

## 滋賀県における農耕地土壌の実態と変化(第3報) 土壌モニタリング調査 35年間のまとめと解析

園田敬太郎\*・猪田有美・北川照美\*\*・武久邦彦

Status and Changes of Cultivated Soil Properties in Shiga Prefecture(Report 3)

Keitaro SONODA , Yumi INODA , Terumi KITAGAWA and Kunihiko TAKEHISA

キーワード：可給態リン酸，滋賀県，施肥量，全炭素，全窒素，土壌 pH，土壌理化学性，農耕地土壌

1979年から2013年まで、35年にわたり滋賀県内農耕地土壌の理化学性について定点調査(5年毎)を実施した。また、調査ほ場の耕作者に肥料等施用状況についてアンケート調査を実施し、土壌理化学性の変化との関連を解析した。

- 1) 水田土壌の理化学性： 土壌 pH は、第1巡(1979～1983年)から第5巡(1999～2003年)まで低下する傾向が見られ、第5巡では平均値5.8になった。第6巡(2004～2008年)以後に上昇に転じ、第7巡(2009～2013年)には平均値6.0となった。全炭素は平均値2.1%前後、全窒素については平均値0.2%前後で、概ね横ばいに推移した。可給態リン酸は平均値が第7巡に21.3mg/100gとなり、第5巡の平均値26.4mg/100gより低下した。
- 2) 水稲栽培における施肥量： 窒素、リン酸、カリ成分のすべてにおいて減少傾向にあり、第7巡調査では、第1巡調査時の4～6割程度の施肥量になった。第1巡から第3巡(1989～1993年)にかけて追肥重点施肥法が普及し、基肥量が減少した。第7巡には省力的な全量基肥栽培を採用する農業者が増えており、追肥や穂肥の施肥量が減少した。
- 3) 水田土壌へのリン酸蓄積： ほ場に変更のない定点25地点を選抜して土壌全リン酸含量を測定したところ、平均して第1巡から第5巡まで増加し、第7巡は減少に転換していた。化成肥料や土づくり肥料によるリン酸の施用量が減少していることが理由と考えられた。
- 4) 畑地、茶園土壌： 施設畑土壌については、第1巡から一貫して可給態リン酸が高い状況が継続していた。茶園土壌については、土壌 pH が低い状況が継続していた。

### 1. 結 言

土壌は農業生産の基礎であり、その生産力を制限している要因を把握し、土づくりを実施して良好な環境にすることは、農業経営において重要である。また近年は、生産性についての評価だけでなく、栄養塩類負荷削減や炭素貯留機能などを含めた環境保全の観点から土壌を評価していく必要も生じている。

こうした目的により、滋賀県では農林水産省補助事業である土壌環境基礎調査(1979～1998年)および土壌機能実態モニタリング調査(1999～2002年)に取り組み、農耕地土壌理化学性についての実地調査を行ってきたが、現在も県単独事業としてこれを継続している。本調査では、耕作の継続に伴う土壌理化学性の変化を把握するとともに、調査ほ場の耕作者へアンケート調査を実施し、営農が農耕地土壌にどう影響し

ているのかについても考察することとしている。

本調査は適宜とりまとめを行っており、武久ら<sup>1)</sup>は、第1報で第4巡(1994～1998年)の土壌分析結果をもとに、土壌理化学性は、土壌タイプと土壌管理の相違による地域性があると報告している。また堀田ら<sup>2)</sup>は、第2報で第5巡(1979～2002年)の土壌分析値を、水田における肥料や土壌改良資材の施用量の変遷と関連づけて評価し、特にリン酸の蓄積傾向が継続していることを報告している。

本報では、第5巡以後10年経過した第7巡(2009～2013年)において、水稲での施肥量や土づくり肥料施用量が顕著に減少していることを踏まえ、その関連で生じている農耕地土壌理化学性の変化について解析する。

\*現 滋賀県農政水産部農政課

\*\*現 滋賀県湖北農業農村振興事務所



### 3. 結果および考察

#### 3.1 水田

##### 3.1.1 土壌理化学性の実態

第7巡に調査した157地点の平均値、標準偏差、最大値、最小値と、第1巡から第6巡までの平均値と標準偏差を表2に示した。

作土深は、第7巡の平均値が14.9cmと第5巡以後に大きな変化はない。標準偏差は2.0と第5巡より大きくなった。作土深の分布を図2に示した。59%は土壌改良目標値(15cm)<sup>5)</sup>未満であった。第5巡までは全般に作土深は深くなる傾向が見られていたが、第7巡では13cm未満の割合も増加に転じていた。

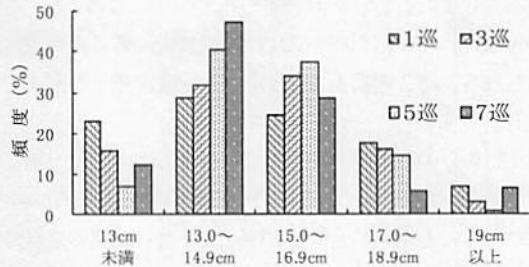


図2 作土深の分布(水田) (1, 3, 5, 7巡の比較)

注) 土壌改良目標値は、15cm以上である。

平均値(cm):第1巡14.4 第3巡14.8 第5巡15.0 第7巡14.9

土壌pHの分布を図3に示した。第7巡では土壌改良目標値(5.5~6.5)<sup>5)</sup>を満たしているほ場が157地点のうち、97地点(62%)であり、第5巡の55%からの改善がみられる。目標下限に達しない5.5未満のほ場は18%と、第5巡の34%から

大きく減少した。6.5を超えるほ場については17%と第5巡の12%から増加しており、分布全体が少し高いpH域に移動した。地域別には湖東地域や東近江地域のほ場で土壌pHが高い傾向がみられた。

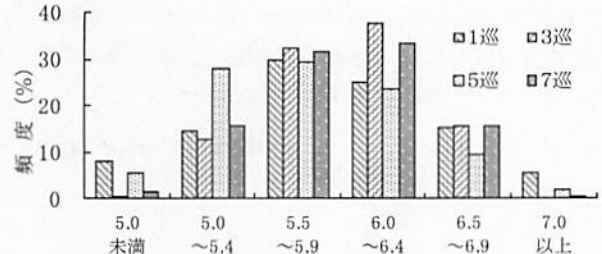


図3 土壌pHの分布(水田) (1, 3, 5, 7巡の比較)

