

## 細粒質グライ土水田におけるたい肥および稲わら施用が土壤 無機化窒素の動態に与える影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	山室, 成一
巻/号	59巻2号
掲載ページ	p. 131-139
発行年月	1988年4月

# 細粒質グライ土水田におけるたい肥および稲わら施用が 土壌無機化窒素の動態に与える影響\*

山 室 成 一\*\*

キーワード トレーサー  $^{15}\text{N}$ , 施肥  $^{15}\text{N}$ , 固定化, 脱窒, 吸収

本報告では細粒質グライ土水田を用い、移植期、分けつ盛期、幼穂形成期および穂ばらみ期に施用したトレーサー  $\text{NH}_4\text{-}^{15}\text{N}$  と施肥  $\text{NH}_4\text{-}^{15}\text{N}$  の動きから土壌無機化窒素の固定化、脱窒、水稻による吸収の動態をたい肥および稲わら施用との関係で検討したので報告する。

## 1. 試験方法

### 1) 供試水田

供試水田は北陸農業試験場構内の細粒質グライ土水田である。これは田川統に分類される細粒質強グライ土の還元田であり、隣接する北陸農試圃場約 1 ha とともに、1972年に暗渠、明渠を施し、そこにソルガムが植えられ転換畑にされたものを再び水田に戻して8年目のものである(北陸農試66番圃場)。グライ層は表層下 40 cm 以下のところにあり、乾田化された圃場である<sup>1)</sup>。

### 2) 試験区の構成、施肥法および品種、莖数調査および試料採取

各区は 10 a 当たり、中熟たい肥 0, 1, 2, 3 トンの前年および本年(1984年)春施用区および稲わら 0.6, 1.2, 1.8 トンの前年秋施用区である。各区とも基肥に 10 a 当たり  $\text{K}_2\text{O}$  (塩化カリウム) 12 kg,  $\text{P}_2\text{O}_5$  (熔成リン肥) 18 kg 施用した。水稻の生育期間を移植期(5月24日)から分けつ盛期(6月20日)、分けつ盛期から幼穂形成期(7月11日)、幼穂形成期から穂ばらみ期(7月25日)、穂ばらみ期から登熟中期(8月22日)の4期間に分け、それらのスタート時に塩化アンモニウムを窒素成分で 10 a 当たり 3 kg ずつ表層施肥した。同時に、施肥  $^{15}\text{N}$  およびトレーサー  $^{15}\text{N}$  を施用した。供試水稻は北

陸 122 号であり、移植は 5 月 24 日、栽植様式は 30 cm × 18 cm, 3 本植えであった。一般区の面積はそれぞれ 6.4 m × 12.3 m であり、生育調査は各区 50 株ずつ行った。水稻および土壌試料の採取は各期間の終時に行った。

### 3) $^{15}\text{N}$ 試験区の設置および $^{15}\text{N}$ 試料採取方法

$^{15}\text{N}$  試験区の設置および  $^{15}\text{N}$  試料採取方法は前報<sup>2)</sup>と同じである。施肥  $\text{NH}_4\text{-}^{15}\text{N}$  区は 5.00 atom %  $^{15}\text{N}$  標識塩化アンモニウム水溶液試料を一般区の施肥 N と同量表層に加えた。各期間スタート時に存在している土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の動態を追跡するトレーサー  $\text{NH}_4\text{-}^{15}\text{N}$  区は 98.1 atom %  $^{15}\text{N}$  塩化アンモニウム試薬を各区 0.214 g N ずつ水溶液で加え、葉さじの耳で根ばりと同方向に混和した。この直後に供試圃場の  $^{15}\text{N}$  自然存在率と同じ 0.366 atom %  $^{15}\text{N}$  の塩化アンモニウムを 1 m<sup>2</sup> 当たり 3 g N ずつ表層施肥した。

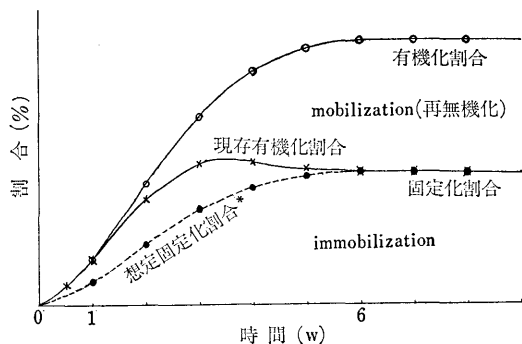
### 4) 土壌 $\text{NH}_4\text{-N}$ の水田土壌中での現存有機化割合、固定化割合、脱窒割合および水稻吸収割合の求め方

(1) 現存有機化割合、脱窒割合、水稻吸収割合：各期間スタート時に存在した土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の終時における現存有機化割合(前報<sup>2)</sup>ではこれを有機化割合とした)、脱窒割合、水稻吸収割合の求め方は前報<sup>2)</sup>と同じである。現存有機化割合はスタート時からおよそ 1 週間(有機化した窒素の再無機化がほとんど始まらない期間)までは有機化割合<sup>3)</sup>、数週間以後は固定化割合<sup>4)</sup>と同じになる。これらの関係は第 1 図のようである。

(2) 固定化割合：各期間のスタート時に施用されたトレーサー  $\text{NH}_4\text{-}^{15}\text{N}$  の終時における固定化割合-現存有機化割合比を移植期～分けつ盛期で 0.69, 分けつ盛期～幼穂形成期 0.75, 幼穂形成期～穂ばらみ期 0.57, 穂ばらみ期～登熟中期 0.81 と前報<sup>4)</sup>より推定し、固定化割合を求めた。

\* 水田における窒素の循環に関する研究(第10報)

\*\* 北陸農業試験場(現在、九州農業試験場 833 筑後市大字和泉 496)  
昭和 62 年 3 月 24 日受理  
日本土壤肥料学雑誌 第 59 巻 第 2 号 p. 131~139 (1988)



第 1 図 トレーサー  $\text{NH}_4\text{-}^{15}\text{N}$  の有機化割合、  
現存有機化割合、固定化割合の関係

\* ある時点で有機化の進行がとまったと仮定したときに、そのときの現存有機化割合が時間の経過とともに固定化割合となったときの値。ここでは想定固定化割合も固定化割合として取り扱った。

