

水田における施用有機物の分解・集積及び水稻に対する効果

大 山 信 雄

(東北農業試験場)

Decomposition and Accumulation of Some Kinds of
Organic Matters Applied to the Paddy Field
and Their Effects on Growth of Rice Plant

Nobuo OHYAMA

(Tohoku National Agricultural Experiment Station)

1 はじめに

水田における堆厩肥の施用は古くから行われ、その効果の高いことはほぼ認められている^{3,5)}。また、最近では、コンバインの普及によって、稲わらが収穫時に施用されるようになった。これも、高冷地や排水不良田、そして、冷害年には、なお問題を残しているが、効果のあることはほぼ認められている^{1,7,13,19,22)}。しかし、これらの有機物の効果の程度については十分に明らかにされていない。その理由は、土壌条件の相違、地力の高低差、施肥量の差異、気象変動などによって、効果が一定しないことにもよるが、基本的には、施用された有機物の水田土壌中における分解・集積量など、その行方が定量的に把握されていないためと考えられる。

また、社会構造の変化や経営、生産規模の拡大に伴い、畜産廃棄物、産業(工業)廃棄物、都市(生活)廃棄物など、種々の有機物が大量に排出されるようになり、それらの一部が農耕地へ投入され、有機物施用に新たな問題を提起した。

農林水産省では、昭和52年～56年に特別研究「農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定」が実施されたが¹⁴⁾、この研究において、施用有機物の分解、集積や効果について、かなり定量的に把握されるようになったので、その研究内容の一部を紹介する。

また、東北各県で実施されている水稻に対する堆肥連用試験のとりまとめたものについても報告する。

2 堆厩肥の連用効果

東北農業試験場(大曲)では、昭和43年から堆肥施用量試験を、昭和48年からは厩肥、珪カル併用試験を継続している。ここでは、この二つの試験における堆厩肥の分解、集積及び水稻に対する施用効果を明らかにし、また、東北各県の堆肥施用試験を参考にし、堆厩肥の窒素供給力よりみた施用基準について考察する。

(1) 水稻の生育、収量及び窒素吸収に対する効果

1) 堆肥連用試験

表一 三要素区の生育、収量及び窒素吸収量

試験区 (10 a 当 たり堆肥)	収量 (kg / 10 a)		穂数 (本 / m ²)		籾数 (× 10 ² / m ²)		窒素吸収量 (N kg / 10 a)	
	13年間の 平均	最近 (51~55 年) 5 年 の平均	13年間の 平均	最近 5 年 の平均	13年間の 平均	最近 5 年 の平均	13年間の 平均	最近 3 年 の平均
無施用	546 (100)	552 (100)	340	391	269	295	9.9	10.5
1 t	586 (107)	626 (113)	334	362	298	317	11.1	12.3
2 t	599 (110)	617 (112)	353	391	319	350	11.9	13.6
3 t	576 (109)	579 (105)	361	429	335	396	12.5	16.3
4 t	563 (103)	589 (107)	387	458	365	431	13.7	17.0

注. 1) N, P₂O₅, K₂O 各 8 kg / 10 a 基肥施用, 品種はフジミノリ (昭43~47), キヨニシキ (48~55).
2) 施用堆肥の成分: 水分 70.1%, 全炭素 7.08%, 全窒素 0.697%, C/N 比 10.2, 堆肥 1 t 当たり N 保有量 6.97 kg.

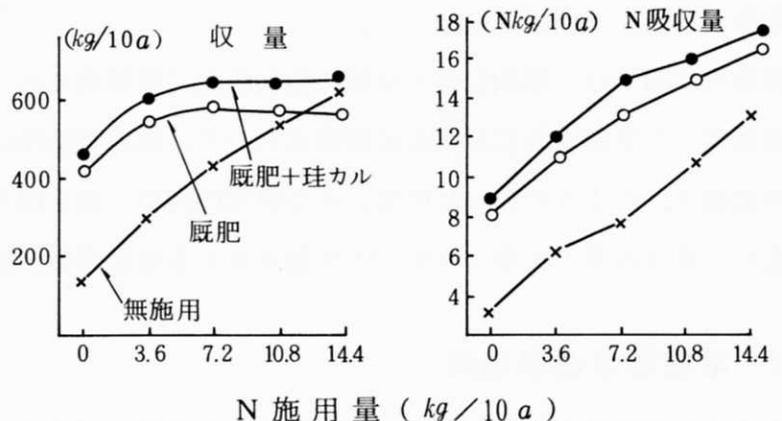
13年間の平均収量は表一に示すように堆肥 2 t 区が最高になり, 無施用区に対し, 10% の増収を示している (599 kg / 10 a)。穂数及び籾数は堆肥の施用量が増すにつれて増加し, 3, 4 t 区では過繁茂になり, また, 倒伏によって, 1, 2 t 区に比べ減収している。

これに対し, 最近 5 年 (51~55 年) の平均では, 全体に穂数, 籾数が多くなり, 収量水準も向上している。すなわち, 堆肥の連用により, 生育量が増加し, 収量水準が徐々に高まることが推察されるが, これは, 品種の変更のほかに, 後に述べるように, 窒素肥沃度が高まることによるものと考えられる。最高収量は 1 t 区 (626 kg / 10 a, 13% 増収) になっているが, 窒素肥沃度が高まり, 2 t 区の窒素供給量が過剰になり, 最適窒素供給量が 2 t 区から 1 t 区に移ったものと考えられる。

水稻の窒素吸収量は最近 5 年間の収量の高かった 1, 2 t 区では, 13 kg / 10 a 前後であり, キヨニシキの場合の最適窒素吸収量と推定される。

2) 厩肥施用試験

9 年間, あるいは 6 年間の平均収量は図一に示すように, 無施用系列では窒素施用量が増すにつれて著しく増加し, 14.4 kg 区で最高になっている。厩肥単用系列では無窒素区 (0 区) において約 400 kg / 10 a, 7.2 kg 区において最高収量 (572 kg / 10 a) になり, それ以上の窒素施



図一 厩肥施用試験における収量および窒素吸収量 (9 年間の平均。ただし 3.6, 7.2, 10.8 区は 6 年平均)

用量の各区では, いもち病が多発し, むしろ減収している。厩肥に珪カルを併用した系列では, 厩肥単用系列に比べ, 収量は常に高くなり (いもち病が少ない), 最高収量は約 630 kg / 10 a になっている。

このように、収量に対する厩肥の効果は窒素施用量が少ない場合には顕著であるが、多肥の場合には厩肥単用ではむしろ悪くなり、珪カル併用によって効果が若干認められる。この試験ではレイメイが供試されているが、倒伏は比較的少ない。

一方、窒素吸収量は、収量が7.2kg区以上ではほぼ横ばいになるものの、窒素施用量の増加と共に多くなる。両者の関係からみて最適窒素吸収量は、厩肥、珪カル併用系列の7.2kg区付近の窒素吸収量(約15kg/10a)と推定される。なお、レイメイはキヨニシキより多収性であり、最適窒素吸収量も大きくなるものと推定される。

