

三重県の農耕地土壌に関する研究

(第5報) 土壌環境基礎調査からみた土壌管理および土壌の実態について

安田典夫*・石川裕一*・大森瑩一*・米野泰滋**

Studies on the Soils of Arable Land in Mie Prefecture
5. On the soil management and recent actual conditions
by the soil environment survey program

Norio YASUDA, Hirokazu ISHIKAWA, Eiichi OMORI and Taiji YONENO

緒言

土壌は農業生産の基盤であり、作物の生産性を向上させ、国民食糧の安定供給と農家経営の安定を図るためには地力の維持培養を推進することが不可欠である。さらに、土壌は国土保全や環境保全などの諸機能を持つ貴重な資源であるところから、その適正な保全と利用を図る必要がある。このためには、土壌の性質をよく理解し、作物の生産性阻害要因に応じて土壌管理を行うことが大切である。

三重県における農耕地土壌の分類と特徴は地力保全基本調査により明らかにされた^{11) 16) 17) 18)}。これによると本県の農耕地面積86,695haのうち水田面積は65,840haと最も多く、ついで普通畑17,876ha、樹園地2,979haの順になっている。土壌の種類は12土壌群に分類された。土壌の種類別にみると灰色低地土が33,362haで最も多く、全体の38.5%を占め、ついで黄色土が19,630ha、グライ土が17,925haであり、これらの土壌で全体の80%の面積を占めた。また、本県における黒ボク土の分布面積は多湿黒ボク土を合わせて9,584ha程度と少なかった。

一方、地目別にみると、水田では灰色低地土およびグライ土の比率が高く、普通畑、樹園地では黄色土および黒ボク土の比率が高かった。

つぎに、これらの土壌の生産力可能性等級別に分類すると、水田ではⅡ等級の割合が高く、Ⅲ等級は24%であ

る。普通畑ではⅡ等級は43%であるのに対し、Ⅲ、Ⅳ等級は53%と不良土壌が半数以上を占めている。樹園地ではⅢ、Ⅳ等級の占める割合は77%と大部分の園地が不良土壌となっている。また何れの地目もⅠ等級の土壌はみられなかった。これらのことから本県における水田土壌の生産力は中程度、普通畑、樹園地では生産力が低いと結論づけられている。また、この傾向は全国的なレベルでも明らかにされている^{1) 8) 19)}。

しかしながら、土壌は気象や肥培管理などの自然的、人為的な条件により常に変化するものであり、とくに水田においても今後は土地利用方式の転換など農業事情の変動に伴い、大きく変化するものと想定される。そこで、農業生産の場であるとともに有効な諸機能をもつ土壌について、その実態および時間の経過にともなう変化を総合的に把握し、適切な土壌管理対策、土地利用方式を明らかにするため土壌環境基礎調査を実施し、とりまとめたので報告する。

調査方法

1) 土壌管理の実態

この調査は農耕地を対象として調査地点を継続的に設置し、当該調査地点における圃場の肥培管理や作付体系の実態を明らかにする土壌管理実態調査および土壌の理化学性の変化を把握する土壌実態調査からなる。土壌実

*生産環境部

**元生産環境部

態調査は本県に分布する主要な土壌統群について、当該土壌統群を代表すると考えられる土壌統を対象とし、土壌の性格のほか、土地利用状況や営農条件が土壌に及ぼす影響を勘案し、354地点を選定した。そして、土壌管理実態調査は土壌実態調査にかかる圃場について、担当農家に直接、聞き取りおよび記帳依頼によって経営概況、圃場概要、耕種概要および土壌管理状況などの調査を行った。本調査は1979～1987年まで毎年度全地点を調査した。調査の取りまとめは日本土壌協会に委託し、地目および土壌の種類別に平均値を計算した。

2) 土壌の実態解析

土壌実態は1979～1982年に、土壌断面調査および土壌の理化学性分析調査を行った。土壌の断面調査は地力保全基本調査要綱¹³⁾¹⁴⁾に従い、調査時期および土壌の分析試料のサンプリングは水田では水稲収穫後の10～11月、普通畑では主として夏作物収穫後8～9月、樹園地では9～11月にそれぞれ実施した。土壌の分析は土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法¹⁵⁾に従った。

(1) 物理性分析法

サンプルは100mL採土管で採取し、三相分布は三相計を用い、pF-水分曲線、pF1.5粗孔隙および有効水分は多容量pF水分測定装置を用いて測定した。また、飽和透水係数の測定は変水位透水性測定装置を用いた。

(2) 化学性分析法

サンプルは採取後風乾し、2mmのふるいを通して分析試料とした。pHは1:2.5の比率で水抽出し、pHメー

タで測定した。ECは1:5の比率で抽出し、ECメーターで測定した。全炭素および全窒素はCNコーダー法により測定した。置換性石灰、苦土、カリは0.1N酢酸アンモニウム液抽出後原子吸光度計を用いて測定した。陽イオン交換容量はセミマイクロショーレンベルグ法により測定した。可給態リン酸は0.002N硫酸液抽出後トルオーグ法により光電比色計を用いて測定した。水田土壌の可給態窒素はサンプル瓶に土壌を詰め、湛水状態で30℃、28日間培養し、アンモニア態窒素を測定した。一方、畑土壌の可給態窒素はサンプル瓶に土壌を詰め、最大容水量の50%の水分状態で30℃、28日間培養し、アンモニアおよび硝酸態窒素を測定し、その含量を無機態窒素とした。そして、両土壌とも培養しない土壌の無機態窒素を測定し、培養した土壌から差し引いて可給態窒素とした。水田土壌の可給態ケイ酸は酢酸緩衝液抽出、モリブデン酸アンモニウム発色後光電比色計を用いて測定した。

(3) 主成分分析法による解析

水田土壌における物理性および化学性データについて214地点、11項目を選定した。主成分分析法はP個の特性値のもつ情報をm個(m<P)の総合特性値に要約する手法である。ここでは田中ら¹⁶⁾の主成分分析プログラム(PCA)を用いて計算を行った。

結 果

1) 土壌管理の実態

(1) 調査圃場農家の経営

経営の概況は表1に示した。調査した農家数354戸の

表1 土壌管理実態調査経営の概況(1987)

(その1) 経営土地および労働力

専兼業の区分	農家数	地目別平均経営耕地面積(a)						労働力平均人数		
		水田	普通畑	樹園地	牧草地	施設	合計	男	女	合計
専業	99	114.4	46.3	122.8	222.1	21.0	217.1	1.6	1.3	2.9
第1種兼業	95	132.5	14.1	64.4	8.0	15.2	159.7	1.4	1.2	2.6
第2種兼業	158	75.8	16.2	24.9	0.0	5.5	92.8	1.3	1.2	2.5
組織	2	0.0	0.0	5034.5	0.0	0.0	5034.5	-	-	-
合計	354	101.4	23.3	145.5	195.3	17.8	173.4	1.3	1.3	2.6

(その2) 経営形態別農家点数

専兼業の区分	単 一 経 営								複 合 経 営						
	米	畑作	露地野菜	施設野菜	果樹	畜産酪農	茶	合計	米+畑作	米+野菜	米+果樹	米+畜産	米+茶	その他	合計
専業	14	1	2	2	10	2	10	41	10	15	8	7	13	5	58
第1種兼業	59	0	0	1	2	0	5	67	3	7	9	0	9	0	28
第2種兼業	99	0	3	0	6	0	2	110	21	9	5	1	8	4	48
組織	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
合計	172	1	5	3	20	2	17	220	34	31	22	8	30	9	134

