

農耕地土壌の化学性の変化および化学性を性格付ける 因子と土壌管理の影響¹⁾

亀和田國彦・岩崎秀穂・柴田和幸²⁾・鈴木智久³⁾・鈴木康夫⁴⁾・印南一憲⁵⁾

摘要: 栃木県内の農耕地土壌の変化の傾向を把握するため、県内農耕地 457 地点の土壌の理化学性および圃場管理内容を調査した。作土の交換性カリウム含量は樹園地および施設で大幅に増加し、交換性カルシウム含量は全ての地目で増加する傾向にあった。可給態リン酸含量は樹園地および施設で大幅に増加した。可給態リン酸含量の増加速度はリン酸施用量に従い、リン酸含量の維持に必要な年間施用量は、黒ボク土 $200\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ 、非黒ボク土で $100\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ 程度であった。因子分析の結果、作土の化学性のばらつきは、塩基状態、母材、および可給態窒素に関わる 3 種の因子によってもたらされていることが示された。全地点および畑地を対象にした分析では塩基状態が第 1 因子になったのに対し、水田では母材が第 1 因子になった。このことから、水田で塩基状態が安定しているのに対し、畑地では圃場管理の違いが塩基状態の違いをもたらし、それが化学性を性格付けるもっとも重要な因子になっていることが示された。それら 3 種の因子得点は、土壌タイプ、地目および作付作目の組み合わせにより特徴的に分布した。

キーワード：土壌の化学性、塩基状態、可給態リン酸、因子分析

Soil management altering the chemical properties of the soil of arable land and principals factors characterized for chemical properties in Tochigi prefecture

Kunihiko KAMEWADA, Hideho IWASAKI, Kazuyuki SHIBATA, Tomohisa SUZUKI, Yasuo SUZUKI, and Ken-ichi IN-NAMI

Summary : To study the trend of the changes in the physical and chemical properties of arable land over time, an investigation of the physical and chemical properties of the top-soil and soil management was carried out at 457 spots of arable land in Tochigi prefecture. The level of exchangeable potassium in the soil was very high in orchard soil and protected horticulture soil, and the level of exchangeable calcium in all type of cultivated land soil was high. The level of available phosphorus in the soil was very high in orchard soil and protected horticultural soil. The rate at which the amount of available phosphorus increased depended on the amount of phosphorus applied, and the amount of phosphorus applied every year to maintain the available phosphorus content in the soil was approximately $200\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ for Andosol and about $100\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ for non-Andosol. From the results of principal component analysis, the variability of the chemical characteristics in the top-soil depended on three factors, which were the status of exchangeable bases, the parent materials, and the level of available nitrogen in the top-soil. At all spots investigated and at the spots of upland farming soil, the most important factor was the status of the exchangeable bases, but in the case of the spots of paddy soil, the most important factor was the parent materials. From these results, we conclude that the status of exchangeable bases in paddy soil is stable; however, differences in soil management caused a difference in the status of exchangeable bases among the spots of upland farming soil. Therefore, the differences in soil management are the most important characterizes the chemical properties of upland farming soil. The factor index points of these three factors are distributed with special by the combination of soil type, kind of cultivated land and kind of crops planted.

Key words: chemical properties of soil, Base State, available phosphate, principal component analysis

1) 栃木県農耕地土壌の実態第 5 報,

2) 現栃木県経営技術課, 3) 現栃木県塩谷農業振興事務所, 4) 現栃木県農業環境指導センター, 5) 現大田原市

(2000.7.31 受理)

I 緒言

農耕地土壌は、土壌管理の影響を強く受け、急速に変化している。栃木県内の農耕地土壌の実態ならびに変化の趨勢は、第 3 報³⁾により報告され、また他県においても多数報告されている^{1,2,6,7,10)}。その内容の大部分は共通している。つまり物理性の面では、耕盤層のち密化が進行し、一方、化学性の面では作土中各種養分の富化が進行していると集約される。このうち化学性については、特にリン酸やカリウム含量の増加が多数報告され、一部地域において、リン酸過剰や、塩基バランスの崩れが問題視されている。この傾向は畑地に共通で、特に施設や樹園地ではリン酸含量の平均値が $100\text{cgP}_2\text{O}_5\text{kg}^{-1}$ を越え、問題が大きいことが指摘されている。またカリウムの増加は、陽イオンバランスの面から問題視されている。

本県では、このような農耕地土壌の実態を把握する目的で、1979 年から、「土壌環境基礎調査」が実施され、1998 年までに 20 年間が経過した。本調査は、5 年間で県内を 1 巡し、1993 年には 3 巡目までの結果がまとめられ、上述のように土壌の変化の傾向が報告³⁾された。1994 年からは第 4 巡目の調査がなされ、1998 年に終了した。そこで、第 3 報³⁾に引き続き、土壌の主な性質の変化について報告する。さらに、各地点の土壌の性質がどの様に特徴付けられ、またそれら特徴が土壌タイプ、地目または作付作物の違いなどの各種土壌管理に関わる要因にどうに関連付けられ、決定されているのか検討した。

II 方法

1. 調査地点

1979 年に設置された土壌環境基礎調査の調査定点を 1994 年から 1997 年の 4 年間調査した。調査地点数は 457 地点で、この内水田が 252 地点、普通畑が 134 地点、樹園地が 33 地点、草地在り 19 地点および施設が 19 地点であった。調査地点数の推移を第 1 表に示した。調査定点数は 1979 年の調査開始当初は 540 地点であったものが、農地外転用等により、調査を継続できない地点が増加し、第 4 巡目には 457 地点に減少した。

