トウモロコシの収量、窒素吸収量等に関して、淡色黒ボク土が多少低めであったものの、施肥・有機物処理により大きな差異はなかった。しかし、<sup>15</sup>N標識窒素の土壌有機態窒素への移行割合は、乾燥豚糞区が他の試験区よりも約15~30ポイント高く、土壌別には淡色黒ボク土の値が高いのと合わせ明確な傾向が認められた(図-3)。化学肥料区や牛糞堆肥区では、未回収の<sup>15</sup>Nが土壌に残存している<sup>15</sup>Nよりも大幅に多かったのと比べ、乾燥豚糞区では<sup>15</sup>N土壌残存量が未回収量より多いか同レベルであった。牛糞堆肥区では、添加した有機質資材は一作経過しても微生物に有機化されずに土壌中に残存している部分が多いのに対し、乾燥豚糞区では乾燥豚糞中の窒素の無機化と微生物有機化を経て多くの部分が形態を変えて土壌中に残存していることが推察された。

上記の初年度の試験では有機質資材中の窒素に由来す

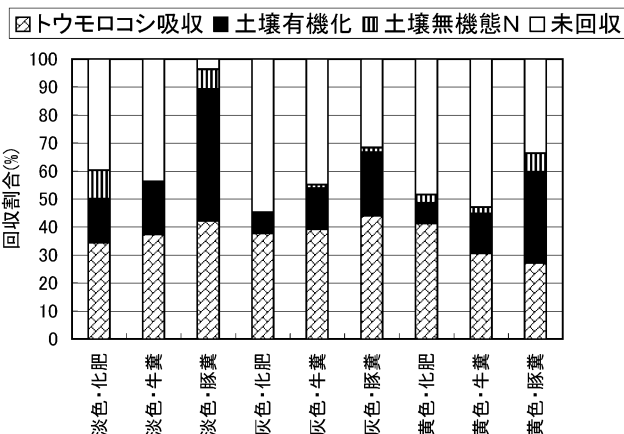


図-3  $^{15}\text{N}$  標識施肥窒素のトウモロコシ収穫時における分布

Fig. 3 Recovery of  $^{15}\text{N}$ -labelled fertilizer at harvest of maize.

る溶脱量の評価ができなかったため、次年度には、トウモロコシの時と同様の肥効率換算法等を用いてニンジンへの窒素供給量が概ね同等となるように化学肥料区、牛糞堆肥区および乾燥豚糞区を設定し、作物収量・窒素吸収量、窒素収支、土壌溶液中硝酸態窒素濃度に及ぼす施肥処理と土壌タイプの影響を検討した（土壌タイプとして新たに上記3土壌に厚層黒ボク土を加えた。窒素施肥には尿素を用い、化学肥料  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ 、もしくはそれと同等の肥効になるように有機質資材施用量を調整した。ただし、この試験では乾燥豚糞の肥効率を50%と仮定した。）（三浦・西尾, 2004）。

全収量と乾物重は黄色土と灰色低地土の牛糞堆肥区と乾燥豚糞区で比較的高く、窒素吸収量は施肥処理に関わらず、黄色土と灰色低地土で高くなった。一方、作付期間中の深さ60 cmでの土壌溶液中硝酸態窒素濃度は、土壌タイプ間では黄色土と灰色低地土、処理別には牛糞堆肥区で最も高かった。厚層黒ボク土および淡色黒ボク土の土壌溶液中硝酸態窒素濃度は比較的低く、その原因として両土壌の保水性が高いこと、及び硝酸イオン吸着能の高いことが考えられた。また、乾燥豚糞区で濃度が低い理由としては、トウモロコシの時と同様に有機化が促進されたためと推察された。以上より、乾物重と窒素吸収量は作付期間中の深さ60 cmの土壌溶液中硝酸態窒素濃度平均値と関連性が認められ、二次曲線を用いた回帰式で関係づけられた（図-4）。また、土壌及び有機質資材の室内培養実験による窒素無機化の速度論的解析を用いてニンジン作付け期間における窒素供給量（土壌窒素+有機質資材窒素+尿素）を推定し、作物窒素吸収量と無機態窒素土壌残存量との差し引きから求めた無機態窒素

