

広島県における水田土壌環境の実態と変化

松浦 謙吉・中沢征三郎・上本 哲・宮地 勝正・谷本 俊明

キーワード：水田土壌，土壌理化学性，肥培管理，かんがい用水，経時変化

土壌は農業生産を支える基盤であり，生産の安定・向上を図るためには，土壌の実態を把握し，適切に管理・利用していくことが重要である。

土壌環境基礎調査・定点調査（定点調査）は農林水産省の補助事業として1979年に始まり，農耕地を対象として土壌管理実態，土壌の理化学性及びかんがい用水質等を継続的に調査し，土壌の実態や変動要因を明らかにし，適切な土壌管理対策を確立しようとするものである。

この調査結果から，水田土壌は作土深が浅くなりつつあること，可給態リン酸や交換性石灰の富化が進行していること等を指摘^{1,3,10,13)}している。さらに，本県においては，この調査結果はメッシュ土壌図の作成，生産力に基づいた土壌分類法の確立¹⁶⁾等の基礎資料として活用されている。

ここでは，定点調査の結果を基に，広島県における水田土壌環境の実態とこの15年間ににおける変化について明らかにしたので報告する。

調 査 方 法

1. 調査定点の配置

調査地点（定点）は本県の水田に分布する土壌の種類を網羅するように選定した44地区のそれぞれから，代表的な圃場を5地点（重要定点1，一般定点4）設定した。すなわち，44地区に重要定点44，一般定点176の計220定点となり，これらの配置を図1に示した。

2. 調査内容

調査は定点を対象に，土壌管理実態調査，土壌断面調査及び土壌・作物体・かんがい用水質分析等を5年ごとに行うものである。

土壌管理実態調査は，定点を単位に栽培管理状況，土壌管理実態及び農家の経営概況等についてアンケート方

式で行った。

土壌は各定点において水稲収穫跡の10～12月に，断面調査と理化学性分析試料の採集を行い，かんがい用水は重要定点の用水路から6月下旬～7月上旬に採集し，それぞれ分析に供した。

なお，土壌の調査法，土壌及び水質分析は土壌保全対策事業における方法¹¹⁾に準じて行った。

これらの調査は1年に10～12地区50～60定点ずつ4年間行い，5年目を補足調査及び中間取りまとめの年とし，5年で44地区220定点の一巡が終了する。調査は1979年に始まり，83年までで1巡目，1984～88年で2巡目，1989～93年で3巡目が終了した。

3. 調査の概況

220定点のうち水稲（ウルチ，モチ）の作付は，1巡目217，2巡目197，3巡目183定点であった。転換畑は1巡目2，2巡目16，3巡目28定点であり，その他はイ草栽

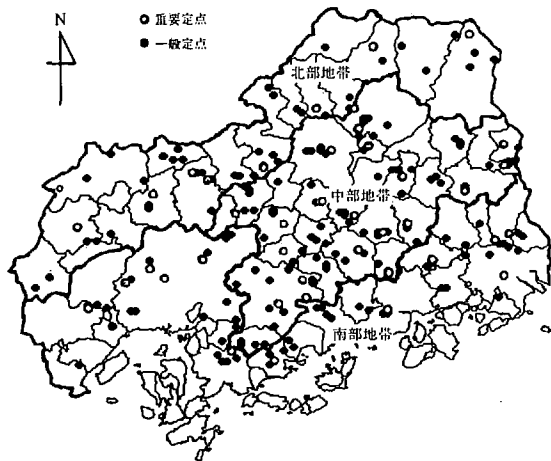


図1 定点の配置と地帯区分図

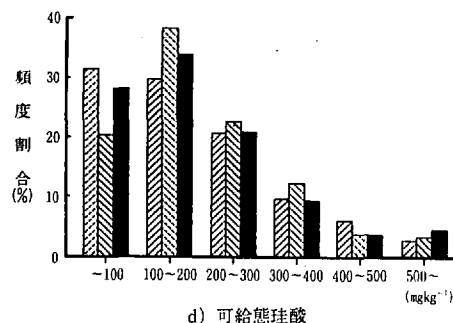
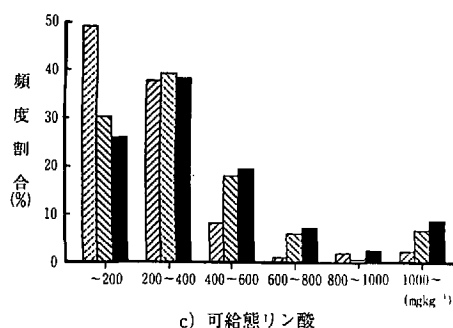
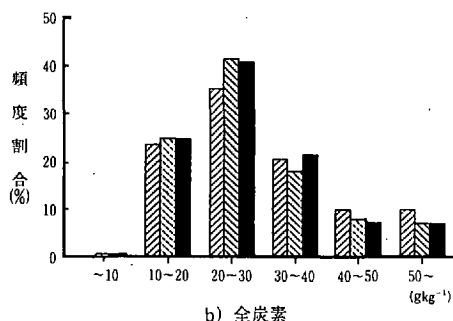
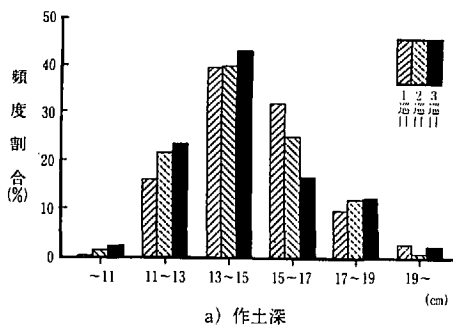


図2 作土の理化学性の階級別頻度割合分布

培、圃場整備にともなう休耕や農地外転用であった。

土壌管理実態調査アンケートはほとんどの定点で回収でき、水稻が1巡目216, 2巡目191, 3巡目182定点、転換畑がそれぞれ2, 7, 12定点であった。

土壌調査は1巡目220, 2巡目213, 3巡目211定点で行ったが、その他の定点は圃場整備中または農地外転用のためできなかった。

なお、この15年間に13定点が圃場整備され、農地外転用されたのは8定点あったが、これらのうち5定点は近接の圃場に変更した。

調査結果

1. 土壌の実態と変化

1) 栽培作物別の特徴

定点における土壌の理化学性について、1巡目から3巡目までの基礎統計量を作土と次層土に分けて付表1, 2に示した。また、水田を水稻田と転作田に大別し、作土の理化学性を巡別平均値で表1に、主な理化学性について巡別の階級別頻度割合分布を図2に示した。