(2) 水稲による堆肥及び厩肥窒素の吸収経過

1) 水稲生育期間中の吸収経過

国堆肥施用試験における窒素の吸収経過を図-2に示した。昭和56年は冷害年で窒素吸収は抑えられ、特に、初期生育の抑制は顕著であるが、無窒素区における窒素吸収量は時期別では生育中期に最も多く吸収され、次いで初期に多く、登熟期には少ない。堆肥無施用の場合、初期の窒素吸収量は無窒素区において極めて少なく(1kg/10a以下)、三要素区においても2kg/10a程度である。これに対し、堆肥施用区(2トン/10a)では、無窒素区において約2kg、三要素区では約6kg/10aの吸収量となり、堆肥無施用との差は生育初期から大きいことがわかる。

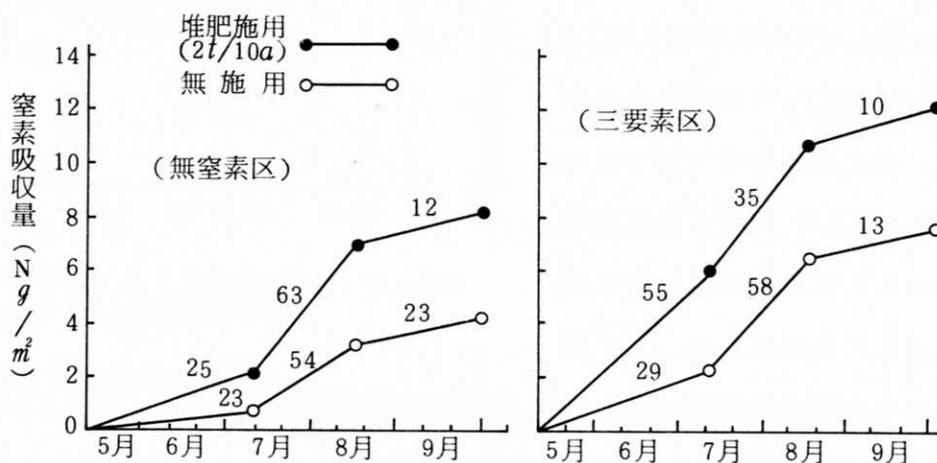


図-2 窒素吸収に及ぼす堆肥の効果(大曲, 昭56)

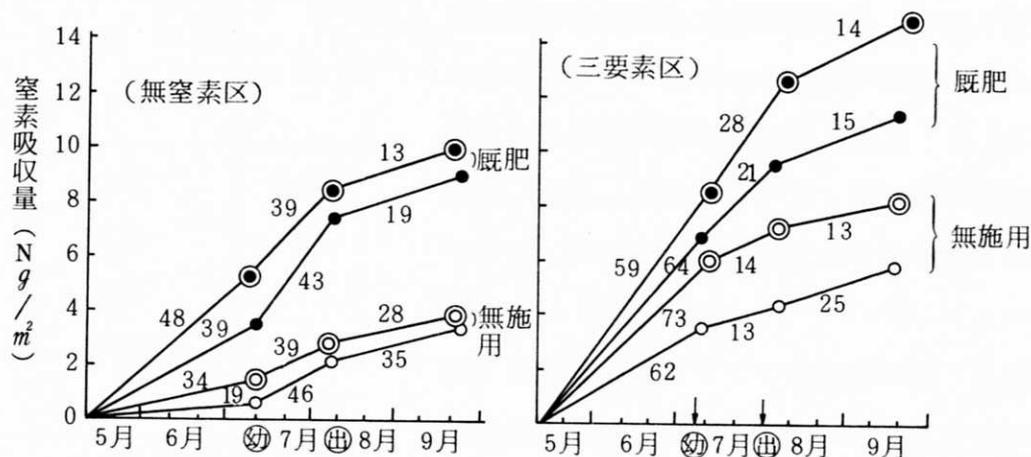


図-3 窒素吸収に及ぼす厩肥の効果(大曲)

厩肥施用 { 昭53~55 (○) (○) 昭56 (○) (○) } 無施用 { 昭53~55 (○) (○) 昭56 (○) (○) }

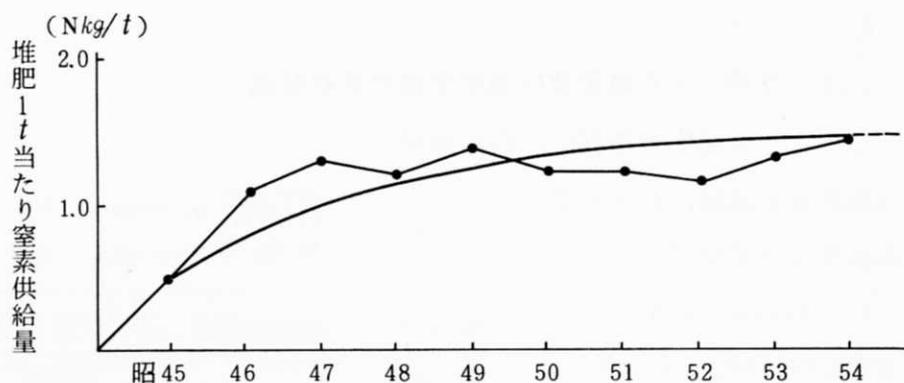
一方、厩肥施用試験の普通年(昭和53~55年)及び冷害年(昭和56年)の窒素吸収経過を図-3に示した。

堆肥に比べ、初期の窒素吸収量は大きく、厩肥単用(3.6t/10a, 無窒素区)のみで無厩肥三要素区とほぼ同量の窒素吸収量を示している。また、昭和56年の冷害年においても、厩肥施用区では初期の窒素吸収はほぼ確保されている。

このように、堆肥の窒素供給能は暖地水田における供給量(割合)ほど大きくないが¹⁵⁾ 生育初期から認められ、このことが冷害年において、初期生育を確保し、収量低下の軽減に役立っていると推察される。また、以前に比べ、堆肥の効果初期から認められるようになったのは、作土の耕深が以前に比べ浅くなったこと、田植時期が早まり、初期生育の期間が長くなったことなどが関係あるものと推定される。

2) 堆肥の窒素供給力の年次推移

13年間の堆肥連用試験における堆肥1t当たりの窒素供給量(水稻による窒素吸収量)を図一4に示した(5年移動平均)。試験開始当初は窒素供給量は少なく、年次を経るにつれて徐々に増加するが、今後も堆肥施用を続けると窒素供給量は更に増加するものと推定される^{2,6,14)}。13



図一4 堆肥連用による窒素供給の年次推移(5年移動平均)(水稻による窒素吸収量)

年間の平均窒素供給量は約1.0kg、最近3か年(昭和53~55年)では1.5kgになっている(表一4)。

3) 堆肥連用による窒素肥沃度の変動

堆肥施用試験の各試験区の一部に無窒素区を設け、13年間の堆肥連用による窒素肥沃度の変動を最近3か年について表一2に示した。収量、穂数及び窒素吸収量は堆肥の施用量が増すにつれて増加し、特に、4t区の窒素吸収量は無施用区の2倍以上(10.8kg/10a)になっている。また、吉野・出井²³⁾による跡地土壌のアンモニア生成量も窒素吸収量に類似の傾向を示し、13年間の堆肥連用により、土壌の窒素供給量が著しく高まっていることを示している。

表一2 最近3か年における窒素肥沃度

試験区	収量 (kg/10a)	穂数 (本/m ²)	窒素吸収量 (Nkg/10a)	アンモニア生成量 (NH ₄ -N) (mg/100g)
無施用	283	196	5.0	4.7
1t	363	225	6.5	6.5
2t	432	272	7.5	9.7
3t	499	307	8.6	9.6
4t	551	344	10.8	11.0

