

第5章 速度論的解析による無機化特性値の簡易分析法

1. はじめに

第3および4章において、山形県の庄内地域のグライ土壌について、速度論的解析を行い、その地力窒素無機化過程は負の項のある2項モデルで示される⁴⁾ことを明らかにするとともに、地力窒素の無機化特性値（可分解性有機態窒素量、無機化速度定数、活性化エネルギー）を求めた。さらに、速度論的解析による地力窒素の無機化量と水稲による地力窒素吸収量の間に関係が認められ、地力窒素の無機化量の予測が水稲栽培において有用であることが確認された。

しかし、速度論的解析により地力窒素の無機化特性値を得るためには、100日以上 of 繁雑な長期間にわたる培養実験と複雑な解析手順を実施しなければならないという欠点を持っている。一方、生育診断予測の面的な拡大や地力窒素発現地図の作成など現場への普及にあたっては数多くの場所について精度の高い無機化特性値を測定する必要がある。したがって、無機化特性値を精度高く簡便かつ迅速に推定できる方法の開発が望まれる。

特に、生育中期の水稲による地力窒素吸収量を推定するには、負の項のある2項モデルの中で全無機化を示す正の項の特性値を簡便に求めることがまず必要になる。正の項の特性値のうち、庄内地域のグライ土壌の作土および下層土における無機化速度定数は、 0.01 1/day 及び 0.004 1/day 前後ではほぼ一定である。そこで、本章では、可分解性有機態窒素量と活性化エネルギーの簡易分析法および無機化特性値の土壌学的意義について研究した。

2. 実験材料および実験方法

1) 供試土壌

供試土壌は、作土については第3章で供試した土壌を使用した。生土は5mmの篩を通したものと、風乾後2mmの篩を通した土壌を用いた。また、下層土については第4章で供試した土壌を用い、風乾後2mmの篩を通した土壌を用いた。

2) 分析方法

① 速度論的に求めた可分解性有機態窒素量の推定法

a) 化学的方法

各種抽出法によって求めた窒素量について可分解性有機態窒素量との関係を検討した。各種可分解性有機態窒素抽出法は以下のとおりである。

熱水抽出法：風乾細土10gに100mlの脱塩水を添加し、簡易冷却管をとりつけて沸騰水中で1時間抽出した。

硫酸カリウム抽出法：Keeney and Bremner³⁴⁾の方法に準じて行った。すなわち、風乾細土5gに30mlの脱塩水を添加し、簡易冷却管をとりつけて沸騰水中で1時間抽出した。抽出終了後、さらに、10%硫酸カリウム溶液20mlを添加してよく混合して抽出液とした。

オートクレーブ法：Stanford and Smith⁸²⁾の方法に準じて行った。すなわち、300mlのメディウス瓶に風乾細土10gをとり、1M塩化カリウム100mlを添加、オートクレーブ120℃1時間処理によって抽出した。

希硫酸抽出法：風乾細土10gに、0.01M、0.25Mおよび0.5Mの硫酸50mlを添加して、室温で1時間振とうして抽出した。

水酸化バリウム抽出法：JENKINSON²⁹⁾の方法に準じて行った。すなわち、風乾細土10gに0.1M水酸化バリウム100mlを添加し、1時間振とうして抽出した。

リン酸緩衝液抽出法：樋口²⁶⁾の方法に準じて行った。すなわち、生土(乾土10g相当)にリン酸緩衝液50mlを添加し、1時間振とうして抽出した。

上記の各抽出法で抽出したろ液について、ケルダール分解後、水蒸気蒸留法によって全窒素量を定量した。

土壤の全窒素含量についても、常法によりケルダール分解後、水蒸気蒸留法によって定量した。

b) 微生物的方法

湛水静置培養法は¹²⁶⁾、インキュベート管に風乾細土10gないし生土20gをとり、脱塩水で湛水後密栓し、30℃で4週間静置培養した。培養終了後、常法により全アンモニア態窒素量を定量した。

② 活性化エネルギーの推定法

a) 短期培養による方法

定温条件および変温条件で培養を実施した。定温法は、インキュベート管に生土20gをいれ、脱塩水で湛水して密栓する。培養温度は20, 25および30°Cの3段階で、培養期間は4週間とした。

変温法（圃場埋設法）は、生土（乾土30g相当）をビニール袋にいれ、脱塩水で湛水密栓して、圃場の地表下5cmに埋設した。なお、培養中は水田を常時湛水処理とした。培養開始時期は、5月16日、5月23日、6月6日および7月5日の4回である。培養期間は54~55日程度とし、それぞれ7月10日、7月17日、7月30日および8月27日に回収した。

なお、ビニール袋に温度センサーをいれ培養温度を測定した。平均培養温度は、平均地温を積算し、培養日数で割った値とした。

培養終了後、常法により全無機態窒素量を定量し、無機化過程を0次反応に近似して⁶⁷⁾ 求めた無機化速度定数をアレニウス・プロットして求めた^{35, 36)}。

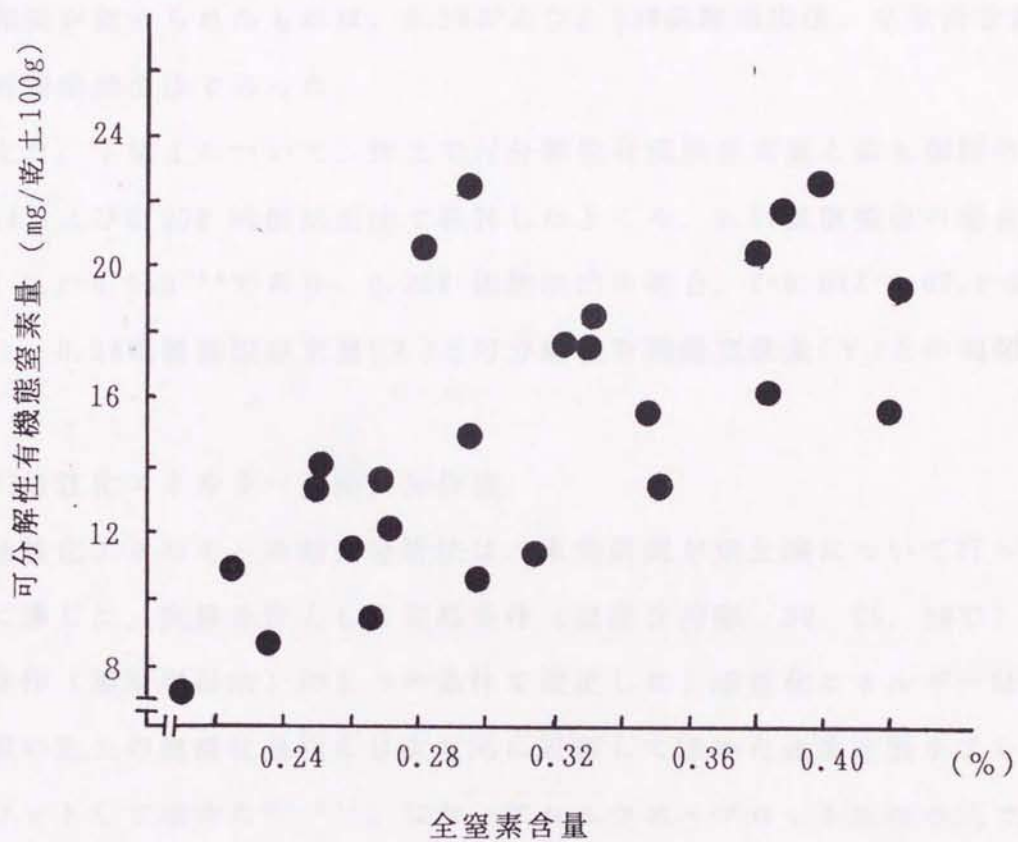
b) 熱水抽出炭素による方法

地力窒素の無機化は微生物反応であるので、微生物のエネルギー源である有機態炭素に着目した。熱水抽出炭素は、以下の方法で定量した。生土（乾土10g相当）を200ml三角フラスコにいれ、脱塩水100mlを加える。三角フラスコに簡易冷却管をつけて、沸騰水中で1ないし4時間加熱する。ただちに冷却後ろ過し、ろ液をアンスロンで発色させ、グルコースを標準物質として有機態炭素の定量を行った⁹⁵⁾。

3. 実験結果

1) 可分解性有機態窒素量の簡易分析法

生土の湛水静置培養によるアンモニア態窒素生成量と土壤の全窒素含量の間には相関があることが指摘されている¹²⁶⁾。そこで、第13図には、可分解性有機態窒素量と全窒素含量の関係を示した。可分解性有機態窒素量と全窒素含量の間には正の相関が認められる。しかし、全窒素含量では可分解性有機態窒素量値にかなりの幅が認められる。微生物的方法として、風乾土および生土の30°C、4週間静置培養窒素量と速度論的解析によって求めた可分解性有機態窒素



第13図 供試土壤の全窒素含量と可分解性有機態窒素量の関係

量との関係を検討した（第14, 15図）。これによれば、風乾土および生土の培養窒素量とも可分解性有機態窒素量との間に相関が認められ、生土培養区よりも風乾土培養区の方が相関が高かった。培養法にかわる方法として熱水抽出法、オートクレーブ法、各種化学試薬を用いた抽出法が提案されている。これらの抽出法の違いは、有機物に対する反応の違いに基づいていると考えられる。第20表に、反応速度論的解析によって求めた可分解性有機態窒素量と全窒素含量等各種抽出法別窒素量との相関関係を示した。これによれば、1%水準で有意の相関が認められたものは、0.5Mおよび0.25M硫酸抽出法、全窒素含量、リン酸緩衝液抽出法であった。

また、下層土について、作土で可分解性有機態窒素量と最も相関の高かった0.5Mおよび0.25M硫酸抽出法で検討したところ、0.5M硫酸抽出の場合、 $Y=1.35X-4.7$, $r=0.955^{***}$ であり、0.25M硫酸抽出の場合、 $Y=0.84X-0.07$, $r=0.906^{**}$ であり、0.5M硫酸抽出窒素量(X)と可分解性有機態窒素量(Y)との相関が高かった。

2) 活性化エネルギーの簡易分析法

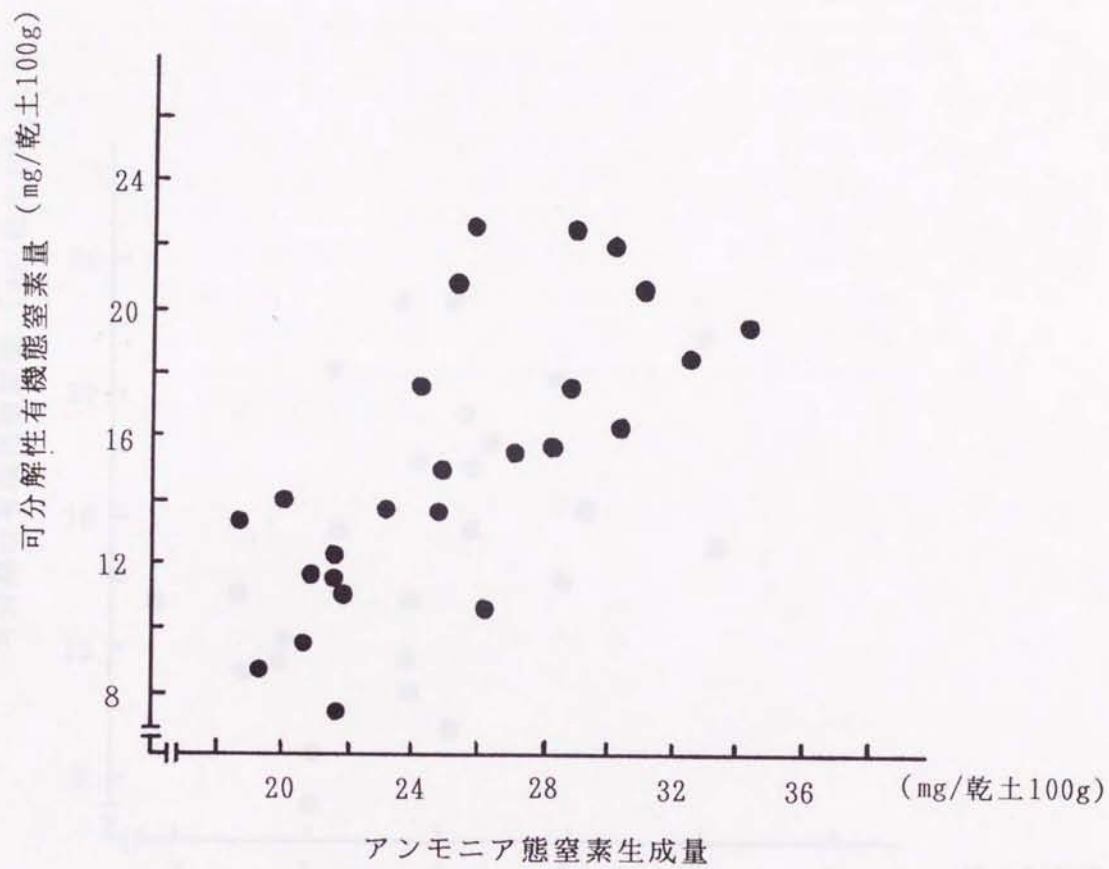
活性化エネルギーの簡易分析法は、東北農試が畑土壌について行った方法^{6,7)}に準じた。実験条件として定温条件（温度3段階：30, 25, 20℃）と自然変温条件（圃場埋設法）の2つの条件を設定した。活性化エネルギーは、28~56日間の生土の無機化過程を0次反応に近似して求めた速度定数をアレニウス・プロットして求めた^{36, 37)}。なお、アレニウス・プロットは次の式で表される。

$$k = A \exp(-E_a / RT) \quad \text{--- ①}$$

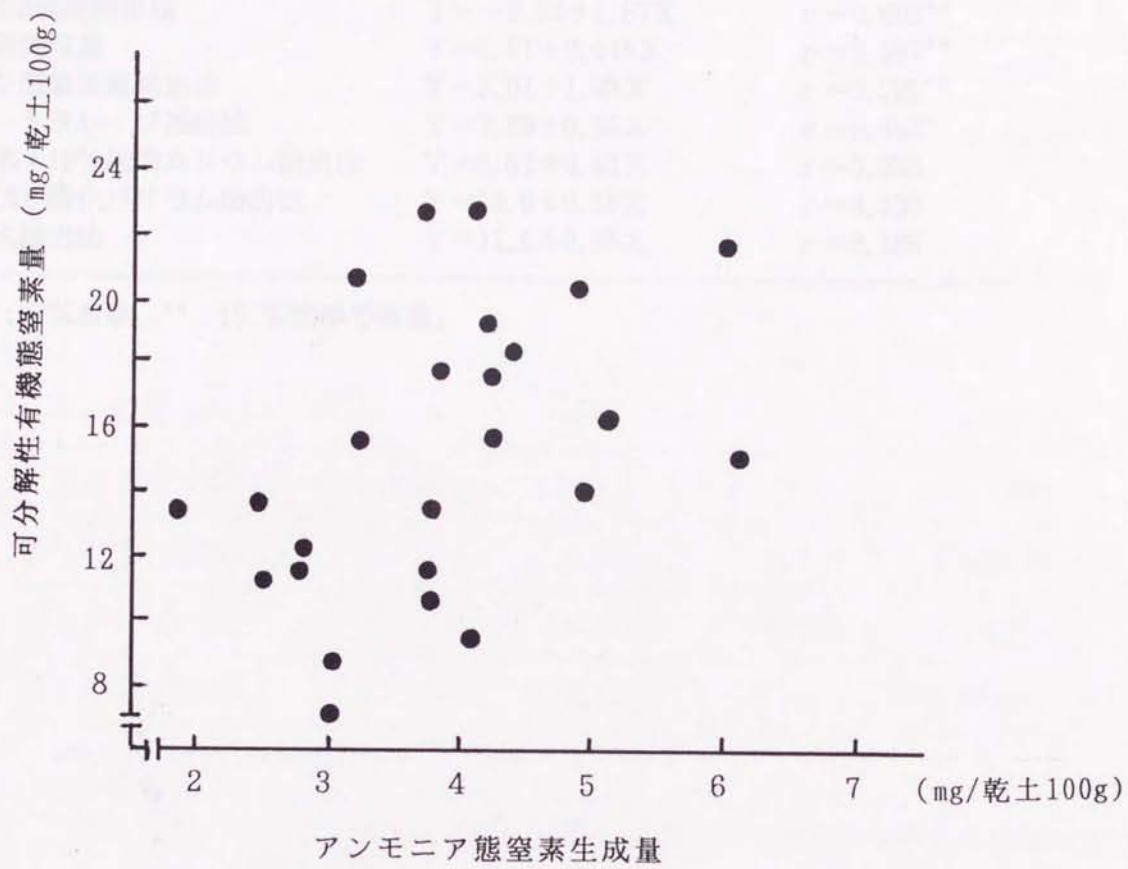
ここでkは速度定数、Aは定数、 E_a は見かけの活性化エネルギー、Rは気体定数、Tは絶対温度である。①式の両辺の対数をとると次のようになる。

$$\log k = (-E_a / 2.3030 \times R) \times 1/T + A \quad \text{--- ②}$$

次に実際の土壌を圃場に埋設して短期間培養して求めた速度定数をアレニウス・プロットして活性化エネルギーを求めた事例を第21表、16図に示す。このようにして簡易に求めた活性化エネルギーと速度論的解析によって求めた活性化エネルギーとの関係を第17, 18図に示した。これによれば、速度論的解析により