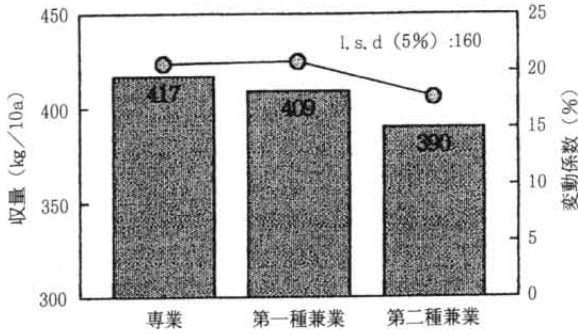


図1 専業別の水稲平均収量 (1987)

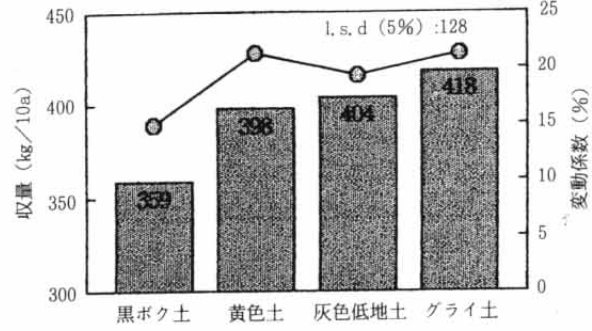


図2 土壌群別の水稲平均収量 (1982)

表2 土壌統群別の水稲収量* (kg/10a)

土壌統群名	調査点数	平均	標準偏差	変動係数 (%)
表層腐植質多湿黒ボク土	10	359	63.5	17.7
腐植質黒ボクグライ土	5	360	50.7	14.1
細粒黄色土・斑紋あり	15	423	47.8	11.3
礫質黄色土・斑紋あり	20	379	98.0	25.9
細粒灰色低地土・灰色系	25	403	63.3	15.7
中粗粒灰色低地土・灰色系	10	476	92.1	19.4
礫質灰色低地土・灰色系	17	398	84.8	21.3
細粒灰色低地土・灰褐色系	22	380	67.7	17.8
中粗粒灰色低地土・灰褐色系	20	413	62.1	15.0
灰色低地土・下層有機質	5	386	52.0	13.5
細粒強グライ土	19	448	49.1	11.0
中粗粒強グライ土	5	380	67.2	17.7
礫質強グライ土	5	242	76.5	31.6
細粒グライ土	9	459	74.6	16.3
中粗粒グライ土	8	434	38.4	8.9
合計	195	403	80.0	19.9

*1982年平均値

うち専業99, 第1種兼業95, 第2種兼業158, 生産組織2であり, 第2種兼業がほぼ半数を占めた。このうち生産組織はかんきつ栽培を行っている。

経営面積と労働力は専業で217.1a, 2.9人, 第1種兼業で159.7a, 2.6人, 第2種兼業では92.8a, 2.5人となっており, 専業農家が経営面積, 労働力ともに多い。

調査農家の経営形態について, 専業農家99戸のうち複合経営は58戸で単一経営より多く, 米+野菜が15戸, 米+茶13戸, 米+畑作10戸, 米+果樹8戸, 米+畜産7戸, その他5戸であった。一方, 兼業農家では1, 2種とも米単作経営が多かった。

(2) 水稲の収量

専業別の水稲収量は図1に示したとおり, 専業が417kg/10a, 第1種兼業が409kg, 第2種兼業が390kgであったが, 大きな差はみられなかった。

土壌の種類別水稲収量について, 1982年における土壌群

別では, 黒ボク土は359kgと少なかったのに対し, 黄色土は398kg, 灰色低地土404kg, グライ土418kgと大きな差はみられなかった(図2)。また, 土壌統群別でも同様の傾向を示したが, 細粒灰色低地土・灰色系, 中粗粒灰色低地土・灰色系, 細粒強グライ土, 細粒グライ土, 中粗粒グライ土が比較的多く, 表層腐植質黒ボク土, 礫質黄色土, 礫質強グライ土は少なかった(表2)。

土壌統群別の水稲収量の年次変化を図3に示した。これによると, 収量は細粒灰色低地土・灰色系, 中粗粒灰色低地土・灰色系, 細粒強グライ土, 細粒グライ土は比較的多く推移し, 黒ボク土および強グライ土は年次変動が大きかった。また, 1980および1982年に極端な収量低下が認められたが, これらの年は冷害年であった。このことは図4の気象条件に示したとおり, 両年は7~8月の夏季に平均気温および日照時間が低いことから, 明らかに気象の影響を受けたものと推定される。しかしながら, 中粗粒灰色低地土, 細粒強グライ土および細粒グライ土は冷害年においても収量低下の程度は少なく, 比較的生産力が安定した土壌といえる。

以上のことから, これまで灰色低地土は生産力が高く, 黒ボク土や黄色土は生産力が低いとされてきたが, 今回の調査結果ではほぼそれを実証した。しかし, グライ土は一般的に収量は低いと考えられてきたが, 今回の調査ではとくに細粒質の土壌では比較的収量が高かった。この原因として, これは最近の基盤整備の進捗により, 用排水分離が完備し, 根が還元障害を受けることが少なくなったものと推定される。

(3) 土壌管理の実態

土壌管理の実態については地目および土壌群別に表3に示した。水田における三要素施用量のうち窒素はグライ土が10a当り11.3kgと最も多く, 多湿黒ボク土および黒ボクグライ土は少なかった。リン酸は土壌の種類による差は少なかったが, 多湿黒ボク土が5.0kgとやや少なかった。カリはグライ土が10.3kgと多く, 多湿黒ボク土および黒ボクグライ土は少なかった。