注. 無窒素栽培による。

先に述べたように、三要素区では基肥に8kg/10aの窒素を施用しているので、3,4t区では過剰の窒素が水稻に供給されたことになり、過繁茂と倒伏によって減収しているが、窒素施用を控えれば最適窒素供給量になり、高収になったものと推定される。また、仮に窒素肥料を施用しないで、堆肥のみで栽培するとすれば、無窒素区の窒素吸収量の増加傾向からみて、5~6t/10a程度の堆肥連用(13年間)が必要となろう。

4) 吸収窒素の由来

堆肥施用試験において、水稻に吸収された窒素を土壤、肥料及び堆肥由来に分け、最近3か年の平均吸収量についてみると表-3に示すとおりである。

堆肥の施用量が増すにつれて、堆肥から吸収される窒素量が多くなり、全吸収量に対する割合も高くなっている。高収が得られた堆肥1, 2t区では、基肥窒素8kg/10a施用の場合、堆肥から吸収される窒素量は全体の13~20%で、土壤及び肥料から吸収される割合に比べ低い。この割合は施肥量によって当然変わるものと考えられるが、青森県農業試験場における堆肥施用試験の結果と比較すると、経過年数は異なるものの、ほぼ似た値である²¹⁾。

表-3 最近3か年における吸収窒素の由来(Nkg/10a)

試験区	土 壌 由 来	堆 肥 由 来	肥 料 由 来	計
無施用	5.0 (47)	0 (0)	5.6 (53)	10.6 (100)
1 t	5.0 (41)	1.6 (13)	5.7 (36)	12.3 (100)
2 t	5.0 (37)	2.8 (20)	5.8 (43)	13.6 (100)
3 t	5.0 (31)	4.7 (29)	6.6 (40)	16.3 (100)
4 t	5.0 (29)	6.2 (36)	5.9 (35)	17.1 (100)

(3) 堆肥の行方

1) 堆肥窒素の水稻による吸収量及び利用率

表-4 堆肥窒素の利用率及び窒素供給量

試 験 区 (10a 当 たり堆肥)	13年間の平均		最近3か年の平均				堆肥1t当たり N供給量(kg/t)	
	N吸収増 (kg/10a)	N利用率 (%)	無窒素区 N吸収増 (kg/10a)	無窒素区 N吸収増 (kg/10a)	平 均	N利用率 (%)	13年平均	最 近 33 か 年
無 施 用	—	—	—	—	—	—	—	—
1 t	1.2	17.8	1.8	1.5	1.65	23.7	1.24	1.65
2 t	2.0	14.6	3.1	2.5	2.80	20.0	1.02	1.38
3 t	2.6	12.6	5.8	3.6	4.70	22.4	0.88	1.56
4 t	3.8	13.6	6.5	5.8	6.15	22.1	0.95	1.54
平 均		14.7				22.1	1.02	1.53

堆肥の施用量が増すにつれて、水稻の窒素吸収量は明らかに増加した。堆肥施用による窒素吸収量の増加分(無施用区を差し引く)を堆肥1t当たりに換算すると、13年間の平均で1.02kg、最近3か年の平均では1.53kg/10aになり、施用した堆肥中に含まれる全窒素のそれぞれ14.7%及び22.1%に相当する(表-4)。青森県農業試験場の試験結果に比べると継続年数のちがいもあるが、若干低いようである¹⁶⁾。

2) 堆肥の作土への集積

堆肥の施用量が増すにつれて、13年後の土壤の全炭素及び全窒素含有率は増加している(表-5)。堆肥中の炭素の13年間における作土への集積率は40.9%で、堆肥1t当たりの土壤への集積速度は全炭素含有率で年平均0.03%である。

表一五 堆肥連用作土における堆肥炭素及び窒素の集積

試験区 (10a 当 たり堆肥)	* 13 年 後		堆 肥 施 用 による増加量 (13年間)		堆 肥 1 t 当 たり 土 壌 C, N の 年 増 加 量		堆肥の作土への 集 積 率 (%)	
	全C (%)	全N (%)	全C (%)	全N (%)	全C (%)	全N (%)	C	N
無 施 用	1.74	0.159	—	—	—	—	—	—
1 t	2.14	0.204	0.40	0.045	0.031	0.0035	43.5	49.7
2 t	2.55	0.240	0.81	0.081	0.031	0.0031	44.0	44.7
3 t	2.78	0.263	1.04	0.104	0.026	0.0027	37.7	38.3
4 t	3.15	0.299	1.41	0.140	0.027	0.0027	38.3	38.6
平 均					0.029	0.0030	40.9	42.8

注. 1) * 昭和56年4月採取。

2) 作土量(乾土重)は100 t/10aとして計算した。

一方、堆肥中の窒素の13年間における集積率は42.8%である。先に述べたように水稻による堆肥窒素の利用率は14.7%であるので(表一四)、損失率は42.5%になる。これは、下層への流亡及び脱窒によるものと推定される。堆肥施用による土壌の全窒素含有率の集積速度は堆肥1 t 当たり年平均0.003%になる。

水田作土への堆肥の集積量については、いくつかの報告があるが、継続年数のちがいもあり、集積率は一定しておらず今後更に検討すべき課題である。

3) 厩肥の行方

表一六 厩肥の行方、窒素供給量及びアンモニア生成量

処 理	年 数	作土への炭素 の集積 率 (%)	窒 素			厩 肥 1 t 当 たり 窒 素 供 給 量 (kg/年)	作土の有機物 含量の年平均 増 加 量		跡 地 土 壌 の ア ン モ ニ ア 生 成 量 (NH ₄ -N mg/100g)
			作土へ 集積 率 (%)	水 稻 による 利 用 率 (%)	損 失 率		全C (%)	全N (%)	
厩 肥	8 年 平 均	42.6	48.0	23.6	28.4	1.14	0.032	0.0024	9.2
	最 近 3 か 年	—	—	33.3	—	1.60	—	—	
厩 肥 + 珪カル	8 年 平 均	43.7	44.3	27.9	27.8	1.19	0.033	0.0021	6.4
	最 近 3 か 年	—	—	40.0	—	1.93	—	—	

堆肥と同様に、厩肥について水稻による吸収利用率、作土への集積率及び損失率を表一六に示した。厩肥中の炭素の作土への集積率は8年間の平均で、厩肥単用の場合に42.6%、厩肥・珪カル併用の場合には43.7%になっている。

一方、厩肥中の窒素の作土への集積率は厩肥単用の場合に48%であるが、厩肥・珪カル併用の場合には44%に低下している。水稻による利用率は厩肥単用の場合23.6%であるが、珪カルを併用すると27.9%

に増加する。したがって、流亡、脱窒などによる損失率は既肥単用の場合 28.4%，珪カルとの併用の場合には 27.8%になる。最近3か年では、水稻による利用率は既肥単用の場合に 33.3%，珪カルとの併用の場合には40%に増加し、堆肥の場合より水稻による利用率は高くなっている。

既肥 1 t 当たり窒素供給量（水稻による吸収量）は既肥単用の場合，8年平均で 1.14 kg，最近3か年では 1.60 kgに増加し，既肥・珪カル併用の場合には，それぞれ 1.19 kg，1.93 kgになっている。