(1) 水稻田

作土深は階級別頻度割合をみると、巡ごとに15~17cmの割合が減少し、15cm以下の割合が増加した。このため平均値は1巡目16.4cmであったが、2巡目16.0cm, 3巡目15.6cmと巡ごとに浅くなる傾向を示した。作土の全炭素は階級別頻度割合をみると、40g kg⁻¹以上の割合が巡ごとに減少し、平均値では1巡目の30.6g kg⁻¹から3巡目28.1g kg⁻¹へ徐々に減少した。可給態リン酸及び交換性塩基は増加の傾向を示した。特に、可給態リン酸は階級別頻度割合をみると、巡ごとに200mg kg⁻¹以下の割合が減少し、400mg kg⁻¹以上の割合が増加し、平均値では1巡目257mg kg⁻¹から3巡目387mg kg⁻¹へ巡ごとに増加した。また、土壌酸度(pH(H₂O))と可給態珪酸は巡別の変化に一定の傾向を認めなかった。

次層土は可給態リン酸、交換性塩基類及び交換性陽イオン容量(CEC)が巡ごとに増加したが、全炭素と全窒素には一定の傾向を認めなかった。また、仮比重とち密度は2巡目まで高くなったが、その後の変化はほとんど認められなかった。

(2) 転作田

ここでは転作田として休耕田、転換畑、イ草栽培田を含めて整理した。転作田は1巡目3定点、2巡目16定点、3巡目28定点と巡ごとに増加した。しかし、同一定点の連続しての転作は少なく、1~2年のローテーション利用で、作物としてはイ草、大豆、野菜、花木であった。

表1 栽培作物別にみた水田作土の理化学性の変化

作物 区分	調査 時期	調査 定点数	作土深 (cm)	ち密度* (mm)	仮比重* (kgm ⁻³)	pH	全炭素 (gkg ⁻¹)	CEC (cmol (+)kg ⁻¹)	交換性塩基 (mgkg ⁻¹)			可給態 (mgkg ⁻¹)		
									CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	N
全体	1巡目	220	16.4	18.2	1.28	5.8	30.5	16.2	2,010	203	141	259	197	153
	2巡目	213	16.0	18.7	1.30	5.9	29.1	16.4	2,140	232	148	387	204	167
	3巡目	211	15.8	18.5	1.29	5.9	28.8	16.8	2,260	243	175	456	202	146
水稻	1巡目	217	16.4	18.1	1.28	5.8	30.6	16.3	2,010	204	141	257	198	153
	2巡目	197	16.0	18.6	1.31	5.9	29.0	15.8	2,040	223	132	360	196	167
	3巡目	183	15.6	18.6	1.30	5.9	28.1	16.4	2,090	230	158	387	198	148
転作	2巡目	16	16.2	19.1	1.23	6.2	30.9	21.7	3,340	351	339	720	298	177
	3巡目	28	17.5	17.8	1.22	6.1	33.3	19.8	3,360	329	282	902	233	133

注) *: 次層土の値を示す。

転作田の作土の理化学性を3巡目の平均値でみると、作土深が17.5cmと深く、交換性塩基は石灰3,360mgkg⁻¹、苦土330mgkg⁻¹、加里280mgkg⁻¹及び可給態リン酸900mgkg⁻¹となり、それぞれ水稻田に比べて著しく高い値を示した。また、可給態リン酸と全炭素は2巡目から3巡目にかけて増加したが、可給態窒素と可給態珪酸は2巡目から3巡目にかけて逆に減少する傾向を示した。

2) 地帯別の特徴

本報では図1に示したように、本県の農業地域区分⁹⁾をもとに北部(芸北、比婆)、中部(三次、神石、世羅台地、賀茂台地)、南部(東部沿岸、西部沿岸、島しょ部)に大別し、地帯別に水田作土の理化学性を巡別の平均値で表2に示した。

(1) 北部地帯

作土の理化学性を3巡目の平均値でみると、作土深は16.7cm、全炭素は41.4gkg⁻¹、CECは21.1cmol(+)kg⁻¹、可給態リン酸は550mgkg⁻¹で中南部地帯に比べていずれも高い値を示した。しかし、作土深、全炭素及び可給態珪酸は巡ごとに減少したが、可給態リン酸と交換性塩基は巡ごとに増加の傾向を示した。

次層のち密度は1巡目16.9mm、3巡目18.3mmと増加し、仮比重も同様に増加する傾向を示した。

(2) 中部地帯

3巡目の平均値でみると、作土深は15.8cm、全炭素は26.4gkg⁻¹、CECは16.5cmol(+)kg⁻¹、可給態リン酸は372mgkg⁻¹であった。作土深は巡ごとに浅くなり、可給態リン酸、可給態珪酸及び交換性塩基は巡ごとに増加する傾向

を示した。また、全炭素は2巡目まで減少したが、3巡目は2巡目と差がなかった。

次層のち密度は2巡目18.1mmから3巡目17.2mmへ減少したが、仮比重は各巡とも差がなかった。

(3) 南部地帯

3巡目の平均値でみると、作土深は15.2cm、全炭素は21.7gkg⁻¹、CECは13.6cmol(+)kg⁻¹で3地帯中で最も低かったが、可給態リン酸は505mgkg⁻¹と高かった。

作土深と全炭素は2巡目まで著しく減少したが、3巡目は2巡目と差がなかった。また、可給態リン酸、可給態珪酸及び交換性塩基は増加したが、2巡目から3巡目にかけての増加は小さかった。

次層の3巡目の平均値は、ち密度が20.6mm、仮比重が1.39gcm⁻³と中北部地帯に比べていずれも高い値を示した。また、ち密度は巡ごとに高くなったが、仮比重は2巡目から3巡目にかけて低下した。

3) 土壌型別の特徴

水田220定点を筆者らの提案した、生産力を考慮した土壌型方式¹⁰⁾による分類法に基づいて区分し、それらの作土における理化学性の巡別平均値を表3に示した。

(1) 黒ボク乾田

可給態リン酸、可給態珪酸及び交換性塩基は巡ごとに増加したが、作土深、全炭素及び可給態窒素は2巡目から3巡目にかけて減少した。すなわち、1巡目から3巡目にかけて、可給態リン酸は246mgkg⁻¹から515mgkg⁻¹に、可給態珪酸は224mgkg⁻¹から309mgkg⁻¹にそれぞれ巡ごとに増加した。一方、2巡目から3巡目にかけて、作土深は