第14図 風乾土4週間培養窒素量と可分解性有機態窒素量の関係



第15図 生土4週間培養窒素量と可分解性有機態窒素量の関係

第20表 可分解性有機態窒素量(Y)と各種抽出法別窒素量(X)との関係

分析法	回帰式($Y = a + bX$)	相関係数
0.5M硫酸抽出法	$Y = -0.24 + 1.58X$	$r = 0.704^{**}$
0.25M硫酸抽出法	$Y = -0.82 + 1.87X$	$r = 0.683^{**}$
全窒素含量	$Y = 1.01 + 0.045X$	$r = 0.597^{**}$
リン酸緩衝液抽出法	$Y = 3.01 + 1.93X$	$r = 0.592^{**}$
オートクレーブ抽出法	$Y = 7.89 + 0.35X$	$r = 0.452^*$
熱水+10%硫酸カリウム抽出法	$Y = 8.07 + 0.93X$	$r = 0.333$
0.1M水酸化バリウム抽出法	$Y = 10.9 + 0.55X$	$r = 0.230$
熱水抽出法	$Y = 11.5 + 0.56X$	$r = 0.185$

*: 5%水準, **: 10%水準で有意。

第21表 変温条件および定温条件下におけるアンモニア態窒素生成量と速度定数について

I. 変温条件

温度 (培養期間)	*アンモニア態窒素生成量	速度定数(k)	log k	1/T (温度)
①平均20.9℃(5/16~7/11)	1.30	0.023	-1.63	0.00340
②平均22.2℃(5/23~7/17)	1.73	0.032	-1.49	0.00339
③平均22.5℃(6/5~7/31)	2.52	0.045	-1.35	0.00338
④平均25.2℃(7/5~8/28)	3.55	0.065	-1.18	0.00335

*アンモニア態窒素量:mg/乾土100g

※変温条件:圃場埋設法

速度定数:速度定数は0次反応として、アンモニア態窒素生成量を培養日数で割った値

II. 定温条件

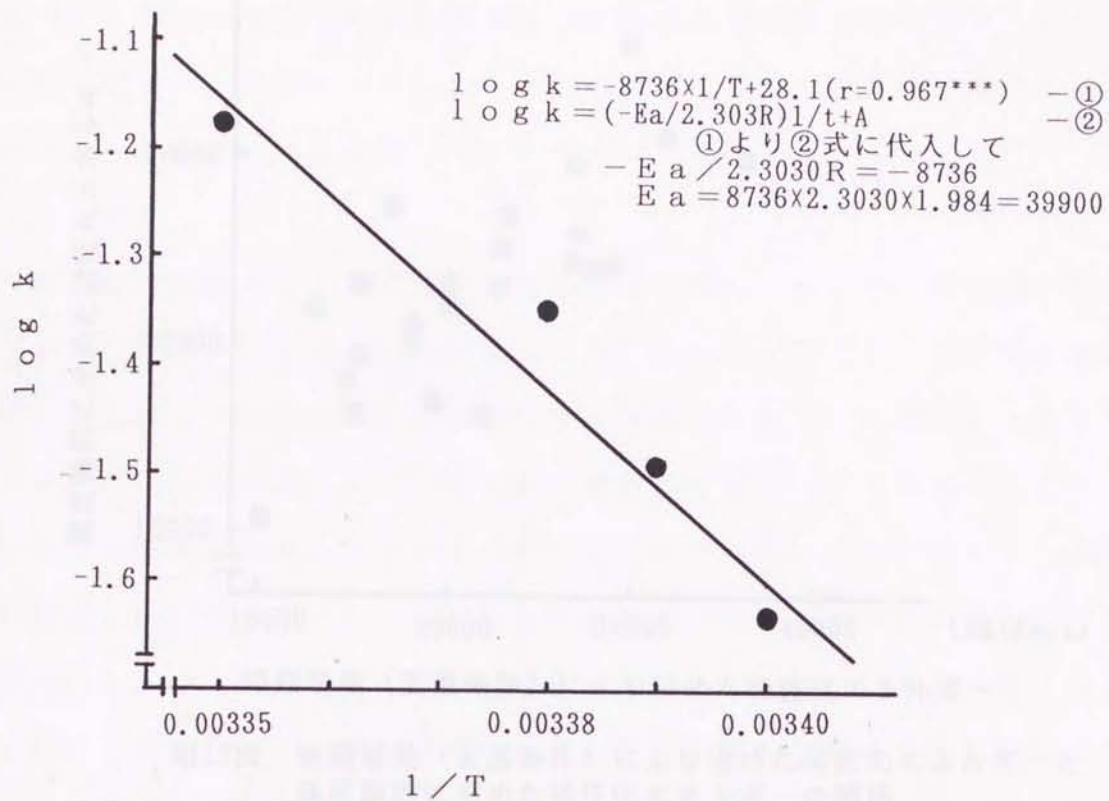
温度 (培養期間)	*アンモニア態窒素生成量	速度定数(k)	log k	1/T (温度)
①20℃ (28日間)	1.41	0.0504	-1.30	0.003413
②25℃ (28日間)	2.10	0.0750	-1.12	0.003356
③30℃ (28日間)	3.71	0.1325	-0.88	0.003300

*アンモニア態窒素量:mg/100g乾土

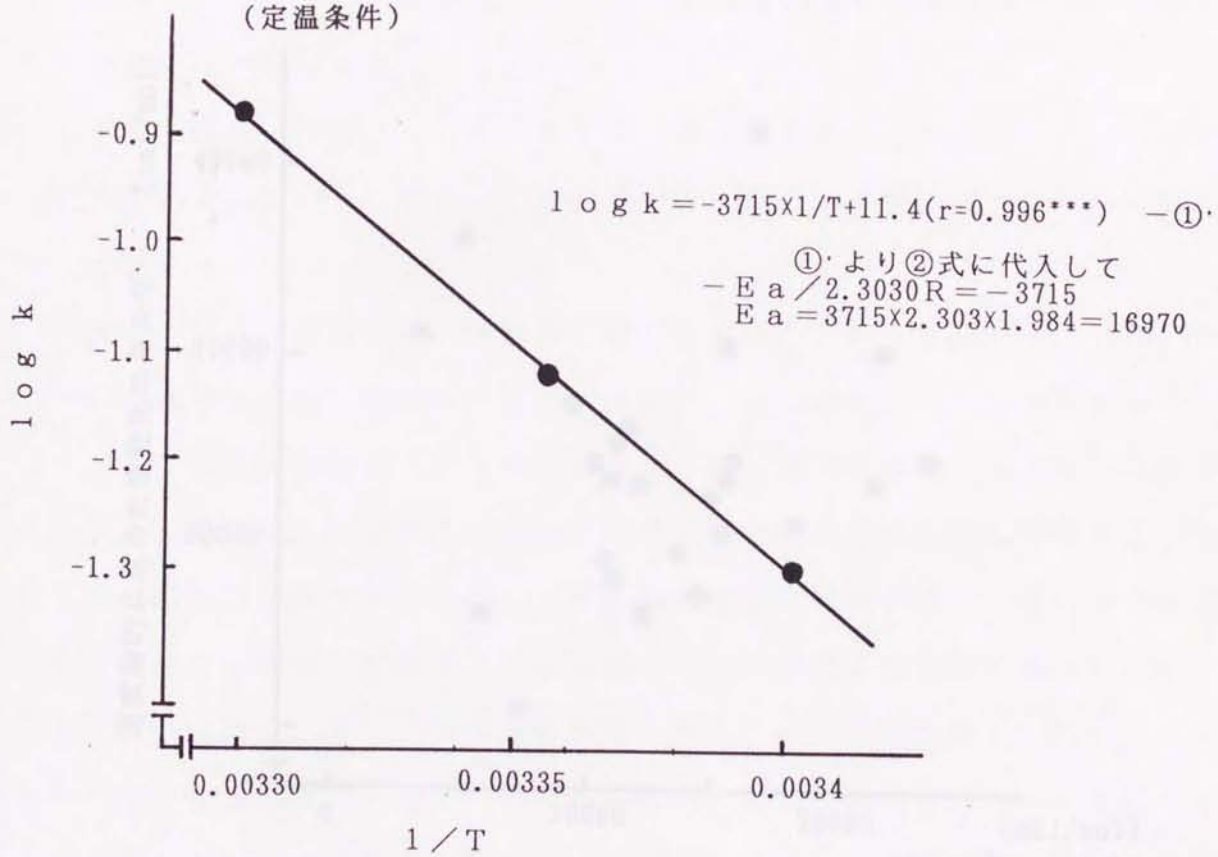
※定温条件:20, 25, 30℃

速度定数:速度定数は0次反応として、アンモニア態窒素生成量を培養日数で割った値

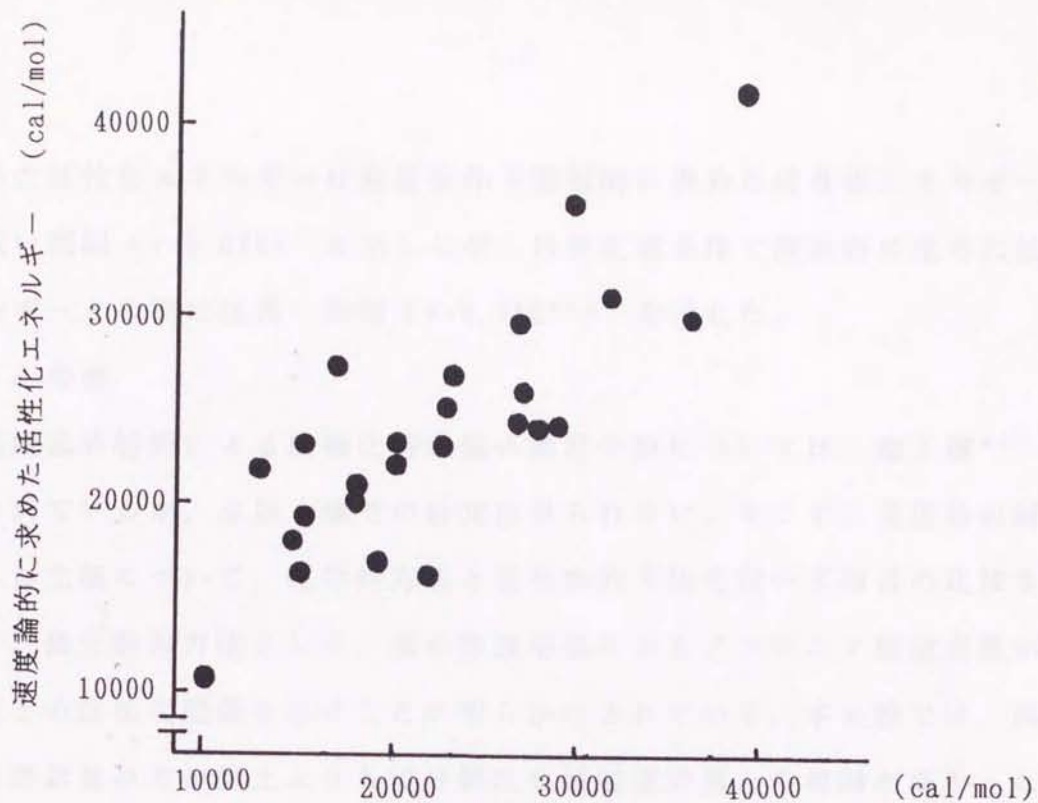
(変温条件)



(定温条件)