作土への既肥の集積速度は全炭素含有率でみると既肥 1 t 当たり年平均約 0.03%，全窒素含有率でみると約 0.002%で，窒素の集積速度は堆肥に比べ小さい。

跡地土壤のアンモニア生成量は既肥単用の場合 9.2 mg，一方，既肥・珪カル併用の場合には 6.4 mgに低下し，既肥と珪カルを併用することにより，既肥窒素の分解が促進され，水稻に多く吸収される反面，土壤への集積量は小さくなることを示している。

(4) 窒素供給力よりみた堆肥の施用基準

堆肥施用試験において高収が得られた 1, 2 t 区の窒素吸収量は約 13 kg/10a であるので(キヨニシキ)，これを最適窒素吸収量とし，堆肥からの供給が必要と考えられる窒素量を試算する。

堆肥施用試験における土壤からの窒素供給量は 5 kg/10a (堆肥無施用の無窒素区における窒素吸収量)であるが，東北各県の三要素試験及び有機物・土壤改良材試験の無堆肥・無窒素区における窒素吸収量は，両試験の平均で約 6.5 kg/10a であるので(表-7)，これを土壤の窒素供給量とする。次に，窒素肥料の施用量を 10 kgN/10a とし，その利用率を 40% とすると，4 kg/10a の窒素が供給されることになるので，土壤からの供給量と合すると 10.5 kg/10a になる。そこで残りの 2.5 kg/10a を堆肥で供給すれば最適窒素吸収量に達すると考えられる。

表-4 に示すように，13年間堆肥 1 t を施用すると 11～13年目(最近3か年の平均)には 1.5 kg の窒素が供給される。したがって，11～13年目に 2.5 kg/10a の窒素供給を期待するとすれば 1.7 t /10a (2.5 ÷ 1.5) を 13年間連用すれば，図-5 のような経過で達成されることになる。この場合，13年間の平均では 1.7 kg の窒素が供給されることになり，これに相当する年次が途中で存在することになる。

表-7 東北地域試験地の無窒素区における収量及び窒素吸収量 (kg/10a)

項目	三要素試験 (n=14)	堆肥・稲わら・土改材施用試験 (n=15)
収量	346 ± 57.8 (CV=16.3)	373 ± 54.6 (CV=15.3)
窒素吸収量	6.33 ± 0.95 (CV=15.2)	6.87 ± 1.10 (CV=16.3)

注. 三要素試験と堆肥，稲わら，土改材試験の無窒素区が共通になっている試験地もある。

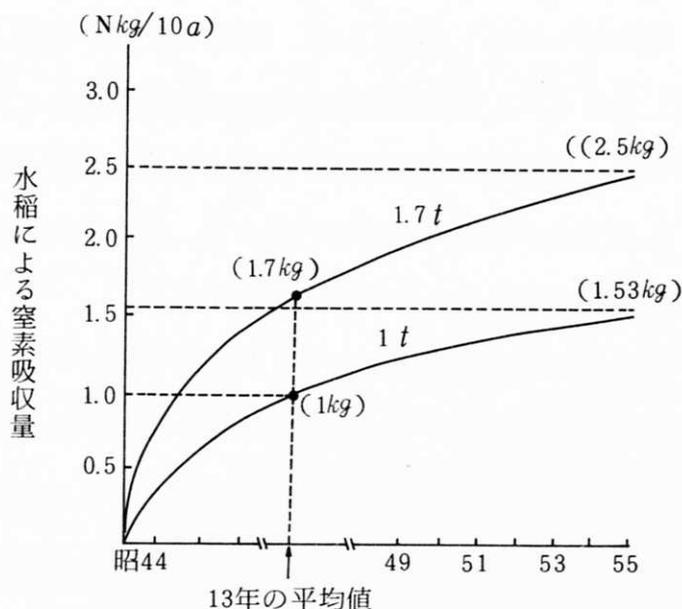


図-5 堆肥連用による窒素供給量の変動

このように、堆肥連用による窒素供給量の推移は、連用開始当初は少なく、徐々に増加してゆく経過をとると推定されるので、堆肥の窒素供給を期待する時期によって堆肥の施用量は変わる。早い時期に期待すれば多量の施用が必要であり、遅い時期に期待するのであれば、少なくすむことになる。

堆肥をきわめて長期にわたり連用すれば、堆肥窒素の土壌への集積量も多くなり、また、放出量（分解量）も多くなる。その予測のために、種々の数式が提起されているが^{2,6)}いずれも長い年数を経ると一定値に収れんとしている。窒素の放出量の場合、一年間に施用される堆肥に含まれる窒素量と同量の窒素が放出されるという²⁾。

放出される窒素のうち、何割が水稻に吸収されるかは重要な問題であるが、放出量の増加と共に水稻の吸収量も多くなり、やがて窒素過剰になることが予想される。その場合には、窒素肥料の施肥量を減らせばよい。堆肥窒素と肥料窒素とは供給量の面からみれば同じものであり、ある範囲内では互いに補完し合うものであるので、逆に、堆肥の施用量が少なくなれば、施肥量を増やさなければならない。その場合、分肥や追肥の方法が問題になろう。

厩肥は堆肥に比べ分解が速く、窒素供給量も多いので、施用量は堆肥より少なくすむものと考えられる。

(5) 東北地方における有機物の施用基準と水稻に対する効果

東北各県の水田における有機物の施用基準では、堆肥が $1\text{ t}/10\text{ a}$ 程度、稲わらは $500\sim 600\text{ kg}/10\text{ a}$ が基準になっている。そして、高冷地や排水不良の水田、転換田、泥炭及び黒泥水田などでは、稲わらについては施用しないか、あるいは、施用しても減らす指導がなされている。また、堆肥についても、若干減らすか、あるいは完熟堆肥を施用するように指導されている。これらは、いずれも、水田で生産される稲わらの量及びそれから製造される堆肥量を基に基準が決められている。現実には、これ以上の施用は極めて困難であり、むしろこの基準が確実に実行されることが重要である。

一方、東北各県で実施されている堆肥連用試験によれば（12試験地）、堆肥の施用量は $1\sim 1.2\text{ t}/10\text{ a}$ 程度が多く、継続年数は5年から60年以上までである（平均は約20年）。堆肥施用による増収効果の平均（昭和50～56年）は6%程度、窒素吸収量の増加は $1.3\text{ kg}/10\text{ a}$ （12%増）である（表-9.10）。この結果は、先に述べた東北農業試験場の堆肥施用試験に比較すると効果が低い。その理由については明らかでないが、施用した堆肥の質が関係あるものと推定される。東北農業試験場で施用された堆肥は炭素率（C/N比）が10.2の完熟堆肥であり、全窒素含有率は0.697%と高い。そのために窒素供給量が大きく、増収効果が高くなったものと推定される。

稲わらの施用試験においても、平均では若干の効果が認められるが¹⁸⁾、ばらつきが大きく、水田の土壌条件によって異なり^{8,10)}、また、高冷地や冷害年には生育遅延によって減収している。堆肥施用試験においても地下水位の高い二つの試験地ではマイナスの効果になっている。このような現象はほかの地方においても認められ、排水不良による還元障害及び窒素供給の抑制が主な原因とされている^{4,11,12)}。