2. 調査内容および方法

調査は、表層から 1m までの断面調査、第 3 層までの

物理性および化学性ならびに生物性の測定を行った。物理性として、三相分布、保水性および仮比重を、化学性として pH、交換性陽イオン類、可給態リン酸、全炭素、全窒素および陽イオン交換容量(CEC)等を測定した。また生物性として可給態窒素の測定を行った。土壌の分析は、「土壌、水質及び作物体分析法」⁸⁾によって行った。

さらに、耕起、施肥、土壌改良資材および有機質資材の施用量、作物の作付および生育状況等の土壌管理内容をアンケート方式により調査した。

本報告では、それら測定値の中から作土の化学性を中心に検討し評価した。

III 結果および考察

1. 作土の養分含量の変化

作土の主な養分含量の第 1 巡目から 4 巡目の推移を、地目別に第 2 表に示した。第 1 巡目は 1979 年から 1984 年、第 2 巡目は 1984 年から 1989 年、第 3 巡目は 1989 年から 1993 年、また第 4 巡目は 1994 年から 1998 年に調査を行った。調査基準年として第 1 巡目は 1981 年、第 2 巡目は 1986 年、第 3 巡目は 1991 年、また第 4 巡目は 1996 年として処理した。一般に土壌中養分含量は正規分布しないので、代表値として中央値を示した。

交換性カルシウム含量はいずれの地目でも上昇する傾向にあった。特に樹園地や施設で上昇幅が大きく、樹園地では 1981 年に 290cgkg^{-1} であったものが 1996 年には 581cgkg^{-1} 、施設では 1981 年に 512cgkg^{-1} であったものが、1996 年には 737cgkg^{-1} となり、15 年間に樹園地では 291cgkg^{-1} 、施設では 225cgkg^{-1} 上昇した。また水田でも上昇傾向にあり、1981 年に 267cgkg^{-1} であったものが 1996 年には 374cgkg^{-1} となり 15 年間に 107cgkg^{-1} 上昇した。

交換性カリウム含量は水田、樹園地および施設で上昇する傾向であった。上昇幅は樹園地で最も大きく、1981 年に 58cgkg^{-1} であったものが 1996 年には 71cgkg^{-1} となり、15 年間で 13cgkg^{-1} 上昇した。一方、水田の上昇幅は、 3cgkg^{-1} と僅かであった。

これに対し、交換性マグネシウム含量は水田では 1981 年に 44cgkg^{-1} であったものが 1996 年には 43cgkg^{-1} 、また普通畑では 1981 年に 52cgkg^{-1} であったものが 1996 年には 50cgkg^{-1} 、施設では 1981 年に 94cgkg^{-1} であったものが 1996 年には 77cgkg^{-1} となり各地目ともに変化しないかまたはやや減少する傾向にあった。

一般に、陽イオン飽和度には交換性カルシウム含量の影響が大きく、本調査結果でもおおよそ交換性カルシウム含量と同様の傾向であった。つまり、各地目とも上昇する傾向で、特に樹園地でその程度が大きく、1981 年に

第 1 表 地目別調査有効地点数の推移

巡	調査年	水田	普通畑	樹園地	草地	施設	計
1	1979-1984	289	161	46	23	21	540
2	1984-1989	288	159	44	20	21	532
3	1989-1993	276	156	39	19	19	509
4	1994-1998	252	134	33	19	19	457

68%であったものが1996年には100%になった。水田や普通畑では上昇程度は小さく水田では1981年に57%であったものが1996年には69%に、また普通畑では1981年に54%であったものが1996年には61%になった。

可給態リン酸含量は水田、樹園地および施設で明確に上昇傾向にあった。水田では1981年に19.3cgkg⁻¹であったものが1996年には24.1cgkg⁻¹になり15年間で4.8cgkg⁻¹

上昇した。同様に樹園地では54.7cgkg⁻¹から90.1cgkg⁻¹になり35.4cgkg⁻¹上昇し、また施設では56.8cgkg⁻¹から182.9cgkg⁻¹になり15年間で126.1cgkg⁻¹上昇し、近年も極めて高い割合で上昇している。

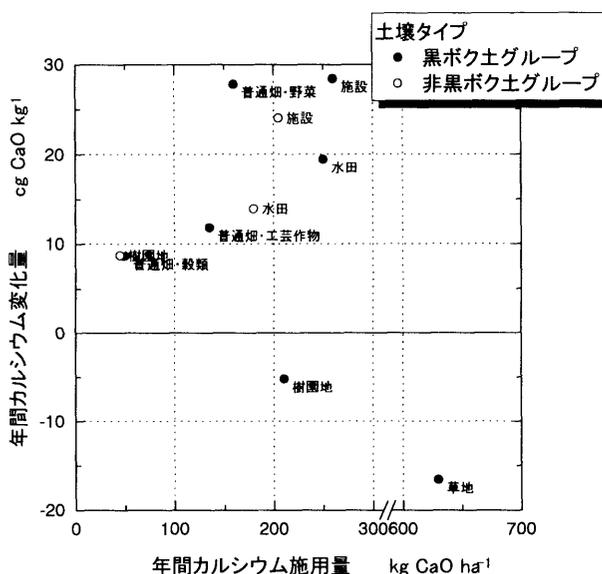
筆者らは、前報³⁾で、1966年から1986年の測定値に基づいて化学性の変化の傾向を明らかにし、可給態リン酸および交換性カリウムの上昇を指摘した。それらの変