5) 施肥  $\text{NH}_4\text{-N}$  および土壤無機化窒素の水稲吸収量の求め方

水稲の施肥窒素および土壤窒素吸収量の求め方は前報<sup>4)</sup>に同じ。

6) 土壤無機化窒素およびその固定化、脱窒、水稲吸収への移行量の推定値の求め方

土壤無機化窒素の固定化量、脱窒量、水稲吸収量の求め方は前報<sup>4)</sup>に同じ。各期間の土壤無機化窒素量  $M$  は、土壤無機化窒素からの有機化、脱窒、水稲吸収への移行量を  $G$  とすると、 $M = G + (\text{NH}_4\text{-N}_n - \text{NH}_4\text{-N}_0)$  より求められる<sup>3)</sup>。ただし、 $N_0$  および  $N_n$  はそれぞれ各期間のスタート時および終時の土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  量である。有機化量のおよそ 50% が固定化量になっている<sup>4)</sup> ので、ここでは  $G = \text{固定化量} \times 2 + \text{脱窒量} + \text{水稲吸収量}$  とした。

2. 試験結果および考察

1) 水稲の生育経過

茎数の推移および収量は第 1 表のとおりである。これ

第 1 表 茎数の推移および収量 (本/m<sup>2</sup>)

区名	月/日					精玄米収量 (g/m <sup>2</sup> )
	6/6	6/13	6/20	7/11	7/25	
有機物無施用	91.9	195	318	402	373	629
たい肥 1 トン	85.7	192	320	425	389	640
たい肥 2 トン	81.5	208	326	445	400	654
たい肥 3 トン	106	209	336	432	393	656
稲わら 0.6 トン	69.5	160	266	384	360	625
稲わら 1.2 トン	66.2	166	241	388	369	608
稲わら 1.8 トン	61.6	97.7	175	301	328	587

より明らかのように、有機物無施用区の生育と比べて、たい肥施用の各区はやや優れた生育経過であったが、稲わら施用の各区は生育初期から劣っていた。たい肥施用量が多いほど生育はやや優っていたが、稲わら施用量が多いほど生育全般にわたって劣っていた。収量はこれらの経過を反映して、たい肥 3 トン区 ≧ たい肥 2 トン区 > たい肥 1 トン区 > 有機物無施用区 ≧ 稲わら 0.6 トン区 > 稲わら 1.2 トン区 > 稲わら 1.8 トン区の順であった。

2) 土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水田土壤中での現存有機化、固定化、脱窒、水稲吸収の動態とたい肥および稲わら施用量との関係

(1) 土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の残存割合：各期間のスタート時にあった土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の終時における残存割合は第 2 表のとおりである。移植期にあった土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の分けつ盛期における残存割合はいずれも 10% 以下であった。有機物無施用区の 4.9% に対して、たい肥施用の各区は 6.0 ~ 9.6% とやや高かったが、稲わら施用の各区は 4.1 ~ 6.0% と有機物無施用区とあまり相違がなかった。分けつ盛期にあった土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の幼穂形成期における残存割合は有機物無施用区 2.5% に対して、たい肥施用区では 1 トン区 2.4%, 2 トン区 1.7%, 3 トン区 1.1% とたい肥施用量が増加するにつれてわずかに低くなったが、稲わら施用区では 0.6 トン区 3.8%, 1.2 トン区 4.3%, 1.8 トン区 5.2% と稲わら施用量が増加するにつれてわずかに高くなったが、いずれも 5% 程度以下であった。しかし、幼穂形成期および穂ばらみ期にあった土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の穂ばらみ期および登熟中期における残存割合は各区いずれも低く、1.4 ~ 2.2 および 0.7 ~ 1.7% とあまり相違がなかった。

(2) 土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水田土壤中での現存有機化割合：各期間のスタート時にあった土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の終時における現存有機化割合 (%) および固定化割合の推定値 (%) は第 3 表のとおりである。まず、移植期にあった土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の現存有機化割合は有機物無施用区 37.9%, たい肥施用の各区で 50.0 ~ 52.8% とたい肥施用区が高かった。また、稲わら施用の各区で 0.6 トン区 57.2%, 1.2 トン区 66.8%, 1.8 トン区 72.0% と稲わら施用量の増加とともに現存有機化割合は非常に高く、稲わら 1.8 トン区では有機物無施用区の 2 倍程度であった。次に、分けつ盛期にあった土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の現存有機化割合は有機物無施用区 29.4% に対して、たい肥施用の各区は 26.4 ~ 29.8% と同じようであったが、稲わら施用の各区は 0.6 トン区 33.5%, 1.2 トン区 39.0%, 1.8 トン区 42.2% と稲わら施用量の多いほど現存有機化割合が高かった。次に、幼穂形成期および穂ばらみ期にあった土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$

第2表 各期間のスタート時に存在した NH<sub>4</sub>-N\* の最終時における残存割合

区名	期 間											
	5/24~6/20			6/20~7/11			7/11~7/25			7/25~8/22		
	6/20の現存 NH <sub>4</sub> -N** (g/m <sup>2</sup> )	同左 atom %	残存割 合*** (%)	7/11の現存 NH <sub>4</sub> -N** (g/m <sup>2</sup> )	同左 atom %	残存割 合*** (%)	7/25の現存 NH <sub>4</sub> -N** (g/m <sup>2</sup> )	同左 atom %	残存割 合*** (%)	8/22の現存 NH <sub>4</sub> -N** (g/m <sup>2</sup> )	同左 atom %	残存割 合*** (%)
有機物無施用	1.29	1.166	4.9	0.52	1.382	2.5	0.42	1.162	1.6	0.92	0.749	1.7
たい肥 1 トン	2.24	1.125	8.1	0.67	1.105	2.4	0.58	1.122	2.1	0.89	0.541	0.7
たい肥 2 トン	2.98	1.038	9.6	0.72	0.863	1.7	0.59	1.155	2.2	1.09	0.512	0.7
たい肥 3 トン	1.56	1.168	6.0	0.61	0.741	1.1	0.69	1.004	2.1	0.89	0.562	0.8
稲わら0.6トン	1.51	1.204	6.0	0.52	1.897	3.8	0.59	1.122	2.1	0.99	0.664	1.4
稲わら1.2トン	1.22	1.066	4.1	0.67	1.713	4.3	0.66	1.026	2.1	1.01	0.634	1.3
稲わら1.8トン	1.54	1.081	5.3	0.86	1.633	5.2	0.59	0.881	1.4	0.83	0.603	0.9

