

網走地方に分布する主要土壌の養水分供給力に関する研究

V. 土壌の Nitrogen Mineralization Potential の測定
とその評価について *

下 野 勝 昭** 大 崎 亥佐雄***

土壌Nの無機化過程を知るため、10種類の土壌を用いて22週間洗浄培養を行い、その結果からN供給量を速度論的に推定することの是非について検討した。1) 洗浄培養法により求めた無機態N累積量と培養期間の平方根との間には、1土壌を除いてほぼ直線関係の成立することが認められた。2) Stanfordらの提唱するNMP (Nitrogen Mineralization Potential) の近似値を求める過程には問題点のあることが認められた。3) T-N含量に対するNMPの比率をみると、T-N含量が0.2%前後の土壌は10%程度の値となった。4) N無施用区のえん麦のN吸収量とNMPとの間には有意な相関を認めることはできなかった。最も有意な相関を示したのは、無栽培、N無施用状態で放置した土壌の無機態N含量であり、N施用前の無機態N含量は、土壌のN供給力を推定するために必ず測定しておくべき分析項目である。

作物に対する効率的な窒素施肥を行うには、作物の窒素吸収特性の他に土壌が潜在的に持っているN供給量とその供給パターンを具体的に把握しておく必要がある。N供給量を知るために多くの方法が提案されているが、それらをまとめると、化学的方法と微生物的方法とに大別される。前者は、さらに、土壌中の有機態Nを分画、分離定量するために、濃厚なアルカリや酸溶液を用いる強度な抽出方法と、土壌Nの可給性の指標を得るために、よりおだやかな抽出液を用いる方法とに分けられる。後者は、土壌の定温培養によって生成する無機態Nを定量しようとするものであり、2～3週間の短期間培養法と長期間培養法とに分けられる。

いうまでもなく、作物は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ などの無機態Nを主に吸収、利用するのであるから、化学的に抽出された成分の中には、必ずしも作物に有効利用されないものも含まれていると考えなければならない。一方、微生物の作用により生成した無機態Nは作物に利用される形態であり、その量を適確に測定することがN供給量を知る上で有力な手段になるものと考えられる。したがって、長期間の培養法がN供給量の測定法として最も優れているとみなしてよいであろう。しかし、長期に亘る培養は、時間の制約がある場合には実施し難く、その上、これまでのビーカー培養法ではAllisonら¹⁾が指摘する土壌pHの低下や、Harmanら³⁾が指摘するある種の毒物の生成により、無機化作用が阻害される可能性もあった。また、前記阻害要因を消去し、長期間培養に成功したとしても、土壌が最終的に供給しうるN量を把握することができず、その上、供給パターンを推定するのは、困難であることが多かった。その後、Stanfordら¹¹⁾は、硝酸化成の測定方法を確立し、Leggら⁶⁾は、2週間おきに無機態Nを測定する洗浄培養法を開発して36週間の長期間培養に成功した。さらにStanfordら¹²⁾は、このようにして測定した無機態N累積量と培養期間の平方根との間には直線関

1980年8月11日受理

* 本報の一部は、日本土壌肥料学会(1978年4月)で発表した。

** 北海道立北見農業試験場, 099-14 常呂郡訓子府町

*** 同上(現北海道立十勝農業試験場, 082 河西郡芽室町)

係の成立することを見出し、この反応が反応速度一次式に該当することを認め、理論的にNitrogen Mineralization Potential (NMPと略記、以下同じ)の概念を確立した。その後、Stanfordら^{13,15)}は、土壌Nの無機化に最も重大な影響を及ぼす因子として、温度と土壌水分をとりあげ、それらがNMPに与える影響を理論的に解析し、土壌Nの供給パターンを知るための一助とした。以上の通り、Stanfordらは、土壌Nの無機化過程を微生物の作用に基づくエネルギー代謝と考え、それを速度論的に解析しようとする試みを行っている。本報告は、Stanfordらの提案する洗浄培養法を網走地方の10種類の土壌に適用するとともに、土壌のN供給量を速度論的に推定することの是非について検討を加えたものである。

なお、本稿の校閲を賜った北見農業試験場長馬場徹代博士、中央農業試験場化学部長奥村純一博士、同場環境保全部長南松雄博士に感謝の意を表する。

試 験 方 法

試験 I 土壌のN供給力の測定法

供試した土壌は、網走地方に分布する10種類の土壌の作土で、原則としてその風乾細土を用いて各種の分析を行った。洗浄培養法による無機態Nの生成経過はStanfordら¹²⁾の方法に準拠した。その方法は、風乾細土15gと等量の20~30メッシュ石英砂をよくかきまぜてガラス汙過器に充填し、内容物上にガラスセシを敷いた。0.01 M-CaCl₂ 100mlでleachingし、無機態N測定用の溶液を採取した後、-N溶液(0.002 M-CaSO₄ + 0.002 M-MgSO₄ + 0.005 M-Ca(H₂PO₄)₂・H₂O + 0.0025 M-K₂SO₄) 25mlを汙過器に注いだ。pF1.90で吸引した後、35℃で定温培養、2~4週間おきに汙過器をとり出し、同様な操作をくり返して、その都度、無機態Nを測定する。またピーカー培養法は、Keeneyら⁵⁾の方法に準拠した。すなわち、風乾細土10gと等量の20~30メッシュ石英砂を100ml容ポリビンに充填し、-N溶液(P₂O₅: 30mg, K₂O: 15mg/6ml)6mlを添加後、アルミフォイルをポリビンの口部にはりつけ1mm程度の穴を開けた。培養温度は35℃で、1週間おきにポリビンをとり出し、N-KCl 100mlを加え、その汙液について無機態Nを測定した。なお、無機態Nの測定には、コンウェイの微量拡散分析法を採用した。熱水抽出性Nについては、南ら⁷⁾、Keeneyら⁴⁾の方法

