

耕地の深耕効果の持続性

—田畑輪換が土壌の物理性に及ぼす影響—

川 崎 哲 郎*

Persistence of the beneficial effect of deep plowing of arable land

—Effect of paddy-upland rotation on soil properties—

Tetsuro KAWASAKI

Ehime Agricultural Experiment Station

I はじめに

近年の水田経営は、米の生産過剰を契機に畑作物の導入を前提とした水田高度利用方式の開発を推進してきている。水田に畑作物を導入する場合、作物の生産量の増大あるいは効率的な農作業を推進するために最も重要なのは土壌水分のコントロールである。しかしながら、水田は従来湛水しやすいように造成され、その土壌の特徴として耕盤を有しており、これが排水不良の原因の1つになっている。一方、水田の耕盤は極めてち密であり、作物根の伸長が困難な土壌環境を有している。したがって、有効土層が浅く、畑作物を導入する場合には早害を受け易い土壌環境であるといわれている¹⁾。

このように、水田は、畑作物を導入する場合には「排水不良」、「早害を受けやすい」という相反した両面の土壌水分環境を有しており、生産量を増大するためには、深耕によって耕盤を破砕するなど、土壌物理性と同時に土層改良をはからなければならない。

水田高度利用をはかるための農地の利用形態は、半永久的に畑地として利用する場合と田畑輪換を行う場合の2つに大別される。半永久的に畑地として利用する場合、深耕後の土壌物理性に最も影響を与えるのは、トラクタなど機械の走行による踏圧であると考えられる。一方、田畑輪換を行う場合には、一般に水田還元時に代かき作業を実施しなければならず、これが土壌の物理性に大きな影響を及ぼすものと推察される。

本報では、水田に畑作物を導入するうえでの深耕の効果と深耕後田畑輪換を実施した場合の深耕効果の持続性について土壌の物理性を中心に検討した結果の概要を報告する。

II 試験の方法

1. 供試ほ場の概要

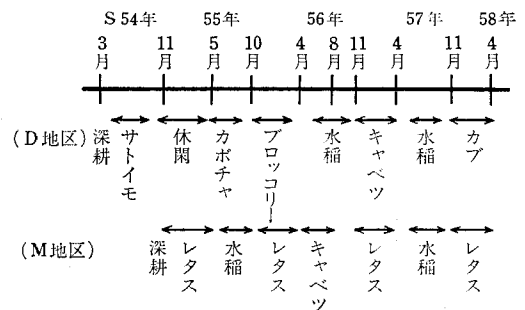
試験場所は、愛媛県伊予郡松前町 (M地区と呼ぶ) と

表—1 供試土壌の粒径組成

場 所	深 さ (cm)	粒 径 組 成				土 性
		粘土 (%)	シルト (%)	細砂 (%)	粗砂 (%)	
M 地 区	0~15	17.0	29.8	37.1	16.1	CL
	15~30	22.9	20.2	46.1	10.8	CL
	30~50	24.7	24.8	46.0	4.5	CL
D 地 区	0~17	13.0	25.9	38.9	22.2	L
	17~30	10.5	27.2	35.4	26.9	L
	30~50	11.4	26.3	37.8	24.5	L

宇摩郡土居町 (D地区と呼ぶ) の2カ所の田畑輪換田で、いずれの場合も地下水位は低く、乾田である。土壌の粒径組成は表—1に示したとおりで、M地区は粘土含量17.0~24.7%のCL、D地区は粘土含量10.5~13.0%のLであった。

両ほ場における試験期間中の作付形態の概要は図—1に示した。D地区のは場合は、昭和54年3月に深耕ロータリによる深耕(深さ40cm)を行った後、26カ月間、サトイモ、カボチャなどの畑作物を栽培した後水田に還元した。一方、M地区のは場合は、昭和54年11月に深耕を行



図—1 供試ほ場における作付形態の概要

* 愛媛県農業試験場

った後6カ月間で水田に還元し、その後は田畑輪換を実施した。なお、水田に還元する際の代かき作業は、M地区の場合はティラー(カゴ車輪)、D地区は20PS級の乗用トラクタを使用した。また、一般の耕うん作業は、いずれの場合も20PS級の乗用トラクタを用いた。