土壌pH(平均値)の推移を図4に示した。第1巡および第2巡では平均値6.0であったが、その後は低下を続け第5巡には平均値5.8になった。その後は上昇に転じ、第7巡平均値は6.0になった。第7巡平均値は、第4巡および第5巡平均値と比べて有意に高くなった。

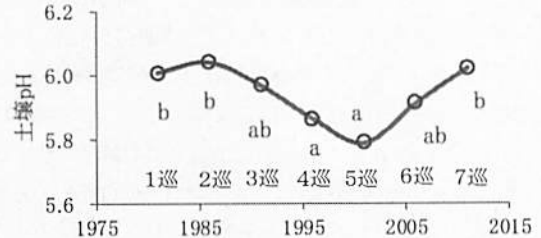


図4 水田における土壌pH(平均値)の推移

注) Tukey法による多重比較検定の結果、

異なる符号間には、5%水準で有意差があることを示している。

表2 水田定点の土壌理化学性(第1巡~第7巡)

期間	項目	作土深 cm	仮比重 g/ml	土壌pH (H <sub>2</sub> O)	T-C %	T-N %	CEC me/100g	置換性塩基 (mg/100g)			塩基飽和度 %	リン酸吸収 係数	可給態リン酸 mg/100g	可給態ケイ酸 mg/100g	遊離酸化鉄 %
								CaO	MgO	K <sub>2</sub> O					
1巡 (1979-	平均値	14.4	-	6.0	2.10	0.20	12.8	218.4	36.6	14.9	79.2	651	24.3	23.6	0.97
	標準偏差	2.6	-	0.5	1.00	0.08	5.0	91.5	25.3	6.5	17.1	226	19.1	18.5	0.51
2巡 (1984-	平均値	14.3	-	6.0	2.20	0.18	10.3	203.3	36.1	17.6	72.9	-	23.0	37.0	1.34
	標準偏差	2.0	-	0.5	0.98	0.06	2.1	74.3	28.3	8.0	12.0	56	17.4	31.6	1.17
3巡 (1989-	平均値	14.8	-	6.0	2.20	0.22	14.7	217.4	40.2	23.6	70.9	686	30.8	27.6	1.26
	標準偏差	2.2	-	0.4	1.17	0.09	5.3	85.6	28.9	13.4	16.7	284	22.1	19.9	0.82
4巡 (1994-	平均値	14.2	1.01	5.9	2.10	0.20	14.6	223.4	37.2	18.8	69.9	655	25.4	43.8	1.06
	標準偏差	1.8	0.16	0.5	0.87	0.07	5.0	94.9	28.8	7.5	18.5	233	17.9	37.1	0.58
5巡 (1999-	平均値	15.0	1.01	5.8	2.11	0.20	14.8	231.9	36.0	18.7	69.0	749	26.4	23.1	0.84
	標準偏差	1.5	0.14	0.5	0.83	0.07	5.0	105.0	26.3	7.5	17.3	345	20.3	15.0	0.53
6巡 (2004-	平均値	14.6	1.10	5.9	2.07	0.20	12.7	217.5	29.9	16.6	78.2	893	22.3	21.5	1.24
	標準偏差	1.7	0.13	0.4	0.86	0.07	5.2	110.0	23.9	7.7	26.1	282	12.7	20.1	0.75
7巡 (2009- -2012)	測定数	157	41	157	157	157	157	157	157	157	157	41	157	157	41
	平均値	14.9	0.99	6.0	2.15	0.20	14.4	216.2	37.5	17.4	67.1	643	21.3	26.6	1.33
	標準偏差	2.0	0.15	0.5	0.79	0.06	5.2	110.8	24.8	9.2	17.0	249	17.4	24.9	0.91
	最大値	21.3	1.19	7.4	5.86	0.53	34.1	669.9	182.2	78.9	133.4	1288	156.3	162.6	4.54
最小値	10.2	0.44	4.8	1.31	0.12	6.1	33.8	6.7	5.2	17.8	274	2.8	0.9	0.29	

第1巡から第5巡までは、土壌 pH は低下傾向に推移しているが、堀田らの第2報<sup>2)</sup>では、土づくり肥料(アルカリ分)の施用量が減少したことを主な理由とした。

CEC は、第7巡の平均値が 14.4me/100g であった。第1巡からの CEC の分布を図5に示した。腐植の多い黒ボク土や泥炭土において全地点で目標値(20me/100g 以上)<sup>5)</sup>を満たしていたが、県内水田のほとんどを灰色低地土やグライ土が占めており、目標値を満たしている地点が少なかった。

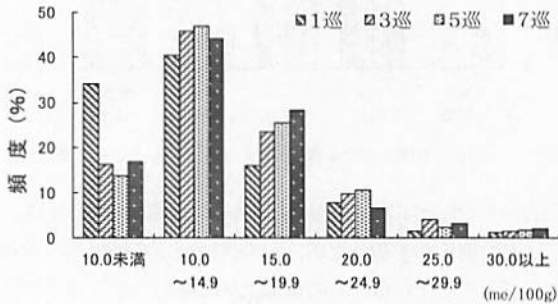


図5 CECの頻度分布(水田)(1,3,5,7巡の比較)

注) 土壌改良目標値は、20me/100g以上である。

腐植の増減の指標になる全炭素(T-C)や全窒素(T-N)については、第7巡調査では、それぞれ平均値が2.15%、0.20%であった。第1巡からの全炭素含量および全窒素含量の平均値の推移を図6に示した。第1巡から第7巡までの巡間において分散分析を行ったが、巡間に有意な差は認められず、概ね安定していると考えられた。水稲栽培と転作作物としての小麦や大豆栽培を行う現在の栽培体系では、炭素貯留に及ぼす効果はほとんどないと考えられる。

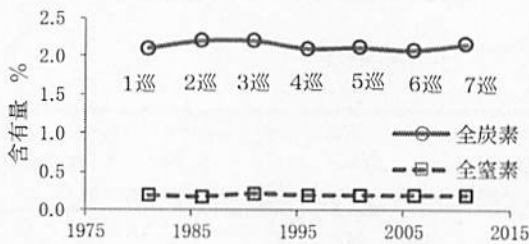


図6 水田における全炭素と全窒素(平均値)の推移

注) 分散分析の結果、巡間に有意差は確認されなかった。

可給態リン酸について、第1巡からの平均値の推移を図7に示した。第1巡は 24.3 mg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g であり、第3巡には 30.8 mg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g となり、土壌改良目標値(10~20mg/100g)<sup>5)</sup>を大きく超え、武久ら<sup>1)</sup>や堀田ら<sup>2)</sup>が考察したとおり、リン酸の蓄積が確認された。しかし、第7巡までの推移をみると、第3巡をピークに、その後は低下傾向で推移しており、第7巡では 21.3mg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g となり、土壌改良目標値の上限を少し超える状況となった。

