

茨城県における火山灰畑地土壌統の化学的性質の主成分分析*

石川昌男・津田公男・須田清隆^{**}・石川 実

茨城県の火山灰畑土壌の化学的性質のパターンを明らかにするとともに、これまで設定してきた土壌統の分類が断面形態だけでなく、化学的性質のパターンからみても妥当なものであるかどうかについて、主成分分析法を用いて検討した。

主成分分析法は多数の特性値を座標軸の変換により少数の総合特性値（主成分）に要約し、さらに各個体（土壌）を主成分の値によって分類することができる。なお、座標軸の変換にあたっては情報のロスをなるべく小さくしなければならない。

主成分もとの特性値との間には次式が成り立つ。

$$Z_k = \ell_{k1}x_1 + \ell_{k2}x_2 + \cdots + \ell_{kn}x_n$$

ここで、 Z_k ：第 k 主成分、 ℓ_{kn} ： n 番目の固有ベクトル、 x_n ： n 番目の特性値（ただし基準化した値）

主成分分析には 205 点の火山灰畑土壌について、作土、次層土の風乾水分、 pH 、 γ_1 、全炭素、全窒素、塩基置換要量およびリン酸吸収係数の計 14 特性値を用いた。得られた結果はつぎのとおりである。

(1) 14 特性値を 4 主成分に要約しても情報のロスは約 30% にとどまった。換言すれば 4 主成分だけで 14 特性値の全情報の 70% を説明できることを示している。

(2) 作土および次層土は各主成分に対してほぼ同じように寄与し、両者を分けて考える必要のないことを示している。

(3) 第 1 主成分は全炭素、第 2 主成分は風乾水分とリン酸吸収係数、第 3 主成分は塩基置換容量、 pH 、 γ_1 、第 4 主成分は全窒素の寄与が大きい。

(4) 要約された主成分によって土壌の化学的性質のパターンを求めた結果、土壌統ごとに特有のパターンが認められ、これまで設定してきた土壌統分類は化学的性質の特徴からみても妥当なものであることを認めた。

(5) また類似したパターンを示す土壌統を土壌統群としてまとめ、4 つのタイプに大別した。

(6) これらの知見をもとにして、土壌統相互の関連性や土地利用および対策等について考察を加えた。

はじめに

筆者らは昭和 34 年から茨城県内の農耕地について地力保全基本調査を行ない、多数の土壌統を設定してきた。土壌統とは母材、堆積様式がほぼ同一に考えられ、生成学的にほぼ同一の断面形態をもった一群の土壌である。¹⁾したがって同一の土壌統に属する土壌は、断面形態のみでなく、基本的な理化学的性質も類似しているものと推定される。しかしながら、断面形態と理化学性との対

応について統計的に検討されたものは少ない。

その理由として(1) これまでは各土壌統ごとに統計的に解析できるほどのサンプル数が得られなかったこと。(2) また、仮にサンプル数が得られたとしても、各統間の 2、3 の特性値（たとえば腐植、 pH などの測定値）をそれぞれ比較することはできても、土壌のもつ多数の特性値をすべて考慮に入れて、総合的に土壌の性質を比較検討することがむづかしかったことなどが考えられる。

しかしながら、第 2 の難点は主成分分析法²⁾³⁾を利用することによって解決することができると考えられる。すなわち、主成分分析法は多数の特性値を座標軸の変換

* 本研究の一部は 1970 年日本土壌肥料学会において発表した。

** 現・美野里地区農業改良普及所

によって、少数の総合特性値(主成分)に要約し、さらに各個体(個々の土壌)を主成分の値によって、いくつかのタイプに分類しようとする方法であり、上記の検討に適していると思われる。

筆者らは、さきに茨城県の火山灰畑土壌について、その概略を報告したが、⁴⁾ 本報では、主成分分析法を用いて、火山灰畑土壌の化学性のパターンを知ると同時に、これまで分類してきた土壌統が断面形態だけでなく、化学性の面でも固有のパターンを示すかどうかを明らかにし、それによって土壌統分類の妥当性について検討しようとした。さらにその結果にもとづいて、土壌統間の相互関連性など、2, 3の考察を試みたので、ここに報告する。

I 資料および方法

本報告に用いた資料は昭和34~42年にわたって行なわれた地力保全基本調査による火山灰畑土壌の分析データである。なお、ここでいう火山灰土壌とは地力保全基本調査法にもとづき、リン酸吸収係数1500以上で、火山灰土の性質をもつ土壌を指す。試料を採取した地域は、ほぼ茨城県全県におよび、県内の代表的畑作地帯を網らしている。

まず、42年までに分析に供した全土壌について、土壌統別に理化学的特性値について土壌統別に理化学的特性値の平均値と標準偏差を算出した。つぎに、これらの特性値のうち、もっともよく分析されている7項目をえらび、欠測値がなく、データがそろっているサンプル205点について、各特性値間の相関を求め、さらに主成分分析を行った。

相関および主成分分析に用いた特性値は、1点について、作土および次層土の風乾水分、 $pH(H_2O)$ 、 y_1 、全炭素、全窒素、塩基置換容量、リン酸吸収係数の7項目、計14特性値である。なお、これら各項目の分析は地力保全調査要領によった。

また、これらのデータの主成分分析は農林研究計算センター所有のプログラムSTATO-30(使用計算機はTOSBAC 3400C)を使用して行なった。

II 結果

1 火山灰畑土壌統と化学的特性値

茨城県の火山灰畑土壌は地力保全基本調査要領にもとづいて、第1表のように11土壌統に分類されている。

また各土壌統の化学的特性値は第2表のとおりである。

これによれば、全炭素は舟木、内原、大沼、鯉淵統がもっとも多く、城ノ内統は少なく、その他の統はこれらの中間である。リン酸吸収係数は小幡統がもっとも小さく、大原統がこれにつき、その他の土壌統は大きい。このように茨城県の火山灰畑土壌は、全炭素(腐植)含量と礫土性の強弱によって、いくつかの群に大別できるようなのである。

2 化学的特性値間の相関

前述した205点の土壌について、14特性値間の相関をみたが、その結果は第3表のとおりである。この表から、つぎのようなことがうかがわれる。

すなわち(1) 作土と次層土の同一特性値間には有意な正の相関があり、次層土の化学性は作土のそれとよく類似していることを示している。(2) 作土、次層土の各特性値間の相関関係は、第1図のように模式化することができる。すなわち作土、次層土とも共通に有意な相関が認められるのは、風乾水分—リン酸吸収係数、全窒素—全炭素—塩基置換容量および $pH-y_1$ である。(3) また同図から明らかのように、作土においては全炭素が各特性値の中心的な位置にあり、各特性値は全炭素と相互に関連し合いながら変動していることがうかがわれる。

3 主成分分析

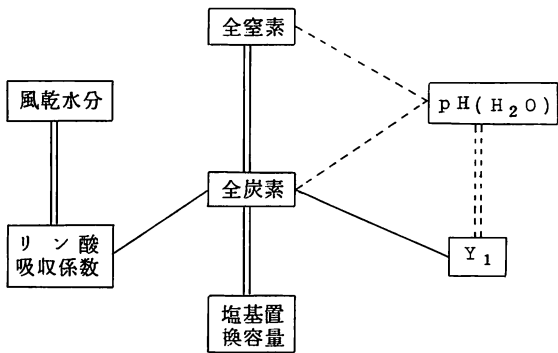
205点の14特性値を用いて主成分分析を行なったが、その結果14特性値は①式のような $Z_1 \sim Z_4$ の4主成分に要約された。

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= 0.14x_1 - 0.16x_2 + \dots + 0.27x_{14} \\ Z_2 &= 0.45x_1 + 0.10x_2 + \dots + 0.44x_{14} \\ Z_3 &= 0.01x_1 + 0.47x_2 + \dots - 0.10x_{14} \\ Z_4 &= -0.01x_1 + 0.05x_2 + \dots - 0.04x_{14} \end{aligned} \right\} \text{①}$$

ここで①式の $x_1 \sim x_{14}$ は各特性値から平均値を引き、標準偏差で割るという基準化をほどこした値であり、また係数は第4表に示される各特性値の固有ベクトルの値である。これは各主成分に対する各特性値の重みをあらわす値である。さらに第4表の固有値は主成分の分散を示すが、主成分分析法では、この固有値の大きい順に主成分の順位をきめてゆく。そしてこれら主成分は互に直交する性質がある。

第4表の最下欄の寄与率は全固有値(この場合14)に対する各主成分の固有値の比率を%で示したものであ

茨城県における火山灰畑地土壌統の化学的性質の主成分分析



——— 作土，次層土とも正の相関関係
 —— 作土のみ正の相関関係
 ===== 作土，次層土とも負の相関関係
 - - - - - 次層土のみ負の相関関係

第1図 相関関係を示す模式図

り、その値は全情報のうちの何%が説明されるかを意味している。累積寄与率は Z_1 から Z_4 までの寄与率を累積した値である。すなわち、この累積寄与率から、第1主成分 Z_1 では14特性値のもつ全情報のうち25%が説明され、第4主成分 Z_4 まで用いれば70%までが説明されることを示している。

さらに最右欄の $Z_1 \sim Z_4$ の寄与率は個々の特性値に対する4主成分の寄与率であり、作土の風乾水分は4主成分によって57%しか説明されないのに対し、全窒素は約90%も説明されることを示している。

1) 主成分の内容

つぎにこれら4主成分の内容について検討する。

第1主成分(Z_1): Z_1 の係数をみると作土，次層土とも全炭素がもつとも大きな重みをもって Z_1 に寄与し

第1表 土壌統の分類

土壌統	色層序	腐植層序	礫層および砂礫層	酸化沈積物	土性		堆積様式	母材
					作土	次層土		
城ノ内	$\frac{YR}{YR}$	腐植層なし	なし	なし	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
宮ヶ崎(1)	$\frac{YR}{YR}$	表層腐植層 (30cm以内)	なし	なし	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
宮ヶ崎(2)	$\frac{YR}{YR}$	表層腐植層 (30~50cm)	なし	なし	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
芹沢	$\frac{YR}{YR}$	表層腐植層 (30~50cm)	なし	あり	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
大原	$\frac{YR}{YR}$	全層腐植層 (50cm以上)	なし	なし	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
十里	$\frac{YR}{YR}$	全層腐植層 (50cm以上)	なし	あり	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
舟木	$\frac{YR}{YR}$	表層多腐植層 (50cm以内)	なし	なし	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
大沼	$\frac{YR}{YR}$	表層多腐植層 (50cm以内)	なし	あり	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
内原	$\frac{YR}{YR}$	全層多腐植層 (50cm以上)	なし	なし	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
鯉淵	$\frac{YR}{YR}$	全層多腐植層 (50cm以上)	なし	あり	中粒質	中粒質	風積	非固結火成岩
小幡	$\frac{YR}{YR}$	全層腐植層 (50cm以上)	なし	なし	中粒質	中粒質	再堆積	非固結火成岩 非固結水成岩 が混入