第2表 作土の化学性中央値の推移

地目・作目	調査標準年	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	EC dSm ⁻¹	CEC cmol(+) kg ⁻¹	CaO cgkg ⁻¹	MgO cgkg ⁻¹	K ₂ O cgkg ⁻¹	飽和度 %	リン酸吸 収係数	可給態リ ン酸 cgkg ⁻¹	可給態 ケイ酸 cgkg ⁻¹	遊離酸化 鉄 cgkg ⁻¹	可給態 窒素 cgkg ⁻¹
全地点	1981	6.0	5.0		27.0	293	49	37	58	1610	24.9			9.4
	1986	5.7	4.7			351	48	38	63		22.6			11.2
	1991	5.9	4.9	0.10	27.1	330	50	41	59	1500	27.5	17	2025	11.1
	1996	5.9	5.2	0.13	27.8	396	48	39	68	1565	26.7	28	2277	7.3
水田	1981	5.9	4.9		23.0	267	44	28	57	1280	19.3	33	2025	13.1
	1986	5.7	4.7			326	42	29	63		21.4	28	2385	14.6
	1991	5.8	4.8	0.08	23.4	303	43	31	57	1200	24.4	26	2250	16.0
	1996	5.9	5.1		24.3	386	43	31	70	1070	24.1	28	2277	11.4
水田 水稲	1981	5.9	4.9			267	44	28	57		19.3	33	2025	13.1
	1986	5.7	4.7			326	41	29	63		21.5	28	2385	14.6
	1991	5.8	4.9	0.08	23.6	359	42	28	55	1270	22.1			17.4
	1996	5.9	5.1		23.7	374	42	31	69	1040	23.3	28	2270	11.8
普通畑	1981	6.5	5.0	0.13	31.8	310	52	62	54	2000	28.8			6.8
	1986	5.7	4.7	0.17		374	52	57	56		19.8			6.4
	1991	6.0	5.0	0.09	30.7	342	51	52	56	1780	28.6			5.1
	1996	5.9	5.2	0.12	32.1	404	50	62	61	1985	28.4			3.9
通畑, 陸稲	1981	6.2	5.2	0.11		477	70	63	63		44.7			7.1
	1986		4.7	0.15		349	49	70	56		19.7			7.8
	1991	6.0	5.0	0.08	30.9	312	46	50	52	1860	20.7			4.4
	1996	5.9	5.2	0.10	33.5	408	50	57	60	2010	11.4			2.0
普通畑麦類	1981													
	1986													
	1991													
	1996	6.0	5.4	0.09	24.3	334	57	63	68	1340	25.7			4.0
普通畑こんにゃく	1981	5.9	5.0	0.11		282	55	66	55		29.9			6.0
	1986	5.9	4.7	0.22		356	55	51	58		26.1			6.3
	1991	6.1	5.0	0.07	26.9	327	55	46	61	1570	43.0			3.8
	1996	6.1	5.2	0.07	23.9	328	42	35	62	1170	40.9			1.6
普通畑, 野菜	1981	5.9	5.1	0.15		378	51	60	54		56.3			7.5
	1986	5.6	4.5	0.20		386	51	59	56		24.4			5.8
	1991	5.8	5.1	0.10	31.7	380	64	60	58	1730	43.3			5.4
	1996	5.8	5.2	0.16	33.8	441	55	72	65	2070	48.8			4.8
樹園地	1981	6.4	5.4	0.16	20.5	290	80	58	68	1510	54.7			7.7
	1986	6.0	5.2	0.17		409	65	59	87		19.8			5.2
	1991	6.6	5.5	0.15	27.2	484	99	62	90	1630	81.1			10.0
	1996	6.5	5.7	0.13	29.8	581	80	71	100	1785	90.1			4.0
草地	1981	6.1	5.2	0.07	30.0	384	50	18	55	2430	7.5			10.5
	1986	5.7	5.2	0.23		324	60	44	65		5.3			14.0
	1991	5.9	5.3	0.12	32.8	327	142	28	50	2410	8.5			7.7
	1996	5.7	4.9	0.21	32.8	274	53	32	44	2030	10.9			8.1
施設	1981	6.1	5.5	0.52	27.9	512	94	64	105	1060	56.8			9.4
	1986	5.1	4.7	0.67		485	91	68	97		114.6			7.4
	1991	6.2	4.7	0.28	29.4	556	89	69	87	1190	155.6			12.7
	1996	6.2	5.6	0.30	32.3	737	77	70	95	940	182.9			5.3