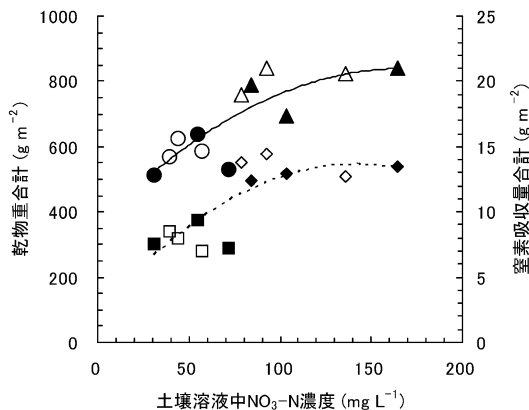


図-4 深さ60 cmにおける土壌溶液中硝酸態窒素濃度と乾物重および窒素吸収量の関係

Fig. 4 Relationship between dry matter production (or N absorbance) of carrot and nitrate in soil solution collected at a 60 cm depth.

土壌溶液中  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度は、作付期間中（7～11月）の平均値。

— 土壌溶液中  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度と乾物重合計（2次回帰曲線をあてはめた場合の決定係数  $R^2=0.69$ ）。

●厚層黒ボク土, ○淡色黒ボク土, ▲黄色土, △灰色低地土。

----- 土壌溶液中  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度と窒素吸収量合計（2次回帰曲線をあてはめた場合の決定係数  $R^2=0.64$ ）。

■厚層黒ボク土, □淡色黒ボク土, ◆黄色土, ◇灰色低地土。

表-3 有機質資材連用土壌\*\*の全C・N含有量, 微生物バイオマス量, C・N無機化量 (1997年7月)

Table 3 Contents of total C and N, biomass C and N, and mineralization rate of C and N in soils where constant amount of organic materials were applied every year

場所	施用量* t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>	全炭素量 gC kg <sup>-1</sup>	バイオマスC量 mgC kg <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> 発生量 mgC kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	全窒素量 gN kg <sup>-1</sup>	バイオマスN量 mgN kg <sup>-1</sup>	窒素無機化量 mgN kg <sup>-1</sup> 4w <sup>-1</sup>
つくば	0	38.0	223	3.7	3.43	20.9	26.7
	20	43.6	252	7.1	4.11	27.4	31.8
	40	55.7	320	6.5	5.41	39.3	41.1
	80	76.2	473	15.6	7.63	76.0	71.1
芽室	0	31.6	180	4.0	2.83	26.0	20.2
	10	36.6	210	6.5	3.28	26.1	30.0
	20	34.7	142	7.6	3.13	25.1	23.2
	30	34.1	223	8.1	3.19	33.3	34.1
都城	60	50.2	211	7.5	4.16	35.7	28.7
	150	54.3	350	11.5	4.70	55.0	42.1
	300	59.7	447	15.1	5.34	70.3	52.9
豊橋	0	7.0	50	0.8	0.98	4.7	1.8
	10	17.2	199	1.9	1.94	14.8	8.0
	20	26.1	333	3.0	2.76	26.8	13.8
	30	39.8	602	11.5	4.12	70.0	27.2
	40	45.0	900	14.7	4.72	65.4	37.2

\* 豊橋の施用量は乾物重量, 他は現物重量

\*\* 施用有機質資材: つくば~植物堆肥, 芽室~家畜糞堆肥, 都城~液状厩肥, 豊橋~稲わら堆肥

収支からも, 灰色低地土や台地黄色土で窒素溶脱量が多いことが推察された。

### 5. 有機質資材連用土壌における土壌窒素と微生物性の変動

北海道・芽室, 茨城・つくば, 愛知・豊橋, 宮崎・都城で行われている有機質資材長期連用試験土壌の窒素含有量, バイオマス窒素, 窒素無機化量 (30°C, 4週間の室内培養実験) 等を炭素含有量やCO<sub>2</sub>発生量と合わせて測定し有機質資材連用効果を比較した。各土壌において有機物施用量の増加と共に, C, N含量, CO<sub>2</sub>発生量, N無機化量とも増加していた (表-3)。それぞれの測定項目について無施用区に対する指数をとるとバイオマス窒素や窒素無機化の増加割合の方がトータルの窒素含有量の増加割合よりも大きかった。有機質資材長期連用圃場では, 単に有機物量, 窒素含量等が量的に増加するだけでなく, 土壌全窒素含量当たりのバイオマス窒素量や窒素無機化量の比率も有機物施用量の増加に伴って増加することから, 連用の影響を適正に評価するためには土壌有機物に関する質的な変化や土壌微生物の増加も考慮する必要があると推察された (図-5)。