有機物のうち堆肥およびきゅう肥の施用は少なく, W

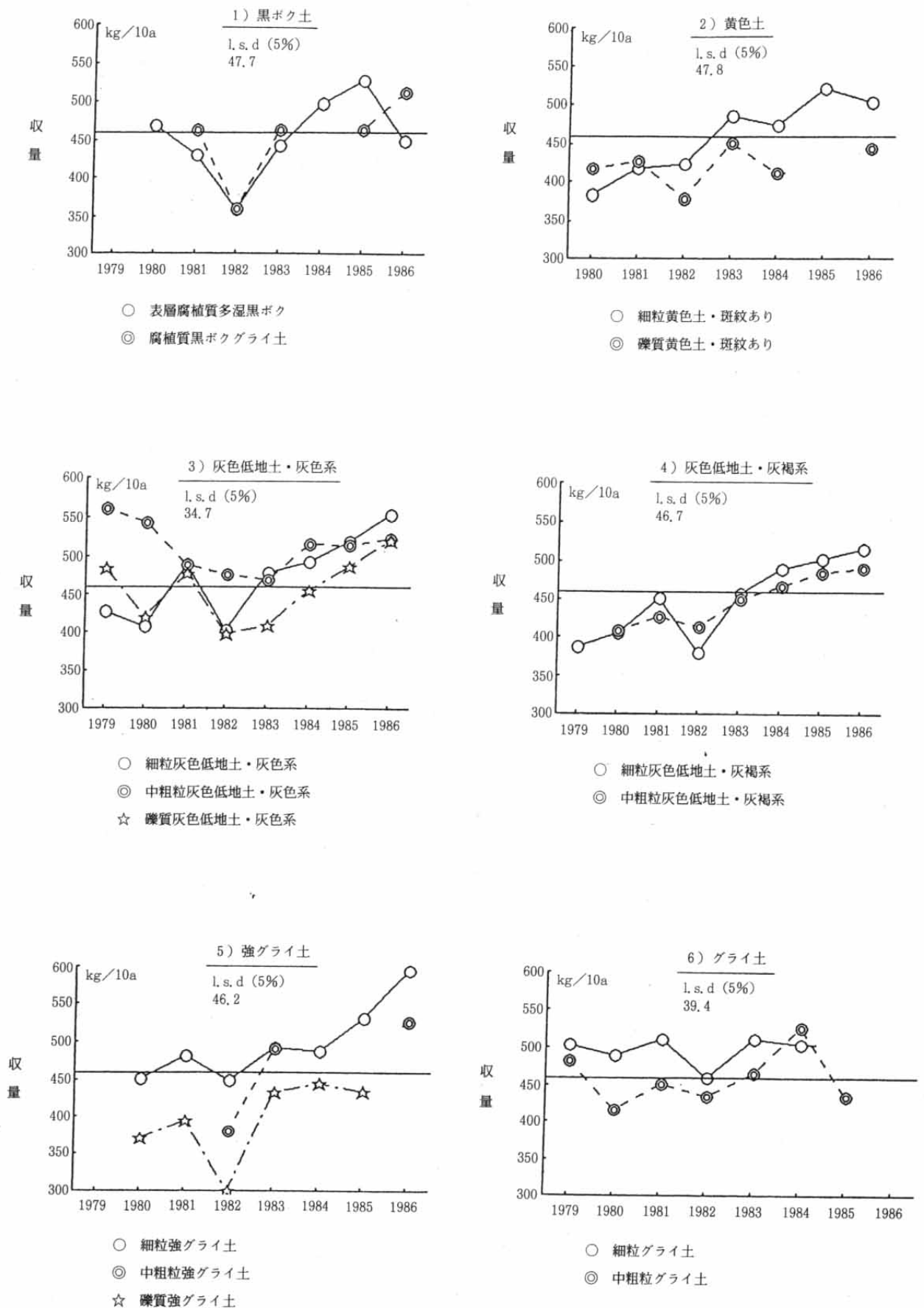


図3 土壤統群別水稻収量の年次変化

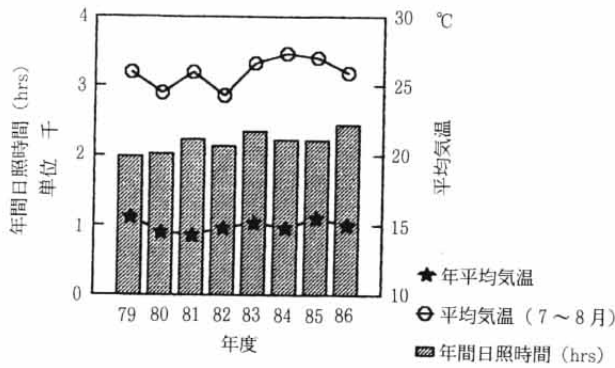


図4 調査期間中の気象条件

ラの施用が多かった。また、施用量はグライ土が600kgと多く、多湿黒ボク土は425kgと少なかったが、大部分はコンバインの刈取りによる生ワラの直接鋤込みによるものであった。

土づくり肥料のうち石灰質資材は水田では苦土石灰などの資材は少なく、ケイ酸の補給を目的としたケイ酸石

灰の施用が多かったが、土壌の種類による施用量の差はみられなかった。

リン酸質資材は多湿黒ボク土および黒ボクグライ土で施用がやや多く、グライ土は少なかった。リン酸質資材の大部分は熔成リン肥であったが、最近では水溶性とク溶性の混合リン肥も施用されていた。

普通畑では三要素施用量は土壌の種類によって異なっているが、これは野菜の栽培が多く、種類によって施肥量が異なるためと思われる。有機物のうちきゅう肥は黄色土および褐色低地土で施用が多くみられたが、とくに黄色土では野菜-飼料作物の輪作体系であったため、牛ふんの投入が多かった。土づくり肥料は主として苦土石灰、熔リンであるが、とくに砂丘未熟土でのリン酸の施用が多かった。

樹園地のうち、ミカンおよびカキ園では三要素の施用量は土壌の種類にかかわらず大きな差はみられなかった。

表3 地目別施肥および土壌管理の実態 (1982)

地目	土壌の種類	調査点数	三要素			有機物				土づくり肥料 ^{*1}		
			窒素	リン酸	カリ	堆肥	きゅう肥	モミガラ	ワラ	石灰	ケイ酸	リン酸
水田	多湿黒ボク土	10	7.5	5.0	7.4	812 (6)	2,000 (1)	-	425 (4)	200 (2)	157 (7)	63 (4)
	黒ボクグライ土	5	7.0	7.2	7.8	-	1,500 (2)	-	500 (2)	-	150 (2)	80 (2)
	黄色土	35	8.9	7.0	8.9	-	521 (6)	-	424 (20)	150 (2)	165 (23)	51 (15)
	灰色低地土	116	8.6	7.4	9.3	4,000 (1)	108 (12)	400 (1)	452 (42)	110 (2)	152 (66)	56 (40)
	グライ土	48	11.3	7.6	10.3	400 (4)	728 (4)	-	600 (36)	-	149 (27)	36 (22)
普通畑 ^{*2}	砂丘未熟土	4	19.1	14.0	13.2	1,000 (4)	-	-	-	-	120 (3)	120 (3)
	黒ボク土	5	30.4	15.3	20.0	-	-	-	613 (4)	100 (1)	-	100 (1)
	黄色土	20	24.5	18.4	19.5	-	3,617 (7)	-	1800 (2)	92 (6)	75 (2)	64 (6)
	褐色低地土	8	37.5	23.0	31.4	-	883 (6)	-	-	192 (4)	-	87 (3)
果樹園 ^{*3}	褐色森林土	4	21.6	18.8	19.8	-	280 (1)	-	-	138 (4)	-	87 (2)
	赤色土	10	23.0	22.7	18.5	-	517 (3)	-	-	167 (3)	-	-
	黄色土	25	19.0	21.4	16.2	1,000 (5)	1,196 (8)	-	352 (2)	123 (11)	150 (2)	46 (3)
茶園	黒ボク土	30	78.0	34.6	30.1	2,850 (3)	1,690 (18)	400 (1)	563 (4)	182 (17)	140 (1)	57 (1)
	黄色土	25	66.4	24.5	24.5	250 (2)	829 (7)	2,600 (2)	707 (7)	126 (11)	-	140 (2)