に従い、有機態Nの分画定量はStewartら²⁾の方法に従った。

試験 II えん麦の生育と土壌間差異

前記10土壌の作土(未風乾土)をa/2,000ポットに充填し、1975年5月14日にえん麦「オホーツク」をポット当り30粒播種した。栽培はガラス室内で行い、2反復とし、発芽後ポット当り20個体となるように間引した。施肥処理は全区とも無窒素で、共通肥料として、P₂O₅: 2g/ポットとなるよう第1磷酸カルシウムで、K₂O: 1g/ポットとなるよう硫酸で与えた。土壌水分は最大容水量の50~60%に維持するよう重量法で調整した。なお、無栽培区も1反復ずつ設け、土壌分析に供した。サンプル採取期は7月14日(開花期頃)で、成熟期に至らないものを採取し、70℃で通風乾燥後、粉碎し、N分析に供試した。

試 験 結 果

1 供試土壌の化学性、および各種形態別窒素含量の測定結果とえん麦の生育

供試した10土壌の前作物と化学性を表1に示した。なお、以下の文章では、地点名を記載して、土壌名に代替する。清里(1)、訓子府(1)、佐呂間、遠軽は、既報⁹⁾で供試した裸地区の土壌から採取したものであり、清里(2)、訓子府(2)、網走、端野は、前作物がいずれもばれいしょで、秋播小麦を作付しようとする土壌である。訓子府(3)は、訓子府(1)、訓子府(2)にくらべるとより強い湿性を呈する土壌である。pHは訓子府で低い値となったが、その他の土壌はほぼ6.0前後の値を示した。T-N含量は、訓子府で著しく高い値となるのを除いて、その他の土壌は0.2%前後の値となり、また、CECは訓子府で高く、清里、小清水で低くなる特徴を有していた。

表2には、N無施用区のえん麦の地上部乾物重、および、地上部N吸収量と土壌中の各種形態別N含量の測定結果を示し、同表の最下段には、地上部N吸収量とその他の要因との相関係数を示した。訓子府(3)、端野、小清水のえん麦の乾物重が重く、生育が良好であったことを示しており、また、乾物重の重いものほどN吸収量も多くなる傾向が認められた。N吸収量と各種形態別N含量との相関係数を大きい順で列挙すると、無栽培状態の無機態N>無栽培状態の土壌溶液中無機態N>南法による熱水抽出性N>Keeney法によ

表 1 供試土壌の化学性と前作物

番号	地点名	土 壌 名	前 作 物	pH (H ₂ O)	T - C %	T - N %	C E C me/100 g	Truog P ₂ O ₅ mg/100 g
1	清 里(1)	褐色火山性土	裸 地	6.3	2.5	0.20	14.9	15.5
2	" (2)	" "	ばれいしょ	6.2	2.4	0.19	13.6	21.2
3	訓子府(1)	湿性黒色火山性土	裸 地	5.3	6.7	0.50	29.5	8.8
4	" (2)	" "	ばれいしょ	5.5	7.0	0.50	28.0	13.4
5	" (3)	" "	え ん 麦	5.0	8.8	0.55	37.6	8.3
6	佐呂間	褐色低地土	裸 地	5.6	1.2	0.15	22.7	13.9
7	遠 軽	褐色森林土	裸 地	5.7	3.2	0.25	21.4	23.2
8	網 走	褐色火山性土	ばれいしょ	6.2	2.5	0.18	22.9	5.9
9	端 野	" "	"	6.2	3.5	0.27	26.9	13.9
10	小清水	未熟火山性土	"	6.0	3.0	0.23	16.0	30.5

表 2 無窒素区のえん麦の生育と土壌の各種形態別 N 含量との関係

番号	項 目	地 上 部	地 上 部	無栽培区における		風 乾 細 土 に お け る			
		乾 物 重	N 吸収量	土 壌 溶 液	N-KCl 抽出	熱 水 抽 出 性 N		有機態 N (mg/100 g)	
	地点名	mg/100 g 土	mg/100 g 土	無 機 態 N me/ℓ	無 機 態 N mg/100 g 土	mg/100 g 土		酸可溶留 出 性 N	酸可溶非 留 出 性 N
1	清 里(1)	12.1	1.14	6.5	0.9	6.4	9.4	55.1	107.8
2	" (2)	12.6	1.08	5.5	1.1	5.7	5.9	35.1	125.6
3	訓子府(1)	17.1	1.43	6.4	1.1	9.8	13.4	129.6	230.9
4	" (2)	17.2	1.38	5.2	1.2	10.4	14.5	134.5	224.6
5	" (3)	36.3	3.15	8.1	2.2	11.2	19.6	136.3	245.1
6	佐呂間	10.8	1.05	5.0	0.7	6.0	5.5	60.1	72.6
7	遠 軽	13.7	1.33	5.3	1.0	8.1	10.6	69.9	116.8
8	網 走	11.5	0.99	4.2	0.9	5.5	7.2	61.1	111.9
9	端 野	33.6	3.03	15.3	2.1	8.9	6.9	65.1	130.3
10	小清水	34.8	3.08	14.9	2.8	8.8	11.3	55.8	117.2
地上部 N 吸収量 との相関係数(r)		** 0.9959	—	** 0.8565	** 0.9561	* 0.6378	0.4457	0.2203	0.2963