### 6. 考察とまとめ

一般的に畑土壌への化学肥料の単用は長期的に見て土壌窒素富化や微生物バイオマスの増加にはほとんど寄与しないとされるが, 土壌タイプによる硝化, 有機化等で見てきたとおり条件次第では施肥量の5~10%程度は土壌に有機化されることが示された。この量は, 作物吸収量や溶脱量に比べれば少ないが, 少なくとも作物残根や刈り株等に匹敵する窒素量には相当するので, 土壌の長期的な肥沃度管理上は無視できない量と考えられる。前述の結果から推察すれば, 特に黒ボク土のような硝化の速い土壌に全層施肥をすることは, 作物の肥料利用率が低下するだけでなく, 有機化量も減少することで土壌窒素の脊薄化にもつながるかもしれない。土壌の初期アンモニア濃度と硝化の進み具合に関しては, シミュレーションモデルによる予測もなされているので (McLaren, 1970, 1971; Nishio and Fujimoto, 1990; 西尾・藤本 1994), 室内実験レベル, 或いはカラム試験レベルでは本報告の予測法と組み合わせて有機化量の予測も可能と考えられるが, 現実の圃場では作物窒素吸収や水移動があるので簡易な実用的モデルの開発にはまだ距離がある。

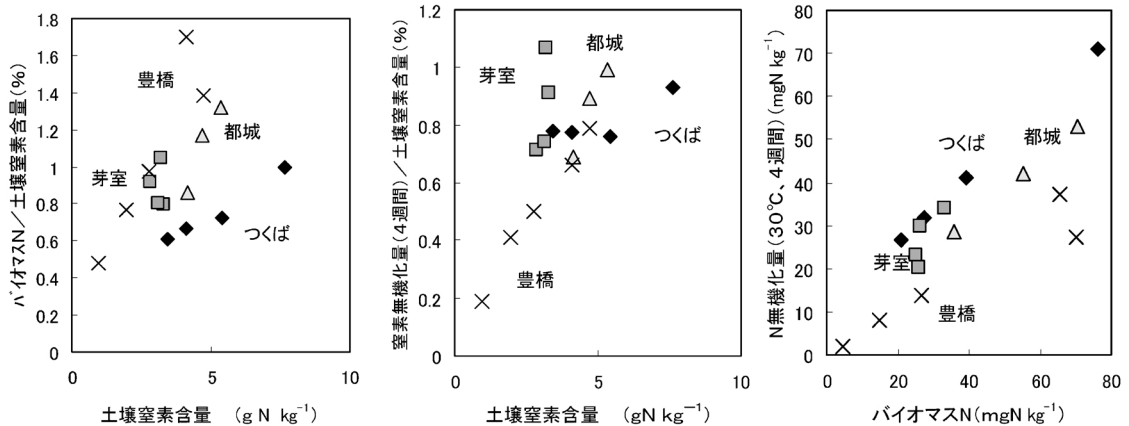


図-5 有機質資材連用土壌における窒素関係の土壌特性の相互関連性

Fig. 5 Mutual relationships between soil characteristics relating N in soils where constant amount of organic materials were applied every year.

(1997年7月に旧農業研究センター(つくば◆), 旧北海道農業試験場(芽室■), 旧九州農業試験場(都城△), 愛知県農業総合試験場(豊橋×)で実施している有機物連用試験の土壌を採取して調査を行った.)

有機質資材の施用試験では、麦わらのようなC/N比の高い有機物だけでなく乾燥豚糞やナタネのような易分解性有機物を多く含む有機物も微生物バイオマスの増大を伴う窒素の取り込みを促進することで窒素溶脱リスクを低減化しうることが示された。従って、近年の農耕地における窒素過多による環境負荷を軽減するためには、有機質資材の選択と施用量の調節が一つの大事なポイントになると考えられる。