表2 地帯別にみた水田作土の理化学性の変化

作物 区分	調査 時期	調 査 定点数	作土深 (cm)	ち密度* (mm)	仮比重* (kgm ⁻³)	pH (H ₂ O)	全炭素 (gkg ⁻¹)	CEC (cmol (+)kg ⁻¹)	交換性塩基 (mgkg ⁻¹)			可給態 (mgkg ⁻¹)		
									CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	N
北部 (55)	1巡目	55	17.1	16.9	1.09	5.8	44.0	19.8	2,240	228	140	257	243	187
	2巡目	52	16.8	18.4	1.13	5.8	43.5	22.6	2,410	276	167	422	226	214
	3巡目	53	16.7	18.3	1.18	5.9	41.4	21.1	2,680	271	191	550	201	169
中部 (101)	1巡目	101	16.3	18.0	1.27	5.8	28.1	16.4	1,890	224	152	201	201	153
	2巡目	99	16.2	18.1	1.30	5.9	26.3	16.2	2,060	251	160	296	220	161
	3巡目	96	15.8	17.2	1.28	5.9	26.4	16.5	2,170	263	181	372	225	145
南部 (64)	1巡目	64	15.9	19.4	1.44	5.9	22.6	12.9	2,010	149	125	352	151	121
	2巡目	62	15.1	19.8	1.44	6.0	21.7	12.2	2,040	166	112	503	159	138
	3巡目	62	15.2	20.6	1.39	6.0	21.7	13.6	2,040	188	152	505	168	127

注) 地帯区分の () 数字は該当定点の総数を示す。

* : 次層土の値を示す。

17.3cmから16.5cmに、全炭素は55.0g kg⁻¹から46.9g kg⁻¹に、可給態窒素は226mgkg⁻¹から166mgkg⁻¹にそれぞれ著しく減少した。

(2) 棚田粘質乾田

全炭素、可給態リン酸、交換性塩基及び可給態窒素は巡ごとに増加したが、作土深、可給態珪酸及び次層のち密度は巡ごとに減少した。すなわち、1巡目から3巡目にかけて、全炭素は23.0g kg⁻¹から26.3g kg⁻¹に、可給態リン酸は151mgkg⁻¹から267mgkg⁻¹に、可給態窒素は127mgkg⁻¹から170mgkg⁻¹にそれぞれ巡ごとに増加したが、作土深は15.6cmから14.8cmに、可給態珪酸は234mgkg⁻¹から157mgkg⁻¹へ巡ごとに減少した。

(3) 棚田粗粒質・礫質乾田

作土深は巡ごとに減少したが、全炭素、可給態窒素及び交換性石灰は2巡目に減少したが、その後の変化は小さかった。すなわち、作土深は1巡目17.8cmから3巡目15.9cmと巡ごとに減少し、全炭素は1巡目26.1g kg⁻¹から2巡目24.0g kg⁻¹に、可給態窒素は1巡目154mgkg⁻¹から2巡目149mgkg⁻¹に減少した。

また、可給態リン酸は1巡目396mgkg⁻¹、2巡目654mgkg⁻¹、3巡目550mgkg⁻¹と、2巡目まで増加したが、3巡目に減少する傾向を示した。

(4) 平坦・谷間粘質乾田

可給態リン酸と交換性塩基は巡ごとに増加したが、作土深と全炭素は減少の傾向を示した。すなわち、1巡目から3巡目にかけて、可給態リン酸は238mgkg⁻¹から467mgkg⁻¹に、交換性石灰は1,780mgkg⁻¹から2,130mgkg⁻¹に増加

したが、作土深は16.1cmから15.7cmに、全炭素は29.0g kg⁻¹から26.8g kg⁻¹へ巡ごとに減少した。

(5) 平坦・谷間粗粒質乾田

可給態リン酸は1巡目326mgkg⁻¹から3巡目605mgkg⁻¹に巡ごとに増加したが、可給態珪酸は1巡目220mgkg⁻¹から3巡目156mgkg⁻¹へ巡ごとに減少した。作土深は各巡とも15.9~16.2cmで差がなく、全炭素は25.3~23.2g kg⁻¹で巡別の変化に一定の傾向を認めなかった。

(6) 平坦・谷間礫質乾田

可給態リン酸は1巡目349mgkg⁻¹から3巡目600mgkg⁻¹に巡ごとに増加したが、可給態珪酸は1巡目225mgkg⁻¹から3巡目154mgkg⁻¹へ巡ごとに減少した。また、作土深は15.4~16.5cm、全炭素は28.7~29.1g kg⁻¹で巡別の変化に一定の傾向を認めなかった。

(7) 平坦・谷間粘質強湿田

可給態珪酸、可給態リン酸及び交換性塩基は巡ごとに増加したが、作土深と全炭素は減少の傾向を示した。すなわち、1巡目から3巡目にかけて、可給態珪酸は181mgkg⁻¹から317mgkg⁻¹に、可給態リン酸は116mgkg⁻¹から152mgkg⁻¹に増加したが、作土深は16.0cmから15.1cmへ、全炭素は30.8g kg⁻¹から25.5g kg⁻¹に減少した。

2. 水稲栽培における土壌管理の実態

アンケート調査による水稲の収量、施肥量（化学肥料成分のみ）、有機物投入状況等について、地帯別に巡別の平均値を表4に示した。

表3 土壌型別にみた水田作土の理化学性の変化

土壌型 (定点数)	調 査 時 期	作土深 (cm)	ち密度* (mm)	仮比重* (kgm ⁻³)	pH (H ₂ O)	全炭素 (gkg ⁻¹)	CEC (c mol(+) kg ⁻¹)	交換性塩基 (mgkg ⁻¹)			可給態 (mgkg ⁻¹)		
								CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	N
黒ボク乾田 (n=20)	1巡目	17.0	18.1	0.98	5.7	54.6	23.7	2,300	266	147	246	224	209
	2巡目	17.3	17.9	0.94	5.9	55.0	24.6	2,600	318	154	356	284	226
	3巡目	16.5	16.2	1.00	5.9	46.9	24.2	3,120	348	215	515	309	166
棚田粘質 乾田 (n=18)	1巡目	15.6	20.6	1.32	5.9	23.0	16.3	1,990	251	173	151	234	127
	2巡目	15.3	19.3	1.35	5.9	23.5	14.6	2,090	278	180	185	186	162
	3巡目	14.8	19.1	1.26	5.8	26.3	17.7	2,240	300	206	267	157	170
棚田粗粒質 ・礫質乾田 (n=16)	1巡目	17.8	21.5	1.47	6.1	26.1	13.4	2,250	170	142	396	230	154
	2巡目	16.9	19.4	1.44	6.1	24.0	13.1	2,100	151	162	654	192	149
	3巡目	15.9	20.9	1.42	6.0	23.8	14.8	2,050	159	160	550	290	150
平坦・谷間 粘質乾田 (n=59)	1巡目	16.1	17.6	1.32	5.7	29.0	16.0	1,780	173	148	238	154	151
	2巡目	16.1	19.2	1.30	5.9	27.5	14.1	2,010	218	153	349	221	163
	3巡目	15.7	18.7	1.34	5.9	26.8	15.8	2,130	227	190	467	198	134
平坦・谷間 粗粒質乾田 (n=38)	1巡目	16.2	19.1	1.41	5.9	25.3	12.5	1,760	140	109	326	220	131
	2巡目	15.9	20.0	1.43	5.9	23.2	12.2	1,830	157	108	505	179	143
	3巡目	15.9	19.2	1.37	6.0	24.8	14.2	1,850	167	139	605	156	146
平坦・谷間 礫質乾田 (n=25)	1巡目	16.3	19.0	1.40	5.9	29.1	14.4	1,850	163	125	349	225	153
	2巡目	15.4	18.7	1.37	5.9	28.7	15.3	1,920	167	158	555	158	174
	3巡目	16.5	20.5	1.33	5.9	29.1	15.7	1,950	181	176	600	154	158
平坦・谷間 粘質強湿田 (n=22)	1巡目	16.0	15.5	1.11	5.7	30.8	19.4	2,530	356	173	116	181	171
	2巡目	15.5	14.8	1.21	5.8	25.5	18.4	2,580	378	148	122	202	175
	3巡目	15.1	15.7	1.19	6.0	25.5	18.0	2,730	378	163	152	317	137

