

第 3 章 バーク堆肥の窒素評価

畑作専業地帯では、機械化と規模拡大が進むにつれて堆きゅう肥が不足し、地力の低下が懸念されている。このため、樹皮、のこ屑、端材などの林産廃棄物を堆肥化し、農業に活用することが進められている。しかし、これらの木質物は草本類と比較すると難分解性の有機成分が多く、C/N比も著しく高い。したがって、堆肥化過程で腐熟が緩慢であり、かつ未熟なものを畑地に施用すると窒素飢餓などの生育障害を起こす危険が大きい。

木質資材堆肥は、樹皮などを主体に長期間（半年～数年間）堆積して作られるバーク堆肥と家畜糞尿におが屑などを混合し、比較的短期間の堆積により作られる木質混合家畜糞堆肥に区分される^{111,200)}。道内では、主としてバーク堆肥が製造されており、それらの畑地での施用量は地力維持の観点から年10Mg ha⁻¹が基準とされている⁸²⁾。しかし、堅密固結性土壌においては100～200Mg ha⁻¹施用する有材心土改良耕法が推奨されており⁸³⁾、土壌の物理性を改善する観点からは多量施用も容認されている。このため、バーク堆肥の腐熟度判定を的確に行い、窒素飢餓などによる生育障害を回避することが重要である。

近年、河田¹¹⁰⁾は化学的分析と幼植物テストに基づいてバーク堆肥の統一品質基準を設定した。この中で、C/N比は窒素飢餓を回避する観点から35以下を基準としたが、樹種や添加物などにより大きく変動するため、この指標値のみで腐熟度を判定するのは困難である⁹³⁾。一方、資材の窒素肥効や作物生育に及ぼす影響について検討した事例をみると、ほとんどが木質混合家畜糞堆肥に関するものであり、バーク堆肥については十分検討されていない。

そこで、本章では、①バーク堆肥の化学成分と窒素の有機化・無機化との関係に基づいて、窒素飢餓を回避するための腐熟度指標の設定、②樹種や腐熟度の異なる各種バーク堆肥の窒素肥効と作物の生育、収量に及ぼす影響、などを検討した。

第 1 節 バーク堆肥の腐熟度と窒素の有機化・無機化

1. はじめに

バーク堆肥は、原料となる樹種や添加物が多種多様であり、稲わら堆肥のように外観による腐熟度判定が困難である。このため、化学的分析による腐熟度判定法の確

立が求められている。そこで、本節ではバーク堆肥の腐熟化に伴う化学成分変化を樹種別に調査するとともに、これらの化学成分と窒素の有機化・無機化の関係を検討し、窒素飢餓などの生育障害を回避するための腐熟度指標を策定した。

2. 試験方法

1) 堆積試験

原料として針葉樹および広葉樹の樹皮（木質部も一部含む）を供試し、各樹皮1Mg当たり鶏糞143kg（N 5kg）＋尿素10.9kg（N 5kg）を添加し、C/N比を約40に調整した。堆積規模は針葉樹1.8Mg、広葉樹1Mgとし、1981年6月15日に積み込んだ。両樹種とも堆積後の温度変化には大きな相違は認められず、最初の2ヶ月間は60～70℃の高温発酵が続き、その後の2ヶ月間は50℃前後で推移した。また、冬期間は凍結状態となったが、翌年夏には再び40～45℃まで上昇した。切り返しは発熱発酵の推移をみながら適時実施した。試料は堆積中心部から採取し、ポット試験、培養実験、および化学成分分析に供した。

2) ポット試験

1/5000 a のワグネルポットに、バーク堆肥を乾物重比で2%相当量添加した土壌を充填し、エンバクを播種した。肥料はポット当たりN、P₂O₅、K₂O各0.5g、MgO 0.25gを硫酸、過石、硫酸、硫酸で施用し、出穂期の窒素吸収量を調査した。

3) 培養実験

土壌に対して乾物重比2%相当量のバーク堆肥（風乾、粉碎して2mmのふるいを通したもの）と250mgN kg⁻¹乾土相当量の硫酸を添加し、水分を最大容水量の60%に保ち、30℃で20～30日間培養した。経時的に炭酸ガス発生量と無機態窒素を測定し、差引き法により炭素無機化率（CO₂-C/T-C×100）と窒素有機化量（mg g⁻¹ T-C）を算出した。

4) 分析方法

全炭素：CNコーダー法、全窒素：ケルダール法
有機成分：微粉碎した風乾試料に0.7N塩酸を加え、2.5時間煮沸してからろ過した。乾燥させた残渣に72%硫酸を加え、20℃で4時間放置した後、蒸留水を加えて0.78N硫酸とし、4時間煮沸した。0.7N塩酸可溶物および72%硫酸可溶物中の還元糖をSomogyi法により定量し、それぞれ可溶性炭水化物およびセルロース含量とし

表3-1 堆積過程でのC/N比および有機成分変化

堆積期間	T-C (g kg ⁻¹)		T-N (g kg ⁻¹)		C/N比		可溶性炭水化物 (g kg ⁻¹)		セルロース (g kg ⁻¹)		リグニン (g kg ⁻¹)		還元糖割合 (%)	
	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉
原料パーク	517	492	3.0	3.7	172	133	145	162	347	280	315	279	42	40
30日	489	434	11.7	12.7	42	34	118	122	334	252	318	281	41	38
70日	478	433	11.1	12.2	43	36	114	111	341	232	314	305	42	35
140日	455	400	11.9	17.9	38	22	106	88	266	171	331	351	36	29
350日	404	375	13.1	19.8	31	19	93	75	215	99	330	357	34	21
500日	351	339	13.9	21.2	25	26	69	60	129	49	312	343	25	14

た。また、これらの含有量から井ノ子²⁹⁾の方法にしたがって還元糖割合を算出した。リグニンは72%硫酸不溶物を600℃で灰化させ、その重量減から求めた。

窒素の形態：無機態窒素は1 N塩化カリウム溶液で浸出し、微量拡散法により測定した。有機態窒素の分画定量はStewartら²³⁾の方法に準じた。72%硫酸不溶性窒素は前述の72%不溶物中の窒素をケルダール法により測定した。

3. 結 果

1) 腐熟過程における化学成分変化

堆積後におけるパーク堆肥のC/N比および有機成分の経時的変化を表3-1に示した。C/N比は堆積当初大きな変化が認められなかったが、70日目を超えると漸次低下する傾向を示した。C/N比の低下は針葉樹よりも広葉樹で著しく、1年間の堆積で針葉樹30、広葉樹19まで低下した。針葉樹パーク堆肥の場合、C/N比が20まで低下するには約3年の堆積期間が必要であった。

有機成分については、可溶性炭水化物、セルロース含量の低下とリグニン含量の増加が認められた。可溶性炭水化物は堆積後短期間でかなり分解が進んだが、セルロースは70日を過ぎてから急速に分解が進むようであった。約1年間堆積したときのセルロースの残存率は針葉樹62%、広葉樹35%であった。また、還元糖割合は堆積当初40%程度であったのが1年後には針葉樹34%、広葉樹

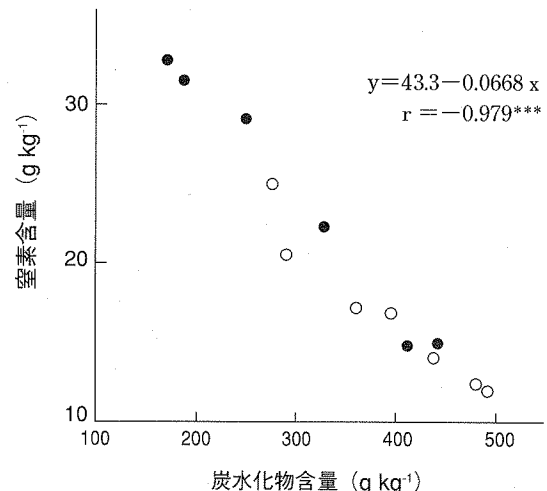


図3-1 有機物中の炭水化物と窒素の関係
○, 針葉樹; ●, 広葉樹

21%まで低下した。

このような化学成分の変化を有機物（無水・無灰分）当たりでみると、炭素含量は52%程度とほぼ一定の値を示すことから、腐熟に伴うC/N比の低下は有機物中の窒素含量増加に対応するものであった。一方、有機物中の窒素含量増加は、図3-1に示すように、炭水化物（可溶性炭水化物+セルロース）含量の低下に比例することが認められた。したがって、C/N比の低下は炭水化物の分解程度を反映したものとみなされ、その樹種間差は主にセルロースの分解の難易によるものと推察された。

表3-2 堆積過程での窒素形態変化

堆積期間	無機態N (mg kg ⁻¹)		有機態N組成*						72% H ₂ SO ₄ 不溶性N**	
			酸可溶抽出性N		酸可溶非抽出性N		酸不溶性N			
	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉
原料パーク	68	87	12.8	13.5	65.0	69.2	22.2	17.3	43.6	48.3
30日	853	444	13.7	15.0	45.0	49.4	41.3	35.6	58.2	54.1
70日	129	150	13.9	14.4	36.2	39.9	49.9	45.7	61.0	66.1
140日	54	104	15.5	15.6	41.0	46.9	43.5	37.5	62.1	59.1
350日	58	488	16.0	16.5	41.2	45.5	42.8	38.0	59.2	52.7
500日	80	845	15.9	18.0	41.5	45.0	42.6	37.0	57.0	52.2

*有機態窒素に対する%、**全窒素に対する%

表3-2には窒素形態の経時的変化を示した。無機態窒素は堆積後急激に減少し、70日目には $130\sim 150\text{mg kg}^{-1}\text{DW}$ となった。1年を経過すると、広葉樹では増加に転じ、500日目では $800\text{mg kg}^{-1}\text{DW}$ を上まわった。しかし、針葉樹の場合はいずれも $100\text{mg kg}^{-1}\text{DW}$ 以下の低水準で推移した。有機態窒素の組成では、堆積後70日目までは酸不溶性画分が著しく増加し、酸可溶非留出性画分は減少する傾向を示した。140日目以降は各画分とも大きな変動が認められず、酸可溶非留出性画分は針葉樹 $41\% < \text{広葉樹} 45\sim 47\%$ 、酸不溶性画分は針葉樹 $43\% > \text{広葉樹} 37\sim 38\%$ で経過した。一方、72%硫酸不溶性画分は両樹種とも堆積後70日間に著しく増加する傾向を示した。

次に、バーク堆肥を土壌に添加し、培養したときの炭

表3-3 樹種および堆積期間の異なるバーク堆肥の炭素無機化率と窒素有機化量

堆積期間	C無機化率(%)*		N有機化量($\text{mg g}^{-1}\text{C}$)**	
	針葉樹	広葉樹	針葉樹	広葉樹
原料バーク	7.2	26.1	3.5	11.1
30日	6.4	19.5	0.2	5.9
70日	2.6	15.3	0.7	6.2
140日	2.5	6.8	-0.5	0.4
350日	-	-	-0.8	-0.4

*30℃、30日間培養、**30℃、20日間培養

素無機化率と窒素有機化量を表3-3に示した。これらの値はいずれも堆積の経過とともに減少し、窒素有機化傾向は両樹種とも1年後には認められなくなった。樹種間の比較では、堆積当初広葉樹が針葉樹より著しく高かったが、その差は漸次小さくなった。このことから、針葉樹は広葉樹よりも分解が緩慢に進むため、高いC/N比を有するものでも窒素有機化量は少ないことを認めた。

2) 各種バーク堆肥の化学成分と窒素有機化・無機化

網走管内で作られている各種バーク堆肥および原料となる樹種を供試して、ポット試験により作物の窒素吸収量に及ぼす影響を調査し、これと化学成分との関係を表3-4に示した。その結果、窒素吸収量は無機態窒素と

表3-4 バーク堆肥及び原料樹種の化学成分と窒素吸収量の関係(相関関係)

化学成分	バーク堆肥			バーク堆肥+原料樹種
	針葉樹 (n=19)	広葉樹 (n=29)	全体 (n=48)	原料樹種 (n=57)
T-N	0.16	0.28	0.26	-
無機態N	0.23	0.67***	0.44*	-
C/N比	-0.26	-0.46*	-0.40**	-
可溶性炭水化物	-0.11	-0.51**	-0.34*	-0.73***
全炭水化物	-0.24	-0.58**	-0.45**	-0.72***
還元糖態C/T-N	-0.40	-0.61***	-0.50***	-0.72***
還元糖割合	-0.38	-0.54**	-0.46**	-
N有機化量	-0.72***	-0.64***	-0.56***	-0.79***

注) 全炭水化物：可溶性炭水化物+セルロース

*, **, ***：はそれぞれ5%、1%、0.1%水準で有意。

正の相関、炭水化物、還元糖割合、C/N比、還元糖態炭素/全窒素比とは負の相関を示した。これらの相関は針葉樹よりも広葉樹で大きく、針葉樹だけの場合はいずれも有意な関係ではなかった。しかし、両樹種とも培養したときの窒素有機化量とは高い負の相関を示した。

そこで、C/N比および還元糖態炭素/全窒素比と窒素有機化量との関係を図3-2に示した。窒素有機化量はC/N比、還元糖態炭素/全窒素比が低くなるにしたがって減少し、やがて無機化に転じた。有機化から無機

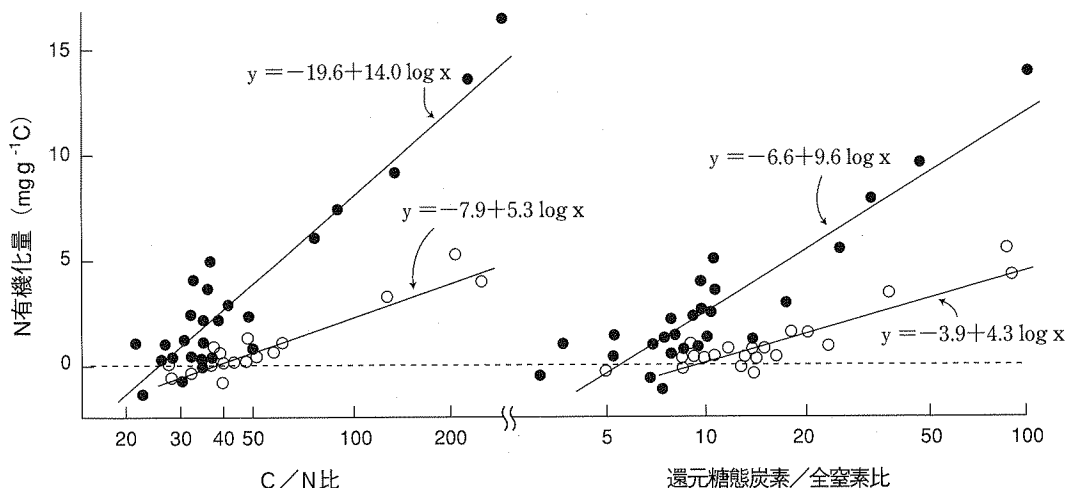


図3-2 バーク堆肥および原料樹種のC/N比、還元糖態炭素/全窒素比と窒素有機化量
○, 針葉樹; ●, 広葉樹

化に転じるときのC/N比は針葉樹35、広葉樹25であった。また、還元糖態炭素/全窒素比の場合は針葉樹10、広葉樹5～6であった。パーク堆肥の炭素含量は有機物中で52%前後を示すことから、このときの有機物中窒素含量は針葉樹1.5%、広葉樹2%に相当した。また、還元糖態炭素含量は針葉樹15%、広葉樹11%に相当し、これから還元糖割合を算出するとおおむね針葉樹30%、広葉樹20%であった。

4. 考 察

1) 腐熟過程における化学成分変化

堆積中の化学成分変化をみると、C/N比および可溶性炭水化物、セルロース含量は低下し、これに対応してリグニン含量は相対的に増加する傾向を示した。C/N比の低下は、可溶性炭水化物とセルロースの分解に伴うものであり、とりわけセルロースとは密接な関係を認めた。木質物の主成分であるセルロースはリグニンと結合して物理的、化学的に強固な構造をつくり、微生物分解に対する抵抗性が大きいとされている⁹³⁾。堆積中のセルロースの分解程度は樹種間で相違し、広葉樹が針葉樹よりも著しく大きかった。Allison⁷⁾、樋口・栗原⁷⁸⁾、Higashidaら⁷⁹⁾の報告によると、土壌中での木質物の分解は針葉樹よりも広葉樹で著しく大きいことを認めているが、これは主にセルロース分解の難易を反映したものと推察される。これらのことから、セルロース含量の変動は木質物の分解程度を反映しており、腐熟度判定の尺度になりえるものである⁹²⁾。したがって、セルロース含量とは密接な関連を示す還元糖割合も腐熟度判定の指標として有用と考えられる。

窒素の形態変化をみると、無機態窒素は堆積当初に著しい減少が認められ、有機化傾向が顕著であったが、腐熟が進むと樹種間で異なる傾向を示した。すなわち、広葉樹の場合は有機化から無機化に転じ、無機態窒素は再び増加したが、針葉樹の場合は長期間堆積しても無機化傾向は判然としなかった。このため、両樹種共通して無機態窒素を腐熟度の尺度とすることは困難であるが、広葉樹に限定すると窒素の形態変化から腐熟度を判別できる可能性が示唆された。一方、有機態窒素の組成は、堆積当初に酸可溶非留出性画分の減少と酸不溶性画分の増加が顕著であった。この傾向は、ヘムロックパーク堆肥についての河田¹⁰⁸⁾や佐藤¹⁹⁸⁾の報告、広葉樹パーク堆肥についての河田ら¹⁰⁹⁾の報告と一致するものである。このことから、河田¹⁰⁸⁾は、加水分解性窒素およびアミノ酸態窒素の全窒素に対する比率の著しい減少が堆肥化の指標になり得るとしている。しかし、樹種間でみると腐

熟の緩慢な針葉樹が広葉樹よりも低い比率を示すことから、腐熟度の尺度にはなりえないと思われる。なお、酸不溶性窒素の著しい増加は、添加した窒素のかかなりの部分がリグニンやフェノール酸と結合し、腐植酸様物質が生成したことを示すものと推察される¹⁹⁹⁾。

2) パーク堆肥の腐熟度指標

未熟なパーク堆肥を施用した際の作物の生育障害は、①発芽、初期生育の抑制、②窒素飢餓などが確認されている。①については、主として高いECと水溶性フェノールの影響によるものであり¹²²⁾、②については、有機物の分解に伴う窒素の有機化によるものである。窒素有機化を引き起こす資材の判別指標としては従来からC/N比が用いられてきた。パーク堆肥の場合、窒素有機化が認められなくなるときのC/N比は樹種間で相違し、針葉樹は35以下、広葉樹は25以下であった。河田¹¹⁰⁾はC/N比35以下をパーク堆肥の品質基準として設定しているが、これは主に針葉樹に該当するものと判断される。一方、熊田¹²⁶⁾はC/N比20以下の有機物資材では窒素有機化が起こらないとしており、また、井ノ子⁹³⁾も稲わら堆肥や都市ごみコンポストの腐熟の目標値をC/N比20以下に設定している。これらと比較して、パーク堆肥は高いC/N比でも窒素有機化傾向が判然としなかったが、その要因はリグニンなどの難分解性有機成分が多いためであり、また、樹種間の相違は主にセルロース分解の難易を反映したものと考えられる。