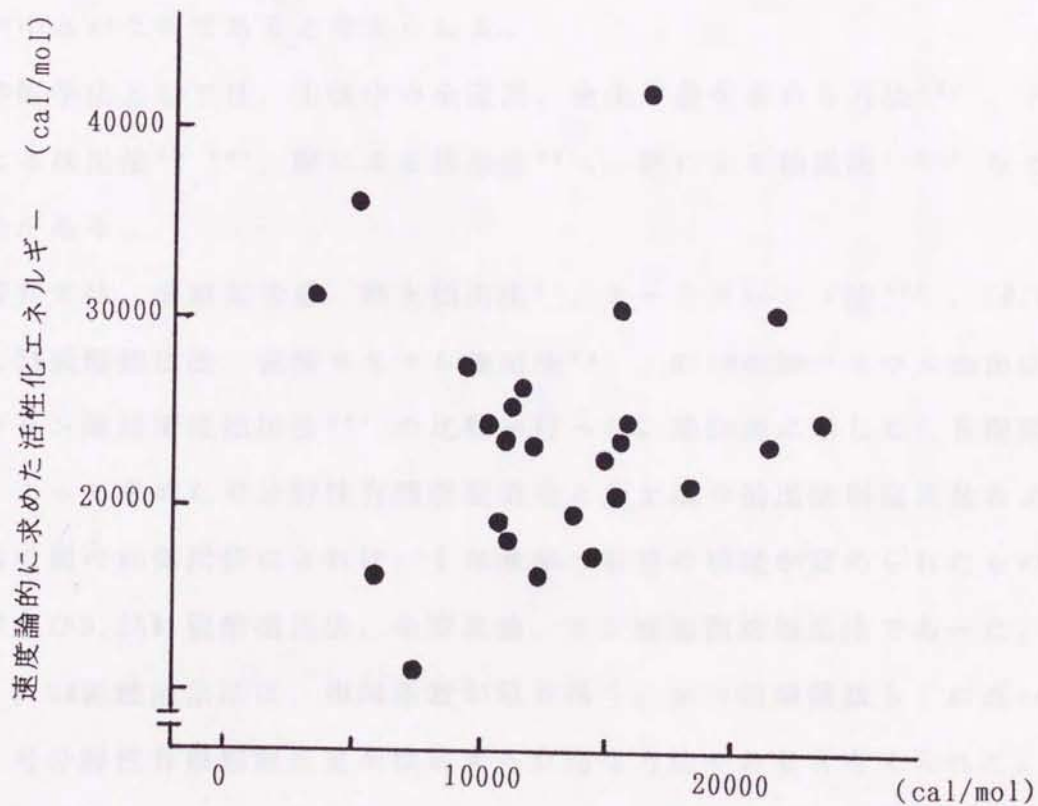


第16図 速度定数のアレニウス・プロット



短期培養 (変温条件) により求めた活性化エネルギー

第17図 短期培養 (変温条件) により求めた活性化エネルギーと速度論的に求めた活性化エネルギーの関係



短期培養 (定温条件) により求めた活性化エネルギー

第18図 短期培養 (定温条件) により求めた活性化エネルギーと速度論的に求めた活性化エネルギーの関係

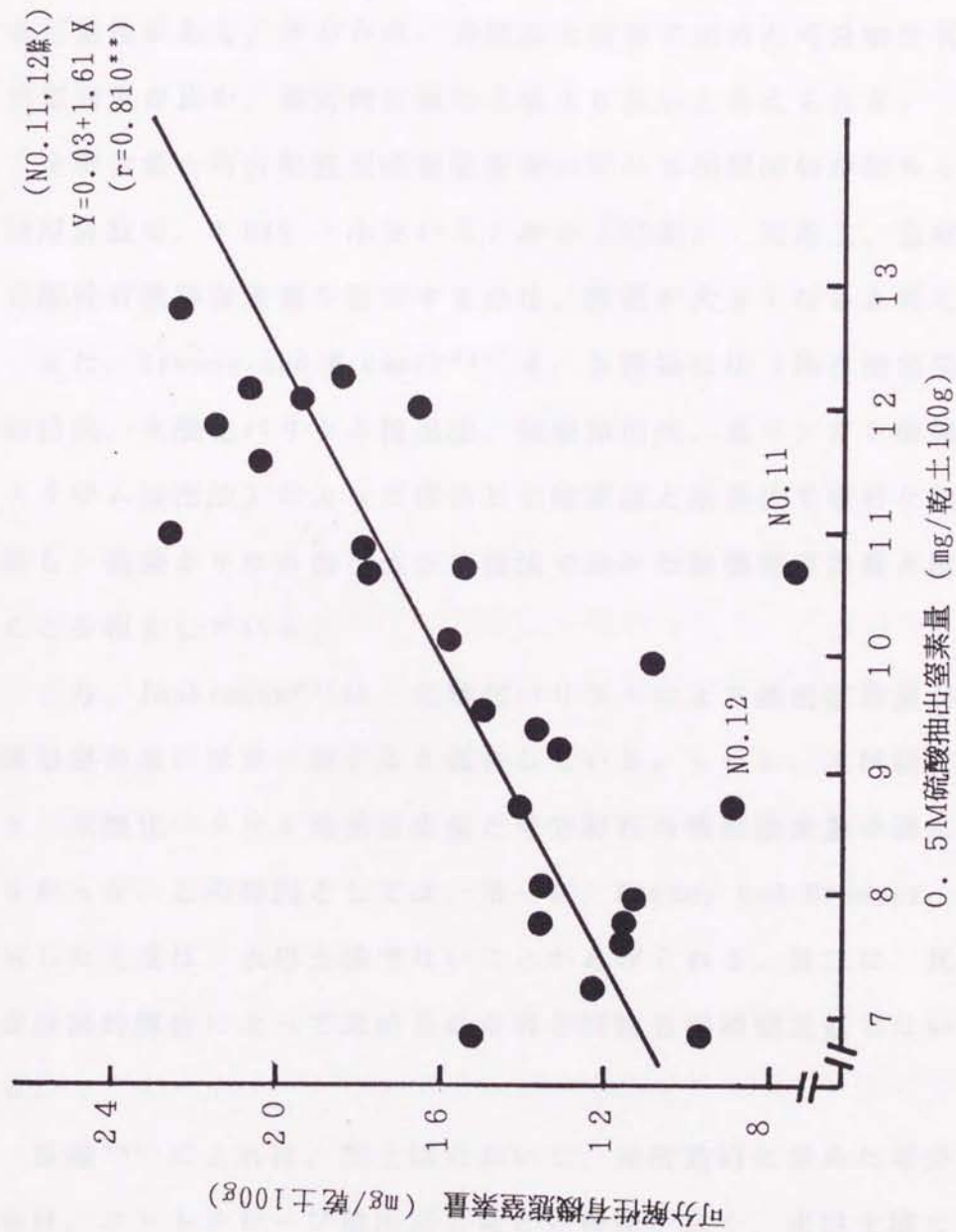
求めた活性化エネルギーは定温条件で簡易的に求めた活性化エネルギーとの間に低い相関 ($r=0.076$) を示したが、自然変温条件で簡易的に求めた活性化エネルギーとの間には高い相関 ($r=0.762^{**}$) を示した。

4. 考察

速度論的解析による無機化特性値の簡易分析については、畑土壌⁶⁶⁾では試みられているが、水田土壌での研究は見られない。そこで、速度論的解析に供試した土壌について、化学的方法と微生物的方法を用いて両者の比較を行った。まず、微生物的方法として、湛水静置培養によるアンモニア態窒素量が水稲の生育との密接な関係を示すことが明らかにされている。本実験では、風乾土の培養窒素量の方が生土よりも可分解性有機態窒素量との相関が高かった。この原因としては、風乾処理により微生物の基質として^{46, 47)}の易分解性有機物に変質するので、風乾土培養窒素量が潜在的な無機化窒素量を示しているが、生土の場合は、易分解性有機物量が少なく、4週間程度の培養期間では、土壌間の差が小さいためであると考えられる。

化学的手法としては、土壌中の全窒素、全炭素量を求める方法¹³⁾、アルカリによる抽出法^{29, 34)}、酸による抽出法⁷⁰⁾、熱による抽出法^{1, 82)}など様々な方法がある。

本研究では、全窒素含量、熱水抽出法¹⁾、オートクレーブ法⁸²⁾、0.25Mおよび0.5M硫酸抽出法、硫酸カリウム抽出法³⁴⁾、0.1M硫酸バリウム抽出法²⁹⁾およびリン酸緩衝液抽出法²⁶⁾の比較を行った。第20表に示した、長期間培養実験によって求めた可分解性有機態窒素量と各土壌の抽出法別窒素量および全窒素量との相関関係によれば、1%水準で有意の相関が認められたものは、0.5Mおよび0.25M硫酸抽出法、全窒素量、リン酸緩衝液抽出法であった。このうち、0.5M硫酸抽出法は、相関係数が最も高く、かつ回帰係数も1に近いことから、可分解性有機態窒素量を推定する有効な方法であると考えられた。なお、この回帰直線からはずれる土壌 (No. 11, 12) が存在した (第19図)。この原因は明らかでないが、以下のような理由が考えられる。これらの土壌は、易還元性のマンガン量および酢酸ナトリウム (pH3) 抽出二価鉄量が著しく少なかっ



第19図 0.5M硫酸抽出窒素量と可分解性有機態窒素量との関係

た。これらの土壌を湛水した場合、還元の進行に伴っておこるマンガンおよび鉄の酸化物からの酸素の供給量が少ないことを示す。一方、アンモニア態窒素の生成はこれら酸化物から供給される酸素の存在下で、微生物活動によって活発におこることが報告されている⁸⁷⁾。したがって、マンガンおよび鉄の酸化物が少ない土壌では、アンモニア態窒素の生成が、他の土壌に比べて少なくなる可能性がある。そのため、長期湛水培養で求めた可分解性有機態窒素量と抽出窒素量の比が、相対的に他の土壌より低いと考えられる。

全窒素量と可分解性有機態窒素量の間にも相関関係が認められた。しかし、回帰係数は、0.045 と小さいことから(20表)、実用上、全窒素量によって可分解性有機態窒素量を推定するのは、誤差が大きくなると考えられる。

また、Keeney and Bremner³⁴⁾ は、各種抽出法(熱水抽出法、硫酸カリウム抽出法、水酸化バリウム抽出法、硫酸抽出法、過マンガン酸抽出法、水酸化ナトリウム抽出法)によって抽出した窒素量と培養法で求めた無機態窒素量を比較し、硫酸カリウム抽出法が培養法で求めた無機態窒素量と密接な関係があることを報告している。

一方、Jenkinson²⁹⁾ は、水酸化バリウムによる抽出窒素量が培養法による無機態窒素量にほぼ一致すると報告している。しかし、本試験では、硫酸カリウム、水酸化バリウム抽出窒素量と可分解性有機態窒素量の間に関係は認められなかった。この原因としては、第一に、Keeney and Bremner, Jenkinsonが供試した土壌は、水田土壌でないことがあげられる。第二に、比較している値が速度論的解析によって求められた可分解性有機態窒素量でないことが考えられる。

斎藤⁶⁶⁾によれば、畑土壌において、速度論的に求めた可分解性有機態窒素量は、オートクレーブ抽出窒素量との相関が高く、水田土壌で有効であった硫酸抽出窒素とは相関を示さないことが指摘されている。この点については、畑と水田における有機物の集積様式および質的な違いによると考えられる。

以上より、グライ土壌では易還元性のマンガン量および酢酸ナトリウム抽出二価鉄量の少ない土壌を除き、土壌窒素の無機化試験データより速度論的に解

析して求めた可分解性有機態窒素量は、0.25M ないし0.5M硫酸抽出で得られる窒素量から推定できるものと考えた。

また、下層土についても作土と同様に0.5M硫酸抽出窒素と可分解性有機態窒素量との相関が認められ、相関係数は作土のそれよりも高い傾向であった。

活性化エネルギーは、杉原ら^{85, 86)}が指摘しているように、無機化速度定数に及ぼす温度の影響の強さを示す指標で活性化エネルギーが小さいほど反応速度に対する温度の影響は小さいことを表している。活性化エネルギーを正確に求めるには、少なくとも5~6段階の温度で培養試験を行い、アレニウス・プロットから求めるのが一般的である。その中で、斎藤⁶⁷⁾は、畑土壌において単純型モデルについて、生土を温度3段階(30, 25 および20℃)で短期培養して、28日間の無機化過程を0次反応に近似し、得られた無機化速度定数をアレニウス・プロットして、活性化エネルギーを求めることを試みている。

本研究においても、斎藤⁶⁶⁾の方法に準じて、速度論的に求めた活性化エネルギーとアレニウス・プロットによって簡易的に求めた活性化エネルギーの関係をみると同じ培養条件下では相関が認められた。すなわち、自然変温条件下で活性化エネルギーを求めているために、定温条件下でアレニウス・プロットした活性化エネルギーとの相関は低い傾向であった。このことについては、安藤・庄子²⁾が指摘しているように、定温条件下における培養実験(30, 25 および20℃)で求めた活性化エネルギーと自然変温条件下での活性化エネルギーが異なることによると考えられる。

活性化エネルギーの土壌学的な意義として、杉原ら⁸⁴⁾、Campbellら¹⁰⁾が指摘しているように、有機物の分解抵抗性を示す一つの指標であるとみなすことができる。火山灰土壌で活性化エネルギーが高い傾向にあるのは、活性アルミニウムが有機物と結合し、難分解性のAl-腐植複合体を形成していることによると考えられる。

また、斎藤⁶⁶⁾は、きゅう肥連用区で、活性化エネルギーが低下する傾向にあり、きゅう肥施用による土壌有機物の質的变化が起こることを報告している。

上記のような活性化エネルギーの土壌学的な意義を解析するために化学的方

法による活性化エネルギーの簡易分析について検討した。その中で、熱水4時間で抽出される炭素量と熱水1時間で抽出される炭素量の比と活性化エネルギーとの関係が注目された(第20図, 22表)。両者の間には、正の直線関係が($r=0.517^{**}$)成り立つ。このことは、4時間で抽出される炭素量が1時間で抽出される炭素量より相対的に多い土壌では、活性化エネルギーが高いことを示す。したがって、4時間熱水抽出で抽出される炭素は、微生物にとっては高温領域でエネルギー源になることを示すと考えられる。これらの問題については、今後さらに研究される必要がある。

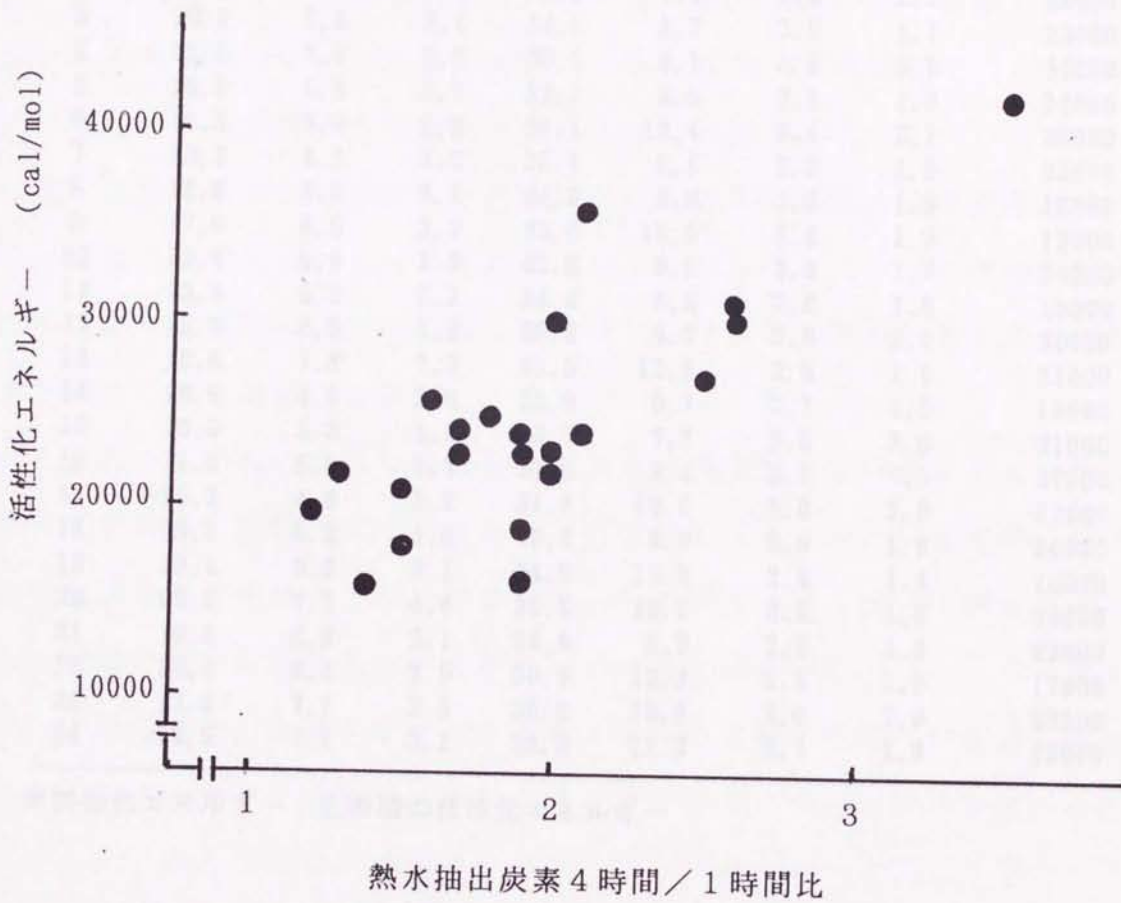
5. 要約

山形県の庄内地域のグライ土壌を供試して、速度論的解析によって求めた無機化特性値のうち、正の項の特性値(可分解性有機態窒素量, 活性化エネルギー)の簡易分析法について明らかにした。得られた結果は、以下のとおりである。

①本研究で供試したグライ土壌における作土では、易還元性のマンガン量および酢酸ナトリウム抽出二価鉄量が少ない土壌以外、速度論的に求めた可分解性有機態窒素量と0.25M ないし0.5M硫酸抽出窒素量との間には高い正の相関が認められた($r=0.867^{***}$)。一方、下層土では、可分解性有機態窒素量と0.5M硫酸抽出窒素量との間に高い正の相関が認められた($r=0.900^{***}$)。

②自然変温条件で速度論的に求めた活性化エネルギーと、自然変温条件で短期培養し生成した窒素量から求めた活性化エネルギーとの間には正の相関が認められた($r=0.762^{***}$)。一方、温度3段階(30, 25および20℃)定温条件で短期培養し生成した窒素量から求めた活性化エネルギーと自然変温条件で速度論的に求めた活性化エネルギーの間には相関が認められなかった。

③熱水4時間抽出と1時間抽出の炭素の比と活性化エネルギーの間には、正の相関があった($r=0.517^{**}$)。



第20図 熱水4時間抽出 / 1時間抽出炭素比と速度論的に求めた活性化エネルギーの関係

第22表 熱水抽出炭素量および窒素量 (mg/乾土100g)

土壌 No.	熱水1時間抽出			熱水4時間抽出			4時間抽出 /1時間抽出 炭素比	活性化エネルギー (cal/mol)
	炭素量	窒素量	C/N比	炭素量	窒素量	C/N比		
1	8.6	6.5	1.3	30.5	8.4	3.6	3.5	42000
2	15.1	6.2	2.4	31.1	9.0	3.5	2.1	24000
3	20.2	5.9	3.4	34.3	8.7	3.9	1.7	23000
4	15.2	7.7	2.0	30.1	9.1	3.3	2.0	30000
5	15.6	5.8	2.7	30.1	9.6	3.1	1.9	24000
6	16.3	5.9	2.8	35.1	10.4	3.4	2.1	36000
7	13.3	4.2	3.2	25.4	8.8	2.9	1.9	23000
8	18.9	8.0	2.4	34.9	9.6	3.6	1.9	16000
9	17.6	6.5	2.7	33.6	10.0	3.4	1.9	19000
10	19.4	6.9	2.8	32.9	9.6	3.4	1.7	24000
11	13.8	6.2	2.2	24.8	8.8	2.8	1.8	25000
12	13.0	6.9	1.9	33.6	8.7	3.8	2.6	30000
13	18.6	7.8	2.3	27.5	10.6	2.6	1.5	21000
14	16.9	4.8	3.5	25.8	9.7	2.7	1.5	18000
15	10.0	5.3	1.9	26.7	7.7	3.5	2.6	31000
16	11.0	6.5	1.7	27.9	9.4	3.0	2.5	27000
17	15.2	4.8	3.2	31.8	10.6	3.0	2.0	22000
18	25.2	5.2	4.8	40.2	8.0	5.0	1.6	26000
19	18.4	5.9	3.1	24.8	10.2	2.4	1.4	16000
20	29.2	7.3	4.0	36.2	10.9	3.3	1.2	20000
21	19.3	6.2	3.1	24.6	9.9	2.5	1.3	22000
22	20.8	8.4	2.5	30.9	12.3	2.5	1.5	17000
23	17.9	7.7	2.3	36.0	13.8	2.6	2.0	23000
24	17.5	7.7	3.1	33.2	12.3	2.7	1.9	23000