\* スタート時に表層施肥した NH<sub>4</sub>-N は含まない。

\*\* スタート時に施肥した NH<sub>4</sub>-N の試料採取時の残存量を含む。

\*\*\* スタート時のトレーサー NH<sub>4</sub>-<sup>15</sup>N 量に対する試料採取時のトレーサー NH<sub>4</sub>-<sup>15</sup>N 量の割合。

第3表 各期間のスタート時に存在した NH<sub>4</sub>-N\* の最終時における現存有機化、固定化、脱窒、吸収の割合

区名	期 間 (月/日)	全窒素 (土壌) (g/m <sup>2</sup> )	atom %	現存有機 化割合 (%)	全窒素 (水稻) (g/m <sup>2</sup> )	atom %	吸収割合 (%)	脱窒割合 (%)	固定化 割合 (%)
有機物無施用	5/24~6/20	186	0.414	37.9	2.10	2.724	23.7	33.6	26.2
	6/20~7/11	176	0.404	29.4	5.60	1.718	36.2	31.9	22.1
	7/11~7/25	170	0.393	20.3	9.00	1.383	43.7	34.4	11.6
	7/25~8/22	194	0.391	21.5	14.2	1.108	50.2	26.6	17.4
たい肥 1 トン	5/24~6/20	186	0.431	50.0	1.71	2.513	17.5	24.3	34.5
	6/20~7/11	185	0.401	28.7	6.99	1.261	29.9	39.0	21.5
	7/11~7/25	202	0.394	24.9	10.2	1.350	47.9	25.1	14.2
	7/25~8/22	186	0.392	22.6	14.8	1.077	50.4	26.2	18.3
たい肥 2 トン	5/24~6/20	200	0.429	50.6	1.74	2.397	16.9	22.9	34.9
	6/20~7/11	194	0.400	29.8	7.42	1.250	31.3	37.2	22.4
	7/11~7/25	180	0.391	19.3	12.9	1.238	53.8	24.6	11.0
	7/25~8/22	207	0.388	21.1	17.7	1.067	59.4	18.8	17.1
たい肥 3 トン	5/24~6/20	186	0.432	52.8	1.98	2.161	17.0	24.2	36.4
	6/20~7/11	185	0.397	26.4	8.25	1.204	33.1	39.5	19.8
	7/11~7/25	191	0.385	15.3	11.0	1.440	56.6	26.0	8.72
	7/25~8/22	206	0.392	24.6	15.9	1.112	56.7	17.9	19.9
稲わら0.6トン	5/24~6/20	179	0.440	57.2	1.98	2.419	19.4	17.4	39.5
	6/20~7/11	163	0.414	33.5	5.24	1.675	32.8	29.9	25.1
	7/11~7/25	180	0.398	25.4	9.53	1.422	48.1	26.5	14.5
	7/25~8/22	208	0.386	18.5	13.9	1.143	51.7	29.8	15.0
稲わら1.2トン	5/24~6/20	177	0.450	66.8	1.83	2.662	20.0	9.1	46.1
	6/20~7/11	168	0.420	39.0	3.95	1.644	24.2	32.5	29.3
	7/11~7/25	166	0.396	21.7	8.03	1.462	42.1	34.1	12.4
	7/25~8/22	201	0.389	20.8	13.3	1.161	50.5	27.5	16.8
稲わら1.8トン	5/24~7/20	162	0.466	72.0	1.70	2.460	17.1	5.6	49.7
	6/20~7/11	162	0.427	42.2	3.25	1.616	19.4	33.2	31.7
	7/11~7/25	166	0.394	20.8	8.46	1.565	48.5	29.3	11.9
	7/25~8/22	166	0.397	23.7	13.9	1.130	50.6	25.7	19.2

\* スタート時に施肥した NH<sub>4</sub>-N は含まない。

の現存有機化割合は有機物無施用区 20.3% および 21.5%, たい肥施用の各区 15.3~24.9% および 21.1~24.6%, 稲わら施用の各区 20.8~25.4% および 18.5~23.7% とそれほど相違がなかった。これらの動きから明らかなように、たい肥施用区は中熟たい肥を施用したので、微生物体構成源である炭素源が施用直後に有機物無施用区より豊富であったため施用直後に微生物増殖による窒素の有機化が高かったが、分けつ盛期にはこの炭素源も消費されてしまったものと考えられる。これに対して、稲わら施用区は稲わら由来の炭素源が非常に豊富にあったため、移植期から分けつ盛期にかけての微生物増殖は激しく、これが窒素の有機化を非常に高くした<sup>5)</sup> が、この炭素源も幼穂形成期には消費されてしまったものと考えられる。

(3) 土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水稻による吸収割合：各期間のスタート時にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の終時における水稻吸収割合 (%) は第 3 表のとおりである。移植期にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水稻吸収割合は有機物無施用区 23.7%, たい肥施用の各区 16.9~17.5%, 稲わら施用の各区 17.1~20.0% とたい肥および稲わら施用区でやや低かった。この時期、たい肥施用の各区でやや低かった理由は前述したように作土全層に無機化してくる土壌窒素の微生物による有機化率が高かったためであると考えられる。これに対して、稲わら施用の各区で予想されるほどには低くならなかった理由は微生物に有機化される割合が非常に高かったにもかかわらず、後述するように、微生物による脱窒割合がかなり低くなってしまったためと考えられる。次に、分けつ盛期にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水稻吸収割合は有機物無施用区 36.2%, たい肥施用の各区 29.9~33.1% とわずかに低かったが、稲わら施用区では 0.6 トン区 32.8%, 1.2 トン区 24.2%, 1.8 トン区 19.4% と稲わら多量施用区でかなり低かった。稲わら多量施用区で低かった理由は微生物による有機化率が高かったことと、前述した茎数の推移から明らかなように水稻の窒素吸収力が弱かったことによると考えられる。次に、幼穂形成期および穂ばらみ期にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水稻吸収割合は有機物無施用区 43.7% および 50.2% に対して、たい肥 1 トン区と稲わら施用区 42.1~48.5% および 50.4~51.7% とあまり相違がなかったが、たい肥 2 トン、3 トン区 53.8~56.6% および 56.7~59.4% とやや高かった。この理由については明らかでない。