一方、窒素質資材を多量に添加して堆肥化したものは、C/N比だけで腐熟度を判定することは困難である。このような場合には、還元糖割合および還元糖態炭素/全窒素比が有効と考えられる。還元糖割合の目標値は針葉樹30%以下、広葉樹20%以下が妥当とみなされる。この値は、井ノ子⁹³⁾が示した稲わら堆肥や都市ごみコンポストの目標値35%より低いものである。

5. まとめ

パーク堆肥の堆積中における化学成分変化をみると、C/N比の低下は樹種間で相違し、広葉樹が針葉樹よりも著しく大きかった。これは、主としてセルロース分解の難易を反映した結果と推察された。無機態窒素は堆積直後大部分が有機化されたが、広葉樹については腐熟が進むと無機化に転じた。有機態窒素は酸可溶非留出性画分の低下と酸不溶性画分の増加が認められた。

作物の窒素吸収量の増減に関与する化学成分は無機態窒素およびC/N比、還元糖態炭素/全窒素比、還元糖割合などであった。この中から、窒素飢餓を回避するための腐熟度指標を次のように設定した。C/N比：25以

下（広葉樹）、35以下（針葉樹）、還元糖態炭素／全窒素比：6以下（広葉樹）、10以下（針葉樹）、還元糖割合：20％以下（広葉樹）、30％以下（針葉樹）。

第2節 腐熟度の異なる各種バーク堆肥の窒素肥効と作物生育

1. はじめに

バーク堆肥は、原料のC／N比が高いため多量施用すると窒素飢餓の危険が大きいが、一方では窒素過剰の問題も指摘されている¹⁴⁸⁾。このように、作物への影響は窒素肥効の大小に左右されることから、原料の種類や腐熟度別の窒素評価に基づいてバーク堆肥の施用基準を設定すると同時に、適正な肥培管理を行うことも必要となる。そこで、本節では、樹種、添加物、堆積期間の異なる各種バーク堆肥の窒素肥効と畑作物の生育、収量に及ぼす影響を調査し、それに基づいて畑輪作における適正施用量を検討した。

2. 試験方法

1) 供試バーク堆肥

針葉樹および広葉樹の樹皮（木質部分も含む）を原料とし、鶏糞、尿素および鶏糞＋尿素を窒素源として添加し、C／N比を約40に調整して堆積したものを供試した。比較に用いた普通堆肥は麦稈などの収穫残査に牛ふん尿を添加し、1年程度堆積したものである。

2) 培養実験

樹種、添加物、堆積期間の異なるバーク堆肥を供試し、風乾、粉碎して2mmのふるいに通したものを北見農試作土（多腐植質黒ボク土）に炭素として1％相当量を添加した。水分は最大容水量の60％とし、30℃で0～12週間培養し、無機態窒素を測定した。バーク堆肥窒素の無機化率（％）は次の方法で算出した。

窒素無機化率＝窒素無機化量／添加試料中の有機態窒素量×100

窒素無機化量＝添加土壌の無機態窒素量－無添加土壌の無機態窒素量－添加試料中の無機態窒素量

3) ポット試験

樹種、堆積期間の異なるバーク堆肥を供試し（表3-5）、乾土2kg相当量の北見農試下層土（腐植に乏しい壤土）に乾物重で2％相当量添加し、1/5000aのワグネルポットに充填した。作物はエンバクを供試し、連続して2回栽培した（1作目：1982年5月17日～7月15日、2作目：同7月29日～9月17日）。共通肥料として1作目N、P₂O₅、K₂O各0.5g／ポット、2作目はP₂O₅、K₂Oのみ各0.5g／ポットを硫酸、過石、硫酸で施用した。2反復で実施し、収穫物の窒素吸収量を測定した。窒素利用率（％）は2作分の合計窒素吸収量から差引き法で算出した。

窒素利用率＝（施用区の窒素吸収量－無施用区の窒素吸収量）／試料中の窒素量×100

表3-5 樹種および堆積期間の異なるバーク堆肥のC／N比と窒素成分

樹 種	堆 積 期 間	C／N比	T-N (g kg ⁻¹ DW)	無機態N (mg kg ⁻¹ DW)	無機化N* (mg kg ⁻¹ DW)	無機態N＋ 無機化N (mg kg ⁻¹ DW)
針 葉 樹	3ヶ月	43.1	11.1	130	-820	-690
	6ヶ月	38.2	11.9	60	-150	-90
	1 年	30.8	13.1	60	220	280
	2 年	23.9	13.1	80	540	620
	3 年	18.4	14.4	100	570	670
	4 年	17.4	14.7	120	670	790
広 葉 樹	3ヶ月	35.5	12.2	150	-4090	-3940
	6ヶ月	22.3	17.0	100	-380	-280
	1 年	18.9	19.8	640	410	1050
	2 年	16.0	21.2	840	950	1790
普通堆肥		11.6	16.8	630	690	1320

*30℃、12週間培養中に無機化した窒素

4) 圃場試験

(1) 腐熟度の異なる各種バーク堆肥の施用試験

樹種、添加物、堆積期間の相違するバーク堆肥を供試し（表3-6）、北見農試圃場に40Mg ha⁻¹ずつ1982年5月10日に施用した。供試作物はバレイショ「男爵いも」で、同5月11日播種、9月7日収穫した。栽植密度は70×37cmとし、共通肥料としてN100、P₂O₅150、K₂O130 (kg ha⁻¹) を作条に施用した。試験規模は1区21m²、3反復で実施した。

(2) 輪作体系下での針葉樹バーク堆肥の施用試験

訓子府（表層多腐植質黒ボク土）、南網走（淡色黒ボ

ク土）、常呂（灰色台地土）の各試験地で1980～1982年の3ヶ年間実施した。供試したバーク堆肥はいずれも針葉樹に鶏糞+尿素を添加して1年間堆積したものであり、これらのC/N比は1年目41、2年目30、3年目29であった。処理内容は、1年目0、20、40、60 Mg ha⁻¹施用区を設置し、2、3年目には20Mg ha⁻¹ずつの施用系列と無施用系列に分割した。また、比較のために普通堆肥の20Mg ha⁻¹連用区を設置した。試験規模は1区22.5～25m²、3反復で実施した。各年次の供試作物および耕種概要については表3-7に示した。

表3-6 供試バーク堆肥の性状

供試堆肥	堆 積 方 法			化 学 成 分		
	添加物(N kg Mg ⁻¹ バーク)		堆積期間 (年)	T-C	T-N	C/N比
	鶏 糞	尿 素		(g kg ⁻¹ DW)	(g kg ⁻¹ DW)	
針葉樹A	0	10	3	417	8.6	48.5
B	5	5	1	389	13.6	28.6
C	5	5	2	265	12.2	21.7
D	10	0	3	284	14.5	19.6
広葉樹B	5	5	1	385	19.8	19.4

表3-7 供試作物と耕種概要

年 次	試験地	供試作物 (品種)	施肥量 (kg ha ⁻¹)	播種・移植 (月・日)	収穫期 (月・日)	栽植密度 (畦幅×株間)
			N-P ₂ O ₅ -K ₂ O			
1980	訓子府	テンサイ (モノヒル)	15-25-16	5・13	10・22	60×24cm
	南網走	テンサイ (ハイラーベ)	23-32-19	5・12	10・14	60×24cm
	常 呂	テンサイ (カーベメガモノ)	23-35-30	5・17	10・15	66×18cm
1981	訓子府	バレイショ (男爵いも)	10-15-13	5・15	9・7	65×40cm
	南網走	バレイショ (紅丸)	11-22-15.4	5・5	9・7	65×36.5cm
	常 呂	バレイショ (トヨシロ)	10-20-14	5・7	9・2	71×37cm
1982	訓子府	春播コムギ (ハルユタカ)	8-14.4-9.6	5・6	8・18	30cm, 350粒/m ²
	南網走	春播コムギ (ハルユタカ)	8-14.4-9.6	5・7	—	30cm, 350粒/m ²
	常 呂	秋播コムギ (タクネコムギ)	11-25.0-12	9・12*	7・22	18cm

*1981年

3. 試験結果

1) バーク堆肥窒素の無機化率

針葉樹、広葉樹それぞれについて添加物、堆積期間の異なるバーク堆肥を供試し、これらのC/N比と培養実験で得られた窒素無機化率との関係を図3-3に示した。両樹種とも、C/N比の高い場合にはマイナス（有機化）を示し、C/N比の低下にしたがってプラス（無機化）に転じた。有機化から無機化に転じるときのC/N比は、針葉樹30～35、広葉樹20～25であった。このような樹種間差は前節の結果と一致するものである。なお、針葉樹30以上、広葉樹20以上のC/N比の場合、培養2

週目から12週目にかけて窒素無機化率の低下が認められた。このことは、当初無機化が進むものでも長期的には有機化傾向が優ることを示すものである。

一方、C/N比の低下に伴う窒素無機化率の増加は、針葉樹よりも広葉樹で顕著であった。針葉樹の場合にはC/N比20程度で窒素無機化率の頭打ち傾向がみられ、窒素無機化率の上限はおおむね5%程度とみなされた。これに対して、広葉樹の場合にはC/N比の低下に伴ってほぼ直線的に増加する傾向を示した。

2) 作物によるバーク堆肥窒素の吸収および利用率

樹種および堆積期間の異なるバーク堆肥の施用がエン

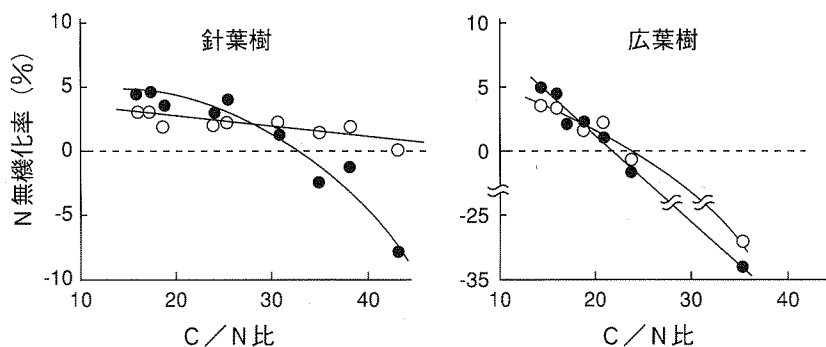


図3-3 バーク堆肥のC/N比と窒素無機化率の関係
○, 30°C, 2週間培養; ●, 30°C, 12週間培養

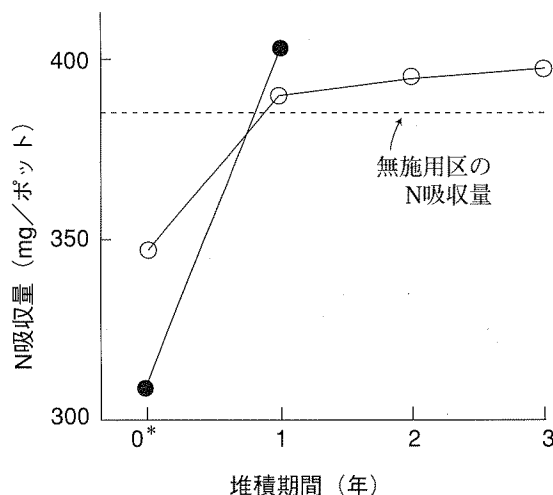


図3-4 樹種および堆積期間の異なるバーク堆肥の施用がエンバクの窒素吸収量に及ぼす影響(ポット試験)
○—○ 針葉樹; ●—● 広葉樹
*原料バークを供試

バクの窒素吸収量に及ぼす影響をポット試験で調査し、その結果を図3-4に示した。原料バークの施用は明らかに窒素吸収を抑制し、その影響は針葉樹よりも広葉樹で顕著であった。一方、1年以上堆積したバーク堆肥については両樹種とも窒素吸収量の増加傾向が認められた。窒素吸収量の増加は針葉樹よりも広葉樹で大きく、また、

堆積期間が長いほど大きくなる傾向を示した。

以上のようなエンバクの窒素吸収量は、バーク堆肥の無機態窒素+無機化窒素(30°C, 12週間培養)と密接な関係が認められた(図3-5)。すなわち、窒素吸収量は樹種や堆積期間などの相違にかかわらず、無機態窒素+無機化窒素が多くなるにしたがって等しく増加する傾向であった。このことは、無機態窒素+無機化窒素がバーク堆肥窒素の肥効評価に有効な指標であることを示すものである。ちなみに、無機態窒素+無機化窒素の堆積中における変動をみると(表3-5)、針葉樹の場合は2~4年の長期間堆積しても普通堆肥より低い値であったのに対して、広葉樹の場合は2年間堆積で普通堆肥を上まわる値を示した。このことから、広葉樹については十分腐熟させれば普通堆肥並の窒素肥効が期待できるものと推察された。

一方、窒素無機化率はC/N比との間に密接な関係があることから、無機態窒素の変動が小さい場合には、作物の窒素吸収量はC/N比に左右されるものと推察される。そこで、無機態窒素の比較的少ない針葉樹バーク堆肥のC/N比と窒素利用率との関係を図3-6に示した。針葉樹バーク堆肥の窒素利用率は-4~4%の範囲であり、C/N比との間には有意な負の相関が認められた。

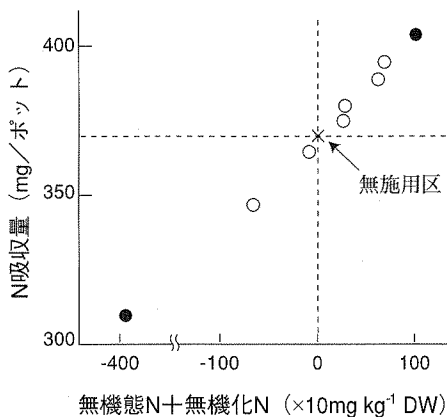


図3-5 バーク堆肥の無機態窒素+無機化窒素と窒素吸収量の関係
○, 針葉樹; ●, 広葉樹

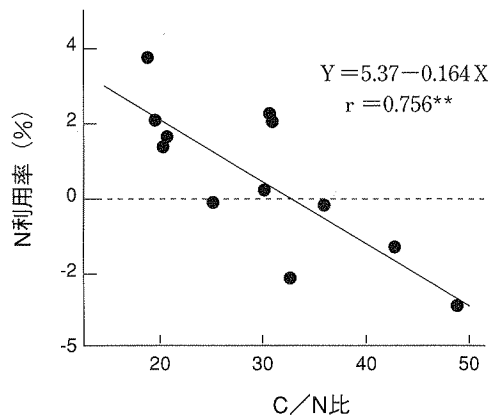


図3-6 針葉樹バーク堆肥のC/N比と窒素利用率との関係

表3-8 各種バーク堆肥がバレイシヨの生育・収量に及ぼす影響

供試堆肥	開 花 期		収 穫 期					
	乾物重	N吸収量	上いも数	上いも 一個重	上いも重	デンプン価	デンプン重	塊茎N 含有率
針葉樹 A	105	105	102	93	95	106	100	87
B	106	109	106	92	98	102	100	99
C	112	111	106	95	100	102	102	94
D	111	108	105	98	103	102	105	94
広葉樹 B	108	113	108	95	102	106	108	96
無施用区	2.40	78	361	130	47.1	13.7	5.98	10.7
	(Mg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(×10 ³ ha ⁻¹)	(g)	(Mg ha ⁻¹)	(%)	(Mg ha ⁻¹)	(g kg ⁻¹ DW)

注) 無施用区を100とする指数で示す。

表3-9 針葉樹バーク堆肥および普通堆肥が畑作物の収量と窒素吸収量に及ぼす影響

試験地	処理内容	収 量				N 吸 収 量			
		1 作	2 作	3 作	(平均)	1 作	2 作	3 作	(平均)
訓子府	バーク堆肥20Mg連用	97	97	99	(98)	91	93	97	(94)
	バーク堆肥60Mg単用	98	100	101	(100)	94	91	94	(93)
	普通堆肥20Mg連用	96	89	114	(100)	103	107	119	(110)
	無施用区	59.3	38.6	3.73		314	105	113	
南網走	バーク堆肥20Mg連用	103	102	-	(103)	104	104	101	(103)
	バーク堆肥60Mg単用	97	108	-	(103)	104	101	88	(98)
	普通堆肥20Mg連用	101	99	-	(100)	109	105	134	(116)
	無施用区	68.7	40.9	-		237	80	77	
常 呂	バーク堆肥20Mg連用	96	102	107	(102)	96	100	105	(100)
	バーク堆肥60Mg単用	96	104	97	(99)	95	103	93	(97)
	普通堆肥20Mg連用	98	97	104	(100)	97	103	105	(102)
	無施用区	59.6	35.5	4.14		221	73	107	

注) 無施用区を100とする指数で示す。

1作：テンサイ根重 (Mg ha⁻¹)、2作：バレイシヨ上いも重 (Mg ha⁻¹)、3作：コムギ子実重 (Mg ha⁻¹)

N吸収量 (kg ha⁻¹) は茎葉部も含む。

また、窒素利用率がマイナスからプラスに転じるときの C/N比は30~35であり、窒素無機化率 (12週間培養) の場合と一致した。

3) バーク堆肥の腐熟度と作物生育

バーク堆肥の腐熟度が作物生育に及ぼす影響を明らかにするため、ここでは主に C/N比の異なる各種バーク堆肥を供試し、それぞれ40Mg ha⁻¹ 施用したときのバレイシヨの生育、収量が無施用区と対比した (表3-8)。いずれの施用区も発芽、初期生育に障害が認められず、また開花期の乾物重や窒素吸収量は無施用区を上まわっていた。一方、上イモ重やデンプン重を無施用区と対比すると、いずれも C/N比20程度のバーク堆肥施用区でやや増収したが、上イモ重は C/N比29以上の施用区で

減収し、C/N比の高いもののほど施用効果は小さくなる傾向が認められた。これは、C/N比の高い施用区ほど生育後半における窒素の吸収抑制が大きかった結果と推察される。

4) 輪作体系下での針葉樹バーク堆肥施用と作物生育

網走管内の主要な作付方式であるテンサイ-バレイシヨ-コムギの3年輪作体系の中で、3作分のバーク堆肥を1作目のテンサイだけに重点施用した単用区と各作物毎に20Mg ha⁻¹を施用した連用区に区分し、その施用効果を比較した (表3-9)。1作目の収量および窒素吸収量をみると、バーク堆肥施用区はいずれも無施用区より少なかった。これは、供試堆肥の C/N比が腐熟度の目標値より高く、窒素の吸収抑制が大きかった結果と判

断された。また、 60Mg ha^{-1} 単用区の場合には引き続き2、3作目の窒素吸収量も少ない傾向を示し、窒素の吸収抑制は2～3年継続することが示された。一方、 20Mg ha^{-1} 連用区の場合には2、3作目の窒素吸収量は無施用区と大差なく、 60Mg ha^{-1} 単用区よりは多い傾向を示した。以上の結果から、C/N比の高いパーク堆肥を一度に多量施用すると窒素飢餓を起こす危険が大きいことを認めた。なお、普通堆肥との比較では、収量は判然とした差が認められなかったが、窒素吸収量については明らかにパーク堆肥施用区が少なかった。

4. 考 察

1) パーク堆肥の窒素肥効

パーク堆肥の窒素肥効は無機態窒素と 30°C 、12週間培養により生成した無機化窒素の含量と密接な関係が認められた。パーク堆肥中の無機態窒素は、第1節で述べたように、堆積直後は有機化などで急激に低下するが、その後は腐熟が進むにしたがって増加の傾向を示す。ただし、針葉樹については長期間堆積しても無機態窒素の増加は僅かであったが、広葉樹については普通堆肥と同水準かそれ以上に高まる傾向を示した。このことから、広葉樹パーク堆肥を多量施用する場合には作物に対する窒素供給源として無視できないものと推察された。