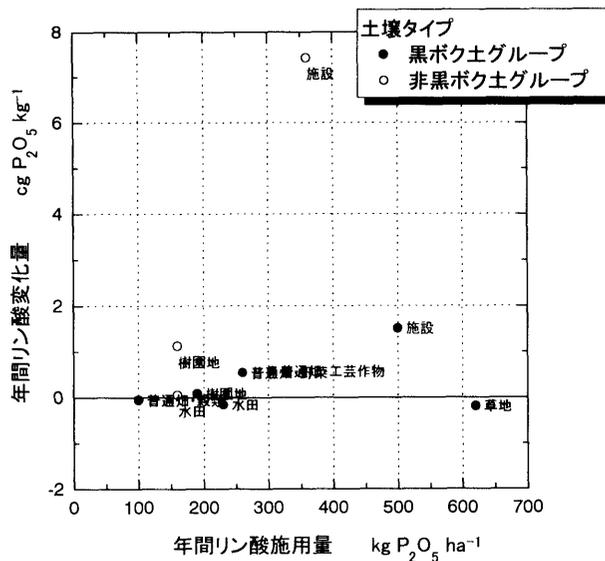
化は上述のとおり近年でも同様で、上昇傾向が継続していることが明らかになった。また今回の調査結果から、交換性カルシウムの増加傾向も明らかになった。一方、交換性マグネシウムは変化せず、塩基バランスの面からマグネシウム欠乏が懸念される。

一般に、水田では灌漑水の影響で塩基飽和度が一定水準に維持されるとされるのに対し、本調査結果では水田でも交換性カルシウムが増加している。これは有機質資材や石灰質肥料ならびにカルシウムを含む珪酸質肥料の施用が主要因と考えられる。1991 年から 1996 年の 5 年間の変化量から年間増加量を算出し、また一方で、アンケート調査結果からカルシウムの年間施用量を算出した⁹⁾。両値の関係を第 1 図に示した。カルシウム施用量は土壤改良資材として施用されているカルシウム質肥料、ケイ酸質肥料およびリン酸質肥料ならびに有機質資材施用量に一般的なカルシウム含有率を乗じて推定した。黒ボク土の樹園地および草地を除き、各プロットは右上がりの直線上に分布し、施用量の増加に応じて交換性カルシウムが増加することが示された。プロットの分布傾向を左に延長すると、おおよそ施用量が 0kg ha^{-1} で増加量が 0cg kg^{-1} になることが読みとれる。プロットが主系列から大きく離れた黒ボク土の樹園地は各種資材の施用が局所的で、土壤の採取位置がこれと異なり施用を反映しなかったものと考えられる。もう一方の草地では、施用されたカルシウムの大部分が牛糞厩肥由来である。これには生糞尿が含まれ、施用量の算出に使用した厩肥代表値に比べて含水率が遙かに高く、施用量の見積もりが多すぎ



第 1 図 カルシウム施用量と作土中交換性カルシウム変化量との関係

注. 計算に使用した有機質資材のカルシウム含有率は現物当たり堆肥 0.51, 厩肥 0.79, オガクズ混合厩肥 1.07, わら類 $3.50 \times 10^{-2}\text{kg kg}^{-1}$



第 2 図 リン酸施用量と作土中可給態リン酸変化量との関係

注. 計算に使用した有機質資材のリン酸含有率は現物当たり堆肥 0.19, 厩肥 0.70, オガクズ混合厩肥 0.56, わら類 $0.60 \times 10^{-2}\text{kg kg}^{-1}$

た可能性が考えられる。さらに、生牛糞尿には塩化物イオンやカリウムならびにナトリウムイオンなどが高濃度に含まれ、土壤中でカルシウムやマグネシウムが流亡しやすい組成と推測され、施用量に対して蓄積量が少なくなる可能性も考えられる。カルシウムは副成分として一部の化成肥料にも含まれ、本報での施用量にはこれを考慮していない。従って施用量推定量を過小評価した可能性もあり、作土の適正水準を維持するための適正施用量を明らかにするためには、作土内の収支を考慮したより詳細な調査が望まれる。

リン酸の年間施用量と可給態リン酸年間変化量との関係を第 2 図に示した。リン酸施用量は、化学肥料および有機質資材施用量から算出した。

草地を除き、土壤タイプ別に右上がりの直線上に分布し、リン酸施用量の多少がリン酸蓄積量の多少を規定していることが示された。黒ボク土グループおよび非黒ボク土グループの分布は異なり、それぞれに図の X 軸つまりリン酸含量の年間変化量が 0cg kg^{-1} の線を横切っている。その X 軸上の位置は、土壤中リン酸含量を維持するのに適正な施肥量と解釈でき、この値は非黒ボク土で $100\text{kg P}_2\text{O}_5\text{ ha}^{-1}$ 、草地を除く黒ボク土グループで $200\text{kg P}_2\text{O}_5\text{ ha}^{-1}$ 程度である。すでにリン酸が必要水準に達している圃場では、それら水準を越える施肥は過剰と判断できる。

草地のプロットはカルシウム同様に主系列から離れている。カルシウム同様に、草地の施用リン酸の大部分が厩肥由来で、資材の含水率推定の違いによる施用量の

過大評価、または有機態リンと無機態リンの土壌中での反応性の違いがその一つの原因と推察される。

2.調査地点の特徴付け

各調査地点の土壌の状態が、どの様な項目によって特徴付けされているのか明らかにするために、第4巡回の調査結果に対して、因子分析を行った。因子分析には、全ての地目で共通して測定された項目を使用した。さらに陽イオンおよび陰イオンの吸着状態に影響される値として pH(H₂O)-pH(KCl)、また有機態窒素の無機化のしやすさの指標として可給態窒素/全窒素の値を加えて分析を行った。

因子分析結果を第3表に示した。分析結果は、3種の因子に整理された。因子負荷の絶対値の大きい項目が当該因子に大きい負荷を持つことになる。因子1は塩基飽和度、pH(KCl)、交換性カルシウム、交換性マグネシウム、pH(H₂O)、および可給態リン酸の負荷が大きく、陽