※活性化エネルギー：正の項の活性化エネルギー

第6章 庄内地域のグライ水田土壌の可分解性有機態窒素と水稲の収量 構成要素の関係

1. はじめに

近年、稲作の栽培管理上の大きな課題は、様々な気象条件下での収量・品質の安定、低コスト化と消費者ニーズとしての米の食味の向上にある^{1,2,3)}。収量・品質安定のためには、水稲生育各時期に適正量の窒素吸収が必要とされる。一方、米の食味はタンパク含量と関係し、生育後期の窒素追肥は玄米中のタンパク含量を増加し、米の食味を低下させることが知られている^{2,4,25)}。しかし、収量・品質および食味に及ぼす追肥窒素の影響は、水稲の生育状態だけでなく地力窒素の無機化量によっても異なる。したがって、これらの課題を解決するためには水稲の生育状態の把握と同時に、地力窒素の無機化量を生育時期別に予測することも重要となる。

これまでも、地力窒素の無機化に関する研究は数多く行われてきた^{21,22,126)}。その結果、土壌タイプ別の地力窒素無機化パターン、水稲による地力窒素の吸収量などが明らかとなってきた。しかしながら、これらの研究成果は必ずしも現場の稲作農家で十分に生かされているとはいえない。この原因としては、従来の研究が土壌に重点がおかれ、水稲の生育・収量との関連が不十分であったこと、個々の圃場での解析に留まっていたため、地域への適応が困難であったことによるものと考えられる。

庄内地域の水田土壌の地力窒素の無機化について速度論的な解析を行った結果、水田土壌の作土および下層土の無機化の速度定数は、それぞれ0.01 1/dayおよび0.0041/dayとほぼ一定であった。したがって、可分解性有機態窒素量と活性化エネルギーが、その地点の土壌窒素の無機化パターンを示すことになる。そこで、本章では、山形県庄内地域をモデルとして、可分解性有機態窒素量と水稲の生育・収量との関係を研究し、水稲収量に及ぼす可分解性有機態窒素量の影響を解明した。さらに、作土と下層土の可分解性有機態窒素量の分布図を作成し、各地域の水稲収量との関連性を検討し、現場への応用が可能かどうか

ついて研究した。

2. 実験材料および実験方法

1) 供試水田土壌と可分解性有機態窒素量の定量法

供試水田土壌は、庄内経済連および山形県立農業試験場で実施した調査事業（地力保全事業^{9,8)}）を利用した。すなわち、庄内経済連で実施した「豊かな庄内米づくり運動^{11,4)}」から作土86点、下層土65点、地力保全事業から作土65点、下層土20点の計、作土151点、下層土85点を供試した。なお、作土直下から10cmを下層土として採取した。

供試土壌の陽イオン交換容量は、作土で12.6~37.7meq/乾土100gであり、平均23.1meq/乾土100g、下層土で13.2~33.6meq/乾土100gであり、平均22.1meq/乾土100gであった。

可分解性有機態窒素量の簡易推定は、第5章の研究結果に準じ、風乾土を希硫酸抽出し、ケルダール分解後、水蒸気蒸留法で窒素を定量して行った。なお、抽出される窒素量と可分解性有機態窒素量の関係は硫酸濃度によって大きな影響を受けなかったため、作土では回帰係数が1に近い、0.25M硫酸で抽出した。一方、下層土では可分解性有機態窒素量との相関が高かった0.5M硫酸を使用した。

2) 水稻の生育・収量

簡易推定により求めた可分解性有機態窒素量と水稻の生育・収量の検討にあたっては、「豊かな庄内米づくり運動^{11,4)}」の成果のうち1985~87年に調査したデータから、作土および下層土を可分解性有機態窒素量の分析に供試し、かつ施肥量がほぼ同一の地点（41地点）の生育・収量の結果と可分解性有機態窒素量の分析結果を使用した。供試した地点における収量は、468~778kg/10aで、平均680kg/10aであった。収量構成要素のうち、穂数は409~797本/m²で、平均593本/m²、粒数は29800~59100粒/m²で、平均41100粒/m²であった。また、登熟歩合は58.5~94.3%で、平均77.8%、有効茎歩合は50.4~93.5%で、平均75.0%であった（第23表）。

収量構成要素は互いに負の相関関係があることが知られている。また、有効

第23表 各年次における供した地点の収量及び収量構成要素

項目	年次	1985年度	1986年度	1987年度	平均
収量(kg/10a)		704(589~778)	684(583~766)	651(468~773)	680(468~778)
穂数(本/m ²)		611(409~759)	577(421~730)	610(442~797)	593(409~797)
穂数(x100)		402(325~506)	428(318~591)	405(298~528)	411(298~591)
登熟歩合(%)		80.3(61.5~93.6)	80.5(62.0~94.3)	72.5(58.5~88.8)	77.8(58.5~94.3)
有効登熟歩合(%)		75.2(54.6~93.5)	78.2(67.0~91.4)	71.6(50.4~90.8)	78.2(50.4~93.5)

茎歩合、一穂粒数などは、単位面積当たりの最高茎数、穂数によって変化する。そのため、一般的には収量構成要素と環境条件、栄養条件の関係を検討する場合、その要素についてはほぼ数量的に同一な条件下で比較される。そこで、本章では、収量構成要素を検討するために前述の41地点の中から各年次の要素の平均値を考慮し、以下のような地点選出し検討した。有効茎歩合：1985年度は最高茎数が760~860本/m²（9点）、1986年度が660~770本/m²（14点）、1987年度が800~900本/m²（9点）。一穂粒数：1985年度は穂数が590~630本/m²（9点）、1986年度は穂数が543~598本/m²（13点）、1987年度は589~638本/m²（13点）の地点を選出した。

可分解性有機態窒素量の分布と収量分布の関係の検討にあたって、収量は1985~1987年度における集落ごとの10a当たりの水稲収量の結果を使用した。利用した各地点の施肥量は地点ごとに異なっている。

3) 地力窒素発現地図の作成

地力窒素発現地図の作成にあたっては、簡易推定法によって求めた可分解性有機態窒素量と水田の生産性に大きく関与している母材と地形図を基礎にした。

なお、地図上の地力窒素発現量の区分は、作土の場合0~5, 6~10, 11~15, >15mg/乾土100gの4段階、下層土の場合0~3, 4~6, >6mg/乾土100gの3段階とした。

次に、作土および下層土の地力窒素発現地図の立体化を行った。作土および下層土の時期別地力窒素の供給量の区分については、庄内支場における収量レベル別の窒素吸収量から施肥窒素吸収量（基肥窒素の利用率：30%、追肥窒素の利用率：50%、基肥窒素量を6kg/10a、追肥窒素量を3kg/10a）を差引いて、それぞれの区分の収量を上げるのに必要な地力窒素量を想定した。なお、第24表には、作土および下層土の時期別地力窒素の供給量に地力窒素の利用率（6月下旬まで30%、7月以降70%と仮定する^{7,8)}、作土深、下層土深および仮比重を乗じた利用可能地力窒素量を示した。

なお、収量レベルおよび利用可能地力窒素量として、それぞれⅠは>700kg/10a および>10kg/10a、Ⅱは650kg/10a および8~9kg/10a、Ⅲは600kg/10a および7~8kg/10a、Ⅳは550kg/10a および5~6kg/10a、Ⅴは<500kg/10a および<5kg/10

第24表 利用可能な地力窒素量（時期別）

区分	層位	生育初期 5月18日~6月30日	生育中期 7月1日~8月10日	生育後期 8月11日~9月15日	計
Ⅰ	作土	2.6 (7.7)	5.0 (6.3)	1.4 (1.8)	9.0 (15.8)
	下層土	0.4 (1.6)	1.2 (2.2)	1.4 (2.6)	3.0 (6.4)
Ⅱ	作土	1.9 (5.5)	3.6 (4.5)	1.0 (1.3)	6.5 (11.3)
	下層土	0.4 (1.6)	1.2 (2.2)	1.4 (2.6)	3.0 (6.4)
Ⅲ	作土	1.9 (5.5)	3.6 (4.5)	1.0 (1.3)	6.5 (11.3)
	下層土	0.2 (1.0)	0.7 (1.3)	0.8 (1.6)	1.7 (3.9)
Ⅳ	作土	1.1 (3.3)	2.2 (2.7)	0.6 (0.8)	3.9 (6.8)
	下層土	0.2 (1.0)	0.7 (1.3)	0.8 (1.6)	1.7 (3.9)
Ⅴ	作土	1.0 (2.8)	1.8 (2.2)	0.5 (0.6)	3.3 (5.6)
	下層土	0.2 (0.7)	0.5 (0.9)	0.5 (1.0)	1.2 (2.6)

() : 時期別地力窒素無機化量 (mg/乾土100g)

※利用可能な地力窒素量 (kg/10a) の算出法

時期別地力窒素無機化量に、①地力窒素の利用率（仮定）②作土および下層土の厚さと仮比重より算出した。

①地力窒素の利用率：6月30日まで約30%，7月以降約70%

②作土深：15cm，下層土深：10cm 仮比重：作土→0.76g/cm³，下層土→0.75g/cm³

aを想定した。

3. 実験結果

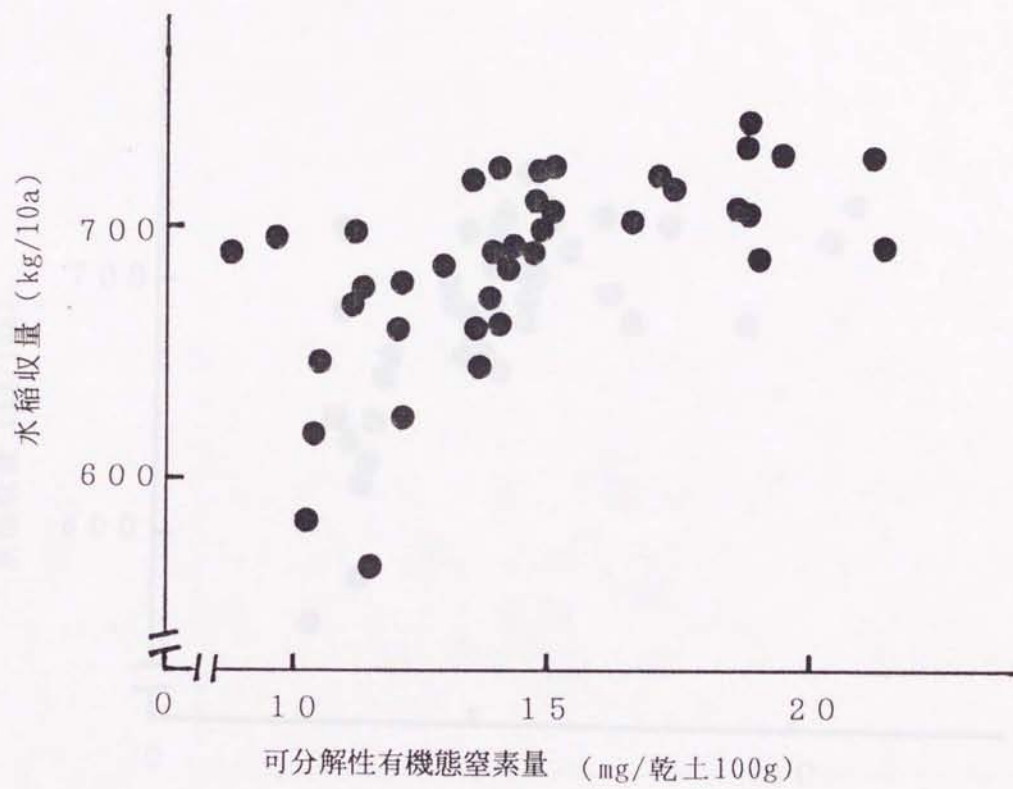
1) 可分解性有機態窒素量と収量・収量構成要素の関係

作土の可分解性有機態窒素量は、全体では8.7~21.6mg/乾土100gで、平均は14.4mg/乾土100gであった。地域別にみると、飽海地域で平均15.0mg/乾土100g (CV:22.6%)、田川地域で平均14.0mg/乾土100g (CV:23.9%)であった。一方、下層土のそれは、全体では2.5~14.8mg/乾土100gであり、平均5.7mg/乾土100gであった。地域別にみると飽海地域で平均5.8mg/乾土100g (CV:34.8%)、田川地域で平均5.5mg/乾土100g (CV:48.2%)であった。可分解性有機態窒素量については、作土および下層土とも飽海地域>田川地域であった。

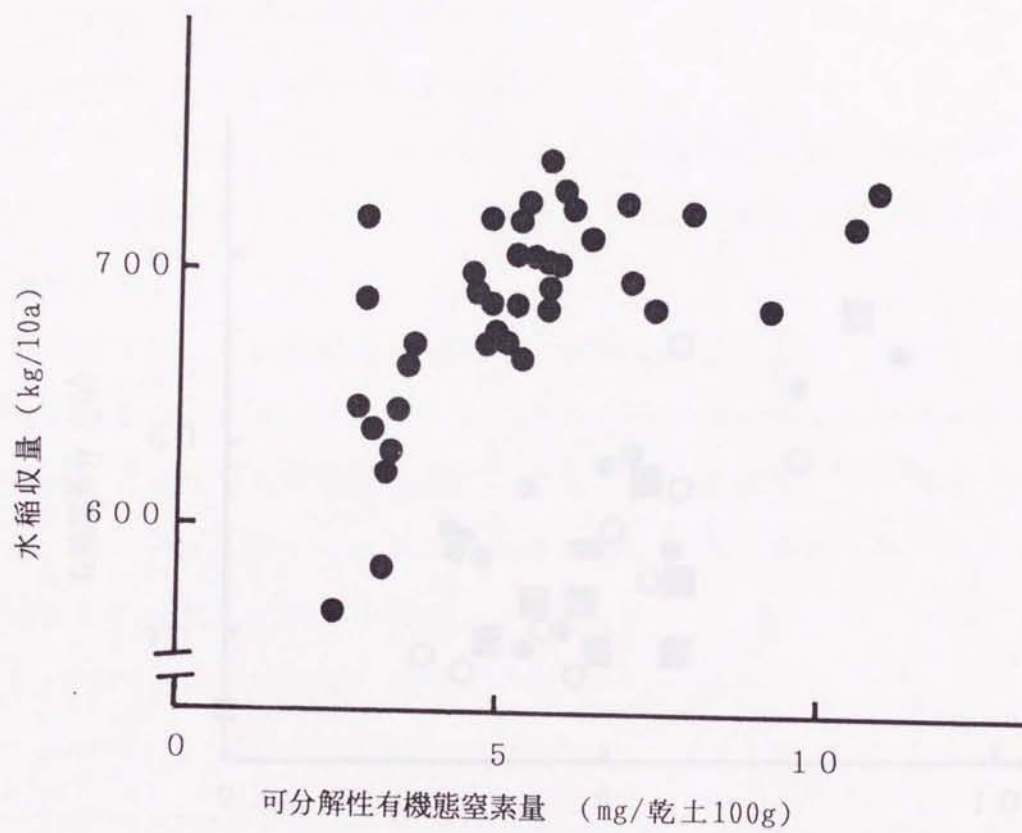
水稻の収量を構成している各要素は、それぞれ異なる生育時期の栄養条件や環境条件の影響を受けやすい。水田の作土と下層土から無機化してくる地力窒素が水稻の窒素吸収に与える影響は水稻の生育時期によって異なる。そこで、第21、22図には、作土および下層土の可分解性有機態窒素量と水稻収量の関係を示した。作土の可分解性有機態窒素量が15mg/乾土100gまで、同様に下層土では6mg/乾土100gまでは可分解性有機態窒素量の増加につれて水稻収量が増加するが、それ以上の窒素量では収量の増加はみられなかった。