() 内は施用点数

*1 主としてケイ酸はケイ酸石灰、リン酸は熔成リン肥等

*2 露地野菜

*3 ミカン、カキ

表4 地目別、土壤群別土壤の物理性平均値*1

地目	土壤の種類	調査 点数	作土の 厚さcm	ち密度		孔隙量*2		現地容積重		飽和透水係数	
				作土mm	次層mm	作土%	次層%	作土	次層	作土 cm/s	次層 cm/s
水 田	多湿黒ボク土	10	15.2	13.0	18.5	6.6	6.0	0.99	1.05	5.25×10^{-4}	2.58×10^{-5}
	黒ボクグライ土	5	15.0	10.8	20.4	6.0	4.9	1.05	1.41	6.81×10^{-5}	4.22×10^{-6}
	黄色土	30	15.8	12.7	18.4	6.0	3.9	1.04	1.19	2.14×10^{-4}	1.06×10^{-4}
	灰色低地土	110	15.1	11.2	19.0	8.4	4.1	1.10	1.38	1.08×10^{-3}	4.02×10^{-5}
	グライ土	45	15.3	8.7	17.2	8.8	4.9	1.05	1.38	3.68×10^{-3}	8.07×10^{-5}
普通畑	砂丘未熟土	5	20.0	11.4	14.2	11.8	12.9	1.25	1.41	6.90×10^{-3}	1.22×10^{-4}
	黒ボク土	5	15.4	10.8	18.0	11.4	13.0	0.89	1.08	6.37×10^{-4}	2.83×10^{-3}
	黄色土	20	15.2	13.1	17.9	11.5	5.2	1.10	1.40	1.03×10^{-2}	1.02×10^{-3}
	褐色低地土	11	18.4	11.5	16.7	18.7	16.8	1.13	1.37	6.68×10^{-3}	2.00×10^{-3}
果樹園	褐色森林土	4	9.5	7.0	15.8	21.3	18.4	0.76	1.18	—	—
	赤色土	9	16.1	17.8	18.9	6.0	2.2	1.15	1.31	3.22×10^{-2}	2.29×10^{-2}
	黄色土	18	15.8	14.1	16.4	8.1	3.8	1.05	1.13	4.10×10^{-2}	2.16×10^{-3}
茶 園	黒ボク土	30	16.4	12.5	16.2	14.2	14.6	0.71	0.76	1.41×10^{-2}	8.03×10^{-3}
	黄色土	29	15.6	12.9	16.7	10.9	6.9	0.93	1.13	1.46×10^{-2}	5.39×10^{-3}

*1 1979～1982年集計

*2 pF1.5-2.7

有機物の施用量は全体に少なかった。土づくり肥料は苦土石灰が大部分の圃場で多く施用された。

一方、茶園では施肥量は他の作物と比べてはるかに多く、とくに窒素は黒ボク土で78kg、黄色土で66.4kgであった。しかし、県の施肥基準80kgと比較すると一部の地域で100kgを越える地点がみられた。有機物はきゅう肥の施用が多く、主として牛ふん、豚ふん、鶏ふんの施用によるものであった。

以上のことから、水田では土壤の種類によって三要素の施肥量が異なったが、これは施肥基準（9～10kg）と比較すると、グライ土壌を除いてやや少ない傾向であった。これは、コシヒカリの作付けが多く、倒伏防止のため窒素を控えているためと推定された。一方、ケイ酸石灰などの土づくり肥料は、基準では黒ボク土で200kg程度、灰色低地土やグライ土で100～150kg程度を施用するように指導を行っているが、調査結果ではほぼ基準に従って施用されているものと推定された。また、リン酸についても同様の傾向がみられた。しかしながら、有機物のうち堆肥やきゅう肥の施用地点数は少なく今後の課題として残った。

一方、普通畑・樹園地では三要素施用量は全体として施肥基準どおりであるが、施肥の形態は化成肥料が多く、単肥や有機質肥料の施用はほとんどみられなかった。茶園ではこれに反して硫酸アンモニウムなどの単肥や有機質肥料の施用が多く、これは製茶品質を向上させるために用いているものと思われた。有機物はとくに、堆肥、きゅう肥の施用が少なくなる傾向がみられ、これは農家

の労働力の不足や良質な有機物の入手が益々困難になっていることを示した。

2) 土壤の実態解析

(1) 土壤の物理性

土壤の物理性は表4に示した。水田の作土の厚さは15cm程度であり、土壤の種類による大きな差はみられなかった。ち密度はグライ土が作土、次層土とも低かった。これは土壤水分の影響と思われる。作土のpF1.5-2.7孔隙量は灰色低地土が8.4%、グライ土が8.8%とやや多かった。作土の現地容積重は多湿黒ボク土が0.99と低く、灰色低地土は1.10と小さかった。飽和透水係数は黒ボクグライ土が作土、次層土とも小さかった。

普通畑では作土の厚さは砂丘未熟土が20cm、褐色低地土が18.4cmと深く、黒ボク土および黄色土では浅かった。作土のち密度は大きな差はみられなかったが、次層土のち密度は黒ボク土および黄色土がやや高かった。作土のpF1.5-2.7孔隙量は褐色低地土が18.7%と多かったが、次層土は黄色土が低かった。作土の現地容積重は黒ボク土が0.89と低く、砂丘未熟土は1.25と高かった。

樹園地のうち果樹園では作土の厚さは褐色森林土は9.5cmとかなり浅かったが、これは急傾斜地のミカン園であるため機械による耕起がほとんど行われていないためと思われた。作土および次層土のち密度は赤色土が高かった。作土のpF1.5-2.7孔隙量は褐色森林土が21.3%と最も多く、赤色土および黄色土は作土、次層土ともかなり少なかった。現地容積重は作土は褐色森林土が

表5 地目別、土壌群別土壌の化学性平均値（作土）

(風乾土100g 当り)

地目	土壌の種類	調査 点数	pH (H ₂ O)	EC mS	腐植 %	全窒素 %	可給態 窒素 %	アンモニア 化成率 %	陽イオン 交換容量 meq	交換性塩基			可給態 リン酸 mg	可給態 ケイ酸 mg	リン酸 吸収係数
										石灰 ^略	苦土 ^略	カリ ^略			
水田	多湿黒ボク土	10	6.2	0.07	7.91	0.27	13.5	5.0	29.8	353	32.4	32.0	34.9	16.5	1430
	黒ボクグライ土	5	6.1	0.08	4.08	0.16	13.5	8.4	13.9	224	26.0	7.6	22.5	2.0	558
	黄色土	29	5.9	0.07	5.04	0.27	14.0	5.2	20.8	281	33.5	18.3	27.0	63.1	769
	灰色低地土	110	5.8	0.07	3.57	0.16	11.8	7.4	15.5	196	26.8	14.5	25.5	16.4	576
	グライ土	45	5.8	0.12	3.31	0.17	13.0	7.6	13.3	167	31.5	12.5	24.7	17.2	516
普通畑	砂丘未熟土	5	6.6	0.11	1.24	0.06	7.5	12.5	9.2	169	25.8	30.2	123.2	—	257
	黒ボク土	5	5.5	0.10	6.41	0.17	8.7	5.1	30.4	184	25.7	55.2	90.5	—	886
	黄色土	19	5.9	0.15	2.24	0.11	5.9	5.4	16.7	223	45.9	32.0	100.0	—	582
	褐色低地土	10	5.9	0.07	2.05	0.10	6.5	6.5	11.1	153	14.1	30.0	129.4	—	297
果樹園	褐色森林土	4	6.5	0.14	6.19	0.28	4.9	1.8	27.2	429	78.8	36.6	274.9	—	655
	赤色土	9	5.6	0.08	2.59	0.14	8.5	6.1	15.6	148	34.5	28.2	140.4	—	510
	黄色土	22	5.7	0.10	4.73	0.20	13.9	7.0	24.8	292	56.1	35.1	204.6	—	765
茶園	黒ボク土	29	4.4	0.43	13.88	0.62	15.0	2.4	51.1	269	32.3	55.9	211.9	—	1154
	黄色土	24	4.0	0.37	6.63	0.32	10.0	3.1	31.5	110	23.1	51.2	132.8	—	765