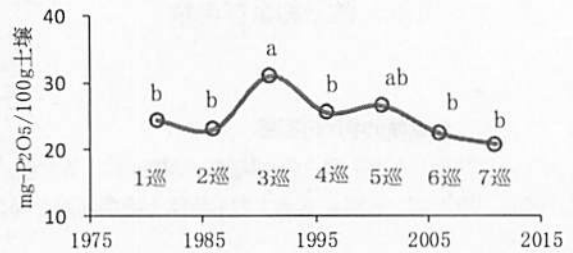


図7 水田における可給態リン酸(平均値)の推移

注) Tukey法による多重比較検定の結果、異なる符号間には、5%水準で有意差があることを示している。

堀田ら<sup>2)</sup>は、第5巡まで滋賀県内の灰色低地土およびグライ土水田で、土づくり肥料施用量が減少しているにもかかわらず可給態リン酸が高いことを報告している。全国的にリン酸が蓄積しているとする報告例<sup>6, 7, 8, 9, 10)</sup>が多いが、本調査からは、第3~5巡をピークに徐々に減少に転じた可能性が考えられる。総合考察4.2で土壌全リン酸含量との関連で考察する。

第1巡からの可給態リン酸の分布を図8に示した。第7巡における分布をみると、土壌改良目標値(10~20mg/100g)<sup>5)</sup>を満たしている地点が全体の33%であった。42%の地点で目標値を超過しているが、この割合は第5巡から低下している。一方、10mg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g未満の地点の割合は増加に転じており、肥料や土づくり肥料の施用量の減少が影響しているものと考えられる。

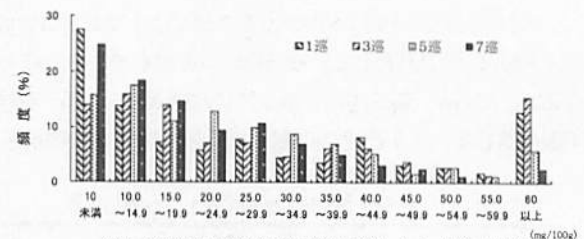


図8 可給態リン酸の頻度分布(水田)(1, 3, 5, 7巡の比較)

注) 土壌改良目標値は、10~20mg/100gである。

第1巡からの可給態ケイ酸の分布を図9に示した。第7巡における可給態ケイ酸は、土壌改良目標値(15~30mg/100g)<sup>5)</sup>を満たしている地点が全体の35%であった。38%の地点で目標値を下回る一方で、28%の地点で目標値を上回っており、ばらつきが大きかった。第5巡より目標値未満の地点割合が増えており、土づくり肥料施用量の減少が影響していると考えられる。

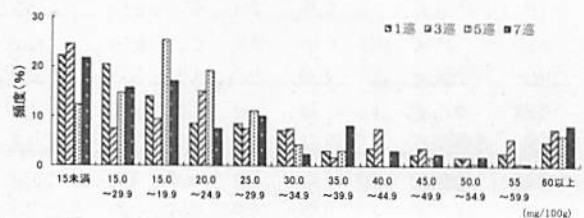


図9 可給態ケイ酸の頻度分布(水田)(1, 3, 5, 7巡の比較)

注) 土壌改良目標値は、15~30mg/100gである。



第1巡からの遊離酸化鉄の分布を図10に示した。第7巡において土壌改良目標値(0.8~2.0%)<sup>5)</sup>を満たしている地点が41地点中の23地点(56%)であった。目標値未満の地点は13地点(32%)であった。

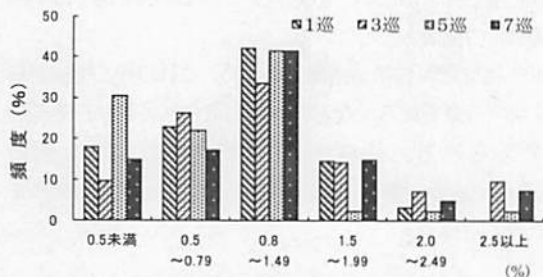


図10 遊離酸化鉄の頻度分布(水田)(1, 3, 5, 7巡の比較)  
注) 土壌改良目標値は、0.8~2.0%である。

### 3. 1. 2 水田における施肥の実態と経年変化

耕作者へのアンケート調査に基づき、水田における有機物、土づくり肥料および肥料三要素の施用実態について集計した。また、第1巡から第7巡までの推移を考察した。

#### (1) 有機物の施用

第7巡における有機物(稲わら等収穫残さのほ場還元を除く)の施用状況を集計して表3に示す。堆肥等の有機物が施用されている割合は、定点調査のほ場では21.8%であった。有機物の種類では、鶏糞の施用割合が多く、過半を占めている。次いで牛糞堆肥が多い。

表3 第7巡調査における有機物施用状況 (調査件数:229)

	鶏糞	牛糞堆肥	笹・カヤ	馬糞	もみがら	合計
施用ほ場数(%)	12.7	7.9	0.4	0.4	0.4	21.8
平均施用量 <sup>注)</sup> (kg/10a)	253	2441	500	3000	1500	

注) 平均施用量: 分母は当該有機物を施用されたほ場数としている。  
稲わら等の収穫残さのすき込みは有機物の施用としていない。

第1巡から第7巡目までの有機物施用の推移を表4に示した。第7巡では鶏糞施用の割合が増えているが、これはCN比が低いと化成肥料の代替効果が期待できること等が積極的に評価されてきたためと考えられる。牛糞堆肥の施用も増えており、資源循環の取組が増加していると評価できる。

表4 有機物が施用されている水田の割合と平均施用量

	有機物施用率 <sup>注1)</sup>		牛糞堆肥 平均 施用量 kg/10a	鶏糞 平均 施用量 kg/10a
	うち 牛糞堆肥 施用率	うち 鶏糞 施用率		
第1巡	6.4	4.3	2229	-
第3巡	10.2	3.4	1471	-
第5巡	8.5	5.7	1725	80
第7巡	21.8	7.9	2441	253