(4) 土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水田土壌中での脱窒割合：各期間のスタート時にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の終時における脱窒割合 (%) は第 3 表のとおりである。移植期にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の脱窒割合は有機物無施用区 33.6% に対し

て、たい肥施用の各区は 22.9~24.3% とやや低い程度であったが、稲わら施用の各区は稲わら 0.6 トン区 17.4%, 1.2 トン区 9.1%, 1.8 トン区 5.6% と稲わら施用量の多い区ほどその値は低かった。脱窒の進行条件はまず、酸化層還元層の分化<sup>6)</sup> とそれに続いてグルコース、セルロースなどの栄養源が主要なもの<sup>7)</sup> と考えられる。したがって、移植期にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の脱窒割合が稲わら施用量の増加とともに小さくなっていったことはそれによって還元層が異常発達してしまい酸化層との分化がおくれたことにある<sup>5)</sup> と考えられる。次に、分けつ盛期にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の脱窒割合は有機物無施用区 31.9% に対して、たい肥施用の各区は 37.2~39.5% とやや高かった。また、稲わら施用の各区も 29.9~33.2% と有機物無施用区と同じような値になった。稲わらの施用時期が前年秋であったため、分けつ盛期に入ると土壌の還元層の発達はすでに終りに近づき、上層で、酸化層と還元層との分化が進行したしたものと考えられる。次に、幼穂形成期にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の脱窒割合は有機物無施用区 34.4% に対して、たい肥施用の各区 25% 程度とやや低かったが、稲わら施用の各区 26.5~34.1% とそれほど相違がなかった。次に、穂ばらみ期にあった土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の脱窒割合は有機物無施用区 26.6%, たい肥 1 トン区 26.2% と相違がなかったが、たい肥 2 トンおよび 3 トン区は 18% 程度とやや低かった。しかし、稲わら施用の各区は 25.7~29.8% と有機物無施用区とあまり相違がなかった。

以上のように、土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の脱窒割合は水稻生育の初期に稲わら施用区でかなり低かったが、それ以後はたい肥多量施用区でやや低いという動きであり、脱窒抑制という観点からは乾田でのたい肥および稲わら施用はやや効果がある程度であった。半湿田でのたい肥連用試験<sup>8,9)</sup> で検討してきたように、今後、たい肥および稲わら連用によって固定化割合と脱窒割合との関係がどう変化していくかの検討が必要である。

### 3) 水稻の全窒素吸収量および施肥 $\text{NH}_4\text{-N}$ の水稻吸収割合とたい肥および稲わら施用量との関係

水稻の全窒素吸収量と施肥  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水稻吸収割合 (%) は第 4 表のとおりである。したがって、各期間における水稻の窒素吸収量とその由来は第 5 表のとおりである。

第 4 表より明らかなように、施肥  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水稻吸収割合は移植期施肥窒素では有機物無施用区 24.6%, たい肥施用の各区 19.5~26.5% とあまり相違がなかったが、稲わら施用の各区は 0.6 トン区 19.1%, 1.2 トン区 17.1%, 1.8 トン区 15.2% と稲わら施用量の多い区ほど低か

第4表 各期間スタート時に表層施肥した NH<sub>4</sub>-N の最終時における吸収割合と推定固定化割合\*，推定脱窒割合\*

期間(月/日)		区 名						
		有機物無施用	たい肥 1 トン	たい肥 2 トン	たい肥 3 トン	稲わら 0.6 トン	稲わら 1.2 トン	稲わら 1.8 トン
5/24~6/20	水稻窒素量**	1.92	1.81	1.70	1.99	1.59	1.48	1.41
	同上 atom%	2.157	2.408	2.617	1.731	2.044	1.982	1.861
	吸収割合(%)	24.6	26.5	23.9	19.5	19.1	17.1	15.2
	固定化割合(%)	27.6	34.2	36.2	38.1	42.9	50.4	54.3
	脱窒割合(%)	35.4	24.0	23.7	25.3	18.9	9.9	6.1
6/20~7/11	水稻窒素量**	6.11	6.54	6.56	7.01	5.21	4.08	3.42
	同上 atom%	1.104	1.061	1.066	1.042	1.154	1.188	1.195
	吸収割合(%)	32.4	32.6	32.9	34.1	29.5	24.1	20.3
	固定化割合(%)	24.3	28.6	22.4	19.8	28.0	31.1	33.5
	脱窒割合(%)	35.2	38.8	37.3	39.5	33.2	34.5	35.1
7/11~7/25	水稻窒素量**	9.79	10.4	10.3	10.7	8.85	7.47	7.33
	同上 atom%	1.424	1.352	1.311	1.285	1.464	1.441	1.399
	吸収割合(%)	74.3	73.6	70.1	70.4	69.8	57.7	54.5
	固定化割合(%)	5.4	7.5	7.5	6.3	8.4	9.3	10.8
	脱窒割合(%)	16.2	13.3	16.8	18.6	15.4	25.9	26.6
7/25~8/22	水稻窒素量**	15.3	15.9	16.1	16.5	14.5	13.2	12.8
	同上 atom%	1.021	0.990	0.950	0.917	1.042	1.104	1.125
	吸収割合(%)	71.9	71.3	67.3	65.3	70.4	70.3	69.8
	固定化割合(%)	10.2	10.8	14.0	16.3	9.2	10.4	11.7
	脱窒割合(%)	15.5	15.4	15.4	14.6	18.3	16.9	15.7
5/24~8/22	吸 収 量***	6.10	6.12	5.83	5.68	5.66	5.08	4.79
	固 定 化 量***	2.03	2.43	2.40	2.42	2.66	3.04	3.31
	脱 窒 量***	3.07	2.75	2.80	2.94	2.57	2.62	2.51