第2表 土壌統の特性値

統名	層位	全炭素 (%)	全窒素 (%)	pH (H ₂ O)	Y ₁	塩基置換容量 (me)	置換性塩基*(mg)			石灰飽和度 (%)	リン酸吸収係数	トルオグ法有効 リ(%)	容積重 (g)
							CaO	MgO	K ₂ O				
城ノ内	作土	3.1±0.7	0.26±0.05	5.3±0.5	2.0±2.0	2.1.0±6.1	192±129	22±15	32±17	34±22	2.025±503	3.7±2.8	64.5±10.0
	次層	1.7±0.8	0.21±0.07	6.0±0.4	0.1±0.1	1.9.3±5.4	140±109	33±29	19±14	36±19	2.655±940	0.6±0.4	56.6±8.0
宮ヶ崎(2)	作土	4.7±0.8	0.38±0.06	5.4±0.5	2.5±2.1	2.6.0±5.5	201±127	32±30	33±22	36±16	2.149±319	5.1±4.5	61.3±8.3
	次層	3.2±1.2	0.55±0.08	5.7±0.5	2.8±2.8	2.6.2±7.5	226±33	36±29	—	46±18	2.469±419	2.2±1.7	56.0±9.4
宮ヶ崎(1)	作土	4.4±1.1	0.40±0.05	5.5±0.4	1.5±1.7	2.3.5±5.8	243±102	27±20	28±14	36±14	1.883±286	8.0±4.2	62.5±9.1
	次層	4.2±1.2	0.30±0.08	5.9±0.5	0.8±1.1	2.2.9±5.4	302±146	38±26	19±19	43±17	2.126±469	2.4±1.7	54.8±10.3
芹 沢	作土	4.8±0.9	0.42±0.07	5.4±0.5	2.2±2.3	2.4.3±3.0	249±116	31±17	52±54	35±14	2.050±260	10.1±4.6	98.4
	次層	4.2±0.8	0.37±0.06	5.7±0.4	1.1±1.2	2.4.9±3.0	327±143	41±25	43±52	47±20	2.307±344	3.6±3.6	
十 里	作土	5.2±0.7	0.47±0.02	5.8±0.3	1.5±2.5	2.6.5±1.2	382±54	31±13	54±32	48±8	1.890±215	14.8±5.2	72.9
	次層	4.5±1.1	0.41±0.07	6.1±0.1	0.6±0.7	2.5.8±2.4	414±107	28±9	24±14	56±10	1.979±241	2.4±0.7	
舟 木	作土	7.0±0.7	0.49±0.08	5.2±0.4	1.8±1.0	2.9.7±7.5	177±54	27±25	30±14	21±9	2.298±343	5.7±4.9	60.1±4.8
	次層	6.4±1.8	0.42±0.09	5.3±0.4	1.3±1.0	2.7.0±6.5	169±71	10±3	17±7	23±11	2.578±277	1.5±1.5	56.5±7.4
内 原	作土	6.9±0.9	0.47±0.07	5.4±0.6	3.6±2.5	2.6.5±5.6	203±136	23±20	24±18	29±15	2.027±276	7.4±2.7	66.1±5.8
	次層	6.8±1.0	0.43±0.07	5.6±0.5	0.7±0.4	2.9.5±6.4	326±172	30±19	21±15	44±18	2.482±530	2.3±2.8	63.5±11.7
大 沼	作土	7.1±1.8	0.53±0.10	5.3±0.7	4.4±3.3	3.1.1±4.9	258±169	25±19	29±21	28±19	2.126±361	6.6±2.6	63.4±8.4
	次層	6.8±1.9	0.46±0.12	5.4±0.5	1.7±1.6	3.1.8±4.9	166±58	24±18	9±4	28±19	2.362±564	1.1±0.4	57.9±9.9
鯉 淵	作土	7.0±1.4	0.51±0.11	5.2±0.3	4.5±1.8	2.7.7±5.9	208±41	23±20	23±8	27±12	2.156±259	6.1±4.4	62.4±6.7
	次層	6.6±1.1	0.43±0.10	5.6±1.1	0.9±1.0	2.9.0±5.3	292±84	48±36	14±7	32±16	2.421±412	1.9±2.8	55.7±6.8
大 原	作土	4.1±1.1	0.37±0.06	5.5±0.4	1.5±1.2	2.6.0±4.6	310±142	40±34	35±25	44±15	1.699±360	16.1±10.3	70.6±11.6
	次層	4.0±1.0	0.37±0.05	5.8±0.4	0.9±1.0	2.6.6±4.6	342±126	56±38	24±22	47±18	1.954±521	4.9±9.7	66.4±14.6
小 幡	作土	4.1±1.6	0.33±0.03	5.7±0.5	2.7±3.0	2.4.0±4.5	337±101	42±25	42±20	52±21	1.486±291	17.7±8.8	82.3±17.3
	次層	4.6±2.4	0.31±0.15	6.0±0.6	1.5±2.3	2.3.9±7.6	382±105	54±27	22±10	61±25	1.631±568	6.4±3.2	78.6±31.5

注) *印は乾土100g当り

第3表 特性値の平均値, 標準偏差および相関係数

特性値	平均値	標準偏差	変動率 %	相 関 係 数															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1 風乾水分(%)	9.01	2.11	23.4	1															
2 pH (H ₂ O)	5.46	0.46	8.4	0.03	1														
3 Y ₁	2.52	2.72	107.9	-0.14	-0.49*	1													
4 全炭素(%)	5.02	1.72	34.3	0.15	-0.17	0.34*	1												
5 全窒素(%)	0.42	0.36	85.7	0.10	-0.05	0.01	0.23*	1											
6 塩基置換容量(me)	23.61	5.02	21.2	0.05	0.16	0.00	0.51*	0.11	1										
7 リン酸吸収係数	19.35	3.83	19.8	0.43*	-0.09	0.09	0.43*	0.16	0.09	1									
8 風乾水分(%)	7.17	2.85	25.5	0.62*	-0.07	-0.02	0.15	0.02	-0.07	0.33*	1								
9 pH (H ₂ O)	5.81	0.46	7.9	0.05	0.46*	-0.34*	-0.34*	-0.09	-0.05	-0.28*	0.12	1							
10 Y ₁	1.04	1.73	166.3	-0.07	-0.22*	0.33*	0.16	0.03	0.12	0.13	-0.15	-0.56*	1						
11 全炭素(%)	4.11	1.94	47.2	-0.03	-0.10	0.10	0.73*	0.17	0.53*	0.22*	-0.04	-0.41*	0.14	1					
12 全窒素(%)	0.36	0.46	127.8	-0.03	-0.10	0.00	0.16	0.78*	0.08	0.10	-0.06	-0.19	0.09	0.23*	1				
13 塩基置換容量(me)	23.68	5.70	24.1	0.02	0.05	0.02	0.42*	0.05	0.71*	0.04	0.06	-0.10	0.09	0.67*	0.10	1			
14 リン酸吸収係数	22.86	5.22	22.8	0.39*	-0.11	0.10	0.37*	0.13	0.01	0.69*	0.69*	-0.01	-0.00	0.15	0.05	0.08	1		

注) *印は1%水準有意

茨城県における火山灰畑地土壌統の化学的性質の主成分分析

第4表 主成分の係数と寄与率

特性値	主成分				$Z_1 \sim Z_4$ の寄与率(%)
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	
1 風 乾 水 分	0.14	0.45	0.01	-0.01	57
作 2 pH (H ₂ O)	-0.16	0.10	0.47	0.05	58
3 y ₁	0.17	-0.16	-0.39	-0.16	43
4 全 炭 素	0.44	-0.02	0.09	-0.09	72
5 全 窒 素	0.20	-0.00	0.02	0.67	89
土 6 塩基置換容量	0.29	-0.15	0.43	-0.14	76
7 リン酸吸収係数	0.31	0.31	-0.14	-0.01	63
8 風 乾 水 分	0.14	0.51	-0.04	-0.08	74
次 9 pH (H ₂ O)	-0.29	0.24	0.35	0.05	70
10 y ₁	0.20	-0.24	-0.28	-0.11	48
層 11 全 炭 素	0.41	-0.19	0.21	-0.09	79
12 全 窒 素	0.20	-0.09	-0.01	0.66	88
土 13 塩基置換容量	0.30	-0.14	0.40	-0.17	75
14 リン酸吸収係数	0.27	0.44	-0.10	-0.04	77
固 有 値	3.56	2.50	2.05	1.65	
累積寄与率(%)	25	43	58	70	

ており、他の特性有の重みは小さい。したがって Z_1 は全炭素すなわち腐植の寄与の大きい因子である。また pH を除いて係数は正数であり、 Z_1 が正の方向に大きい土壌は全炭素が多く、塩基置換容量、リン酸吸収係数もやや大きく、 y_1 および全窒素がわずかに大きく、pH がやや低い土壌である。これに対して Z_1 が負の方向であれば上とは逆の性質をもつ土壌である。

第2主成分 (Z_2) : Z_2 の係数のうち正数で大きいものは風乾水分とリン酸吸収係数であり、 Z_2 は主としてばん土性の強弱をあらわす因子であると考えられる。その他の特性値の係数は小さく、pH を除いて記号は負である。したがって、 Z_2 が正の方向に大きい土壌はリン酸吸収係数が大きく、 y_1 、塩基置換容量がやや小さい土壌である。

第3主成分 (Z_3) : 両土層とも pH、 y_1 、塩基置換容量の係数が大きく、その他の特性値の係数は小さい。したがって、この Z_3 は塩基の状態をあらわす因子と考えられる。 Z_3 が大きければ塩基置換容量が大きく、pH 高く、 y_1 が小さい土壌である。

第4主成分 (Z_4) : 全窒素の係数のみが大きく、その他の係数は小さい。したがって、 Z_4 は主として窒素の多少をあらわす因子であり、 Z_4 が正の方向に大きい土壌は全窒素含量が多いことを示している。

また作土と次層土は各主成分に対して、ほぼ同じよう

に寄与し、化学性の面では両者を分けて考える必要がないことを示している。

2) 土壌の化学的性質のパターン

前述の①式を用いて205点の土壌について、 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 および Z_4 の値 (これをスコアとよぶ) を計算し、その値を土壌ごとに $Z_1 - Z_2$ 、 $Z_1 - Z_3$ 座標上にプロットした。その結果は第2、3図のとおりである。なお、さきに示した累積寄与率から知られるように、第2図は Z_1 と Z_2 のもつ43%の情報をもとに、また第3図は Z_1 と Z_3 のもつ40%の情報をもとにして求めた図であるということができる。

両図からわかるように、各土壌統の化学性はそれぞれ特有のパターンを示している。さらにいくつかの土壌統のパターンはきわめて類似しており、これら類似している3土壌統をくくれば、4つのタイプの土壌統群に大別できる。すなわち

タイプI : 舟木, 内原, 大沼, 鯉淵統

タイプII : 宮ヶ崎1, 宮ヶ崎2, 芹沢, 十里統

タイプIII : 城ノ内統

タイプIV : 大原, 小幡統

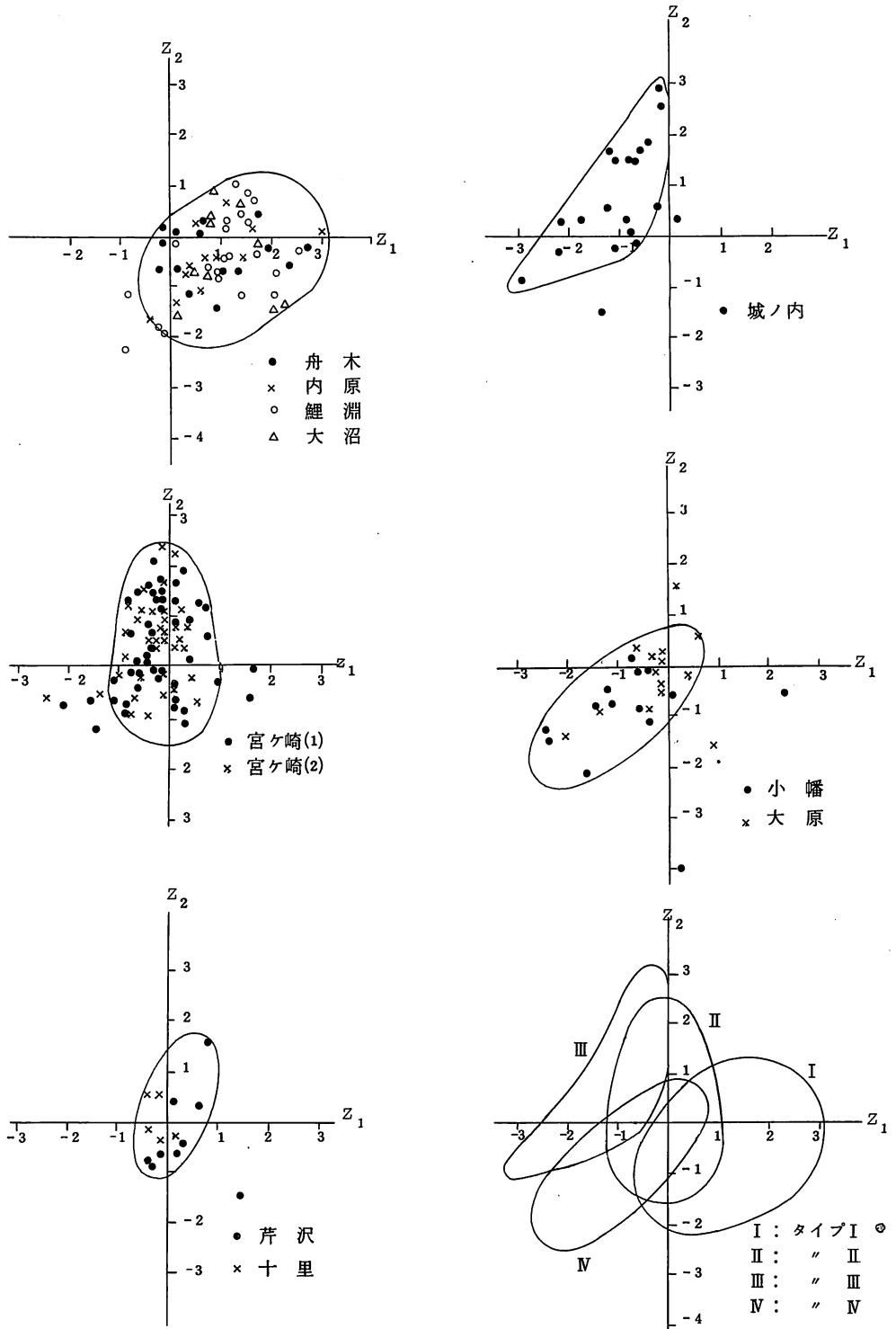
これら各タイプの化学性は各主成分のスコア分布および第2表の特性値からつぎのようにまとめることができる。

タイプIに属する土壌は Z_1 が大部分正の値を示し、腐植含量が多い黒色火山灰土壌である。 Z_2 、 Z_3 は正負半ばしており、分布の巾が広いが、第2表の特性値からみて、ばん土性はやや強く、塩基置換容量、 y_1 が大きく、pH がやや低い土壌である。したがってタイプI はばん土性の強い黒色火山灰土壌統群ということができる。