注1) 稲わら等の収穫残さのほ場還元については含めていない。  
注2) 平均施用量は、当該有機物が施用されているほ場の平均。

#### (2) 土づくり肥料の施用

土づくり肥料が施用されているほ場数、ほ場数率およびアルカリ分換算平均施用量、リン酸成分換算平均施用量について、第1巡から第7巡までを集計し表5に示した。

表5 土づくり肥料の施用状況の推移

調査 ほ場 数	土づくり 肥料 施用 ほ場数	ほ場 数率 (%)	アルカリ分 平均施用量 (注) (kg-CaO/10a)	リン酸成分 平均施用量 (kg-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /10a)	
第1巡	188	172	91.5	42.0	9.1
第3巡	215	160	74.4	33.9	7.5
第5巡	141	88	62.4	31.5	5.3
第7巡	229	152	66.4	28.2	2.8

注) ほ場数率: 「施用実績のあるほ場数」/「調査対象全ほ場数」

施用ほ場数率について、第1巡では91.5%のほ場で土づくり肥料が施用されていたが、その後徐々に低下しており、第5巡では62.4%となった。

食品衛生法に基づくコメのカドミウムの規格基準が「玄米及び精米で0.4 ppm以下」に改正されたことを受け、土壌pH調整によるカドミウム吸収抑制を目的とし、アルカリ分を含む土づくり肥料の散布が積極的に推進された地域もあった。土づくり肥料の施用ほ場割合は第7巡では66.4%と4%増加しており、このような状況を反映したとみられる。しかし、第7巡の単位面積あたりの平均施用量(アルカリ分換算)は28.2kg-CaO/10aと、第1巡の42.0 kg-CaO/10aと比較すると7割程度であった。

リン酸成分については、特に2008年に国内肥料価格が高騰したこともあり、施用量の減少が顕著になった。第7巡の平均施用量は2.8kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10aであり、第1巡の平均施用量9.1 kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10aの3割程度であった。

#### (3) 水稲施肥の状況

第7巡の水稲施肥の状況を整理した結果を表6に示した。

窒素施肥量(平均値)合計は6.7kg-N/10a、リン酸施肥量(平均値)合計は3.9 kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a、カリ施肥量(平均値)合計は5.0kg-K<sub>2</sub>O/10aであった。省力的な栽培が選択される背景もあり、追肥が顕著に少なくなっている。いずれの成分も最も多かった第1巡と比較して、施用量の合計は4~6割程度となっていた。

表6 平均的な水稲施肥の状況(第7巡 2009年~2013年に調査)

	基肥	追肥 <sup>注1)</sup>	総肥 <sup>注1)</sup>	合計	
窒素施肥量(kg-N/10a)	平均値	3.9	0.2	2.6	6.7
	標準偏差	2.3	0.5	2.0	2.6
リン酸施肥量(kg-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /10a)	平均値	2.9	0.2	0.8	3.9
	標準偏差	2.0	1.0	0.9	2.5
カリ施肥量(kg-K <sub>2</sub> O/10a)	平均値	2.8	0.1	2.1	5.0
	標準偏差	1.8	0.5	1.7	2.6

注1) アンケートは「基肥」と「追肥」を区別して実施したものであるが、とりまとめるにあたって、更に時期や肥料の種類等から判断し「追肥」と「基肥」に区別して集計した。

第5巡および第7巡における水稲施肥体系について、「全量基肥」、「基肥-追肥-穂肥」、「基肥-穂肥」、「基肥なし(転作後などの作付け、もしくはレンゲなど緑肥作物栽培のため、施肥が控えられたものをカウントしている)」の4体系に分類して図11に示した。

第7巡では第5巡に比べて、「全量基肥」栽培が普及してきた。一方で、「基肥-追肥-穂肥」体系および「基肥-穂肥」体系が減少している。これらは2010年センサスが報告しているとおり、大規模経営体の増加、農業従事者における高齢者の割合の増加が影響していると考えられ、施肥の省力化が志向され、緩効性を示す被覆肥料などが積極的に経営に取り入れられたためと思われる。こうした傾向は、今後より顕著になると考えられる。

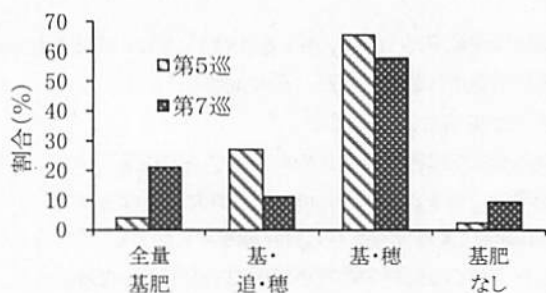


図11 水稲の施肥体系の変化

※ 第5巡(1999~2003年), 第7巡(2009~2013年)

#### (4) 窒素施肥量

第1巡以降の窒素施肥量(平均値)の推移を図12に示した。第1巡には10.9kg-N/10aであった窒素施肥量が第7巡に6.7kg-N/10aとなり、6割程度の施肥量になっている。

窒素施肥量の減少に大きな変化がみられる時期は、一つは1982年以降に追肥重点施肥法(新施肥法)<sup>11, 12)</sup>が普及し、基肥施肥量が減少したことを要因とする第2巡から第3巡にかけての時期であり、堀田らが第2報<sup>2)</sup>でも報告している。

もう一つは、第4巡から第7巡にかけての時期である。第5巡前後には施肥田植機の普及率が伸び、第7巡には「全量基肥」などが普及しはじめ、「追肥」が省かれる傾向が強まったことを要因としている。

前述のとおり、施肥の省力化が志向されるようになると施肥回数は減少する。特に第7巡以後は、さらに全量基肥を選択する農業者が増えると考えられることから、水稲の生育・収量に及ぼす影響の有無を注視していく必要がある。

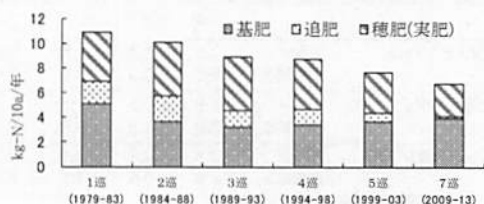


図12 水稲栽培における窒素施肥量の推移

#### (5) リン酸施肥量

第1巡以降のリン酸施肥量の推移を図13に示した。総施肥量は第1巡から第4巡まではやや緩慢に減少していたが、第5巡以後は顕著に減少している。従来から基肥時に全体の過半数が施用されていたが、追肥が少なくなり第7巡では7割強が基肥時の施用となっている。

2008年には肥料価格が高騰したため、これ以後、化成肥料中のリン成分量を減らすなどの対策も取られており、その影響が考えられる。総施肥量(平均値)は、第1巡の7.0kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10aから第7巡には3.9kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10aと5割強にまで減少している。