一方、収量の変動を可分解性有機態窒素量との関係でみると、収量の増加が停滞する作土の可分解性有機態窒素量が>15mg/乾土100gと、下層土の可分解性有機態窒素量が>6mg/乾土100gの変動係数はそれぞれ23%、27%であった。一方、可分解性有機態窒素量がそれ以下のときには作土および下層土の変動係数は、それぞれ44%、40%であった。可分解性有機態窒素量が大きいほど収量が安定しているといえる。

次に、収量構成要素と可分解性有機態窒素量との関係を検討した。一般的に水稻の生育経過を示す図には、有効分けつ終期(通常6月中~下旬)、有効茎歩合が示されている。しかし、穂数は、最高茎数と最高分けつ期以降の栄養・気象条件によって決定され、有効分けつ終期と有効茎歩合もそれに伴って変動するものと考えられる。そこで、第23図には最高茎数がほぼ同一条件の圃場

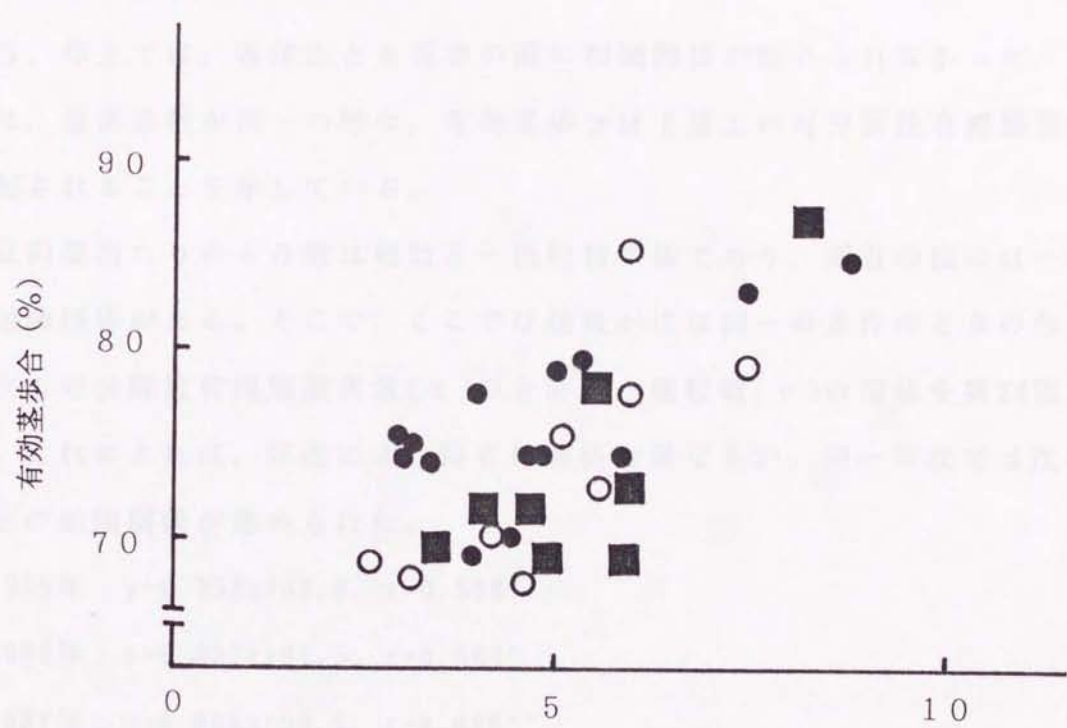


第21図 作土の可分解性有機態窒素量と水稲収量の関係



第22図 下層土の可分解性有機態窒素量と水稲収量の関係

にあり、下層土の可分解性有機態窒素量は、1985年度より1987年度にかけて、
 1985年度は1.7-2.0mg/100g、1986年度は1.7-2.0mg/100g、
 1987年度は1.7-2.0mg/100gと、ほぼ同程度であった。下層土の可分解
 性有機態窒素量は、1985年度は1.7-2.0mg/100g、1986年度は1.7-2.0mg/100g、
 1987年度は1.7-2.0mg/100gと、ほぼ同程度であった。



可分解性有機態窒素量 (mg/乾土100g)
 第23図 下層土の可分解性有機態窒素量と有効硝化歩合の関係
 ○：1985年度、●：1986年度、■：1987年度

における下層土の可分解性有機態窒素量と有効茎歩合の関係を示した。なお、各年次の供試圃場の最高茎数は、1985年度が760～860本/m²、1986年度が660～770本/m²、1987年度が800～900本/m²で年次により若干異なる。下層土の可分解性有機態窒素量(x)と有効茎歩合(y)の相関関係をみると、両者には正の相関が認められた。

$$1985年 : y = 2.88x + 60.1, \quad r = 0.792^*$$

$$1986年 : y = 1.77x + 67.4, \quad r = 0.701^{**}$$

$$1987年 : y = 3.53x + 54.6, \quad r = 0.814^{**}$$

一方、作土では、各年次とも両者の間に相関関係が認められなかった。このことは、最高茎数が同一の場合、有効茎歩合は下層土の可分解性有機態窒素量に支配されることを示している。

単位面積当たりのもみ数は穂数と一穂粒数の積であり、両者の間には一般に負の相関関係がある。そこで、ここでは穂数がほぼ同一の条件のときの作土と下層土の可分解性有機態窒素量(x)の合計と一穂粒数(y)の関係を第24図に示した。これによれば、年次により両者の関係は異なるが、同一年次では次のように正の相関関係が認められた。

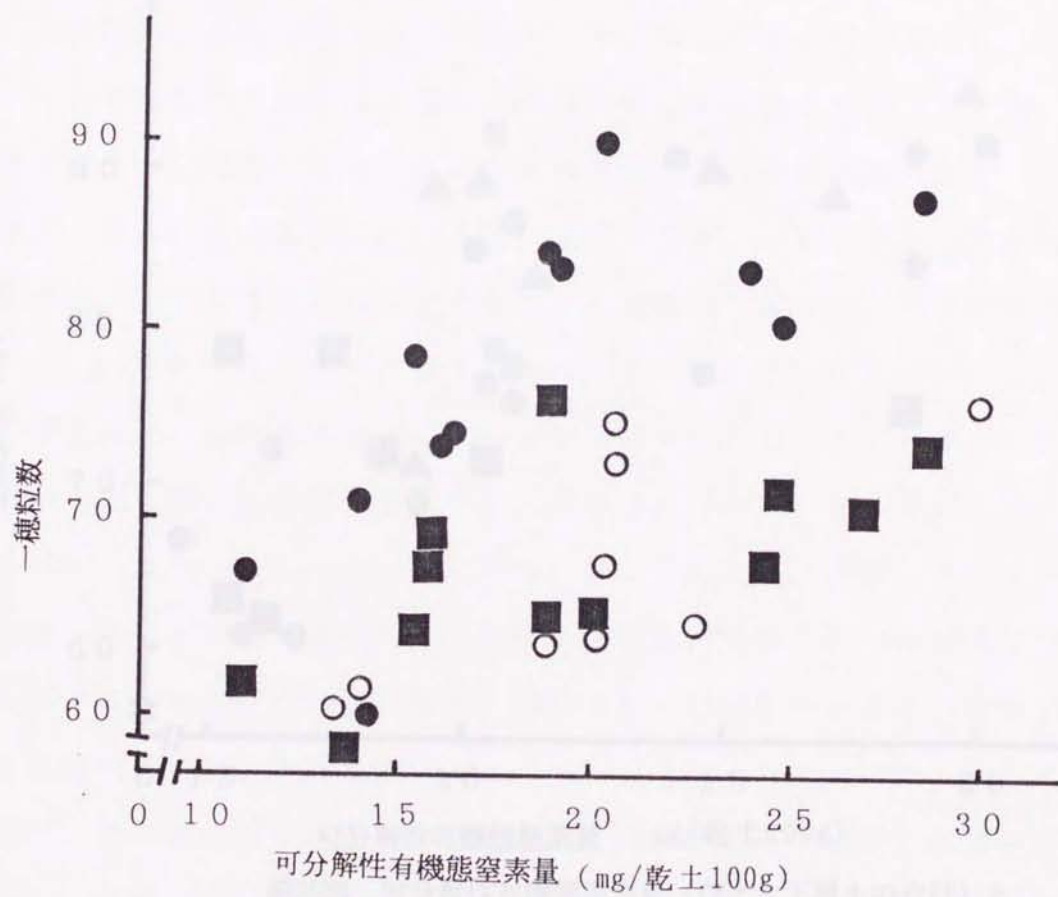
$$1985年 : y = 0.952x + 48.0, \quad r = 0.558^*$$

$$1986年 : y = 0.837x + 61.5, \quad r = 0.564^*$$

$$1987年 : y = 0.696x + 53.5, \quad r = 0.696^{**}$$

収量構成要素の中で決定要素と言われる登熟歩合と作土および下層土の可分解性有機態窒素量の含量の関係を1985年度について示した(第25図)。これによれば、可分解性有機態窒素量の含量と登熟歩合の間には正の相関関係が認められた($r = 0.686^{***}$)。1986年も同様の関係が得られたが($r = 0.600^{***}$)、1987年度は相関関係が認められなかった。これは、登熟中期(8月下旬～9月上旬)にフェーン現象が発生し、登熟が早期に停滞し、心白などが多量に発生したためと思われる。

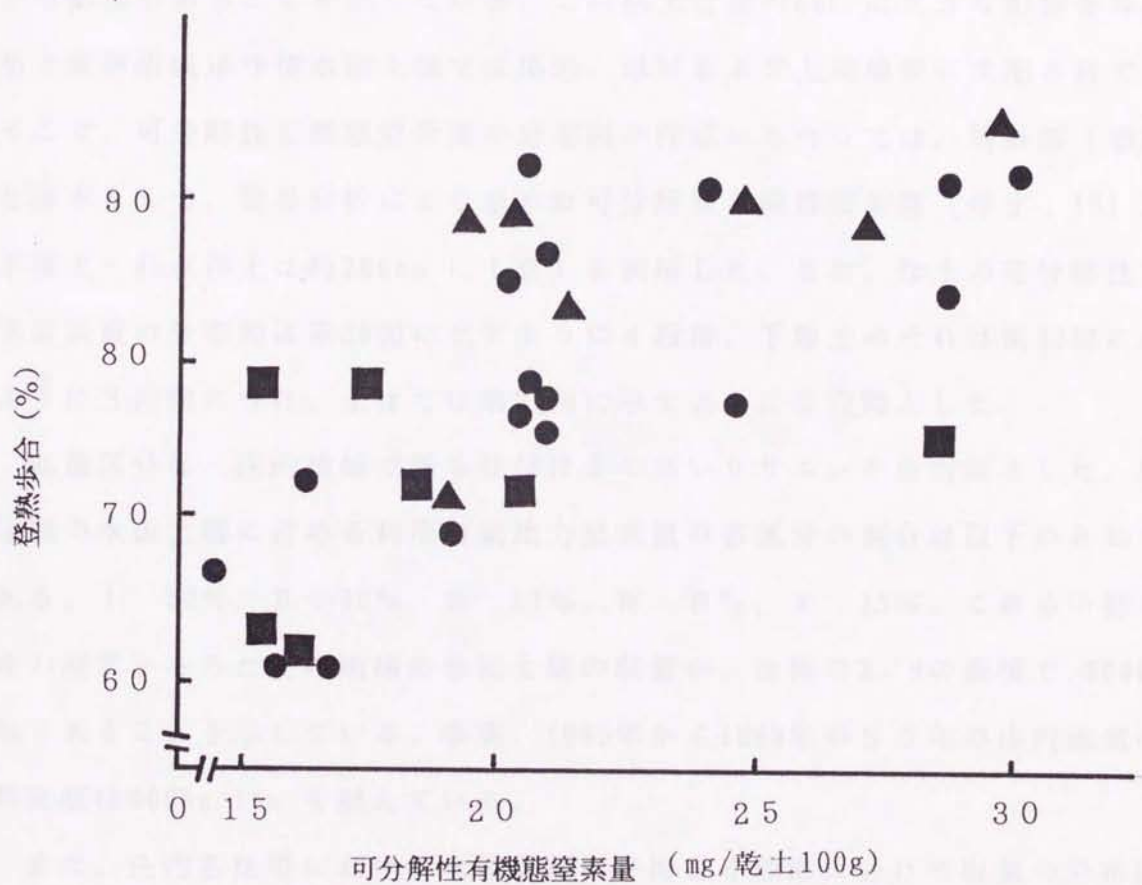
以上より、水稻の生育・収量を示す構成要素と可分解性有機態窒素量(作土、下層土)との間にはほぼ密接な関係が認められた。



可分解性有機態窒素量 (mg/乾土100g)