注)*: 次層土の値を示す。

1) 全体的な特徴

水稻に対する施肥量は1巡目と2巡目で差がほとんどなく、窒素81kg^{ha}⁻¹、リン酸91~86kg^{ha}⁻¹及び加里86~88kg^{ha}⁻¹であったが、3巡目はそれぞれ69kg^{ha}⁻¹、71kg^{ha}⁻¹、79kg^{ha}⁻¹に減少した。また、基肥の窒素施肥量も1巡目45kg^{ha}⁻¹から3巡目35kg^{ha}⁻¹へ巡ごとに減少した。

有機物は堆肥類(堆肥、オガクズと家畜糞の堆積物、家畜糞等)施用率が1巡目42%、2巡目37%、3巡目26%と巡ごとに減少したが、わら施用率は1巡目57%から3巡目69%へ漸増した。しかし、堆肥類及びわら施用量には巡別の変化に一定の傾向を認めなかった。

土壌改良資材(珪酸、含鉄、石灰及び粘土資材等)施

用率は2巡目から3巡目にかけて69%から56%に減少したが、施用量は1,450~1,600kg^{ha}⁻¹で巡別の変化に一定の傾向を認めなかった。

水稻の収量は1巡目が1980年の冷害年を含んでいるため4,840kg^{ha}⁻¹と低かったが、2巡目5,380kg^{ha}⁻¹、3巡目5,160kg^{ha}⁻¹と高かった。

2) 地帯別の特徴

(1) 北部地帯

施肥量、有機物及び土壌改良資材の施用率が2巡目から3巡目にかけて著しく減少した。すなわち、窒素総施肥量は1、2巡目82kg^{ha}⁻¹から3巡目68kg^{ha}⁻¹に減少した。有機物施用率も2巡目94%から3巡目83%と減少し、

表4 水稻栽培管理状況の変化

地帯・ 区分	調査 時期	調査 定点数	施肥量総計 (kg ha ⁻¹)			収量 (kg ha ⁻¹)	堆肥類 (kg ha ⁻¹)		わら (kg ha ⁻¹)		有機物 施用率**	土改材 (kg ha ⁻¹)	
			N (基肥)	P ₂ O ₅	K ₂ O		施用率**	施用量	施用率**	施用量		施用率**	施用量
全体 (220)	1巡目	216	81(45)	91	86	4,840	41.5	14,400	57.1	4,780	90.8	62.7	1,450
	2巡目	191	81(40)	86	88	5,380	36.6	11,860	66.5	5,010	91.1	69.1	1,600
	3巡目	182	69(35)	71	79	5,160	25.8	12,480	68.5	5,050	86.0	55.6	1,480
北部 (55)	1巡目	55	82(47)	110	86	4,950	45.5	17,010	54.5	4,840	94.5	60.0	1,480
	2巡目	47	82(45)	87	92	5,600	44.7	15,200	61.7	4,870	93.6	74.5	1,470
	3巡目	42	68(33)	77	79	5,080	21.4	17,110	66.7	4,640	83.3	54.8	1,640
中部 (101)	1巡目	101	75(40)	88	82	5,020	49.5	12,750	50.5	4,920	93.1	60.4	1,400
	2巡目	86	79(39)	91	87	5,580	41.9	10,820	61.6	5,220	88.4	67.4	1,530
	3巡目	89	69(34)	71	80	5,350	33.7	10,080	56.2	5,320	83.2	57.3	1,360
南部 (64)	1巡目	61	90(52)	99	93	4,440	24.6	15,570	70.5	4,570	83.7	68.8	1,510
	2巡目	58	82(39)	78	86	4,900	22.4	9,330	77.6	4,860	93.1	67.2	1,830
	3巡目	51	70(39)	67	78	4,860	13.7	16,800	86.3	5,020	94.2	49.0	1,580

注) *: () 内数字は該当定点総数を示す。

** : 施用率 = 施用定点数 ÷ 調査定点数 × 100

なかでも堆肥類の施用率は1, 2巡目45%から3巡目21%へ著しく減少した。水稻の平均収量は4,950~5,600kg ha⁻¹で、巡ごとの変動が大きかった。

(2) 中部地帯

窒素総施肥量は1, 2巡目75~79kg ha⁻¹から3巡目69kg ha⁻¹に減少し、リン酸及び加里の施肥量も同様に20~10kg ha⁻¹程減少した。有機物施用率は1巡目93%から3巡目83%へ巡ごとに減少し、なかでも堆肥類施用率が1巡目50%から3巡目34%へ巡ごとに減少した。わら及び土壤改良資材の施用率並びに施用量には巡別の変化に一定の傾向を認めなかった。水稻の平均収量は5,020~5,580kg ha⁻¹と高く、比較的安定していた。

(3) 南部地帯

施肥量は窒素、リン酸及び加里共に1巡目から3巡目にかけて巡ごとに約10kg ha⁻¹ずつ減少した。堆肥類施用率は1巡目25%、3巡目14%と巡ごとに減少したのに対し、わら施用率は1巡目71%、3巡目86%と増加の傾向を示し、有機物施用率は1巡目84%、3巡目94%と巡ごとに増加した。また、土壤改良資材施用率は1, 2巡目の67%から3巡目49%へと著しく減少した。水稻の平均収量は4,440~4,900kg ha⁻¹で、他地帯に比べ低かった。

3) 主な栽培品種における施肥量の変化

本県の主要な品種である中生新千本は、各巡とも水稻

栽培定点の40%弱 (60~80定点) で栽培された。この施肥量を平均値でみると、窒素総施肥量は1巡目84kg ha⁻¹、2巡目83kg ha⁻¹及び3巡目76kg ha⁻¹と2巡目から3巡目にかけて減少した。基肥窒素量は1巡目45kg ha⁻¹から2巡目38kg ha⁻¹に減少したが、その後差がなかった。リン酸総施肥量は1巡目99kg ha⁻¹から3巡目73kg ha⁻¹へ巡ごとに減少し、加里総施肥量は3巡目85kg ha⁻¹で巡別の変化が小さかった。水稻の平均収量は1巡目4,850kg ha⁻¹、2巡目5,380kg ha⁻¹及び3巡目5,260kg ha⁻¹であった。