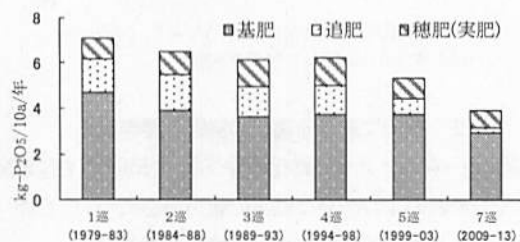


図13 水稲栽培におけるリン酸施肥量の推移

#### (6) カリ施肥量

第1巡以後のカリ施肥量(平均値)の推移を図14に示した。

第1巡の総施肥量11.7kg-K<sub>2</sub>O/10aであったが、第5巡には7.8kg-K<sub>2</sub>O/10aとなり、第7巡には5.0kg-K<sub>2</sub>O/10aと第1巡に比較して4割程度に減少している。施肥体系の変化にともない、追肥による施肥量はほとんどない。

2008年の肥料価格高騰以後、カリについてもリン酸と同様に低成分の肥料が用いられるようになり、カリ施用量の減少が顕著になった。

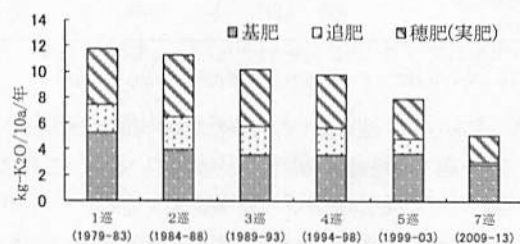


図14 水稲栽培におけるカリ施肥量の推移

#### (7) 麦作・大豆作における施肥の状況

主要転作作物である麦類や大豆における平均施肥量について表7に示した。

麦作における窒素施肥量(平均値)は、第5巡、第7巡のそれぞれで10.6、12.9kg-N/10aとなっている。この間、基肥の施肥量が2.4kg-N/10a増加しているのは、全量基肥栽培が多く採用されるようになってきたことが大きな要因となっている。また、実肥施肥量が0.9kg-N/10a増加しており、タンパク含量等の品質向上を図るために、小麦作で実肥施用がすす

表7 転作作物(麦類・大豆)における施肥量(平均値)

		麦作				大豆作	合計
		基肥	追肥	穂肥	実肥		
第5巡 n=20	窒素	5.0	2.4	2.4	0.8	10.6	0.4
	リン酸	3.4	0.9	0.3	0.2	4.7	0.4
	カリ	3.7	1.7	2.8	0.7	8.9	0.7
第7巡 n=39	窒素	7.4	2.0	1.8	1.7	12.9	0.6
	リン酸	3.6	0.7	0.4	0.0	4.7	1.5
	カリ	4.1	1.4	1.4	0.1	7.0	1.4

注) 窒素は[kg-N/10a], リン酸は[kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a], カリは[kg-K<sub>2</sub>O/10a]で表示。  
アンケートが回収できた転作地点の全ほ場数を分母に算出したものである。  
大豆は、麦類栽培の高度利用作物として栽培されるもの。  
表中の値については、増減処理の関係から合計値が一致しない場合がある。

められてきたことが考えられる。

大豆栽培における窒素施肥量(平均値)は、第5巡、第7巡のそれぞれで0.4、0.6kg-N/10aとなっている。根粒からの窒素供給が期待できるので元来、窒素施肥量は多くない。

麦と大豆を合わせた窒素施肥量合計は、第5巡、第7巡のそれぞれで11.0、13.5kg-N/10aとなっており、増加傾向にある。また転作作物の施肥量が、水稻栽培での施肥量より多いことがわかる。

リン酸やカリ成分の施肥合計量についても、第7巡ではそれぞれ、6.2kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a、8.4kg-K<sub>2</sub>O/10aであり、いずれも水稻栽培での施肥量を上回っている。特に、大豆について、収量や品質の向上を図るため、リン酸やカリの施肥量が増えてきていると考えられる。

### 3.2 畑地

#### 3.2.1 土壌理化学性の実態

露地畑と施設畑について、第7巡における土壌理化学性の調査地点数、各項目の平均値および標準偏差と、第1、第3、第5巡の各項目の平均値を表8に示した。

露地畑は、4地点(1地区)であり、すべて黒ボク土である。作土深の平均値が13.0cmであり目標値(20cm)<sup>5)</sup>を下回っている。土壌pHは5.7とやや低い。可給態リン酸の平均値が30.3mg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gであり目標値(30~100mg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g)<sup>5)</sup>の下限の値となっている。リン酸吸収係数は1982と高くなっ

表8 畑地定点の土壌理化学性

項目	作土深 (cm)	仮比 (g/ml)	pH H <sub>2</sub> O	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	塩基飽和度 (%)	リン酸吸収係数	可給態リン酸 (mg/100g)
<b>畑地(露地畑)</b>									
第1巡	17.3		6.0	6.51	0.34	28.4	67.6	750	20.3
第3巡	21.6		6.2	6.83	0.35	27.3	89.6	1556	106.2
第5巡	21.4	0.68	5.6	8.86	0.45	44.4	28.1	2380	24.8
第7巡									
測定数	4	1	4	4	4	4	4	1	4
平均値	13.0	0.83	5.7	7.69	0.42	33.1	32.5	1982	30.3
標準偏差	0.2		0.2	1.1	0.1	2.5	3.6		4.6
<b>畑地(施設畑)</b>									
第1巡	25.4		7.1	1.3	0.1	6.8	190.8	543	173.1
第3巡	27.2		6.9	1.2	0.13	8.4	136.7	296	248.3
第5巡	23.0	1.10	6.6	2.9	0.27	19.9	139.3	974	364.2
第7巡									
測定数	9	2	9	9	9	9	9	2	9
平均値	15.7	0.94	6.4	3.35	0.31	18.9	115.3	717	329.1
標準偏差	1.0		0.3	1.8	0.1	9.0	34.3		95.7

ている。

施設畑では、作土深の平均値が15.7cmと浅くなる傾向にあり、多くの地点で目標値(25cm)<sup>5)</sup>を満たしていない。CECについては、平均値が18.9me/100gであり、目標値(20me以上)<sup>5)</sup>以下であった。土壌pH、塩基飽和度および可給態リン酸については目標値超過地点が多かった。これは、前報で掘田ら<sup>2)</sup>が指摘したように過剰な施肥の影響と考えられる。ただ塩基飽和度については、第1巡平均値190.8%から徐々に低下しており、第7巡には115.3%になっている。野菜栽培においても、農協等の指導機関を通じて栽培前の土壌分析が行われる事例が増えてきており、過剰な施肥を避ける傾向が徐々に定着していると考えられる。

