

# 水田作土の構造と水稻生育

出 井 嘉 光\*

土壌構造は土壌中の水および空気の状態を規制することを通して作物生育と関係をもっている。通気性不良に由来する湿害や水分不足による干バツも土壌構造の不良性が一因となっており、土壌構造は地力の主要因の一つである。

わが国は諸外国にくらべて、土壌構造に関する研究がおくれていたが、これは、気候的に多雨条件であり、経営的には集約農業であり、さらに水田中心の農業であったがために土壌構造が地力に占める比重がやや小さくなっていたためと考えられる。戦後、畑地農業が脚光を浴びるとともに、土壌構造に対する関心が高まってきたが、水田の構造に関しては、水稻がタン水条件下で栽培される関係上、畑作物にみられる如き、干バツや湿害と構造との関連で一義的に論ずることができず、その研究は寂々たるものであった。ただ、水田の乾田化や干拓地造成に際し、下層土の構造の発達が目され、また最近では、トラクタの走行性や直播水稻の苗立ちとの関係で、水田土壌の構造が重要視されてきている。

水稻は沼沢作物であるために還元条件の土壌中でもよく生育するとされていたが、しかし、この現象は水稻がタン水栽培への適応の姿であり、本質的には培地がある程度酸化していることが好ましいことが明らかにされてきた。米作日本一農家では、水管理を通じて土壌培地の酸化的健康化をはかっていることはよく知られている。これらの事実と関連して、移植水稻の生育については水稻の多収穫において水田土壌とくに作土の構造は如何なる意義をもっているかについては興味ある問題であるので、既応の研究を概観するとともに、わらわれの最近の研究を中心にして述べることにする。

## 1. 水田作土の構造の種類

水田作土の構造を体系づけて研究したのは青峰<sup>1)</sup>である。青峰に

表一 水田耕土の構造の種類

垂 層 位	厚 さ	構 造
第 1	1 cm	泥 状
第 2	5 ~ 6 cm	単 粒 状 パ ン 状 団 塊 状 管 状 泥 状
第 3	5 ~ 10 cm	弱 塊 状 泥 状

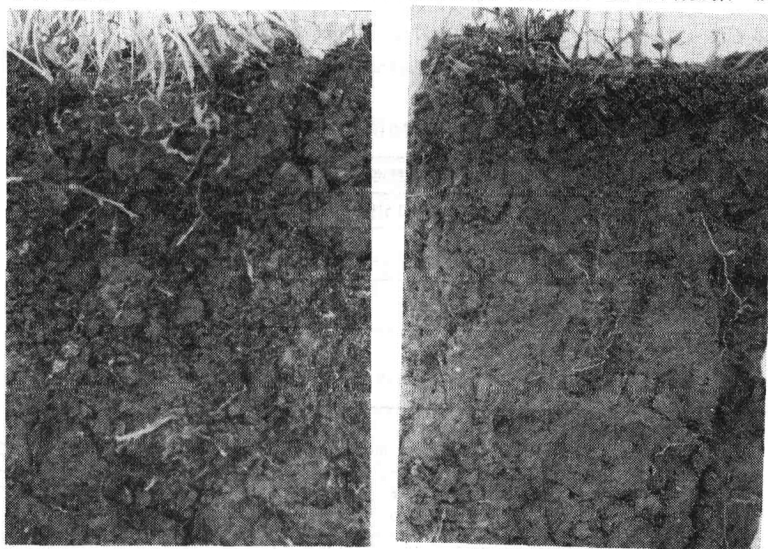
よれば、水田作土は畑地の作土と構造上著しく趣を異にしていることを明らかにした。すなわち水田作土は、通常、構造的に異なる3つの垂層に分化していること、さらに水田特有の構造すなわちパン状、管状、泥状構造が存在することを示し、これらの生成条件についてもふれている。それらの関係を表一に示した。

## 2. 栽培様式と土壌構造

作土の構造は栽培様式によって著しく影響をうけている。そこで各種の栽培様式や管理法によって構造が如何に変化しているかをみることにする。

### (1) 有機質肥料の影響

水稻に対する有機質肥料の効果は、主に含有窒素の緩



写真一 肥料連用と作土の構造 (1)緑肥連用区(左) (2)無肥料区(右)