る熱水抽出性 N > T - N (r = 0.3406) > 酸可溶非留
出性 N > 酸可溶留出性 N となり、南法による熱水抽出
性 N までが有意性を示した。

2 洗浄培養法とピーカー培養法による無機態 N の生 成過程

Stanford ら¹²⁾の方法に準拠して洗浄培養法を用いた
22 週間に亘る無機態 N の生成経過を表 3 に、0 日目を
除いた無機態 N の累積量と培養期間の平方根との関係
を図 1 に示した。その結果、培養前 (0 日目) は、訓
子府(3)、小清水の無機態 N 含量が高く、0 ~ 1 週間で
は、訓子府(1)、(2)、(3)と端野の無機態 N 生成量の多い
ことが認められた。1 週間以降では、全般に、訓子府
(1)、(2)、(3)と端野で高く推移し、網走で低く推移する

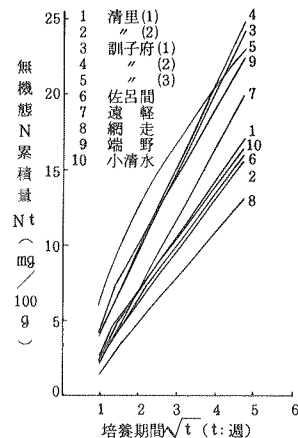


図 1 洗浄培養法による無機態窒素の
生成経過 (0 日目を除いた値)

表 3 洗浄培養法による無機態窒素の生成経過

番号	地 点 名	培 養 期 間 (週)								
		0	0～1	1～2	2～4	4～7	7～11	11～15	15～18	18～22
1	清 里(1)	3.48	3.21	1.80	2.15	2.62	2.08	1.94	0.89	2.34
2	" (2)	2.07	2.53	1.75	1.82	2.57	2.06	1.67	0.84	1.28
3	訓子府(1)	3.02	3.97	2.51	3.21	3.62	2.78	3.69	1.59	2.65
4	" (2)	2.59	4.16	2.68	2.72	3.83	3.23	2.99	1.59	3.60
5	" (3)	6.36	5.91	3.10	2.60	3.29	2.78	2.62	1.31	1.09
6	佐呂間	0.78	2.20	2.49	2.08	2.48	1.68	1.89	1.17	1.71
7	遠 軽	1.62	2.72	2.32	1.84	2.90	2.78	3.20	1.41	2.56
8	網 走	1.57	1.92	1.87	0.87	1.96	1.01	1.31	0.45	1.14
9	端 野	2.57	4.00	3.29	2.88	3.11	2.62	2.57	1.26	2.56
10	小清水	5.19	2.68	2.34	2.13	2.53	2.03	1.84	0.98	1.80

註) 単位はmg/100gとして示した。

ことが認められた。また、無機態Nの累積量(各週ごとの生成量を累積した無機態N量)と培養期間の平方根との間には、訓子府(3)を除いて直線関係が認められた。なお、培養後1週間の無機態N量は、直線からずれる土壤も認められ、佐呂間、網走、端野、小清水は直線よりも下に位置していた。

図2には、Keeneyら⁵⁾の方法に準拠したビーカー培

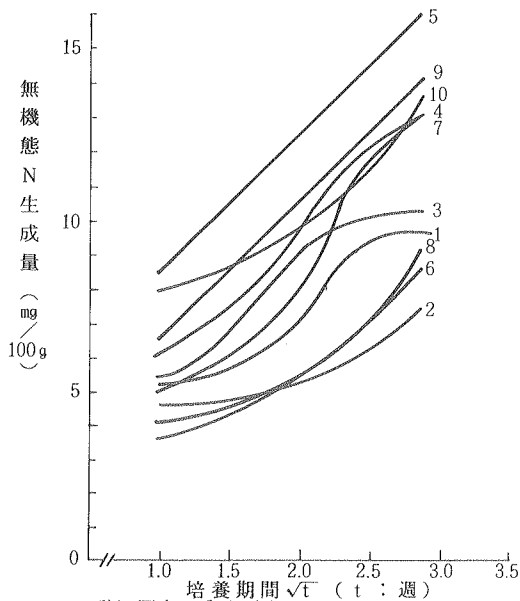


図 2 ビーカー培養法による無機態窒素の生成経過

養法による無機態Nの生成経過と培養期間の平方根との関係を示したが、洗浄培養法とは異なり、両者の間には多くの土壤で直線関係を得ることができなかった。また、図3には、洗浄培養法とビーカー培養法によって生成した無機態N量の比較を行ったが、両法には極めて有意な正の相関が認められるにもかかわらず、ビー