第1巡から第7巡までは場整備等による地点の変更がなかった。草津市の施設畑6地点における土壌pH(平均値)の推移を図15に示した。第2巡の7.4をピークに低下傾向になり、第7巡では6.5になっている。これは塩基飽和度が低下していることと関連があり、過剰な施肥の減少を反映していると考えられる。同じく草津市の施設畑6地点における可給態リン酸の推移を図16に示した。可給態リン酸は第1巡から第6巡にかけて高くなっていった。第7巡でも平均値で300mg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g以上であり、高い状況が継続している。水田では、リン酸蓄積傾向は徐々に解消されてきているが、施設畑においては、依然として高い状況が継続している。リン酸は過剰症が現れにくい、肥料費節減の観点からもリン酸成分を抑えた施肥が必要である。

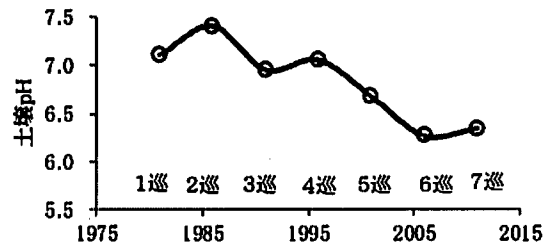


図15 施設畑における土壌pH(平均値)の推移

注) 草津市北山田地区4地点、五条地区2地点の平均値を表示。

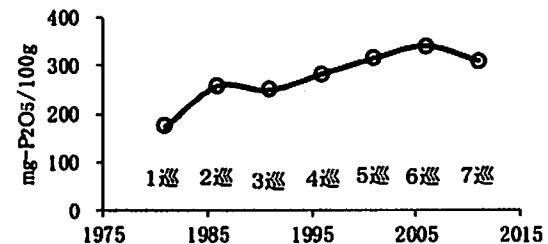


図16 施設畑における可給態リン酸の推移

注) 草津市北山田地区4地点、五条地区2地点の平均値を表示。  
注) 分散分析による巡間の有意な差は確認されていない。

### 3. 3 樹園地および茶園

#### 3. 3. 1 土壌理化学的の実態

第7巡の樹園地(カキ)および茶園の合計11地点について、土壌理化学的の調査項目の平均値等を表9に示した。茶園については、第1, 第3, 第5巡の各項目の平均値を併せて示した。

表9 樹園地および茶園土壌定点の理化学性

項目	pH H <sub>2</sub> O	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	塩基 飽和度 (%)	リン酸 吸収 係数	可給態 リン酸 (mg/100g)
樹園地(カキ園)							
第7巡							
測定数	3	3	3	3	3	-	3
平均値	5.9	0.34	0.50	30.6	71	-	131.8
標準偏差	0.8	1.2	0.1	5.6	28.2		58.5
茶園							
第1巡	3.7	3.02	0.28	17.5	18.6	0	152.7
第3巡	4.2	3.86	0.43	18.2	25.2	451	90.1
第5巡	4.2	6.17	0.66	46.2	28.8	844	209.7
第7巡							
測定数	8	8	8	8	8	2	8
平均値	3.6	7.06	0.78	36.2	20.0	525	151.6
標準偏差	0.7	3.8	0.4	17.9	13.2	35.8	89.6

注) 樹園地については、第5巡までは桑園を含む調査であり、不連続なデータとなるため第7巡についてのみ表記。

樹園地(3地点)については、全てカキ園であり、3地点のうち2地点が黒ボク土である。土壌pHや塩基飽和度は基準値<sup>5)</sup>内であった。可給態リン酸が3地点全てで基準値(10~30mg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g)を超過しており、平均値は131.8mg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gと高かった。過剰に施肥が行われた可能性が考えられる。

茶園土壌の土壌pH改良目標値は4.0~5.0である<sup>5)</sup>。酸性土壌においても地上部や根も比較的良好に生育するが、pH4.0を下回るような強い酸性は生長を抑制することから適当でない。第7巡は土壌pHの平均値が3.6であり、改良目標値を下回っている。渡部ら<sup>13)</sup>は、茶園土壌における窒素の多量施肥が塩基類の溶脱をまねき土壌pHが低下する原因となると指摘しており、窒素施肥量が多いほど土壌pHが低い傾向にあったと述べている。本調査でも土壌pHが目標値を下回る原因は主に施肥によると考えられる。第1巡から変わらず低い水準で推移している。また茶園土壌の特徴として、第1巡から全炭素含量や全窒素含量が高くなる傾向がみられた。茶栽培では、収穫する一番茶や二番茶になる茎葉はほ場から持ち出されるが、それ以外に多くの整枝残さが土壌に還元されること、また一般作物に比べ多くの有機質肥料が施用されるため、他の作物栽培より炭素蓄積が進みやすいのではないかと考えられる。

#### 3. 3. 2 茶園における施肥の実態

アンケート調査に基づき、茶園における年間施肥量について集計した(表10)。

滋賀県が定めている茶園における標準的な年間施肥量は、窒素54kg/10a, リン酸18kg/10a, カリ20kg/10aであること

表10 茶園の年間施肥量

		平均	最大	最小
第7巡	窒素 (kg-N/10a)	49.9	101.8	22.4
n=14	りん酸 (kg-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /10a)	19.3	29.8	7.6
	カリ (kg-K <sub>2</sub> O/10a)	12.7	23.8	2.0

注) 重要定点については毎年調査している。

から、平均値は概ね標準施肥量と考えられる。

一方で、窒素の最大値は100kg-N/10aを超える定点もあり、適正施肥に対する啓発が引き続き必要である。

## 4. 総合考察

水田作においては経営耕地面積の大きな農業経営体が増加しており、低コストで効率的な土壌管理が志向されるようになってきている。一方で、アルカリ資材の施用による玄米のカドミウム低減対策や水田からの窒素、リン流出低減対策等、リスク管理や環境負荷に配慮した農業経営が求められており、複雑な要請への対応が不可欠となっている。

第5巡から第7巡にわたって調査した土壌理化学性の変化から、こうした時代の変化をいくつか読み取ることができる。その一つは、低下傾向にあった水田の土壌pHが第6巡以降に上昇に転じたこと、もう一つは水田においてリン酸が蓄積する傾向にあった状況が、徐々に解消されていると考えられることである。この2点について土壌管理との関連で考察する。