また、本報告の有機質資材施用試験で冬作の小麦の吸収窒素と前作での土壌微生物の有機化窒素量には特段の相関関係が認められなかったことや、ニンジン作における土壌溶液中の硝酸態窒素が乾燥豚糞区で低かったことなどから、土壌微生物バイオマスに有機化された窒素は比較的安定して土壌中に保持されることが推察された。Jenkinson and Parry (1989) は土壌微生物バイオマスの土壌-作物系におけるシンクとソースとしての役割とそれに伴う養分フローを重視したが、少なくとも図-2に示した作物の窒素肥料の利用性から見ると、微生物バイオマスを通しての窒素フローが作物の吸収促進に直接的に寄与しているようには見えない。また、Preston (1982) や Trehan (1996) の報告にもあるように、土壌微生物に有機化された窒素は粘土鉱物に固定されたアンモニア態窒素などより植物に利用されにくいとすれば、バイオマスNは作物に容易に利用されるより多くの部分が土壌に蓄積して行くことになるかもしれない。しかし、土壌タイプによって黒ボク土のように有機物の蓄積が進みやすい土壌と鈹質土のように進みにくい土壌で

は大きな違いが生じることも考えられるので、今後、土壌タイプによる差異にも留意しながら土壌中の有機化された窒素の再無機化について長期的に調べて行く必要がある。

肥効率と肥料代替率を勘案した有機質資材-化学肥料併用の試験では、牛糞堆肥区で土壌溶液中の硝酸態窒素濃度の高まりが認められた。牛糞堆肥のように肥効率の低い有機質資材は必然的に窒素の総投入量を多く設定しなければ作物の養分要求量を満たせないことになるので、特に野菜作等の高めの施肥量の場合には化学肥料単用にもまして窒素溶脱の懸念があることを示している。現在は化学肥料からの窒素溶脱が過大に心配される傾向がなきにしもあらずであるが、いかに腐熟化した堆肥を用いても、特に連用で投入有機物が蓄積してゆくような状況下では堆肥中の窒素を含めた窒素の総投入量に対する配慮が必要である。また、堆肥の質に関しても、特に無機態窒素含量やECの高いものなどは、施用に際して注意すべきと考えられる。

黒ボク土では、下層土でかなりの硝酸態窒素の吸着が認められた。この吸着された硝酸態窒素の行方については、有機質資材連用土壌の溶脱の長期モニタリングの試験等で明らかにされて行くと思われる (Maeda *et al.*, 2003) が、黒ボク土におけるこの陰イオン吸着能、或いは溶脱の遅延効果をどの様に評価すべきかが今後の課題である。

以上、土壌タイプと有機質資材施用による窒素動態への影響の違いを示す試験データを簡単にみてきた。今後

も条件設定を明確に示した試験から得られた定量的結果をもとに、データの適用範囲や読み取れる傾向を整理し、窒素動態のモデル的解析を体系的に行う上での基礎的な知見を積み重ねて行くことが必要ではないかと考えられる。