\* 農林省農事試験場

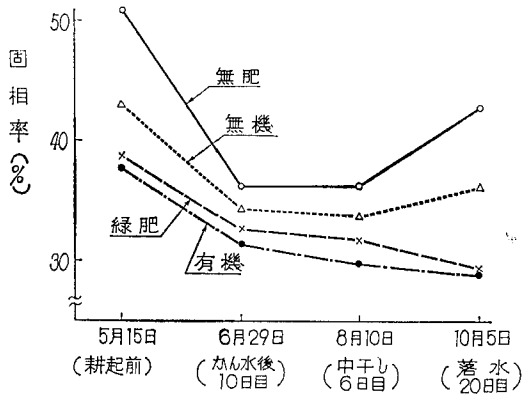


図-1 肥料連用と固相率の変化

効性と含有養分の多様性で論じられてきたが、構造に対する有機物施用の影響は実に顕著である。鴻巣の農事試において40年間にわたり、無機質肥料や有機質肥料連用水田の作土の構造は写真1に示したように明らかに異なっている<sup>3)</sup>。有機質肥料とくに緑肥の連用区では、作土は明らかに三つの亜層に分化し、第1亜層は細粒状に、第2亜層はよく発達した粒状構造をもっており、第3亜層は弱塊状を呈していた。これに反して、無肥料や無機質肥料連用区は亜層の分化が不明瞭であり、とくに第2亜層に粒状構造がみとめられがたい。かかる事実は青森農試の有機質肥料の連用試験<sup>4)</sup>においても認められている。このような構造の違いが、栽培期間中どのような状態にあるかを追跡した成績を図-1と表-2に示した。

泥状構造の作土は粒状のものに比べて固相率は終始大きく経過しており、また団粒含量は少なく、土塊部分が多くなっていた。ただ水田作土における塊状構造は畑地の場合のように大孔隙の増大に直接結びつかないことは

表-2 肥料連用と土壤団粒

区分	処理 月日	無肥料		無機連用		緑肥連用		有機連用	
		7月2日	8月26日	7月2日	8月26日	7月2日	8月26日	7月2日	8月26日
土塊部分 (>10mm)	%	31.8	32.6	27.6	13.9	10.2	8.3	12.8	9.7
団粒部分 (10~0.5mm)	%	15.5	11.6	18.3	16.0	22.8	15.3	23.1	17.1

表-3 乾田直播による土壤団粒の変化

場所	直移	播植	粒徑区分 (%)				
			mm >3.0	mm 3.0~1.0	mm 1.0~0.5	mm 0.5~0.25	mm 0.25~>
川里	直移	20.7	17.3	13.8	15.7	32.5	
	播植	9.0	7.9	8.3	13.2	61.6	
杉戸	直移	22.2	17.6	12.5	13.2	34.5	
	播植	17.5	9.8	9.8	13.8	49.1	

注意すべきであろう。

近年、農村の労働事情の変化から、生わらを水田に直接還元することが多くなっているが、生わらは堆肥よりも土壌をより粒状化する機能をもっており<sup>5)</sup>、この観点から生わら施用の効果を考える必要があるだろう。

(2) 乾田直播栽培と土壤構造

乾田直播の栽培法は移植のそれとは甚しく異なっており、耕起の時期や程度さらに代かきを行わないなど構造に影響する栽培技術に大きい相違がみられる。そこで乾田直播水田の作土の構造を調査してみた<sup>6)</sup>。移植水田は作土全体が泥状構造であり、亜層の分化にも乏しかったが、直播水田では多くの場合、粒状構造化が進んでいることが特徴であった。作土の団粒分析の成績を表-3に