一方、パーク堆肥窒素の無機化率をみると、長期間の堆積でC/N比が15～16まで低下したもので4～5%程度であり、この値はC/N比を同じくする未分解の植物遺体⁸¹⁾や家畜糞堆肥²⁰⁰⁾と比較すると著しく低いものであった。Suzuki・Kumada²³⁴⁾は、腐朽した植物遺体と未分解の植物遺体の窒素無機化率を比較し、C/N比が同じ場合でも無機化率は腐朽したものが低く、さらに腐朽したもので植物遺体の種類により相違することを認めている。パーク堆肥窒素の無機化率が低い要因は、表3-10に示すように、リグニンと結合した難分解性窒素成分(72%硫酸不溶性窒素)が多く、酸可溶非留出性窒素画分の少ないことによるものと推察される^{106, 152)}。

このような窒素成分組成を反映して、針葉樹パーク堆肥の作物による窒素利用率はC/N比が18～25の場合で

0～4%と著しく低かった。これは、橋元・石川⁹⁷⁾の報告による堆きゅう肥窒素の利用率20～30%と比較すると著しく低いものである。これらの利用率から圃場における針葉樹パーク堆肥窒素の吸収量を推定すると、20～ 30Mg ha^{-1} 程度の施肥量の場合には 10kg ha^{-1} 以下となり、窒素肥効は僅かなものと推察された。このことは、圃場試験の結果でも示されており、窒素肥効の発現はC/N比20以下のものを多量施用した場合に限定されるようであった。一方、広葉樹パーク堆肥の場合は、腐熟が進むにしたがって無機態窒素が多くなり、同時に窒素無機化率も高まるので、窒素肥効は針葉樹よりもかなり大きくなるものと推察された。このことは、関谷ら²⁰⁶⁾や松口ら¹⁴⁸⁾の報告でも認められており、バレイショやテンサイに対して多量施用した場合には窒素過剰による弊害も生じるとしている。したがって、広葉樹パーク堆肥の施用に際しては、窒素肥効の評価に基づいた適正な窒素施肥が必要とみなされる。本試験では、パーク堆肥の窒素肥効は無機態窒素含量とC/N比でおおむね推定できることを明らかにしたが、これに基づく施肥対応については今後検討が必要と思われる。

2) パーク堆肥の作物生育に及ぼす影響と適正施用量

未熟なパーク堆肥の施用は、発芽、初期生育の抑制や窒素飢餓などの生育障害を起こす危険が大きい。しかし、本試験の結果では、発芽や初期生育の障害は認められなかった。これは、供試パーク堆肥が1年以上堆積したものであり、pH、EC、水溶性フェノールなどの腐熟度指標¹²²⁾が目標値に達していたためと考えられる。したがって、パーク堆肥の施用が作物生育に及ぼす影響は、窒素吸収量の多少と密接に対応しており、減収事例の大部分は窒素不足によるものであった。

作物生育はパーク堆肥のC/N比と密接な関係が認められ、針葉樹パーク堆肥 40Mg kg^{-1} 施用の場合、バレイショの収量はC/N比29以上で減収傾向を示した。バレイショの初期生育は比較的良好であったことから、生育後期に窒素吸収抑制が生じたものと思われる。このことは、腐熟度指標であるC/N比35以下のものでも、多量施用すると生育期間の長い作物では窒素不足が生じる可

表3-10 有機態窒素の形態組成

供試堆肥	有機態 N 組成 (%)			熱水可溶性N* (105℃、1時間)	72% H_2SO_4 不溶性N*
	酸可溶留出性N	酸可溶非留出N	酸不溶性N		
針葉樹パーク堆肥	16.4	41.0	42.6	7.0	64.3
広葉樹パーク堆肥	16.9	45.3	37.8	8.4	52.7
普通堆肥	16.9	61.3	21.8	13.1	46.3

*全窒素に対する%

能性を示すものである。しかし、生育後期の窒素吸収抑制は、バレイショのデンプン価、テンサイの糖分などを高めるメリットも有するので、作物別にバーク堆肥のC/N比に対応した施用量を設定することが必要と思われる。

畑輪作体系下におけるバーク堆肥の施用は、3～4年に一度根菜類を栽培するときに重点施用している場合が多い。しかし、単年度に多量施用すると窒素の吸収抑制を助長する危険が大きいので、 20Mg ha^{-1} 程度の分割施用が安全かつ効率的と考えられた。また、単年施用量の上限については、腐熟度や土壌条件によって相違するが、おおむね 40Mg ha^{-1} 程度とみなされた。なお、木質堆肥の中には家畜糞尿を多量に含むものもあるので、このような堆肥は窒素などの肥効成分を確認して適量の範囲を設定すると同時に、減肥対応も必要と思われる。

5. まとめ

バーク堆肥の窒素肥効は、無機態窒素＋無機化窒素

(30°C 、12週間)と密接な関係を示した。無機化窒素はバーク堆肥のC/N比と密接な関係を示し、針葉樹では30～35以下、広葉樹では20～25以下の場合に無機化が進むことを認めた。しかし、針葉樹の場合には、C/N比の低いものでも窒素無機化率は5%程度が上限であり、また作物による窒素利用率も4%程度と低く、普通堆肥と比較して著しく低い窒素肥効であった。一方、広葉樹の場合は腐熟が進むと無機態窒素および無機化窒素とも針葉樹より大きくなる傾向であり、窒素肥効は針葉樹に優ることを認めた。

バーク堆肥施用が作物生育に及ぼす影響はC/N比に左右され、C/N比の低いものほど増収効果は高かった。施用量については、一度に多量施用すると窒素の吸収抑制をもたらす危険が大きいので、 20Mg ha^{-1} 程度が妥当とみなされた。また上限については、腐熟度やすき込み位置などによって異なるが、おおむね 40Mg ha^{-1} 程度とみなされた。

第 4 章 土壌窒素の評価

網走管内の畑作地帯は土壌の種類が多く、また、主要土壌の火山性土の場合には淡色黒ボク土から多腐植質黒ボク土まで分布しているため窒素肥沃度の幅が大きい。さらに、多様な作付けと有機物管理が実施されているため、圃場間における窒素肥沃度の変動も大きい。このような中で、作物に対する窒素供給が過多になると収量、品質の低下だけでなく、硝酸の地下水汚染なども懸念されている。このため、土壌からの窒素供給量の予測に基づいた適正な窒素施肥管理が必要とされている。

そこで、本章では、①土壌の可給態窒素評価法として従来から採用されている培養法に代替できる簡易で精度の高い化学的評価法の確立、②土層中における無機態窒素の変動要因解明と春先における残存無機態窒素量予測、③作期中の窒素無機化量を予測するための反応速度論に基づく土壌窒素の無機化特性、などについて検討した。

第 1 節 土壌の可給態窒素評価法の検討

1. はじめに

作物が吸収できる土壌の可給態窒素は、一般に土層中に残存する無機態窒素と作期中に無機化する易分解性有機態窒素に区分される^{53,226)}。易分解性有機態窒素の評価法については、これまで各種の微生物的、化学的方法が検討されており、国内においては培養法とともに熱水抽出法^{5,153,203)}やリン酸緩衝液抽出法^{79,80,175)}が比較的精度の高い評価法とみなされている。一方、残存無機態窒素については、国外において広範な研究が行われ、土層中の無機態窒素評価に基づく窒素施肥指針も策定されている^{47,162,209,256)}。そこで、本節では、残存無機態窒素評価の必要性を明らかにすると同時に、簡易で精度の高い化学的評価法を確立するため、作物による土壌窒素の吸収

量と各種測定法による土壌分析値との相関関係をポット試験および圃場試験で検討した。

2. 試験方法

1) ポット試験による土壌の可給態窒素評価

(1) 供試土壌

火山性土は網走、斜里、清里、小清水、女満別、東藻琴、訓子府の各市町村から48点採取した。この中には、多腐植質黒ボク土12点、腐植質黒ボク土27点、淡色黒ボク土9点が含まれる。また、沖積土は斜里、美幌から9点、洪積土は紋別、常呂から10点採取した。これらの土壌化学性は表4-1に示すとおりである。

(2) 栽培法

5mmのふるいを通した未風乾土を供試し、1/5000 a ポットに乾土重量として火山性土2kg、沖積土1.8~2.9kg、洪積土2.9~3.3kgを充填した。すなわち、火山性土は重量、沖積土・洪積土は容量で統一した。施肥は無窒素区と窒素施用区を設定し、窒素施用区は¹⁵N 標識硫酸(5.12 atom %)を用いて、ポット当たり基肥N200mg+追肥N200mg(1回目、2回目収穫後各100mg)施用した。共通肥料として、P₂O₅(過石)、K₂O(硫加)をポット当たり各500mg施用した。土壌水分は最大容水量の50~70%(平均60%)となるように調整した。作物はイタリアンライグラスを供試し、ポット当たり10本立てで栽培した。収穫は4回実施し(4回目には根も回収)、それぞれ乾物重と窒素含有率を測定した。

なお、本試験は吹き抜きのガラス室において、火山性土は1985年、沖積土・洪積土は1986年に実施した(表4-2)。播種から4回目収穫までの日平均積算地温(最低・最高の平均値)は、1985年の場合2737℃、1986年の場合2792℃であり、年次間に大きな相違は認められなかった。

表4-1 供試土壌の化学性(ポット試験)

項 目	火 山 性 土				沖 積 土・洪 積 土			
	最低	最高	平均 ± 標準偏差		最低	最高	平均 ± 標準偏差	
pH	5.2	6.8	5.8 ± 0.3		5.6	7.5	6.4 ± 0.5	
全炭素 (g kg ⁻¹)	17	123	49 ± 25		14	41	23 ± 8	
全窒素 (g kg ⁻¹)	1.4	7.1	3.4 ± 1.4		1.1	2.7	1.9 ± 0.5	
C/N比	11.3	17.2	13.9 ± 1.5		9.0	17.4	12.0 ± 2.5	
CEC (cmol kg ⁻¹)	14.8	53.8	25.9 ± 9.7		13.0	32.8	22.8 ± 5.9	

表 4-2 ポット試験の耕種概要

供試土壌	実施年度	播種日	収 穫 日			
			1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
火 山 性 土	1985	5月21日	7月10日	8 月 8日	9 月 5日	10月18日
沖積土・洪積土	1986	5月20日	7月11日	8 月11日	9 月 8日	10月20日

(3) 土壌窒素吸収量の測定

無窒素区は全窒素吸収量、窒素施用区は全吸収量から ^{15}N 由来の窒素吸収量を差し引いた値を土壌由来の全窒素吸収量とした。窒素吸収量はポット内の乾土重量に基づいて mg kg^{-1} で示した。また、土壌由来の窒素吸収量を残存無機態窒素由来と無機化窒素由来に区分するため、無機化由来の吸収量を以下の式に基づいて算出した。

$$\text{無機化由来の窒素吸収量} = \text{全窒素吸収量} - \text{残存無機態窒素量} \times \text{施肥窒素利用率}$$

すなわち、残存無機態窒素の利用率を施肥窒素の利用率と同じものとみなして残存無機態窒素由来の窒素吸収量を求め、全吸収量からこの値を差し引いた。なお、窒素利用率は、無窒素区の場合は差引き法、窒素施用区の場合は ^{15}N 標識法で求めた。

2) 圃場試験による土壌の可給態窒素評価

(1) 供試圃場

1986～1988年の3ヶ年にわたり、網走、斜里、清里、小清水、女満別の各地区のテンサイ畑に無窒素区を設置した。箇所数は、火山性土85地点（淡色黒ボク土27、腐植質黒ボク土53、多腐植質黒ボク土5）、沖積土17地点

（褐色低地土2、灰色低地土15）で、前年秋～当年春に施用した有機物の種類を表4-3、土壌の化学性を表4-4に示した。

(2) テンサイの栽培法

品種は「ハイラーベ」を供試し、5月上旬に移植した。栽植株数はha当たり7万株程度とし、施肥量(kg ha^{-1})は P_2O_5 250、 K_2O 160、 MgO 40、 B_2O_3 3とした。試験規模は1区18～24 m^2 、3反復で実施した。7月下旬に1区10株、10月中旬に1区40株採取し、窒素吸収量を調査した。

(3) 土壌サンプリング法

春施肥前に0～25cm、25～50cm、50～75cmの土層から採取した。窒素分析値は風乾土容積重を測定して面積換算し、 kg ha^{-1} で示した。

3) 土壌の可給態窒素評価法

土壌は春先の施肥前に圃場から採取し、室温で速やかに風乾させ、砕土して2mmのふるいに通したものを供試した。化学的方法および培養法は以下のとおりである。

(1) 無機態窒素

10%塩化カリ液で抽出し、Bremner²⁹⁾の水蒸気蒸留法でアンモニア態窒素と硝酸態窒素の含量を測定した。

表 4-3 供試圃場における施用有機物

土 壌	有 機 物 の 種 類				無 施 用
	堆 肥	緑 肥	デンプン廃液	家畜糞尿スラリー	
火 山 性 土	27(32)	27(32)	26(31)	10(12)	33(39)
沖 積 土	1(6)	0(0)	3(18)	0(0)	13(76)

注) 地点数で示す。() は全地点数に対する比率 (%)。収穫残渣は含まれていない。

表 4-4 供試圃場の土壌化学性

項 目	火 山 性 土			沖 積 土		
	最低	最高	平均±標準偏差	最低	最高	平均±標準偏差
pH	5.3	6.9	6.2 ± 0.4	5.6	7.2	6.3 ± 0.4
全炭素 (g kg^{-1})	7	116	35 ± 16	11	82	26 ± 16
全窒素 (g kg^{-1})	6	7.2	2.7 ± 1.0	1.2	6.2	2.4 ± 1.1
C/N比	9.7	17.3	12.8 ± 1.4	9.2	13.1	10.2 ± 1.2
CEC (cmol kg^{-1})	11.0	43.5	19.0 ± 5.6	14.0	37.0	23.7 ± 6.6
リン酸吸収係数	487	1,698	1,045 ± 213	617	1,170	818 ± 156

注) 作土 0～25cm

(2) 熱水抽出窒素

土壌と水の比率を1:10とし、オートクレーブを用いて105℃で1時間抽出し、抽出液中の窒素をケルダール法で測定した。

(3) リン酸緩衝液抽出窒素

樋口⁷⁹⁾の方法に基づいて、pH7.0リン酸緩衝液を用い、土壌と抽出液の比率を1:5とし、2時間室温で振とう抽出し、抽出液中の窒素をケルダール法で測定した。

(4) 抽出無機態窒素

各種抽出法で抽出した無機態窒素をBremner²⁹⁾の水蒸気蒸留法で測定した。これには、抽出過程で無機化した窒素(アンモニア態窒素)と当初の無機態窒素(アンモニア態窒素+硝酸態窒素)が含まれる。なお、抽出過程で無機化した窒素だけを測定する場合には、この値から、当初の無機態窒素を差し引き、抽出無機化窒素として区分した。

熱水抽出窒素((2)と区別するため、以下熱水抽出無機態窒素とする):土壌と水の比率を1:10とし、オートクレーブを用いて121℃で1時間抽出した。室温まで冷却後、飽和塩化カリ液を添加して30分振とうし、抽出液中の無機態窒素を測定した。

1/2M KCl抽出窒素:土壌と抽出液の比率を1:10とし、オートクレーブを用いて121℃で1時間抽出し、抽出液中の無機態窒素を測定した。

2M KCl抽出窒素: Gianello・Bremner⁵⁴⁾の方法に基づいて、土壌と抽出液の比率を3:20とし、100℃で4時間抽出し、抽出液中の無機態窒素を測定した。

(5) アルカリ留出窒素

蒸留水、1M KCl、0.01M CaCl₂などを抽出液とし(土壌との比率1:10)、オートクレーブを用いて121℃で1時間抽出し、抽出液中のアルカリ留出窒素をStanford・DeMar²¹⁹⁾の方法に準じて測定した。これには、オートクレーブ抽出とNaOH蒸留の両過程で無機化した窒素(アンモニア態窒素)と当初のアンモニア態窒素が含まれる。

(6) 培養窒素

土壌水分を最大容水量の60%に調整し、30℃で2~8週間培養した。培養後の無機態窒素を10%塩化カリで抽出し、Bremner²²⁾の水蒸気蒸留法で測定した。これには、培養過程で無機化した窒素と当初の無機態窒素が含まれる。なお、培養過程で無機化した窒素だけを測定する場合には、この値から当初の無機態窒素を差し引き、培養無機化窒素として区分した。

(7) 湛水培養窒素

30℃の湛水条件で4週間培養し、アンモニア態窒素を

蒸留法で測定した。

4) 化学的評価法に基づく各種抽出窒素の特性

(1) 各種抽出窒素の培養過程における変動

窒素肥沃度の異なる6種類の土壌(多腐植質黒ボク土、腐植質黒ボク土、淡色黒ボク土、沖積土、洪積土および泥炭土)を供試し、30℃で12週間培養し、培養過程における無機態窒素、熱水抽出窒素、熱水抽出無機化窒素の変動を調査した。

(2) 各種窒素化合物の抽出過程における無機化

抽出過程で無機化する窒素は、主として低分子量の窒素化合物と思われる。そこで、土壌有機物中に含まれている窒素化合物²²⁰⁾の中からアミノ酸10種類、アミド2種類、アミノ糖2種類を供試し、105℃の熱水および121℃の熱水、1/2M KClの抽出過程で無機化した窒素を測定した。アミノ酸、アミドはT-Nとして20mg相当量、アミノ糖は同じく10mg相当量を抽出液80mLに溶かし、オートクレーブを用いて1時間抽出した。窒素無機化率は、当初の全窒素量に対する抽出過程で無機化した窒素量の比(%)とした。

3. 結 果

1) ポット試験による土壌の可給態窒素評価

(1) 各種評価法に基づく土壌窒素量と窒素吸収量との関係

供試土壌の各種評価法による窒素測定値およびイタリアンライグラスによる土壌由来の窒素吸収量をそれぞれ表4-5、表4-6に示した。火山性土と沖積・洪積土を比較すると、最低値には大きな差はみられなかったが、最高値はいずれも火山性土が高く、火山性土は可給態窒素の変動が大きかった。また、窒素吸収量は、¹⁵N施肥区が無窒素区よりも20~30%程度多かったが、これはJenkinson¹⁰⁰⁾が指摘するように見かけのANI(土壌の有機態¹⁴N⇔無機態¹⁵N)によるものと思われる。

土壌窒素測定値と窒素吸収量との間の相関係数を土壌の種類別にみると(表4-7)、無機態窒素については、火山性土および沖積土・洪積土とも1作目の窒素吸収量と高い相関を示し、また、4作合計の窒素吸収量でも無機態窒素の変動の大きい火山性土において比較的高い相関を示した。このことは、生育期間の短い作物の場合や、無機態窒素の変動の大きい土壌では必要不可欠な評価法であることを示すものである。一方、熱水抽出窒素、リン酸緩衝液抽出窒素および湛水培養窒素は、火山性土、沖積土・洪積土とも1作目の窒素吸収量とは低い相関であったが、2~4作目の窒素吸収量とは比較的高い相関を示した。このことは、生育期間に無機化する窒素の評