イオン類および可給態リン酸など、土壌中で比較的可動性が小さい養分状態を示す因子となった。また交換性カリウムも正の負荷を及ぼした。因子2は全炭素、全窒素および CEC の負荷が大きく、土壌の母材や腐食含量により決定される基本的な化学性を示す因子となった。因子3は可給態窒素および可給態窒素/全窒素の負荷が大きく、可給態窒素の状態を示す因子となった。

これらの因子と圃場管理や土壌タイプなどとの関連を検討するため、各調査地点の因子得点の分布を第3から第5図に示した。第3図は因子1と因子2の関係を、第4図は因子2と因子3の関係を、第5図は因子1と因子3の関係を示した。またそれぞれに、土壌タイプ別、地目別、または作付作目別にシンボルを変えて示した。土壌タイプは黒ボク土グループ、および非黒ボク土グループに分類し、黒ボク土グループには、黒ボク土、多湿黒ボク土および黒ボクグライ土を入れ、その他の土壌群は非黒ボク土とした。

第3図によれば、因子1と因子2による分布は、因子2の成分によって土壌タイプにより明確に別れて分布した。黒ボク土グループは因子2成分が正の領域に、非黒ボク土グループは負の領域に分布し、全窒素や CEC の負荷が大きい因子2は黒ボク土グループで高得点にあることが示された。さらに因子1成分の広がり、黒ボク土、非黒ボク土グループともに水田では因子1の得点が0付近に集中したのに対し、普通畑や樹園地等の畑地利用の地点では分布がより広く、特に非黒ボク土の樹園地および施設は正方向への広がりが大きく、塩基状態がばらつき、また富化された地点が多いことを示している。

第4図によれば、因子2の成分によって土壌タイプが明確に分離されるのは第3図と同様であり、さらに、因子3の成分により水田と畑地に分離された。水田はおお

第3表 全地点に対する因子分析結果

項目	因子1	因子2	因子3	共通性
塩基飽和度	0.880	-0.162	0.001	0.800
pH(KCl)	0.867	-0.038	-0.075	0.759
CaO	0.767	0.492	-0.006	0.831
MgO	0.762	0.314	-0.056	0.682
pH(H ₂ O)	0.750	-0.017	0.052	0.566
可給態リン酸	0.529	-0.165	-0.214	0.352
K ₂ O	0.423	0.133	-0.289	0.280
pH(K ₂ O)-pH(KCl)	-0.359	0.026	0.211	0.174
全炭素	-0.078	0.952	0.037	0.913
全窒素	-0.046	0.931	0.065	0.872
CEC	0.116	0.872	-0.091	0.783
可給態窒素	-0.065	0.221	0.936	0.929
可給態窒素/全窒素	-0.116	-0.186	0.913	0.882
平方和	3.885	3.030	1.910	8.825
分散(%)	29.9	23.3	14.7	67.9

第4表 水田に対する因子分析結果

項目	因子1	因子2	因子3	共通性
全炭素	0.959	0.153	0.090	0.951
全窒素	0.926	0.116	0.012	0.871
CEC	0.893	0.253	0.058	0.864
無機態窒素	0.341	-0.135	-0.208	0.177
pH(H ₂ O)	-0.037	0.780	0.072	0.615
MgO	0.274	0.771	-0.084	0.676
pH(KCl)	0.017	0.748	-0.329	0.668
CaO	0.633	0.679	-0.183	0.894
塩基飽和度	-0.266	0.678	-0.349	0.652
可給態ケイ酸	-0.266	0.503	0.301	0.414
遊離酸化鉄	0.057	0.351	0.015	0.127
可給態窒素/全窒素	-0.246	0.006	0.829	0.748
可給態窒素	-0.346	0.143	0.822	0.815
pH(H ₂ O) - pH(KCl)	-0.064	-0.131	0.537	0.309
K ₂ O	0.014	0.258	-0.287	0.149
可給態リン酸	-0.184	0.110	-0.191	0.082
平方和	3.53	3.29	2.19	9.01
分散%	22.1	20.6	13.7	56.3