2. 測定項目とその方法

深耕前後並びに深耕後3~7カ月毎に、高さ5cm、体積100cm³の円筒で、下層土(深さ20~25cm, 30~35cm)を各々2個ずつ採取した。その試料について、三相分布、pF~水分曲線、飽和透水係数を測定した。三相分布は実容積法、飽和透水係数は変水位法によって測定し、pF~水分曲線は、pF 2.0以下は吸引法、pF 2.0~4.2は遠心法によって求めた²⁾。

また、土壌の採取時期に合わせて、SR-2型土壌抵抗測定器(頂角30度、底断面積6.0cm²の円錐を使用)で、深さ別コーン指数の経時変化を調査した。ただし、8.3kg/cm²以上のコーン指数を示した場合には、頂角30度、底断面積2.0cm²の円錐を使用した。なお、測定は各々5カ所について行い、その平均値で表示した。

さらに、水田還元後におけるき裂の発達並びに透水性の変化を推測するために、下層土の収縮特性及びインタークレートを調査した。土壌の収縮特性は、深さ20~25cm, 30~35cmの土壌を、高さ5cm、体積100cm³の円筒で各々2個ずつ採取し、その試料を室内で自然乾燥させた後炉乾燥し、垂直方向、水平方向の変位量をノギスで測定した。インタークレートは、内径30cmの無底の円筒を深さ25cmまで打ち込んで測定した。なお、インタークレートは、深耕田と対比するために隣接田(対照田)においても調査した。

III 試験結果と考察

1. 土壌の三相分布

下層土における深耕前後並びに深耕後の三相分布の変化を図-2(1)(2)、図-3(1)(2)に示す。この場合、変化特性はM地区、D地区ともに、深さによる差異がほとんどみられなかったため、区別せずに述べる。

まず、M地区についてみると、固相率は、深耕前には約60%と大きかったが、深耕によって16~18%減少し、42~44%となった。その後急速に増大する傾向がみられ、耕起後6カ月目には48~51%と深耕直後に比べて4~9%大きな値を示した。水田還元後(耕起後11カ月目)は55~58%と深耕前に近い状態となった。その後は日数の変化に伴う固相率の変化がほとんどみられなかった。したがって気相率は、当初は4%前後と小さかったが、深耕によって著しく増大し、24~31%と当初値に比べて6倍以上となった。その後日数の経過に伴って減少し、水田還元後には当初値とほとんど差がなくなった。

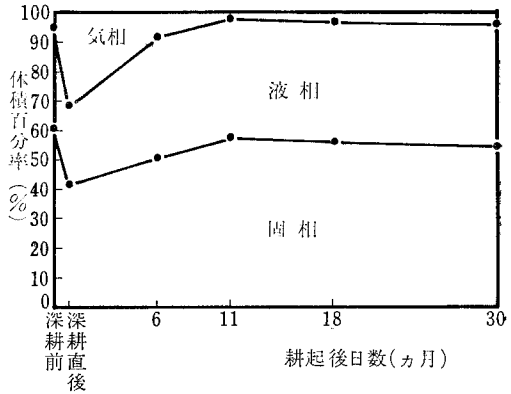


図-2(1) M地区における三相分布の変化 (深さ20~25cm)

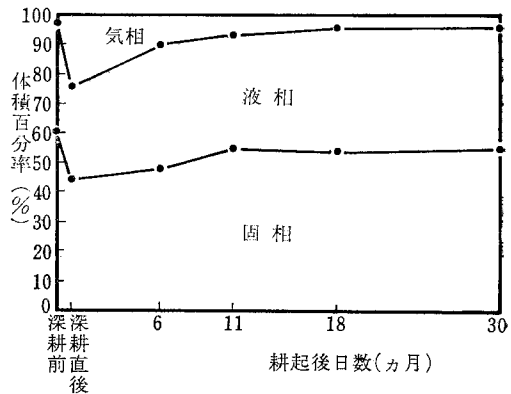


図-2(2) M地区における三相分布の変化 (深さ30~35cm)

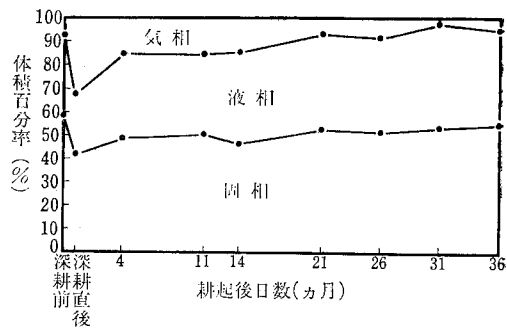


図-3(1) D地区における三相分布の変化 (深さ20~25cm)