タイプIIに属する土壌は、 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 とも座標軸の交点を中心に分布しており、腐植含量も平均的な黒褐色火山灰土壌であり、その他の特性値も県内火山灰土壌の平均的性質をもつ土壌である。このタイプはばん土性のつよい黒褐色火山灰土壌統群ということができる。

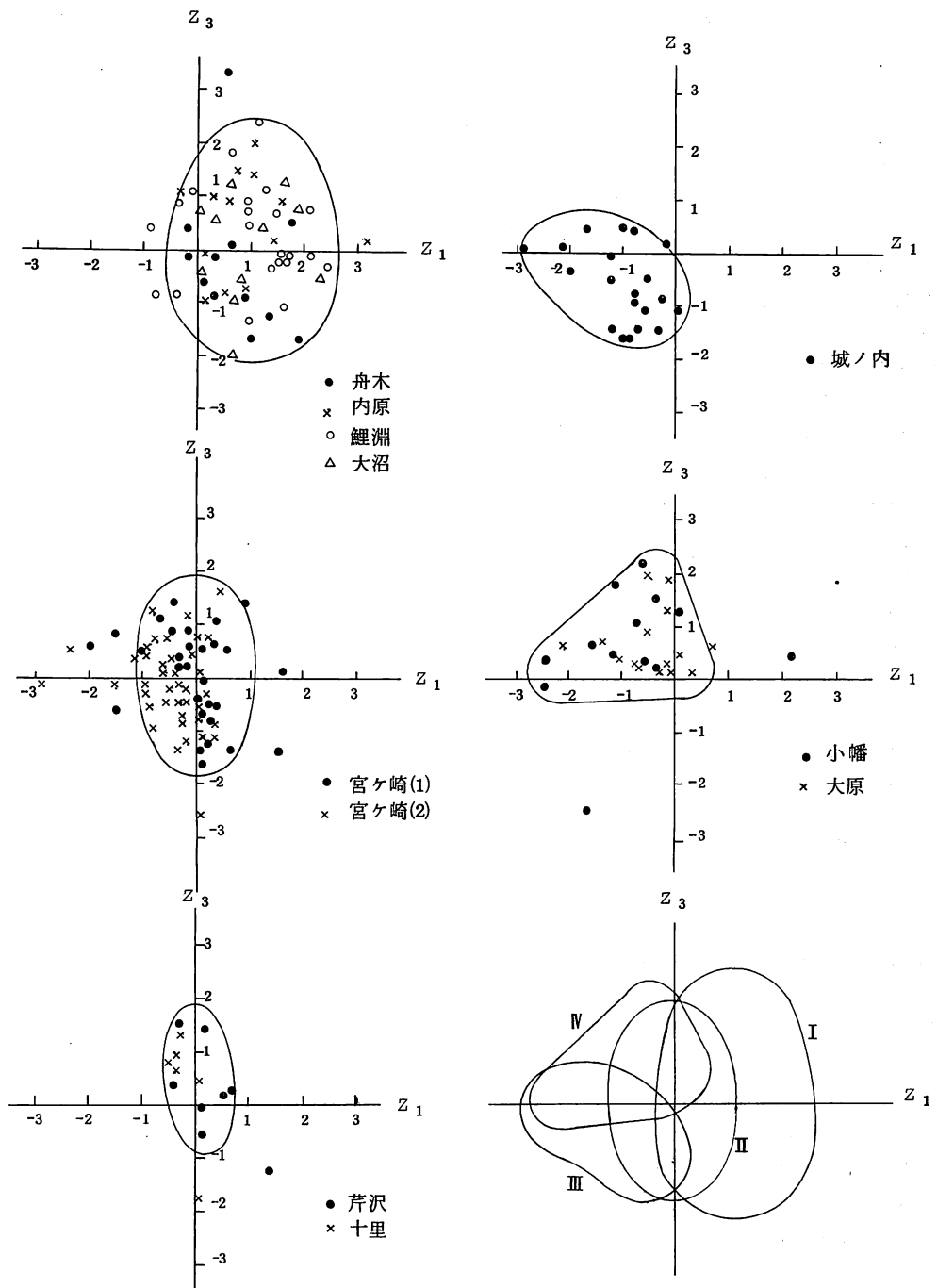
タイプIIIに属する土壌は Z_1 、 Z_3 が負で、 Z_2 が正である。すなわち腐植含量が少ない褐色火山灰土壌であり、ばん土性は強く、塩基置換容量が小さい。このタイプはばん土性の強い褐色火山灰土壌統群ということができる。

タイプIVに属する土壌は、 Z_1 、 Z_2 が負で、 Z_3 は正である。このことからみて、腐植含量がやや少ない黒



第2図 土壌統別スコアとパターン (Z₁-Z₂)

茨城県における火山灰畑地土壌統の化学的性質の主成分分析



第3図 土壌統別スコアとパターン (Z₁-Z₃)

褐色火山灰土壌であり、ばん土性が弱く、煙基置換容量がやや小さく、pHがやや高い土壌である。また、このタイプの土壌は前出の第2表にみられるように、容積重が大きく、有効リン酸、石灰等も多く、I~IIIのタイプとは区別されるように思われる。とくに小幡統はこの傾向がつよく、化学性でも大原統とは多少区別されるようであり、大原統は小幡統とタイプIIの土壌統との中間の性質をもつ土壌統であると考えられる。なお、大原統と小幡統はいずれも全層腐植質火山灰土壌であるが、大原統は下層にローム層が出現し、小幡統は再堆積性でローム層が出現しない。タイプIVはばん土性のよわい黒褐色火山灰土壌統群とすることができる。

以上のように各土壌統はそれぞれ特有のパターンを示し、他の土壌統とは区別されることが明らかにされた。またいくつかの土壌統は相互に類似しており、これらをくくって4つのタイプの土壌統群に大別したが、同一タイプ内の土壌統の化学性はほぼ同じにとり扱ってもさしつかえないものと思われる。

なお、 Z_1-Z_4 の図を省略したが、それは Z_4 のもつ寄与率が小さいため、土壌統ごとの特有のパターンが明らかでなかったこと、全窒素は全炭素と高い相関をもっているため、 Z_4 のかなりの部分が Z_1 で説明されているためである。

III 考 察

土壌保全基本調査において土壌分類の基本単位として用いられている土壌統とは、母材、堆積様式がほぼ同一に考えられ、生成学的にほぼ同一の断面形態をもった一群の土壌である。したがって同一の土壌統に属する土壌は形態的にはもちろん、基本的な理化学的性質も類似しているはずであり、また土壌統ごとに特有の化学的性質を示すはずである。しかしながら、この点について統計学的に検討されたものは少なかった。

そこで本報ではこれまでに設定されてきた土壌統の分類が断面形態だけでなく、化学的特徴の面からみても妥当なものであるかどうかについて、主成分分析法の手法を用いて検討した。

すなわち205点の土壌について14特性値の分析データを用いて主成分分析を行なった結果、4つの主成分に要約することができた。つぎに各土壌について主成分のスコアを求め、 Z_1-Z_2 および Z_1-Z_3 座標上に土壌統ごとにプロットした結果、各土壌統は、それぞれ

特有のパターンを示した。このことは、主として形態的に分類された土壌統は化学的特徴をもよく表現していることを示しており、これまで設定してきた土壌統の分類は化学的性質の面からみても妥当なものであることを証明している。

さらに、いくつかの土壌統のパターンは互に類似しており、これらをくくれば4つのタイプの土壌統群に大別することができる。そして同一タイプ内の土壌統については、化学的な対策はほぼ同一にとり扱ってもさしつかえないものと思われる。

このように各土壌統群はそれぞれ特有のパターンを示すが、いっぽう、それぞれのパターンは画然と分離しておらず、互に部分的に重なり合っていることが注目される。このことは茨城県の火山灰畑土壌は地形その他の要因によって連続的に変化しており、しかも相互に関連性をもっていることを示唆している。

つぎに各主成分の内容をみると、第1主成分は腐植含量の寄与が大きく、第2主成分はばん土性の強弱、第3主成分は塩基状態、そして第4主成分は窒素の寄与が大きいことが明らかになった。したがって、茨城県の火山灰畑土壌を化学的性質の面から分類する場合には、寄与率の大きい腐植含量、ばん土性の強弱を分類の主要因にえらび、寄与率の小さい塩基状態や窒素含量は副次的な要因とするのがよいと思われる。ここで腐植含量が重要な要因となっているが、このことは前述の14特性値の相関関係において腐植が中心的な位置にあることもよく一致している。そして土壌保全基本調査の分類基準において腐植を分類の主要因として重視していることは、きわめて意義があることと思われる。

以上の結果および考察をもとにして、従来の形態的な分類に化学的性質の分類をも加味して、第5表のような茨城県火山灰畑土壌統の一覧表を作成した。

この表をつくるにあたって心がけたことは、(1)土壌分類の要因が明らかなること、(2)土壌統相互の関係がすぐわかること、(3)土地利用や物理的、化学的な対策を考慮した土壌統群の大別が可能であることなどである。

この表において、縦の列は土壌の乾湿と腐植層の厚さなど、形態的な分類を主にしている。土壌の乾湿は畑の土地利用や作物の種類をも規制しており、土壌管理上からも重要な意義をもっているため、分類の要因にとり入れた。

横の行は土壌の化学的性質の主成分分析結果から分類

五 舞 奏

曲 名	作 者	編 者	出 典
100	舞臺樂	20	11.9
140	大正時代	松	全 集
150	舞臺樂	藤田ヤカク	藤田ヤカク
158	舞臺樂	1815	1911
159	舞臺樂	大正時代	大正時代
116	舞臺樂	(原 F. D. A.)	(原 F. D. A.)
99	舞臺樂	B	A
88	舞臺樂	谷村義	谷村義
88	舞臺樂	藤 家	藤 家
85	舞臺樂	ゆきこ	ゆきこ
10	舞臺樂	ゆきこ	ゆきこ
33	舞臺樂	10 100	10 100
11	舞臺樂	大正時代	大正時代

正 誤 表

頁	行	誤	正
17	右上から18.23	ビール酒造組合	麦酒酒造組合
23	第9表 注①	の計 $\frac{100}{40}$	の計 $\times \frac{100}{40}$
76	右上から7	できるよう	できるよ
82	右下から17	あることも	あることとも
82	右最下行	経 果	結 果
88	左下から7	侵食谷	侵蝕谷
99	右上から7(1)式	W	V
119	第33表中の図	(採上方法)	(採土方法)
123	右下から6	火山灰壤	火山灰土壤
128	右上から1	1972	1971
130	第10図左中央	露路メロン	露地メロン
140	左下から14	各 期	冬 期
106	第2表 普通畑腐植	5.0 4.9	11.3 11.5

茨城県における火山灰畑地土壌統の化学的性質の主成分分析

第 5 表 茨城県火山灰畑地土壌統の相互関係

堆積様式	ばん土性	作土の色 (腐植%)	乾 ~ 適湿性			湿 潤 型		
			腐植層なし (30cm>)	表層腐植層 (30~50cm)	全層腐植層 (50cm<)	腐植層なし (30cm>)	表層腐植層 (30~50cm)	全層腐植層 (50cm<)
風 積	強	褐色 (5>)	城ノ内	—	—	—	—	—
		黒褐色 (5~10)	宮ヶ崎(2)	宮ヶ崎(1)	(大原*)	—	芹沢	十里
		黒色 (10>)	—	舟木	内原	—	大沼	鯉淵
風積および 再堆積	中	黒褐色 (5~10)	—	—	大原	—	—	—
再堆積	弱	—	—	—	小幡	—	—	—

注) *大原統は従来はこの位置に分類されていた。

した土壌統群である。まずばん土性の強弱によって大別し、さらにその中を腐植含量によって黒色、黒褐色、褐色の3つに細分した。ここで、ばん土性の強い土壌は風積性火山灰土壌と思われるが、ばん土性が中~弱の土壌は容積重も大きく、地形的にも台地周辺や沖積面からの比高差が小さい台地上に分布し、風積性のものとは区別され、三好の報告している「ちばまつち」に類似した性質をもち⁵⁾、再堆積あるいは水の影響をうけた土壌であると推測される。

つぎに土壌統の相互の関連性について考えてみよう。第5表において宮ヶ崎(1)を例にとれば、この統は腐植含量は城ノ内統より多く、舟木統よりも少ない。また作土の化学性は宮ヶ崎(2)、芹沢、十里統などと類似しているが、腐植層の厚さで宮ヶ崎(2)、十里統とは異なる。さらに宮ヶ崎(1)の湿潤型は芹沢統であることなどが理解される。

そして、これら土壌統は同一地域内において、たとえば高所から低所に向って城ノ内統→宮ヶ崎(2)統→宮ヶ崎(1)統→芹沢統→十里統へと分布し、1つのCatenaを形成している例が多く認められ、土壌統は相互に関連性をもって変化していることがうかがわれる。