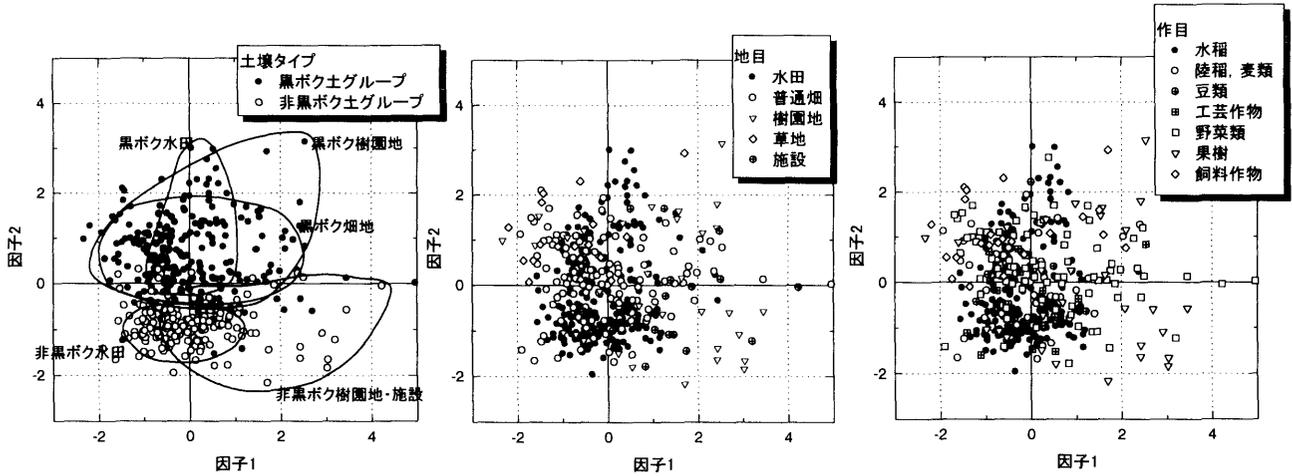
第5表 畑地に対する因子分析結果

項目	因子1	因子2	因子3	共通性
塩基飽和度	0.941	-0.159	0.116	0.924
pH(KCl)	0.877	-0.181	-0.151	0.825
CaO	0.819	0.360	0.092	0.809
MgO	0.776	0.207	0.117	0.659
pH(H ₂ O)	0.770	-0.091	-0.265	0.671
可給態リン酸	0.593	-0.274	0.067	0.431
K ₂ O	0.449	0.087	0.276	0.286
pH(H ₂ O)-pH(KCl)	-0.425	0.200	-0.197	0.260
全炭素	-0.176	0.921	0.087	0.887
全窒素	-0.105	0.914	0.193	0.883
CEC	0.057	0.797	0.050	0.641
可給態窒素/全窒素	-0.018	-0.079	0.929	0.870
可給態窒素	-0.009	0.242	0.879	0.831
無機態窒素	0.183	0.200	0.309	0.169
平方和	4.33	2.78	2.03	9.14
分散%	31.0	19.9	14.5	65.3

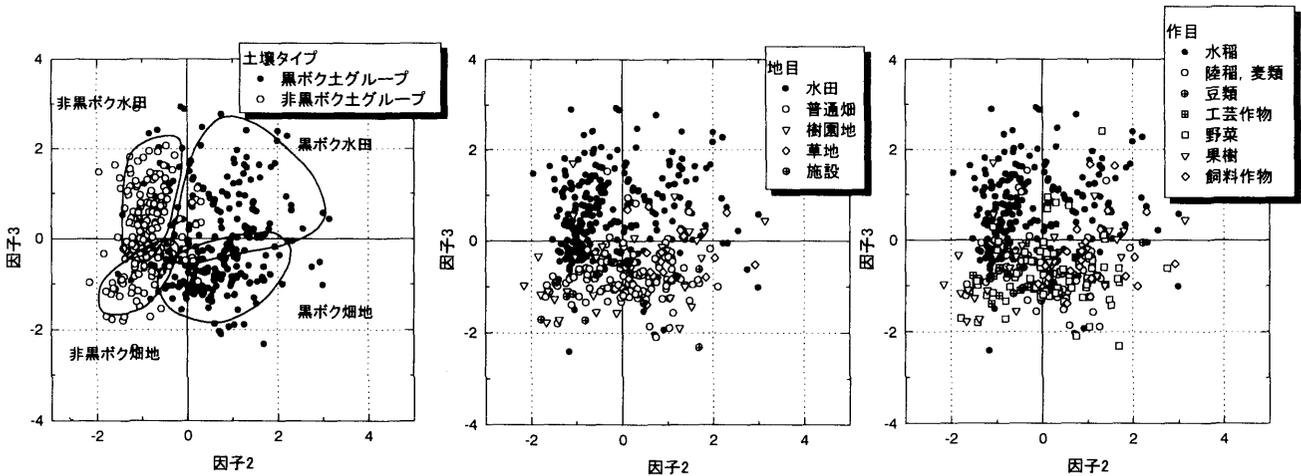
よそ因子 3 の得点が-1 より大きい領域に、また畑地は-1 より小さい領域に分布し、可給態窒素が畑地に比べて明瞭に水田で高いことが示された。また、畑地の中での地の違いは明確でなかったが、豆類および工芸作物栽培地点では因子 2 の得点が小さい傾向にあった。さらに畑地または非黒ボク土水田の分布はそれぞれにやや右上がり

の楕円を形成し、因子 2 と因子 3 の成分間、つまり基本的化学性と可給態窒素に正の相関があることを示している。傾きは両グループで全く異なり、非黒ボク土水田で極端に大きかった。