D地区についてみると、固相率は、深耕前には約59%と大きかったが、深耕によって17~19%減少し、40~42%の値を示した。その後4カ月間で6~7%増大し、約48%となった。以後は日数の経過に伴って徐々に増大する傾向を示したが、耕起後26カ月経過しても52%前後と深耕前に比べると約7%小さな値を示した。水田還元後(耕起後31カ月目)はさらに増大し、耕起後36カ月目には56~57%と深耕前に近い固相率となった。このような

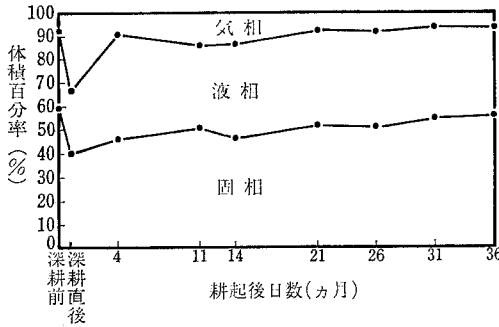


図-3(2) D地区における三相分布の変化
(深さ30~35cm)

固相率の変化に対応して、気相率は、当初は約8%と比較的小さかったが、深耕によって約25%増大し、33%となった。その後日数の経過に伴って徐々に減少し、耕起後26ヵ月目には当初値と差がなくなった。水田還元後にはさらに減少し、耕起後31ヵ月目には2~6%の値を示した。

2. 間隙分布

一般に、 $pF 0$ からは場容水量 ($pF 1.5 \sim pF 1.8$ 附近) までの粗間隙に含まれる水を重力水、場容水量から $pF 3.0$ までの間隙に含まれる水を正常生育有効水分といわれている²³⁾。また、一般畑作物や露地野菜におけるかん水点は $pF 2.5 \sim pF 3.0$ とされている⁴⁾。したがって、 $pF 1.5$ 以下の粗間隙に含まれる水を重力水、かん水点を $pF 2.8$ とすれば、 $pF 1.5 \sim pF 2.8$ に相当する間隙量が多い畑作物を栽培するうえで有利であると考えられる。さらに、 $pF 1.5$ 以下の粗間隙量は透水性と密接な関連を有している³⁾。そこで、三相分布を測定した試料について pF ~水分曲線を描き、この曲線から、 $pF 0 \sim pF 1.5$, $pF 1.5 \sim pF 2.8$ に相当する間隙量を各々求め、その経時変化について検討した。その結果は 図-4 及び 図-5 に示したとおりである。なお、M地区、D地区ともに、深さによる差異はほとんどなかったためその平均値で表示した。

$pF 1.5$ 以下の粗間隙量についてみると、M地区においては、当初約4%と小さかったが、深耕によって著しく増大(約24%)した。その後急速に減少する傾向がみられ、耕起後6ヵ月目には約8%の値を示した。水田還元後はさらに減少し、耕起後11ヵ月目は約3%と当初値に比べて小さくなった。

D地区においても、粗間隙量は当初4.5%と小さかったが、深耕によって約24%に増大した。その後急速に減少し、4ヵ月目には約10%となった。しかしながら、耕起後26ヵ月経過しても約6%と比較的大きな値を維持した。水田還元後(耕起後31ヵ月目)はさらに減少し、当初値に復元した。