対策面からみれば、横の行の土壌統群の化学的性質は類似しているので、化学的対策は同一に考えることができる。また縦の列上の土壌は水分条件がほぼ類似しており、左から右へ乾燥から湿潤に変化してゆく。したがって乾燥型の土壌統では乾ばつ対策が必要であり、右側の湿潤型土壌統では排水対策がまず必要であるが、また水

田利用の面では有利である。このように第5表は土地利用や、対策区設定に役立つものと思われる。

以上のことから、主成分分析法は土壌パターンの解析分類要因の抽出、分類結果の妥当性の検討、さらには土壌統群、改良対策区の設定など、土壌学研究の上で有効な手法であると考えられる。

謝 辞

この研究の主体をなす主成分分析法は1969年に筆者の1人の津田が農林省農業技術研究所物理統計部における研修の一部として、奥野忠一郎長の御示唆と塩見正衛技官、奥野千恵子技官の御指導のもとに行なったものであり、心から謝意を表します。また本報告のとりまとめにあたって御校閲をいただき、有益な助言を賜わった農業技術研究所原田竹治室長、茨城県林業試験場伊藤忠夫部長、千葉県農業試験場三好洋博士、さらに本研究のデータを集積された茨城県農業試験場化学部の諸先輩および同僚に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 農林省農政局農産課：地力保全対策要綱並びに係実施要領 (1961)
- 2) 農林水産技術会議監修、農林統計協会編：農林水産試験研究のための統計的方法85 (1968)
- 3) 伊藤忠夫：茨城県の森林立地区分(I)主成分分析法による土壌の理化学的性質のパターン解析、日林誌。53(5) 138 (1971)

4) 石川昌男：茨城県火山灰畑土壌の性質と生産力,
ペドロジスト 11(1), 59(1967)

5) 三好洋：両総火山灰台地に分布する「ちばまつち」

と「両総火山灰土」の生成論的ならびに土壌理化学的性質の比較研究—特に両総火山灰土の生産性向上への指針. 千葉農試特報 2号(1966)

谷津田の土壤および水稲生育からみた低収性

高遠 宏^{*}・石川昌男・須田清隆^{**}・石川 実

茨城県に広く分布する谷津田の低収要因を明らかにするため、那珂台地および鹿島台地の谷津田の土壤および水稲生育の実態を調査した。

1) 台地の開析程度によって土壤が異なり、開析が浅いところでは黒色土壤が、開析が深くすすんだところでは強グライ土壤、黒泥土壤および泥炭土壤が分布している。

2) 谷津田水田の水、地温は水稲生育に影響を与えるほど低温ではなかった。また土壤の酸化還元電位は低く経過する。

3) 土壤中の養分の動向をみると、アンモニヤ態窒素はおそくまで残存する傾向が認められた。またリン酸は黒色土壤では初期低濃度であった。

4) 谷津田水稲は初期生育が劣り、穂数が少なく、これが低収につながる。また、土壤還元による根ぐされや、ごまはがれ病の発生が多かった。

5) 以上のような調査結果をもとにして、谷津田の低収要因と、その改善対策について考察した。

I 緒 言

火山灰で被覆された洪積台地を開析して樹枝上に入りこんだ谷には、俗に谷津田とよばれる水田が分布している。茨城県における谷津田面積は約3万ha以上と推定されるが、¹⁾これら谷津田はほとんどが湿田で、機械の導入は困難であり、水稲収量が低く、かつ不安定である。

そこで、谷津田の生産阻害因子を解析し、生産性の向上をはかるために、県内の代表的な2つのタイプの谷津田を選定し、谷津田土壤の性質を明らかにし、水稲の生態と水稲栽培期間中の土壤環境の変化について調査を行なった結果、2、3の知見を得たので報告する。なお、本調査は地力保全調査事業特殊調査として1968～69年に実施したものであり、調査に当って、土壤保全研究室の方々の御協力を得たことに対し感謝します。

II 調査方法

1 調査対象地域

調査対象として第1,2図に示す2つの谷津田を選定した。その1つは那珂川と久慈川にはさまれた那珂台地にある、那珂町から勝田市を経て那珂湊市にいたる全長約1.5km、面積約503.5haの谷津田(以下、那珂谷津とよぶ)であり、もう1つは鹿島灘と北浦にはさまれた鹿

島台地にある鉾田町畑田の全長約4km、面積73haの谷津田(以下、鹿島谷津とよぶ)である。

この両者の特徴は、前者は腐植質火山灰台地の開析谷津田で、上流部は開析が浅く、比高差が小さく、下流は開析が深い。これに対して、後者は腐植の少ない褐色火山灰台地の谷津田で、谷津頭部分から深く、急峻に開析されていることである。

2 土壤調査および重点調査地点の選定

試穿および試坑調査により土壤の分布状況を調べ、那珂谷津で5地点、鹿島谷津で4地点を、地形と土壤を考慮して重点調査地点として選定した。この地点では水稲の栽培期間を通じて生育相と土壤環境調査を行なった。また那珂川流域の水田1カ所を選び、谷津田との対照田(以下沖積田とよぶ)として同様の調査を実施した。

3 水稲生育相および土壤環境の調査

重点調査地点で水稲を作付けし、水稲の生育、収量および水稲体の分析を行なった。品種および栽培方法は第1表のとおりである。

土壤環境の調査は土壤断面、一般理化学性のほか、栽培期間中における土壤の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、有効態リン酸、土壤 Eh 、 pH 、地・水温の測定を行なった。

なお、那珂谷津の調査は1968年、鹿島谷津は1969年に行なった。

* 現在日本硫安工業協会

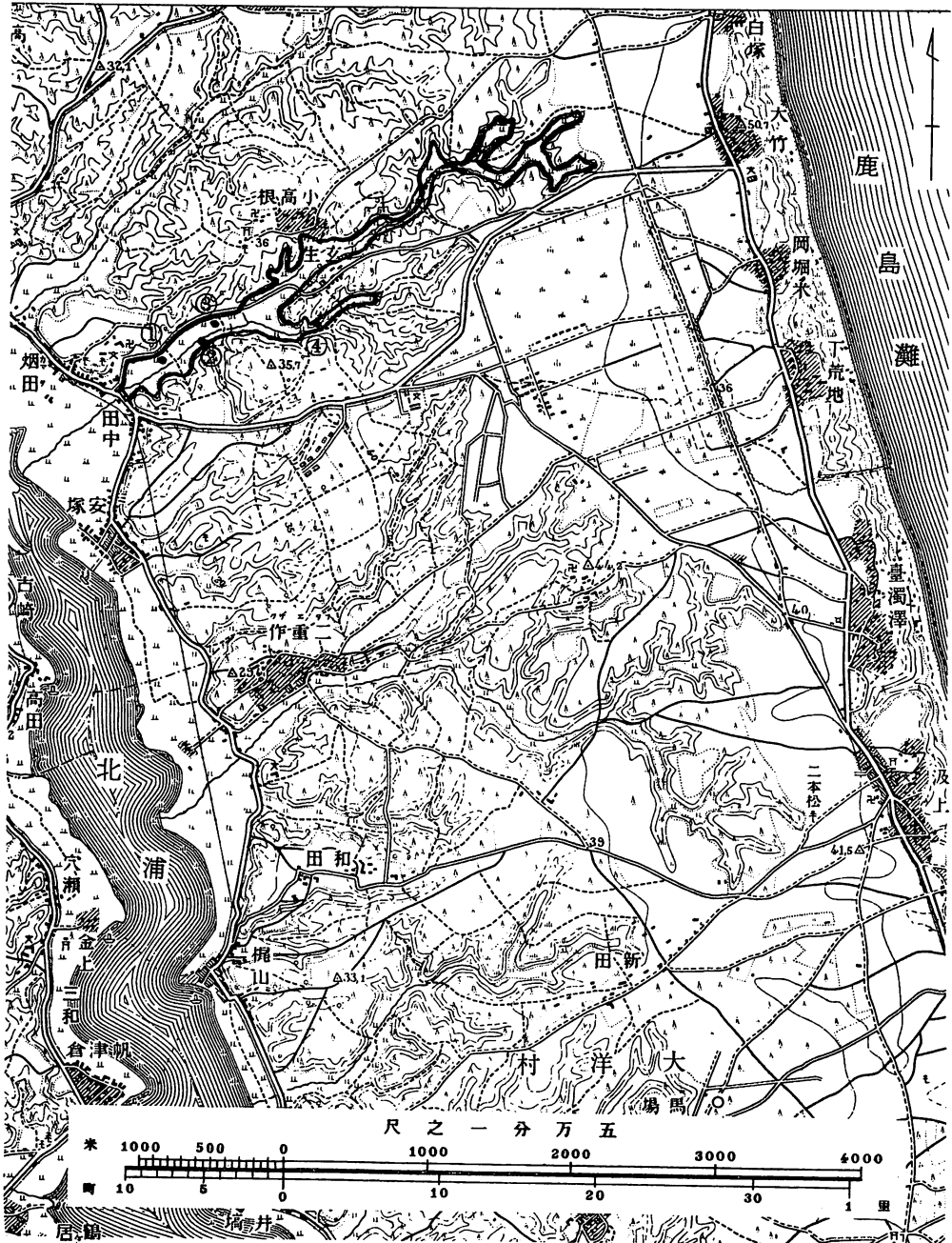
** 現在美野里地区農業改良普及所

第1図 那珂台地谷津田調査地区の位置
(番号は重点調査地点)



第2図 鹿島台地谷津田調査地点の位置

(番号は重点調査地点)



第1表 品種および栽培法

項目	調査		栽植 密度 (株/m ²)	施肥量 (kg/10a)				
	地点	品種		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	ようりん	堆肥
谷津田	1	ササニシキ	24	6.0	6.0	6.0	30.0	0
	2	ハウネンワセ	24	"	"	"	"	"
	3	"	22	"	"	"	"	"
	4	"	22	"	"	"	"	"
	5	"	22	"	"	"	"	"
那珂谷津	1	ハウネンワセ	22	8.0	8.8	7.2	0	0
	2	"	20	8.0	7.2	9.6	"	"
	3	フジミノリ	22	7.1	8.0	7.2	"	"
	4	ハウネンワセ	24	8.1	7.2	8.1	"	400 (前年2a)
沖積田	ハウネンワセ	22						

* 施肥量は基肥のみを示した。追肥は慣行によった。また沖積田は慣行によったが、詳細は不明であった。

III 調査結果および考察

1 地形、表層地質および土壌の分布

1) 那珂谷津²⁾

那珂台地は標高30~40mの間にあり、平坦な地面上を北西~南東に比高差1m前後の浅い谷が走る。この谷の末端は急に深く落ちこみ、入江状に発達した比高差15m以上の侵食谷の沖積面に接続する。この浅い谷および入江状の溺れ谷には水田が発達し、これらが谷津田といわれている。鈴木ら³⁾は浅い谷を浅谷津、深い侵蝕谷を深谷津と区別しているが、上記の浅い谷は浅谷津に相当し、後者の入江状の溺れ谷は深谷津に相当する。

この谷津田の地形形成についてみると、第1図の㉔3より上流部は台地の凹地や台地が侵蝕されてできた狭

い谷地形であり、台地内谷津田とよばれてきた。それより下流部の㉔4、5地点は谷巾が広く台地との比高差は15m以上で、侵蝕谷に海水が侵入し、溺れ谷地形が形成され、入江の口に砂洲ができ、溺れ谷が埋めたてられて埋積谷ができたものと思われる。このような谷津田は、台地内谷津田に対比し、台地間谷津田といわれてきた。さらに海退ともなって砂洲背後の後背湿地が淡水化し、そこに後述するように泥炭が集積したものと考えられる。

台地の表層地質は、第2図に示すように表層から多腐植の黒色火山灰土—ローム層—常総粘土層—見和層—第三紀層の順に堆積している。黒色火山灰土層は約1m、ローム層は3~4mで、ローム層内には上部に七本桜、今市浮石層、下部に鹿沼浮石層が狭在している。常総粘土層は1~1.5mで、俗にユナ層ともよばれるローム層の水中堆積層で不透水層となっている。見和層は成田層対比層であり、未固結堆積物の砂、泥、礫などの累層である。台地の基盤の新第三系は水戸層とよばれ、凝灰質泥岩である。