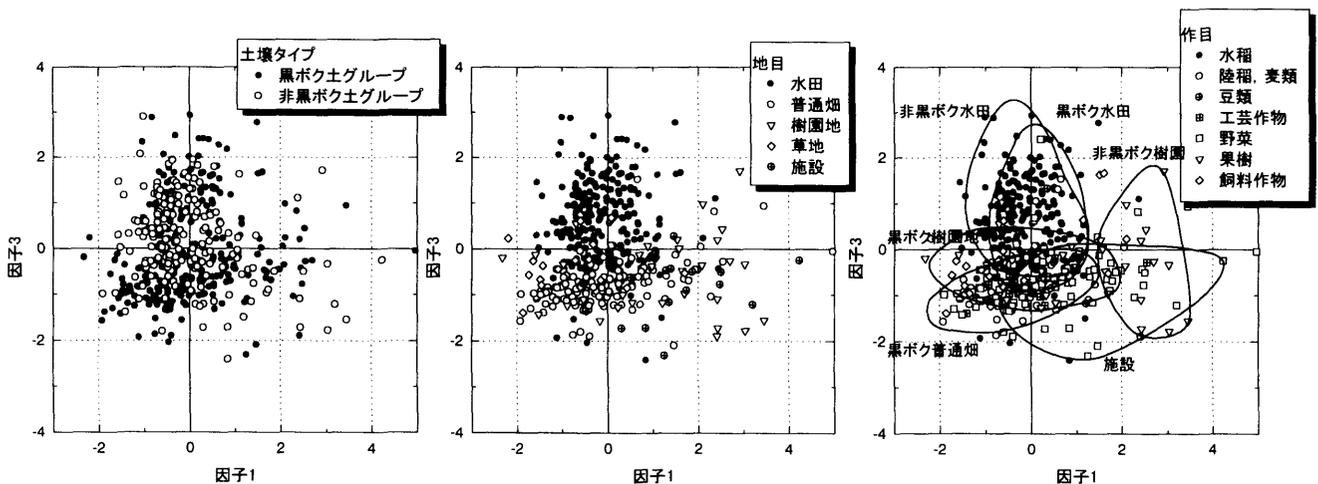
第 3 図によれば、因子 3 の成分により水田と畑地が分離されるのは第 4 図で示したとおりである。さらに水田



第 3-a, b, c 図 因子 1 および因子 2 の得点分布



第 4-a, b, c 図 因子 2 と因子 3 の得点分布



第 5-a, b, c 図 因子 1 と因子 3 の得点分布

は因子1成分により、分布が土壌タイプ別にややずれているようである。つまり、重複部分が多いものの塩基状態は黒ボク土グループの方がやや高得点であった。一方畑地では、非黒ボク土の樹園地は明確に因子1成分が高い領域に分布し、因子3の得点は広い範囲にばらついた。また、施設の調査地点は非黒ボク土が多く、因子1の得点が0から4程度の領域に、また普通畑では-2から+2の領域に分布し、それら地目で塩基状態が高いことが示された。また普通畑の分布は右上がりの楕円を形成し、因子1と3の成分間に正の相関が見られ、塩基状態と可給態窒素が連動していることが示された。

さらに、水田を対象として因子分析を行った。分析は、水田のみの測定項目の遊離酸化鉄および可給態ケイ酸を加えて行った。また、水田を除く畑地を対象に、因子分析を行った。分析は、全地点を対象にした分析と同じ項目で行った。

結果を第4および第5表に示した。水田、畑地ともに3種の因子に整理された。水田では因子1は全炭素やCEC等の土壌母材に関する項目、因子2はpHや塩基飽和度などの塩基状態に関する項目、また因子3は可給態窒素関連項目の因子負荷が大きかった。一方、畑地では因子1はpHや塩基飽和度等の塩基状態に関する項目、因子2は全炭素やCEC等の母材に関する項目、また因子3は可給態窒素関連項目の負荷が大きかった。水田と畑地では因子1と因子2の構成項目が逆となり、水田では母材の違いが、畑地では塩基やリン酸の状態が、地点間の化学性の特徴付けにより大きな要因となっていることが示された。また、可給態リン酸は、水稲作付地点では因子1から因子3までに大きな負荷を及ぼさなかったのに対し、畑地では塩基状態を示す因子1への負荷が大きく、普通畑では塩基類とリン酸の状態が連動していることが示された。

久間⁵⁾は、因子分析を土壌分類に適用し、その有効性について論じている。また米野ら⁴⁾は、因子分析により

土壌の性質をCECや全窒素で構成される自然肥沃度、養分の豊否、および物理性の3種の因子に整理し、因子得点プロットが、土壌タイプごとに特徴的に分布する事を示している。本報では、より圃場管理の影響を受けやすい項目を中心に因子分析を行い、整理された因子が、地目や作付作目などにより、グループ分けできることを示した。

全地点を対象にした因子分析結果は、3種の因子による分散の累積が68%となり、それらの項目によって農耕地の土壌の化学性を決定するかなりの部分が説明されることが示された。全地点、水稲栽培地点または畑地を対象にした因子分析を行っても因子は同じ性格の3種に集約され、これら3種の因子による説明があらゆる農耕地に広く適用でき、またそれが妥当であることを示すものと考えられる。因子2は全炭素やCECで、土壌の母材や腐植含量などの土壌の基本的な性質に規定される項目で、因子分析の解析の中でも、土壌タイプの違いの影響を強く受け、土壌の化学性の一面が土壌タイプによって規定されることを示している。因子3は可給態窒素の状態、これは水田と畑地で明確に別れ、水田でより高得点にあることが示された。一般に水田は、地力が蓄積傾向にあるとされる。因子分析の結果から、この傾向は、土壌タイプによる違いはほとんど無く、地目の違いによる影響が圧倒的に大きいことが示された。可給態窒素状態の因子3と全窒素やCECの負荷の大きい因子2の得点との間に、全地点では相関が見られなかったものの、畑地内または非黒ボク土水田内ではやや相関があると見られ、より限られた条件で両項目に相関が生じることが示された。