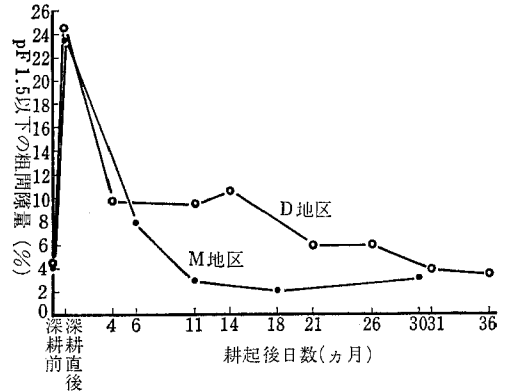


図-4 $pF 1.5$ 以下の粗間隙量の変化

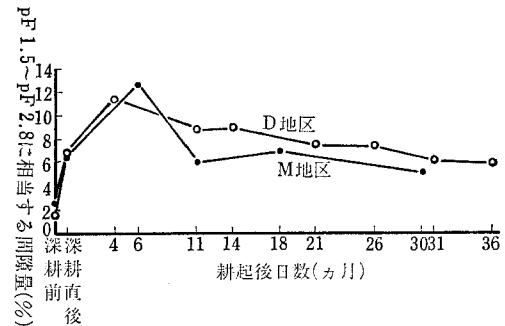


図-5 $pF 1.5 \sim pF 2.8$ に相当する間隙量の変化

次に、 $pF 1.5 \sim 2.8$ に相当する間隙量についてみると、M地区においては、当初は2.5%と著しく小さかったが、深耕によって増大し6.5%となった。その後さらに増大し、耕起後6ヵ月目には当初の5倍の値(12.5%)を示した。水田還元後(耕起後11ヵ月目)は著しく減少したが、当初値に比べると大きかった。以後は大きな変化はなく、6%前後の値で経過した(耕起後30ヵ月目)。

D地区においても、当初は1.5%と著しく小さかったが、深耕によって増大し約7%となった。その後さらに増大し、耕起後4ヵ月目には11.5%と当初の約8倍の値を示した。以後は日数の経過に伴って次第に減少する傾向を示したが、耕起後26ヵ月経過しても7.5%と比較的大きかった。水田還元後(耕起後31ヵ月目)はさらに減少したが、当初に比べると大きな値(6%)を示した。

3. 透水性

飽和透水係数の経時変化を調査した結果は表-2及び表-3に示したとおりである。

M地区についてみると、当初は透水性は小さく 10^{-6} cm/sec のオーダーを示したが、深耕によって著しく増大し、 10^{-2} cm/sec のオーダーとなった。耕起後6ヵ月目には透水性は低下したが、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/sec と比較的大きなオーダーを示した。しかしながら、水田還元後(耕起後11ヵ月目)には透水性は著しく低下し、当初に

表-2 M地区における飽和透水係数の変化 (cm/sec)

深さ	時期	耕起前	耕起直後	耕起後6ヵ月	耕起後11ヵ月	耕起後18ヵ月
20~25cm		9.6×10^{-8}	7.7×10^{-2}	8.7×10^{-4}	2.3×10^{-7}	6.3×10^{-7}
30~35cm		9.9×10^{-8}	3.8×10^{-2}	5.1×10^{-5}	1.5×10^{-6}	1.9×10^{-6}

表-3 D地区における飽和透水係数の変化 (cm/sec)

深さ	時期	耕起前	耕起後4ヵ月	耕起後14ヵ月	耕起後26ヵ月	耕起後31ヵ月
20~25cm		2.1×10^{-5}	3.8×10^{-2}	7.4×10^{-5}	1.0×10^{-5}	4.2×10^{-6}
30~35cm		8.6×10^{-5}	2.5×10^{-4}	1.5×10^{-4}	2.1×10^{-4}	6.6×10^{-6}

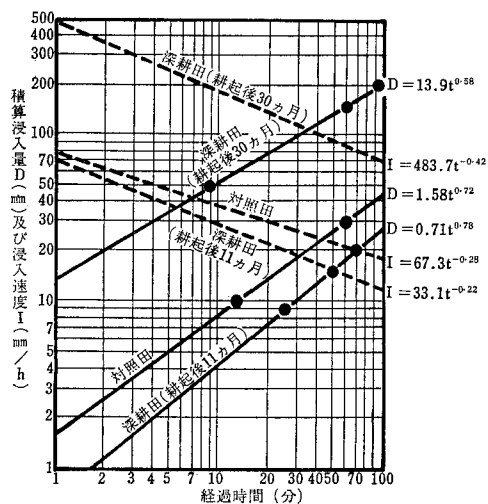


図-6 水田還元後におけるインタークレートの変化 (M地区)