コシヒカリはこの10年間に急速に伸びている品種で、1巡目2定点、2巡目10定点、3巡目38定点で栽培された。この施肥量を平均値でみると、窒素総施肥量は2巡目61kg ha⁻¹から3巡目54kg ha⁻¹に減少し、基肥窒素量も2巡目32kg ha⁻¹から3巡目23kg ha⁻¹へ減少した。加里総施肥量も同様に2巡目75kg ha⁻¹から3巡目69kg ha⁻¹に減少したが、リン酸総施肥量は6.2~6.5kg ha⁻¹であった。また、水稻の平均収量は2巡目5,090kg ha⁻¹、3巡目4,950kg ha⁻¹であった。

3. かんがい用水質の実態と変化

重要定点におけるかんがい用水質について地帯別、巡別の平均値を表5に、主な水質について巡別の階級別頻度割合分布を図3に示した。

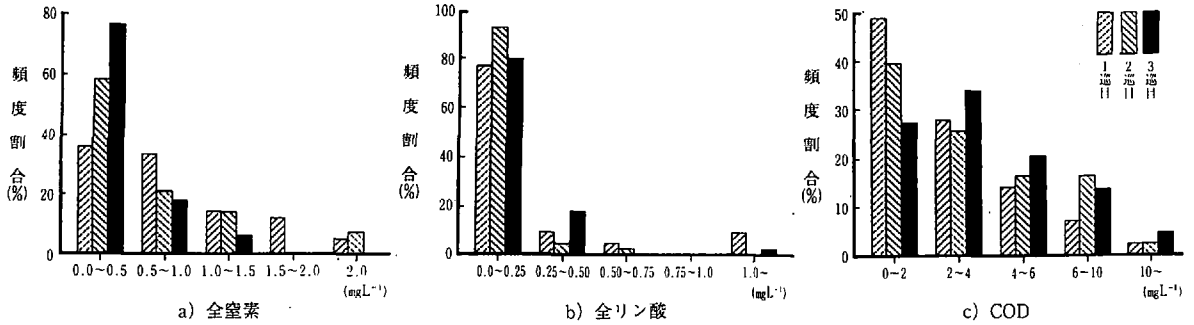


図3 かんがい用水質の階級別頻度割合分布

1) 全体的な特徴

全域の水質を階級別頻度割合でみると、全窒素は 0.5 mg L^{-1} 以下の割合が巡ごとに増加したが、全リン酸は 0.25 mg L^{-1} 以下の割合が2巡目に増加したものの3巡目には減少した。また、化学的酸素要求量(COD)は 2 mg L^{-1} 以下の割合が巡ごとに減少し、 4 mg L^{-1} 以上の割合が巡ごとに増加する傾向を示した。したがって、平均値では全窒素は1巡目 0.89 mg L^{-1} から3巡目 0.38 mg L^{-1} と巡ごとに減少したが、CODは1巡目 2.7 mg L^{-1} から2, 3巡目 4.0 mg L^{-1} と増加の傾向を示した。また、全リン酸、pH及び導電率(EC)は2巡目に減少したが、3巡目にやや増加し、巡別の変化に一定の傾向を認めなかった。

2) 地帯別の特徴

(1) 北部地帯

この地帯は本県を流れる河川の上流域に位置し、水質を3巡目の平均値でみると、 $\text{EC} 0.05 \text{ dSm}^{-1}$ 、全窒素 0.17 mg L^{-1} 、全リン酸 0.08 mg L^{-1} 及びCOD 1.9 mg L^{-1} といずれも中南部地帯に比べて著しく低かった。

全窒素は巡ごとに減少する傾向を示したが、EC及びCODは巡ごとの差をほとんど認めなかった。

(2) 中部地帯

水質を3巡目の平均でみると、 $\text{EC} 0.09 \text{ dSm}^{-1}$ 、全窒素 0.38 mg L^{-1} 、全リン酸 0.20 mg L^{-1} 及びCOD 5.3 mg L^{-1} で、全リン酸及びCODは他地帯に比べて高い値を示した。

全窒素は巡ごとに減少したが、CODは巡ごとに増加する傾向を示した。全リン酸は2巡目に減少したが、3巡目にやや増加する傾向を示した。

(3) 南部地帯

この地帯は瀬戸内海に面し、河川の下流域に位置している。水質を3巡目の平均値でみると、 $\text{EC} 0.12 \text{ dSm}^{-1}$ 、全窒素 0.55 mg L^{-1} 、全リン酸 0.16 mg L^{-1} 及びCOD 3.6 mg L^{-1} で、EC及び全窒素は中北部地帯に比べて高かった。

全窒素は巡ごとに減少したが、CODは2巡目に増加し

3巡目にやや減少した。

考 察

1. 土壌の理化学的性質の相互関係

土壌の理化学的性質は養分的な性格と機能的・容器的性格に区分され、養分的なものとして養分の豊否やそのバランスが、機能的・容器的なものとして養分保持力、緩衝能及び保水や排水機能などがある¹⁷⁾。

養分的な性格として、pH、交換性塩基、可給態リン酸及び可給態珪酸等が該当し、機能的・容器的性格を示す項目としてCEC、リン酸吸収係数が該当する。

本調査における全期間の化学性についての相関係数を表6に示した。交換性石灰は $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、交換性苦土や交換性加里と、可給態リン酸は交換性石灰や交換性加里とそれぞれ正の相関が認められる。しかし、可給態珪酸は他の項目との相関はほとんど認められない。

全炭素はCEC、リン酸吸収係数、全窒素及び可給態窒素と高い正の相関が、物理性を示す全孔隙と正($r = 0.685$)の、仮比重と負($r = -0.727$)の相関も認められる。しかし、全炭素は $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、交換性塩基、可給態リン酸及び珪酸との間にはほとんど相関が認められない。

また、作土深は理化学性を示す項目との間に相関関係は認められない。

このように、養分的性格の項目は機能的・容器的性格の項目とは相関がほとんど認められない。交換性石灰、可給態リン酸及び可給態珪酸は施用された肥料や資材に含まれる成分とその量に左右され、肥培管理状況を表す指標と考えられる。

