

## 総 説

水稲の無代掻き直播と有機米生産に関する  
栽培技術の検証熊野誠一・黒田俊郎<sup>a)</sup>

(作物機能調節学講座)

Received October 15, 1993

Technical Assessment of Unpuddling Direct Seeding Culture  
and Organic Culture in RiceSeiichi KUMANO and Toshiro KURODA<sup>a)</sup>*(Department of Eco-physiology for Crop Production)*

To assess the unpuddling direct seeding culture (UPDSC) and organic culture (OC) in rice from the view point of crop science, two field experiments were conducted from 1989 to 1993.

Direct seeding culture is categorized into 2 methods according to the land preparation before sowing, i.e., puddling and unpuddling systems. In the UPDSC, the puddling process after irrigation is omitted to lower the production costs. The order of the procedure was as follows: furrowing by rotary tiller — broadcasting of seeds — and irrigation. From the analysis of the yield and yield components, it is suggested that UPDSC was nearly equal to the other direct seeding culture. Further improvements may be needed in choosing suitable varieties, stable weeding, rational fertilizing, and mechanization for the extension of UPDSC.

The OC is watched with keen interest by those who fear deteriorations in foods and ecosystems. The yielding ability of the OC in the experimental plots was significantly lower than that of the control plot. The yields of plots supplemented with chemical fertilizer were equal to that of the control plot. The damage caused by pest and disease in the non-pesticide plots was remarkably slight, but it should be noted that the occurrence of pest and disease varies considerably from year to year. The yield was seriously decreased by weed in the plots to which no herbicide was applied, due to the decrease in the number of panicles. It is suggested that not only input of organic matter to the field but also supplementary applications of chemical fertilizer and pesticide are necessary for high and stable production of OC rice.

## 緒 言

環境保全と地力維持培養を前提とする高品質・多収・安定・低コストは農業生産における時代を超えての要件であるが、これらは互いに概して二律背反の関係にある。したがって4要件を一挙に充足させることには困難を伴うため、それぞれについて研究が進められ、それらの成果をより高い水準で調和させるべく努力を重ね、今日の生産技術が築き上げられてき

a) 農地生産力開発学講座 (Department of Agricultural Technology of Integrated Land Use)

た。この間、時代の要請に応じ、戦後の食糧難時代には多収が重視され、量的充足のつぎには質の向上、さらには世界の農産物自由化の波と農村における労働力事情は、低コスト生産を強く要求するに至っている。また、本年（1993年）の異常気象が大冷害を招くことは確実であり、安定性確保についての反省が求められることは必至である。

一方、農業技術の近代化（特に化学化）は河川湖沼の富栄養化のみならず地下水の汚染をも招来し、地力を劣化し耕地の荒廃現象と生産の持続性維持に問題をおこし、西欧諸国における粗放農業(Extensive Agriculture)、米国では低投入持続型農業(Low Input Sustainable Agriculture—LISA)として具体的な政策が実施されるに至った<sup>12)</sup>。わが国もこれに先だって1971年には有機農業研究会が設立され有機農法が実践され<sup>7)</sup>、農水省においても生態系調和を重視した環境保全型農業対策の実施に至っている<sup>5,35)</sup>。そして、安全な食糧に対する願望は農業はもとより化学肥料をも排斥し、自然物即安全といった誤った風潮をも一部に生じている。

筆者らは、農業生産に対するこれらの背景の下に、低コスト稲作技術の発展方向として1989年から無代掻き直播栽培を生産現場により近い形で実施し、具体的問題点を摘出し、その改善を図ることにより無代掻き直播栽培法として確立したいと考えた。また、有機米生産に関しても、いたずらに無農薬無化学肥料を標榜することなく、あくまで環境汚染を伴わない安全良質な米生産をめざすための科学的栽培法を求めて、これまた1989年から研究に着手した。

いずれも研究途次であるが、全国的に得られている知見を参考に、これまでの結果を整理し、今後の研究展開のための一里塚としたい。

無代掻き直播栽培法の研究実施に当たっては、元岡山大学教授赤松誠一博士の熱心な応援を頂き、1992年には氏の紹介により小橋工業株式会社から作溝作業の協力を頂くことができた。ここに同氏および同社に対し厚く御礼申し上げる。