比べても小さな値を示した。

D地区においても、当初は透水性は比較的小さく 10^{-5} cm/sec のオーダーを示したが、深耕によって増大し、耕起後4ヵ月目には $10^{-2} \sim 10^{-4}$ cm/sec のオーダーとなった。以後日数の経過に伴って透水性は低下したが、耕起後26ヵ月経過しても当初に比べると大きく、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/sec のオーダーを示した。水田還元後（耕起後31ヵ月目）はさらに低下し、当初値に比べて小さな透水性を示した。

このような飽和透水係数の変化はさきに述べた粗間隙量の変化とほぼ対応した関係を示している。すなわち、M地区、D地区ともに、深耕前は粗間隙量が小さく、飽和透水係数も小さな値を示したが、深耕によって粗間隙量、飽和透水係数ともに増大した。しかしながら、水田還元後は粗間隙量の減少に伴って飽和透水係数が著しく低下した。そしてその程度は、粘土含量の多いM地区の方がD地区に比べて顕著であった。このような水田還元による粗間隙量の減少並びに透水性の低下は、還元時

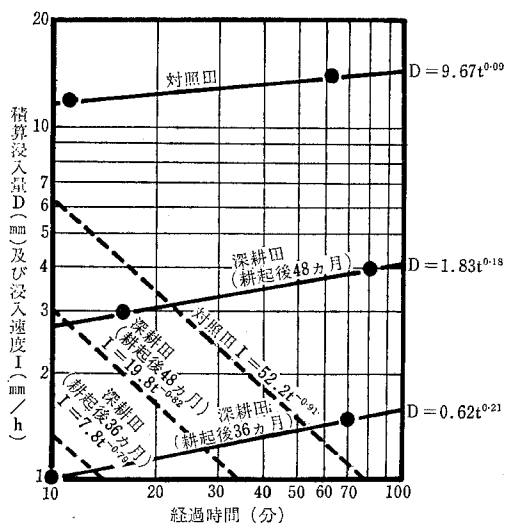


図-7 水田還元後におけるインタークレートの変化 (D地区)

の代かき作業における土壌のねり返しによるものと考えられる。

次に、水田還元後における透水性の変化を明らかにするために、インタークレートの変化を調査したが、その結果を図-6、図-7に示す。

M地区の場合についてみると、耕起後11ヵ月目（水田還元直後）における浸入能は、深耕田の方が対照田に比べて小さかったが、耕起後30ヵ月目（水田還元後19ヵ月）においては逆に深耕田の方が対照田に比べて大きな浸入能を示した。

D地区においては、耕起後36ヵ月目（水田還元後5ヵ月）の浸入能は、深耕田の方が対照田に比べて著しく小さかった。そして、耕起後48ヵ月目（水田還元後17ヵ月）には深耕田の浸入能が増大する傾向がみられたが、対照田に比べると小さな浸入能を示した。

このような水田還元後における透水性の変化は、還元後における土壌の乾燥に伴うき裂の発達に影響すると考

表-4 土 壤 の 収 縮 特 性

項目 場所	深さ (cm)	耕 起 後 日 数 (カ月)	$\frac{\Delta h}{h_0} \times 100$ (%)	$\frac{\Delta \phi}{\phi_0} \times 100$ (%)	体 積 変 化 率 (%)
M 地 区	20~25	11	2.5	3.1	8.4
		30	2.0	2.8	7.0
	30~35	11	2.3	3.0	8.2
		30	1.9	2.8	7.3
D 地 区	20~25	36	1.3	2.4	6.0
		48	1.0	1.9	4.2
	30~35	36	2.1	1.9	5.8
		48	2.0	2.2	5.8

注) 1), Δh : 垂直方向(高さ)の変位量(mm), $\Delta \phi$: 水平方向(直径)の変位量(mm), h_0 : 供試体当初の高さ(mm), ϕ_0 : 供試体当初の直径(mm)

2) 体積変化率

$$= \frac{\text{供試体当初の体積} - \text{乾燥後の体積}}{\text{供試体当初の体積}} \times 100(\%)$$

えられたので、インタークレート測定時の下層土について、き裂の発達と関連のある土壌の収縮特性を調査した。その結果は、表-4 に示したとおりである。

M 地区についてみると、いずれの深さにおいても、耕起後30カ月の方が耕起後11カ月目と比べて、水平方向、垂直方向ともに収縮量が小さかった。一方、D 地区においては、深さ 20~25 cm の土壌は、耕起後48カ月の方が耕起後36カ月目と比べて水平方向、垂直方向ともに小さな収縮量を示したが、深さ 30~35 cm の土壌では、時期の違いによる収縮量の差異はほとんどなかった。