全炭素は機能的・容器的性格を示す項目や物理的な項目とも密接な関係が認められ、土壌の性質に大きな影響を与える因子といえる。

そこで、土壌の実態と性質の変化を示すものとして、

表5 重要定点におけるかんがい用水質

地帯 区分	調査 時期	pH	EC (dSm^{-1})	全窒素 (mgL^{-1})	全リン酸 (mgL^{-1})	COD (mgL^{-1})
全域 (44)	1巡目	7.4	0.097	0.89	0.24	2.7
	2巡目	7.2	0.084	0.70	0.11	4.0
	3巡目	7.5	0.088	0.38	0.16	4.0
北部 (10)	1巡目	7.3	0.062	0.51	0.18	1.7
	2巡目	7.1	0.047	0.38	0.04	2.0
	3巡目	7.5	0.048	0.17	0.08	1.9
中部 (21)	1巡目	7.3	0.098	0.87	0.30	3.5
	2巡目	7.3	0.083	0.56	0.11	4.3
	3巡目	7.5	0.086	0.38	0.20	5.3
南部 (13)	1巡目	7.4	0.125	1.26	0.21	2.3
	2巡目	7.4	0.115	1.17	0.15	5.0
	3巡目	7.5	0.122	0.55	0.16	3.6

表6 土壌の化学的項目の相関関係(作土; n = 644)

項 目	全炭素	交換性 石 灰	可給態 リン酸	可給態 珪 酸
全 炭 素				
p H (H_2O)	-0.193	0.573	0.373	0.375
全 窒 素	0.915	0.289	0.058	0.098
C E C	0.748	0.575	0.075	0.128
交 換 性 石 灰	0.285	-	0.428	0.351
交 換 性 苦 土	0.248	0.693	0.145	0.258
交 換 性 加 里	0.126	0.498	0.455	0.172
リン酸吸収係数	0.541	0.354	-0.025	0.176
可給態リン酸	0.039	0.428	-	0.137
可給態珪酸	0.084	0.351	0.137	-
可給態窒素	0.561	0.133	-0.073	0.034
遊離酸化鉄	0.051	0.293	-0.238	0.128

種々な理化学的の調査項目の中でも全炭素と養分的性格を示す可給態リン酸、可給態珪酸及び交換性塩基等の土壌養分に注目できると考える。

2. 土壌の実態と変化

前述した全炭素と土壌養分に加えて、主に耕起の深さに左右される作土深の3項目について考察する。

1) 作土深

作土は作物の根が容易に伸張し、養水分を吸収できる土層と考えられ、水田では水稻根の大部分が集中する重要な土層である。

また、作土深は土壌の養分保持能からみると、CECの小さい土壌では深く、CECの大きい土壌は浅くても良いといえるが、根の伸張や養水分保持能を考慮すれば15~18cmの確保が望まれる¹²⁾。

本調査での作土深をみると、CECの小さい土壌が広く分布する南部地帯で浅く、CECの大きい黒ボク土や粘質土が広く分布する中北部地帯で深い。また、この15年間における作土深の変化は、全域的にみると浅くなっているが、南部地帯は1巡目15.9cm、2巡目15.1cm、3巡目15.2cmで2巡目から3巡目にかけては変化していない。これは耕起深が15cm付近にあり、現在の耕起法が続く限り、ほぼこの値に落ち着くことを示唆している。

また、本県における100戸当たりの15馬力以上のトラクター数は中北部地帯が南部地帯よりも多い¹³⁾ことから、亀和田ら²⁾が指摘しているように、トラクターの規模が大きいくほど作土深が深くなっていると考えられる。しかし、中北部地帯は作土深が現時点では南部地帯に比べて深いものの、巡ごとに浅くなっており、今後も浅耕化が続くことが予想される。

一方、土壌型別でみると、作土深は棚田粘質乾田、平坦・谷間粘質強湿田及び棚田粗粒質・礫質乾田で巡ごとに浅くなっており、特に、粘質土でこの傾向が顕著である。これは田植機やコンバイン等の機械の作業性の面から浅く耕起しているためと推察される。

作土深の確保のためには、耕耘に際してトラクターのスピードを遅くして、できるだけ深く耕起することが望まれる。特に、南部地帯はCECが小さく、次層の密度は20mm、仮比重は 1.4kg m^{-3} と高いので、土壌の養分供給能や根の伸張を考慮すれば、作土深は少なくとも15~18cm必要である。

2) 土壌の全炭素と有機物施用状況

土壌の全炭素は仮比重、全窒素、CEC及び可給態窒素との相関が高く、この増減は有機物の施用や分解に関与する温度条件に左右される。

水田土壌の全炭素は1巡目 30.5g kg^{-1} から3巡目 28.8g kg^{-1} へと漸減の傾向を示し、特に全炭素の高い土壌が広く分布する北部地帯で2巡目から3巡目にかけて著しく減少している。しかし、全炭素 30.0g kg^{-1} 以下の中南部地帯では2巡目から3巡目にかけての減少はほとんど認められなかった。

土壌型別でみると、棚田粗粒質・礫質乾田と平坦・谷

間粘質強湿田は1巡目から2巡目に減少したが、その後変化を認めなかった。黒ボク乾田は2巡目から3巡目にかけて減少し、棚田粘質乾田は2巡目から3巡目にかけて増加した。平坦・谷間粗粒質乾田と平坦・谷間礫質乾田はほとんど変化がなく横ばい状態であった。このような全炭素の変化には地形や土性等による一定の傾向を認めなかった。

本調査で、堆肥類を連続して $10,000\text{kg ha}^{-1}$ 以上施用した11定点を平均すると、施用量は $20,000\text{kg ha}^{-1}$ で、土壌の全炭素は1巡目 37.1g kg^{-1} から3巡目 39.5g kg^{-1} に増加した。また、わらを連続して $5,000\text{kg ha}^{-1}$ 以上施用した18定点を平均すると、施用量は $5,400\text{kg ha}^{-1}$ で、土壌の全炭素は1巡目 31.5g kg^{-1} から3巡目 32.7g kg^{-1} に増加した。

これらより、土壌の全炭素の維持・増加のためには、堆肥類 $20,000\text{kg ha}^{-1}$ 、またはわら $5,400\text{kg ha}^{-1}$ 施用し続けることが必要と考えられる。この場合に有機物より添加される全炭素量を試算すると、堆肥類 $20,000\text{kg}$ （水分70%、乾物炭素量30%）で $1,800\text{kg}$ 、わら $5,400\text{kg}$ （水分15%、乾物炭素量40%）で $1,840\text{kg}$ となりほぼ同量となる。

一方、有機物施用率は巡ごとにやや減少しており、特に堆肥類は著しく減少したのに対し、わらは漸増の傾向を示した。地帯別にみると、北部地帯では堆肥類施用率が2巡目から3巡目にかけて激減したが、わら施用率はほとんど変化なかった。この堆肥類施用率の低下により、北部地帯で土壌の全炭素が減少したと考えられる。