*1979~1982年集計

0.76と低く、次層は赤色土が高かった。一方、茶園では作土の厚さ、ち密度とも土壌の種類による大きな差はみられなかったが、pF1.5-2.7孔隙量は黄色土が作土、次層土とも少なかった。

(2) 土壌の化学性

土壌の化学性は表5に示した。水田土壌のpHは各土壌とも6前後であり、大きな差はみられなかった。腐植は多湿黒ボク土が7.91%と最も多く、灰色低地土およびグライ土は少なかった。全窒素は多湿黒ボク土および黄色土が多かった。可給態窒素は灰色低地土がやや少なかったほかはあまり差はみられなかった。また、アンモニア化成率についてみると、黒ボクグライ土、グライ土、灰色低地土の順に多かった。陽イオン交換容量は多湿黒ボク土が29.8meqと最も高く、黒ボクグライ土およびグライ土はやや低かった。交換性塩基のうち石灰は多湿黒ボク土が353mgと多く、ついで黄色土および黒ボクグライ土が多かった。苦土は全体に30mg前後であり、土壌による差は少なかった。カリは多湿黒ボク土が多く、黒ボクグライ土はかなり少なかった。可給態リン酸は大部分の土壌が20mg以上であり大きな差はみられなかった。可給態ケイ酸は黄色土が56.2mgと最も多く、黒ボクグライ土は2.0mgとかなり少なかった。リン酸吸収係数は多湿黒ボク土が1430と高かった。

普通畑についてpHは黒ボク土が5.5と最も低く、砂丘未熟土は6.6と高かった。腐植は黒ボク土は6.41%であったのに対し、砂丘未熟土は1.24%とかなり少なかった。全窒素および可給態窒素は黒ボク土がいずれも多かつ

た。陽イオン交換容量は黒ボク土が30.4meqと最も高く、砂丘未熟土は9.2meqと低かった。交換性塩基のうち石灰および苦土は黄色土がともに多く、カリは黒ボク土が多かった。可給態リン酸は全体に多く含まれたが、褐色低地土が129.4mgと最も多かった。リン酸吸収係数は畑地では全体に低いが、とくに砂丘未熟土および褐色低地土は300以下であった。

樹園地のうち果樹園ではpHは赤色土および黄色土が低く、石灰含量も少なかった。腐植は褐色森林土が6.19%と多く、可給態窒素は黄色土が多かった。可給態リン酸は各土壌ともかなり多かつた。

一方、茶園ではpHがかなり低く強酸性の園が多かった。腐植および全窒素含量は全体に多かつたが、これは肥料や有機物の多施用による影響と思われた。腐植、全窒素および可給態窒素は黒ボク土が多く、赤色土は少なかった。陽イオン交換容量は黒ボク土が51.1meqと高く、ついで黄色土、赤色土が高かった。

(3) 土壌の変化

過去の土壌調査(地力保全基本調査)結果と比較すると表6に示したとおり、水田では作土の厚さが平均16.1cmであったのに対し、今回の調査では15cm程度に減少していることが認められた。この主な原因として兼業農家の増加など経営形態の変化が考えられるが、主としてプラウ耕から耕うん機およびトラクターなどによるロータリー耕の普及によりあまり深起こしできなくなったことや田植機の普及によって深く起こすと作業能率が低下することがあげられる。また、水田の経営面積別にみる

表6 主な土壌の変化（作土平均値）

（風乾土100g 当り）

地目	調査の種類	作土の厚さ	ち密度	pH (H ₂ O)	腐植	可給態窒素	可給態リン酸	可給態ケイ酸
		cm	mm		%	mg	mg	mg
水田	地力保全基本調査* ¹	16.1	11.4	5.4	4.53	12.9	16.9	5.0
	土壌環境基礎調査* ²	15.3	11.0	5.9	3.98	12.8	25.9	23.4
普通畑	地力保全基本調査* ¹	18.0	10.7	5.5	4.46	—	36.6	—
	土壌環境基礎調査* ²	16.5	12.3	5.9	2.60	—	109.3	—

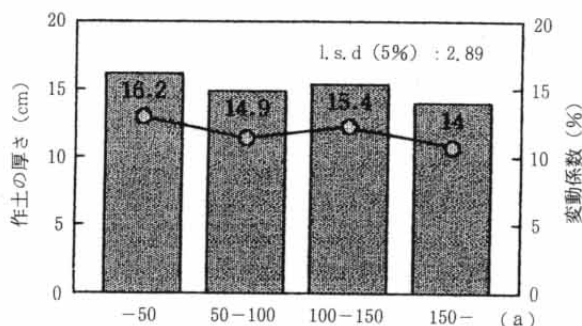
*¹ 1959～1977年調査*² 1979～1982年調査

図5 水田作土の経営面積別厚さ

と図5に示したとおり、経営規模が50 a以上の農家では作土が浅くなっており、専業農家の経営規模の拡大にともなって浅耕化が進行していることも想定される。一方、腐植含量はやや少なくなり、可給態リン酸およびケイ酸は増加した。

普通畑においては作土は地力保全基本調査が全体の平均値が18.0cmであったのに対し、今回は16.5cmと少なく、逆にち密度は前回10.7mmに対し、今回12.3mmと高くなっている。pH、塩基類は以前よりかなり改善されているものと思われるがリン酸は過剰に蓄積している傾向がみられた。

(4) 主成分分析による土壌統群別の土壌の特徴

水田土壌（作土）における土壌の物理・化学性11項目について主成分分析による解析を行った。表7に土壌成分の基本統計量を示した。このうち化学性は物理性よりも変動係数が比較的高く、とくに交換性苦土およびカリが70%前後と高かった。このことは化学性が施肥や土壌改良などによる影響を敏感に反映することを示すものと思われた。表8に特性間の相関係数を示したとおり、腐植と全窒素、陽イオン交換容量（CEC）とリン酸吸収係数、現地容積重と固相率の間にそれぞれ0.8以上の高い相関がみられ、ついで、CECと腐植、石灰、腐植とリン酸吸収係数、全窒素と現地容積重の間に0.6以上の相関がみられた。

この相関係数から主成分の固有値および固有ベクトル

を計算し、表9に示した。固有値は第1から第3主成分までが1以上であり、とくに、第2主成分までの累積寄与率は60.9%であり、各変量の情報のうち3分の2程度はこの2つの主成分で説明できることを示している。そこで、固有ベクトルから各成分の因子負荷量を計算し、第1（Z1）および第2主成分（Z2）軸を用いて特性値をプロットした（図6）。この図からおおよそ次のようにデータが集約できる。

第1主成分は、①腐植、全窒素、CEC、リン酸吸収係数と正の相関、②現地容積重と負の相関、③交換性石灰、苦土、カリとは弱い正の相関、固相率とは弱い負の相関を示している。これは第1主成分が腐植の集積によってもたらされる①窒素の可給性、②保肥性（リン酸固定力）に関する情報を要約した成分であることを示している。すなわち、第1主成分スコアの大きなサンプルは、腐植含有率、窒素の可給性、保肥性がいずれも高い。したがって、この成分を腐植による肥沃度を表すものとする。しかし、黒ボク土のようなリン固定力が大きくなりやすい土壌では、それによる負の効果が大きくなる可能性がある。