また、下記の氏名は、試験を分担協力してくれた学生諸君である。ここにその労を心からねぎらうものである。

無代掻き直播栽培：河田光男（1989）、板井 剛（1990）、難波和彦・谷口弘行（1991）、大森芳樹（1990-1991）、石村 亮（1992）

有機米生産：金平啓二（1989）、橋本忠浩（1991）、佐伯直枝（1992）、中野 治（1990-1992）

## I. 水稻の無代掻き直播栽培法

水稻栽培において低コストを指向する場合、まず着目されるのは育苗と移植の資材・作業労力が全く省略できる直播栽培の可能性である。今日、画期的技術ともいえる湛水土壤中直播栽培法<sup>29)</sup>をはじめとして数多くの直播栽培様式が全国的に実施あるいは試行されている。全生育期間にわたって自然環境の直接的な影響を受ける直播栽培では、立地条件が多様であるほどその方式に差異を生ずるのはむしろ当然といえる。

筆者らは、水稻栽培において必須の作業とされる代掻きの効果は、「田面の均平」、「活着の促進」、「保水性の向上」、「基肥の混和」、「雑草種子の埋没と発生の均斉化」および「有機物の分解促進」にあるが、指先での「田植の容易化」こそその最大のものと考えた<sup>17)</sup>。また、代掻きには透水性や通気性の減退、土壤酸化還元電位の低下などの問題があり、出芽阻害、浮き苗の発生、いわゆる転び倒伏を助長するなどのため直播栽培に代掻き作業は不要であろうと考え、まず代掻き作業省略の影響について検討した。

以下、研究の位置づけを明らかにするため直播栽培の現状を概括し、ついで主題の論議に入る。

## 1. 直播栽培の現状

### 1) 直播栽培の変遷

わが国の稲作が今日のように移植栽培にほぼ変わったのは平安末期であり、その最大の理由は雑草対策にあったろうと推察される。近世から現代に至る時代的変遷については三石の「我が国における水稻直播栽培の消長」<sup>29)</sup>の詳細な論述に譲り、ここでは最近20年余りの動向を紹介するにとどめる。1961年農業基本法の制定を契機として稲作大規模化の手段として直播栽培の積極的導入が図られ、研究も盛んに行われた<sup>33)</sup>。その結果、Fig. 1に示されるように、1974年には55,280haに及んだが、ほとんど不可能であるとされていた移植作業の機械化が成功し、1970年頃からの急激な普及に伴って直播栽培は衰退の一途をたどることになった。1992年では7,318haとわが国水稻作付面積の0.3%に過ぎないが、これはひとえに安定性、収量性において移植栽培に及ばないことが主因とされる<sup>14,46)</sup>。

### 2) 各種直播栽培の方式

前述したように、直播栽培においては全生育期間が自然環境下に置かれるため、立地条件に最も適応した栽培法が組み立てられることが要求される。気象と土壌条件はもとより、地域の用水事情、前作との関係などから、大きく乾田直播と湛水直播に分けられ、1992年ではそれぞれ65.6%、34.4%の面積率となっている。なお、この中間に位置づけられる折衷直播栽培法<sup>3,48)</sup>が最近注目されている。この用語はかつて国武らの報告にみられ<sup>21)</sup>、米国カルフォルニア方式と軌を一にし、本報の無代掻き直播栽培もこの分類に属する。

乾田直播栽培は耕起の有無によって2区分され、さらに新しい技術として地下灌漑方式、流体播種方式、ロータリーシーダー改良による方式などに分けられる<sup>49)</sup>。いずれにしろ乾田直播栽培は作業はもとより出芽立毛が降雨に大きく支配されること、乾田期間の雑草対策、湛水後の漏水が著しくない土壌条件であることなどに問題があるとされる。乾田直播栽培は岡山県において最も多く、1992年では4,300haと全国乾田直播面積の89.5%を占める。最近、超低コスト不耕起乾田栽培法の開発に着手し、作業時間10a当たり4.77時間で慣行水準の収量をあげ得たといわれ注目される<sup>15)</sup>。