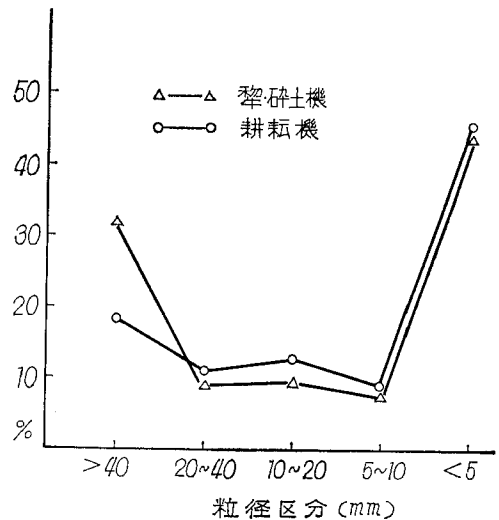


図-2 耕うん法と土塊分布

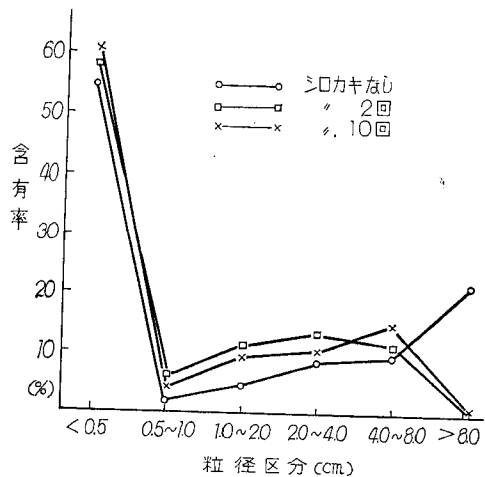


図-3 シロカキと土塊分布

示したが、直播田の作土は移植田のそれに比べて、0.5~0.05mmの団粒部分が多く、土塊および微細粒子が少ない傾向がみられた。このような構造変化を反映して、直播田の作土のEhは移植田よりも約100mV高く、根腐れの発生も少ないようであった。

(3) 耕うん法と構造

耕うんの精粗あるいはシロカキの有無や程度は土壤構造に影響を及ぼす。耕うん法と土壤変化および水稻生育の関係については泉<sup>9)</sup>によって詳細に研究されている。耕うん機はスキ砕土機の耕うんに比べて土壤は細砕される傾向がある。その結果、前者では土壤のEhは低く、窒素の無機化は多くなる特徴をもっていた。この傾向は簡易耕や不耕起栽培においてもみられる。

水田作土を泥状化する最大の要因はシロカキ作業である。シロカキは漏水の防止、田植を容易にすること、肥料の全層混和、雑草の抑制、田面の均平化など多様の意義があるが、土壤構造面からみると、塊状や粒状構造を泥状化する作業であり、その変化の状況を図-3に示した<sup>7)</sup>シロカキの功罪は土壤や気象条件によって異なり、暖地の粘土質の水田では代かきを軽度にする方が水稻生育に対しよいようである。

耕うん法と関連して問題になるのは耕起の時期ひいては乾燥の程度である。表日本では秋耕は土壤の団粒化を助長し、作土の粒状化を促進する。図-4に乾燥による構造の変化を示したが、秋耕をすると、2cm以上の大土塊を減少させ団粒部分が明らかに増大した<sup>9)</sup>。埼玉県下で乾田直播田で秋耕が励行されているのも、かかる構造変化が発芽苗立に好結果をもたらすためである。

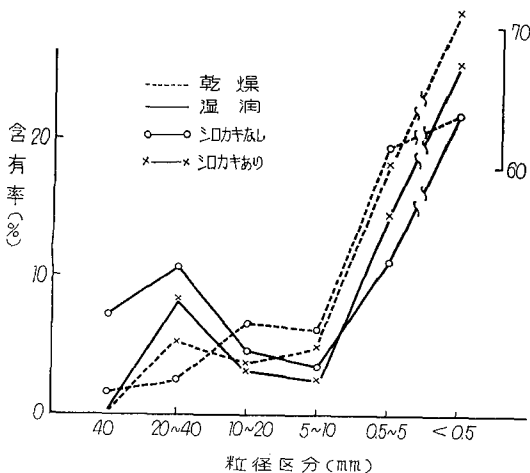


図-4 乾燥・シロカキと土粒分布

(4) 田畑輪換と土壤構造

田畑輪換によって水稻生育がよくなることはよく知られている。上郷<sup>9)</sup>は田畑輪換による土壤変化を詳細に研究し、田畑輪換によって土壤の団粒含量は明らかに増大し、水中沈定容積が低下すること、またこの傾向は短期間の長いほど著しいことを明らかにした(表-4)。そしてこれらの変化が水稻生育を良くする一因をなしているとした。

表-4 田畑輪換による構造の変化

	耐水性 団粒 (%)								水中沈定容積 (cc/10g)
	タン水前 (S.26)				水稻収穫後				
	>20 mesh	20~50	50~150	<150	>20	20~50	50~150	<150	
連年水稻区	3.0	6.4	12.3	78.4	5.2	10.3	17.2	69.4	19.0
隔年輪換A区	5.4	9.6	13.6	71.5	8.6	11.6	17.5	62.4	18.2
〃 B区	7.4	13.4	13.6	65.8	14.0	13.2	18.2	58.5	18.2
三年期輪換A区	12.6	8.3	12.2	67.1	12.4	11.2	16.4	60.2	17.4
〃 B区	6.7	13.0	14.0	66.5	5.9	9.9	16.5	67.7	17.7