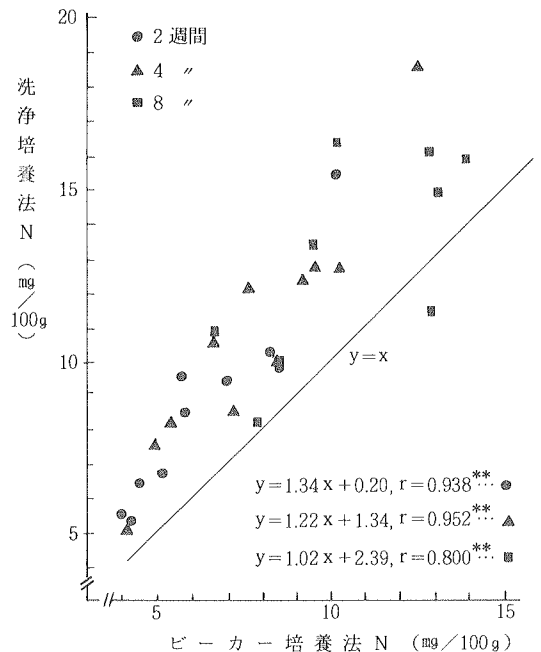


図 3 洗浄培養法(0日目も加えた値)とビーカー培養法の無機態窒素生成量の比較

カー培養法の生成量は、つねに洗浄培養法のそれよりも少ないことが明らかとなった。

3 Nitrogen Mineralization Potential の算出法とその測定

Stanford ら¹²⁾の報告に従い、次の手順により NMP を求めた。1) 長期間くり返し洗浄培養で求めた無機態 N 累積量 (N_t) の逆数と培養期間 (t) の逆数を取り、両者に直線関係が認められれば、 $t = \infty$ のときの N_t を求め、無機化されうる N の Potential (N_p) を推定する。2) 無機化速度は、無機化されうる N の Potential に比例すると仮定し、反応速度一次式 $dN_p/dt = -kN_p$ (k : 反応速度定数) を提起する。3) 前式を積分後、対数変換して $\log(N_p - N_t) = -0.4343k + \log N_p$ をえる。4) $\log(N_p - N_t)$ と t との間に負の直線関係が得られれば、この反応は反応速度一次式に該

当することになる。5) 直線の傾斜 $\tan \theta$ を 2.303 倍して k を求める。6) $0.693/k$ から半減期 (T) を求める。7) えられた反応速度一次式から $t = 0$ のときの N_0 を求め、NMP とする。

1) 操作を図示したのが図 4 の左図である。なお、本図を含めて以下の図で、清里(2)、訓子府(2)は、それぞれ清里(1)、訓子府(1)とはば一致した傾向を示すためデータを省略した。いずれの土壌でも、 $1/N_t$ と $1/t$ の間には有意な直線関係が認められ、その傾向は、2 週間以降よりも 4 週間以降でより顕著になることが明らかとなった。しかし、図を厳密にみると、回帰直線というよりは、むしろ、漸近回帰に近似した曲線とみるのが妥当な土壌が多かった。そこで、Stanford らの考え方を若干改良して $1/t$ を $1/\sqrt{t}$ に変換し、 $1/N_t$ との関係を図 4 の右図に示すと、 $1/t$ と $1/N_t$ との間

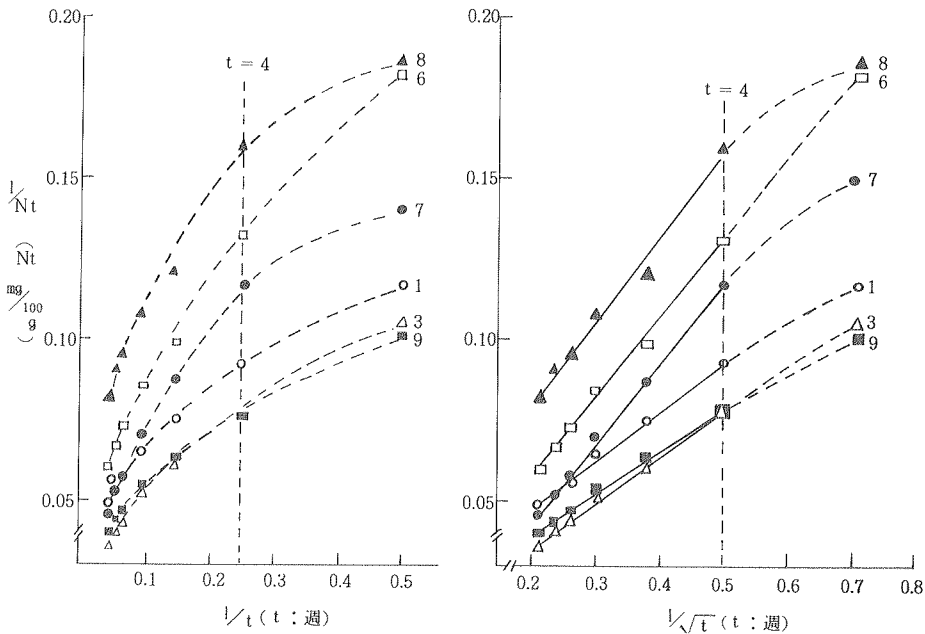


図 4 無機化されうる窒素量の近似値 (N_p) の求め方

表 4 $1/N_t$ 対 $1/t$ と $1/N_t$ 対 $1/\sqrt{t}$ によって求めた無機化されうる窒素量 (N_p) の比較
(N : mg/100 g)

要 因	地点番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$1/N_t$ 対 $1/t$ (N_{p1})		23.3	21.8	33.1	33.4	33.2	20.3	28.8	14.2	28.8	24.1
$1/N_t$ 対 $1/\sqrt{t}$ (N_{p2})		55.2	89.8	150.1	213.1	55.3	106.8	187.4	35.9	75.3	45.6