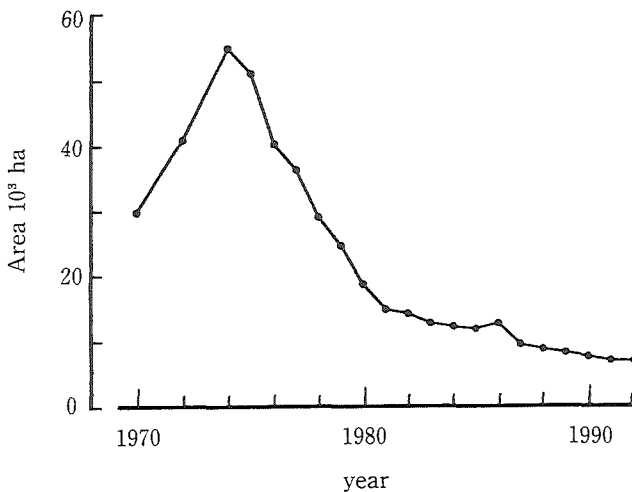


Fig. 1 Changing extent of area of rice crop under direct seeding culture in Japan. From the data of the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.

湛水直播栽培は代掻き後播種され、以後も湛水される方式で、作業が気象に左右されることが少なく、水による保温効果から寒地にも適用できる。しかし、発芽や苗立ちに問題があり、さらには転び倒伏の多発が指摘される。過酸化石灰剤の粉衣種子による湛水土壌中直播栽培法はこれらの問題を一挙に解決し、発芽苗立ちを齊一化し、倒状を少なくし、安定した収量を得る技術として湛水直播面積の92%を占めるに至っている。しかし、種子粉衣にかかわるコストや許容幅の小さい播種深度、そのための綿密な代掻き

作業と田面状態の関係などに不満が残り、技術の改善に一層の努力が重ねられている。粉衣剤の改良に基づくヘリコプター散播, ラジコン散播, 動力散布機散播などはその一環である<sup>43)</sup>。また、溝播き無覆土湛水直播栽培<sup>37)</sup>や代掻き後落水し無粉衣種子を散播する潤土直播栽培も研究の過程にある<sup>4,11,44)</sup>。

折衷直播栽培は、1989年に大日本農会がわが国のみならず、米国、イタリアの直播栽培についても、広くしかも詳細に検討して得られた結果として、湛・乾折衷直播技術の確立を提唱<sup>3)</sup>したことから脚光を浴びたものである。湛・乾両直播栽培法のもつ欠点を回避し、利点を活用しようという提案であり、具体的には無代掻き・散播・湛水（あるいは湛水後散播）の手順となる。この場合、圃場によっては漏水対策が必要であるがその手段にも明るい見通しがあるとしている。すでに農水省農研センターでは「作溝同時播種機による無代かき作溝直播栽培」<sup>43)</sup>として検討がすすめられている。

筆者らは、上述の動向とは全く別個に、無代掻き直播栽培法成立の可能性について検討すべきであると考え、1989年に研究に着手した。したがって、当初は播種面の状態について「畦立て・平畦」と称したが、現在すでに「作溝」の用語が用いられているので混乱を避けて本報告でも「作溝・無作溝」と表現する。

なお、筆者らの無代掻き直播栽培法に関する試験は岡山大学農学部附属農場3号水田（埴壤土）で行われ、特に断わらない限り、供試品種はアキヒカリ、作溝は幅30cm、深さ10cm、播種量4.0-4.5kg/10a、播種後入水である。

## 2. 無代掻き直播栽培における収量および収量構成

素材の技術に入る前に Table 1 により無代掻き直播栽培における収量と収量構成について概観する。1989, 1990の両年には湛水土中直播と対比し、1992年には中苗移植を参考区として設けた。

Table 1 Yield and yield components in the unpuddling direct seeding culture of rice<sup>a)</sup>