表4-5 各種評価法による土壌窒素測定値（ポット試験）

N評価法	火山性土			沖積土・洪積土		
	最低	最高	平均 ± 標準偏差	最低	最高	平均 ± 標準偏差
無機態窒素	7	79	25 ± 13	6	19	13 ± 5
熱水抽出窒素	22	228	79 ± 41	28	121	63 ± 23
P緩衝液抽出窒素	31	113	58 ± 15	29	64	42 ± 10
抽出無機態窒素						
熱水抽出	29	108	58 ± 18	18	50	33 ± 8
1/2M KCl	32	109	62 ± 18	24	57	39 ± 9
2M KCl	24	93	46 ± 15	16	47	30 ± 9
アルカリ留出窒素						
熱水抽出	14	118	51 ± 23	-	-	-
1M KCl	28	116	63 ± 23	-	-	-
0.01M CaCl ₂	11	83	39 ± 16	-	-	-
培養窒素						
2週	28	119	63 ± 20	27	86	50 ± 17
4週	35	139	76 ± 22	34	110	63 ± 21
8週	45	165	96 ± 26	46	141	82 ± 28
湛水培養窒素	21	97	51 ± 17	20	104	48 ± 24

注) mg kg⁻¹

表4-6 イタリアンライグラスによる土壌由来の全窒素吸収量（ポット試験）

栽 培 条 件		火山性土			沖積土・洪積土		
		最低	最高	平均 ± 標準偏差	最低	最高	平均 ± 標準偏差
無窒素区	1 作目	11	62	26 ± 13	8	29	17 ± 5
	2～4 作合計	22	79	35 ± 10	16	50	30 ± 9
	1～4 作合計	36	122	61 ± 20	24	79	46 ± 14
		(26)	(98)	(41 ± 14)	(20)	(65)	(38 ± 12)
¹⁵ N施肥区	1～4 作合計	58	135	80 ± 18	36	92	59 ± 13
		(47)	(104)	(63 ± 12)	(32)	(78)	(50 ± 10)

注) N吸収量：mg kg⁻¹、() は無機化由来

表4-7 各種評価法による土壌窒素測定値とイタリアンライグラスによる土壌由来の全窒素吸収量との相関係数

N 評 価 法	火山性土				沖積土・洪積土				全 土 壤	
	無 N 区		¹⁵ N区		無N区		¹⁵ N区		無N区	¹⁵ N区
	1作	2～4作	1～4作	1～4作	1作	2～4作	1～4作	1～4作	1～4作	1～4作
	1作	2～4作	1～4作	1～4作	1作	2～4作	1～4作	1～4作	1～4作	1～4作
無機態窒素	0.92	0.30	0.75	0.82	0.78	0.63	0.71	0.75	0.77	0.84
熱水抽出窒素	0.27	0.77	0.56	0.49	0.73	0.92	0.88	0.79	0.62	0.55
P緩衝液抽出窒素	0.28	0.77	0.57	0.52	0.57	0.72	0.69	0.61	0.65	0.64
抽出無機態窒素										
熱水抽出	0.83	0.65	0.86	0.89	0.86	0.92	0.93	0.89	0.86	0.91
1/2M KCl抽出	0.80	0.66	0.85	0.88	0.87	0.93	0.93	0.90	0.86	0.91
2M KCl抽出	0.88	0.51	0.83	0.87	0.89	0.87	0.91	0.88	0.87	0.90
培養窒素										
2週	0.85	0.76	0.94	0.93	0.76	0.92	0.89	0.84		
4週	0.81	0.81	0.94	0.93	0.74	0.92	0.88	0.83	0.92	0.88
8週	0.74	0.84	0.91	0.89	0.71	0.92	0.88	0.82		
湛水培養窒素	0.34	0.79	0.62	0.57	0.60	0.83	0.77	0.70	0.62	0.54

注) 0.1%の有意水準；火山性土：0.46<、沖積土・洪積土：0.58<、全土壌：0.37<

表4-8 各種評価法による土壌窒素測定値とイタリアンライグラスによる無機化由来の窒素吸収量との相関係数

N評価法	火山性土		沖積土・洪積土		全 土 壤	
	無N区	¹⁵ N区	無N区	¹⁵ N区	無N区	¹⁵ N区
熱水抽出窒素	0.77	0.73	0.89	0.80	0.79	0.73
P緩衝液抽出窒素	0.71	0.70	0.73	0.65	0.71	0.75
抽出無機化窒素						
熱水抽出	0.63	0.64	0.84	0.74	0.65	0.72
1/2M KCl抽出	0.61	0.62	0.86	0.78	0.66	0.71
2M KCl抽出	0.57	0.54	0.88	0.79	0.66	0.58
アルカリ留出窒素						
熱水抽出	0.71	0.70	-	-		
1/2M KCl抽出	0.66	0.66	-	-		
0.01M CaCl ₂ 抽出	0.74	0.73	-	-		
培養無機化窒素	0.86	0.84	0.85	0.79	0.83	0.74
湛水培養窒素	0.79	0.79	0.80	0.73	0.77	0.71

注) 窒素吸収量は1～4作の合計。培養無機化窒素は4週間で無機化した窒素

価に有効であることを示すものである。これに対して、抽出無機態窒素は、火山性土の場合2～4作目の窒素吸収量との相関がやや低かったが、1作目および4作合計の窒素吸収量とは培養窒素と同程度の高い相関であり、また、沖積土・洪積土ではいずれの窒素吸収量も培養窒素と同程度かやや上まわるほどの高い相関を示した。

さらに、火山性土と沖積土・洪積土の全土壌についての4作合計の窒素吸収量との相関をみると、培養窒素(0.88～0.92)、抽出無機態窒素(0.86～0.91)＞無機態窒素(0.77～0.84)＞リン酸緩衝液抽出窒素(0.64～0.65)、熱水抽出窒素(0.55～0.62)、湛水培養窒素(0.54～0.62)の順であり、抽出無機態窒素は培養窒素と同程度の高い相関が得られた。以上の結果は、残存無機態窒素と作物の生育期間中に無機化する窒素の両方を含む評価法の優位性を示すものである。

(2) 各種評価法に基づく土壌窒素と無機化由来の窒素吸収量との関係

作物の生育期間に無機化する窒素すなわち易分解性有機態窒素の評価は、火山性土のように残存無機態窒素の変動が大きい土壌では高い精度で判別することが困難である。そこで、当初の無機態窒素を除いた土壌窒素測定値および無機化由来の窒素吸収量を算出し、両者の関係を表4-8に示した。これをみると、熱水抽出窒素は、火山性土の場合培養無機化窒素よりやや低い相関であったが、沖積土・洪積土では同程度かやや上まわるほどの高い相関を示した。リン酸緩衝液抽出窒素は各土壌とも培養無機化窒素より低く、熱水抽出窒素との対比でもや

や低い相関であった。一方、抽出無機化窒素は、火山性土の場合培養無機化窒素よりも低い相関であったが、沖積土・洪積土では同程度の高い相関を示した。また、アルカリ留出窒素は、熱水および0.01M CaCl₂抽出法が火山性土において抽出無機化窒素よりも高い相関を示したが、熱水抽出窒素を上まわることはなかった。

火山性土と沖積土・洪積土の全土壌での相関をみると、培養無機化窒素(0.74～0.83)≥熱水抽出窒素(0.73～0.79)≥湛水培養窒素(0.71～0.77)、リン酸緩衝液抽出窒素(0.71～0.75)＞熱水抽出無機化窒素(0.65～0.72)＞2M KCl抽出無機化窒素(0.58～0.66)の順であった。このことから、易分解性有機態窒素の化学的評価法としては、熱水抽出窒素が最も高い精度を示すものとみなされた。

2) 圃場試験による可給態窒素の評価

土層別の各種窒素測定値、風乾細土容積重およびこれらの値から算出した面積当たりの各種窒素含有量を表4-9、表4-10および表4-11に示した。ここでは、①無機態窒素、②易分解性有機態窒素の評価法としての熱水抽出窒素、③無機態窒素と易分解性有機態窒素の同時評価法としての熱水抽出無機態窒素について検討した。また、比較に用いた培養窒素(4週間)については当初の無機態窒素を含めた。熱水抽出窒素は0～25cm、25～50cm、無機態窒素、熱水抽出無機態窒素は0～25cm、25～50cm、50～75cmの各土層を測定した。なお、培養窒素については0～25cm、25～50cmのみ測定し、これに50～75cm土層の無機態窒素を上積みしたものを0～75cmの測定値とした。

表4-9 各種評価法による土壌窒素測定値 (mg kg⁻¹)

N評価法	土層深 (cm)	火山性土			沖積土		
		最低	最高	平均 ± 標準偏差	最低	最高	平均 ± 標準偏差
無機態窒素	0~25	4	57	14 ± 9	5	54	14 ± 12
	25~50	2	90	17 ± 17	4	20	12 ± 5
	50~75	2	215	15 ± 25	0*	42	11 ± 10
熱水抽出窒素	0~25	19	176	64 ± 25	51	227	89 ± 43
	25~50	5	80	27 ± 16	20	206	64 ± 44
熱水抽出無機態窒素	0~25	18	95	46 ± 15	23	121	45 ± 22
	25~50	9	109	34 ± 21	15	84	35 ± 17
	50~75	3	215	20 ± 25	0*	75	23 ± 22
培養窒素	0~25	24	121	61 ± 18	43	144	72 ± 23
	25~50	5	103	35 ± 21	16	145	51 ± 30

*れき層（2地点）。

表4-10 土壌の容積重

土層深 (cm)	火山性土			沖積土		
	最低	最高	平均 ± 標準偏差	最低	最高	平均 ± 標準偏差
0~25	550	1,004	791 ± 76	574	1,009	852 ± 97
25~50	520	1,002	758 ± 104	699	1,189	867 ± 122
50~75	528	1,179	782 ± 115	513	1,253	841 ± 196

注) 風乾細土容積重、DW kg m⁻³表4-11 土層中の各種窒素含有量 (kg ha⁻¹)

N 評価 法 (土 層 深)	火山性土			沖 積 土			全 土 壤		
	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
無機態窒素									
0~25cm	7	88	26 ± 15	11	77	29 ± 19	7	88	27 ± 16
0~50cm	14	234	57 ± 40	21	116	54 ± 28	14	234	57 ± 38
0~75cm	21	492	84 ± 69	21	130	74 ± 33	21	492	82 ± 65
熱水抽出窒素									
0~25cm	35	24	122 ± 39	111	326	182 ± 58	35	326	132 ± 48
0~50cm	57	378	170 ± 59	168	708	317 ± 127	57	708	194 ± 92
熱水抽出無機態窒素									
0~25cm	39	179	88 ± 23	52	174	93 ± 30	39	179	89 ± 24
0~50cm	61	384	151 ± 52	96	330	166 ± 57	61	384	153 ± 53
0~75cm	72	601	187 ± 81	98	377	208 ± 71	72	601	190 ± 80
培養窒素									
0~25cm	44	208	117 ± 28	97	207	149 ± 33	44	208	122 ± 31
0~50cm	61	394	178 ± 57	140	476	254 ± 83	61	476	191 ± 68
0~75cm*	68	651	205 ± 84	140	487	277 ± 90	68	651	217 ± 89

*0~50cmの培養窒素に50~75cmの無機態窒素を加算した。

表4-12 無窒素区テンサイの窒素吸収量 (kg ha⁻¹)

調査時期	火山性土			沖積土			全土壌		
	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
7月下旬	20	180	72 ± 37	33	149	77 ± 27	20	180	73 ± 36
10月中旬	46	390	150 ± 65	95	357	180 ± 66	46	390	155 ± 66

表4-13 各種土壌窒素量と無窒素区テンサイの窒素吸収量 (7月下旬) との相関係数

N評価法	土層 (cm)	年次			土壌の種類		全地点
		1986	1987	1988	火山性土	沖積土	
無機態窒素	0~25	0.50	0.58	0.37	0.47	0.62	0.49
	0~50	0.92	0.70	0.70	0.72	0.52	0.70
	0~75	0.94	0.65	0.73	0.70	0.46	0.67
熱水抽出窒素	0~25	0.48	0.46	0.16	0.34	0.46	0.33
	0~50	0.50	0.45	0.09	0.31	0.63	0.31
熱水抽出無機 態窒素	0~25	0.71	0.58	0.46	0.53	0.65	0.54
	0~50	0.90	0.73	0.70	0.73	0.71	0.72
	0~75	0.92	0.68	0.73	0.71	0.61	0.70
培養窒素	0~25	0.54	0.59	0.44	0.58	0.64	0.55
	0~50	0.81	0.71	0.67	0.74	0.69	0.67
	0~75	0.88	0.70	0.71	0.73	0.63	0.70

注) 0.1%の有意水準: 1986年: 0.93<, 1987年: 0.45<, 1988年: 0.48<
火山性土: 0.35<, 沖積土: 0.73<, 全地点: 0.32<

表4-14 各種土壌窒素量と無窒素区テンサイの窒素吸収量 (10月中旬) との相関係数

N評価法	土層 (cm)	年次			土壌の種類		全地点
		1986	1987	1988	火山性土	沖積土	
無機態窒素	0~25	0.15	0.65	0.32	0.48	0.64	0.51
	0~50	0.60	0.67	0.71	0.74	0.57	0.70
	0~75	0.71	0.67	0.81	0.81	0.55	0.75
熱水抽出窒素	0~25	0.20	0.55	0.29	0.38	0.65	0.46
	0~50	0.17	0.61	0.21	0.35	0.76	0.46
熱水抽出無機 態窒素	0~25	0.48	0.61	0.50	0.55	0.75	0.59
	0~50	0.57	0.77	0.75	0.77	0.82	0.78
	0~75	0.63	0.76	0.84	0.82	0.75	0.81
培養窒素	0~25	0.23	0.64	0.48	0.59	0.74	0.62
	0~50	0.37	0.78	0.73	0.75	0.79	0.74
	0~75	0.49	0.78	0.82	0.81	0.76	0.81

土壌由来の窒素吸収量については、7月下旬および10月中旬に調査した無窒素区の窒素吸収量を表4-12に示した。収穫期である10月中旬の窒素吸収量は、46~390kg ha⁻¹の範囲であり、平均値は155kg ha⁻¹であった。なお、7月下旬の窒素吸収量は0~75cmの無機態窒素量と同程度かやや少なく、また、10月中旬の窒素吸収量は0~50cmの熱水抽出無機態窒素量と同程度のレベルであった。

土層中の各種窒素含有量と窒素吸収量との相関係数は表4-13、表4-14に示すとおりである。すなわち、7月

下旬の窒素吸収量との相関係数は、火山性土の場合無機態窒素または熱水抽出無機態窒素が培養窒素と同程度の高い値を示し、これとは対照的に熱水抽出窒素は著しく低い値を示した。サンプリングの深さは、無機態窒素、熱水抽出無機態窒素、培養窒素とも0~50cmまたは0~75cmで高い値を示した。一方、沖積土の場合には、無機態窒素との相関が低かったが、熱水抽出無機態窒素については培養窒素と同程度の高い値を示した。サンプリングの深さは、熱水抽出無機態窒素、培養窒素とも0~50cmの場合に最も高い相関を示した。

10月中旬の窒素吸収量との相関係数は、7月下旬の窒素吸収量の場合と同様に、熱水抽出無機態窒素が火山性土、沖積土とも培養窒素と同程度の高い相関を示した。サンプリングの深さは、熱水抽出無機態窒素、培養窒素とも火山性土で0～75cm、沖積土で0～50cmの場合に最も高い相関を示した。一方、無機態窒素は火山性土（0～75cm）において、熱水抽出窒素は沖積土（0～50cm）において比較的高い相関を示した。火山性土、沖積土を含む全土壌の相関係数は、培養窒素（0.81）、熱水抽出無機態窒素（0.81）＞無機態窒素（0.75）＞熱水抽出窒素（0.46）の順であり、ポット試験の場合と同じ傾向であった。

以上の結果から、熱水抽出無機態窒素は、7月下旬および10月中旬の窒素吸収量いずれにおいても培養窒素と同程度の高い相関を示し、無機態窒素と易分解性有機態窒素の同時評価法として精度の高い化学的方法であることを認めた。

3）化学的評価法に基づく各種抽出窒素の特性

(1) 培養過程における各種抽出窒素の変動

各種抽出窒素の培養過程における変動を表4-15に示した。無機態窒素の増加、すなわち培養中に無機化した窒素量は2週目で31～88mg kg⁻¹、12週目で51～198mg kg⁻¹であった。これに対して、熱水抽出窒素は、各土壌とも培養後1～2週目で明らかに減少する傾向を示し、また、2週目以降の減少量は泥炭土を除く各土壌ではほぼ一定で推移した。これらの減少量を無機態窒素の増加量と対比すると、2週目では13～51%、8週目では12～29%の範囲にあり、土壌間では淡色黒ボク土が最も低く、多腐植質黒ボク土が最も高かった。一方、熱水抽出無機化窒素の場合は、各土壌とも培養過程での変動がほとんど認められなかった。

(2) 各種窒素化合物の抽出過程における無機化

熱水抽出および1/2M KCl抽出過程における窒素無機化率を表4-16に示した。各抽出法とも、窒素無機化率

表4-15 各種抽出窒素の培養過程における変動

供試土壌	無機態窒素		熱水抽出窒素		熱水抽出無機化窒素	
	2 週	8 週	2 週	8 週	2 週	8 週
淡色黒ボク土	31	51	-4	-6	2	1
腐植質黒ボク土	45	78	-13	-16	5	5
多腐植質黒ボク土	55	97	-28	-28	4	0
沖積土	37	62	-17	-17	5	5
洪積土	48	77	-19	-24	5	2
泥炭土	88	198	-28	-54	3	3

注）培養開始時の測定値との差で示す。mg kg⁻¹。

表4-16 各種窒素化合物の抽出過程における無機化率（%）

N化合物	抽 出 法			
	熱水抽出 (105℃)	熱水抽出 (121℃)	1/2M KCl (121℃)	2 M KCl* (100℃)
アミド				
グルタミン	38.5	46.0	46.2	(42)
アスパラギン	0.6	2.3	2.3	(12)
アミノ酸				
グルタミン酸	<0.1	<0.1	<0.1	(tr)
アスパラギン酸	0.1	0.3	0.3	(tr)
アラニン	<0.1	<0.1	<0.1	(tr)
グリシン	<0.1	<0.1	<0.1	(tr)
セリン	<0.1	<0.1	<0.1	(tr)
スレオニン	<0.1	<0.1	<0.1	(tr)
リシン	<0.1	<0.1	<0.1	(tr)
シスチン	2.8	12.1	7.3	(6)
システイン	0.9	2.1	1.9	(14)
アルギニン	0.2	0.4	0.5	(tr)
アミノ糖				
グルコサミン	2.8	9.6	8.6	(31)
ガラクトサミン	9.1	20.9	18.0	(49)

* Gianello・Bremner⁵⁴⁾

はグルタミンが最も多く、次いでガラクトサミンであり、アミド、アミノ糖がアミノ酸よりも高い無機化率を示した。アミノ酸の場合は、シスチン、システインを除くとほとんど無機化は認められなかった。土壌中の有機態窒素はアミノ酸が20～50%と最も多く、次いでアミノ糖が5～10%、アミドが1～2%を占めるとされている²²⁹⁾。しかし、抽出無機化窒素の給源は、これらの無機化率を考慮するとアミノ糖、アミドが多く、アミノ酸は比較的少ないことがうかがわれた。