### 引用文献

- Bergstrom, L. and Brink, N. (1986) : Effects of differentiated applications of fertilizer N on leaching losses and distribution of inorganic N in the soil. *Plant and Soil*, **93** : 333-345.
- de Willigen, P. (1991) : Nitrogen turnover in the soil crop system ; comparisons of fourteen simulation models. *Fertilizer Research*, **27** : 141-149.
- Jenkinson, D.S. and Parry, L.C. (1989) : The nitrogen cycle in the Broadbalk Wheat Experiment : a model for the turnover of nitrogen through the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, **21** : 535-541.
- Maeda, M., Zhao B., Ozaki Y. and Yoneyama, T. (2003) : Nitrate leaching in an Andisol treated with different types of fertilizers. *Environmental Pollution*, **121** : 477-487.
- McLaren, A.D. (1970) : Temporal and vectoral reactions of nitrogen in soil. *Can. J. Soil Sci.*, **50** : 97-109.
- McLaren, A.D. (1971) : Kinetics of nitrification in soil : growth of the nitrifiers. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **35** : 91-95.
- 三浦憲蔵・西尾 隆 (2004) : ニンジン作の窒素収支と土壤溶液中硝酸態窒素濃度に及ぼす有機質資材施用と土壌タイプの影響. *土肥誌*, **75** : 459-465.
- Mueller, T., Jensen, L.S., Nielsen, N.E. and Magid, J. (1998) : Turnover of carbon and nitrogen in a sandy loam soil following incorporation of chopped maize plants, barley straw and blue grass in the field. *Soil Biol. Biochem.*, **30** : 561-571.
- Nishio, T. and Fujimoto, T. (1990) : Kinetics of nitrification of various amounts of ammonium added to soils. *Soil Biol. Biochem.*, **22** : 51-55.
- 西尾 隆・藤本堯夫 (1992) : 畑土壌中の施肥アンモニア態窒素の硝化と移動に関するシミュレーション. *土肥誌*, **63** : 428-435.
- 西尾 隆・荒尾知人 (2002) : 土壌中の窒素有機化量の経時的推移に関する土壌間差異とアンモニア態窒素添加量の影響. *土肥誌*, **73** : 493-499.
- Nishio, T. and Oka, N. (2003) : Effect of organic matter application on the fate of <sup>15</sup>N-labeled ammonium fertilizer in an upland soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **49** : 397-403.
- 西尾 隆・三浦憲蔵 (2004) : 有機質資材と化学肥料の併用下における畑土壌中の窒素動態の特徴と窒素収支. *土肥誌*, **75** : 445-451.
- Nishio, T., X. Li and Komada, M. (2002) : Comparison of fate of nitrogen applied to 4 different kinds of soils with particular reference to denitrification. *Soil Sci. Plant Nutr.* **48** : 307-313.
- Preston, C.M. (1982) : Availability of residual fertilizer nitrogen immobilized as clay-fixed ammonium and organic N. *Can. J. Soil Sci.*, **62** : 479-486.
- Robertson, G.P., Huston, M.A., Evans, F.C. and Tiedje, J.M. (1988) : Spatial variability in a successional plant community : Patterns of nitrogen mineralization, nitrification, and denitrification. *Ecology*, **69** : 1517-1524.
- Trehan, S.P. (1996) : Immobilisation of <sup>15</sup>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in three soils by chemical and biological processes. *Soil Biol. Biochem.*, **28** : 1021-1027.
- Vereecken, H., Jansen, E.J., Hack-ten Broeke, M.J.D., Swerts, M., Engelke, R., Fabrewitz, S. and Hansen, S. (1991) : Comparison of simulation results of five nitrogen models using different data sets. In *Soil and Groundwater Research Report II* (CEC 1991).

### 要 旨

土壌中の窒素無機化・有機化、硝化等の窒素形態変化に関与する微生物作用が土壌タイプや有機質資材の施用によってどの様な影響を受けるかを明らかにするために、<sup>15</sup>Nをトレーサーとして用いた土壌室内培養実験、圃場枠試験等を行った。4種の異なるタイプの畑土壌に対して、(<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>単独、或いは



牛糞堆肥，乾燥豚糞，麦わら等の有機質資材と  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  を同時に施用して  $^{15}\text{N}$  の形態変化と行方を追跡した。

1) 土壌タイプにより施肥窒素の硝化・有機化速度は大きく異なったが，土壌による一定期間後の窒素有機化量は土壌の硝化と有機化の速度から推定可能であった。

2) 有機質資材のうち，乾燥豚糞や麦わら等の施用下では窒素有機化が促進され，作物の窒素吸収が抑制される一方， $\text{NO}_3^-$  の溶脱量の減少にも寄与していることを明らかにした。

3) 肥効率を勘案した化学肥料・有機質資材併用施肥においては，化学肥料単用区と肥効を同等に合わせても有機質資材の種類により窒素溶脱のリスクが大きく異なることが示された。

4) 有機質資材長期連用圃場では，単に有機物量，窒素含量等が量的に増加するだけではなく，土壌全窒素含量当たりのバイオマス窒素量や窒素無機化量の比率も有機物施用量に伴って増加していた。

受稿年月日：2005年10月25日

受理年月日：2005年12月5日

### 西尾隆氏講演に関する質疑

中原 治 (北海道大学農学研究科) :

アンモニア態窒素に比べて硝酸態窒素が有機化され難いという理由は何か。それは一般的なことか。

西尾 :

生物体の中では窒素は還元態として存在するので、硝酸態を取り込んだ場合にはそれをエネルギーに使う還元しなければいけないため、エネルギー源がないとなかなか微生物は硝酸を使えないということだと思ふ。

中原 :

森林の場合もそんなに単純なのか。以前聞いた話ですが、窒素降下物が増えて窒素が増えた場合に、硝酸の有機化だけが抑制されているというデータの発表があり、窒素が多い環境でのみおきる現象かと思った。そういうことは全く関係ないか。

西尾 :