第24図 可分解性有機態窒素量 (作土と下層土の合計) と一穂粒数の関係

○ : 1985年度、● : 1986年度、■ : 1987年度



第25図 可分解性有機態窒素量（作土と下層土の合計）と登熟歩合の関係

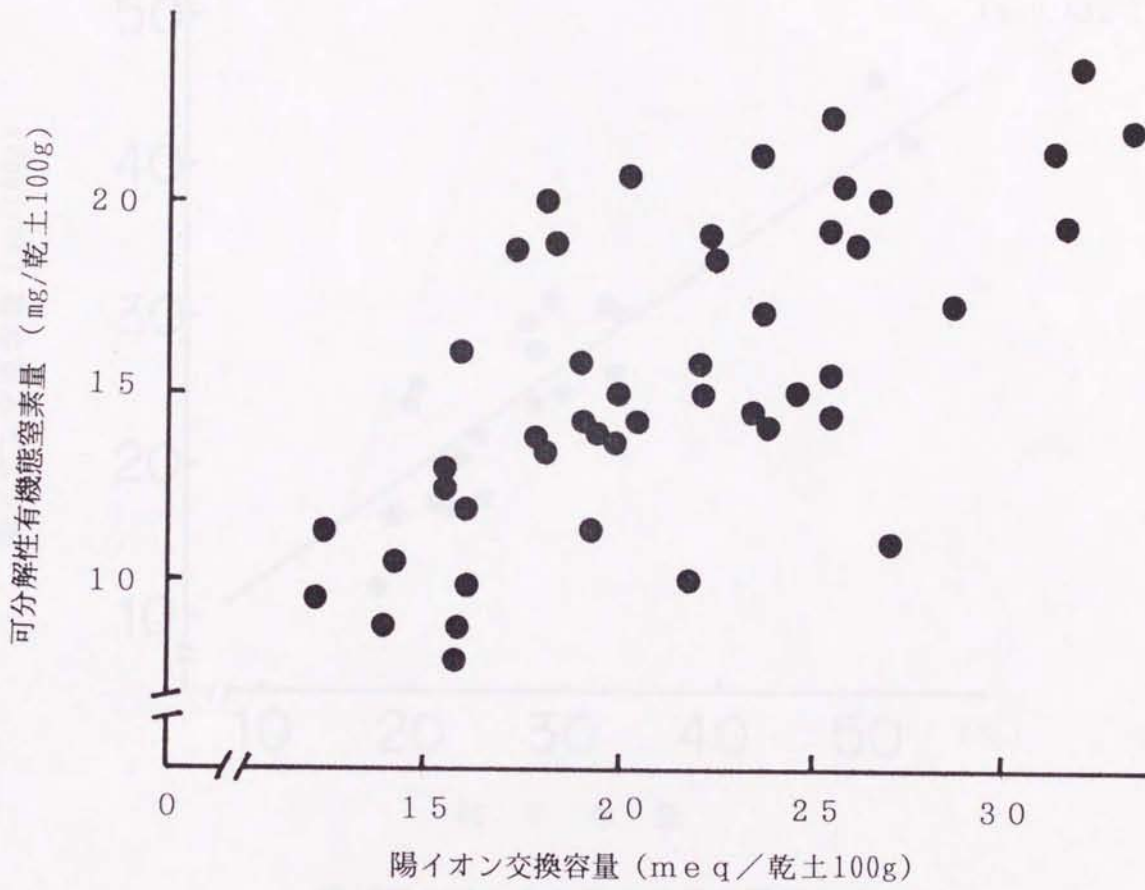
▲：< 3万粒/m²，●：3～5万粒/m²，■：> 5万粒/m²

2) 庄内地域における可分解性有機態窒素量の分布図

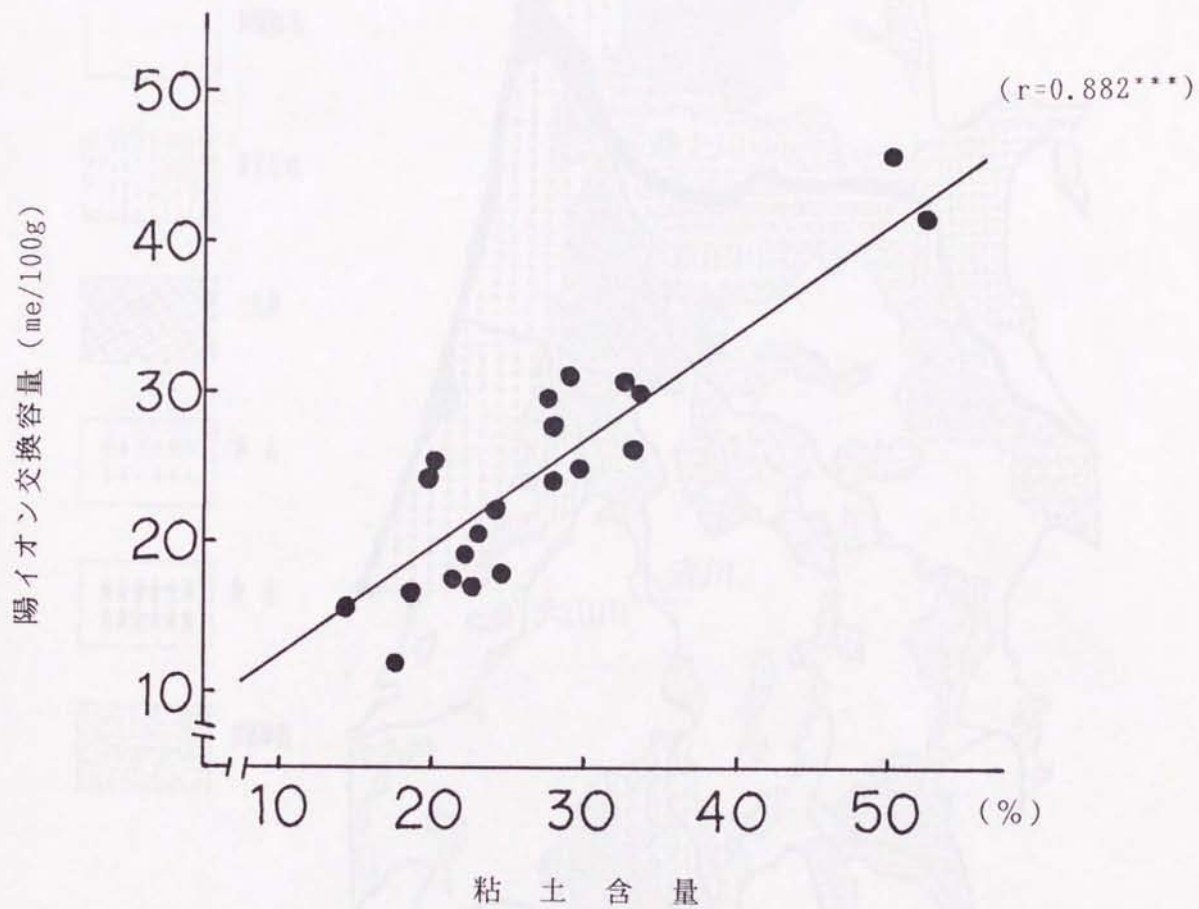
第26図に、陽イオン交換容量と可分解性有機態窒素量の関係を示した。両者の間には正の相関 ($r=0.681^{**}$) が認められた。さらに、第27図に示したように CEC と粘土含量の間には正の相関がある ($r=0.882^{***}$)。これらのことは、地力窒素の供給量は、土壤の粘土含量および CEC と密接に関係していることを示し、可分解性有機態窒素量の分布を考慮する際、粘土含量や CEC の分布を検討する必要があることを示している。この粘土含量や CEC に大きな影響を与える粘土鉱物組成は沖積水田土壌では地形、母材および上流地質に支配されている。そこで、可分解性有機態窒素量の分布図の作成にあたっては、地形図 (第28図) を基本として、簡易分析により求めた可分解性有機態窒素量 (作土: 151 点, 下層土: 85 点作土は約 280ha に 1 点) を利用した。なお、作土の可分解性有機態窒素量の分布図は第29図に示すように 4 段階、下層土のそれは第30図に示すように 3 段階に分け、全体では第31図に示すように 5 段階とした。

収量区分は、庄内地域で最も作付け率の高いササニシキを対象とした。庄内地域の水田土壌に占める利用可能地力窒素量の各区分の割合は以下のとおりである。I: 20%, II: 30%, III: 27%, IV: 8%, V: 15%。これらの結果は地力窒素からみた庄内地域の水田土壌の収量が、全体の 3/4 の面積で $>600\text{kg}/10\text{a}$ であることを示している。事実、1985年から1989年の5カ年の庄内地域の平均反収は $600\text{kg}/10\text{a}$ を越えている。

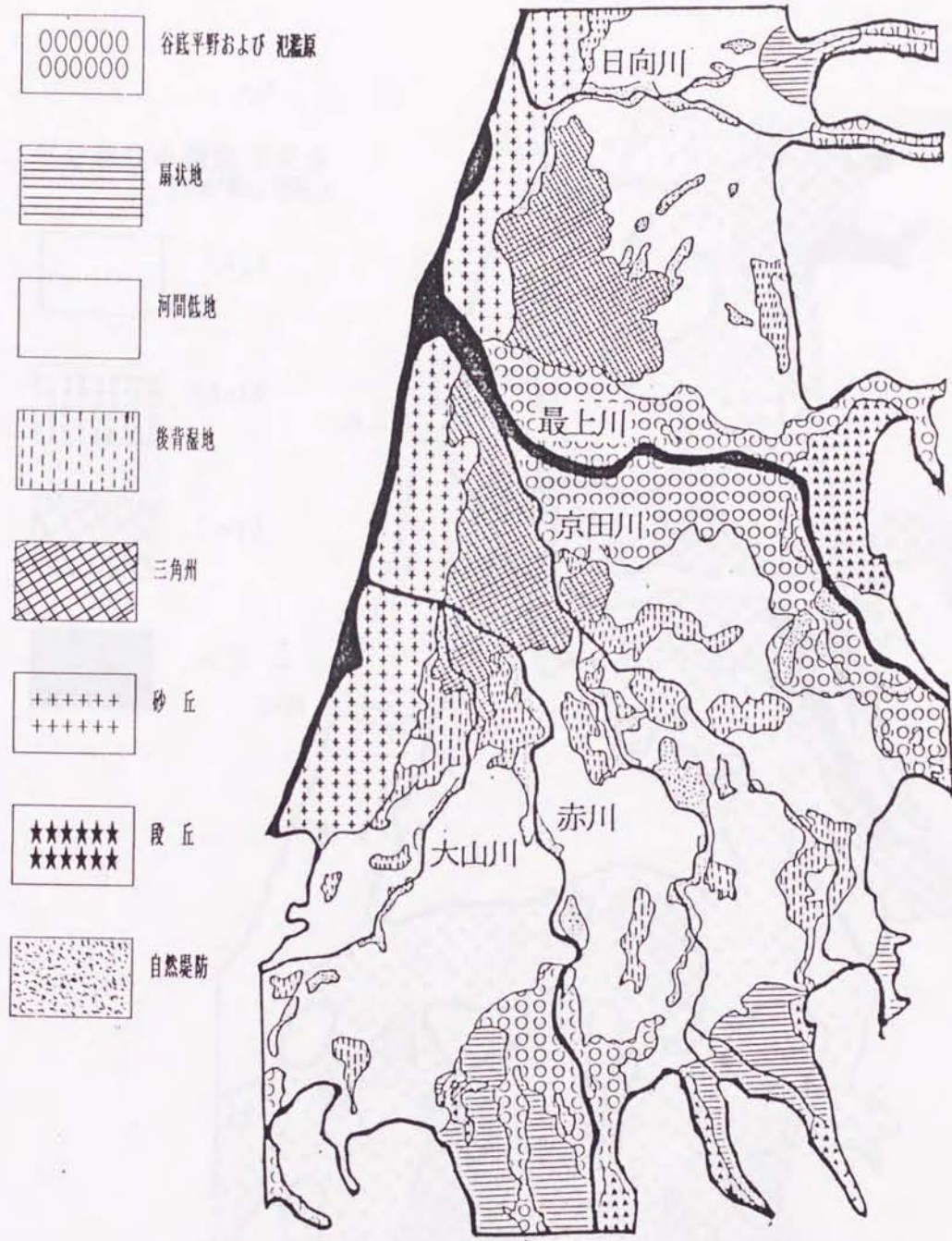
また、庄内各地帯における水稻収量の平均を 4 段階に分けて収量の分布図を作成した (第32図)。収量分布図の作成にあたっては、収量調査地点 (150 点) の平均収量 (1985~1987年) を各農協支所ごとに設定されている地区 (60 地区) ごとの平均収量として地図にプロットした。各地帯の施肥量は農家の慣行によるものである。この収量分布図と可分解性有機態窒素量の分布図を重ね合せて可分解性有機態窒素量と収量の関係 (第25表) を検討したところ、 $>650\text{kg}/10\text{a}$ の収量をあげた地帯の面積が各区分に占める割合は、区分 I, II では 20% をこえている。一方、区分 V では面積の大部分が $<600\text{kg}/10\text{a}$ で庄内地域の平均水稻収量以下の地帯であった。



第26図 陽イオン交換容量と可分解性有機態窒素量の関係

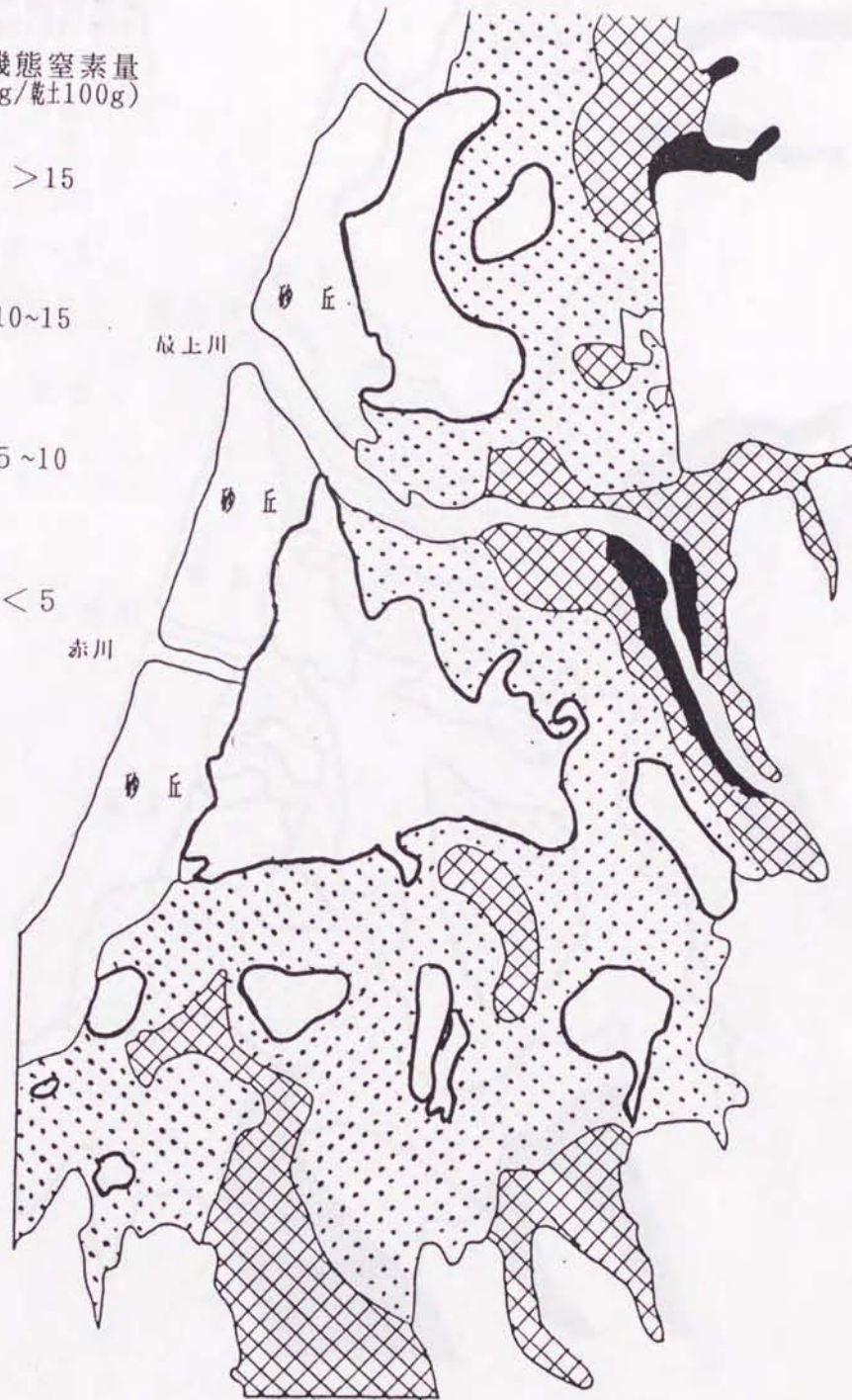
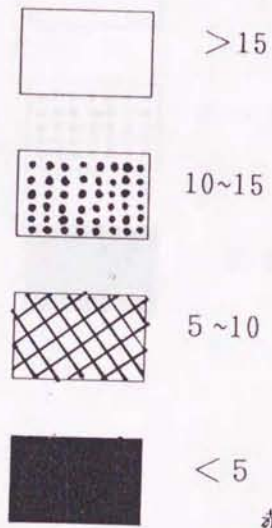


第27図 C E C と粘土含量の関係



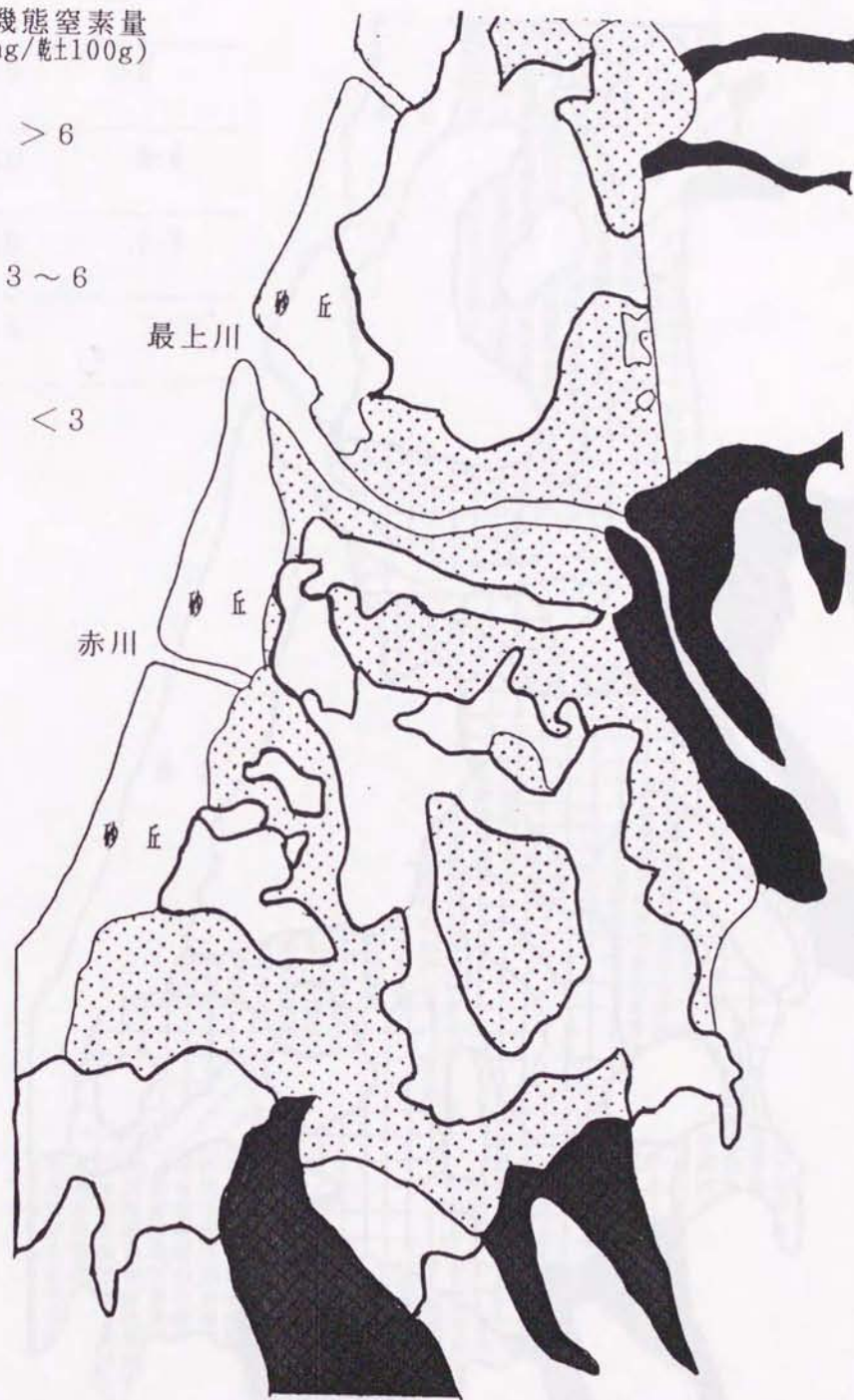
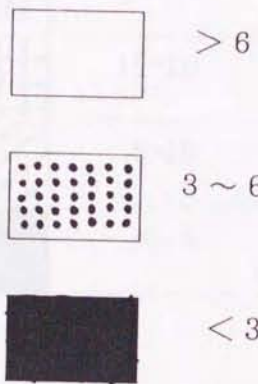
第28図 庄内地域の地形図