註) N_{p1} と N_{p2} との相関係数 (r) は 0.563 で有意でない。

N_{p1} と N_{p2} の算出に当っては、4 週目以降の直線回帰式から計算した。

で認められた直線関係よりも高い相関係数を示す直線関係が得られ、 N_p も求め易くなった。前者の Stanford 法 (St 法と略記、以下同じ) でえられた関係を直線とみなして求めた N_p を N_{p1} とし、後者の方法 (Sm 法と略記、以下同じ) でえられた N_p を N_{p2} とすると、それらの値は表 4 のようになった。いずれの土壌でも N_{p2} が N_{p1} よりも高い値となり、その上、両者には有意な相関関係が認められなかった。St 法と Sm 法から得られた N_{p1} および N_{p2} を用いて、反応速度一次式に適用できるか否かを検討したのが図 5 である。その結果、両法とも、 t との間に負の直線関係が認められ、一次式によく適合することが明らかとなった。この直線式から k 、 T を求め、Stanford らが測定した値と比較したのが表 5 である。当然の結果と考えられるが、やはり St 法でえられた値と Stanford らが報告している値と

はよく一致しており、標準偏差も極めて小さかった。しかし、Sm 法でえられた値は、 k で小さく、 T で大きくなり、標準偏差もかなり大きくなることが明らかとなった。

N_{p1} から求めた N_0 を N_{01} とし、 N_{01} と無 N 区のえん麦の N 吸収量との関係を示したのが図 6 である。両者には全く相関が認められず、データは省略したが、 N_{p2} から求めた N_{02} を用いて N 吸収量との関係をみても結果は同様で相関が認められなかった。

4 NMP と各種形態別 N 含量との関係

St 法で算出した N_{01} (NMP) と表 2 にある各種形態別 N 含量との相関係数、および、直線回帰式を求めたのが表 6 である。 N_{01} と最も有意な相関を示すのは雨水による熱水抽出性 N で、以下、 $T-N > \text{酸可溶非抽出性 N} > \text{酸可溶抽出性 N} > \text{Bremner 法による熱水抽出性 N}$ となった。しかし、2 週間のビーカー培養による無機態 N 生成量との間には、有意な相関を認めることはできなかった。

表 7 には、 N_{01} と $T-N$ との関係を示したが、 $T-N$ のうち N_{01} の占める比率は、5~11% に及び、訓子府 (1)、(2)、(3) と網走でその比率の小さいことが明らかとなった。

表 6 NMP (N_{01} による) とその他の N 供給要因との直線回帰式および相関係数

要 因	回 帰 式	相関係数 (r)
熱 水 抽 出 南 法	$Y = 2.56 X + 2.86$	0.857 **
全 窒 素	$Y = 0.03 X + 13.6$	0.812 **
酸 可 溶 非 留 出 性 N	$Y = 0.07 X + 12.1$	0.761 **
酸 可 溶 留 出 性 N	$Y = 0.12 X + 13.7$	0.750 **
熱 水 抽 出 Keeney 法	$Y = 0.96 X + 13.6$	0.687 *
無機態 N (2 週間培養)	$Y = 1.64 X + 13.3$	0.527

註) X : N 供給要因 Y : NMP

考 察

1 NMP の算出法とその問題点について

これまでの化学的、あるいは、微生物的 N 供給力の測定法は土壌間の相対的な比較を行うことに目的があったのに対して、NMP の測定は、土壌の N 供給量を Potential として把握しようとする点に主な目的があり、両者は持っている意味が明らかに異なっている。作物に対して効率的な N 施肥を行うには、土壌が潜在

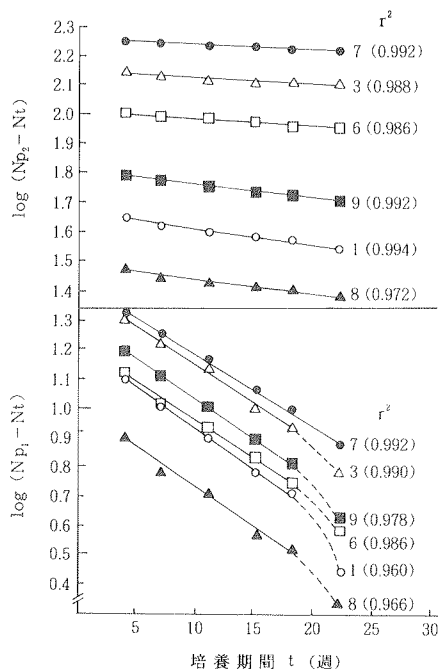


図 5 反応速度一次式への適用

表 5 N_{p1} と N_{p2} から算出した k 、 T の比較

要 因	速度定数 (k) 週 ⁻¹	半 減 期 (T) 週
N_{p1} から算出	0.059 ± 0.004	11.7 ± 0.1
N_{p2} から算出	0.009 ± 0.005	101.1 ± 58.0
Stanford	0.054 ± 0.009	12.8 ± 2.2