\* 表層施肥 NH<sub>4</sub>-N の現存有機化量，脱窒量の比を各期間スタート時にあった NH<sub>4</sub>-N のそれと同じとして，その現存有機化割合および脱窒割合を求め，現存有機化割合から固定化割合を計算した。なお，現存有機化量と固定化量の差の部分はそれ以後の期間における再無機化窒素として土壤無機化窒素の一部として取り扱われている。

\*\* それぞれ6月20日，7月11日，7月25日，8月22日における値。

\*\*\* 施肥窒素の吸収量，固定化量，脱窒量であるが，上述の土壤無機化窒素の一部として取り扱われているものからの吸収量，脱窒量は土壤無機化窒素からのそれとして取り扱われている。

第5表 各期間における水稻の窒素吸収量\* とその由来 (N g/m<sup>2</sup>)

区 名	期 間(月/日)														
	5/24~6/20			6/20~7/11			7/11~7/25			7/25~8/22			5/24~8/22		
	全窒素	土窒素	施肥窒素	全窒素	土窒素	施肥窒素	全窒素	土窒素	施肥窒素	全窒素	土窒素	施肥窒素	全窒素	土窒素	施肥窒素
有機物無施用	1.76	1.02	0.739	4.19	3.22	0.971	3.68	1.45	2.23	5.50	3.35	2.16	15.14	9.04	6.10
たい肥 1 トン	1.65	0.854	0.794	4.73	3.76	0.979	3.87	1.66	2.21	5.52	3.38	2.14	15.77	9.65	6.12
たい肥 2 トン	1.54	0.824	0.716	4.86	3.87	0.988	3.78	1.67	2.10	5.72	3.71	2.02	15.89	10.07	5.82
たい肥 3 トン	1.84	1.25	0.586	5.01	3.99	1.02	3.93	1.82	2.11	5.84	3.88	1.96	16.62	10.94	5.68
稲わら0.6トン	1.43	0.856	0.572	3.62	2.74	0.883	3.65	1.55	2.09	5.63	3.52	2.11	14.33	8.67	5.66
稲わら1.2トン	1.32	0.807	0.513	2.60	1.88	0.722	3.39	1.66	1.73	5.77	3.66	2.11	13.09	8.01	5.08
稲わら1.8トン	1.26	0.802	0.456	2.00	1.39	0.609	3.92	2.28	1.64	5.49	3.39	2.09	12.67	7.87	4.80

\* 根を含む。

った。これはトレーサー  $^{15}\text{N}$  よりみた土壌  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水稲吸収割合の動きと同様の傾向であった。微生物による  $\text{NH}_4\text{-N}$  の有機化、固定化の動きが稲わら区の表層部位でも強いとと考えられる。これは稲体の  $^{15}\text{N}$  atom % が稲わら1.2トンおよび1.8トン区で低いことから明らかである。次に、分けつ盛期施肥窒素および幼穂形成期施肥窒素では有機物無施用区32.4%および74.3%, たい肥施用の各区 32.6~34.1% および 70.1~73.6%, 稲わら0.6トン区29.5%および69.8%, 1.2トン区24.1%および57.7%, 1.8トン区20.3%および54.5%と稲わら施用量の多い区ほど低かった。これは、幼穂形成期および穂ばらみ期の稲体  $^{15}\text{N}$  atom % が各区それほど相違がなかったことから、稲体の大きさの相違によるものと考えられる。次に、穂ばらみ期施肥窒素では有機物無施用区71.9%, たい肥および稲わら施用の各区は65.3~71.3%とあまり相違がなかった。稲体の  $^{15}\text{N}$  atom % は稲わら 1.2トンおよび1.8トン区でやや高かったこと、 $1\text{ m}^2$  当たりの水稲全窒素が稲体の大きさとほぼ比例していたことから、稲体1茎当たりの表層根の養分吸収能が稲わら多量施用区でやや高かったことを示している。

次に、第5表より明らかのように、各期間の窒素吸収量は移植期から分けつ盛期にかけては有機物無施用区  $1.76\text{ g}$ 、たい肥施用の各区  $1.54\sim 1.84\text{ g/m}^2$  と同じようであったが、稲わら施用の各区は0.6トン区  $1.43\text{ g}$ 、1.2トン区  $1.32\text{ g}$ 、1.8トン区  $1.26\text{ g/m}^2$  と稲わらの施用量が多い区ほど少なかった。この傾向は分けつ盛期から幼穂形成期にかけて強まり、有機物無施用区  $4.19\text{ g}$ 、たい肥施用の各区は0.6トン区  $3.62\text{ g}$ 、1.2トン区  $2.60\text{ g}$ 、1.8トン区  $2.00\text{ g/m}^2$  と稲わら施用量が多い区ほど水稲生育が抑制されていることが明らかである。次に、幼穂形成期から穂ばらみ期および穂ばらみ期から登熟中期にかけては有機物無施用区  $3.68\text{ g}$  および  $5.50\text{ g}$  に対して、たい肥および稲わら施用の各区は  $3.39\sim 3.93\text{ g}$  および  $5.49\sim 5.84\text{ g/m}^2$  と稲わら多量施用区でもすでに水稲生育が抑制されていないことが明らかである。

#### 4) 土壌無機化窒素およびその固定化, 脱窒, 水稲による吸収

土壌無機化窒素の水稲吸収割合の逆数の動きは第6表のとおりである。したがって、土壌無機化窒素の固定化, 脱窒, 水稲吸収への移行量の推定値は第7表のとおりである。

移植期から登熟中期までの総移行量は有機物無施用区  $19.4\text{ g}$ 、たい肥1トン区  $21.0\text{ g}$ 、たい肥2トン区  $19.7\text{ g}$ 、たい肥3トン区  $21.9\text{ g/m}^2$  とたい肥施用により土壌無機化窒素の総移行量は増加する傾向にあることが明らか