一方、第2主成分は、①交換性石灰、苦土、カリとは正の相関、②可給態窒素とは負の相関、③現地容積重、固相率とは正の相関、④CEC、リン酸吸収係数とは弱い正の相関、⑤腐植、全窒素とは弱い負の相関を示している。第1主成分と同様に考えると、第2主成分は低腐植含有率サンプルの無機成分による肥沃度（主として塩基状態）に関する情報を要約した総合特性値と考えられる。ただし、この因子には腐植含有率が低いことによる大きな現地容積重、高い固相率など肥沃度に対してマイナスの要因として働く因子を内包している。この点を留保した上で、この成分を塩基状態を示す因子とする。

したがって、第1、第2主成分の組み合わせによって腐植および塩基状態による肥沃度を総合的に判断できると考えられる。そして、各地点の第1、第2主成分スコアによる土壌の種類別散布図を図7に示し、これから土壌の特徴を判定すると次のようであった。

表7 土壌成分の基本統計量 (N=214)

変数名	単位	平均	標準偏差	変動係数%	最低	最高
		5.83	0.44	7.5	4.0	7.7
X (2) 腐植	%	3.81	2.00	52.5	0.67	10.85
X (3) 全窒素 (T-N)	%	0.18	0.09	50.0	0.04	0.60
X (4) 陽イオン交換容量 (CEC)	meq	16.34	6.16	37.7	5.0	37.2
X (5) 交換性石灰 (CaO)	mg	206.8	101.39	49.0	39.0	753.0
X (6) 交換性苦土 (MgO)	mg	30.26	21.15	69.9	5.5	159.9
X (7) 交換性カリ (K ₂ O)	mg	15.67	11.30	72.1	0.1	68.7
X (8) リン酸吸収係数		630.5	330.3	52.4	140.0	2020.0
X (9) 可給態窒素	mg	12.52	4.84	38.7	1.7	29.8
X (10) 現地容積重		1.07	0.17	15.9	0.62	1.55
X (11) 固相率	%	40.0	7.89	19.7	24.4	67.5

表8 相関係数 (N=214)

変数	X (1)	X (2)	X (3)	X (4)	X (5)	X (6)	X (7)	X (8)	X (9)	X (10)	X (11)
X (1)	-	0.03	0.03	0.08	0.56	0.20	0.18	0.06	-0.08	0.02	0.03
X (2)		-	0.85	0.61	0.33	-0.10	0.11	0.65	0.51	-0.58	-0.30
X (3)			-	0.47	0.24	-0.13	-0.01	0.44	0.58	-0.60	-0.37
X (4)				-	0.62	0.41	0.51	0.82	0.17	-0.27	0.02
X (5)					-	0.44	0.38	0.48	0.05	-0.11	0.04
X (6)						-	0.42	0.24	-0.12	0.02	0.09
X (7)							-	0.38	-0.16	-0.05	0.08
X (8)								-	0.16	-0.20	0.05
X (9)									-	-0.53	-0.41
X (10)										-	0.84
X (11)											-

表9 固有値と固有ベクトル

変数名	固有ベクトル		
	1	2	3
X (1) pH (H ₂ O)	0.083	0.246	-0.538
X (2) 腐植	0.436	-0.126	0.224
X (3) 全窒素 (T-N)	0.400	-0.219	0.130
X (4) 陽イオン交換容量(CEC)	0.397	0.270	0.213
X (5) 交換性石灰 (CaO)	0.284	0.354	-0.245
X (6) 交換性苦土(MgO)	0.102	0.386	-0.278
X (7) 交換性カリ (K ₂ O)	0.169	0.371	0.082
X (8) リン酸吸収係数	0.371	0.219	0.347
X (9) 可給態窒素	0.270	-0.325	-0.001
X (10) 現地容積重	-0.338	0.314	0.323
X (11) 固相率	-0.202	0.372	0.479
固有値	4.031	2.664	1.258
寄与率	0.366	0.242	0.114
累積寄与率%	36.6	60.9	72.3

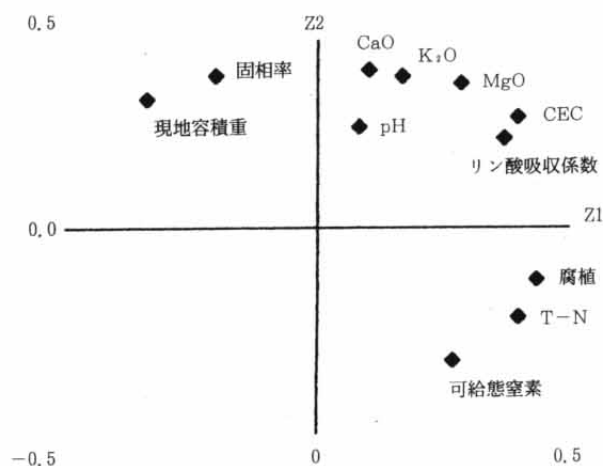


図6 第1・第2主成分の各特性値への重み (因子負荷量)