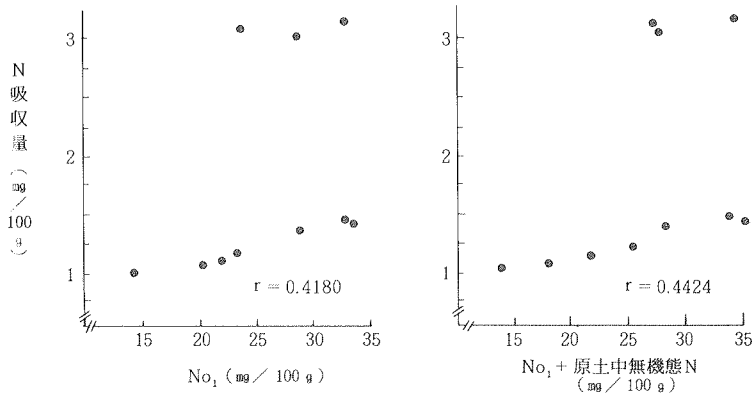


図6 地上部N吸収量とNMP (N_{o1}) および原土に存在した無機態窒素量との関係

表7 NMP (N_{o1}) と全窒素との関係

項目 \ 地点番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NMP (N_{o1})	21.9	19.6	31.0	32.7	27.0	17.2	26.7	12.4	25.2	22.4
T-N	200.0	190.0	500.0	500.0	550.0	150.0	250.0	180.0	270.0	230.0
$(N_{o1}/T-N) \times 100$	10.9	10.3	6.2	6.5	4.9	11.5	10.7	6.9	9.3	9.7

註) NMP と T-N は $\text{mg}/100\text{g}$ で表示し, $(N_{o1}/T-N) \times 100$ は % で表示した。

的に供給しうるN量を把握し、施肥量を決定することが必要である。このような点からみて、後者の測定法を確立し、実際に現場で応用されることが望ましい。

Stanfordら¹²⁾は、土壌Nの無機化速度が無機化の基質となる有機態N量に比例するという仮説から、反応速度一次式にあてはめ、無機化されうる土壌Nの絶対量(NMP)を求めた。この場合、彼等は、NMPの近似値(N_p)を求める手段として、無機態N累積量(N_t)の逆数と培養期間(t)の逆数との関係が直線となることから t が無限大の時の N_t を求め N_p とした(この方法をSt法と呼称する、以下同じ)。しかし、本試験の結果によれば、2週間以降の上記関係は、直線とみえるよりも漸近回帰に近似した曲線とみるのが妥当と考えられる。また、4週間以降の関係でみると、両者は直線に近づき、相関係数も高くなるが、やはり、曲線とみなした方がよい。もちろん、漸近回帰曲線を求め N_p を推定するのも可能であるが、計算が煩雑で実用化には向かない。一方、培養期間の逆数のかわりに培養期間の平方根の逆数をとると、 $1/N_t$ との関係は直線回帰に極めて近づき、とくに4週間以降では、ほとんど直線とみなしてよい(この方法をSm法と呼称する、以下同じ)。この方法であれば、簡単に N_p を算出する

ことが可能で、これを N_{p2} とした。理論的にいえば、St法では、漸近回帰曲線を求め、 N_p を推定しなければならないが、計算が煩雑で実用化に向かない点と、Stanfordら¹²⁾が報告している値と比較する必要があるために、一応、直線関係とみなして N_p を算出し、 N_{p1} とした。 N_{p1} と N_{p2} を用いて、反応速度一次式に該当するかどうか検討してみたところ、 $N_{p1}-N_t$ および $N_{p2}-N_t$ の対数と培養期間(t)との間には、いずれも極めて有意な負の直線関係が得られ、いずれの方法を用いても反応速度一次式が適用できることを示している。ただしSt法の場合、遠軽以外の土壌では、18~22週間にかけて、直線からかなりかけ離れる現象が認められるのに対して、Sm法ではそのような傾向が認められないので、Sm法でえられた N_{p2} を用いた方がより正確に反応速度一次式を適用できるものと考えられる。このようにして求めた反応速度一次式から反応速度定数(k)および半減期(T)を算出すると、St法でえられた値は、Stanfordら¹²⁾が報告している値によく近似しており、標準偏差も極めて小さいが、Sm法でえられた値はStanfordらの結果とかなり異なり、標準偏差も大きくなった。St法でえられた k は標準偏差が小さいことからみて、土壌間の差が極めて小

さく、Stanfordら¹²⁾が述べているように、NMPを構成する有機態Nの形態は、多くの土壌で共通したものであると考えられる。また、 $k = 0.059$ ということは、 35°C の培養条件で、最初の1週間には、NMPの5.9%が無機化されるということであり、その次の週は、 $(\text{NMP} - \text{N}_t)$ の5.9%が無機化されることを示している。一方、Sm法でえられた k 、 T は、標準偏差が大きくなったので、10土壌の平均値を算出して k 、 T を求めること自体、無意味であると考えられる。すなわち、NMPを構成する有機態Nの形態は、土壌間で異なっており、非常に複雑な機作で反応することがうかがわれる。以上のように、計算方法によって、NMPの近似値は大中に異なり、それらの値から算出されるNMP、 k 、 T も異なった値となることが明らかになった。また、無機化される有機態Nの形態は、 k 、 T の標準偏差から類推すると、St法では、土壌間で共通しているのに対して、Sm法では顕著な土壌間差が認められ、全く相反する結果が得られた。そこで、NMPの測定に当って、どちらの方法を採用すべきなのか、それとも、両法とも採用すべきではないのか、という問題が生じ、これを判定するためには、作物のN吸収量との関係で論じる必要があるものと考えられる。無N区のえん麦の生育量をみると、地上部乾物重と地上部N吸収量との間には、極めて有意な正の相関が認められ、土壌が潜在的に保持していたN供給量の多少がその生育を律していたと考えることができる。この場合、土壌水分は最大容水量の50~60%を維持し、ポットはガラス室内に設置したため、地温も土壌間で一定であったものと推定されるので、有機態Nの無機化に及ぼす環境条件は、土壌間差がほとんどなかったものとみなしてよい。しかし、N吸収量とSt法によるNMPおよびSm法によるNMPの関係をみると、これらの間には、有意性が全く認められず、また、両法によるNMPにそれぞれ培養前の無機態Nを加えた値で相関をとってみても結果は同じであった。したがって、Stanfordら¹⁴⁾、あるいは、Smithら¹⁰⁾がそれぞれポットや鉢試験によって報告している結果とは明らかに異なっている。試験の規模、供試作物や生育期間、施肥処理などの相違があるので、単純に比較はできないが、本試験の結果では、Stanfordらの提唱するNMPが土壌のN供給力を知るための最適な方法であるとは言いがたく、その上、NMPの近似値を求める過程にも