これらの結果から、M 地区、D 地区ともに、水田還元後の畑作物栽培期間中に土壌が乾燥し、これに伴う土壌の収縮によってき裂が発達し、透水性を増大したものと考えられる。そして、還元後における透水性の増大は M 地区の方が D 地区に比べて著しかったが、これは両者間における土性の差異あるいは還元後における管理方法の違いによるものと推察される。すなわち、M 地区では、還元後夏の乾燥期に畑作物を栽培したのに対し、D 地区においては、還元後の夏作に水稻を栽培しており、前者の方が後者より土壌の乾燥及び収縮が著しく、透水性を増大したものと考えられる。

4. コーン指数

深さ別 コーン指数の変化について調査した結果を図-8 および 図-9 に示す。なお、深耕に伴う コーン指数の変化は下層土が特徴的であると思われるので、深さ 15 cm より深い部位について述べる。

M 地区についてみると、コーン指数は、当初は 16~19 kg/cm² と大きな値を示したが、深耕によって著しく減少し、2 kg/cm² 前後となった。その後若干増大し、耕起後 6 カ月目には 3~4 kg/cm² となった。水田還元後(耕起後11カ月目)にはさらに増大したが、8~11 kg/cm² と当初に比べると小さな値を示し、以後はほとんど変化がみられなかった。

D 地区においても、当初は大きなコーン指数を示したが、深耕によって著しく減少し、2 kg/cm² 以下となった。その後徐々に増大する傾向がみられたが、耕起後26

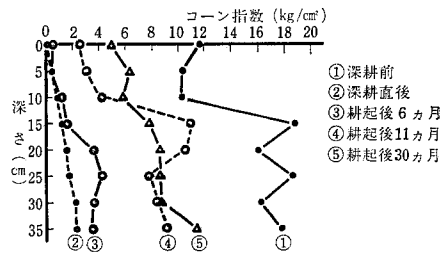


図-8 M地区におけるコーン指数の変化

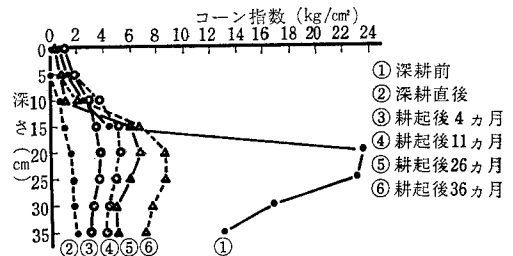


図-9 D地区におけるコーン指数の変化

カ月経過しても 5~7 kg/cm² と比較的小さな値を持続した。水田還元後(耕起後36カ月目)にはさらに増大したが、7~9 kg/cm² と当初に比べると著しく小さなコーン指数を示した。

5. 深耕効果とその持続性

畑作物の生育に影響する土壌の物理的要因は、主として透水性(排水性、通気性)、保水性、硬度などであると考えられる。土壌の透水性は大きい程排水を良好にし、土の中の空気率を確保でき、作物の生育に好適である。そして、畑地土壌の透水性は、一般に 10⁻⁴ cm/sec 以上が好ましいといわれている¹⁾。また、さきに述べたように、pF 1.5~pF 2.8 に相当する間隙量が大きい程作物生育に有効な水分が多く、畑作物を栽培するうえで有利と考えられる。一方、土壌硬度は作物根の伸長との関連で検討されている。すなわち、土壌物理研究会編「土壌の物理性と植物生育」²⁾では、小川³⁾、三好⁴⁾の試験結果を引用し、作物の根の伸長を良好にするためには、一般

に土壤硬度を山中式硬度計の目盛で 20 mm (SR-2 型に換算すると約 10 kg/cm²) 以下にする必要がある。ただし、根菜類の栽培では指標硬度が 18 mm (SR-2 型で約 7.5 kg/cm²) 以下にすることがのぞましいと述べている。