森林の場合はよくわからないが、今言ったのは微生物に関してのことであって、高等植物になると硝酸態窒素を吸収して有機態に同化することは可能である。

中原 :

有機化による有機態窒素の増大は長期的に見て意味のある窒素のシンクになりえるか。長期的に見た場合無機化と硝化の増大によって相殺されることはないか。

西尾 :

硝酸が有機化されてシンクが増えると長期的にプラスになるかどうかという質問については、話が大きいのでなんともいえない。窒素の循環というと、脱窒とか窒素固定とかあるし、いろいろなものが相互に関連しあってプールの大きさとかが流れが決まってくるため、即答は出来ない。

谷山一郎 (農業環境技術研究所) :

豚糞堆肥で肥料窒素の有機化量が多いのは未分解性窒素が多いためとの説明があったが、硝酸化成との関係はあるか。硝酸化成を抑制すれば有機化は増えるか。

西尾 :

堆肥の無機化と微生物の有機化は連動しているため、硝酸化成を抑制しても有機化にはあまり寄与しないかもしれない。

谷山 :

重窒素の未同定が豚糞で少ないのは脱窒やアンモニア揮散が少なくないと考えてよいか。

西尾 :

今回はデータを示さなかったが、豚糞堆肥をやった土壌で脱窒が高いデータもある。ただ黒ぼく土ではなかなか高くなりすぎて、灰色低地土とか黄色土だと豚糞堆

肥と相乗効果が高く、脱窒量が増える。

中原 :

黒ぼく土で脱窒が低いというのはどういう理由か。

西尾 :

粘土含量が多く通気性が悪い土壌のほうが脱窒が起こりやすい。黒ぼく土は一般的に通気性がいいので酸素不足な状態になりにくいことが理由と考えている。

中原 :

そうであれば、例えば地下水面の下であれば黒ぼく土であろうと起こりうるということか。

西尾 :

脱窒菌が脱窒を起こすためには有機物がなければいけないので、下のほうで脱窒菌が利用できる有機物があるかどうか問題。地下まで硝酸が行くかどうかという問題もあるので、地下水面の下で脱窒が起こりやすいとは一概には言えない。

波多野隆介 (北海道大学大学院農学研究科) :

長期的に有機物を施与した試験では、その施与量は地域によって全然ちがうと思う。北海道では、10, 20, 30, 40 t 程度だろうけれど、つくばや九州では100 t まで施与しているようだ。講演では、窒素含有率と例えば無機化量の関係が土壌によってかわらなかったように見えるが、入れた有機物の量に対して、土壌の窒素になる量というのはある容量が決まっていて、あとは系外に移動したということか。窒素をどの程度まで畑に施与できるのかということについて、意見を伺いたい。

西尾 :

有機物の施用量が地域によって違うというのは、それぞれの試験では目的が違うためだと思う。例えば、北海道の場合は普通の畑作の中で、有機物をやって作物を育てていくことを目的としている。都城の場合だと、スラリーが余って困っているんで、大量に土壌にやった場合どうなるかという目的で調べている。豊橋の場合は、赤黄色土でとにかく有機物含量の少ない鈣質土壌をいかに改善するかを目的としている。それぞれ目的がちがうので施用量も違う。

波多野 :

各地から集めた連用試験の土壌を使って窒素含有率と無機化速度等を調べた結果、連用試験で10年以上有機物を多量に入れると窒素含有率が高まってきていたが、窒素含有率が高まれば高まるほど無機化速度は高まっていく。それを北海道から都城までの全部一緒にまとめたXY グラフが一つの線に乗っていた。これは、有機物の量はものすごく違う量をいれているのに、結局は土壌としては同じ量しか蓄えられないということの意味しているのか。有機物施用量を横軸にとって、縦軸に無機化速

度をとると、地方によってまったくバラバラになると思うが、それについてどう思うか。

**西尾：**

土壌は起源も有機物施用量も違うので、一つの直線のような形になったのは、考えてみると非常に不思議だと思う。

**波多野：**

そうすると、施用した有機物量がすべて違うので、そ

れらは一体どこにいったのか。

**西尾：**

日本は広いとはいっても気象条件はそれ程大幅に変わらず、農作業の色々な処理も共通な部分が多いので、(それぞれの施用有機物の特性がマスクされるような形で)一つの直線に乗ったのかもしれない。そのあたりは、あまり深く考えていない。