問題点が残されており、今後の改善が望まれる。

2 NMPと土壌中各形態別N含量との関係

St法で算出されたNMPと各形態別N含量とを比較した結果、最も有意な正の相関を示すのは、南法による熱水抽出性N含量であり、T-N含量もそれに次ぐ高い有意性を示した(Sm法ではそのような傾向は認められなかった)。Stanfordらの結果から試算してみても、NMPとT-N含量との相関係数は 0.762 ($n = 39$)となり、1%水準で有意となっている。T-N含量に対するNMPの占める比率を求めるとStanfordらは4~35%の範囲にあったと報告しているのに対して、本試験のSt法では5~11%となり、その変動巾が小さい上に、T-N含量が0.5%以上の土壌を除けばその値は10%前後に集中することが明らかとなった。本試験で供試した土壌のT-N含量は、 $0.15 \sim 0.55\%$ で0.2%以上の土壌が約8割を占めている。これに対して、Stanfordらが供試した土壌は、ほとんどが0.1%以下のT-N含量であった。ただし、Stanfordらの結果でもT-N含量0.2%以上の土壌では、T-Nに対するNMPの占める比率は10%内外の値を示し、本試験の結果ともよく一致している。したがって、T-Nを含量別に区分すれば、NMPとして算出されるN量は、T-Nのうちのある一定の割合となる可能性が強く、このような点からみても、Stanfordらの提案するNMPを実際の現場段階に移すのは、未だ早計であるといわざるをえない。しかし、長期に亘る洗浄培養法を確立し、多くの土壌で、無機態N累積量と培養期間の平方根との間に直線関係が成立することを見出した意味は大きい。過去20~30年間のN無機化に関する研究は、有効態N量を早く、正確に知る必要から短期間のピーカー培養(2週間程度)が主であったが、この方法では、前作物の種類や残存する肥料レベル、あるいは、土壌の風乾過程などの前処理の影響を強く受け、土壌が本来持っているN無機化力を正確に示さない場合もあった。一方、長期間のピーカー培養は、培養期間中のpHの低下や未確認の毒物の生成のために、無機化が阻害され、適当でないと判断されていた^{1,3)}。このような不良要因を除去したのが洗浄培養法であり、その上、洗浄液としての $0.01\text{M}-\text{CaCl}_2$ は、土壌の分散をさけ、物理的安定性を維持する作用があるとされており、また、KClのように水抽出有機態NをLeachingする割合も少ないため、長期に亘るN無機化の正確な

測定が可能になったとされている。

吉野ら¹⁶⁾は、水田土壌について定温の湛水静置法によって求めた土壌Nの無機化量は静置温度から15℃(基準温度)を差引いた有効温度に比例し、種々の静置温度と期間のN無機化量は有効積算温度の関数として放物線式により近似的に表現できると報告している。

一方、洗浄培養法では、無機態N累積量と積算培養温度の平方根との間には顕著な直線関係が認められた(データは未発表)。この点からみても、土壌Nの無機化に及ぼす土壌温度の影響は大きく、その上、ある一定の法則性を維持しながら反応するものと考えられるので、今後検討を加えなければならない課題である。

3 えん麦のN吸収量と土壌中各形態別N含量との関係

以上のように、洗浄培養法は、土壌Nの無機化過程を知る上で有力な手段となりうるが、その値から無機化するNの絶対量(NMP)を推定するには、計算上の問題が残されており、N供給力の査定法として適切であるとは考えられなかった。しかし、有効で適切なN施肥を行うためには、土壌のN供給力を把握する具体的方法を確立することが極めて重要な問題であるが、これまで述べてきたように、その内容は複雑で、今のところ結論を出すのは困難であると考えられる。したがって、本報では、ポット試験の結果から多少の考察を加えるにとどめたい。無N区の地上部N吸収量と最も有意な正の相関を示したのは、無栽培状態で栽培期間中放置した土壌の無機態N含量で、同様な処理による土壌溶液中無機態N濃度がそれに続き、熱水抽出性N含量も有意な相関を示した。強酸により抽出した有機態N含量との相関は認められないので、土壌Nのうちでも比較的活性な部分との相関関係が強いといえる。とくに、無栽培状態で栽培期間中放置した無機態N含量は、いずれの土壌でも地上部N吸収量よりもわずかに少なくなるものの、かなり近似した値を示していた。この無機態N含量が施肥前の無機態N含量に支配されている点からみて(両者の相関係数は0.948で極めて有意である)、前作物の施肥水準や有機物管理などの影響による跡地土壌中の無機態N含量の相違が無N区のN吸収を律していたと考えることができる。なお、Ozusら⁸⁾もライグラスおよびとうもろこしを供試したポット試験で生育初期(発芽後48日)のN吸収量は、最初に存在した土壌中NO₃-N含量との相関が極めて高いことを認めている。これらの試験はいずれ