抽出法の比較では、熱水抽出(121℃)≒1/2M KCl抽出(121℃)>熱水抽出(105℃)の順に窒素無機化率は高かった。なお、2M KCl抽出法についてはGianello・Bremner⁵⁰⁾の実験結果を示したが、抽出過程での窒素無機化率は熱水抽出法、1/2M KCl抽出法の場合とほぼ同じ傾向を示した。

4. 考 察

1) 残存無機態窒素評価の必要性

作物による土壌窒素の吸収量は、ポット試験、圃場試験とも短期間の栽培では無機態窒素との相関が高く、また、栽培期間の長いものについては無機態窒素と易分解性有機態窒素の両方を評価する培養窒素または熱水抽出無機態窒素との相関が高かった。さらに、無機態窒素および易分解性有機態窒素の評価法である熱水抽出窒素とをパラメーターとする重回帰分析でも密接な関係が認められ、これらの標準偏回帰係数はいずれも無機態窒素のほうが著しく高かった。

ポット試験(火山性土)；

$$Y = 1.15 X_1 + 0.26 X_2 + 1.22 \quad (R = 0.95)$$

Y：無窒素区のN吸収量、X₁：無機態窒素量
X₂：熱水抽出窒素量

圃場試験(全土壌)；

$$Y = 0.70 X_1 + 0.45 X_2 + 3.77 \quad (R = 0.81)$$

Y：無窒素区のN吸収量(10月中旬)
X₁：無機態窒素量(0～75cm)
X₂：熱水抽出窒素量(0～50cm)

以上のような結果は、窒素施肥診断に際して残存無機態窒素評価の必要性を示すものであり、とりわけ無機態窒素の変動が大きい火山性土においては、易分解性有機態窒素単独での相関が著しく低いことから残存無機態窒素の評価は不可欠であることを認めた。すでに、下野・大崎²¹⁰⁾は、網走管内の畑土壌の窒素供給力を推定するのに無機態窒素が必要であることを指摘している。同様な傾向は十勝地方の畑土壌においても認められ、奥村ら¹⁷⁹⁾はテンサイの無窒素区窒素吸収量が残存無機態窒素量とほぼ対応すること、また、新良ら¹⁶⁶⁾は秋播コムギの窒素診断に際して残存無機態窒素の評価が重要であることを指摘している。

無機態窒素による施肥対応が可能な条件としては、Batey¹⁶⁾やWehrmann・Scharpf²⁵⁶⁾が指摘するように、①土壌中の無機態窒素の変動が大きい、②生育期間の硝酸リーチングが少ないことが必要である。このため、降水量は中庸で、保水性が高く、有効土層の深い土壌が適しており、また、作物については深根性で、根張りの速やかなものが望ましいとされている。これらを考慮すると、網走管内の畑土壌において残存無機態窒素の評価を必要とする要因は、次のような栽培管理および環境条件が関与しているものと考えられる。

すなわち、作付様式と有機物管理が多様であり、各種収穫残渣物、緑肥、堆肥などの粗大有機物からデンプン排液、家畜糞尿スラリーのような液状有機物まで数多く投入されている。このため、無機態窒素の圃場間変動が著しく大きなものとなっている。ちなみに、作物残渣や緑肥などのすき込みが春作付け時の可給態窒素に及ぼす影響をみると、易分解性有機態窒素についての各種測定値の変動は僅かであったが、無機態窒素については著しい変動が認められた(表4-17)。このことは、有機物施用土壌における可給態窒素の評価は易分解性有機態窒素のみでは不十分であり、無機態窒素と易分解性有機態窒素の両方の評価が必要であることを示すものである。

表4-17 有機物管理の相違が春作付け時における土壌の各種可給態窒素量に及ぼす影響

前作物	有機物管理	無機態N	易分解性有機態窒素		
			熱水抽出N	熱抽無機化N	培養無機化N
コムギ	残渣搬出	7	8	5	1
	残渣すき込み	4	6	5	-1
	残渣+緑肥すき込み	63	-3	-3	6
テンサイ	残渣すき込み	12	-1	-3	0
バレイショ	残渣すき込み	31	5	3	-4
青刈りエンバク	搬出	17	9	3	-
	すき込み	44	10	2	-

注) 前年秋のすき込み時の窒素量(kg ha⁻¹、0～50cm)との差を示す。

北見農試圃場で1987年11月～1988年4月に調査。

同様なことは、家畜糞尿や緑肥についてのHongら⁸⁷⁾の報告、植物残渣(マメ科、イネ科)についてのPatraら¹⁸²⁾およびThickeら²⁴⁴⁾の報告でも指摘されている。

一方、網走管内の主要土壌である火山性土は有効土層が深く、また下層土は保水性が大きく²⁴⁰⁾、アロフェン含量も高い^{154,191)}。このような土壌は、喜多村ら¹¹⁵⁾が指摘するようにアニオン吸着能も大きいものと思われる。また、気象条件をみると、5月～9月の栽培期間は蒸発散量が降水量を上まわり¹⁹⁶⁾、さらに年間の流出水量も国内では最も少ない地帯とされている²⁷¹⁾。このことから、火山性土を中心とした多くの圃場では硝酸が下層土に集積しやすく、無機態窒素は溶脱しにくい条件にあるものと推察される。

2) 易分解性有機態窒素の化学的評価法

Stanford²²⁶⁾は、易分解性有機態窒素の化学的評価法として、抽出物は比較的穏和な溶液を用いるのが有効であり、また抽出窒素の測定は全抽出窒素よりも一部のフラクションを測定するほうが望ましいことを指摘している。このような観点から、本実験では、①熱水抽出窒素、②リン酸緩衝液抽出窒素、③抽出無機化窒素(熱水抽出、2M KCl抽出など)、④アルカリ留出窒素について検討した。この中で、①、②は全抽出窒素(硝酸態窒素は含まない)、③、④は抽出窒素中の一部フラクションを測定するものである。

熱水抽出窒素は、従来から赤塚・坂柳⁵⁾の100℃、2時間抽出法やKeeney・Bremner¹¹⁹⁾の1時間煮沸抽出法が用いられてきた。しかし、本実験では、より簡易で安定した測定値を得るためオートクレーブを用いた105℃、1時間抽出法を採用した。ポット試験の結果をみると、この方法による測定値と無機化由来の土壌窒素吸収量との相関係数は、培養無機化窒素と同等かそれに近い値であり、また、湛水培養窒素とは同程度かやや優る傾向であった。このことから、熱水抽出窒素は易分解性有機態窒素の化学的評価法として培養法に代替可能な測定法とみなされた。ちなみに、残存無機態窒素の変動が小さい十勝管内や後志管内の畑土壌においては作物の窒素吸収量との相関も比較的高いことから、谷口²⁴²⁾や山神・高橋²⁶⁷⁾はバレイショの窒素施肥指針策定に有効であると報告している。

リン酸緩衝液抽出窒素は、樋口^{79,80)}によると有機物連用土壌の潜在的窒素無機化能を評価できるとされており、また培養窒素との関係でみると黒ボク土においてよく対応するとされている。本実験の結果でも、無機化由来の土壌窒素吸収量との相関は比較的高く、易分解性有機態窒素の有効な評価法とみなされた。しかし、熱水抽出窒

素と比較すると、各種の有機物資材が投入されている火山性土においてもこれを上まわるほどの高い相関は得られなかった。

抽出無機化窒素の中では、2M KCl抽出法がこれまで国外で多数検討され、各種の土壌で培養無機化窒素や作物の窒素吸収量と高い相関を示すことが報告されている^{36,54,55,151,208)}。本実験の結果でも、無機化由来の土壌窒素吸収量との相関係数は、沖積土・洪積土で培養無機化窒素と同程度の高い値を示したが、火山性土については他の測定法よりも低かった。オートクレーブを用いた熱水抽出無機化窒素の場合も2M KCl抽出法と同様の傾向であったが、火山性土に対しては2M KCl抽出法よりやや高い相関を示した。さらに、火山性土に対してはアルカリ留出窒素についても検討したが、いずれの抽出法も熱水抽出窒素を上まわるほどの高い相関は得られなかった。したがって、火山性土を含む多様な土壌を対象にしたときの化学的評価法については、熱水抽出窒素が最も優るものと判断された。

3) 無機態窒素と易分解性有機態窒素の同時評価法としての熱水抽出無機態窒素

無機態窒素と易分解性有機態窒素の同時評価法としては、培養窒素と並んで熱水抽出無機態窒素が最も信頼度の高いものとみなされた。易分解性有機態窒素単独の評価法としての熱水抽出無機化窒素は、前述のように火山性土に限定すると精度はさほど高くはなかったが、無機態窒素との同時評価法としての熱水抽出無機態窒素は、火山性土、非火山性土いずれの場合も土壌由来の窒素吸収量とは高い相関を示した。とくに、圃場試験の結果では培養窒素と同程度の高い相関を示すことから、培養窒素に代替可能な評価法とみなされた。

ところで、易分解性有機態窒素は、栽培管理に急激な変化がない限り年次間の変動は小さいので無機態窒素のように毎年繰り返し測定する必要はない³⁰⁾。したがって、無機態窒素と熱水抽出窒素との重回帰式を用いた評価法も可能といえる。しかし、熱水抽出無機態窒素(土層0～75cm, Y)と無機態窒素(0～75cm, X1)、熱水抽出窒素(0～50cm, X2)との間には次のようなきわめて密接な関係が認められる。

$$Y = 1.067X1 + 0.299X2 + 4.473 \quad (R = 0.97)$$

このことは、熱水抽出無機態窒素が無機態窒素と熱水抽出窒素両方の代替としても活用できることを示すものである。

土壌窒素診断の実用化に際しては、高い精度と同時に迅速かつ簡易な測定法の導入が要求される。熱水抽出無機態窒素は、培養法と比較すると著しく迅速であり、ま

た、熱水抽出窒素やリン酸緩衝液抽出法と比較するとケルダール分解などの操作を省略するので著しく簡便である。また、2 M KCl抽出法と比較しても簡易で安定した測定法とみなされる。したがって、熱水抽出無機態窒素は実用上の観点からも有望な土壤窒素評価法とみなされる。

4) 化学的評価法に基づく各種抽出窒素の特性

化学的評価法による土壤窒素と培養無機化窒素との関係を見ると、熱水抽出窒素は、培養過程で減少傾向を示すことから、その一部は培養無機化窒素と同じ窒素プールにあるものと思われる。一方、熱水抽出無機化窒素は培養過程での変動はほとんど認められず、別の窒素プールとみなされた。しかし、培養無機化窒素との相関係数を見ると（表4-18）、熱水抽出窒素が最も高く、次い

表4-18 化学的評価法による土壤窒素と培養無機化窒素との相関係数

N評価法	火山性土	沖積・洪積土	全土壤
熱水抽出窒素	0.88	0.89	0.83
P緩衝液抽出窒素	0.80	0.79	0.70
抽出無機化窒素			
熱水抽出	0.84	0.82	0.69
1/2M KCl	0.85	0.83	0.73
2 M KCl	0.78	0.80	0.79
湛水培養窒素	0.94	0.95	0.94

注) 培養無機化窒素：30℃、4週間で無機化した窒素。

で熱水抽出無機化窒素の順で、これらの測定法はいずれも、培養中に著しく減少すると報告されているリン酸緩衝液抽出窒素⁸⁰⁾よりも高い相関を示した。

可給態窒素の多くは微生物バイオマス画分由来とされており¹⁴⁵⁾、培養無機化窒素とバイオマス窒素との間には正の相関も認められている^{160,194,195,204)}。しかし、バイオマス窒素と化学的評価法による窒素との関係を見ると、Stockdaleら²³¹⁾は2 M KCl抽出無機化窒素について、また、Leggら¹³⁵⁾、Juma・Poul¹⁰⁵⁾およびHeら⁷⁶⁾はオートクレーブを用いた0.01M CaCl₂抽出の無機化窒素または有機態窒素について検討し、いずれの場合もバイオマス窒素との関係は希薄と報告している。熱水抽出無機化窒素および1/2M KCl抽出無機化窒素は、抽出過程におけるアミド、アミノ酸、アミノ糖の窒素無機化率が2 M KCl抽出法と類似していることから、2 M KCl抽出法とはほぼ同じ画分の窒素と推察される。さらに、アミノ酸態窒素の無機化率が著しく低く、有機物施用後の変動も比較的小さいことを考慮すると、熱水抽出無機化窒素についてもバイオマス窒素との関係は希薄と思われる。なお、村田ら¹⁹⁵⁾は、熱水抽出窒素についても微生物バイオマス窒素量との相関が低いことを報告している。

以上のことから、熱水抽出過程で無機化する窒素画分については、バイオマス窒素とは別のプールと推察された。このことは、バイオマス窒素とは有意な関係が認められない化学的評価法においても、易分解性有機態窒素の簡易評価法としては有効であることを示すものである。

5. まとめ

作物による土壤窒素吸収量は、残存無機態窒素と作期中に無機化する易分解性有機態窒素の両方を評価する培養窒素または熱水抽出無機態窒素との相関が最も高かった。無機態窒素の評価を必要とする要因については、①収穫後の残渣処理や有機物資材の投入などにより無機態窒素の変動が著しく大きいこと、②無機態窒素が溶脱しにくい気象、土壤条件にあること、などを認めた。易分解性有機態窒素の評価法としては培養無機化窒素が最も高い精度を示し、また、化学的評価法の中では熱水抽出窒素が比較的高い精度を示した。一方、無機態窒素と易分解性有機態窒素との同時評価法としては熱水抽出無機態窒素が培養窒素と同程度の高い精度を示した。熱水抽出無機態窒素は無機態窒素と熱水抽出窒素との同時測定に代替としても活用でき、さらに、熱水抽出窒素など他の評価法と比較しても迅速かつ簡易な測定法であることを考慮すると最も実用的であり、有望な評価法とみなされた。ただし、熱水抽出過程で無機化する窒素画分については、培養無機化窒素と高い相関を示すにもかかわらず、培養中での変動がほとんど認められず、またアミノ酸態窒素の無機化率も著しく低いことからバイオマス窒素とは別のプールと推察された。

第2節 無機態窒素の変動要因

1. はじめに

網走管内の畑土壤は、春作付け時における残存無機態窒素の圃場間変動が大きいため、土壤診断に際しては易分解性有機態窒素だけでなく無機態窒素の評価も不可欠である。しかし、無機態窒素の評価に際しては、作土だけでなく下層土もサンプリングする必要があり、かつ、圃場内でのばらつきが大きい場合にはサンプリング点数も問題となる。このため、春先の融雪・融凍後から作付け開始までの短期間での無機態窒素測定はかなり制約されることになる。このことは、無機態窒素と易分解性有機態窒素の同時評価法である熱水抽出無機態窒素にも該当する。そこで、本節では、春先の無機態窒素に及ぼす前作と有機物管理の影響および越冬前から翌春にかけての無機態窒素の変動などを調査し、越冬前のサンプリング

表4-19 調査圃場の土壌、前作物および有機物管理別の箇所数

土 壌	前作物	有 機 物 管 理				合 計
		デンプン排液	堆きゅう肥	緑 肥	無 施 用	
火山性土	テンサイ	4	9	-	11	24
	バレイショ	7	1	-	18	26
	ムギ類	16	10	13	28	67
	そ の 他	-	3	-	3	6
	合 計	27	23	13	59	123
非火山性土	テンサイ	2 (1)	4	-	4 (1)	10 (2)
	バレイショ	9 (5)	2	-	8	19 (5)
	ムギ類	2	5 (1)	3	11 (3)	21 (4)
	そ の 他	-	8	-	7	15
	合 計	13 (6)	19 (1)	3	30 (4)	65 (11)

注) () は泥炭土

表4-20 土壌の容積重

土層深 (cm)	火 山 性 土			沖積土・洪積土			泥 炭 土		
	最低	最高	平均±標準偏差	最低	最高	平均±標準偏差	最低	最高	平均±標準偏差
0~25	550	1,004	779±78	518	1,009	865±101	246	601	395±114
25~50	515	1,024	741±102	638	1,189	904±132	226	734	397±152

注) 風乾細土容積重、DW kg m⁻³

表4-21 調査年次の降水量 (mm)

年 次	時 期			合 計	A + B
	越冬前 (A)	根雪期間	越冬後 (B)		
1984-1985	67.5	241.5	0.0	309.0	67.5
1985-1986	201.0	258.5	0.0	459.5	201.0
1986-1987	91.0	217.0	0.0	308.0	91.0
1987-1988	134.5	211.5	10.5	356.5	145.0
1988-1989	142.5	253.0	42.0	437.5	184.5

注) 網走測候所観測、越冬前：10月1日～根雪始め、越冬後：根雪終了～4月20日

による窒素診断の可能性について検討した。

2. 試験方法

1) 供試土壌と調査内容

春季（作付け前）の無機態窒素量の調査は、1985～1989年の5ヶ年にわたり延べ188圃場で実施した。これらの土壌、前作物および有機物管理別の圃場数は表4-19に示すとおりである。土壌別にみると、火山性土は斜網地区を中心に123地点、非火山性土は沖積土が斜網、北見地区を中心に29地点、洪積土が遠紋、北見、斜網地区で26地点、泥炭土が斜網地区で11地点となっている。

また、越冬前から翌春にかけての無機態窒素量の変動をみるため、斜網地区の70地点（火山性土63、沖積土7）で越冬前、翌春の2回サンプリングを行った。この中の火山性土40地点、沖積土5地点については、無機態窒素だけでなく熱水抽出窒素、熱水抽出無機態窒素、培養窒素についても測定し、これらの値と無窒素区テンサイの窒素吸収量との関係を調査した。

調査圃場の有機物管理については、デンプン排液、堆きゅう肥、緑肥、無処理の4種類に区分した。なお、ここではデンプン排液に堆きゅう肥や緑肥を併用した場合はデンプン排液区、堆きゅう肥に緑肥を併用した場合は堆きゅう肥区に含めた。また、無処理区は前作物の収穫残渣以外の有機物を施用していない圃場とした。

2) 土壌のサンプリングおよび無機態窒素の測定

土壌の採取時期は、越冬前は11月中～下旬（1987年の一部に12月上旬～1月上旬を含む）、春季は4月中～下旬とした。各時期とも、0～25cm、25～50cmの2層から採取し、風乾して2mmのふるいを通したものをを用いた。無機態窒素など土壌の可給態窒素測定法は前章のとおりである。

土層中の無機態窒素量は、風乾細土容積重（表4-20）を用いて面積当たりの含量を算出した。

3) 気象条件

春季の土壌無機態窒素量に影響を及ぼす気象要因は、主として秋から春にかけての降水量と思われる。そこで、

表4-21には網走市における10月1日～4月20日までの年次別降水量を示した。これをみると、降水量の多い年次は1985～1986年、1988～1989年であり、降水量の少ない年次は1984～1985年、1986～1987年であった。このような年次間差は、主として根雪前あるいは融雪後の降水量の相違を反映するものであった。

3. 試験結果

1) 無機態窒素量に及ぼす前作物と有機物管理の影響

春季の無機態窒素量（0～50cm土層）を前作物と土壌の種類別に整理して表4-22に示した。ここでの値は各年次の調査結果を一括したものであるため、いずれも年次や有機物管理等の相違により、変動幅が大きいことを認めた。特に、火山性土のムギ類跡地における無機態窒素量は、14～321kg ha⁻¹と最も変動が大きかった。火山性土のムギ類跡地では多様な有機物管理が行われており、このことが無機態窒素量の主要な変動要因と推察された。