中南部地帯では、堆肥類施用率が減少しているが、その分だけわら施用率が増加しており、土壌の全炭素の変動が小さかったと考えられる。

本県の畜産業は家畜飼養戸数が減少しているのに対し、頭羽数は増加の傾向⁷⁾を示している。このような有畜農家の減少と農業従事者の高齢化が堆肥類施用率を低下させていると考えられる。しかし、畜産農家は多頭羽飼育による大規模・専業経営に移行しつつあり、糞尿処理の問題が生じている。したがって、この糞尿の農耕地への適切な還元システムを確立する必要がある。

一方、わら施用はわらの分解が遅い北部地帯や湿田では、初期の生育遅延等の障害を発生し易いため推奨されていないのが現状である。しかし、土壌の全炭素維持のためわら施用を行う場合、秋施用、早期すき込みさらに窒素添加によるわらの分解促進等で障害軽減策を図っていく必要がある。

3. 土壌養分と肥培管理

本調査における水稻の平均収量は1巡目 $4,840\text{kg ha}^{-1}$ 、2巡目 $5,380\text{kg ha}^{-1}$ 及び3巡目 $5,160\text{kg ha}^{-1}$ であった。ま

た、本県的水稻平均収量を稲作関係資料⁸⁾より換算すると、1巡目 $4,470\text{kg ha}^{-1}$ 、2巡目 $4,900\text{kg ha}^{-1}$ 及び3巡目 $4,820\text{kg ha}^{-1}$ となり、定点的水稻平均収量はいずれもかなり高かった。1巡目の収量が低いのは、1980年の冷害年の収量が本調査で $3,890\text{kg ha}^{-1}$ 、県平均で $3,770\text{kg ha}^{-1}$ と⁹⁾低く、平均値を下げたためである。本調査の収量はアンケート調査によるものであるが、定点土壌的水稻生産力レベルは高いと判断できる。

水田土壌の養分状態は、可給態リン酸と交換性塩基が巡ごとに増加の傾向を示し、特に可給態リン酸の増加が顕著であった。しかし、可給態珪酸はほとんど変化が認められなかった。このことは、可給態リン酸と交換性塩基が著しく高い転作田の増加により、水田全体のこれらの平均値を上げたためである。

交換性塩基間のバランスは石灰・苦土比（当量比）が高く、交換性苦土の不足が認められる。しかし、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ はほとんど5.8～6.0を示し、CECと交換性塩基との関係からみると交換性石灰と交換性加里は適量域¹²⁾にあり、交換性苦土の補給が必要である。

可給態リン酸の改良目標値は $100\sim 200\text{mg kg}^{-1}$ であり¹²⁾、本調査では全体でみると巡ごとに増加したが、南部地帯は2巡目から3巡目にかけて減少したものの、その値は 500mg kg^{-1} 以上に達しており、過剰の傾向にある。

県内における調査例¹⁶⁾から水稻の養分吸収量は、玄米 $5,000\text{kg}$ 当たり窒素 121kg 、リン酸 58kg 及び加里 111kg となる。また、リン酸施肥量は減少の傾向を示しているが3巡目でも 71kg ha^{-1} あるし、リン酸は土壌からの溶脱もほとんどない。このため、土壌の可給態リン酸が増加していると考えられる。

しかし、一方では可給態リン酸が 200mg kg^{-1} 以下の定点の割合は減少しているが、3巡目でも25%存在していることも明らかになっている。

可給態珪酸は改良目標値が黒ボク土で $200\sim 400\text{mg kg}^{-1}$ 、それ以外の土壌で $150\sim 300\text{mg kg}^{-1}$ であり¹²⁾あり、北部地帯では巡ごとに減少し、中南部地帯では微増の傾向を示している。しかし、いずれの地帯も平均値では適量域の下限値に近く、 100mg kg^{-1} 以下の定点が30%程あることから、今後も補給していく必要がある。

水稻茎葉中珪酸含量と土壌溶液中珪酸濃度、珪酸吸収容量とリン酸吸収係数の間にはそれぞれ正の相関があり、珪酸吸収容量の大きい土壌では土壌溶液中に溶出する珪酸が少ない⁴⁾。また、水稻の珪酸吸収力及び土壌の珪酸供給力は温度が高いほど強くなること¹⁵⁾が報告されている。したがって、リン酸吸収係数の大きい黒ボク土が広く分布し、しかも温度が低い北部地帯では中南部地帯に比べ

珪酸が吸収されにくいので、温度依存性の少ない珪酸石灰¹⁹⁾の施用が有効である。

一方、土壤管理面では土壤改良資材の施用率が2巡目から3巡目にかけて減少しており、土づくりへの意欲の低下が懸念される。

このような土壤養分は土壤改良資材により比較的容易に改良目標値に近づけることが可能である。そこで、今後は土壤診断を活用し、不足している養分の補給と、過剰な養分の施用を避けるなどの対応が必要である。

次に、窒素、リン酸、加里の施肥量は1巡目と2巡目にはほとんど差がなかったが、3巡目には窒素 10kg ha^{-1} 、リン酸 15kg ha^{-1} 及び加里 10kg ha^{-1} 程ずつ減少した。これは主に基肥の減少によるもので、施肥体系が追肥重点に移行したためと考えられる。

また、本県におけるコシヒカリの作付面積は1981年に250ha、1985年に1,200ha、1990年には5,240haへ²⁰⁾と激増しており、本調査でもコシヒカリの栽培が巡ごとに著しく増加している。このような倒伏しやすい品種に対する肥培管理による施肥量の減少も大きいと考えられる。しかし、水稻の窒素吸収量は前述したように玄米 $5,000\text{kg}$ 当たり 121kg で、施肥窒素だけでは補うことはできていない。残りの窒素は土壤中有機物の分解に伴って発現した窒素とかんがい水から供給される窒素である。このような窒素施肥量の低下は土壤の全炭素や可給態窒素の低下の一因になっていると考えられる。

4. かんがい用水質の変化

かんがい用水質の変化は全窒素が巡ごとに減少し、CODがやや増加の傾向を示し、pH及びリン酸は巡別の変化に一定の傾向を認めなかった。しかし、地帯別にみると、河川の上流域の北部地帯から下流域の南部地帯に流下するにしたがって、全窒素、EC、全リン酸及びCODは増加し、水質の汚濁が進んでいる。

このように全窒素が巡ごとに低下の傾向を示しているのは、水稻栽培における施肥量の減少と関連しているとも考えられる。しかし、CODの増加は水質の汚濁が進行していることを示している。

水稻に対する農業用水基準¹⁴⁾はpH6.0~7.5、全窒素 1mg L^{-1} 以下、COD 6mg L^{-1} 以下、EC 0.3dSm^{-1} 以下となっており、森川ら²¹⁾は農業用水として許容される眼界の水質(許容範囲)として全窒素 4mg L^{-1} 以下、COD 10mg L^{-1} 以下、全リン酸 0.5mg L^{-1} 以下とし、これを超えると何らかの対策が必要であると報告している。