3 水田における施用有機物の分解過程

これまで、水田における堆肥及び厩肥の連用試験の結果から、堆肥の集積と窒素供給力の累積効果について述べてきたが、これらの効果は、堆肥の分解の結果、もたらされたものである。ここでは、種々の有機物の分解過程を明らかにして、分解過程と窒素の放出、あるいは集積過程との関係について述べる。

圃場における有機物の分解量の調査法としてはガラス繊維ろ紙を用いた前田鬼鞍の方法⁹⁾があり、この方法によって行われた農事試験場の調査結果を紹介する。

(1) 各種有機物の分解過程（残存率）

1) 炭素の分解過程

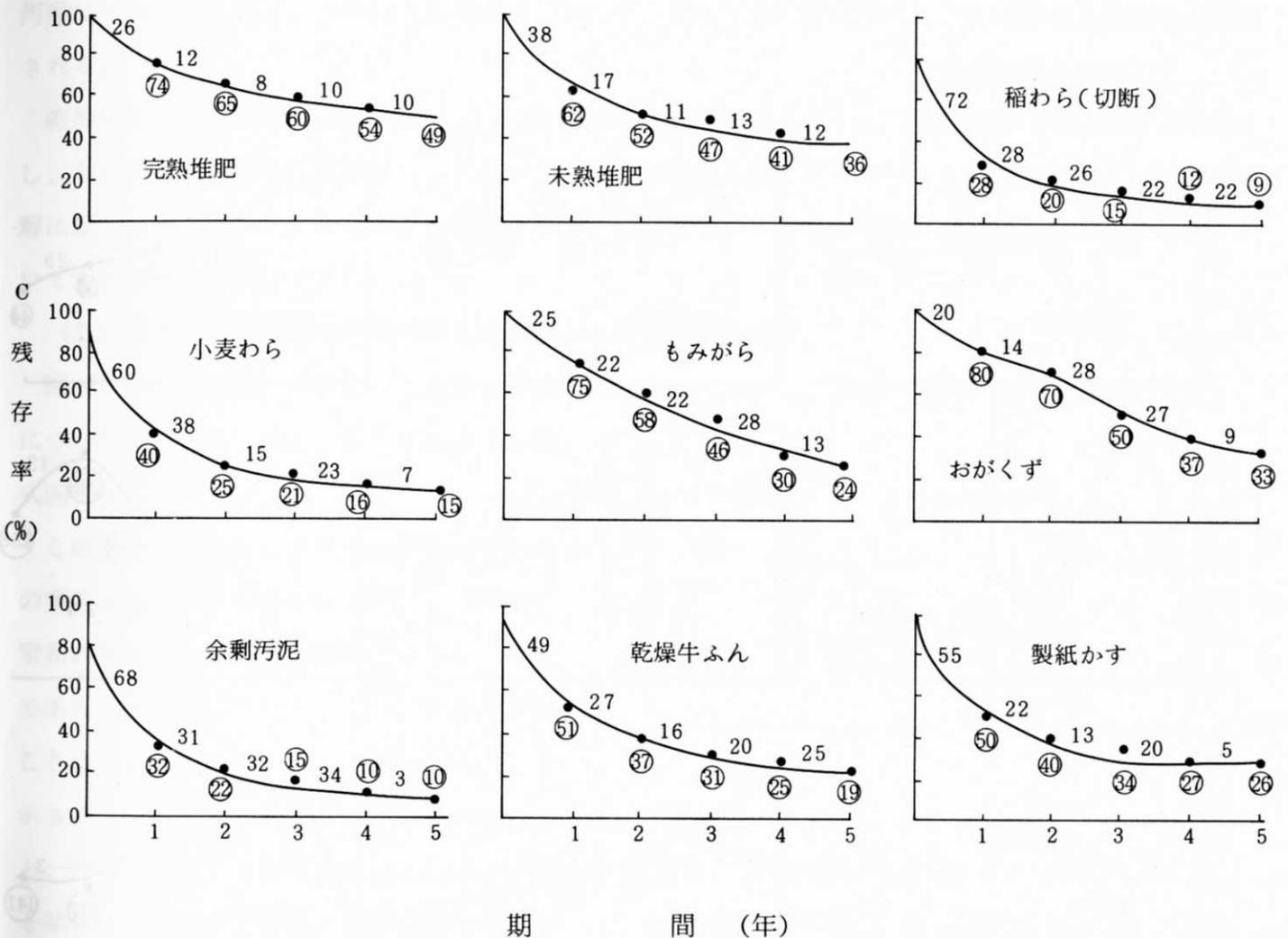


図-6 各種有機物中の炭素の分解過程（農事試）

注：図中の数字は年分解率，○中の数字は残存率。

各種有機物の分解過程を有機物中の炭素量の変動で図-6に示す。

最も分解の速いのは余剰汚泥である。これは食品工場から排出される汚泥でC/N比が6前後であるので微生物の遺体と推定される。ほとんどが易分解性で1年目に68%も分解し、2年目以降の分解率も

高く、5年後の残存率は10%に低下している。ついで、作物残渣の稲わら及び小麦わらが速く、1年目の分解率はほぼ汚泥と同じである。5年後の残存率は9~15%になっている。乾燥牛ふん及び製紙かすも1年目の分解は比較的速いが、2年目以降はやや緩やかになり、5年後の残存率は19~26%である。もみがらは、比較的直線に近い状態で分解が進み、5年後の残存率は24%に低下している。しかし、もみがらの原型は5年後も肉眼で観察されている。おがくずはC/N比が高い割には(242)分解が遅いが、これはリグニン含量が高いためと推定される。堆肥はほかの有機物に比べると分解率は低いが、特に、完熟堆肥(C/N比10.9)は低く、5年後の残存率は49%と高い。未熟堆肥(C/N比20.9)は完熟堆肥に比べ分解率は若干高く、5年後の残存率は低くなっている。

分解の速さと経過に若干の差はあったものの各有機物とも1年目の分解率が最も高く、2年目以降はややばらつきがあるものの、傾向としては年次が経るにつれて徐々に低くなり、難分解性の有機物に変換することが推察される。