第6表 土壌無機化窒素の水稲吸収割合\* の逆数の動き

区名	期 間 (月/日)			
	5/24~ 6/20	6/20~ 7/11	7/11~ 7/25	7/25~ 8/22
有機物無施用	2.92	2.25	1.96	1.88
たい肥 1 トン	3.57	2.27	1.85	1.88
たい肥 2 トン	3.50	2.11	1.63	1.60
たい肥 3 トン	3.46	2.04	1.64	1.67
稲わら0.6トン	3.19	2.19	1.86	1.87
稲わら1.2トン	3.65	2.64	1.98	1.88
稲わら1.8トン	4.29	2.59	1.87	1.89

\* 固定化, 脱窒, 吸収への移行量に対する吸収量の割合。

第7表 土壌無機化窒素からの固定化, 脱窒, 水稲吸収\* への移行量の推定 ( $\text{g/m}^2$ )

区名	期 間 (月/日)					
	5/24~ 6/20	6/20~ 7/11	7/11~ 7/25	7/25~ 8/22	5/24~ 8/22	
有機物無施用	固定化	0.83	1.33	0.45	1.17	3.78
	脱窒	1.13	2.70	0.94	1.78	6.55
	吸収	1.02	3.22	1.45	3.35	9.04
	移行	2.98	7.25	2.84	6.30	19.37
たい肥 1 トン	固定化	1.04	1.71	0.54	1.22	4.51
	脱窒	1.16	3.07	0.87	1.75	6.85
	吸収	0.85	3.76	1.66	3.38	9.65
	移行	3.05	8.54	3.07	6.35	21.01
たい肥 2 トン	固定化	1.00	1.47	0.41	1.06	3.94
	脱窒	1.05	2.83	0.64	1.17	5.69
	吸収	0.82	3.87	1.67	3.71	10.07
	移行	2.87	8.17	2.72	5.94	19.70
たい肥 3 トン	固定化	1.44	1.21	0.45	1.37	4.47
	脱窒	1.64	2.94	0.71	1.23	6.52
	吸収	1.25	3.99	1.82	3.88	10.94
	移行	4.33	8.14	2.98	6.48	21.93
稲わら 0.6 トン	固定化	1.08	1.32	0.46	1.02	3.88
	脱窒	0.80	1.94	0.87	2.04	5.65
	吸収	0.86	2.74	1.55	3.52	8.67
	移行	2.74	6.00	2.88	6.58	18.20
稲わら 1.2 トン	固定化	1.41	1.14	0.53	1.22	4.30
	脱窒	0.74	1.94	1.10	2.00	5.78
	吸収	0.81	1.88	1.66	3.66	8.01
	移行	2.96	4.96	3.29	6.88	18.09
稲わら 1.8 トン	固定化	1.84	0.86	0.71	1.29	4.70
	脱窒	0.82	1.35	1.27	1.72	5.16
	吸収	0.81	1.39	2.28	3.39	7.87
	移行	3.47	3.60	4.26	6.40	17.73

\* 根を含む。

第8表 各期間における土壤有機態窒素\* からの無機化量\*\*の推定値

(N g/m<sup>2</sup>)

区名	期 間 (月/日)															
	5/24~6/20				6/20~7/11				7/11~7/25				7/25~8/22			
	現 NH <sub>4</sub> -N*** t <sub>0</sub>	存 t <sub>n</sub>	移行量 G <sub>1</sub>	無機 化量 M <sub>1</sub>	現 NH <sub>4</sub> -N*** t <sub>0</sub>	存 t <sub>n</sub>	移行量 G <sub>2</sub>	無機 化量 M <sub>2</sub>	現 NH <sub>4</sub> -N*** t <sub>0</sub>	存 t <sub>n</sub>	移行量 G <sub>3</sub>	無機 化量 M <sub>3</sub>	現 NH <sub>4</sub> -N*** t <sub>0</sub>	存 t <sub>n</sub>	移行量 G <sub>4</sub>	無機 化量 M <sub>4</sub>
有機物無施用	1.20~1.14	3.81	3.75	1.14~0.44	8.58	7.88	0.44~0.37	3.29	3.22	0.37~0.87	7.47	7.97				
たい肥 1 トン	1.26~2.00	4.09	4.83	2.00~0.60	10.25	8.85	0.60~0.52	3.61	3.53	0.52~0.87	7.57	7.92				
たい肥 2 トン	1.33~2.69	3.87	5.23	2.69~0.67	9.64	7.62	0.67~0.52	3.13	2.98	0.52~1.07	7.00	7.55				
たい肥 3 トン	1.33~1.38	5.77	5.82	1.38~0.58	9.35	8.55	0.58~0.63	3.43	3.48	0.63~0.87	7.85	8.09				
稲わら0.6トン	1.16~1.33	3.82	3.99	1.33~0.41	7.32	6.40	0.41~0.53	3.34	3.46	0.53~0.95	7.60	8.02				
稲わら1.2トン	1.00~1.10	4.37	4.47	1.10~0.54	6.10	5.54	0.54~0.60	3.82	3.88	0.60~0.97	8.10	8.47				
稲わら1.8トン	0.94~1.38	5.31	5.75	1.38~0.70	4.46	3.78	0.70~0.55	4.97	4.82	0.55~0.80	7.69	7.91				

\* 施用有機物中の窒素を含む。

\*\* 有機化窒素の再無機化量を含む。とくに M<sub>4</sub> は 7/11~7/25 の時間が短いので、7月11日に施用された NH<sub>4</sub>-N の再無機化窒素を 0.3 g 程度含む。\*\*\* スタート時に施用した NH<sub>4</sub>-N は含まない。