表4-22 春季の土壌無機態窒素量 (kg ha⁻¹)

前作物	項目	土 壌 の 種 類			全 体
		火山性土	沖積・洪積土	泥炭土	
テンサイ	範 囲	34～144	25～69	71～88	25～144
	平均値	72	52	80	68
バレイショ	範 囲	20～190	30～67	61～169	20～190
	平均値	65	59	98	66
ムギ類	範 囲	14～321	16～126	53～74	14～321
	平均値	64	43	64	59
その他	範 囲	46～203	24～105	-	24～203
	平均値	78	58	-	63

表4-23 有機物管理の相違が春季の土壌無機態窒素量に及ぼす影響

有機物管理	前 作 物				全 体
	テンサイ	バレイショ	ムギ類	その他	
無処理	58	46	39a	59	47a
緑 肥	-	-	44a	-	-
堆きゅう肥	66	76	56a	68	64a
デンプン排液	97	97	122b	-	108b

注) 前作物別の平均値(kg ha⁻¹)で示す。異なる文字間には5%水準で有意差あり(Duncan法)。無処理は収穫残渣のみ施用。

表4-24 前作物の相違が春季の土壌無機態窒素量に及ぼす影響

前作物	各年次の平均値 (kg ha ⁻¹)					全平均
	1985	1986	1987	1988	1989	
テンサイ	60	39	-	-	-	56a
バレイショ	57	36	53	47	-	46ab
ムギ類	55	28	35	48	27	39b

注) 泥炭土を除く有機物無処理区。

異なる文字間には5%水準で有意差あり(Duncan法)。

そこで、有機物管理と土壌無機態窒素量との関係を前作物の種類別に整理したものを表4-23に示した。これをみると、いずれの前作物も有機物管理の影響は判然と認められ、無機態窒素量はデンプン排液>堆きゅう肥≥緑肥=無処理の順に多かった。特に、デンプン排液の場合には平均108kg ha⁻¹と著しく高い値を示していた。

次に前作物の影響を明らかにするため、有機物無処理区圃場における無機態窒素量を年次別に整理して表4-24に示した。これをみると、無機態窒素量は、テンサイ>バレイショ>ムギ類の順に多い傾向であった。しかし、いずれも年次間変動が大きかったので、各年次の気象条件と無機態窒素量との関係を検討した。その結果、無機態窒素量は、越冬前（10月初旬～根雪始）と越冬後（融雪期～4月中旬）の降水量の含量との間に密接な関係が認められ、この期間の降水量が多い年次ほど土層中の無機態窒素量は少なくなる傾向を示した（図4-1）。これらの回帰式から、降水量が同じ条件で無機態窒素量を

比較すると、テンサイ跡地とバレイショ跡地とはほぼ同程度であり、一方ムギ類跡地はこれらよりも少ないことが示された。

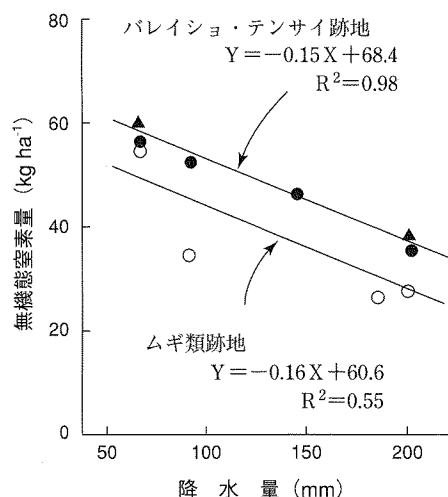


図4-1 越冬前および越冬後の降水量と無機態窒素との関係

○, ムギ類; ●, バレイショ; ▲, テンサイ

表 4-25 土壌の種類別における春季の無機態窒素量

土壌の種類	前 作 物				全平均
	テンサイ	バレイショ	ムギ類	その他	
火山性土	60	47	41a	57	47a
沖積土・洪積土	39	44	33a	60	45a
泥炭土	88	-	67b	-	72b

注) 有機物無処理区における平均値 (kg ha⁻¹)。異なる文字間には5%水準で有意差あり (Duncan法)。

表 4-26 越冬前後の各種土壌窒素量と無窒素区テンサイの窒素吸収量との相関係数

窒素評価法	テンサイ窒素吸収量との相関係数		越冬前と越冬後の窒素量の相関係数
	越冬前	越冬後	
無機態窒素	0.59	0.70	0.68
熱水抽出窒素	0.48	0.46	0.96
熱水抽出無機態窒素	0.65	0.81	0.78
培養窒素	0.64	0.77	0.84

注) 土壌窒素量: kg ha⁻¹, 0~50cm, 地点数: 45

なお、土壌間では泥炭土が多い傾向であり、火山性土と非火山性土 (沖積土、洪積土) との間には有意な差は認められなかった (表 4-25)。

2) 越冬前後における無機態窒素量の変動

はじめに、越冬前と越冬後の各種可給態窒素量と無窒素区テンサイの窒素吸収量との相関係数を表 4-26 に示した。これをみると、無機態窒素および熱水抽出無機態窒素、培養窒素の場合、相関係数はいずれも越冬前のほうが越冬後よりも低い値を示した。すなわち、無機態窒素または無機態窒素と易分解性有機態窒素の両方を評価する場合には、越冬後のサンプリングに比較して越冬前のサンプリングは窒素診断の精度が低下することを認めた。そこで、各種の可給態窒素量について越冬前と越冬後の間の相関係数をみると、無機態窒素の場合は0.68と最も低く、一方、易分解性有機態窒素のみ評価する熱水抽出窒素の場合は0.96と最も高い値を示した。また、無機態窒素と易分解性有機態窒素の両方を評価する熱水抽出無機態窒素と培養窒素の場合はこれらの中間の値を示した。このことは、越冬前後における可給態窒素量の変動は主として無機態窒素によるものであり、易分解性有機態窒素の変動は僅かであることを示すものである。

そこで次に、全調査圃場における越冬直前と越冬後の春先の無機態窒素量との関係をみると、以下のような回帰式が得られた (図 4-2)。

$$Y = 0.57X + 18.7 \quad (Y: \text{越冬後の無機態窒素量}, X: \text{越冬前の無機態窒素量})$$

さらに、この回帰式と $Y=X$ との交点は43kg

ha⁻¹であった。このことは、越冬前の無機態窒素量が40~50kg ha⁻¹を上まわる場合、翌春にかけて減少する可能性の大きいことを示すものである。

一方、越冬前における無機態窒素量の多少は前作物や

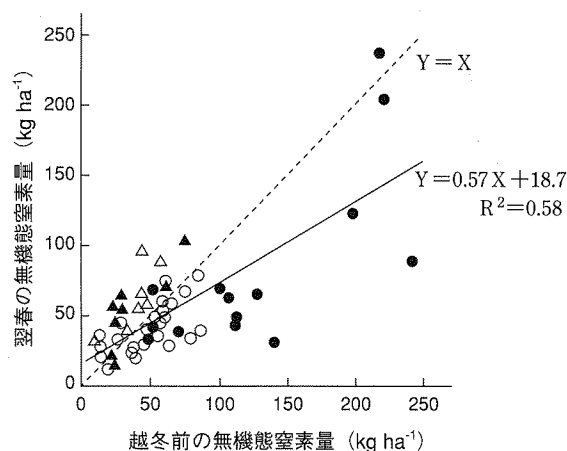


図 4-2 越冬前後の無機態窒素量の変動
○, 有機物無処理; ●, デンプン排液;
△, 堆きゅう肥; ▲, 緑肥

表 4-27 越冬前後の無機態窒素量の変動

前作物	有機物管理	無機態窒素 (kg ha ⁻¹ , 0~50cm)			有意性
		越冬前	越冬後	差	
バレイショ	無処理	57	42	-15	*
ムギ類	無処理	38	38	0	NS
	堆きゅう肥	39	64	25	*
	緑肥	33	49	16	**
	デンプン排液	125	87	-38	*

注) *5%水準で有意, **1%水準で有意

有機物管理の影響が大きいと、越冬前と越冬後の無機態窒素量の関係を前作物および有機物管理別に区分して表4-27に示した。ここでは、越冬前の調査時期が11月中旬以降の根雪直前（または直後）であるため、越冬後の無機態窒素量の変動は年次間で大きな差異はないものとみなし、各年次こみの平均値で示した。まず有機物無処理区をみると、越冬前の無機態窒素量が比較的多かったバレイショ跡地では越冬前から翌春にかけて減少する傾向を示したが、無機態窒素量の少ないムギ類跡地では差がみられなかった。また、ムギ類跡地における有機物管理の影響をみると、越冬前の無機態窒素量が著しく多かったデンプン排水液の場合は明らかに減少する傾向であったが、堆きゅう肥（スラリーは除く）や緑肥の場合は増加する傾向を示した。

そこで、越冬後の無機態窒素残存率を算出すると、バレイショ跡地（有機物無処理）では平均74%、デンプン排水液施用圃場では平均70%の値が得られたが、これらの残存率は圃場間の変動が大きく、特にデンプン排水液の場合には排水液の種類や他の有機物との併用などによって著

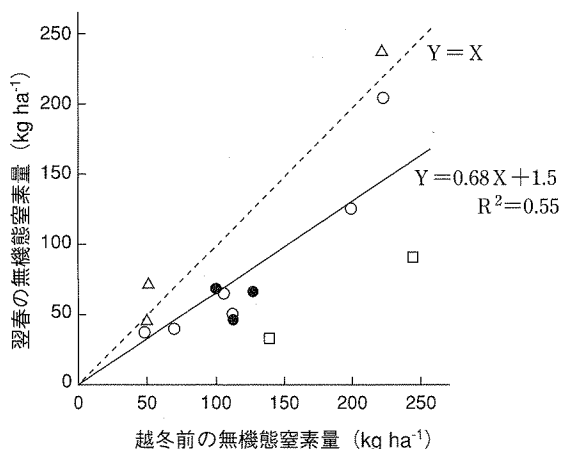


図4-3 デンプン排水液施用圃場における越冬前後の無機態窒素量の変動

○, ムギ類跡地・デカンタ50Mg ha⁻¹
△, " "・デカンタ50Mg ha⁻¹+堆肥+緑肥
■, " "・セパレータ500Mg ha⁻¹
●, バレイショ跡地・デカンタ50Mg ha⁻¹

しく異なることが認められた（図4-3）。すなわち、セパレータを多量施用した圃場は24~37%と低く、一方、堆きゅう肥、緑肥を併用した圃場は90~144%と高い傾向を示した。このように、越冬前後における無機態窒素量の変動は、前作物や有機物管理によって著しく相違することを認めた。

4. 考 察

1) 無機態窒素量に及ぼす前作物と有機物管理の影響 網走管内の主要な畑土壌において春先の無機態窒素量

を調査した結果、0~50cm土層中の無機態窒素量は14~321kg ha⁻¹の範囲にあり、圃場間の変動がきわめて大きかった。

そこで、無機態窒素量に対する前作物と有機物管理の影響をみると、無機態窒素量は施用有機物の種類によって変動し、とりわけデンプン排水液を施用した圃場では著しく多いことを認めた。デンプン排水液は、デカンターで30~50Mg ha⁻¹、セパレータで500Mg ha⁻¹程度施用されており、これは窒素成分量として50~300kg ha⁻¹に相当する。窒素の大部分は易分解性の有機態窒素であるため土壌中で速やかに無機化し²⁴⁾、その一部または大部分が春先まで残存したものと思われる。また、堆きゅう肥を施用している圃場でも多い傾向を示したが、中でも豚糞尿スラリーや未熟な牛糞堆肥を多量施用している圃場で多いことを認めた。しかし、緑肥の場合には判然とした傾向が認められなかった。これは、緑肥作物の多くがエンバクであり、秋すき込み時のC/N比が比較的高かったためと推察される。

一方、前作物との関係では、テンサイ、バレイショと比較してムギ類跡地で無機態窒素量が少ない傾向を示した。ムギ類の収穫残さ物はテンサイ、バレイショと比較してC/N比が高いため、窒素の有機化が春先まで持続しているためと思われる¹²⁾。

以上の結果は、窒素施肥量を決定するに際して前作物や有機物管理を考慮することの重要性を示すものである。北海道施肥標準⁸²⁾では、有機物施用に伴う施肥対応としてデンプン排水液や家畜糞尿スラリー等を施用したときの窒素減肥基準が策定されている。しかし、本調査の一例としてデカンター50Mg ha⁻¹施用圃場の実態をみると、無機態窒素量は40~320kg ha⁻¹と変動幅が大きいので、画一的な施肥対応は困難である。この要因としては、デンプン排水液の窒素濃度の変動が大きいことと²⁴⁾、散布後に生じる窒素溶脱量が散布時期や気象、土壌条件によって異なるためと考えられる。このようなことから、春先における無機態窒素量の評価は、窒素診断の精度を高める上で重要と考えられる。

2) 越冬前後における無機態窒素量の変動

土層中の無機態窒素量は一筆圃場内での変動が大きいと、窒素診断の精度はサンプリング点数に左右される¹⁸⁾。無機態窒素と易分解性有機態窒素の同時評価法である熱水抽出無機態窒素について、高橋²³⁾は、テンサイ作付け予定地での一筆圃場内の必要サンプリング地点数を6~15程度と報告している。このため、春先の限られた期間内に多数の圃場を調査することは事実上困難であり、調査時期を越冬前まで早めて無機態窒素量を評

表4-28 越冬後における無機態窒素の残存率

N施肥量 (kg ha ⁻¹)	土層 0~50cm			土層 0~75cm		
	無機態窒素 (kg ha ⁻¹)		残存率 (%)	無機態窒素 (kg ha ⁻¹)		残存率 (%)
	11月27日	4月2日		11月27日	4月2日	
0	85	70	82.4(75.6)	133	121	90.1(85.3)
100	189	136	72.0(68.4)	237	195	82.3(78.5)
200	261	177	67.8(66.9)	302	254	84.1(81.3)

注) 北見農試多湿黒ボク土、1989年10月24日硝酸カリ施用。残存率：越冬前の無機態窒素量を100として計算。() は硝酸態窒素の残存率。

価することが必要と思われる。

しかし、本調査結果から明らかなように、越冬前サンプリングによる無機態窒素評価は、窒素診断の精度を低下させることになる。これは、越冬前後における無機態窒素量の変動が前作や有機物の種類によって著しく異なるためである。堆きゅう肥（スラリーを除く）や緑肥などC/N比の低い粗大有機物を施用した圃場では、越冬前の無機態窒素量が少なく、春先にかけて増加する傾向を示すのに対して、デンプン排泄液のような液状有機物を施用した圃場では越冬前の無機態窒素量が著しく多く、春先にかけて減少する傾向であった。また、有機物無処理区の場合には、バレイショ跡地で減少傾向であったが、コムギ跡地では差が認められなかった。これらはいずれも、越冬前の無機態窒素量が多いほど春先にかけて減少する可能性が大きいことを示している。

そこで、土層50cm以内における春先の残存率をみると、デンプン排泄液施用圃場では平均70%、バレイショ跡地圃場では平均74%であった。また、北見農試の多湿黒ボク土で無機態窒素を表層10cmに秋施用して調査した結果をみると、土層50cm以内で68~82%、土層75cm以内で82~90%の残存率であった（表4-28）。さらに、西尾ら¹⁷⁾が十勝地方で秋施肥圃場で調査した結果では、土層60cm以内の残存率は黒色火山性土72%、褐色火山性土83%であった。火山性土におけるこれらの結果は、土層が深くなるほど窒素残存率は高まることを示すものである。一方、北アメリカの比較的湿潤なトウモロコシ圃場で調査した結果をみると、Bundy・Malone²⁷⁾の報告では土層90cmまたは120cmで45~66%、Jokela・Bandal¹⁰⁴⁾の報告では土層150cmで30~50%の残存率であった。これらの値と比較すると、網走管内の畑土壌での残存率はかなり高いように思われる。この要因としては、主要土壌である火山性土の保水性やアニオン吸着能の影響および気象の面では土壌凍結の影響が大きいものと思われる。一般に、土壌凍結地帯での無機態窒素の減少は主として融解時の硝酸溶脱によるものとされている¹⁷⁾が、斜網地区における土壌凍結の推移をみると、土層20~25cmの土壌凍結

の融解が融雪期よりも遅れる場合が多い。このような条件では融雪水の下層浸透は困難であり²⁶⁾、下層土の硝酸溶脱は比較的少ないものと推察された。

さらに、残存率が高い要因としては、コムギ跡地における麦稈のすき込みや緑肥の導入が考えられる。Powelsonら¹⁸⁵⁾は、ローザムスタットにおいて冬期間の硝酸溶脱が麦稈すき込みにより60%から47%に低下することを認めた。また、Vosら²⁵¹⁾は、スイスにおいて後作緑肥（シロカラシ）の導入が窒素肥沃度の高い圃場で冬期間の硝酸溶脱を抑制する効果を認めている。本調査結果でも、コムギ跡地における麦稈すき込みや後作緑肥の導入はデンプン排泄液に由来する窒素溶脱を抑制し、春先の残存率は高まることを認めた。

3) 越冬前サンプリングによる土壌窒素診断の可能性

以上のことから、越冬前の無機態窒素を含む土壌窒素評価については、斜網地区のように有効土層の深い火山性土が分布する土壌凍結地帯において、テンサイのような深根性の作物に対して適応可能と考えられる。しかし、窒素診断の精度を高めるには、施用有機物の種類別に補正することが必要である。すなわち、緑肥や堆肥などの粗大有機物がすき込まれている圃場では、当年の有機物由来窒素が土壌窒素測定値にほとんど反映されないで、前章で示した有機物自体の窒素評価が必要となる。一方、液状有機物の施用などにより無機態窒素量の多い圃場では越冬後の残存率が問題となる。この中で、セパレータ排泄液を多量施用した圃場や傾斜地等については、硝酸の溶脱や集積に伴う無機態窒素の変動が大きいので、窒素評価は困難である。しかし、これらの圃場を除くと、残存率はおおむね70~80%程度とみなしても問題はないものと思われる。

いずれにせよ、越冬後の無機態窒素残存率は年次間、圃場間の変動が大きく、窒素診断の精度を高める観点から、今後はAddiscott・Whitmore³⁾やWhitmoreら²⁵⁹⁾が示したような多様な気象・土壌条件下での無機態窒素量の変動を予測できるシミュレーションモデル等の開発が必要になるものと思われる。

5. まとめ

網走管内の畑土壌における春先の土層0～50cm中の無機態窒素量は14～321kg ha⁻¹と変動が大きく、窒素診断における無機態窒素評価の必要性を認めた。無機態窒素量は、有機物管理、前作物などにより変動し、有機物の種類別ではデンプン排液＞堆きゅう肥≧緑肥≧無処理、前作物ではテンサイ≧パレイショ＞ムギ類の順に多い傾向であった。一方、越冬前から翌春にかけての無機態窒素量の変動をみると、越冬前の無機態窒素量が比較的多いパレイショ跡地やデンプン排液施用圃場では減少し、一方、ムギ類跡地での堆きゅう肥、緑肥施用の場合は増加する傾向であった。デンプン排液施用圃場における翌春の残存率は、平均で70%程度であったが、デンプン排液の種類や堆きゅう肥、緑肥の併用等による変動が大きかった。越冬前サンプリングによる土壌窒素評価は、春サンプリングと比較して診断の精度を低下させたが、硝酸溶脱の比較的小さい土壌凍結地帯の火山性土においては有機物窒素の評価などと組み合わせると導入可能と考えられた。