2) 窒素の分解過程

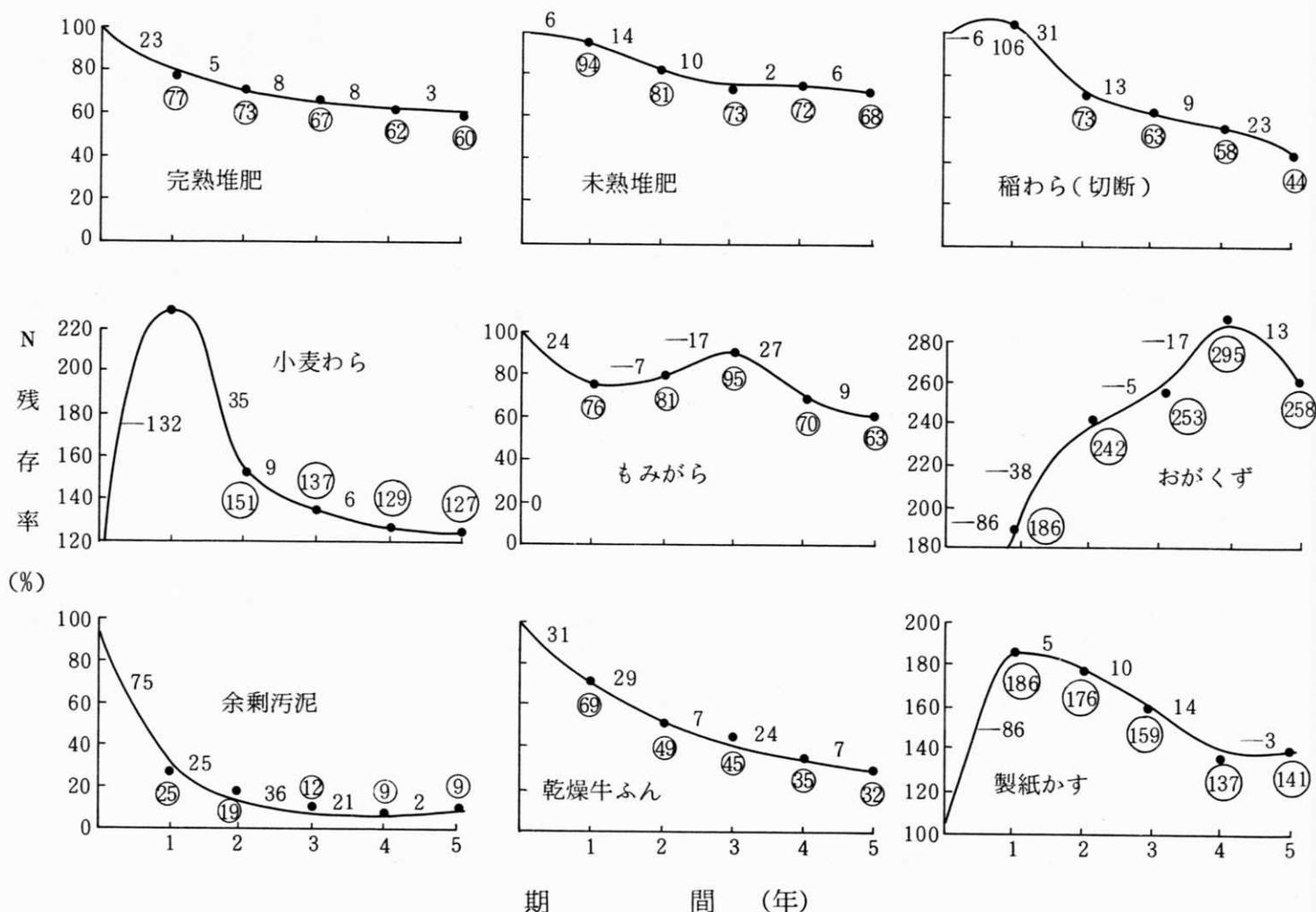


図-7 各種有機物中の窒素の分解過程(農事試)

炭素の分解過程が似た傾向を示すのに対し、窒素の分解過程は有機物のちがいによって、特徴のある経過を示す(図-7)。

完熟堆肥の1年目の分解率は23%で、2年目以降は一桁台に低下し、5年後の残存率は60%で、施用有機物中最も分解が遅い。未熟堆肥は1年目より2年目の方が分解率が高く、3年目も若干高かったが、その後は低くなった。5年後の残存率は完熟堆肥より高くなっている。1年目の分解率が低いのは、一部でとりこみ（有機化）が起るものと推察される。稲わらは1年目に6%の窒素のとりこみが起り、2年目には分解（放出）に転じ、高い分解率を示し、5年後の残存率は堆肥より低くなっている。小麦わらは稲わらよりC/N比が高く（126）、1年目のとりこみが著しく大きい。（132%）。2年目以降は分解に転じるものの、5年後においても開始時の窒素保有量に戻っていない。もみがら（C/N比74.1）は1年目は分解し、2,3年はとりこみが起り、4年目以降再分解が起っている。C/N比が高いにもかかわらず、1年目に分解が起るのは、もみがらの内側に付着している易分解性の窒素化合物（ぬかなど）が分解するものと推定される。おがくずは4年目までとりこみが続き、5年目に分解に転じている。余剰汚泥は分解が最も速く、多量の窒素を放出するので、連動性の化学肥料に近い性質をもっていると判定される。

乾燥牛ふんはC/N比が比較的low（15.5）、順調な分解過程をとり、1年目からかなりの窒素を放出し、余剰汚泥に次いで分解が速い。製紙かす（C/N比140）は1年目にとりこみが起り、2年目から分解に転じるが、稲わら、小麦わらに比較すると、分解に転じてからの分解率は低い。また、5年後においても開始時の窒素保有量に戻らない。

（2）有機物中の窒素の分解過程（残存率）と放出率との関係

図-7で各種有機物の窒素の残存率の推移について明らかにしたが、図-8にはその模式図を示した。

この図から明らかなように、例えば5年後の窒素の残存率がRであることは、5年間の窒素の放出率（分解率）の合計が $100 - R\%$ であることを示している。また、更に重要なことは、 $100 - R$ が $r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5$ で示されるように各年次の分解率の和であること、換言すれば、有機物を連用した場合に、5年目に放出される窒素の放出率を同時に示していることである。

したがって、この残存率の推移を測定すれば、連用した場合のある年次の放出量がわかることになる。そして、いま、この測定年数を無限大にするとすれば、残存率の曲線はX軸に接することになる。このことは、有機物の連用が長年数になると、1年間に施用される有機物中の窒素と同量の窒素が放出されることを意味している。

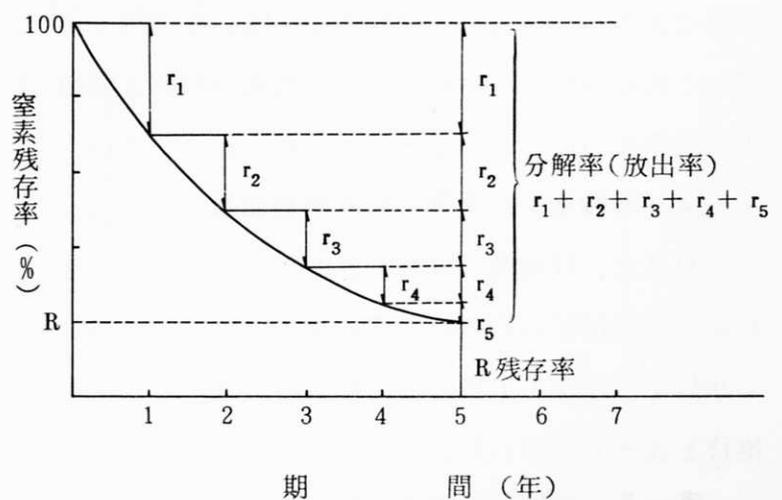


図-8 窒素の残存率と放出率との関係（模式図）

(3) 有機物中の窒素の放出率と集積率との関係

余剰汚泥と完熟堆肥について、連用した場合の窒素の放出率と作土への集積率を図-9に示した。

分解の速い余剰汚泥では保有している窒素の68%が1年目放出され、2年目以降は放出率は低下するものの、1年間に施用される余剰汚泥中に含まれる窒素量のほぼ90%が5年以内に放出されるようになる。反面、作土への集積率は低く、5年後においても、1年間に施用され窒素量に匹敵する窒素量は集積されない。

これに対して、分解の遅い完熟堆肥では放出率が低く、5年後においても、1年間に施用される堆肥窒素の50%しか放出されない。しかし、作土への集積率は高く、連用2年目において、1年間に施用される堆肥窒素量を上回る量が集積し、その後の集積率も高い。