### 4. 1 水田土壌のpHの推移

図4に示したとおり、土づくり肥料施用量が経年的に減少してきたことを原因として、第5巡まで水田定点における土壌pHは低下傾向で推移した。そして第6巡以後に上昇に転じたことは前述のとおりである。

図17に水田定点における第5巡時の土壌pHと第7巡時の土壌pHとの関係を地域毎に示した。

図中の点線は、原点を通る傾きが1の直線であり、これより上に位置するポイントは、第5巡より第7巡の土壌pHが上昇した定点を示している。逆に下側は土壌pHが低下した定点である。

概観してわかるとおり、多くの定点が点線以上に位置して

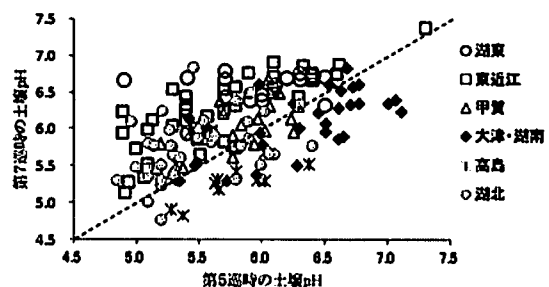


図17 第5巡と第7巡の土壌pHの変化



おり、全体的に土壌 pH が上昇したことが裏付けられる。特に、第5巡で土壌 pH 5.5 以下の低 pH 域であったところで上昇している定点が多い。

地域的にみると、湖東や東近江地域の定点のほとんどが点線より上に位置している。湖北地域についても点線以上の定点が多い。これらの地域は積極的なアルカリ資材の施用が行われた可能性が推察される。結果として低 pH 域のほ場を中心に改善効果が現れたと考えられる。

また、表5に示したとおり、第7巡において土づくり肥料施用ほ場率が上昇していることも、こうした結果を裏付けている。

それ以外の地区については、概ね点線上下に均等に分布しているとみられる。定点は必ずしも地域農業を代表するものでないが、地域による差が生じた点は興味深い。

第7巡における土壌 pH を段階に分けて、土づくり肥料の平均施用量を計算し、表11に示した。土壌 pH 6.0 以上では、いずれも平均 30kg-CaO/10a 以上の施用量であり、土壌 pH 6.0 未満では、段階的に少なくなっている。また土壌 pH 6.0 以上の定点では、土づくり肥料施用割合が79%以上と高く、pH 5.5 未満では40%以下であり低い傾向が確認できる。

前述のとおり、肥料費を抑える経営が求められ、大規模化していることも考慮すると、低コストで効率的に行える土づくり肥料施用法についての研究が、今後必要になってくる。

表11 土壌pHと土づくり肥料施用状況(第7巡)

土壌 pH	土づくり肥料施用量(平均)	定点数			施用割合 %
		未施用	30kg/10a 未満	30kg/10a 以上	
7.0以上	32.0	0	0	1	100
6.5~6.9	38.0	4	1	20	84
6.0~6.4	35.6	8	3	27	79
5.5~5.9	25.3	10	9	12	68
5.0~5.4	15.9	12	3	5	40
5.0未満	0.0	1	0	0	0

※ 土づくり肥料施用量:アルカリ分kg-CaO/10a(換算)で表示。  
※ アンケート回収できた農家のみの集計。

#### 4. 2 水田でのリン酸蓄積問題

リン酸は、栽培期間中に施肥される以外に、「溶りん」など、非栽培期間に土づくり肥料としてほ場に施用される。そこで第1巡以降の総施用量(肥料分と土づくり肥料分を合計)の変遷について図18に示した。

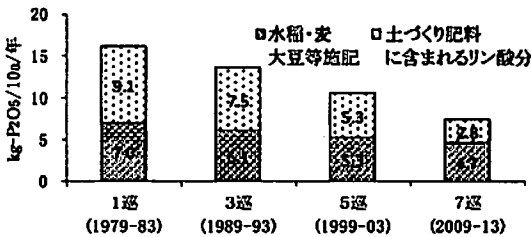


図18 リン酸施用量の推移

第1巡では、16.1kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a(平均値)であり、施肥量より土づくり肥料として施用されている割合が大きい傾向にあった。第7巡には7.5kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a(平均値)になり、第1巡時の46%となった。この間直線的な減少傾向で推移してきた。特に土づくり肥料に由来する部分は、第1巡時の9.1kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a(平均値)から第7巡には2.8kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a(平均値)となり、3分の1以下になった。これはリン酸は窒素と異なり直接的に水稻の生育や収量への影響がわかりにくいことなどから、一定の土壌蓄積がみられる現在の状況において、価格が高いリン酸成分の積極的な施用が控えられたためと考えられる。

土壌中リン酸量の中長期的な増減を正確に把握するには、地点変更なく調査を継続している定点を選抜し、その全リン酸含量を測定することが直接的で適当と考えられる。該当する25地点の定点において、第1巡、3巡、5巡、7巡の土壌全リン酸含量(平均値)の経時変化を図19に示した。

また、同じ定点の各巡のリン酸投入量(平均値)を集計し、図20に示した。

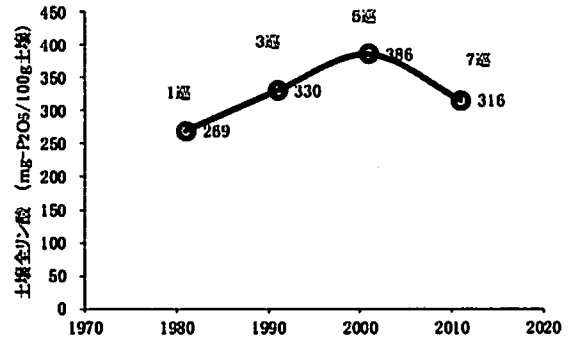


図19 土壌全リン酸(平均値)の推移

注) 第1巡から地点変更がない定点を選抜し、土壌サンプルを窒素酸分解法により全リン酸を分析した。具体的には彦根市甘呂地区3地点、彦根市三ツ谷地区3地点、愛荘町東丹波地区3地点、東近江市中小路地区1地点、甲賀市柑子地区3地点、野洲市安治地区3地点、高島市中溝地区3地点、長浜市南進水地区3地点、米原市市場地区1地点、米原市入江地区2地点の25地点である。