第3節 土壌窒素の無機化特性

1. はじめに

土壌窒素の無機化は温度や水分など気象条件の影響を受けるが、とりわけ網走管内のような寒冷地では温度の影響が大きいものと思われる。したがって、作期中の窒素無機化量を予測するためには、易分解性有機態窒素の評価のみならず、温度変化に対応した窒素無機化速度を知ることにも必要となる。このような観点から、本節では杉原ら²³³⁾ および金野・杉原¹²⁴⁾ の反応速度論的解析法に基づき、土壌タイプや有機物管理来歴が異なる各種土壌の窒素無機化特性値を明らかにし、同時に、これらの値と前節で示した各種測定法による易分解性有機態窒素量との関係を検討した。

一方、反応速度論的解析に基づく畑土壌の窒素無機化特性値については、国内ではこれまで土壌の種類や施肥・有機物管理などの影響が報告されている^{165,193,233)}。しかし、緑肥のような新鮮有機物を施用した土壌については検討されておらず、不明な点が多い。そこで、C/N比などの化学成分が相違する各種緑肥の施用が土壌の窒

表4-29 供試土壌の種類と有機物管理来歴

供試土壌	土壌区分	前作物	有機物資材の施用量 (Mg ha ⁻¹)		
			堆きゅう肥	鶏糞	デンプン排液
火山	1 淡色黒ボク土	テンサイ	40(100)	0.8(2.3)	0(50)
	2 "	パレイショ	0(30)	-	60(120)
	3 腐植質黒ボク土	パレイショ	-	-	50(150)
	4 "	コムギ	-	-	1600(3200)*
	5 "	パレイショ	0(20)	-	-
	6 "	コムギ	20(20)	-	20(20)
	7 "	アズキ	25(50)	-	-
	8 "	パレイショ	-	-	50(50)
	9 "	パレイショ	0(25)	-	0(50)
	10 "	テンサイ	30(30)	0(1.5)	-
	11 多腐植質黒ボク土	テンサイ	30(70)	1.0(1.0)	-
	12 "	コムギ	-	-	-
沖積	1 褐色低地土	コムギ	-	-	-
	2 "	テンサイ	-	-	0(50)
	3 灰色低地土	テンサイ	-	-	-
	4 "	タマネギ	0(20)	-	-
	5 "	パレイショ	-	0(2.0)	0(50)
	6 "	パレイショ	-	-	0(50)
洪積	1 灰色台地土	コムギ	-	-	-
	2 "	コムギ	不明	-	-
	3 "	テンサイ	不明	-	-
	4 "	トウモロコシ	40(160)	-	-
	5 "	トウモロコシ	40(120)	-	-
	6 "	テンサイ	60(60)	-	-

注) 有機物資材は前年秋の施用量、() 最近5ヶ年の合計量。

*セパレータ排液、他はデカンター排液。

表 4-30 供試土壌の化学性と易分解性有機態窒素

供試土壌		pH (H ₂ O)	T-C g kg ⁻¹	T-N g kg ⁻¹	C/N 比	トルオーグ P ₂ O ₅	無機 N	培養N		熱水抽出N		抽出無機N	
								4 週	28週	105℃	121℃	H ₂ O	2 M KCl
火山	1	5.9	24.3	2.2	11.0	550	22	40	130	88	166	26	17
	2	6.0	27.0	2.3	11.7	170	19	38	109	41	113	22	13
	3	5.6	30.0	2.3	13.0	110	79	36	95	46	92	29	14
	4	5.3	32.6	2.5	13.0	360	94	56	164	104	185	35	21
	5	6.0	35.6	2.7	13.2	150	13	40	108	49	90	28	16
	6	5.5	49.6	3.3	15.0	350	23	43	118	49	105	28	16
	7	5.6	51.7	3.4	15.2	280	17	43	109	65	128	29	17
	8	5.9	48.5	3.5	13.9	350	34	53	126	59	137	31	16
	9	6.0	48.8	3.6	13.6	90	13	55	139	89	176	40	21
	10	5.8	57.6	3.9	14.8	600	18	48	127	110	203	36	17
	11	5.6	92.8	5.4	17.2	510	45	94	206	122	221	42	22
	12	5.2	82.1	5.6	14.7	270	21	69	166	127	248	50	24
沖積	1	6.6	17.5	1.9	9.2	220	6	28	75	38	68	12	10
	2	7.5	19.6	2.2	8.9	690	17	69	169	82	155	27	25
	3	6.4	18.7	2.0	9.4	960	16	31	80	51	96	16	15
	4	6.0	21.1	2.3	9.2	1,050	17	33	104	65	130	19	17
	5	5.9	13.5	1.5	9.0	400	9	40	110	55	101	21	18
	6	6.6	21.4	2.2	9.7	520	8	54	134	76	146	27	19
洪積	1	6.0	15.1	1.1	13.7	160	7	35	85	28	59	15	11
	2	6.2	27.5	1.9	14.5	220	13	58	128	64	115	23	23
	3	6.2	28.9	2.1	13.8	390	17	56	132	68	138	23	21
	4	6.9	21.9	1.5	14.6	170	11	68	141	73	125	20	15
	5	7.4	19.2	1.7	11.3	350	10	62	173	65	96	20	16
	6	7.0	33.8	2.5	13.5	620	17	92	240	121	201	33	30

注) 培養N、抽出無機Nは当初の無機態窒素を含まない。

素無機化特性値に及ぼす影響についても併せて検討した。

2. 実験方法

1) 各種畑土壌の窒素無機化特性値

(1) 供試土壌

第1節のポット試験に用いた土壌の中から、火山性土12点（淡色黒ボク土2、腐植質黒ボク土8、多腐植質黒ボク土2）、沖積土6点（褐色低地土2、灰色低地土4）、洪積土6点（いずれも灰色台地土）を供試した。

これら土壌の有機物管理履歴を表4-29、化学性および前節で検討した各種評価法による易分解性有機態窒素量を表4-30に示した。

(2) 培養法

土壌は末風乾状態で2mmの篩を通過させたものを用いた。水分は最大容水量の60%に調整し、温度条件は15、20、25、30℃の4段階とし、1～44週間培養した。培養当初は1週間毎に、4～8週間目は2週間毎に、8週目以降は4～6週間毎に無機態窒素を測定した。

2) 窒素無機化特性値に及ぼす緑肥施用の影響

(1) 供試緑肥

緑肥作物として、C/N比の相違するアカクローバ

表 4-31 緑肥作物の種類と化学成分 (g kg⁻¹)

緑肥作物 の種類	T-C	T-N	C/N 比	炭水 化物	リグ ニン
アカクローバ	449	32.2	13.9	363	126
エンバク A	429	19.7	21.8	499	95
" B	438	30.7	14.3	408	66
レバナ A	410	17.5	23.4	418	59
" B	411	36.4	11.3	262	94

(マメ科)、エンバク (イネ科)、レバナ (アブラナ科) を供試した。これらの化学成分は表4-31に示すとおりである。

(2) 培養法

風乾し、2mm以下に粉碎した緑肥を北見農業試験場の多腐植質黒ボク土 (pH: 5.2、T-C: 66g kg⁻¹、T-N: 4.9g kg⁻¹、土性: L) に乾物重比で20g kg⁻¹ 相当量添加した。土壌は風乾し、2mmの篩を通過させたものを使用した。土壌水分は最大容水量の60%に調整し、温度条件を20、25、30℃の3段階に設定し、1～26週間培養した。

3) 窒素無機化特性の解析

金野のプログラム¹²⁵⁾を用いて、温度別窒素無機化曲線を一次反応式およびArrhenius式にあてはめ、可分解性窒素量(N_0)、25℃における無機化速度定数(k)、みかけの活性化エネルギー(E_a)を求めた。一次反応式による窒素無機化モデルについては、杉原ら²³⁰⁾が提示した単純型(1)、単純並行型(2)、有機化・無機化並行型(3)の3種類を用いた。

$$N = N_0 [1 - \exp(-k \cdot t)] + C \quad (1)$$

$$N = N_{oq} [1 - \exp(-k_q \cdot t)] + N_{os} [1 - \exp(-k_s \cdot t)] + C \quad (2)$$

$$N = N_{im} [1 - \exp(-k_{im} \cdot t)] + N_0 [1 - \exp(-k \cdot t)] + C \quad (3)$$

ただし、 N :窒素無機化量、 N_0 :可分解性窒素量(N_{oq} と N_{os} は分解の速やかな画分と遅い画分)、 N_{im} :有機化窒素量、 k :無機化速度定数(k_q と k_s は分解の速やかな画分と遅い画分)、 k_{im} :有機化速度定数、 C :定数

なお、窒素無機化モデルの適合性については、赤池⁴⁾の情報量基準(AIC)を用いて最小値を与えるモデルを最良とした。

3. 結果および考察

1) 各種畑土壌の窒素無機化特性値

(1) 窒素無機化モデル

畑土壌の窒素無機化過程は、多くの場合一次反応式に適合するとされている^{38,149,193,220,233)}。そこで、一次反応式に基づく窒素無機化モデルの適合性をAIC値から検討した結果、約半数の土壌で単純並行型が単純型よりも優っていた(表4-32)。杉原ら²³³⁾の報告によると、湿潤土壌の培養によって得られる窒素無機化曲線は単純型に適合し、風乾土の場合は単純並行型に適合するとされている。しかし、本実験の結果は、未風乾の場合でも単純並行型に適合する土壌が存在することを示している。そこで、作付方式や有機物管理の影響をみると、単純並行型に適合した土壌は、前作物がテンサイの場合や前作物の収穫跡地にデンプン排水を散布した場合に該当した。前作物がテンサイの場合にはバレイショ(収穫後デンプン排水施用)との交互作やテンサイを連作した土壌で認められ、また、デンプン排水施用の場合はほとんどの土

表4-32 窒素無機化モデルの適合性

供試土壌	単純型		単純並行型		有機・無機並行型	
	AIC	S	AIC	S	AIC	S
火山	1	27.9	1.8	12.9	1.0	
	2	29.1	1.9		25.5	1.4
	3	41.8	2.8	12.3	1.0	
	4	54.8	4.1	39.3	2.2	
	5	-11.5	0.6	-7.1	0.5	
	6	5.5	0.9	6.6	0.8	
	7	10.2	1.1	15.4	1.0	
	8	30.6	2.0	10.9	0.9	
	9	7.8	1.0		13.8	1.0
	10	23.7	1.6	15.5	1.1	
	11	41.8	2.8	47.6	2.8	
	12	19.7	1.5	14.1	1.0	
沖積	1	14.4	1.2		20.3	1.2
	2	50.8	3.8	33.7	1.9	
	3	43.0	3.0	25.8	1.5	
	4	58.0	4.8	63.8	4.7	
	5	9.5	1.1	12.9	1.0	
	6	35.9	2.4	19.7	1.1	
洪積	1	-13.0	0.5	-20.0	0.4	
	2	43.4	3.0		43.4	2.5
	3	16.8	1.4	13.0	1.0	
	4	6.7	1.0	12.7	1.0	
	5	64.3	5.8	53.4	3.4	
	6	86.2	11.5	68.2	5.4	

注) AIC: 赤池の情報量基準、S: 残差平方和

表 4-33 各種土壌の窒素無機化特性値

供試土壌		可分解性窒素量 (mg kg ⁻¹)			無機化速度定数 (day ⁻¹ , 25°C)			活性化エネルギー (kJ mol ⁻¹)		
		単純型 N_0	並行型		単純型 k	並行型		単純型 E_a	並行型	
			$N_{0q}(N_{in})$	$N_{0s}(N_0)$		$k_q(k_{in})$	$k_s(k)$		$E_{aq}(E_{ain})$	$E_{as}(E_a)$
火山	1	191	19	243	0.0031	0.017	0.0017	83.7	37.7	95.4
	2	141	-32	148	0.0048	0.022	0.0080	73.7	68.2	71.6
	3	91	27	81	0.0051	0.013	0.0026	82.9	52.7	114.3
	4	162	21	155	0.0075	0.030	0.0058	78.7	16.3	87.5
	5	129	3	133	0.0044	0.035	0.0080	79.1	71.2	80.0
	6	125	4	131	0.0049	0.091	0.0043	59.4	98.0	59.9
	7	124	2	130	0.0043	0.058	0.0038	73.3	94.2	73.3
	8	128	20	130	0.0055	0.020	0.0035	70.3	22.2	83.3
	9	177	-0	178	0.0043	0.063	0.0043	78.7	95.4	78.3
	10	131	33	128	0.0051	0.013	0.0026	80.4	52.7	98.4
	11	182	5	182	0.0084	0.037	0.0078	62.4	81.2	61.5
	12	170	12	218	0.0038	0.046	0.0023	73.7	78.7	74.1
沖積	1	77	-1	76	0.0059	0.100	0.0060	74.9	75.3	75.3
	2	164	21	155	0.0077	0.026	0.0061	75.3	67.0	82.5
	3	95	16	93	0.0069	0.026	0.0048	73.3	-	83.3
	4	111	1	112	0.0059	0.090	0.0056	59.4	75.8	59.4
	5	118	6	121	0.0087	0.046	0.0065	72.8	97.1	56.5
	6	141	7	148	0.0058	0.038	0.0051	72.0	-	79.5
洪積	1	82	5	83	0.0058	0.031	0.0048	74.9	18.4	76.6
	2	130	-1	114	0.0083	0.008	0.0103	69.9	91.6	69.9
	3	113	36	101	0.0095	0.017	0.0051	85.0	56.5	98.8
	4	134	0	134	0.0086	0.039	0.0085	77.9	88.3	77.9
	5	165	11	166	0.0095	0.045	0.0085	66.6	-	74.1
	6	219	188	120	0.0093	-	-	72.4	92.5	59.4

壤で単純並行型を示した。このことから、単純並行型は
テンサイ茎葉やデンプン排液などC/N比の低い有機物
を多量に施用した土壌に限定されるものと推察された。

(2) 窒素無機化特性値

単純型および並行型（単純または有機化・無機化）モ
デルに基づく無機化特性値を表 4-33 に示した。まず可
分解性窒素量をみると、単純型(N_0)と単純並行型(N_{0q}
+ N_{0s})または有機化・無機化並行型(N_{in} + N_0)とはほぼ
1 : 1 の関係にあり、相関係数も 0.92 と高かった (図
4-4)。また、単純並行型の場合には全可分解性窒素量
に対する N_{0q} の比率が大部分の土壌で 15% 以下と小さい
ことから、無機化特性値の土壌間比較は単純型モデルで
可能と判断された。

単純型の N_0 は 77~219mg kg⁻¹ の範囲にあり、その平均
値は火山性土 146mg kg⁻¹、沖積土 118mg kg⁻¹、洪積土 141mg
kg⁻¹ であった。各土壌タイプともばらつきが大きく、一定
の傾向は認められなかったが、全窒素含量に対する N_0

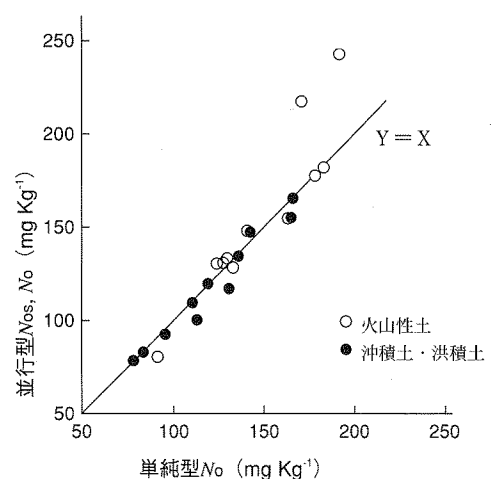


図 4-4 単純型モデルと並行型（単純または有機・無機）
モデルにおける可分解性窒素量の関係

の比率では火山性土が低い傾向であった。この比率はおおむね3～10%の範囲にあり、全窒素含量が高くなるにしたがって低下する傾向を示した(図4-5)。とくに腐植含量の高い火山性土では、東北地方の火山性土についての斉藤¹⁹³⁾の報告と同様いずれも低いことを認めた。しかし、全窒素含量が0.3%以下の腐植の少ない土壌では火山性土、非火山性土ともばらつきが大きく、 N_0 は有機物管理によって大きく変動することがうかがわれた。そこで、各種評価法による易分解性有機態窒素量と N_0 との関係を見ると、 N_0 は培養窒素(無機化窒素のみ)、熱水抽出窒素、2M KCl抽出無機化窒素と比較的高い相関を示した(表4-34)。この中で、培養窒素の場合は28週間培養、熱水抽出窒素の場合は121℃ 抽出条件でほぼ1:1の関係が認められた(図4-6)。これらの結果は、東北地方の畑土壌で得られた結果¹⁹³⁾とも符合する

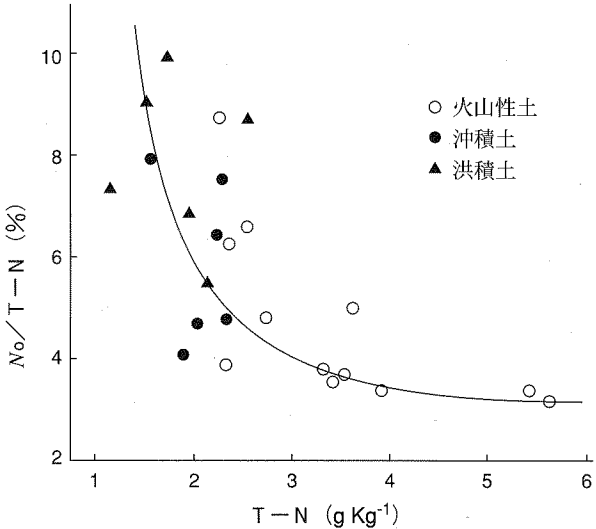


図4-5 土壌の全窒素と可分解性窒素割合($N_0/T - N$)の関係

表4-34 可分解性窒素量(N_0)と各種評価法による易分解性有機態窒素量との相関係数

土壌区分	培養窒素		熱水抽出窒素		抽出無機窒素		リン酸緩衝液抽出窒素
	4週間	28週間	105℃	121℃	H ₂ O	2M KCl	
全土壌	0.75***	0.88***	0.79***	0.75***	0.63***	0.74***	0.64***
火山性土	0.57*	0.73**	0.69**	0.71**	0.47	0.70**	0.38
沖積土・洪積土	0.92***	0.98***	0.92***	0.82***	0.88***	0.82***	0.90***