このように、窒素の放出(分解)と集積は表裏の関係にあるが、有機物の種類によって、その関係は著しく異なることを示している。炭素の分解と集積との関係についても同様と考えられる。

(4) 有機物中の窒素の年次別放出量

これまで、有機物の分解(放出)を率で示してきたが、実際にどのくらいの窒素を放出するか、現物(水分を含む)1t当たりの窒素の放出量の年次別推移を表-8に示した。

表-8 単位有機物当たり窒素の年間放出量(農事試)

有機物	現物の窒素保有量(kg/t)	(Nkg/t)				
		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
* 余剰汚泥	59.2	44.7	3.7	3.9	1.4	0.2
** 完熟堆肥	6.2	1.5	0.2	0.4	0.3	0.1
* 乾燥牛ふん	16.9	5.3	3.4	0.6	1.9	0.5
** 未熟堆肥	4.0	0.2	0.5	0.3	0.1	0.2
* 稲わら	5.6	-0.3	1.9	0.5	0.3	0.8
* もみがら	4.6	1.1	-0.3	-0.6	1.2	0.3
* 小麦わら	2.8	-3.7	2.3	0.4	0.3	0.1
* 製紙かす	2.5	-2.1	0.3	0.4	0.5	-0.1
* おがくず	1.8	-1.4	-1.2	-0.2	-0.8	+0.7

注・*水分15%、**75%とした。

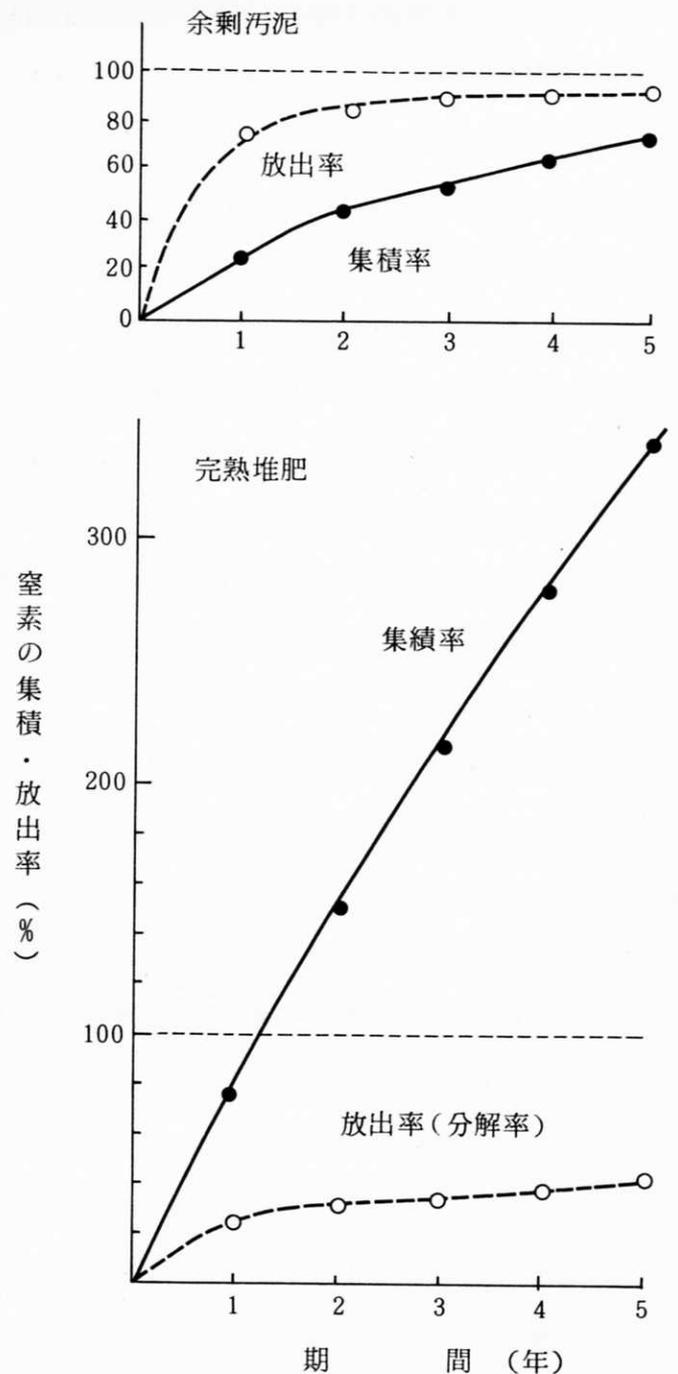


図-9 窒素の分解率と集積率との関係(農事試)

余剰汚泥では1年目に44.7kgもの大量の窒素が放出される。2年目以降は急激に減少するものの、ほかの有機物に比べると多い。もし、余剰汚泥を水田に施用し、水稻を栽培するとすれば、10a当たり1tの施用は窒素過剰になるので施用できない。ただ、44.7kgの窒素は、放出される量で、水稻に吸収されるのは、このうちの一部でありこれは、ほかの有機物についても同様である。完熟堆肥の場合、仮に、10a当たり1t施用すると1年目に1.5kgの窒素が放出される。この結果からすると、水稻に対する堆肥施用1年目の効果は小さいものと推定される。乾燥牛ふんは窒素保有量が大きく、1,2年目の放出量は多く、1t程度の施用で窒素効果はかなり期待できそうである。

1年目にとりこみが起る稲わら及び小麦わらでは2年目の放出量は若干大きく、期待できそうであるが、連用した場合には2年目に施用したわらのとりこみがあるので、一部で相殺されることになる。

製紙かす、おがくずはこのままでは窒素供給効果はほとんどなく、むしろ、窒素飢餓などマイナス面が問題となろう。

3年目以降になると、余剰汚泥以外の有機物の窒素の放出量は1t施用ではわずかになり、水稻に対する効果もほとんど期待できないものと推察される。

4 堆肥の冷害に対する効果

(1) 収量に対する効果

表-9 収量に対する堆肥の効果

試 験 地	* 堆肥施用	昭50~56年の平均収量 (kg/10a) [指数]	変動係数	** 普 通 年 (kg/10a)	指数 (普通年 100)		
					51 年	55 年	56 年
黒 石	-	465 [100]	13.1	499	84	79	91
	+	501 [108]	14.4	540	89	71	89
秋 田	-	497 [100]	12.5	511	102	105	74
	+	570 [115]	8.3	583	102	102	80
大 潟	-	639 [100]	19.0	669	-	115	71
	+	595 [93]	17.9	621	-	114	73
最 上	-	574 [100]	11.7	605	90	81	94
	+	563 [98]	15.9	592	78	85	102
庄 内	-	573 [100]	8.2	589	92	95	95
	+	637 [111]	9.4	657	93	95	91
会 津	-	668 [100]	8.1	656	-	112	97
	+	708 [106]	3.7	698	-	108	99
大 曲	-	529 [100]	9.6	535	94	108	91
	+	605 [114]	7.6	614	95	107	89
滝 沢	-	472 [100]	7.9	491	100	86	87
	+	510 [108]	10.0	536	93	86	88
岩 沼	-	460 [100]	16.7	515	84	80	62
	+	484 [105]	18.0	547	85	78	58
郡 山	-	593 [100]	9.2	627	89	90	83
	+	618 [104]	8.1	651	88	89	88
相 馬 (排水)	-	548 [100]	12.0	593	93	71	91
	+	558 [102]	9.5	598	90	78	92
" (無排水)	-	542 [100]	12.7	582	102	71	86
	+	581 [107]	9.6	619	97	76	90
平 均	-	547 [100]					
	+	578 [106]					