かになったが、稲わら施用の各区は17.7~18.2 g/m<sup>2</sup> とわずかに少なかった。このなかで、総固定化量は有機物無施用区3.78 gに対して、たい肥施用の各区は1トン区4.51 g、2トン区3.94 g、3トン区4.47 g/m<sup>2</sup>、稲わら施用の各区は0.6トン区3.88 g、1.2トン区4.30 g、1.8トン区4.70 g/m<sup>2</sup>と有機物施用量の多い区で多いという傾向がみうけられた。これは移植期の5月下旬から分けつ盛期の6月中旬にかけて認められた。総脱窒量は有機物無施用区6.55 g、たい肥施用の各区5.69~6.85 gとあまり相違がなかったが、稲わら施用の各区は5.16~5.78 g/m<sup>2</sup>とやや少なかった。稲わら施用区では移植期から幼穂形成期の7月中旬にかけて脱窒量が有機物無施用区より少ないことが認められた。また、総吸収量は有機物無施用区9.04 gに対してたい肥施用の各区は1トン区9.65 g、2トン区10.1 g、3トン区10.9 g/m<sup>2</sup>とたい肥施用量の多い区で多いという傾向であった。これは、たい肥1トン区では6月中旬から7月下旬、たい肥2トンおよび3トン区では6月中旬から8月下旬にかけて認められた。これに対して、稲わら施用の各区は0.6トン区8.67 g、1.2トン区8.01 g、1.8トン区7.87 g/m<sup>2</sup>と稲わら施用量の多い区で少ないという傾向であった。これは、6月中旬から7月中旬にかけて認められたが、この時期の稲わら1.2トンおよび1.8トン区のそれは有機物無施用区の6割および4割程度であった。

次に、各期間における土壤有機態窒素からの無機化量の推定値は第8表のとおりである。この無機化量のなかには施用有機物中窒素および施肥由来有機態窒素の無機化および再無機化量を含んでいる。まず、移植期から分けつ盛期にかけては有機物無施用区3.75 gに対して、た

い肥施用の各区は1トン区4.83 g、2トン区5.23 g、3トン区5.82 g/m<sup>2</sup>、稲わら施用の各区は0.6トン区3.99 g、1.2トン区4.47 g、1.8トン区5.75 g/m<sup>2</sup>と有機物施用量の多い区で多いという傾向であった。また、たい肥区と稲わら区ではたい肥施用区でやや多かった。この傾向は分けつ盛期から幼穂形成期にかけてはたい肥施用区ではほとんどなくなり、稲わら施用区では稲わら施用量の多い区でかなり少ないという動きにかわった。すなわち、有機物無施用区7.88 gに対して、たい肥施用の各区は1トン区8.85 g、2トン区7.62 g、3トン区8.55 g/m<sup>2</sup>とたい肥施用区でやや多いという傾向であったが、稲わら施用の各区は0.6トン区6.40 g、1.2トン区5.54 g、1.8トン区3.78 g/m<sup>2</sup>と稲わら施用量が増加するにつれて激減していた。このように、稲わら施用によって、無機化窒素の出方が一時期かなり抑えられることが明らかになった。しかし、幼穂形成期から穂ばらみ期にかけては有機物無施用区3.22 gに対して、たい肥施用の各区は2.98~3.53 gと無施用区とほとんどかわらず、稲わら施用の各区は0.6トン区3.46 g、1.2トン区3.88 g、1.8トン区4.82 g/m<sup>2</sup>と稲わら施用量の多い区でやや多かった。穂ばらみ期から登熟中期にかけては有機物無施用区7.97 gに対して、たい肥施用の各区は7.55~8.09 g、稲わら施用の各区は7.91~8.47 g/m<sup>2</sup>と各区ほとんど同じになった。

最後に各区における作期中の窒素収支について検討したい。1 m<sup>2</sup> 当たりのこの窒素収支は施肥窒素 12.0 g + 施用有機物中窒素 3.5 n g (たい肥1トン区および稲わら0.6トン区のnを1とする) + 用水より入る窒素 0.5 g + 空中窒素の微生物的有機化 2.5 g<sup>10)</sup> - 水稻吸収窒素 (こ



ここでは第5表に示した登熟中期までの吸収窒素を用いた) -脱窒+刈取り後に残る根株中窒素1.5gとして計算すると、有機物無施用区は $12.0+3.5\times 0+0.5+2.5-15.1-6.6-3.1+1.5=-8.3$ g、たい肥施用の各区は1トン区-5.4g、2トン区-0.9g、3トン区+0.9g、稲わら施用の各区は0.6トン区-2.6g、1.2トン区+2.0g、1.8トン区+6.7gとなる。このように、有機物連年施用の初期の年では乾田におけるたい肥1トン施用区の窒素収支は有機物無施用区に比べて $2.9\text{g/m}^2$ 大きく、たい肥3トン施用区は $9.2\text{g/m}^2$ 大きい。また、稲わら0.6トンの秋施用区は有機物無施用区に比べて $5.7\text{g/m}^2$ 大きく、稲わら1.8トン施用区は $15.0\text{g/m}^2$ 大きいので、有機物施用による窒素の富化については稲わら施用のほうが優れていると考えられる。いずれにしても、たい肥および稲わらの長期連用によって施用された窒素と水田から持ち出される窒素との関係がどうなるかによってこのことは決まってくるものと考えられる。

### 3. 要 約

細粒質グライ土水田におけるたい肥および稲わら施用が土壤無機化窒素の固定化、脱窒、水稻吸収に与える影響についてトレーサー  $\text{NH}_4\text{-}^{15}\text{N}$  を用いて検討した結果は次のとおりであった。

1) 土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の固定化割合は移植期に存在していたものが最も高く、次いで分けつ盛期、穂ばらみ期、幼穂形成期に存在していたものの順であった。移植期に存在していた土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の4週間後における現存有機化割合は有機物無施用区の38%と比較してたい肥施用区で50~53%と高く、稲わら施用区でとくに稲わら1.2トンおよび1.8トン施用区で67および72%とさらに高かった。分けつ盛期に存在していたものの固定化割合は稲わら1.2トンおよび1.8トン施用区でやや高かった。しかし、幼穂形成期以後に存在していたものでは有機物施用の有無による相違がほとんどなかった。

2) 土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の水稻吸収割合は移植期に存在していたものが最も低く17~24%であり、次いで分けつ盛期、幼穂形成期、穂ばらみ期に存在していたものの順であり、水稻の窒素吸収能力が大きくなるにつれて高くなっていた。移植期に存在していたものでは有機物施用の各区でやや低かった。分けつ盛期に存在していたものでは稲わら1.2トンおよび1.8トン施用区でやや低かった。しかし、幼穂形成期や穂ばらみ期に存在していたものではたい肥2トンおよび3トン施用区でやや高かった。