本試験結果によれば、水田の下層土は、透水性は小さく、pF 1.5~pF 2.8 に相当する有効水分は少なく、コーン指数は著しく大きかった。しかしながら、深耕によってこれら土壤物理性が改善され、透水性並びに有効水分が増大し、コーン指数は著しく減少した。そして、深耕後畑作を継続した場合には耕起後26か月経過しても透水性および有効水分は比較的大きく、コーン指数は 7 kg/cm² 以下の小さな値を示した。深耕後畑地として利用する間の土壤物理性の変化は、一般管理作業におけるトラクタ走行時の土壤水分条件によって異なると考えられる。別途に実施した試験結果⁹⁾によれば、トラクタ走行時の土壤水分が少ない場合には、30回繰返し走行しても固相率の増大は少なく、飽和透水係数は 10⁻⁴ cm/sec のオーダーを維持し、有効水分の減少はみられなかった。これらのことから、深耕後畑作を継続する場合、土壤水分を考慮して管理作業を行えば、深耕の効果は長期間持続するものと考えられる。しかしながら、深耕後水田に還元した場合には、飽和透水係数は 10⁻⁵~10⁻⁷ cm/sec のオーダーに低下し、コーン指数は 10 kg/cm² 以上を示す部位が認められた。したがって、深耕後水田に還元した場合には、深耕効果は期待できなくなるものと推察される。

なお、D 地区において、深耕後サトイモを作付し、その生育状況を調査したが、深耕田の方が対照田に比べて生育が旺盛であった。また、別途に実施した大豆の栽培試験結果⁹⁾によれば、深耕によって土壤水分環境が改善され、初期生育が旺盛となり、収量が増大する例がみられた。これらの試験結果から、深耕後、水管理、肥培管理などを考慮すれば深耕による増収効果が期待できるものと考えられる。一方、深耕後田畑輪換を実施する場合、水田還元時の代かき作業や田植作業における機械の走行性に問題を生じると考えられたので、田植機の走行性について検討した。その結果、田植え時のコーン指数は対照田に比べて小さく、田植機のスリップ率は増大したが、作業は可能であった。

IV 摘要

水田に畑作物を導入するうえでの深耕の効果と深耕後田畑輪換を実施した場合の深耕効果の持続性について、

土壤の物理性を中心に検討し、次のことが明らかになった。

1. 深耕前は、固相率が大きく、粗間隙量、作物生育に有効な間隙量並びに透水性は小さかったが、深耕によってこれら物理性が改善された。
2. 深耕後畑作を継続した場合には、耕起後26か月経過しても比較的良好な土壤物理性を持続した。
3. しかしながら、深耕後水田に還元した場合には、粗間隙量が減少して透水性が著しく低下し、深耕前に比べても小さな透水性を示した。
4. 水田還元後再び畑作物を栽培した場合には、畑作物栽培時における土壤の乾燥によって亀裂が発達し、透水性が増大した。
5. 以上の試験結果から、深耕後畑地として継続利用する場合には深耕効果は長期間持続するが、水田に還元した場合にはその持続性は期待できなくなると考えられた。

V おわりに

本研究にあたり、懇切なるご指導を賜った愛媛大学農学部佐藤晃一教授、いろいろとご援助をいただいた愛媛県農試竹内 学場長に厚くお礼申し上げます。なお、本研究は、農林水産省の総合助成を受けて行ったことを附記する。

引用文献

- 1) 土壤肥料学会編：水田転作，博友社，p. 45~64 (1979)
- 2) 土壤物理性測定法委員会編：土壤物理性測定法，養賢堂，p. 1~11, p. 134~157, p. 177~182, p. 107~113, p. 311~312 (1975)
- 3) 三好 洋，丹原一寛：土の物理性と土壤診断，日本イリゲーションクラブ，p. 32~53, p. 85~86 (1977)
- 4) 湯村義男：土壤水分と施肥，農林水産研究文献解題，畑地カンガイ編，p. 47~79，農林水産技術会議事務局 (1975)
- 5) 土壤物理研究会編：土壤の物理性と植物生育，養賢堂，p. 161~164 (1979)
- 6) 小川和夫：鈣質畑地土壤における地力要因の解析的研究，東海近畿農試研報，18, p. 192~352 (1969)
- 7) 三好 洋：根群発達の良い土壌条件からみた畑地の有効土層の検討，土肥誌，43, p. 92~97 (1972)
- 8) 川崎哲郎：未発表
- 9) 川崎哲郎，石田典兄：未発表 (1983. 9. 26受理)