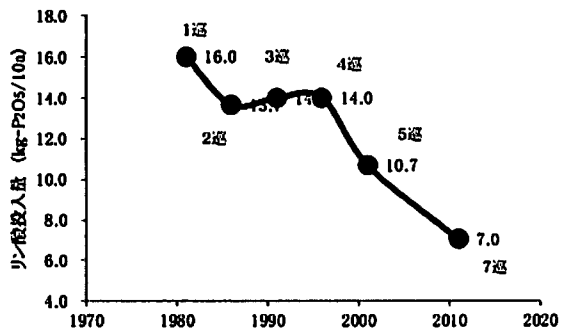


図20 リン酸投入量(平均値)の推移

注) 図19で対象とした25地点のリン酸投入量(化成肥料と土づくり肥料の合計)を各巡ごとに集計して、その平均値を表示している。

土壌全リン酸含量(平均値)については、第1巡から第5巡まで増加したが、第7巡には減少に転じた。図7に示した可給態リン酸の減少時期よりやや遅れるが、第7巡には全リン酸含量でも減少傾向が明らかになっている。

一方で、ほ場のリン酸投入量(肥料と土づくり肥料の合計)は、第1巡以降、多少は階段状に増減するが、概ね直線的に減少する傾向にあった。図19から、土壌全リン酸含量(平均値)が増加から減少に転じた時期が、ほぼ第5巡であり、このときのリン酸投入量は、図20からおおよそ10kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10aであることがわかる。こうしたことから、土壌全リン酸含量(平均値)を尺度として見た場合、土壌中リン酸量を維持する投入量は平均して10kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a前後にあると考えられた。

リン酸は採掘資源であり海外にその供給を頼っており、貴重である。現在は十分に土壌中に存在するが、現状のリン酸施用水準が継続すると土壌中リン酸含量は低下していくと考えられる。

農業経営においてコスト低減が求められる中で、土壌中リン酸収支に関する研究も重要である。土壌分析に基づいた診断による適正施用とともに、効率的なリン酸施用方法の検討も今後必要と考える。

## 6. 謝辞

本調査の遂行にあたり、土壌調査やアンケート調査にご協力いただいた農業者の方々に謝意を表す。

また、本研究は35年にわたり現地を巡回し調査・分析を担当してきた研究職員、そして技術員の尽力でデータが積みあがったものであり、謝意を表すものである。

最後に、環境研究部環境保全担当の関係職員に改めて感謝の意を表す。

## 7. 引用文献

1) 武久邦彦・柴原藤善・小松茂雄, 2000. 滋賀県における農耕地土壌の実態と変化(第1報)最近5年間の土壌理化学性の実態. 滋賀農試研報. 40:39-53.

2) 堀田悟・園田敬太郎・武久邦彦・西堀康士・山田善彦, 2010. 滋賀県における農耕地土壌の実態と変化(第2報)土壌理化学性の変化と施肥の実態. 滋賀農試研報. 49:33-43.

3) 農林水産省農蚕園芸局農産課(編), 1979. 土壌, 水質及び作物体分析法. 土壌保全調査事業全国協議会. 1-202.

4) 日本土壌協会(編), 2001. 土壌, 水質及び作物体分析法. 日本土壌協会. 1-321

5) 滋賀県, 2002. 土づくり技術対策指針. 57-112.

6) 小原洋・中井信, 2004. 農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動-農耕地土壌の特性変動(II). 土肥誌. 75(1):59-67.

7) 林恭弘・森下年起・久田 紀夫・薮野佳寿郎・東卓弥, 2007. 和歌山県農耕地土壌の実態と変化-土壌環境基礎調査(定点調査)20年間のまとめと解析. 和歌山農試研報 8, :41-52.

8) 佐野修司・内山知二・辰巳真, 2011. 大阪府における土地利用別の農地土壌の特性. 大阪県農水研報. 4, 27-31

9) 東海林覚:山形県の水田土壌におけるリン酸蓄積の実態とその有効活用, 1992. 山形農試研報. 21:1-48.

10) 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壌環境の実態と変化. 広島農試研報. 60:1-12.

11) 岡本將宏・大橋恭一・長谷川清善・西川吉和, 1986. 機械移植水稻の施肥配分が物質生産と窒素収支に及ぼす影響(第1報)生育経過と窒素吸収について. 滋賀農試研報. 27:1-16.

12) 西沢良一・大橋恭一・西川吉和・中田均, 1981. 機械移植水稻の効率的施肥法に関する研究(第3報)最高分けつ期肥の効果について. 滋賀農試研報. 23:38-50.

13) 渡部尚久, 1993. 茶園における窒素の動態と合理的な施肥管理に関する研究. 神奈川農総研報. 135:87-182.

## Summary

For 35 years from 1979 to 2013, we have conducted a quinquennial fixed-point investigation of the physicochemical properties of cultivated soil in Shiga Prefecture. We also conducted a questionnaire on the use of fertilizers, targeting farmers cultivating the fields, in order to analyze the relationship between the use of fertilizers and the change in physicochemical properties of soil.

1) Physicochemical properties of paddy soil: The pH level of the soil decreased from Course 1 (1979-1983) to Course 5 (1999-2003), and the mean pH was 5.8 in Course 5. The pH level, however, started to increase in Course 6 (2004-2008) and later, and the mean pH was 6.0 in Course 7 (2009-2013). Total carbon amounted to about 2.1% on average, and the average total nitrogen was about 0.2%. These levels generally continued to remain steady. The available phosphoric acid in Course 7 (21.3 mg/100 g) was lower than the mean level in Course 5 (26.4 mg/100 g).

2) Amount of fertilizer applied for wet-rice cultivation: The nitrogen, phosphoric acid and potassium content gradually decreased, and the amount of applied fertilizer in the Course 7 investigation was 40-60% of the amount found in Course 1. Because the intensive top-dressing method was widely introduced for the period from Course 1 to Course 3 (1989-1993), the amount of basal dressing decreased. In Course 7, more farmers adopted the labor-saving overall basal dressing cultivation method, and thus the amount of fertilizer used for top-dressing at the panicle formation stage decreased.

3) Accumulation of phosphoric acid in the paddy soil: We selected 25 fixed points, free from change of fields, to determine the overall phosphoric acid content in the soil. On average, the overall content increased for the period from Course 1 to Course 5, while it decreased in Course 7. This was because the phosphoric acid content in chemical fertilizers and fertilizers for soil improvement decreased.

4) Soil for dry fields, soil for tea fields: The level of available phosphoric acid in the soil for protected cultivation has been consistently high since Course 1. The pH level of the soil for tea fields continued to be low.