このような台地が開析された場合、開析の進行にともなって土壌は第3図に示すように変化してゆく。

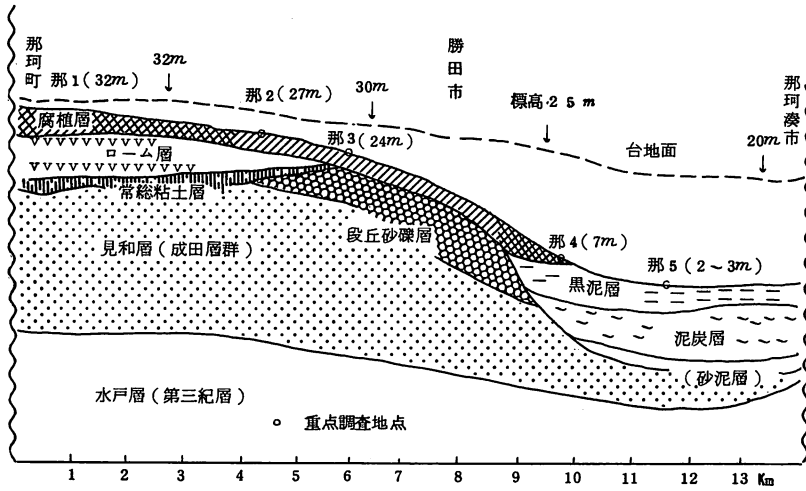
開析が浅く、ローム層の範囲内にとどまっている㉔1、2の土壌は火山灰質の黒色土壌である。比高差が1m前後の㉔1では下層に七本桜、今市浮石が認められる。比高差が約2mの㉔2では、下層にローム層が灰白化した粘土層がみられる。これら両地点とも台地からの滲透水の影響が大きく、豊水期には地下水位が上昇するが、渇水期には台地からの滲透水が少なく、地下水位は低下する。このように地下水位の変動が大きく、調査時には湧水位が10cmであったが、グライ層は発達せず、下層まで斑鉄の生成が認められる。

㉔3附近では台地との比高差が5m位で、開析は見和層の礫層に達する。そのため作土下は砂礫層で、礫層土壌である。この土壌の分布は局所的である。

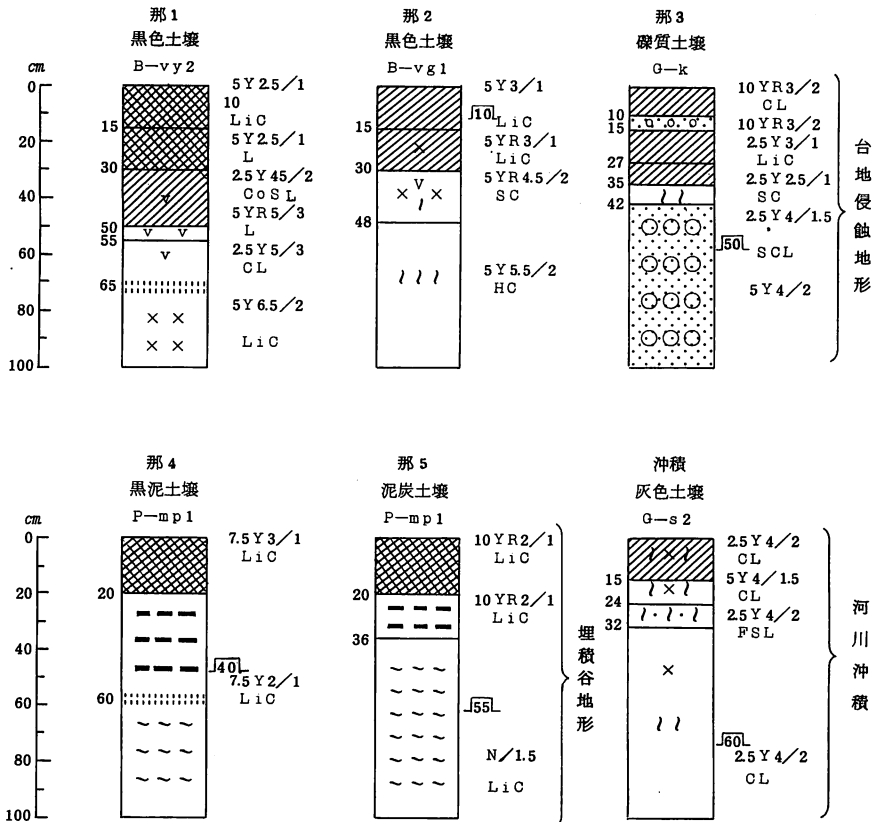
㉔3の地点は、いわゆる Fall line (瀑線)に相当し、この地点において、これまで浅い谷を緩流してきた河川は急流になり、深い侵蝕谷の沖積面に流入する。礫層の下部は未固結の堆積物で、侵蝕に対する抵抗性が弱いため、開析は急激にすすみ、台地との比高差は大きくなり、また台地と谷津田との境界は急峻な崖となる。

台地から急に落ちこんだ地点の㉔4の土壌は地下水位が高く、下層に泥炭層がある黒泥土壌である。

谷津田の土壤および水稻生育からみた低収性



第3図 那珂谷津田地形、地質と土壤分布概念図



第4図 那珂谷津田各地点の土壤断面

そこから下流の $\#5$ 附近では、谷津田というよりも、谷巾が200~300mの平坦地であり、入江の入口に発達した砂洲によって形成された後背湿地であるため、下層50cm以内に泥炭層が出現する泥炭土壌である。

以上のべた那珂谷津の地形、地質および土壌の相互関係を図示すると前出の第2図のとおりである。

2) 鹿島谷津

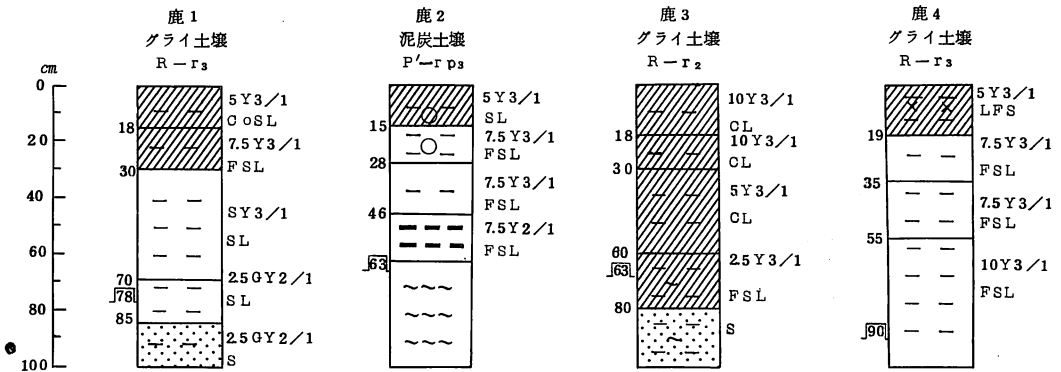
鹿島台地は標高35~40cmでほぼ南北につらなる。分水界は東に偏し、西側は緩傾斜しているため、侵蝕谷は北浦に向って台地に直交し、湖岸沖積との接続地点では小デルタが発達している。水田は湖岸沖積地と侵蝕谷に沿って細長く分布している。

台地表層は約2m前後の褐色火山灰土とローム層で被

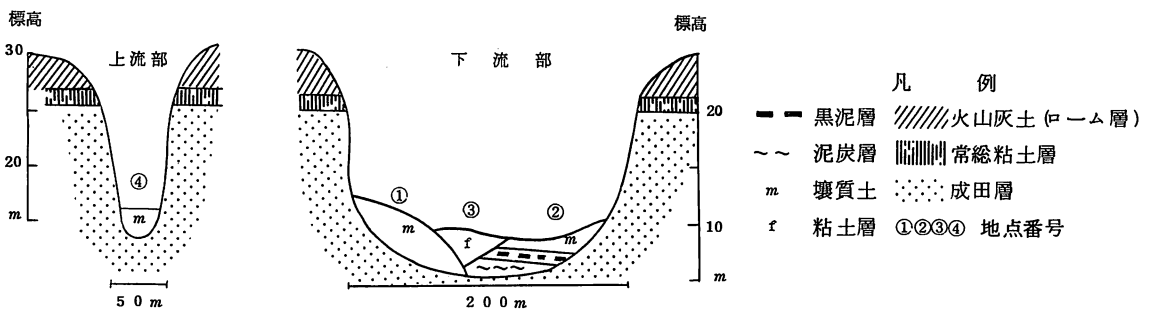
覆され、その下部は砂層からなる成田層につづくが、那珂台地でみられた常総粘土層はうすく、また礫層はほとんどみられない。そのため侵蝕に対する抵抗力は弱く、上流部から谷全域にわたって基盤の成田層を深く侵蝕しており、台地と谷津田との比高差は20m以上である。

この谷津田の水田は台地からたえず滲透水が供給され、常時過湿状態におかれるため、強還元となっているが、土性と母材によって第5図のような3つの土壌に分類される。

すなわち、狭い上流部($\#4$)と、ある程度の広がりをもつ下流部の台地寄り($\#1$)には、砂質からなる成田層の影響を受けた強グライ土壌壤土還元型(阿波崎統)が分布し、下流の谷中央部($\#3$)には粘土分が堆積し強グライ土壌粘土還元型(くげ戸沼統)が分布している。



第5図 鹿島谷津田各地点の土壌断面



第6図 鹿島谷津田の横断面地形と土壌分布概念図

谷津田の土壤および水稲生育からみた低収性

また谷入口のデルタ後背湿地(Ⅱ2)には黒泥土壤(畑田統)が分布している。以上のべた鹿島谷津の地形、地質と土壤の相互関係を図示すると第6図のとおりである。

ため、容積重は非常に小さく50g以下で、沖積のそれに比して著しく低く、固相率も小さく、水分率が高い傾向が認められる。また透水性も沖積土に比べてわるい。

鹿島谷津の表土は、台地上の火山灰土の影響をうけているⅡ3地点の土性は粘質で、容積重は那珂谷津と大差ないが、他の地点では台地下層の成田層の影響を強くうけて、土性は砂壤質であり、容積重はやや大きいことが認められる。なお透水係数の測定値は欠くが、土性から推測して、その係数はあまり大きくないものと考えられる。いずれの地点も地下水位が高く、台地からの滲透水

2 土壤の理化学的性質

1) 理学的性質

第2表のとおりである。那珂谷津の表土の土性はほとんどが強粘質であるが、粘土含量は上流よりも下流で高い傾向があり、砂含量は逆の傾向がみられる。下層に砂礫層が出現したⅡ3地点を除いては、有機質土壌である

第 2 表 理 学 的 性 質

谷津田	地点	層位	項目 深さ (cm)	粒 経 組 成					土性	現地における理学的性質				透 水 係 数			
				細 土 無 機 物 中 (%)						容積重 g/100cc	三 相 分 布 (%)			(定 水 位)			
				粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土			固相率	水分率	空気率	たて方向	よこ方向		
那	Ⅱ	2	1	0~15	22.4	20.1	42.5	28.9	28.6	LiC	46.1	18.1	77.4	4.5	66.0~4.3×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻³	
			2	15~30	22.0	25.4	47.4	38.4	14.2	L	60.6	23.1	75.4	1.5	25.0~1.4×10 ⁻⁵	4.2×10 ⁻⁴	
			3	30~50	52.3	30.3	82.6	14.0	3.4	CoSL	—	—	—	—	—	—	
			6	65~	1.7	41.6	43.3	29.7	27.0	LiC	—	—	—	—	—	—	
	Ⅲ	2	1	0~15	18.6	24.4	43.0	22.8	34.2	LiC	48.6	20.1	77.9	2.0	5.5×10 ⁻⁵	2.4×10 ⁻⁵	
			2	15~30	21.6	28.8	50.4	23.3	26.3	LiC	—	—	—	—	—	—	
			3	30~48	33.4	16.3	49.7	12.8	37.5	SC	—	—	—	—	—	—	
	Ⅳ	3	1	0~10	38.1	18.9	57.0	21.7	21.3	CL	95.6	36.6	60.0	3.4	3.9×10 ⁻⁴	1.2×10 ⁻⁴	
			3	15~27	19.0	21.0	40.0	25.8	34.2	LiC	81.1	31.8	66.0	2.4	8.5~6.0×10 ⁻⁵	2.0×10 ⁻⁵	
			4	27~35	25.6	23.8	49.4	19.1	31.5	SC	—	—	—	—	—	—	
	珂	4	2	1	0~20	20.6	16.3	36.9	32.1	31.0	LiC	37.0	15.3	79.2	5.5	9.3×10 ⁻⁵	9.3×10 ⁻⁵
				2	20~60	12.7	19.0	31.7	38.7	29.6	LiC	50.0	20.0	78.0	2.0	1.1×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵
5		1	0~20	7.5	12.5	22.7	35.1	42.2	LiC	44.3	18.5	79.3	2.2	1.4×10 ⁻⁵	1.4×10 ⁻⁵		
		2	20~36	5.3	17.0	22.3	34.1	43.6	LiC	50.5	21.8	76.0	2.2	11.0~1.7×10 ⁻⁵	2.3×10 ⁻⁵		
		3	36~	—	—	—	—	—	—	30.6	14.5	81.0	4.5	13.0~5.1×10 ⁻⁵	2.2×10 ⁻⁵		
沖積		1	1	0~15	2.3	45.9	48.2	28.3	23.5	CL	76.6	30.5	62.8	6.7	2.2×10 ⁻⁴	1.2×10 ⁻³	
	2		15~24	2.9	47.1	50.0	29.0	21.0	CL	83.9	32.4	59.9	7.7	6.2×10 ⁻⁴	3.0×10 ⁻⁴		
	3		24~32	2.2	71.1	73.3	17.4	9.3	FSL	112.0	40.6	51.7	7.7	25.0~2.3×10 ⁻⁴	4.0×10 ⁻⁴		
	4		32~	1.9	43.8	45.6	33.8	20.6	CL	—	—	—	—	—	—		
鹿島	1	2	1	0~18	55.9	25.7	81.6	9.4	9.0	CoSL	67.3	—	—	—	—	—	
			2	18~30	39.0	41.2	80.2	11.2	8.6	FSL	84.3	—	—	—	—	—	
	2	1	0~15	32.8	42.5	75.3	11.6	13.1	SL	67.5	—	—	—	—	—		
		2	15~28	44.0	43.2	87.2	6.5	6.3	LCoS	79.8	—	—	—	—	—		
		3	28~46	31.6	46.9	78.5	11.7	9.8	FSL	111.9	—	—	—	—	—		
		4	46~63	22.7	51.8	74.4	13.8	11.8	FSL	—	—	—	—	—	—		
	3	1	0~18	19.3	21.6	40.9	42.1	17.0	CL	43.0	—	—	—	—	—		
		2	18~30	24.7	37.2	61.9	20.5	17.6	CL	58.6	—	—	—	—	—		
		3	30~60	21.8	37.9	59.6	22.5	17.9	CL	77.6	—	—	—	—	—		
		4	60~80	29.8	46.4	76.1	14.3	9.6	FSL	—	—	—	—	—	—		
	4	1	0~19	33.9	53.5	87.4	0.9	11.7	LFS	89.8	—	—	—	—	—		
		2	19~35	37.8	40.2	78.0	11.0	11.0	FSL	91.8	—	—	—	—	—		
3		35~55	29.8	48.9	78.7	9.7	11.6	FSL	104.0	—	—	—	—	—			