*5%水準で有意、**1%水準で有意、***0.1%水準で有意

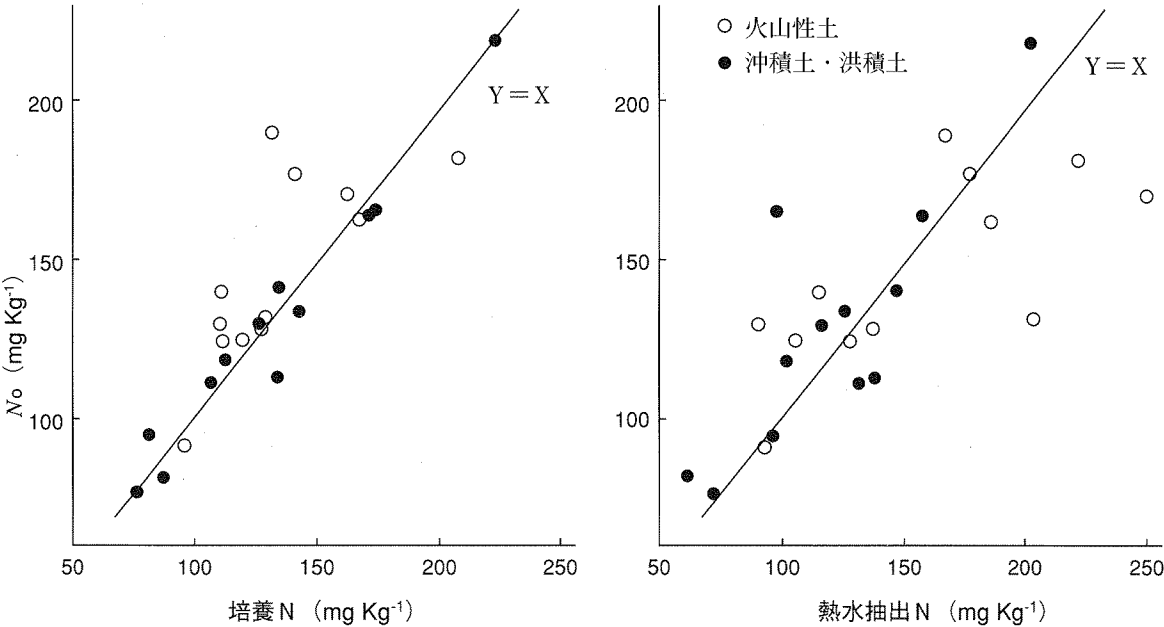


図4-6 風乾土培養窒素(30℃、28週間)および熱水抽出窒素(121℃、1時間)と可分解性窒素(N_0)との関係

ものである。一方、 N_0 の簡易評価法として、国外では2M KCl抽出法が有効とされているが^{29,95)}、本実験の結果では熱水抽出窒素(105℃)のほうがより高い相関を示した。ちなみに、 N_0 に対する熱水抽出窒素の比率は

火山性土53%、沖積土・洪積土50%とおおむね半分程度であった。

窒素無機化速度定数(k)は0.0031～0.0095day⁻¹の範囲にあり、平均値でみると洪積土>沖積土>火山性土の

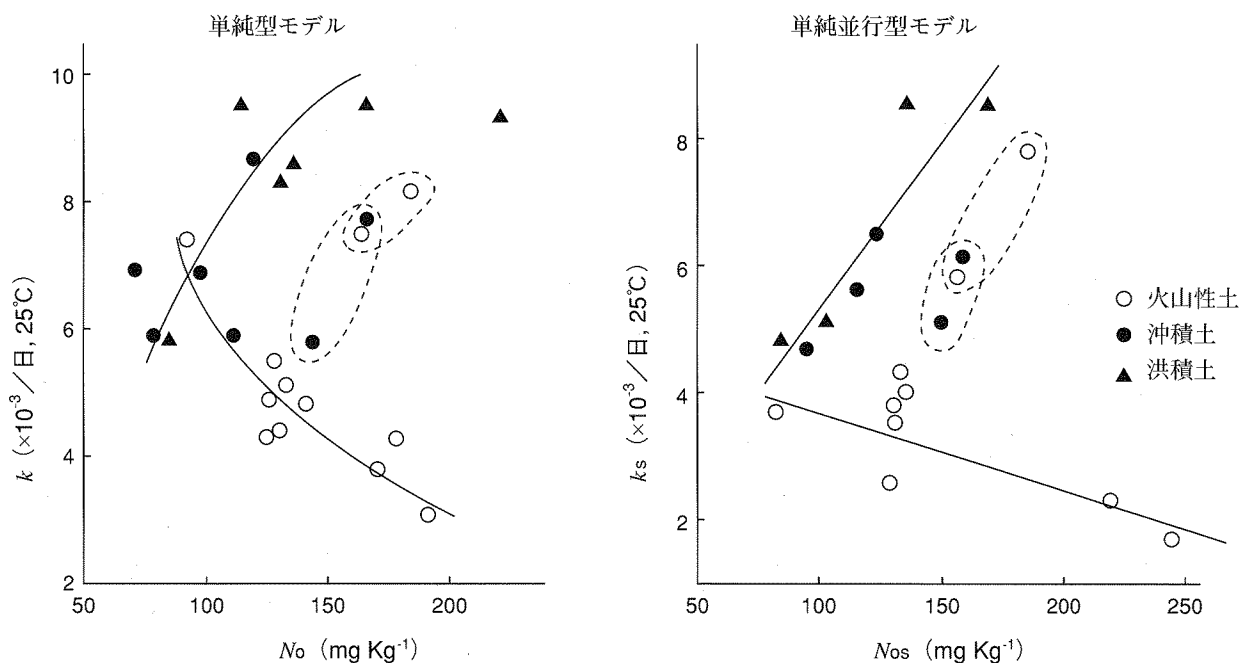


図4-7 可分解性窒素 (N_s 、 N_{ss}) と無機化速度定数 (k 、 k_s) の関係

順で、齊藤¹⁹³⁾、Nira・Nishimune¹⁶⁵⁾の報告と同様に火山性土が非火山性土よりも小さい傾向を示した。しかし、同じ土壌タイプでのばらつきも大きかったため、可分解性窒素量との関係すなわち単純型の N_s と k および単純並行型の N_{ss} と k_s との関係について検討した (図4-7)。その結果、火山性土の k および k_s は N_s および N_{ss} が多くなるにしたがって低下し、一方、非火山性土の場合は増加する傾向を示した。このことから、可分解性窒素量の少ない条件では土壌間に一定の傾向は認められなかったが、可分解性窒素量が多くなると明らかに火山性土が非火山性土よりも低い値を示した。なお、火山性土2点 (4、11)、沖積土2点 (2、6) はこれらの中間的な値を示した。これについては、沖積土の場合は斜里川流域のため火山灰混入の影響、また、火山性土の場合は無機態窒素と可給態リン酸が多いことから施肥や有機物管理などの影響によるものとみなされた。ちなみに、土壌養分との関係を見ると、 k はトルオーグリン酸とは有意な相関が認められなかったが、火山性土では無機態窒素が多くなるにしたがって高まる傾向を示した ($r = 0.63^*$)。一方、黒ボク土でゼロ次反応式を用いた事例をみると、

k はリン酸の多量施肥¹⁹³⁾ やきゅう肥施用¹⁶⁷⁾ で高まることが確認されている。

みかけの活性化エネルギー (E_a) は窒素無機化速度に対する温度変化の影響の強さを示すため、寒冷でしかも年次間の温度変化が大きい網走管内では重要なパラメーターと考えられる。本実験の結果では、 E_a は60～85 kJ mol⁻¹ の範囲にあり、火山性土と非火山性土との間に判然とした相違は認められなかった。また、 N_s 、 k および無機態窒素、熱水抽出窒素、トルオーグリン酸など土壌養分との関係についても判然としなかった。

次に、北見農試圃場で調査した5～9月の日平均地温を用いて、金野・杉原¹²⁴⁾の方法により E_a 測定値と地温から夏期作付け期間の25℃変換日数を算出した (表4-35)。これをみると、25℃変換日数は54～83日の範囲にあり、また各年次の平均値は1983年 (低温年) で60日、1984年 (高温年) で76日、1985年 (普通年) で70日程度であった。さらに、これらの25℃変換日数と土壌タイプ別の窒素無機化速度定数 (k) の平均値を用いて、夏期作付け期間における可分解性窒素量 (N_s) の無機化率を算出すると、その値は火山性土27～33%、沖積土33～40%、

表4-35 夏期栽培期間の25℃変換日数と可分解性窒素量 (N_s) の無機化率

年 次	25℃変換日数			N_s の無機化率 (%)			積算地温 ℃
	最 小	最 大	平 均	火山性土	沖積土	洪積土	
1983(低温年)	53.8	68.3	60.2	27	33	40	2,294
1984(高温年)	69.6	82.9	75.6	33	40	47	2,628
1985(普通年)	63.4	77.1	69.5	31	38	45	2,495

注) 5月1日～9月30日、北見農試圃場の地表下10cmの最高・最低温度の平均値

表4-36 緑肥施用土壌の窒素無機化モデルの適合性

処理区分	単 純 型		単純並行型		有機・無機並行型	
	AIC	S	AIC	S	AIC	S
無施用	19.7	1.5	14.1	1.0		
アカクローバ	123.0	46.1	116.5	30.6		
エンバク A	59.3	10.3	61.4	8.6		
〃 B	130.6	59.5	85.1	10.7	78.4	10.9
レバナ A	54.7	8.4	27.8	1.9		
〃 B	143.0	90.2	94.6	14.7	74.0	9.2

注) AIC: 赤池の情報量基準、S: 残差平方和

表4-37 緑肥施用土壌の窒素無機化特性値

処理区分	可分解性窒素量 (mg kg ⁻¹)			無機化速度定数 (day ⁻¹ , 25°C)		活性化エネルギー (kJ mol ⁻¹)	
	N _{eq}	N _{ss}	C	k _a	k _s	E _{aq}	E _{ss}
無施用	12.2	217.7	24.1	0.046	0.0023	78.7	74.1
アカクローバ	282.1	355.8	-44.4	0.029	0.0037	59.8	38.5
エンバク A	98.8	278.4	-59.1	0.028	0.0065	80.8	51.5
〃 B	228.1	318.5	-27.1	0.049	0.0051	79.9	55.6
レバナ A	157.6	275.8	-126.2	0.053	0.0060	51.0	55.6
〃 B	241.2	311.2	37.3	0.076	0.0081	70.3	60.7

洪積土40~47%であった。このことは、N₀の無機化率の変動が年次間よりも土壌間で大きく、とりわけ多腐植質黒ボク土のようにN₀の多い火山性土は沖積土・洪積土に比較して低いことを示している。したがって、このような火山性土の場合、熱水抽出窒素など易分解性有機態窒素の評価法では作期中に無機化する窒素を過大評価する可能性が大きいものと判断された。

2) 窒素無機化特性値に及ぼす緑肥施用の影響

(1) 窒素無機化モデル

植物残渣すき込み土壌における窒素無機化は一次反応式に適合するとされている^{17,49)}。本実験の結果では、AIC値からみたモデルの適合性は、エンバクAを除いてすべて単純並行型が優っていた(表4-36)。一般に、C/N比20以上の緑肥を施用した場合には最初有機化傾向が優先し、その後無機化に転じるため¹²⁾、無機化モデルは有機化・無機化並行型が適合するものと思われる。しかし、本実験では単純並行型を上回るほどの適合性は認められなかった。この要因としては、培養期間が長期で、かつ培養当初の無機態窒素の測定回数が少なかったためと思われる。一方、エンバクAについては、単純型が最も優っていたが、単純型と単純並行型とのAIC値の差は僅かであった。したが

って、ここでは単純並行型モデルを中心にして各種の無機化特性値を検討することにした。

(2) 窒素無機化特性値

各種緑肥を施用した土壌および無施用土壌の窒素無機化特性値を表4-37に示した。この中で、無施用土壌およびアカクローバ施用土壌は培養日数が不足していたため無機化曲線が収束せず、したがって遅く分解する画分の窒素量(N_{ss})および無機化速度定数(k_s)は参考値として示した。

可分解性窒素量(N_{eq})は、速やかに分解する画分(N_{eq})で処理間の変動が大きく、アカクローバ>レバナB>エンバクB>レバナA>エンバクAの順であった。

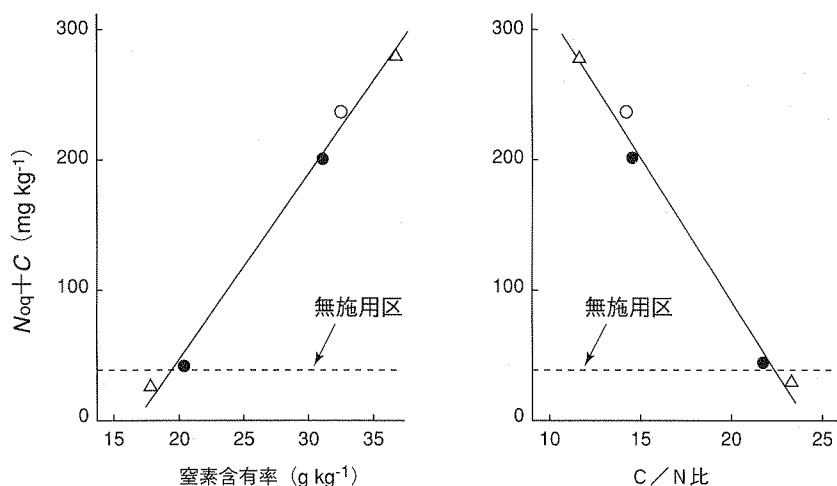


図4-8 緑肥の窒素含有率およびC/N比と可分解窒素量(N_{eq}+C)の関係
○,アカクローバ;●,エンバク;Δ,レバナ

ゆっくりと分解する画分 (N_{ss}) の場合には、無施用土壌、アカクロバ施用土壌で過大評価したものと思われるが、処理間の差異は概して小さかった。 $N_{eq}+C$ と緑肥の窒素含有率およびC/N比との間には、図4-8に示すように、いずれも直線的な関係が認められた。すなわち、緑肥の施用量が同一の場合には窒素含有率が高く、C/N比の低い緑肥区ほど $N_{eq}+C$ は多くなった。なお、C/N比22~23程度の緑肥を施用した場合には、緑肥無施用区とほぼ同じ値を示すことから、窒素の有機化・無機化の限界値となるC/N比は22~23程度とみなされた。このようなことから、 $N_{eq}+C$ は緑肥すき込み土壌の可給態窒素量の指標として有効と思われる。

無機化速度定数(k)は、速やかに分解する窒素画分(k_q)の場合、無施用区で 0.046day^{-1} を示し、半減期は15日であった。これに対して緑肥区の場合は $0.029\sim 0.076\text{day}^{-1}$ の範囲にあり、半減期は9~25日であった。このように緑肥間で変動幅が非常に大きく、その一部は無施用区よりも低い値を示した。緑肥施用により k_q が低下した要因については、緑肥のC/N比が高いと培養当初窒素の有機化が進み、正味の無機化速度が低くなるためと推察された。そこで、緑肥のC/N比と k_q との関係を見ると、エンバク、レバナとも k_q はC/N比の高いものが小さかった(図4-9)。しかし、同程度のC/N比でも k_q は緑肥作物間で明瞭に相違し、レバナ>エンバク>アカクロバの順に高い傾向を示した。前章で述べたように、C/N比が低い場合でもリグニン含有率が高いと窒素無機化率は著しく低下する。本実験に供試したアカクロバのリグニン含有率は 126g kg^{-1} と高く、このことが k_q の低下をもたらしたと思われる。いずれにせよ、無機化速度定数は微生物活性を表す特性値とされていることから¹⁹³⁾、 k_q は緑肥中の難分解性成分の多少を反映したものと思われる。

一方、ゆっくりと分解する窒素画分の無機化速度定数(k_s)はアカクロバを除くと $0.0051\sim 0.0081\text{day}^{-1}$ (半減期は86~107日)の範囲であり、 k_q の場合と比較してこれら緑肥間の変動は小さいものであった。

みかけの活性化エネルギー(E_a)については、分解の速やかな画分(E_{aq})の場合、エンバクA、B>レバナB>アカクロバ>レバナAの順に大きく、エンバクは無施用区と同程度、アカクロバ、レバナは無施用区よりも小さかった。また分解のゆっくりとした画分(E_{as})の場合は、各緑肥区とも無施用区よりかなり小さかった。このことから、 E_a は、堆きゅう肥の多量施用の場合^{193,233)}と同様に、緑肥施用によっても低下する傾向が示された。一方、 E_a は有機物の分解抵抗性を示す一つの指標とみな

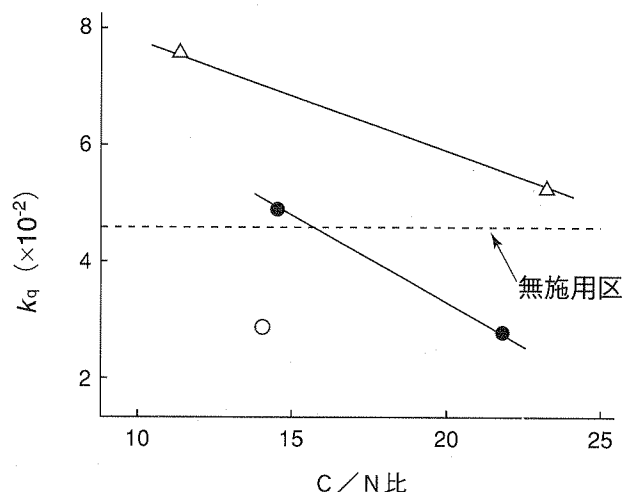


図4-9 緑肥のC/N比と無機化速度定数(k_q)の関係
○,アカクロバ; ●,エンバク; △,レバナ

されているが^{28,233)}、本実験の結果では緑肥間における分解の難易と E_a との関係は判然としなかった。

4. まとめ

1) 各種畑土壌の窒素無機化特性値

各種畑土壌の窒素無機化過程は、おおむね一次反応式の単純型モデルに適合した。可分解性窒素量(N_0)は $77\sim 219\text{mg kg}^{-1}$ 、無機化速度定数(k)は $0.0031\sim 0.0095\text{day}^{-1}$ 、みかけの活性化エネルギー(E_a)は $60\sim 85\text{kJ mol}^{-1}$ の範囲であった。 N_0 と熱水抽出窒素との間には比較的高い相関が認められ、 121°C 抽出の場合は N_0 と同程度、また 105°C 抽出の場合は N_0 の1/2程度の値を示し、 N_0 の簡易評価法として有効とみなされた。また、 k は N_0 と密接な関係がみられ、沖積土・洪積土の場合は N_0 が多いほど高く、火山性土の場合は逆に低くなる傾向であった。このため、火山性土の k は、 N_0 が多い条件では非火山性土よりも明らかに低い値を示した。 k の土壌タイプ別平均値、 E_a および5~9月の地温を用いて算出した夏期作付け期間における N_0 の無機化率は、火山性土27~33%、沖積土33~40%、洪積土40~47%であり、年次間よりも土壌間の変動が大きかった。このことから、熱水抽出窒素など易分解性有機態窒素の評価法は、 N_0 の多い火山性土では作期中に無機化する窒素を過大評価する可能性が大きいものと判断した。

2) 窒素無機化特性値に及ぼす緑肥施用の影響

緑肥施用土壌の窒素無機化過程は、おおむね一次反応式の単純並行型モデルに適合した。この中で、速やかに分解する画分の窒素量($N_{eq}+C$)は緑肥のC/N比と密接に関係し、緑肥すき込み土壌の可給態窒素量の指標として有効とみなされた。また、速やかに分解する画分

の無機化速度定数 (k_d) は緑肥の C/N 比、リグニン含有率などと密接に関係することから、緑肥中の難分解性成分の多少を反映するものとみなされた。一方、みかけの活性化エネルギー (E_a) は緑肥施用により低下する傾向を示したが、このことと緑肥分解の難易との関係は判然としなかった。