3) 土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  の脱窒割合は移植期に存在していたものではたい肥施用の各区でやや低く、稲わら0.6トン

施用区で低く、稲わら1.2トンおよび1.8トン施用区でかなり低かった。分けつ盛期に存在していたものではたい肥施用の各区でやや高かったが、幼穂形成期や穂ばらみ期に存在していたものでは反対にたい肥2トンおよび3トン施用区でやや低かった。

4) 土壤無機化窒素の固定化、脱窒、水稻吸収への総移行量はたい肥3トン区>たい肥1トンおよび2トン区>有機物無施用区>稲わら施用の各区の順であった。これらは分けつ盛期から幼穂形成期にかけて各区に顕著な差がみられ、有機物無施用区の7.3gと比べてたい肥施用の各区で8.1~8.5gと大きく、稲わら施用の各区では0.6トン区6.0g、1.2トン区5.0g、1.8トン区3.6g/m<sup>2</sup>と稲わら施用量の多い区で小さかった。土壤無機化窒素の総固定化量は有機物施用の各区で大きかった。土壤無機化窒素の総脱窒量は稲わら施用区で小さかった。土壤無機化窒素の総吸収量はたい肥施用量が多い区で大きく、稲わら施用量が多い区で小さかった。このように、たい肥と稲わら施用が土壤無機化窒素の動態に与える影響のなかで顕著な相違は、たい肥施用は固定化量、脱窒量、水稻吸収量とも増加するという増量効果として現われるが、稲わら施用は固定化量が多く、脱窒量および水稻吸収量が少なくなるという土壤の還元層の発達とともにみられる動きになることにある。

### 文 献

- 1) 山室成一: 水田土壤中における施肥窒素の有機化、脱窒および水稻による吸収, 土肥誌, **52**, 141~148 (1981)
- 2) 山室成一: 細粒質強グライ土水田における土壤無機化窒素の動態と堆肥6年連用との関係, 同上, **57**, 551~557 (1986)
- 3) 山室成一: 粘粒質半湿田とその乾田化水田における土壤窒素の無機化とその有機化, 脱窒および水稻による吸収, 同上, **58**, 309~315 (1987)
- 4) 山室成一: 表層および全層施肥  $\text{NH}_4\text{-N}$  と土壤無機化窒素の有機化, 脱窒および水稻による吸収, 同上, **57**, 13~22 (1986)
- 5) 山室成一: 細粒質グライ土水田における堆肥および稲わら春施用が施肥  $\text{NH}_4\text{-N}$  の動態に与える影響, 同上, **57**, 345~351 (1986)
- 6) 塩入松三郎: 水田における脱窒現象について, 科学, **11**, 24 (1941)
- 7) 蘭 道生: 水田における脱窒作用, 水田土壌学, 川口桂三郎編, p. 256~264, 講談社, 東京 (1978)
- 8) 山室成一: 半湿田土壌における施肥および土壤無機化窒素の有機化, 脱窒および水稻による吸収と堆肥施用量との関係, 土肥誌, **56**, 15~20 (1985)
- 9) 山室成一: 細粒質強グライ土水田における施肥  $\text{NH}_4\text{-N}$  と土壤無機化窒素の動態と堆肥3年連用との関係, 同上, **57**, 23~28 (1986)
- 10) 山室成一:  $^{15}\text{N}$ 空気溶存水利用による水田土壌における  $\text{N}_2$  固定量の測定法, 同上, **58**, 444~451 (1987)

**Nitrogen Cycle in Paddy Fields (Part 10)**  
**Effect of Compost and Rice Straw Application on Immobilization,**  
**Denitrification and Absorption by Rice Plants of Mineralized**  
**Soil Nitrogen in a Well-Drained Heavy Clayey Paddy Field**

Sigekazu YAMAMURO  
(*Hokuriku Natl. Agric. Exp. Stn.*)

<sup>15</sup>N tracer experiments in the experimental field of Hokuriku National Agricultural Experiment Station were carried out. The effects of compost and rice straw application on the fate of mineralized soil nitrogen were examined. Seven plots were set up, namely, a non-application plot, a standard rate of compost application (compost 1 ton/10 a) and higher rates of compost application (compost 2 and 3 ton/10 a) plots, a standard rate of rice straw application (rice straw 0.6 ton/10 a) and higher rates of rice straw application (rice straw 1.2 and 1.8 ton/10 a) plots. At each time of planting, active tillering, young panicle initiation and booting, nitrogen was applied at the rate 3 g/m<sup>2</sup>.

The results obtained are summarized as follows:

1) Immobilization, denitrification, and absorption by rice plants of the mineralized soil nitrogen NH<sub>4</sub>-N existed at each time.

(1) Immobilization: Percentage of immobilization at the time of planting was in the following order: higher rates of rice straw application > standard rate of rice straw application > higher rates of compost application > standard rate of compost application > non-application. The amount at the time of active tillering showed that higher rates of rice straw application was higher than other plots. However, the amount of each plot at the time of young panicle initiation and booting was nearly the same.

(2) Denitrification: Percentage of denitrification at the time of planting was in the following order: rice straw 1.8 plot > rice straw 1.2 > rice straw 0.6 > compost application > non-application. However, the amount of each plot at the time of active tillering, young panicle initiation and booting was nearly the same.

(3) Plant recoveries: Ratio of absorption by rice plants increased with the advance of plant growth. Effect of compost and rice straw application showed a tendency that the ratio of those at the active tillering time was low by the higher rates of rice straw application plots.

2) Transfer from mineralized soil nitrogen to immobilization, denitrification, and absorption by rice plants.

The total amount of nitrogen transferred from mineralized soil nitrogen was 19.4 g in the non-application, 21.0 g in the standard rate of compost, 19.7-21.9 g in the higher rate of compost, and 17.7-18.2 g/m<sup>2</sup> in the rice straw plots. The total amount of nitrogen immobilized increased with compost and rice straw application. The total amount of nitrogen absorbed by rice plants increased with compost application and decreased with rice straw application. The total amount of nitrogen denitrified decreased with rice straw application.

*Key words* tracer <sup>15</sup>N, immobilization, denitrification, absorption

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 59, 131-139, 1988)