の影響もあって、ほ場の減水深は小さく、 μ 、4の地点では4mm/日であった。

2) 化学的性質

那珂谷津の作土についてみると第3表に示すとおりである。全炭素、全窒素、塩基置換容量、石灰およびアンモニア態窒素生成量は上流から中流にかけて減少し、下流に至ると再び高まり、上流以上になることが認められる。リン酸吸収係数も μ 3を除き、上流、下流ともに高く、下流の黒泥、泥炭土壌においても火山灰の混入が多いことが推測される。

鹿島谷津では、谷中央部の μ 3の土壌は粘質で、全炭素、全窒素、塩基置換容量およびリン酸吸収係数がやや高く、有効態リン酸含量が少ない。

その他の地点は、砂壤質土壌で、塩基置換容量が低くまた珪酸含量が少ない。しかし、これらの地点は砂質土壌であるにもかかわらず、アンモニア態窒素の生成量が多く、易分解性有機物の集積が多いことを示している。

以上のことから、両谷津を比較すると、那珂谷津は腐植質火山灰土の影響をつよくうけているのに対し、鹿島谷津は開析が深く、下層の成田層の影響をつよくうけ、表層の褐色火山灰土層の影響は少ないことが認められる。

また、対照とした沖積水田では鉄、マンガンが下層に移行しているが、両谷津では湿田の性格を反映して、下層への移行はほとんど認められない。

第3表 化学的性質 (乾土100g当たり)

谷津田	項目 地点	深さ (cm)	PH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	CEC (me)	置換性塩基			リン酸 吸収 係数	有効態 P ₂ O ₅ (mg)	有効態 SiO ₂ (mg)	遊離 Fe ₂ O ₃ (%)	易還元 性 MnO (mg)	NH ₄ -N 生成量 30℃ (mg)
								CaO	MgO	K ₂ O						
								(mg)	(mg)	(mg)						
1	0~15	6.2	6.74	0.68	9.9	22.4	265.7	48.1	13.3	20.93	5.8	45.4	0.90	7.5	22.4	
	15~30	6.0	7.13	0.68	10.5	21.4	250.9	41.2	8.7	20.93	3.6	43.8	0.92	6.0	—	
	30~50	6.3	2.48	0.18	13.8	22.9	80.1	21.6	5.6	28.02	1.3	145.8	0.17	0.6	—	
	65~	6.2	1.47	0.14	10.5	20.6	200.1	75.6	32.1	1.688	2.3	81.1	0.45	0.8	—	
那	0~15	5.7	6.85	0.69	9.9	20.7	175.2	1.63	29.6	1.688	9.0	39.1	0.82	2.3	22.8	
	15~30	5.8	1.79	0.14	12.8	18.7	132.7	20.4	9.3	1.658	3.4	37.1	0.79	0.9	—	
	30~48	5.6	1.72	0.13	13.2	12.1	135.7	25.3	5.6	7.92	1.6	34.2	0.32	1.0	—	
3	0~10	5.8	4.59	0.43	10.7	13.8	119.5	2.00	15.4	1.143	8.6	25.5	0.68	6.2	15.3	
	10~27	5.5	4.94	0.47	10.5	18.1	190.9	34.2	19.1	1.611	4.0	7.17	0.99	8.6	—	
	27~35	5.6	4.04	0.35	11.5	17.0	213.1	40.3	13.1	1.281	3.2	45.2	0.78	6.0	—	
珂	0~20	5.3	9.67	0.83	11.6	26.1	31.16	61.1	19.0	1.927	5.0	43.4	0.69	4.7	24.3	
	20~60	5.2	10.00	0.76	13.1	27.3	281.7	61.8	8.1	1.927	2.2	45.9	0.54	8.0	—	
5	0~20	5.6	9.93	0.85	11.7	30.0	374.4	83.3	29.3	1.790	14.8	39.0	0.92	5.7	39.6	
	20~36	5.3	10.60	0.79	13.4	31.1	330.5	81.5	29.9	1.773	3.3	45.0	1.02	8.7	—	
	36~	5.3	16.76	0.76	22.0	48.8	287.6	249.8	20.4	1.963	1.2	33.8	0.92	—	—	
沖積	0~15	5.4	2.76	0.26	10.6	15.3	227.6	51.5	20.5	9.72	7.5	27.3	0.84	4.2	9.8	
	15~24	6.0	2.51	0.27	9.8	15.8	257.8	57.9	8.2	8.98	10.6	37.8	1.05	5.0	—	
	24~32	6.7	0.86	0.07	12.3	11.8	206.8	51.0	6.9	7.67	3.4	54.9	2.26	5.8	—	
	32~	6.6	0.92	0.10	9.2	16.0	282.4	110.6	11.0	9.82	5.6	71.0	1.65	2.26	—	
1	0~18	5.5	4.30	0.26	16.4	8.1	92.3	16.4	5.5	8.35	6.2	18.4	1.20	38.0	15.7	
	18~30	5.3	4.17	0.26	15.9	9.6	78.6	29.3	3.7	6.78	7.1	15.6	0.98	24.0	—	
	30~70	6.0	2.38	0.21	11.5	9.4	116.0	57.7	4.5	7.29	3.2	26.9	0.55	17.0	—	
2	0~15	4.5	3.10	0.31	10.0	8.9	100.6	34.2	6.4	80.7	3.2	16.9	0.99	53.0	13.5	
	15~28	6.1	2.43	0.23	10.6	9.2	108.2	47.0	3.1	69.4	4.1	18.2	0.52	10.0	—	
	28~46	5.2	2.26	0.19	11.8	10.4	164.7	94.4	2.7	75.9	2.0	44.9	0.30	4.0	—	
	46~63	5.5	4.93	0.33	14.8	13.4	227.1	121.7	7.8	80.8	2.0	49.1	0.21	4.0	—	
3	0~18	5.7	4.77	0.43	11.1	15.3	198.7	44.9	10.2	15.44	1.7	17.3	1.95	85.0	32.2	
	18~30	6.3	4.67	0.35	13.3	14.7	177.7	34.5	5.6	13.19	2.0	20.1	1.48	45.0	—	
	30~60	6.4	4.05	0.36	11.4	12.9	189.6	10.5	29.7	10.57	1.3	20.5	1.10	56.0	—	
	60~80	6.3	4.09	0.30	13.6	13.1	203.7	91.2	49.2	7.64	2.2	25.6	0.32	17.0	—	
4	0~19	5.5	4.12	0.21	19.6	13.6	150.5	50.0	—	9.15	4.2	16.1	1.61	—	20.6	
	19~35	5.0	2.86	0.29	9.9	12.7	86.3	41.0	—	7.90	4.2	10.4	1.34	—	—	
	35~55	4.9	2.07	0.19	10.8	13.2	72.0	41.0	—	7.03	—	—	—	—	—	

谷津田の土壤および水稻生育からみた低収性

3 調査水田における水稻の生育、収量

上述の土壤調査にもつき、各土壤型別に試坑調査を行なった水田において、水稻の生育および収量を調査した。その結果は第4表のとおりである。

那珂谷津についてみると黒色土壤のⅢ2は初期生育は不良であったが、秋まさりの生育を示し、穂数は多くなった。しかし生育後期に水不足となり、稈長、穂長は短くなったが、登熟は良好で、収量は沖積水田について、谷津田中では最高であった。

礫層土壤であるⅢ3では、作士の土性が砂壤土であり、初期生育は良好であったが、秋落ち傾向がつよく、後半の生育は劣り、谷津田中でもっとも低収であった。

黒泥土壤のⅢ4では、初期から草丈、茎数が劣り、穂数も少なく低収であった。

泥炭質土壤のⅢ5では、初期生育が不良であったが、最高分け時期以後は生育は旺盛となった。しかし出穂後

倒伏し、登熟不良であった。

このように礫層土壤のⅢ3を除けば、一般に谷津田水田は初期生育不良であり、生育がおくれ、茎数は次第に回復するが、稈長、穂長が短い。これらのことから、那珂谷津水田では、沖積水田に比べて、初期分けつが劣り、低節位の優勢な穂が確保しにくいことが低収の原因と考えられる。

鹿島谷津についてみると、Ⅲ4での水稻生育は生育全期を通じて他の地点をしのぎ、生育後期にいたるまで葉色が濃かったが、これは厩肥を多量に施用したためと思われる。

なお、Ⅲ1、2は終始分けつ数が少なく、このため収量も低かった。なお、Ⅲ3は品種がフジミノリで、他地点（ホウネンワセ）とは比較できないが、収量はずっと多かった。また各地点とも根ぐされが多く、ごまはがれ病の発生も多かった。

第 4 表 生育 お よ び 収 量

1) 生 育

谷津田	項目 地点	5月27日		6月18日		7月4日		8月2日		8月29日		
		草丈	茎数	草丈	茎数	草丈	茎数	草丈	茎数	稈長	穂長	穂数
		cm	本/m ²	cm	本/m ²	cm	本/m ²	cm	本/m ²	cm	cm	本/m ²
那	1	12.0	70	32.5	252	49.9	549	87.0	492	85.4	18.6	492
	2	17.8	70	37.7	399	52.4	705	86.2	639	74.4	15.6	612
	3	24.2	97	43.6	516	58.7	682	93.8	474	78.4	17.1	470
珂	4	13.6	81	38.0	381	56.3	556	95.9	458	83.8	16.7	456
	5	16.0	61	42.6	453	57.7	630	105.8	540	85.9	18.1	574
沖積		21.8	81	39.2	429	56.9	562	103.2	527	85.6	18.5	522
谷津田	項目 地点	5月28日		6月17日		7月2日		7月29日		8月29日		
		草丈	茎数	草丈	茎数	草丈	茎数	草丈	茎数	稈長	穂長	穂数
		cm	本/m ²	cm	本/m ²	cm	本/m ²	cm	本/m ²	cm	cm	本/m ²
鹿	1	29.8	70	37.6	371	64.1	392	91.5	423	75.7	18.3	344
	2	28.1	74	43.5	384	56.2	338	82.8	354	71.0	18.6	312
	3	29.1	74	43.8	264	65.8	382	103.0	371	82.0	21.2	293
島	4	29.2	82	39.4	489	68.7	564	93.8	525	82.0	18.0	459

2) 収 量

(Kg/10a)

谷津田	項目 地点	わら	精もみ	もみ/わら	秕	玄 米			1 穂 当 り		稈 実 歩 合
						重量	千粒重	屑米	着粒数		
									着粒数	稈実粒数	
那	1	892	634	0.71	34	485	20.3 g	21	75.7	51.1	67.5 %
	2	406	634	1.62	9	530	19.3	5	51.8	46.5	89.8
	3	339	558	1.65	6	462	21.6	3	59.0	51.3	86.8
珂	4	571	570	1.00	6	470	19.2	3	61.4	55.4	90.0
	5	816	655	0.80	25	506	18.3	21	69.3	54.8	79.1
沖積		711	709	1.00	15	567	19.6	11	61.9	51.7	83.6
鹿	1	495	546	1.10	5	419	20.1	13	81.1	61.0	75.2
	2	450	471	1.05	2	363	20.2	4	78.9	58.3	73.8
	3	660	723	1.10	10	549	20.4	19	126.5	91.3	72.1
島	4	675	664	0.98	7	486	19.4	15	81.0	54.9	67.8