因子1は主に塩基類によって構成され、水田では土壌タイプによる違いは明確ではなかった。一般に、水田の土壌中塩基類含量は黒ボク土で高く、塩基飽和度は非黒ボク土で高い傾向にある。これは、黒ボク土はCECが高いこと、ならびに塩基類の多くが灌漑水によって供給され、おそらく土壌の塩基含量がCECと灌漑水中塩基濃度との平衡によって決定されることによるものと考えられる。水田での因子分析でこの因子が畑地と異なり2番目の因子となったのもこのように塩基状態が安定しているため相対的に母材の違いによる全窒素やCECの影響がより大きくなったものと考えられる。一方、畑地では人為的管理によって塩基状態が規定され、そのため塩基類の得点分布の幅が広がったものと考えられる。また、畑地を対象とした因子分析結果でこの因子が1番目になったのも、畑地でより圃場管理の影響を受けやすく、またそれによって化学性が性格付けされているためと考えられる。畑地の中で非黒ボク土はCECが小さいため、塩基

第6表 地目、作付作目別有機質資材施用量 Mgha⁻¹

区分	有機質資材 全量	堆肥	厩肥	オガクズ 混合厩肥	わら類
全地点	11.9	1.2	7.0	1.6	2.0
水田・現況水田	7.3	0.5	2.5	0.9	3.4
水田・転換畑	12.0	0.6	8.4	1.3	1.8
普通畑	10.2	1.2	5.5	2.9	0.3
普通・畑陸稲	6.5	1.8	1.2	3.0	0.8
普通・畑麦類	3.6	2.0	0.2	0.0	1.4
普通・畑こんにゃく	4.2	1.2	2.8	0.0	0.3
普通・畑野菜	14.1	1.4	6.9	5.7	0.0
樹園地	11.3	4.4	4.7	0.9	1.3
草地	65.9	0.0	65.0	0.0	0.0
施設	25.9	4.8	13.9	3.7	2.4

類に関して施用内容の差が因子得点の大きな違いとなり、非黒ボク土の樹園地や施設で、全体に高得点で分布範囲が広がったものと考えられる。またこれらの地点では、可給態窒素の状態を示す因子 3 のバラツキも比較的大きく、因子 3 も土壤管理の影響を強く受けていることを示している。

有機質資材の年間施用量は第 6 表に示したとおり、草地で $65.9\text{Mg}\text{ha}^{-1}$ 、施設で $25.9\text{Mg}\text{ha}^{-1}$ 、野菜畑で $14.1\text{Mg}\text{ha}^{-1}$ 、また樹園地で $11.3\text{Mg}\text{ha}^{-1}$ と高く、草地ではその大部分が厩肥、施設では厩肥や各種堆肥類またはわら類、野菜畑では厩肥および堆肥類、樹園地では厩肥、堆肥ならびにわら類である。第 3 から 5 図に示した因子分析結果の地目別プロットで、施設および樹園地ならびに草地の塩基状態が高かったのは、それらの有機質資材施用量が多いのが一因と思われる。特に施設および樹園地は非黒ボク土が多く、それら地点は土壤の CEC が小さいため、資材施用の影響が大きく現れたものと考えられる。有機質資材施用は塩基類の補給と同時に因子 3 に負荷が大きい可給態窒素肥沃度も高めるものと考えられる。施設では因子 1 の塩基状態が高いのに対し、因子 3 の可給態窒素肥沃度が低く可給態窒素の消耗が激しい。一方、草地は、因子 1 の塩基状態は比較的低水準で、因子 3 の可給態窒素肥沃度は畑地の中では比較的高く、草地で施用の多い厩肥は相対的に窒素や塩化物イオン等の可溶性成分が高くカルシウムなどの塩基類含量が低いことによるものと考えられる。また、樹園地では可給態窒素が塩基状態とともに高い地点が多いものと判断される。

謝辞

本調査における土壤試料の分析の一部を鈴木美代子氏および高崎恭子氏に担当いただいた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

1. 安西徹郎・渡辺春朗・金子文宣・真行寺孝・在原克之・松本直治(1992)千葉県におけるこの 10 年間の農耕地土壤の実態と変化(1992), 千葉農試研報 33: 107-121
2. 池田彰弘・山田良三・田中武生・田島英男・瀧 勝俊・沖野英男(1988)愛知県耕地土壤の地力変化の実態, 愛知農総試研報 20: 329-338
3. 亀和田國彦(1990)栃木県農耕地土壤の実態第 3 報近年の農耕地土壤の主要な性質の変化, 栃木農試研報 37: 115-132
4. 米野泰滋・安田典夫・石川祐一・戸田鉦一・大森榮一(1983)三重県の農耕地土壤に関する研究第 2 報土壤の生産力特性と主成分分析法の適用について, 三重県農技研報 11: 49-59
5. 久間一剛(1972)土壤分類における数値的方法, ペドロジスト 16: 46-60
6. 松浦謙吉・中沢征三郎・上本 哲・宮地勝正・谷本俊明(1994)広島県における水田土壤環境の実態と変化, 広島農技セ研報 60: 1-12
7. 中沢征三郎・上本哲・宮地勝正・谷本俊明・松浦謙吉(1989)広島県水田土壤環境の実態と変遷, 広島県農試研報 52: 47-57
8. 農林水産省農産課(1979)土壤環境基礎調査における土壤, 水質及び作物体分析法
9. 農林水産省草地試験場(1983)家畜ふん尿処理利用研究会会議資料, 草地試資料 58-2: 60-61
10. 吉池昭夫(1983)農耕地における施用リン酸の蓄積について, 土肥誌 54: 255-261