可分解性有機態窒素量
(mg/乾土100g)



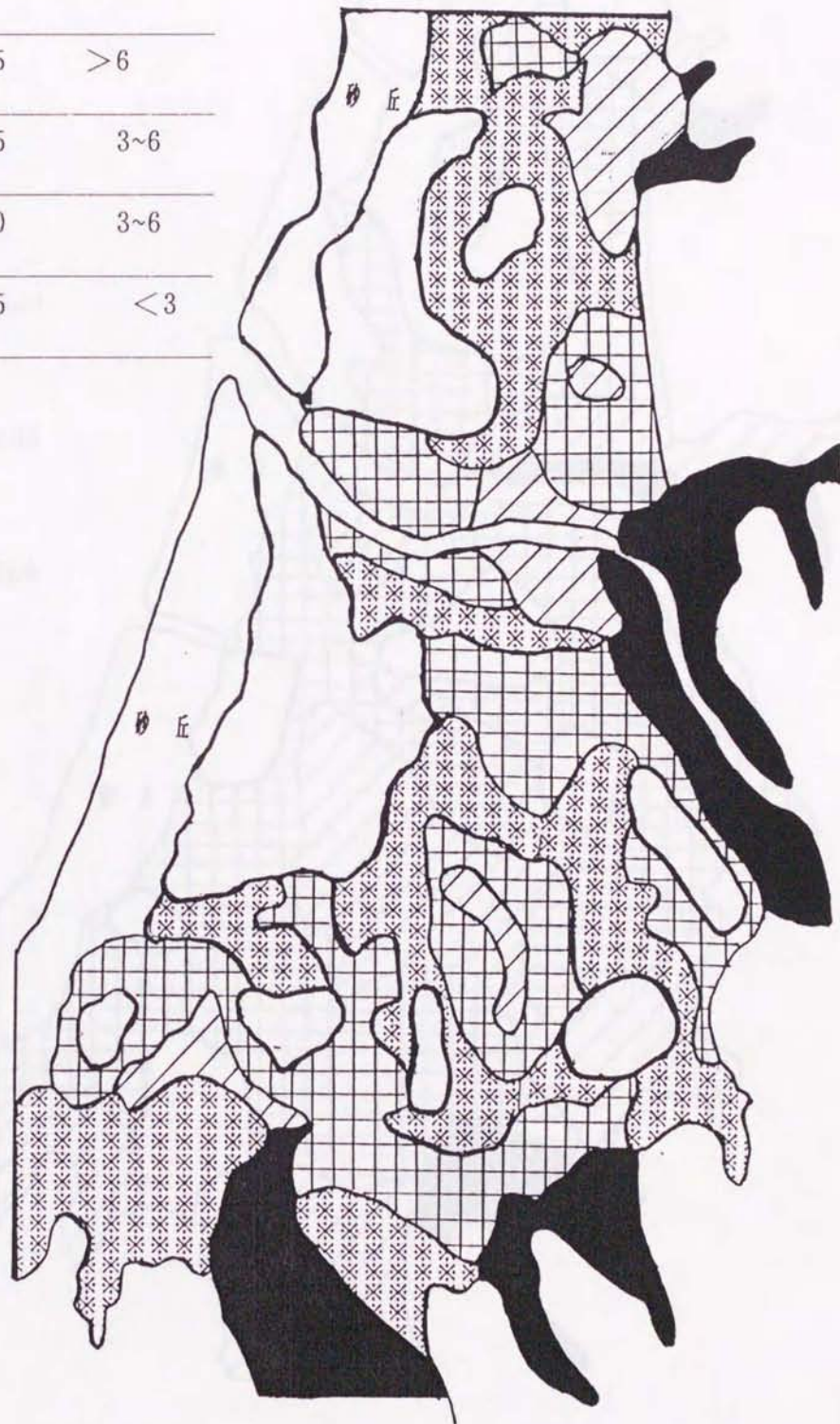
第29図 沖積水田作土の可分解性有機態窒素量の分布図

可分解性有機態窒素量
(mg/乾土100g)

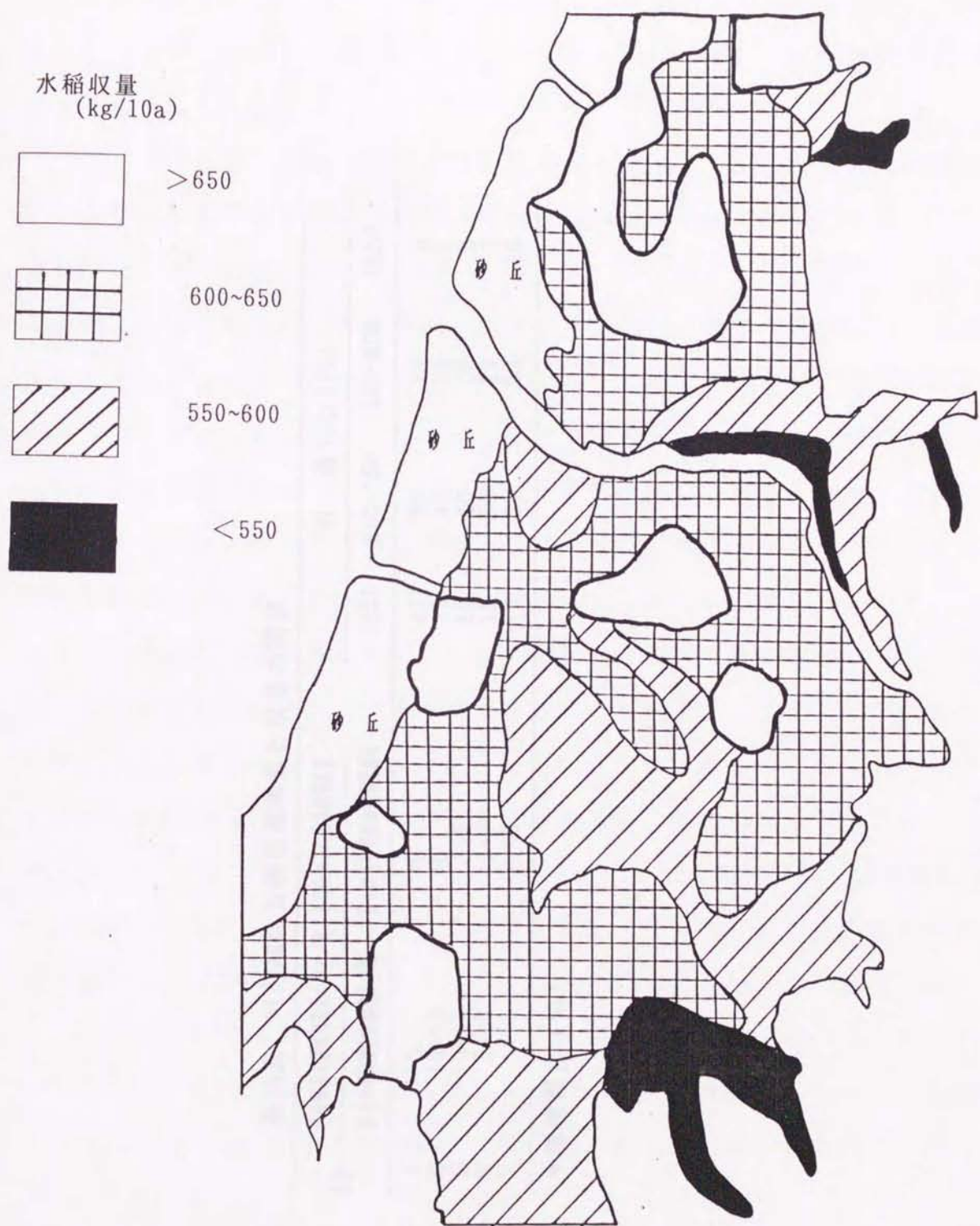


第30図 沖積水田下層土の可分解性有機態窒素量の分布図

区分	可分解性有機態窒素量(mg/乾土100g)	
	作土	下層土
I	>15	>6
II	10~15	>6
III	10~15	3~6
IV	5~10	3~6
V	< 5	< 3



第31図 立体的な（作土と下層土）の可分解性有機態窒素量の分布図



第32図 庄内地域の水稻収量の分布図

第25表 可分解性有機態窒素量と収量の関係

区分	可分解性有機態窒素量 (mg/乾土100g) による地帯区分		収量 (kg/10a)			
	作土の可分解性有機態窒素量	下層土の可分解性有機態窒素量	>650	600~650	550~600	<550
I	>15	>6	27*	56	17	0
II	10~15	>6	22	45	32	1
III	10~15	3~6	10	60	25	5
IV	5~10	3~6	10	56	29	5
V	<5	<3	0	22	53	26

*面積割合 (%)

4. 考察

地力窒素の無機化に関する情報は、点における解析であれば、かなり有効である。しかし、実際の地域における稲作を安定化させるためには面的な広がりをもった情報が必要である。

そこで、速度論的解析に基づく簡易推定法を利用して地力窒素無機化量と水稻の生育・収量への影響の程度並びに地域への地力窒素の無機化情報の拡大の可能性について検討した。

供試した庄内地域における作土および下層土の可分解性有機態窒素量の分布をみると、飽海地域>田川地域であった。この原因として母材の違いが考えられる（飽海地域：安山岩，田川地域：花こう岩）。さらに、各地域間における可分解性有機態窒素量のバラツキは地形の影響を受けていると考えられる。また、作土および下層土の可分解性有機態窒素量と収量の関係から、作土の可分解性有機態窒素量が15mg/乾土100g，下層土のそれは6mg/乾土100gまでは、可分解性有機態窒素量に対応して、収量が増加する傾向であるとともに、可分解性有機態窒素量が高い方が収量的にも安定している傾向であった。このような結果を示した理由として次のことが考えられる。すなわち、庄内地域における水稻収量が700kg/10a程度の時期別窒素吸収量は、移植期から6月下旬まで4.6kg/10a，7月上旬から出穂期まで5.8kg/10a，そして出穂期から成熟期まで2.6kg/10aであった¹¹⁷⁾。このうち施肥窒素に由来する部分は、基肥窒素および追肥窒素（生育中期）の利用率⁷⁸⁾をそれぞれ30%，50%，施肥量をそれぞれ6，3kg/10aとして求めると、それぞれ1.8kg/10a, 1.5kg/10aとなる。基肥窒素の吸収は東北地方では6月下旬に終了する⁷⁸⁾こと、追肥窒素の吸収は短期間（7～10日間）に終了することから、各時期に水稻が必要とする地力窒素は以下のようなになる。

移植～6月下旬：2.8kg/10a(水稻による全窒素吸収量－施肥窒素吸収量：

4.6kg/10a-1.8kg/10a)

7月上旬～出穂期：4.3kg/10a(5.8kg/10a-1.5kg/10a)

出穂期～成熟期：2.6kg/10a

一方、作土の可分解性有機態窒素量が15mg/乾土100g、下層土のそれが6mg/乾土100gの場合、水稻が利用可能な時期別地力窒素無機化量は、移植～6月下旬、7月上旬～出穂期および出穂期～成熟期で、それぞれ3kg/10a、6.2kg/10aおよび2.7kg/10aである。なお、利用可能な時期別地力窒素無機化量は、地力窒素の水稻による利用率を6月下旬まで30%、7月以降を70%とし^{7,8)}、作土深、下層土深をそれぞれ15cm、10cm、仮比重を山形農試庄内支場の値の0.76g/cm³として求めた。また、地温は山形農試庄内支場の1986年度の5cm地温を、活性化エネルギー、無機化速度定数は供試土壌の平均値を用いて計算した。

前述した結果は、700kg/10a程度の水稻収量をあげるのに十分な窒素が土壤から供給されていることを示している。逆に、作土の可分解性有機態窒素量が<15mg/乾土100g、下層土のそれが<6mg/乾土100g水田では、700kg/10a程度の収量をあげるには追肥などにより必要な窒素を供給しなければならないことを示している。

次に、収量を構成している要素と可分解性有機態窒素量^{5,3)}との関係について考察する。一般に水稻の収量は、収量 = m²当りもみ数 (m²当り穂数 × 1穂もみ数) × 登熟歩合 × 千粒重で示される。これらの要素の中で、比較的変動係数が大きい要素は、m²当りもみ数、登熟歩合である。また、単位面積当たりの粒数は、穎花分化終期ないし出穂期の窒素吸収量と相関があることが認められている^{10,9)}。したがって、穂数、施肥量が同一のときは、穎花分化終期ないし出穂期までの総地力窒素 (作土 + 下層土) の無機化量が1穂粒数を決めることになる。年次により回帰式が異なるのは (第24図)、気象条件を反映しているためである。1986年は平年に比べて生育初期は低温に経過した。一方、1987年は高温に経過した。生育初期に高温に経過することは、地力窒素の無機化が早くからおき、生育中期の無機化量は平年に比べて相対的に少なくなることが考えられる。このような理由から年次により可分解性有機態窒素量と1穂粒数の関係が異なったものと考えられる。

登熟歩合についても、作土と下層土の可分解性有機態窒素量の含量との間に正の相関が認められた (第25図)。穎花への炭水化物の供給源は、出穂前の蓄

積と、登熟期間中の光合成産物の二つであり、後者が穎花中の全炭水化物の6～8割を占める¹⁴⁾。同一気象条件下では、光合成能力は葉身の窒素濃度と密接に関係しているため、登熟歩合を高めるためには、登熟期間中の稲体の窒素濃度を維持する必要がある¹⁰⁾。作土と下層土の可分解性有機態窒素量の含量が大きい水田土壌では、登熟期間中の地力窒素の無機化量が相対的に大きい。したがって、作土と下層土の可分解性有機態窒素量の含量が大きい水田土壌では、葉身中の窒素濃度も高く、光合成活性が高くなり、結果として登熟歩合が高くなったものと考えられる。