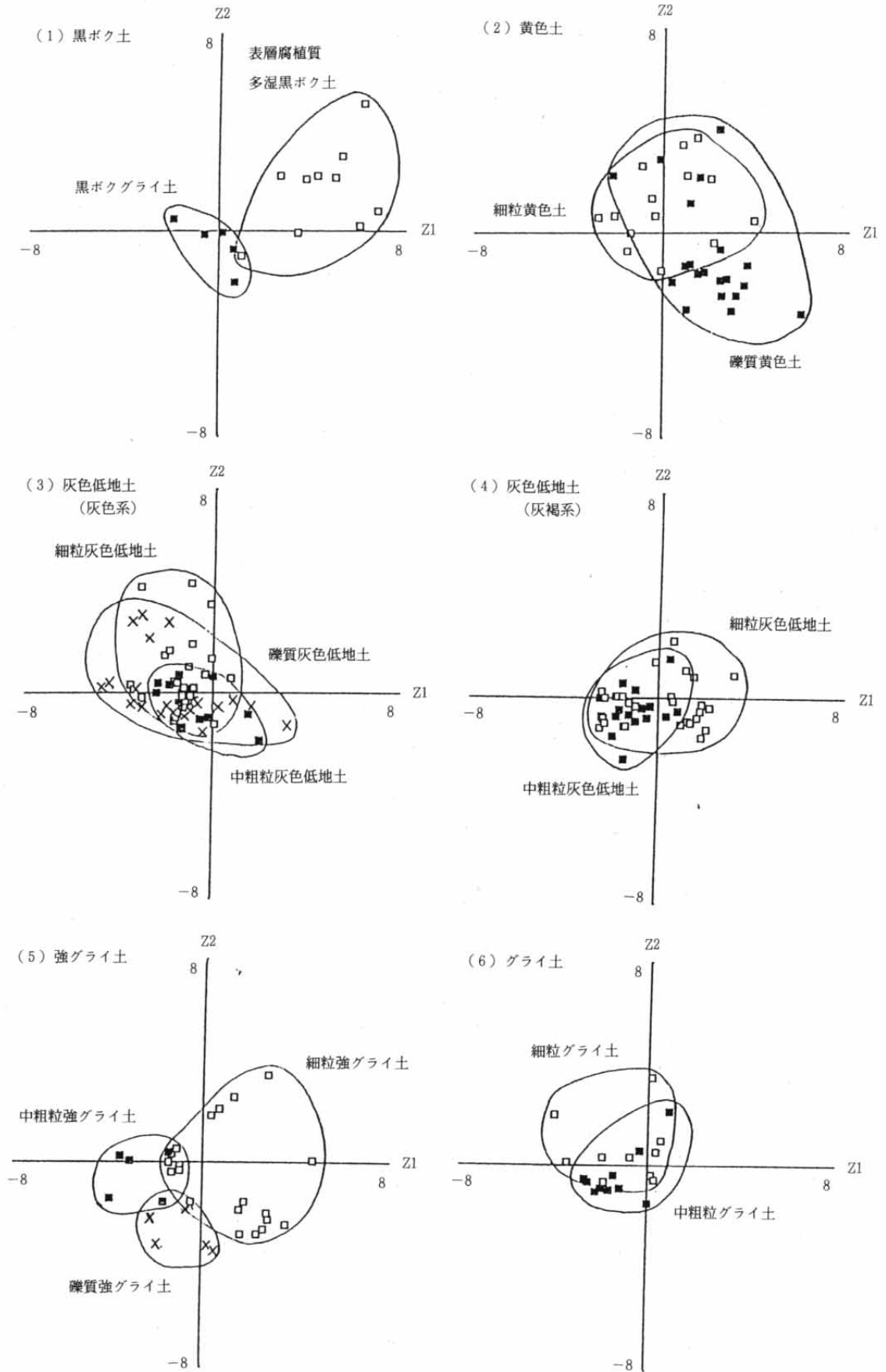


図7 第1、第2主成分軸による土壌の種類別特徴

ア. 黒ボク土

黒ボクグライ土はZ1：中，Z2：中で原点付近にプロットされるのに対して，表層腐植質多湿黒ボク土はZ1，Z2ともに大きい傾向にあり，分布はほとんど重複しなかった。

イ. 黄色土

細粒黄色土：Z1：中，Z2：中であるがZ2の大きい方に若干偏っている。一方，礫質黄色土は細粒と類似スコアを示す地点と，Z1：中～大，Z2：中～小の土壤が含まれているため重なり合いが大きい。礫質黄色土の多くはZ1：大，Z2：小の方向にプロットされており，腐植が多く，塩基未飽和なものが多いと思われた。

ウ. 灰色低地土

灰色低地土のうち灰色系は大部分は原点付近にプロットされ，Z1，Z2では区別できず，細粒灰色低地土を除くとZ1の低いものも多かった。

一方，灰褐色系では大部分は原点付近にプロットされ，Z1、Z2によって細粒と中粗粒を区別することはできなかった。中粗粒の大部分はZ1<0の領域にあり，灰色系と同様に有機物の多投が必要であり，また，細粒灰色低地土の一部を除いて塩基状態も劣ったものも多かった。

エ. グライ土

細粒強グライ土を除いていずれも原点付近かZ1がわずかにマイナスになる位置にプロットされ，細粒，中粗粒，礫質のグライ，強グライをZ1，Z2座標上で分類することはできなかった。細粒強グライ土の一部を除いてZ1<0のものも多く，灰色低地土と同様の対策が必要であった。細粒強グライ土はプロットの分散が大きく，2群に分かれる傾向にあった。

考 察

土壌の実態に関する調査研究^{2),3),4)}は多く，全国的規模で組織的に行われた主な調査は土壌の分類と生産性分級図（土壌図）の作成を目的とした地力保全基本調査がある。吉池¹⁰⁾はわが国の耕地の地力の実態と変化について全国的な取りまとめを行い，不良土壌の占める割合は水田では39.3%，普通畑では69.2%，樹園地では64.3%みられるとしている。さらに，土壌の変化について地力保全基本調査と地力実態調査の分析データを比較した場合，水田土壌では作土の厚さ，全炭素およびアンモニア態窒素生成量の減少，pHの上昇，交換性塩基，リン酸の増加を認めている。また，普通畑，樹園地においても同様の傾向がみられたことを報告している。今回の土壌環境基礎調査においても水田の作土の厚さが浅く，基本調査時と比べても減少していることが認められている。作土の厚さは有効土層とともに有効根群域を確保するう

えて重要であるが，逐年低減の傾向にある。これは農業労働力や経営形態の変化によって耕起の粗放化が進んだことが大きな原因になっていると推察される。このことは，本研究でも水田の経営面積別にみると経営規模が50a以上の農家では作土が浅くなっており，専業農家の経営規模の拡大にともなって浅耕化が進行していることが想定される。このようなことから，水田の生産力を維持・増進するためには，作土が浅くならないような対策を講じなければならない。しかし，今後，米の生産コスト低下のための土地集積による面積拡大など農業構造の変化に伴う大規模化が想定され，機械化に対応した土づくり対策が必要と思われる。

農耕地における土壌の物理・化学性の分析データなどから土壌の分類や実態解析を行う有効な手法として多変量解析法を用いた報告が多い^{3),4),9)}。三好⁹⁾は土壌調査によって得られた測定値と土壌分類について，生産性からの土壌分類と基本調査による分類とは質的に異なる面が大きいとし，とくに土壌の特性のうちその栽培条件下での生産性に関連の深い少数因子を選び出すためには多変量解析などの助けを借りる重要性を提唱している。土壌分類と土地利用に関しては鎌田⁵⁾が神奈川県畑地土壌の土地分級に主成分分析法を適用し，石川ら⁴⁾は茨城県における火山灰畑地土壌統の化学的性質を解明するために主成分分析を行った。KOSAKIら⁶⁾は主成分分析法およびクラスター分析法を用いて土壌要因の抽出と図式化を行った。

久馬⁷⁾は土壌分類に適用する際の技術的問題点として，通常用いる土壌の特性について名義尺度，順序尺度，間隔尺度の3つのグループがあり，このようにいろいろの尺度で測定された性質を用いる場合には応用しうる手法には限度があるとしている。また，これらの多種類の性格を異にする特性値を扱う手法としてはクラスター分析があるにすぎないとしているが，一般に相関行列から出発して主成分分析を用いている例が多く，この場合主成分値の土壌学的な解釈，意味づけは必ずしも容易でない点が問題としている。

主成分分析の結果により，本県の土壌の特徴は次のように要約できた。すなわち，大部分の土壌は腐植質黒ボク土，礫質黄色土，細粒グライ土などを除いて，原点付近の比較的狭い領域に分布し，水田作土の腐植，塩基状態に大きな偏りが無いことを示した。しかし，多くの土壌で作土の腐植が不足しており，有機物の多投に重点をおいた改良が判断された。また，腐植質多湿黒ボク土についてはリン酸対策が，礫質黄色土については塩基類の補給が重要な改良対策であることが示唆された。これらは，池田ら³⁾によっても愛知県の土壌について同

様の結果が報告されている。

このように、既存情報による土壌特性の主成分分析結果は、物理・化学性に関する数値データを要約することによって、土壌自身の特性に由来する生育障害要因をある程度評価できることを示している。しかし、主成分の意味を解釈するには、立地条件や土壌断面の特徴に関する情報が不可欠であり、これらを含むデータベースを整備する必要があることを示している。三好¹⁰⁾はこのことについて、各県で行われた主成分分析の累積寄与率の比較を行い、変数の選択を断面形態と物理・化学性に分けると累積寄与率は異なるため、特性値の選び方には検討の余地があるとしている。このためには作物の生産性と土壌特性を関係づけられる情報が必要である。したがって、土壌の総合的な診断にあたっては、物理・化学性だけでは不十分で立地条件や断面特性を考慮する必要があると考えられる。