Year	Plots			Yield (brown rice) gm <sup>-2</sup>	No. of panicles m <sup>-2</sup>	No. of spike- lets /panicle	Percentage of ripened grain	1000 grain weight g
	Puddling/ Unpuddling	Furrowing/ Unfurrowing	Drilling/ Broadcasting					
1989	Unpuddling	Furrowing	Drilling	495	356	80.6	76.1	22.5
	Unpuddling	Unfurrowing	Drilling	439	318	81.4	77.2	22.5
	Puddling		Drilling <sup>b)</sup>	469	333	75.4	82.1	22.5
1990	Unpuddling	Furrowing	Broadcasting	547	314	89.3	85.9	22.5
	Unpuddling	Unfurrowing	Broadcasting	568	364	75.3	88.6	22.5
	Puddling		Broadcasting	560	363	81.6	78.7	21.6
	Unpuddling	Furrowing	Drilling	565	300	92.7	85.2	22.7
	Unpuddling	Unfurrowing	Drilling	485	313	79.2	86.3	22.5
	Puddling		Drilling	591	373	81.8	80.7	21.6
	Significance <sup>d)</sup>			n. s	*	**	**	**
1992	Unpuddling	Furrowing	Broadcasting <sup>c)</sup>	449	317	75.6	84.2	21.8
	Unpuddling	Unfurrowing	Broadcasting <sup>c)</sup>	428	270	79.8	89.3	21.9
	Unpuddling	Furrowing	Broadcasting	382	218	96.9	81.8	21.0
	Transplanting			451	330	98.8	59.0	20.9
	Significance <sup>d)</sup>			n. s	n. s	**	**	**

a) C. v. Akihikari was used. Irrigation was undertaken immediately after seeding.

b) Seeded in soil at 1 cm depth.

c) Seeding was made after irrigation.

d) \*, \*\* Significant at P<0.05 and P<0.01 level, respectively.

まず、最終目標たる収量をみると、精玄米重は10 a 当たり400kgから500kg台の水準で高いとはいえないが、代掻きの有無、播種様式、入水時期の違いを通じて有意差は認められなかった。1992年には移植水稻並の成績を得ている。このことからみれば無代掻き直播栽培はそれ相応の収量を期待でき、諸作業を省略しただけ低コストにつながるということになる。しかし、有意差がないとはいえ比較区や参考区にやや劣る傾向がうかがわれる。収量構成要素をみると年次と作溝の有無によって画一的ではないが概して穂数が少なく、一穂粒数は多くなり登熟歩合も高いといういわば穂重依存型の収量構成をとった。このことは無代掻き移植栽培の水稻収量構成と軌を一にするものであり<sup>17)</sup>、生育が「後まさり型」<sup>11)</sup>になるという報告とも一致する。基肥の効率、土壌培地における窒素発現の様相とあいまって水稻の苗立ち、初期生育の遅れ、播種深度の違いによる茎数変異などからくる無代掻き栽培特有の生育相といえよう。

一般に直播栽培の普及が進まない理由のひとつとして収量の減少と不安定性が挙げられる。移植栽培を前提として品種育成と栽培法の改善が重ねられた現今の移植水稻に劣ることはむしろ当然であり<sup>28)</sup>。省力低コストとのかねあいのもとにどれだけの減収が許容されるかという発想が必要であろう。この観点に立てば、筆者らの検証試験における収量の動向は無代掻き直播栽培の成立に対し明るい展望をもたらすものと考えられる。

### 3. 無代掻き直播栽培法の素材技術

無代掻き直播栽培法を構成すると考えられる主な素材技術について検討する。

#### 1) 無代掻き土壌条件下における出芽苗立ち

直播栽培においては、湛水・乾田いずれの場合も出芽苗立ちの不安定性が致命的な欠点とされる。前者では低水温や酸素不足による出芽不全と浮き苗問題、後者では降雨に左右される播種時の土壌水分の過不足による播種作業そのものの困難性とこれに付随する播種精度の悪化が問題とされ、古くからいろいろと対策が講じられてきた。湛水土壌中直播栽培におけ