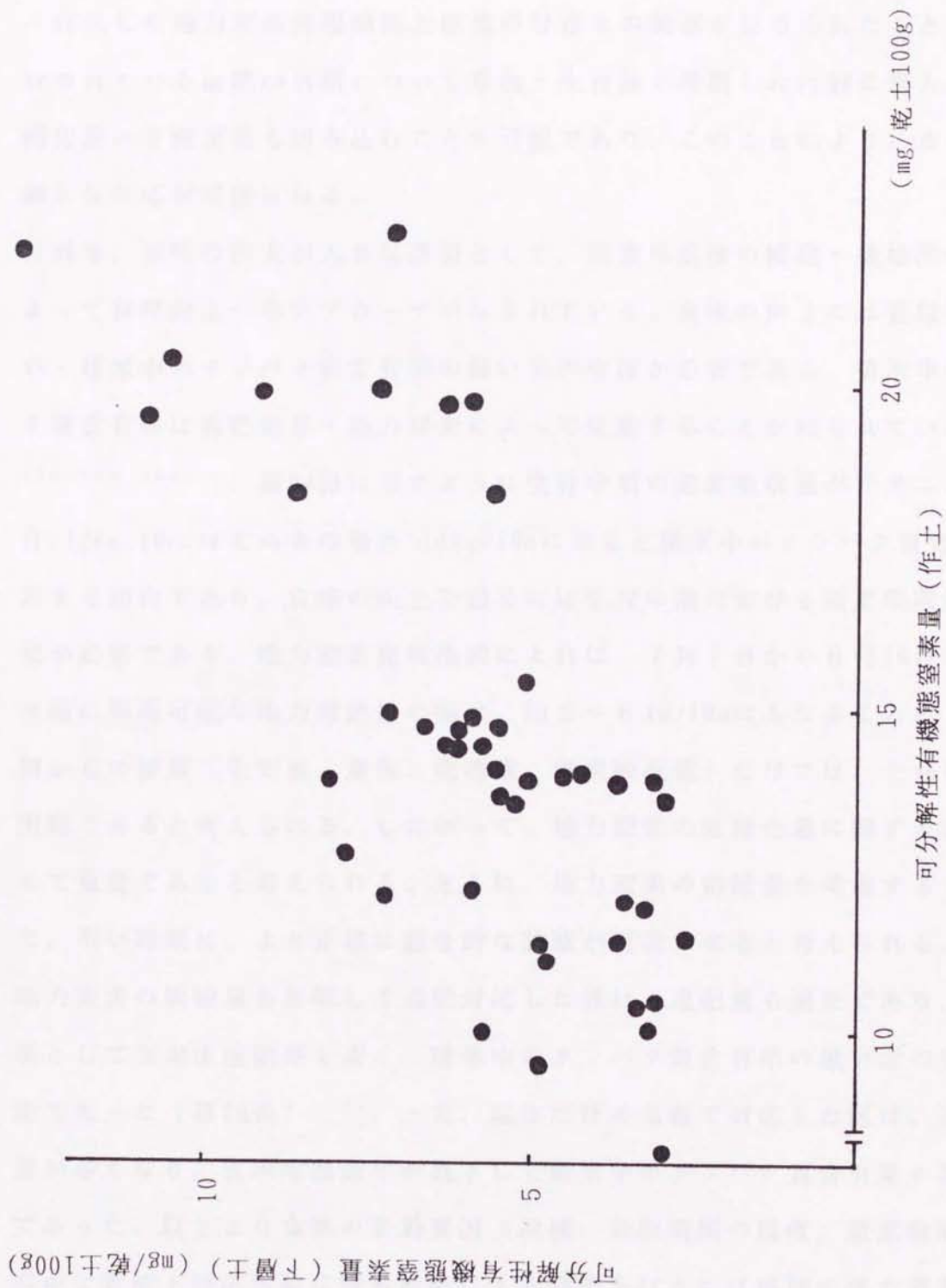
収量構成要素のうち、千粒重は品種の遺伝的特性が強いとされる¹²⁾。一方、栽培的要因によって変えうる収量構成要素は、穂数、1穂粒数および登熟歩合である。栽培的要因がほぼ同一（施肥量、最高茎数が同一）の条件下では、穂数（有効茎歩合）は、下層土の可分解性有機態窒素量に、1穂粒数および登熟歩合は作土と下層土の可分解性有機態窒素含量に強く関係し、収量の形成に対する地力窒素の意義が明らかであった。

作土と下層土の可分解性有機態窒素量から地形図を基にして作成した地力窒素発現地図が、収量の分布図と密接な関係が認められたことは、速度論的な解析による可分解性有機態窒素量の有用性が明らかになり現場における実用的な利用が可能であることを示している。また、地力窒素の評価にあたっては作土だけでなく下層土も考慮することにより水稻の収量形成に対する説明をより正確にし、精度の高い地力窒素発現地図の作成を可能なものとする。このように、比較的精度の高い地力窒素発現地図が作成された要因としては、①同じ土壌タイプであること（グライ土壌：70%）、②地形的にみると比較的単純な広がりになっていること、③黒ボク土壌の影響が少ないこと（黒ボク土壌の場合、活性アルミニウムの量により有機物の分解抵抗性が異なり、地力窒素の無機化に及ぼす影響が異なる）等が考えられる。

作土の可分解性有機態窒素量の分布を地形や土性等の関連で見ると次のように整理される。①可分解性有機態窒素量の値が $>15\text{mg}/\text{乾土}100\text{g}$ と高い地域は、最上川、赤川、日向川の三角州とそれに接する後背湿地に分布した。一部上流

域の河と河の間（河間低地）にも認められた。これは、二つの河の氾濫土砂の接点であり、よどみと呼ばれる粘土質の地帯と考えられる。②庄内地域の水田の大部分を占める河間低地は10~15mg/乾土100gの値を示した。③可分解性有機態窒素量の値が、5~10mg/乾土100gの地域は、河川が山地から平地にそそぐ山麓線いわゆる扇状地と河間低地に分布する粗粒質の地帯と河川中流の河沿いの地帯であった。④可分解性有機態窒素量が<5mg/乾土100gと低い値を示す地域は、河川上流の河沿いの地帯であった。土性が砂質な土壤から粘土質な土壤に変化するにつれて可分解性有機態窒素量が高くなる傾向が認められた。一方、下層土の場合も作土と同様に、地形的には河川の上流域から下流域に移るにつれて可分解性有機態窒素量の値が大きくなる傾向であった。また、作土の可分解性有機態窒素量が高いと下層土のそれも高い傾向が認められた（第33図）。これらのことから、庄内地域の場合、大部分の水田で稲わら全量土壤還元という有機物供給方式が共通であるので、地力窒素の供給に1番大きな影響を与えている要因は土性であるといえる。

この点について、吉野・出井¹²⁶⁾は、土壤中の窒素の無機化量は、全窒素、CEC、交換性石灰含量、遊離鉄などを独立変数とする重回帰式で表されることを示した。廣川・北川²⁰⁾はモンモリロナイトとパーミキュライト等の膨張性2:1型粘土鉱物の含量がその土壤の窒素無機化と高い相関があることを報告した。これらのことは、地力窒素の供給量が、粘土鉱物の種類やCECと密接に関係していることを示している。さらに、深山ら⁵⁵⁾は、千葉県において、水稻の生育（穂数）等が、土性に大きく影響すること、土性が肥効発現パターンに大きく影響を及ぼしていることを指摘している。すなわち粘土質の方が、砂土・壤土質よりも安定して高い水稻収量を保証する。また、松尾⁵²⁾も、土壤の粒径組成が水稻の生育相や収量に影響をおよぼすことを報告している。このことは、土壤の粒径組成は物理的にみれば、透水性・通気性等の作物の生育適性を支配する性質、化学的にみれば養分保持能・養分の天然供給量等の土壤の肥沃性に関する性質と密接に関与していることによると考えられる。したがって、土壤の生成過程が同一の地域では、粒径組成と可分解性有機態窒素量の関



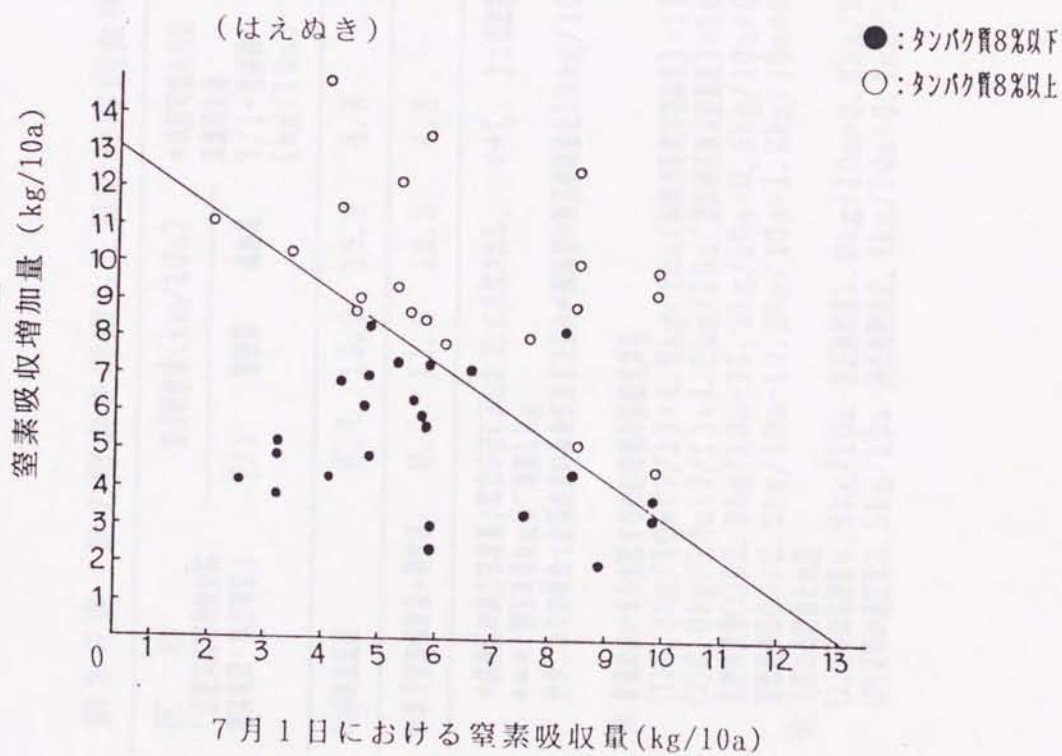
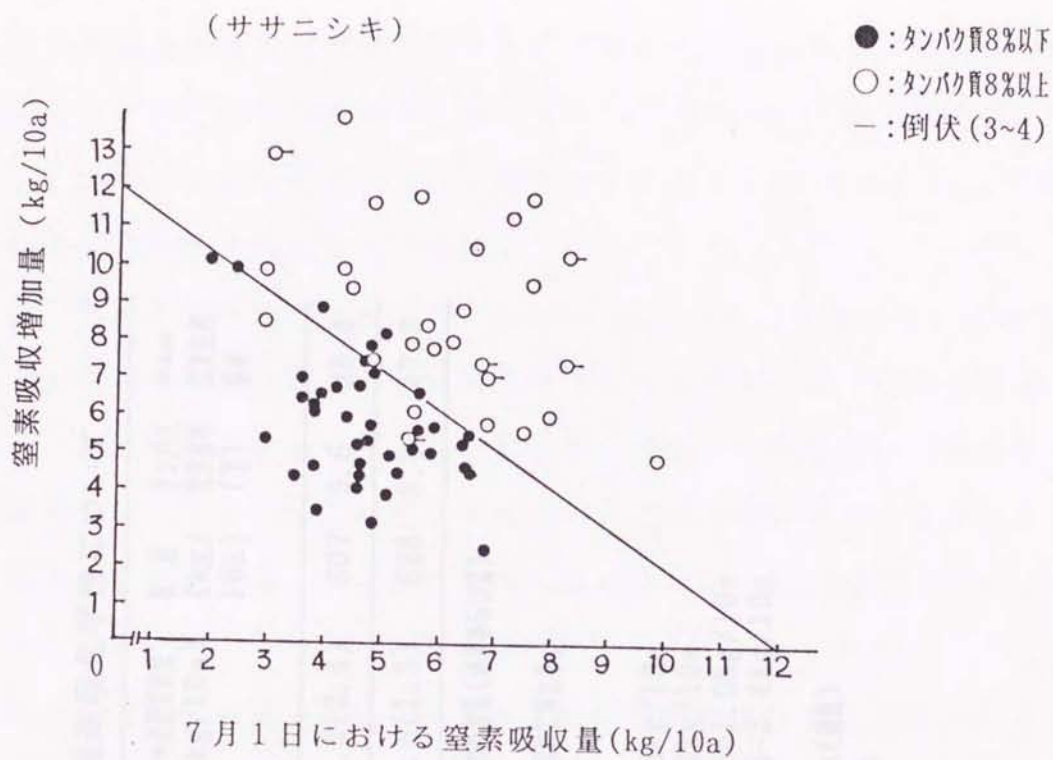
第33図 作土の可分解性有機態窒素量と下層土の可分解性有機態窒素量の関係

連が認められ、可分解性有機態窒素量地図の作成の意義とその有効性を支持すると考えられる。

作成した地力窒素発現地図と収量の分布との関連が認められたことは、現在行われている追肥の判断について葉色・生育量で判断した内容に地力窒素の無機化量の予測情報も組み込むことが可能であり、このことにより、さらにきめ細かな対応が可能になる。

近年、食味の向上が大きな課題として、良食味品種の開発・栽培法の改善によって食味向上へのアプローチがなされている。食味の向上には整粒歩合の高い・精米中のタンパク質含有率の低い米の生産が必要である。精米中のタンパク質含有率は追肥窒素・地力窒素によって変動することが知られている^{24, 25, 102, 103, 104}。第34図に示すように生育中期の窒素吸収量がササニシキの場合 $>12\text{kg}/10\text{a}$ 、はえぬきの場合 $>13\text{kg}/10\text{a}$ になると精米中のタンパク質含有率が高まる傾向であり、食味の向上を図るには生育中期における窒素吸収量の適正化が必要である。地力窒素発現地図によれば、7月1日から8月10日における水稻に利用可能な地力窒素量の幅は、約2～6 kg/10aにもなることから、稲の側からの情報（生育量、葉色、乾物重、窒素吸収量）だけでは、十分な制御は困難であると考えられる。したがって、地力窒素の無機化量に関する情報は極めて重要であると考えられる。さらに、地力窒素の供給量を考慮することによって、早い時期に、より正確に総合的な診断が可能になると考えられる。実際、地力窒素の供給量も加味して追肥対応した区は、追肥量も適正であり、その結果として玄米生産能率も高く、精米中のタンパク質含有率の低い米の生産が可能であった（第26表）¹¹⁵。一方、稲体だけの情報で対応した区は、追肥窒素量が多くなり、玄米生産能率が低下して精米中のタンパク質含有率の高い傾向であった。以上より食味の変動要因（品種、登熟期間の温度、窒素吸収量等）の中で栽培上対応可能な窒素施肥による制御を行うには地域の地力窒素供給量（作土、下層土）を考慮して対応することが必要であり、地力窒素発現地図の普及の意義があると考えられる。

5. 要約



第34図 7月1日における窒素吸収量と7月1日から穂揃期の窒素吸収増加量の関係

第26表 地力窒素を考慮した追肥対応別食味関連連理化学性について

区名 「追肥対応材料断要因」 稲体状況・地力窒素	窒素吸収量(kg/10a)		*利用可能地力窒素 素無機化量 7/1~穂揃期 (kg/10a)	**追肥窒素量 (kg/10a)	収量 (kg/ 10a)	タンパク 質含有率 (%)	*** 玄米生産 能率	
	7/1	穂揃期 成熟期						
(1)稲体状況区	6.7	13.9	15.8	4.8	4.8(2.4)	607	9.6	38.4
(2)地力窒素無機量+稲体区	6.0	11.9	13.3	4.8	2.5(1.3)	628	8.0	47.2

*試験区の地力窒素量：第25表に示したIIに分類される。 ** ()：追肥窒素の吸収量(利用率50%)

***：精玄米重kg/窒素1kg

ササニシキの場合：食味のよい米を生産する条件⇒穂揃期の窒素吸収量を12kg/10a以内に抑える。

※ 食味のよい米を生産するのに必要な追肥窒素量

(1) 6.7kg/10a(7/1)+4.8kg/10a(稲体利用地力窒素量)=11.5kg/10a

(2) 6.0kg/10a(7/1)+4.8kg/10a(稲体利用地力窒素量)=10.8kg/10a

追肥窒素量(1)12.0kg/10a-11.5kg/10a=0.5kg/10a÷0.5=1.0kg/10a

追肥窒素量(2)12.0kg/10a-10.8kg/10a=1.2kg/10a÷0.5=2.4kg/10a

※ 実際の追肥量との差

(1) 実際の追肥量4.8kg/10a-適正追肥量1.0kg/10a=3.8kg/10a(過剰)

(2) 実際の追肥量2.5kg/10a-適正追肥量2.4kg/10a=0.1kg/10a

山形県庄内地域の水田土壌の作土と下層土の可分解性有機態窒素量を簡易分析法により求め、水稻の生育・収量との関係を明らかにした。さらに、可分解性有機態窒素量の分布図を作成した。得られた結果は以下のとおりであった。

①作土の可分解性有機態窒素量は、8.7~21.6mg/乾土100gであり、平均14.4mg/乾土100gであった。一方、下層土のそれは、2.5~14.8mg/乾土100gであり、平均5.7mg/乾土100gであった。

②可分解性有機態窒素量が作土で15mg/乾土100g、下層土6mg/乾土100gまでは、可分解性有機態窒素量の増加につれて収量が増加した。最高茎数がほぼ同一条件の圃場での下層土の可分解性有機態窒素量と有効茎歩合の間には正の相関が認められた。さらに、穂数がほぼ同一条件のとき、作土と下層土の可分解性有機態窒素量の合量と1穂粒数および登熟歩合との間にはそれぞれ正の相関が認められた。

③可分解性有機態窒素量の大小による区分別分布面積と収量レベル別分布面積の間には密接な関係が認められた。