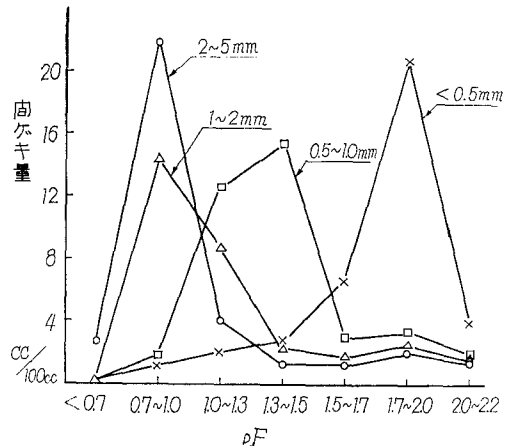


図-5 土粒の粒径と間ゲキ分布 (前田未発表)

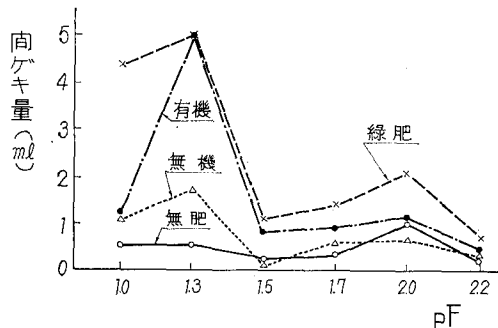


図-6 肥料連用土壤の間ゲキ分布

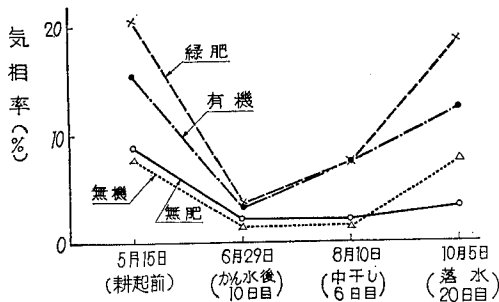


図-8 土壌構造と酸化還元性

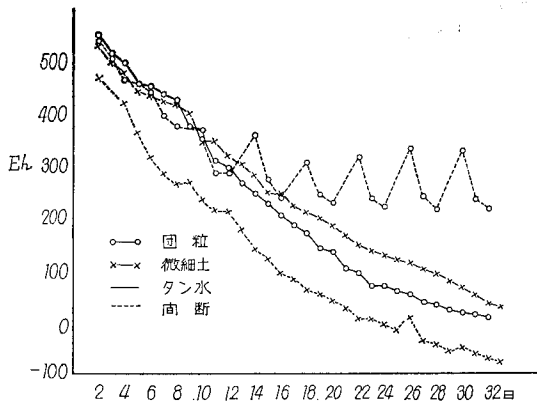


図-7 肥料連用土壌の気相率の変化

### 3. 構造と土壌の理化学性の関係

土壌の構造変化は、土粒子自体の特性と粒子間の間ゲキの特徴の両面を通して土壌の理化学的性質に影響を及ぼしている。

#### (1) 土壌構造と間ゲキ性

各種の粒径の土粒子からできた模型的な構造と孔ゲキ分布の関係を図-5に示した。粒径2~5mmのものはpF0.7~1.0の間ゲキに富んでいるが、粒径0.5mm以下のものではPF1.7~2.0の孔ゲキが多くなっている。壤構造を異にする現実の水田における間ゲキ変化をさきに述べた肥料連用土壌で調査した結果を図-6と図-7に示した。図-6から粒状化の発達した有機連用区ではpF1.0前後の間ゲキが多く、約10%に達している。これらの土壌の栽培期間中の気相変化を追跡した成績によると、粒状構造化したものは、一般に気相含量高く、とくに落水した際8%も空気が浸入していたが、泥状構造のものでは、2%前後の浸入量しかなかった。この事実、落水中干しの効果を考える場合重要な相違をもたらすものと思われる。