**Table 2** Establishment ratio (%) of seedling in the unpuddling direct seeding culture of rice<sup>a)</sup>

Year	Plots				Remarks			
	Drilling/ Broadcasting	Un- fur- rowing	Fur- rowing	Covering with soil	Sowing date	Min. water tempera- ture <sup>b)</sup>	Mean air tempera- ture <sup>b)</sup>	Days after seeding
1989	Drilling	68.0	70.7	61.7	May 25	15.5	21.1	28
	Drilling <sup>c)</sup>	57.3	65.3	66.7				
1990	Broadcasting	44.7	38.0	65.3	May 25	—	20.8	22
	Drilling	45.7	27.7	49.3				
1991	Drilling	39.0	—	38.3	May 22	21.6	21.1	14
1992	Broadcasting <sup>d)</sup>	31.1	37.5	—	May 21	14.3	17.7	27
	Broadcasting	—	14.8	—				
1993	Broadcasting <sup>c)</sup>	—	71.7	—	May 18	14.0	19.8	16
	Broadcasting	—	58.3	—				

a) C. v. Akihikari was used during 1989-1992 and c. v. Nipponbare in 1993. The experimental plots were the same as shown in Table 1.

b) Mean value over 10 days after seeding (degrees centigrade).

c) Seeds were coated by calcium peroxide.

d) Irrigation was undertaken before seeding.

る過酸化石灰剤の発見は<sup>25,26,27)</sup>土中での出芽を安定させるだけではなく耐倒伏性をももたらすことから高く評価されるものである。ちなみに、過酸化石灰剤の出芽に対する効果は、その発生する酸素が直接種子に作用するのではなく、種子の周囲土壌の還元を防止するものであるという<sup>9)</sup>。ともあれ、出芽苗立ちは出発点であり無代掻き直播栽培の成否にかかわる第一の要件といえよう。Table 2は5年間における直播試験の苗立ち率を示すものである。一見して年次および播種様式による変異の大きいことが認められるので、以下に項を分けて検討する。

①過酸化石灰剤粉衣の効果：1989年の条播条件下での、作溝の有無と土中直播についての調査ではおしなべて60-70%であり、粉衣の効果は認められなかった。無代掻き条件下では種子周囲の土壌還元の進行はなく、ある程度の水の動きもあり、過酸化石灰剤は不要であると考えられ、愛知県でも同様の理由で省力省資材の見地から処理は不必要としている<sup>1)</sup>。しかし、1990年以降の苗立ち率の低さから1993年に再度粉衣を試みたところ無代掻き作溝散播の条件で71.7%と効果が認められた。直播栽培が成立するには安定して70%程度の苗立ち率が要求されると考えられるので、粉衣することが無難であるということになる。ただ、無代掻き直播栽培はあくまで低コストを目指すものであり、無粉衣で好成績を挙げている事例もあるところから、結論を控え、今後の検討にまきたい。

②作溝の有無による相違：作溝はFig. 2に示すように畦を立て、畦の土が自然に崩れて覆土となり倒伏防止の機能を果たすことを期待するものである。いわゆる転び倒伏は直播栽培において稈基部の土中深度が浅くなることにより助長されるもので<sup>16)</sup>、土中播種はもとより培土はこの対策とされる<sup>24)</sup>。無代掻き直播栽培におけるこの様子をFig. 3 (A：機械による1行程での作溝作業、B：播種・入水後の状態、C：苗立ちし、ほとんど溝が埋まった状態)に示した。Table 2によれば、年次により作溝の有無による苗立ち率には相違がみられる。土壌崩落の程度によって出芽にひいては苗立ち率に影響をもたらすものであり、作溝時の土壌水分、碎土の程度、作溝の深さが関係し、水温や気温の影響も考えられる。Fig. 4は土壌の崩落による溝の深さの経時的变化の例である。溝幅(畦幅)30cm、深さ10cmであったが入水後4日以内で一応落ち着くことが示される<sup>22)</sup>。