4 稲作期間中における土壌環境および養分の動向

稲作期間中における水温、地温、土壌の酸化還元電位 (Eh), pH, 土壌中のアンモニア態窒素および有効態リン酸を測定した。その結果はつぎのとおりである。

1) 水田水温および地温

第5表のように、那珂谷津の上流部の黒色土壌(Ⅵ1)において初期やや低い、その他の水田では沖積乾田に比べてもそれほど低温であるとはいいいにくいようである。

2) 土壌の酸化還元電位

第6表のように、那珂谷津ではⅥ3の礫層土壌ではEhは終始高く経過しているが、その他の土壌では沖積田に

比べて低い傾向がみられる。鹿島谷津は那珂谷津に比べて初期から低く経過するが、その中で粘質のⅥ3水田のEhはやや高い傾向がみられる。

3) 土壌のアンモニア態窒素

第7表のとおり那珂谷津では初期のアンモニア濃度は表層施肥のためかきわめて高く、6月の分けつ期間中も5ppm以上あり、分けつ発生にとって不足している量とは思われない。また7月上旬から8月上旬にかけてもアンモニア量がかかり残存しており、とくにⅥ5の泥炭土壌でこの傾向がみとめられる。

鹿島谷津は那珂谷津に比べてアンモニア量が少ないがきゅう肥が多量に施用されたⅥ4の水田では、7月下旬にいたっても多く残っている。

第5表 水温および地温

地点		那 珂					地点		鹿 島				
Ⅵ	水温・地温	5月27日	6月18日	7月4日	8月2日	8月29日	Ⅵ	水温・地温	5月28日	6月17日	7月2日	7月29日	
1	水温	18	25	28	30	26	1	水温	22	24	27	26	
	地温	17	23	23	28	26		地温	19	23	26	25	
2	水温	20	24	26	—	27	2	水温	25	25	28	—	
	地温	19	22	23	—	23		地温	21	24	27	28	
3	水温	20	24	25	29	26	3	水温	24	25	29	28	
	地温	20	23	23	27	22		地温	21	24	27	27	
4	水温	21	23	30	29	27	4	水温	25	25	27	28	
	地温	20	22	22	27	23		地温	21	24	26	27	
5	水温	20	23	30	29	28	5	水温	20	23	30	29	
	地温	20	22	24	26	24		地温	20	22	24	24	
沖積	水温	20	22	31	27	27	沖積	水温	20	22	31	27	
	地温	20	21	24	25	23		地温	20	21	24	23	

水温は田面水、地温は地表下5cmの部位

第6表 酸化還元電位の推移

月日		那 珂					月日		鹿 島				
谷津田	地点	5月27日	6月18日	7月4日	8月2日	8月29日	谷津田	地点	5月28日	6月17日	7月2日	7月29日	
那珂	1	218	167	134	211	396	鹿島	1	114	56	136	102	
	2	281	167	183	226	332		2	107	64	127	—	
	3	265	217	240	83	371		3	189	157	188	143	
	4	234	140	113	132	304		4	106	107	153	115	
	5	151	179	143	164	357							
沖積田		213	201	175	116	354							

谷津田の土壌および水稲生育からみた低収性の解析

4) 有効態リン酸

那珂谷津でのみ測定したが、第8表にみられるように、各地点とも気温の上昇につれて濃度は高まるが、火山灰の影響のつよい厩1, 2地点では初期低濃度である。

鹿島谷津では測定を行なわなかったが、リン酸吸収係数から推定して、有効リン酸が不足することは考えられない。

5 水稲体の養分濃度

第9表のとおり、那珂谷津についてみると黒色土壌、黒泥土壌ではわら中のN, P₂O₅, K₂O, SiO₂ともに沖積田に比べて低濃度で、泥炭土壌は、SiO₂が低く、礫層土壌はK₂OとSiO₂が低い。

いっぽう鹿島土壌では那珂土壌に比べて、各養分ともやや高濃度であるが、厩1, 2はN, P₂O₅がやや低く、また厩3のSiO₂はやや低い。

6 谷津田の低収性とその改善対策

1) 低収性の要因

谷津田の水稲は前述の調査結果にみられるように一般に低収である。その要因については、これまでも調査されているが、³⁾ ⁴⁾大きく(1) 気象的要因、(2) 水利的要

因、⁽³⁾ 土壌的要因、(4) 社会的要因に分けられるようである。

(1) 気象的要因 台地からの湧水や滲透水は14~15℃で、一部の台地内の水田や台地際の水田では低水温による生育不良がみられるが、大部分の水田では前述の地水温の測定結果にみられるように、沖積田と大差なく、それほど問題にはならないように思われる。

深く開析された狭い谷津田では、台地からの低水温の滲透水と日照不足の影響を受け、また谷底に「もや」がかかりやすく多湿になりやすい。このような気象条件のため、水稲の生育がおくれ、しかも軟弱に生育し、いもち病などの病害が発生しやすい。

(2) 水利的要因 台地上を浅く開析した谷に発達する谷津田や鹿島台地のようにせまく開析された谷津田ではほとんどが台地からの滲透水や湧水と、これらを集水した用水池を主な水源としている。そのためこれらの谷津田では用水量は少なく、しかも降水量によっていちじろしく変動し、農家は用水不足に備えて、ほとんど排水せず、人為的に湛水田としているものが多い。

それにもかかわらず、寡雨年次には用水不足のため、田植がおくれ、やむをえず老熟した徒長苗が移植される結果、下位分けつが休眠し、分けつの発生がおくれ、穂

第 7 表 ア ン モ ニ ア 態 窒 素 の 推 移

(mg/乾土100g)

月日							月日					
谷津田	地点	5月27日	6月18日	7月4日	8月2日	8月29日	谷津田	地点	5月28日	6月17日	7月2日	7月29日
那珂	1	21.9	5.4	5.5	4.6	1.6	鹿島	1	15.1	6.0	3.7	1.9
	2	19.1	10.4	4.2	4.7	1.9		2	10.8	4.3	2.8	2.3
	3	10.8	7.4	3.5	5.0	5.2		3	14.8	10.3	4.0	1.7
	4	19.6	9.0	4.7	5.6	2.9		4	9.5	6.5	5.6	3.4
	5	19.0	8.8	7.4	6.7	2.5						
沖積田		14.0	2.2	5.5	5.7	1.8						

第 8 表 リ ン 酸 の 推 移

(mg/乾土100g)

月日							月日						
谷津田	地点	5月27日	6月18日	7月4日	8月2日	8月29日	谷津田	地点	5月27日	6月18日	7月4日	8月2日	8月29日
那珂 (Truog's)	1	1.4	15.2	9.6	6.4	6.6	那珂 (Lactate)	1	4.0	20.6	11.4	9.4	11.2
	2	2.6	4.0	4.0	4.8	19.3		2	5.2	9.0	8.2	7.4	11.7
	3	8.2	6.4	5.6	12.4	14.4		3	8.8	10.4	8.4	14.0	22.8
	4	3.4	3.2	10.4	6.4	10.3		4	10.8	11.6	18.4	13.2	18.3
	5	2.4	4.8	18.4	4.4	16.7		5	11.6	20.0	29.2	21.2	32.3
沖積田		2.1	3.6	19.6	4.8	5.8	沖積田		6.8	11.2	10.4	14.2	12.0

数が少なくなり、収量が低下するものと思われる。また、本調査の結果にもみられるように、夏期出穂時の用水不足によって、下葉の枯れ上りや粒数の減少が認められる。

このように、谷津田には人為的あるいは地形的な理由から湛水田が多い。このため水管理はほとんど行なわれず、還元がすすみ、水稻の根ぐされも多く、これが低収の大きな原因になっている。

(3) 土壌の要因 前述の調査結果からもみられるように、谷津田には開析の程度によって種々の土壌が分布している。

開析の浅い谷津田では、火山灰質の黒色土壌で有効リン酸が少なく、これも初期生育を遅らせる1つの原因と思われる。

瀑線附近に局所的に分布する礫層土壌では水稻の初期生育は比較的順調であるが、保肥力が小さく、秋落ちの生育を示す。

深く開析された谷津田は大部分が強湿田である。これら水田は土壌母材によって、強グライ土壌、黒泥土壌、泥炭質土壌に分類されるが、土壌は強還元を経過し、水稻は根ぐされが発生し、登熟不良となりやすい。

第9表 水稻体の養分濃度(‰/乾物 Mn, Feはppm)

成分	珂						鹿島																																																					
	地点	6月18日		7月4日		8月2日		地点	5月28日		6月17日		7月2日		7月29日		8月29日																																											
		茎葉	茎葉	茎葉	わら	もみ	茎葉		茎葉	茎葉	茎葉	わら	もみ	茎葉	茎葉	茎葉	わら	もみ																																										
N	1	3.76	3.45	1.65	0.74	1.26	N	1	3.91	3.28	2.94	1.51	0.91	1.73	P ₂ O ₅	1	0.89	0.91	0.83	0.70	0.19	1.30	K ₂ O	1	2.86	2.96	2.94	2.01	2.89	0.55	SiO ₂	1	4.69	5.24	8.81	9.48	14.80	6.11	Mn	1	5.77	5.20	7.96	2.85	2.09	5.9	Fe	1	3.479	2.387	2.450	1.169	5.85	2.41						
	2	3.65	3.12	1.25	0.55	1.53		2	3.29	3.07	2.06	1.29	0.96	1.60		2	0.69	0.91	0.90	0.67	0.19	1.50		2	2.52	3.27	2.71	2.12	2.46	0.66		2	3.57	5.91	8.13	10.38	15.10	7.31		2	4.34	3.08	2.36	1.90	2.82	6.7		2	4.403	3.465	2.450	9.14	4.16	1.64						
	3	2.47	2.05	1.42	0.82	1.53		3	3.54	3.75	2.89	1.34	1.10	1.73		3	0.78	1.00	0.94	0.70	0.27	1.07		3	2.98	3.30	3.73	2.01	2.89	0.66		3	4.35	4.43	5.54	6.24	11.00	5.89		3	2.93	1.67	2.54	95	2.51	5.9		3	3.486	1.512	1.582	5.01	2.36	1.76						
	4	3.48	3.18	1.08	0.64	1.35		4	3.00	3.61	3.00	1.60	1.01	1.88		4	0.62	1.00	0.99	0.81	0.23	1.18		4	2.29	3.30	2.82	1.67	2.36	0.55		4	3.66	5.80	7.34	8.25	14.10	5.46		4	5.23	2.91	2.45	1.90	2.18	5.1		4	3.479	2.464	1.187	1.036	4.87	1.15						
	5	3.65	3.56	1.42	0.79	1.55		沖積	2.86	2.22	1.36	0.76	1.55	沖積		0.48	0.73	0.69	0.26	0.93	沖積	3.09		3.86	2.77	3.37	0.60	沖積	6.11	6.60		7.03	9.75	3.60	沖積	2.14	2.50	2.44		4.27	6.4	沖積	6.46	8.41	10.21	13.08		5.46	沖積	2.14	2.50	2.44	4.27	6.4	沖積	6.46	8.41	10.21	13.08	5.46
	P ₂ O ₅	1	0.49	0.48	0.60	0.13		0.40	K ₂ O	1	3.45	3.98	2.80	2.28		0.85	SiO ₂	1	5.30	7.35	7.83	11.27		2.76	Mn	1	1.65	2.09	1.99	5.57		9.2	Fe	1	88	57	74	680		207																				
2		0.55	0.78	0.42	0.17	0.97	2	2.42		2.48	1.16	1.74	0.62	2	4.75	6.55		7.78	12.30	6.60	2	1.21	1.31	80		2.74	6.5	2	140	131	45	239		61																										
3		0.52	0.45	0.58	0.32	0.72	3	4.26		3.50	1.75	2.55	0.38	3	8.33	7.30		6.64	11.00	3.73	3	1.24	2.50	2.61		4.58	6.4	3	51	145	80	222		60																										
4		0.72	0.48	0.60	0.19	0.65	4	3.42		3.42	2.39	2.78	0.40	4	7.05	5.33		6.36	11.45	2.34	4	1.12	2.47	3.41		5.74	4.7	4	79	65	255	1.65		4.7																										
5		0.60	0.83	0.48	0.24	0.76	5	3.70		4.56	2.96	4.12	0.50	5	6.11	6.60		7.03	9.75	3.60	5	92	1.50	1.31		2.04	4.2	5	101	3.22	89	3.34		8.3																										
沖積		0.48	0.73	0.69	0.26	0.93	沖積	3.09		3.86	2.77	3.37	0.60	沖積	6.46	8.41		10.21	13.08	5.46	沖積	2.14	2.50	2.44		4.27	6.4	沖積	107	5.57	2.86	3.88		8.2																										

谷津田の土壌および水稻生育からみた低収性

このうち鹿島谷津の強グライ土壌は砂質で保肥力が小さく、終始莖数が少なく、ごまはがれ病の発生も多く、秋落ちの生育を示した。また黒泥土壌は表層は火山灰の影響がつよいため、初期生育は黒色土壌の場合と類似するが、後半は強還元の影響が大きいと思われる。泥炭土壌は後半のチッソ過剰による倒伏を招いている。

(4) 社会的要因 最近多くの市町村において、工場誘致や宅地の造成が行なわれてきたが、これら工場団地や住宅団地はほとんどが台地上に建設され、しかも排水等の関係から谷津頭部分に位置しているものが多い。また家畜の多頭飼育にともなって、家畜排水の関係上、台地内の小河川に沿って畜舎が建てられる例が多い。しかもこれら工場、宅地および畜産排水は、新たに排水路を設けることなく、既存の農業用水路や小河川を排水路として利用している場合も少なくない。