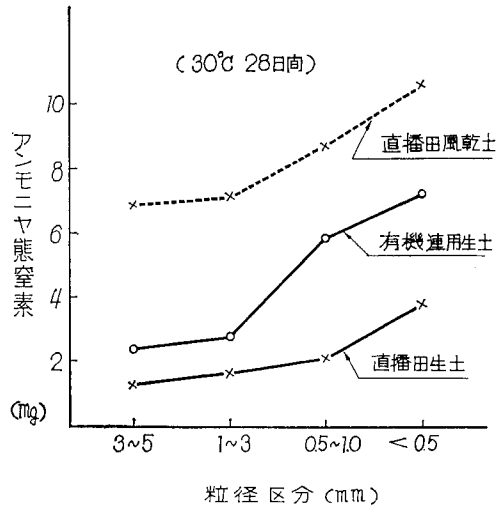


図-9 土粒の粒径と窒素の無機化

#### (2) 土壌構造と Eh 変化

土壌の構造の違いは土粒子内の有機物の分解速度と間ゲキ分布の差を通してEhに反映する。図-8は2~6mmの団粒土と2mm以下の微細土を滲透管につめ、タン水および間断かん水でEhの変化を追跡した成績である。タン水条件下では粒径の違いによってEhには大きい差はみられない。しかしながら、4日間に1日落水した間断かん水条件下では、青峰ら<sup>2)</sup>が指摘したと同様に、団粒土でのEhは、落水とともに上昇し、約250mVを前後していた。一方、微細土では落水によるEhの上昇は全くみられず、むしろ内山<sup>9)</sup>が指摘しているように、排水をすることによって、Ehは低下する傾向が認められた。この事実、構造の粒状化は土壌のEhを高める上の必要条件ではあるが、そのみによっては高まらず、落水そして空気の浸入が必要であることを示しているものと考えられる。

#### (3) 構造と窒素の無機化

土壌構造の変化と関連する土壌の化学性のうち最も重要なものは窒素の無機化であろう。土粒子の大小と土壌窒素の無機化の状態を図-9に示した。土壌の来歴や前処理の如何をとわず、土塊や団粒を細かくするほど窒素の無機化量は多くなり、とくに1mm以下になると急増するようである。この事実は泉<sup>6)</sup>、原田<sup>10)</sup>らの実験成績と同様な傾向である。この実験は一定期間内の無機化量をみたのであるが、無機化の時間的経過は、水稻の生育相などなら推測して、大粒子では後期になって小粒子を凌駕するものと思われるが、なお検討を要する問題である。

さらに粒状化は透水性を高めること、土壌内部で部分

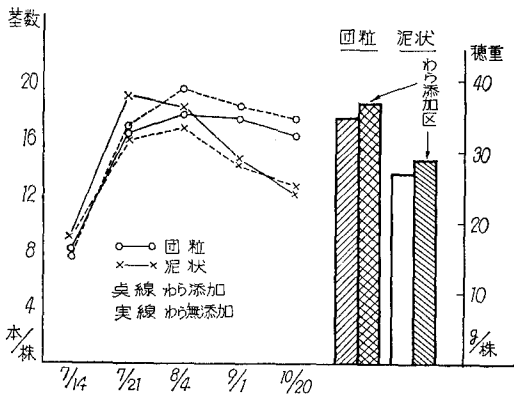


図-10 土壌構造と水稻の生育収量

的に高い Eh 部分が多くなることなどよりして、窒素の溶脱や脱窒を増大させることが推定される。それでこれらのマイナスの要素を施肥法などで補わねば、粒状化は水稻の生育に必ずしもプラスに働くもののみ考えることはできない。

#### 4. 水稻生育と作土の構造

土壌構造と水稻生育の関係についての既述の研究には二つの流れがある。一つは、水田作土の構造は、畑作物と構造の関係と同様に、必ずしも水稻生育に対し好影響を及ぼすはずであるから、これらの関係を直接明らかにしようとする立場のものである。他の一つは、水稻の栽培管理作業のうちある作業が土壌構造に著しい変化を与えているので、この作業の研究の過程において構造と生育の関係をみてきたものである。

第一の観点からの研究には、1948年に藤原<sup>11)</sup>らの研究があり、その後、川口<sup>12)</sup>、久保田<sup>13)</sup>、平野<sup>14)</sup>らも類似の観点から研究を展開した。これらの結果は、団粒土は泥状あるいは微粒土にくらべ、土壌 Eh は高く経過したにもかかわらず、収量的には予想に反して劣る場合が多かった。この理由として団粒土での窒素の動きがマイナスに作用していたことを推測している。クリリウムの出現によって刺げきされて開発された各種土壌改良剤に関する試験成績も大体同様の結果に終わった。われわれも水稻生育と構造の関係を研究してきたが<sup>3)</sup>、図9に示すように、粒状構造化は少肥条件や過度の排水を行なった場合には、泥状土よりも生育が悪い。しかし還元になり易い場合や多肥条件下では粒状構造が泥状よりも高収量をもたらした。また粒状構造は泥状構造に比べて、水稻の初期生育はやや劣るが秋優的生育経過をたどるようである。