本調査における3巡目のかんがい用水質の階級別頻度割合をみると、全窒素は 1mg L^{-1} 以上の割合が5%、全リ

ン酸は 0.5mg L^{-1} 以上の割合が5%、CODは 6mg L^{-1} 以上の割合が20%で 10mg L^{-1} 以上の割合が5%であった。このように、現状ではかんがい用水はほとんど許容範囲にあるといえるが、CODで許容範囲を超えるかんがい用水も一部に認められ注意が必要である。もし、COD汚濁水により土壤に易分解性有機物が集積した場合は、水稻の収穫後に排水して畑状態にし、これらの分解を促進する¹⁴⁾必要がある。

本調査ではかんがい用水の採集を年一回しか行っていないこと、かんがい用水としての河川水とため池水との仕分けをしていないことなどから、水質の変化を確実にとらえているとはいえない。しかし、かんがい用水質の実態はある程度明らかにできたと考えている。

今後、農村地域における集落排水、市街化区域における下水処理などの施設整備により、水質の改善が期待される。しかし、農業生産場面でも環境への負荷軽減に配慮した肥培管理や水管理を進めていく必要がある。

摘 要

土壤環境基礎調査・定点調査の3巡目までの調査結果から、本県における水田土壤の理化学性、土壤管理及びかんがい用水の水質の実態と変化について明らかにした。

1. 土壤の理化学的性質のなかで、全炭素は全窒素、リン酸吸収係数、CEC、可給態窒素及び全孔隙率と正の、仮比重及び固相率とは負の、それぞれ高い相関が認められた。

2. 土壤の交換性石灰は交換性苦土、交換性加里及びCECとの相関が認められたが、可給態珪酸は他の項目との相関はほとんど認められなかった。

3. 作土深は全域的には浅くなる傾向を示した。しかし、2巡目で平均 15cm と浅い南部地帯ではその後変化が認められなかったが、根の伸張と養分供給能から 15cm 以上の確保が必要と考えられた。

4. 作土の全炭素は黒ボク土の広く分布する北部地帯で減少の傾向を示したが、中南部地帯はこの5年間の変化はなかった。堆肥類 $10,000\text{kg ha}^{-1}$ 、またはわら $5,000\text{kg ha}^{-1}$ 以上の連用田ではむしろ増加の傾向を示した。

5. 水田への有機物の施用は、堆肥類の施用率が巡ごとに減少し、わら施用率が漸増の傾向を示した。有機物施用率の低下が土壤全炭素の減少の一因と考えられた。

6. 土壤の養分は可給態リン酸、交換性塩基が漸増しているが、可給態珪酸と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ はほとんど変化がなかった。今後、これらの補給に当たっては、土壤診断に基づいた肥培管理が必要である。

7. 水稻の栽培における窒素、リン酸及び加里肥料の施用量は、2 巡目から3 巡目にかけてそれぞれha当たり10kg, 15kg及び10kg程度減少した。

8. かんがい用水質をみると、全窒素は巡ごとに減少し、COD がやや増加の傾向を示した。また、北部地帯に比べて中南部地帯の水質の汚濁が進行していたが、ほとんどの用水が水稻に対しては許容範囲であった。

謝 辞

本調査は各農業改良普及所と共同で実施しており、多大なご協力を頂いている農家各位、各農業改良普及所の方々に感謝の意を表する。また、本稿の取りまとめて活用した土壌診断ソフトを提供頂いた東京農業大学土壌学研究室後藤逸男助教授に深く感謝の意を表する。

引 用 文 献

- 1) 安西徹郎・渡辺春朗・日暮規夫・金子文宜・真行寺孝・在原克之・松本直治：1992. 千葉県におけるこの10年間の農耕地土壌の実態と変化. 千葉農試研報, 33 : 107-121.
- 2) 亀和田國彦・吉沢 崇・小川昭夫・植木与四郎・内田文夫・岩崎秀穂：1986. 栃木県農耕地土壌の実態 第1報 水田土壌の物理性及び化学性の現況. 栃木農試研報, 32 : 7-26.
- 3) 亀和田國彦・小川昭夫・吉沢 崇・植木与四郎：1990. 栃木県農耕地土壌の実態 第3報 近年の農耕地土壌の主要な性質の変化. 栃木農試研報, 37 : 115-132.
- 4) 岡山清司・吉野 喬：1989. 土壌溶液中のケイ酸濃度と水稻のケイ酸吸収. 富山農技セ研報, 5 : 1-14.
- 5) 広島県：1981. 広島県農業振興のための基本計

画：33-35.

- 6) 広島県農産課：1993. 稲作関係資料：3-21.
- 7) 広島県農政部畜産課：1993. 家畜飼養戸数及び頭羽数：1-7.
- 8) 広島県立農業技術センター：1992. 広島県メッシュ分布図III：43-44.
- 9) 森川昌記・松岡義浩：1984. 水質汚濁が稲作に及ぼす影響 第2報 水田における汚濁成分の動態. 千葉農試研報, 25 : 137-144.
- 10) 中沢征三郎・上本 哲・宮地勝正・谷本俊明・松浦謙吉：1989. 広島県水田土壌環境の実態と変遷. 広島農試報告, 52 : 47-57.
- 11) 農水省農蚕園芸局農産課：1979. 土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法
- 12) 農水省農蚕園芸局農産課・日本土壌肥料学会監修：1991. 日本の耕地土壌の実態と対策. 博友社：271-276.
- 13) 猿田正暁・須永文雄・峰岸恵夫・塚本雅俊・牛尼正道：1989. 県内耕地の土壌環境と施肥実態. 群馬農学研究, A 6 : 5-14.
- 14) 白鳥孝治：1974. 水質汚濁. 坂井 弘. 農業公害ハンドブック. 地人書館：74-79. 255.
- 15) 住田弘一・大山信雄：1990. 水稻のケイ酸吸収および水田土壌のケイ酸供給に及ぼす温度の影響. 土肥誌, 61 : 253-259.
- 16) 上本 哲・中沢征三郎・宮地勝正・谷本俊明・松浦謙吉・植木博秀・中薮正之：1985. 県内水田土壌の土壌型分類と北部水田土壌の水稻生産力について. 広島農試報告, 49 : 1-18.
- 17) 山本 毅：1976. 日本の地力. 御茶の水書房：1-16.

Status and Change of the Paddy Fields during a Fifteen Years Period in Hiroshima Prefecture

Kenkichi MATSUURA, Seizaburou NAKAZAWA, Satoshi UEMOTO,
Katsumasa MIYAJI and Toshiaki TANIMOTO

Key words : Paddy soil, soil of physical and chemical properties, manuring practice, irrigation water, time-specific change

付表 1 水田作土の理化学性の変化

[illegible]

付表2 水田次層土の理化学性の変化

[illegible]