いっぽう谷津田の大部分は用排水が分離されておらずしかも用水量が少ないため、上記の排水はあまり希釈されることなく水田に流入し、公害をひきおこしている事例がきわめて多い。

さらに工場や住宅団地のための排水路を建設しても、それによってかえって水田の排水もよくなり、用水量が不足し、干ばつ年次には排水路からポンプ揚水し、やむをえず再利用している事例も少なくない。

このように谷津田は水質汚濁による被害をうけやすい

環境におかれており、現に那珂谷津の中丸川流域などでその事例が認められるが、今後さらに増加するものと思われ、緊急にその対策をたてる必要がある。

2) 改善対策

以上のべたように、谷津田は一般的に低収である。その原因としては水利や気象の面で共通的な要因がある反面、土壌の種類によって種々異なっている。

谷津田は地形的に狭狭で、しかも水源が少ないため、用排水の分離やほ場整備などはほとんどすすんでいない。そのため土壌還元対策としてもっとも効果的な水管理を行なうことができない現状である。また、日照不足や、もやの発生などの気象的要因は谷津田という開析地形によるものであり、その対策はきわめてむづかしい。

しかしながら、これら要因の影響を直接的に回避できないとしても、間接的な方法によってある程度回避できるものと思われる。すなわち、黒色土壌におけるリン酸の増施、砂質土壌における追肥や堆きゅう肥増施による肥効持続、泥炭土壌におけるケイ酸の補給等の施肥面での改善対策がその1つである。さらに苗質の改善や移植期を早めることによる莖数確保など栽培面での改善対策の効果も大きいことは、すで実証されており、4) 5) その2、3の例をあげるとつぎのとおりである。

このように、谷津田水田は施肥、土壌改良および栽培法改善によって増収することができるが、やはり根本的

第 1 0 表 現 地 改 善 対 策 試 験

年次	場 所	土 壌 型	品 種	処 理	(Kg/10a)			
					穂 数 (本/3.3㎡)	わら重	玄米重	同 比
1966	茨 城 町	黒 泥 土 壌	奥 羽 2 4 9	標 準	1.417	526	488	100
				珪カル・ようりん	1.612	558	561	115
"	那 珂 町	泥 炭 土 壌	"	標 準	1.293	459	455	100
				珪カル・ようりん	1.392	590	530	116
1967	"	黒 色 土 壌	ハツヒノデ	標 準	1.140	394	414	100
				土壌改良・N多肥	1.145	469	470	115
1969	鉾 田 町	強 グ ラ イ 土 壌	トドロキワセ	標 準	1.460	577	516	100
				ようりん・転ろさい	1.506	616	586	114
"	那 珂 町	黒 色 土 壌	"	標 準	1.403	593	587	100
				よ う り ん	1.318	581	612	104
				ようりん・転ろさい	1.403	590	584	99
				同 上 ・ N 多 肥	1.455	636	607	103
				同 上 ・ 大 苗	1.670	591	644	110

な対策は用水の確保と排水をとまなう圃場整備の実施である。これなくしては水質汚濁対策も機械導入も困難であり生産性の向上をはかることはむづかしい。また用水確保の1つの方法としては循環かんがいも効果的であると思われる。

参 考 文 献

- 1) 経済企画庁総合開発局：土地分類図（茨城県）縮尺20万分の1。1973
- 2) 経済企画庁：土地分類基本調査。地形、表層地質、

土壌。水戸。1969

- 3) 鈴木武，白鳥孝治，三好洋：両総谷津田の性質と水稲の生育（予報）。千葉農試研報。9号。56。1969
- 4) 萩谷俊雄，森山光男：湿田生産性向上に関する研究（II）湿田水稲の生態。茨城農試研報。2号。3。1959
- 5) 茨城農試：土壌肥料試験成績書。1966，1967，1969

有機溶媒抽出カドミウムおよび鉛分析のための 計算図表の利用

津田公男 ・ 石川昌男

作物体および水の Cd と Pb は有機溶媒抽出後、原子吸光計によって測定する。試料中のこれら重金属濃度は標準液のそれとの比較によって求められるが、この計算は煩雑である。そのため、筆者は $f_1 \times f_4 = f_2 \times f_3$ 型の計算図表を作成し、計算の簡便化を図った。ここでは、作図上の留意点ならびに使用法などについて記した。

I ま え が き

土壌汚染防止法の施行(1971年)以来、農耕地を対象として土壌、作物ならびにかんがい水中の有害重金属類の分析調査を実施している。

これらのうち、作物およびかんがい水中のカドミウム(Cd)と鉛(Pb)は一般的に微量であるため、有機溶媒抽出をおこない、測定液中の金属濃度を高めるとともに測定感度の上昇を図り分析測定している。Cd および Pb は原子吸光計を用いて測定しているが、測定液中の濃度と吸光度とに直線的な関係が認められるのは、いわゆる「Beerの法則」が成立つ濃度範囲である。したがって、この濃度範囲内で測定するためには、あらかじめ試料採取量や分解液採取量などを計算によって求めておく必要がある。この計算は有機溶媒抽出という操作が加わると、かなり煩雑になる。

そのため筆者は計算図表を作成し、利用している。ここでは作図法および使用法を具体的に述べて参考に供したい。なお、計算図表の作成にあたり次の3点に留意した。(1)使用が簡便であるとともに、正確に近似値が求められること。(2)作図が容易であること。(3)適用範囲が広いこと。

II 方 法

1 作成方法

1) 計 算 式

分析法は文献に記載されているが、ここでは計算に必要な箇所を抜粋して示す。

作物体¹⁾: 試料 W g を分解し、分解液量を定容 V_1 ml にする。ここから V_2 ml 採取し、有機溶媒 V_3 ml を加えて抽出して分析に供する。この測定液の金属濃度を C_2 ppm とすれば、試料の濃度 C_1 ppm は下式によって求められる。

$$C_1 = C_2 \times V_3 \times V_1 / V_2 \times 1 / W \quad (1)$$

水²⁾: 試水 V ml を濃縮し、定容 V_1 ml にする。ここから V_1 ml 採取し、有機溶媒で抽出し、さらにこれを希酸 V_3 ml で逆抽出して分析に供する。測定液の金属濃度を C_2 ppm とすれば、試水のそれ (C_1 ppm) は下式によって求まる。

$$C_1 = C_2 \times V_3 \times V_1 / V_2 \times 1 / W \quad (1')$$

したがって、両式は同一計算式として示されるから、以下(1)式のみあつかう。

つぎに「Beerの法則」の成立する範囲では、濃度と吸光度とは正比例するから、測定液における標準液の濃度を C_3 ppm、吸光度を A_2 とし、試料液のそれをそれぞれ、 C_2 ppm、 A_1 とすれば、下の関係式が得られる。

$$C_2 = C_3 \times (A_1 - A_1') / (A_2 - A_2') \quad (2)$$

ここで、 A_1' および A_2' はそれぞれの測定液のブランクの吸光度を示す。

2) 計算図表

計算図表の原理および作図法は成書³⁾に詳述されている。

(1)、(2)式の変形により(3)、(4)式が得られる。

$$C_1 \times W / V_1 = C_2 \times V_3 / V_2 \quad (3)$$

$$C_2 \times a_2 = C_3 \times a_1 \quad (4)$$

ただし、 a_1 および a_2 は $(A_1 - A_1')$ 、 $(A_2 - A_2')$ を示す。(3)式の W/V_1 および V_3/V_2 をそれぞれ1変数とみなせば、両式は $f_1 \times f_4 = f_2 \times f_3$ 型の4変数⁴⁾の計算図表として作図される。

3) 作 図 法

具体的な作図法を示す。まず、方眼紙に長さ (cm) ℓ と m を各辺とする長方形 ($\ell = m$ の場合は正方形) を描き、左下りの対角線を引く。この場合、左辺は f_1 尺、右辺は f_2 尺、下辺は f_3 尺、上辺は f_4 尺になる。次に、各尺に目盛りを入れるが、それは次の順序でおこ

なう。

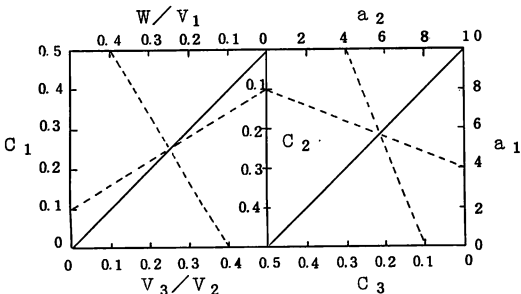
(1) 実際の計算に必要と思われる変数の範囲(最大値と最小値)および尺度係数*をあらかじめ定める。(2) これらは次の条件が満足されなければならない。すなわち、 $f_2(\text{max})/f_1(\text{max}) = \mu_1/\mu_2 = f_4(\text{max})/f_3(\text{max}) = \mu_3/\mu_4$ であり、かつ $f_i(\text{min}) = f_i(\text{max}) - \ell$ (または m) / $\mu_i \geq 0$ 。ここで $f_i(\text{max})$, $f_i(\text{min})$, μ_i は f_i 尺における目盛りの最大値, 目盛りの最小値, 尺度係数とする。(3) 以上のようにして求めた(上記条件のため, 実際に必要とする範囲とは異なる結果が得られる場合もある)最大値と最小値間を尺度係数に従って目盛る。このとき相対する辺同士(f_1 と f_2 , f_3 と f_4)の目盛りは反対方向にする。

第1表 非汚染試料のCdとPb分析における各変数の範囲

	C_1 (ppm)	W/V_1	V_3/V_2	C_2 (ppm)	a_2 (cm)	a_1 (cm)	C_3 (ppm)
玄米	0~0.5	0~0.5	0~0.5	0~0.5	0~10	0~10	0~0.5
かんがい水	0~0.01	0~10	0~0.2	0~0.5	0~10	0~10	0~0.5

第1表には筆者が非汚染試料に使用している各尺の範囲を示した。測定機器は日立208型原子吸光計である。なお、吸光度はチャート上に記録される波高で示した。

(3), (4)式に第1表の範囲を与えれば, それぞれ4変数の計算図表が作図されるが, 両式に共通項 C_2 があるため, 第1図のように結合することができる。



第1図 非汚染玄米におけるCdとPb分析の計算図表
各変数の範囲は第1表に示した。

* 1目盛りの長さ (cm)

2 使用方法

4変数の関係式では, 3変数を定めれば残りは自動的に定まるが, 計算図表においても同様である。すなわち既知の3変数のうち, 対辺同士を直線で結び, これと対角線との交点に残りの既知の変数から直線を引き, これを延長して未知の変数の値を知る。

第1図の点線はその例を示したものである。 C_1 を概略推定し, W/V_1 , および V_3/V_2 を定めれば, 測定液における濃度 C_2 がほぼ予想できる。したがって, この濃度が「Beerの法則」の成立する範囲であるかどうかを知る。またあらかじめ, C_2 に上記法則の成立する濃度範囲を与えられれば, 計算図表化の可能な $C_1 - W/V_1 - V_3/V_2$ 間のあらゆる組合せはこの法則を満足するということが理解される。

同様にして任意に3変数を定めて, 残りが求められる。 C_3 から C_1 を求める際は, まず上記方法によって C_2 を求め, 次に同様にして C_1 を求める。

III 考察

1 作図法

前述したように, 各変数の範囲は任意に定めることはできない。したがって, 実際必要とする範囲を多少変更しなければならない場合がある。その際には, 変更を最小限にとどめるため, 前出した条件を満足するように, 範囲を小幅に動かすという試行錯誤が必要になる。

ひとたび範囲が定まれば, 作図は容易である。

2 使用法

きわめて簡便である。また, 目盛りの間隔が等しいので, 補間も容易に, かつ正確におこなえる。

3 正確さ

筆者は第1図を1mm方眼紙上に, 1辺10cmとして描いている。これはチャートに記録された波高の測定を1mm目盛りの定規でおこなうことを前提としている。すなわち, この場合定規と a_1 , a_2 との目盛りは等しい。また, $C_1 \sim C_3$ の1目盛りは0.005ppmに相当し, 実用上十分と考えられる。

4 適用性

各変数の範囲を適当に定めれば、 $f_1 \times f_4 = f_2 \times f_3$ 型の関係式にはすべて適用できる。

なお、最近原子吸光計付属のデジタル・リーダーが開発された。これは(2)式の計算をおこなって表示するものであるが、この場合においても(1)式の計算は必要である。したがって、(1)式をもとにした計算図表と、デジタル・リーダーとの併用は効率的であると考えられる。

文 献

- 1) 農林水産技術会議事務局：土壌および作物中の重金属の分析法, p. 38~46, 58~59 (1971)
- 2) 日本標準調査会：工場排水試験方法, p. 115~116 (1971), 日本規格協会
- 3) 谷村豊太郎：計算図表学(1929), 丸善
- 4) 田中明雄：応用数学(数値計算法), p. 96 (1972) 槇書店