栽培作業との関連での研究には代かきの問題がある。

代かきは泥状構造化を促進する<sup>15)</sup>。かかる泥状化は寒冷地での透水性低下にともなう地温の上昇、砂質水田での漏水防止の上からは絶対必要であり、その効果も高い。しかしながら、暖地の肥沃な粘土質水田では代かきを軽くすることが水稻収量に対し好影響を与えている。耕うん法と水稻生育の関係について、泉<sup>16)</sup>は次のように結論している。土壌を細かく耕うんする耕うん機耕は然らざるスキ耕にくらべて土壌からの窒素の放出量は多くなるが、土壌の還元もまた促進される。その結果、耕うん機耕は低温の年や還元化し難い土壌ではスキ耕にくらべて水稻の収量を高めるが、然らざる場合には逆の結果となる。

以上、土壌構造と水稻生育の関係の諸研究を概観したが、これらの研究結果から、作土の粒状化あるいは塊状化は泥状化にくらべて土壌有機物の分解の抑制や落水時の空気浸入量の増大によって、土壌の Eh を高め、根腐れを軽減することは明らかである。しかしながら、かかる根の健全化が必ずしも水稻の増収に直結するとは限らない。粒状化は土壌窒素の放出をおさえ、時には施用窒素の流亡を激化するなど、養分とくに窒素の面でマイナスに作用することが多い。それ故、粒状化にともなう Eh の上昇と窒素の供給を如何にして調和させるかが、粒状構造化を水稻多収に結びつける鍵となるものと考えられ、これを解決する方法として緩効性肥料の活用や窒素の新しい施肥配分などが有効なものと推測される。

乾田直播栽培における作土の構造と苗立ちの関係あるいは大型機械の走行性と構造の問題などについては別の機会に述べることとする。

#### 5. む す び

水田作土の構造は泥状をもって代表されているが、詳細にみると、各種の構造の存在が認められ、これらは栽培管理様式の違いによって容易に変化していく。その結果、土壌の透水性、酸化還元電位、窒素の無機化などに影響を及ぼしている。作土の粒状化が乾田直播の苗立ちやトラクターの走行性などに好影響を与えることはよく知られているが、移植水稻の生育に対しプラスに作用することははっきりしていない。泥状構造が粒状化すると、落水操作を組合せることによって酸化還元電位は安易に高めうる可能性を内在しているが、一方、土壌窒素の無機化の抑制や溶脱の増大などの面でマイナスにも作用する。それでこの矛盾をうまく調和させていくことによりのみ粒状構造条件下の水稻の多収栽培が可能であり、これは今後の研究問題である。

## 参 考 文 献

- 1) 青峰重範：土壤肥料講座2，朝倉書店，(1961)
- 2) 志賀洋郎：青峰重範：土肥誌29，406 (1958)
- 3) 農事試験場環境部土壤肥料研究室：昭和40年度成績書(1966)
- 4) 農林省振興局・青森県農業試験場：水稻に対する有機物施用の効果に関する試験成績(第1報)，(1960)
- 5) 久保田収治：岡山農試臨時報告，59(1961)
- 6) 泉清一：農事試研報，1，(1962)
- 7) 山崎不二夫編：シロカキの研究，金原出版 (1959)
- 8) 農林省農業改良局・山形県農業試験場：田畑輪換に関する研究(第1報)(1955)
- 9) 内山修男・鬼鞍豊・高橋清一・吉田修三：土肥誌27，23 (1956)
- 10) 原田登五郎・林竜三・近本明雄：土肥誌，35，21 (1964)
- 11) 藤原彰夫・前田信寿：土肥誌，19，113 (1948)
- 12) 川口桂三郎・喜田大三：土肥誌，27，229 (1956)
- 13) 平野俊・原楨紀・中野啓三・藤井兵夫：四国農試研報，4，45 (1958)
- 14) 坂上行雄・水沼豊：土肥誌，33，386(1962)