もポット試験で、水分の供給も潤沢な条件で行われたものであり、は場に直接適用できるかどうか検討しなければならないが、処理前の無機態N含量(NH₄-N + NO₃-N)は、N供給力を簡便に推定するためにも必ず測定しておくべき分析項目である。

引用文献

- 1) Allison, F. E.; Sterling, L. D. "Nitrate formation from soil organic matter in relation to total nitrogen and cropping practices". *Soil Sci.* **67**, 239-252 (1949).
- 2) 土壌養分分析法委員会編. "肥沃度測定のための土壌養分分析法". 養賢堂. 東京 1970. p. 201-204.
- 3) Hermesen, G. W.; Van Schreven, D. A. "Mineralization of organic nitrogen in soil". *Adv. Agron.* **7**, 299-398 (1955).
- 4) Keeney, D. R.; Bremner, J. M. "A chemical index of soil nitrogen availability". *Nature.* **211**, 892-893 (1966).
- 5) Keeney, D. R.; Bremner, J. M. "Determination and isotope-rate analysis of different forms of nitrogen in soils: 6. Mineralizable nitrogen". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **31**, 34-39 (1967).
- 6) Legg, J. O.; Chichester, F. W.; Stanford, G.; Demar, W. H. "Incorporation of N-tagged mineral nitrogen into stable forms of soil organic nitrogen". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **36**, 465-472 (1971).
- 7) 南 松雄, 沢口正利. "土壌診断法に関する研究 2. 可給態窒素の測定法について". *北農.* **36**(3), 74-76 (1969).
- 8) Ozus, T.; Hanway, J. J. "Comparisons of laboratory and greenhouse tests for nitrogen and phosphorus availability in soils". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **30**, 224-228 (1966).
- 9) 下野勝昭, 大垣昭一. "網走地方に分布する主要土壌の養水分供給力に関する研究: 3. 土壌溶液中の加里が作物の加里吸収に及ぼす影響". *北海道立農試集報.* **31**, 1-13 (1975).
- 10) Smith, S. J.; Young, L. B.; Miller, G. E. "Evaluation of soil nitrogen mineralization potentials under modified field conditions". *Soil*

- Sci. Soc. Am. Proc. **41**, 74-76 (1977).
- 11) Stanford, G.; Hanway, J. "Predicting nitrogen fertilizer needs of Iowa soils: I: A simplified technique for determining relative nitrate production in soils". Soil Sci. Soc. Am. Proc. **19**, 74-77 (1955).
 - 12) Stanford, G.; Smith, S. J. "Nitrogen Mineralization Potentials of soils". Soil Sci. Soc. Am. Proc. **36**, 465-472 (1972).
 - 13) Stanford, G.; Frere, M. H.; Schwaninger, D. H. "Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization". Soil Sci. **115**, 321-323 (1973).
 - 14) Stanford, G.; Legg, J. O.; Smith, S. J. "Soil nitrogen availability evaluations based on nitrogen mineralization potentials of soils and uptake of labeled and unlabeled nitrogen by plants". Plant and Soil. **39**, 113-124 (1973).
 - 15) Stanford, G.; Epstein, E. "Nitrogen mineralization-water relations in soils". Soil Sci. Soc. Am. Proc. **38**, 103-106 (1974).
 - 16) 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).

Investigations on Nutrients and Water Supplying Powers of Typical Soils in the Abashiri District

V. Estimation and evaluation of Nitrogen Mineralization Potentials in soils

Katsuaki SHIMONO and Isao OOSAKI**

Summary

Nitrogen mineralization of 10 soils in the Abashiri district was determined over a 22-week period at 35°C using long-term leaching incubation, and, was investigated if the kinetics of nitrogen mineralization can be described by the first-order equation. The results were summerized as follows.

1) With except one soil, cumulative net nitrogen mineralized, N_t , was linearly related to the square root of incubation time, t . 2) Approximate mesurement of NMP (Nitrogen Mineralization Potential) caluculated by first-order kinetics according "Stanford's method" was very complicated because $1/N_t$ vs $1/t$ was cuvilinear, and, $1/N_t$ vs $1/\sqrt{t}$ was linear. 3) The fraction of T-N comprizing NMP was approximately 10% in soils based on about 0.2% T-N. 4) NMP in soils did not give significant regression to nitrogen absorption of oat in no-nitrogen fertilized plots but, inorganic-N contents in nocropped, no-nitrogen fertilized soils gave best fitting regression to it. Inorganic-N contents before nitrogen fertilized must be estimated for soil nitrogen supplying capacity.

*Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station, Kunneppucho, Hokkaido, 099-14, Japan.

**Hokkaido Prefectural Tokachi Agricultural Experiment Station, Memurocho, Hokkaido, 082, Japan.