以上のことから、三重県における最近の農耕地土壌の実態から判断すると、水田については作土の厚さの確保、有機物の補給が必要であり、普通畑ではリン酸の過剰対策、樹園地では石灰資材の補給、リン酸の過剰対策がそれぞれ必要と結論づけられる。今後、土壌の変化に対応した管理対策を実施するためには、個別農家の意志決定を支援するような計画的な土壌診断が必要と考えられる。

要 約

これまで、農耕地土壌の生産力については地力保全基本調査(1959~1977年)によって土壌の種類別に明らかにされているが、1979年から実施されている土壌環境基礎調査のデータを用いて、最近の土壌の実態を明らかにした。

1) 三重県の水田における土壌管理実態について、有機物は堆肥やきゅう肥の施用は少なく、生ワラの施用が多かった。また、土壌改良資材はケイ酸石灰および熔リンの施用が多かった。普通畑では野菜を中心として有機物の施用が多く、樹園地では有機物は茶園で施用が多かったのに対し、果樹園では少なかった。

2) 土壌統群別の水稲収量は、細粒灰色低地土・灰色系、中粗粒灰色低地土・灰色系、細粒強グライ土、細粒グライ土、中粗粒グライ土が比較的多く、表層腐植質黒ボク土、礫質黄色土、礫質強グライ土は少なかった。

3) 水田土壌の変化について、作土の厚さや腐植含量は低下したが、可給態リン酸およびケイ酸は増加した。

4) 主成分分析の結果、水田作土の物理・化学性を総合することによって全体変動の約60%を説明する第1主成分、第2主成分を抽出できた。第1主成分は腐植の集積、第2主成分は塩基状態による作土の肥沃度を総合した因

子と考えることができた。

5) 第1, 第2主成分スコアによる解析の結果、多くの土壌で作土の腐植が不足しており、有機物の多投に重点をおいた改良が必要であった。また、腐植質多湿黒ボク土についてはリン酸対策が、礫質黄色土については塩基の補給が重要な改良対策であることが示唆された。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、農業改良普及所の方々には土壌管理実態調査および土壌調査に絶大なご協力をいただき、深く感謝します。また、本論文をまとめるにあたり、北海道大学農学部教授佐久間敏雄博士には懇切なご指導をいただき、深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 土壌保全調査事業全国協議会: 日本の耕地土壌の実態と対策, (1979)
- 2) 江頭和彦・中島征志郎・矢野文夫・宮崎 孝: 長崎県耕地土壌理化学分析データの多変量解析, 長崎総農林試研報, 16, 1-22 (1988)
- 3) 池田彰弘・山田良三・田中武夫・田島英男・瀧勝俊・沖野英男: 愛知県耕地土壌の地力変化の実態, 愛知農総試研報, 20, 329-338 (1988)
- 4) 石川昌男・津田公男・須田清隆・石川 実: 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, 茨城農試研報, 13, 75-84 (1973)
- 5) 鎌田春海: 神奈川県における土壌分類と土地利用に関する研究, -水田および畑地土壌の土地分級について-, 神奈川農研報, 119, 1-108 (1978)
- 6) KOSAKI, T. and JUO, A. S. R.: Multivariate approach to grouping soils in small fields I. Extraction of factors causing soil variation by principal component analysis, Soil Sci. Plant Nutr., 35, 469-477 (1989)
- 7) 久馬一剛: 土壌分類における数値的方法の適用, ベドロジスト, 18, 30-37 (1974)
- 8) 松阪泰明: 本邦水田土壌の分類に関する研究, 農技研報, B20, 155-349 (1969)
- 9) 三好 洋: 千葉県畑土壌の生産力的区分-地力保全基本調査の主成分分析法の適用について-, 土肥要旨集, 19, 132 (1973)
- 10) 三好 洋: 生産からみた土壌分類-とくに土壌調査によって得られた測定値と土壌分類について-, 土肥誌, 49, 170-179 (1978)
- 11) 三重県: 地力保全基本調査総合成績書, 土壌図 (1979)
- 12) 農林省農産課: 地力保全対策要綱, 地力保全対策資料, 34

- (1971)
- 13) 農林水産省農蚕園芸局農産課：土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法 (1979)
- 14) 農業技術研究所化学部：農耕地土壌の分類—土壌統の設定基準および土壌統一覧表— (第2次案改訂版), 1-75 (1979)
- 15) 田中 豊・垂水共之・脇本和昌編：パソコン統計解析ハンドブック, II. 多変量解析編, P160-194, 共立出版, 東京 (1988)
- 16) 米野泰滋・安田典夫・戸田鉦一・大森瑩一：三重県の農耕地土壌に関する研究 (第1報) 土壌の種類と理化学性について, 三重農技セ研報10, 35-53 (1982)
- 17) 米野泰滋・安田典夫・石川裕一・戸田鉦一・大森瑩一：三重県の農耕地土壌に関する研究 (第2報) 土壌の生産力特性と主成分分析法の適用について, 三重農技セ研報, 11, 49-59 (1983)
- 18) 米野泰滋・安田典夫・石川裕一・戸田鉦一・大森瑩一：三重県の農耕地土壌に関する研究 (第3報) 土壌の物理性特に水分特性について, 三重農技セ研報, 11, 45-53 (1984)
- 19) 吉池昭夫：わが国耕地の地力の実態と変化, 農及園, 57, 110-116 (1982)

Studies on the Soils of Arable Land in Mie Prefecture

5. On the soil management and recent actual conditions by the soil environment survey program

Norio YASUDA, Hirokazu ISHIKAWA, Eiichi OMORI and Taiji YONENO

SUMMARY

Up to now, with respect to the productivity of arable land, the productivities by kinds of soil have been defined by the Soil Survey for Maintenance of Farmland Fertility Program (1959-1977), but the recent actual conditions of soil were defined on the basis of the data of the Soil Environment Survey Program executed from 1979 using multivariate analysis.

- 1) With respect to the application of organic matter in the actual conditions of soil management in the paddy fields of Mie prefecture, compost or barnyard manure were applied seldom and straw often. Further, as inorganic soil amendment, calcium silicate and fused magnesium were often applied. In an upland, the application of organic matter was high principally around vegetables. In orchards organic matter was often applied to tea, but seldom applied to fruit trees.
- 2) With respect to the yield of paddy rice by soil series groups, fine-textured and coarse-textured gray lowland soils (graytype), fine-textured strong-gley soil and fine-textured gley soil, and coarse-textured gley soil were high yield groups, while humic andosols, gravelly yellow soils and gravelly strong-gley soil were low yield groups.
- 3) As to changes in paddy soil, in about 30 years, the thickness of topsoil and humus content decreased, but available phosphoric acid and silicic acid increased.
- 4) As a result of performing principal component analysis, putting physical and chemical properties of soils in paddy soils together made it possible to abstract the first and second principal components to elucidate about 60% of the whole variation. That is, first component was an integrate factor of the accumulation of humus, and the second was topsoil fertility for base conditions.
- 5) For most of the soils, humus of topsoil was insufficient, so it required a lot of organic matter. And humic wet andosols lacked phosphoric acid and gravelly yellow soils required a supply of base.