注・1) * 堆肥施用量1~2t/10a, ** 昭50, 52, 53, 54年の平均。 2) 東北各県・三要素試験より。

昭和50～56年の12試験地における平均収量では約6%の増の堆肥の効果が認められる(表-9)。このうち、秋田県農業試験場大瀧支場及び山形県農業試験場最上分場ではマイナスになっているのは、先に述べたように、地下水位の高いことが影響していると推定される²⁰⁾。

冷害年の昭和51, 55及び56年の収量を普通年に対する指数で示しているが、堆肥施用区における冷害年の指数の落ち込みは無堆肥区の場合とほぼ同様の傾向を示し、堆肥施用によって落ちこみが特に小さくなることはないようである。つまり、堆肥施用によって低温に抵抗力のある水稻が形成されることはないものと推察される。ただ、普通年の絶対収量は堆肥施用区が高いので、冷害も高い傾向にある。したがって、この意味では冷害年に堆肥の効果があるといえる。

堆肥施用によって収量が安定するといわれているが²¹⁾、変動係数からみると、この調査では堆肥施用区の係数が必ずしも小さくなく、堆肥施用区の収量が安定しているとはいいきれない。

次に、収量構成要素、乾物重及び養分吸収に対する堆肥の効果を表-10に示した。

表-10 堆肥の施用効果

項 目	堆 肥 施 用	試 験 地 数	昭50～56年 の 平 均	左の変 動係数	普 通 年	昭 和 56 年	
						普通年 に対する指数	-M区=100 の 指 数
穂 数 (本/㎡)	-	14	542	11.8	570 (100)	84	100
	+	12	580	10.9	608 (106)	86	108
粃 数 (×10 ² /㎡)	-	10	298	10.6	300 (100)	95	100
	+	9	341	10.3	347 (113)	93	114
登 熟 歩 合 (%)	-	10	84.8	7.6	87.4 (100)	92	100
	+	9	79.6	9.9	82.7 (95)	91	93
千 粒 重 (g)	-	10	21.5	2.7	21.6 (100)	99	100
	+	9	21.5	2.7	21.8 (100)	98	100
乾 物 重 (g/㎡)	-	9	1265	9.2	1282 (100)	94	100
	+	8	1367	9.5	1371 (105)	96	105
窒素吸収量 (g/㎡)	-	14	10.46	14.9	10.38 (100)	88	100
	+	12	11.77	13.3	11.58 (112)	95	113
燐酸吸収量 (g/㎡)	-	12	5.90	16.3	6.04 (100)	84	100
	+	10	6.22	13.8	6.36 (106)	88	106
加里吸収量 (g/㎡)	-	12	12.68	18.7	12.14 (100)	99	100
	+	10	14.45	15.9	13.81 (115)	103	115
珪酸吸収量 (g/㎡)	-	8	83.6	19.5	88.0 (100)	87	100
	+	7	91.6	13.1	94.2 (115)	92	147

収量構成要素では、籾数の増加に対する効果が最も高く、次いで穂数であるが、千粒重に対する効果はなく、登熟歩合に対してはマイナスになっている。これは籾数が増加することによるものと推定される。

乾物重は5%増、養分吸収では、磷酸の吸収増加が最も小さく、窒素、加里、珪酸の吸収は10%以上増加している（普通年）。冷害年もほぼ同様の傾向であるが、加里の吸収は冷害年（昭和56年）に落ちこんでいない。

5 ま と め

水田における有機物の分解・集積及び効果について、特に、水稻の生育、収量に密接な関係のある窒素養分を中心に述べた。圃場における有機物中の窒素の分解及び集積量、水稻に対する窒素供給量など、堆肥の行方について東北農業試験場の試験結果を中心に述べたが、この種のデータの集積は全国的にはまだ少ない上、ばらつきが大きい。今後、各試験場で実施されている堆肥連用試験のとりまとめがなされ、多数のデータが集積されれば、より正確な結論が得られよう。

引 用 文 献

- 1) 千葉満男・島津了司・武藤和夫・内田修吉. 水田における稲わら施用と稲作の安定化. 岩手農試研報 22, 81-117 (1980).
- 2) 出井嘉光. 水田における有機物の集積と分解. 土肥誌 46, 251-254 (1975).
- 3) 江川友治. 堆肥の土壌肥料的論議. 農業技術 19, 1-5 (1971).
- 4) 後藤重義・鬼鞍 豊. 水田土壌における有機酸. 第2報 稲わら存在下における有機酸の生成と水稻の生育. 九州農試彙報 13, 173-186 (1967).
- 5) 橋元秀教. 有機物施用の理論と応用. 農文協. 208 p (1977).
- 6) 井の子昭夫. 土壌中における有機物の分解と集積—その数式化へのアプローチ—. 土肥誌 52, 548-558 (1981).
- 7) 高坂 巖. 水稻に対する有機物施用の効果. 農業技術 29, 7-11 (1974).
- 8) 近畿中国地域わら施用研究グループ. 水稻に対する土壌型別わら施用効果. 近畿中国農研 63, 8-12 (1982).
- 9) 前田乾一・鬼鞍 豊. 圃場条件における有機物の分解率の測定法. 土肥誌 49, 455-460 (1978).
- 10) 南 松雄. 水田地力の現状と有機物の意義. 北農 43(1), 3-17 (1976).
- 11) 仲谷紀男・鬼鞍 豊. 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. 土肥誌 45, 546-548 (1974).
- 12) 西村征夫・久末 勉. 有機物（堆肥・稲わら）からの窒素供給. 東北農業研究 21, 109-110 (1978).
- 13) 農林水産技術会議事務局. 水田におけるいねわらの施用法と施用基準. 199p (1968).
- 14) —————. 昭和56年度特別研究推進会議資料「農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定」(1982).
- 15) 大山信雄. 暖地水田における地力窒素の発現様式—有機物施用および土壌管理法の影響—. 土肥誌 46, 297

- 16) 志賀一。水稲生産に対する地力窒素の役割。北農 43(1), 18-31(1976).
- 17) 高井康雄。水田土壌の動態に関する微生物学的研究Ⅱ。肥料科学 4, 1-48(1981).
- 18) 東北農業試験場編。東北地方における56年冷害の記録—水稲冷害と台風害の実態と解析—。129 p.(1982).
- 19) 上野正夫・斉藤昭四郎・小南 力・斉藤正志・渡辺和夫・鈴木 正。水稲に対する有機物および土壌改良資材の施用効果。山形農試研報 12, 57-86(1978).
- 20) 山下鏡一。水田における推肥の効果の解析。農業技術 19, 6-11(1971).
- 21) ———。水田における有機物の効果と問題点。土肥誌 49(特集号), 52-60(1978).
- 22) 吉澤孝之。水田における稲, 麦わらの施用とその効果(1~3)。農業技術 26, 349-351, 407-413, 456-461(1971).
- 23) 吉野喬・出井嘉光。土壌窒素供給力の有効積算温度による推定法について。農事試研報 25, 1-62(1977).