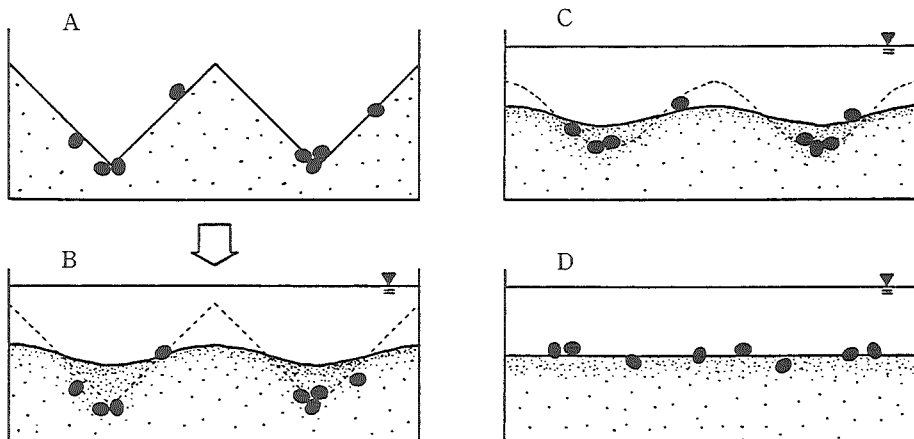
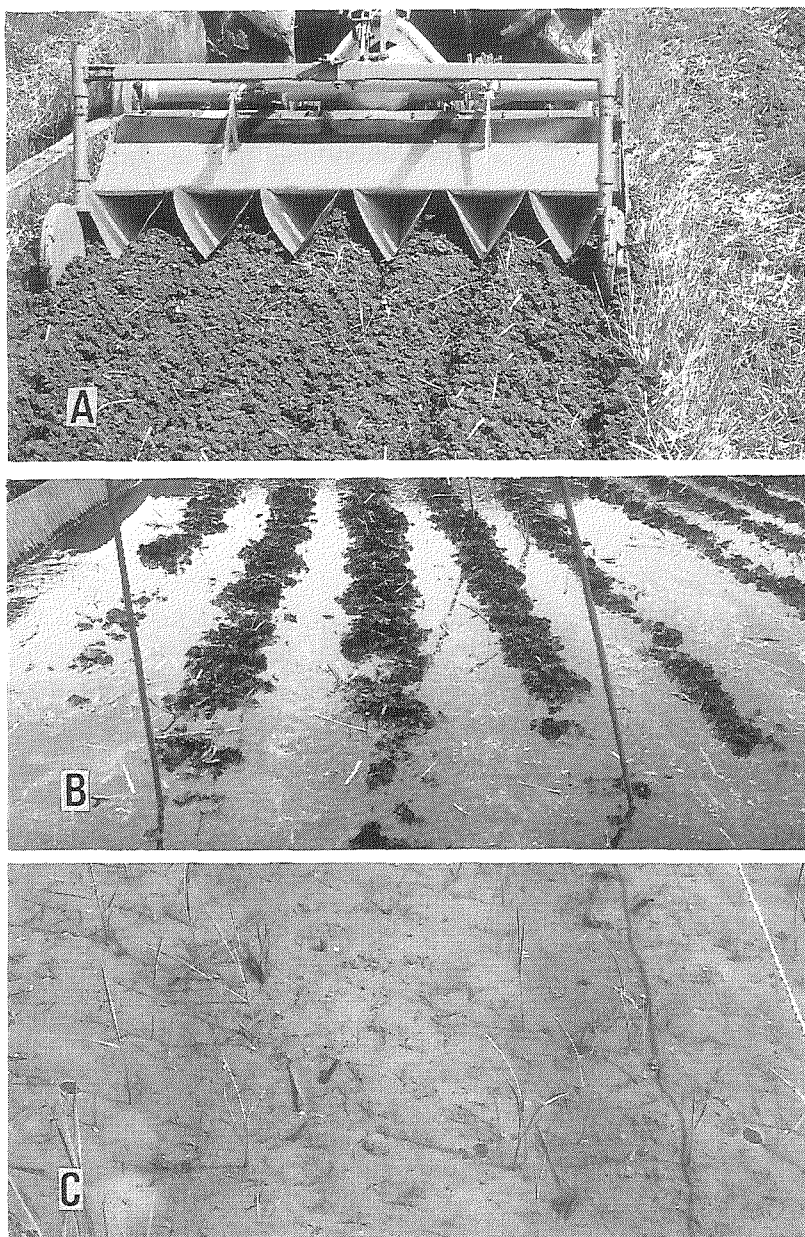


Fig. 2 The soil surface treatments in the unpuddling direct seeding culture of rice.  
 A : Seeds were broadcasted over the furrowed soil surface.  
 B : Ridges were broken down and seeds were covered by soil after irrigation.  
 C : The plot in which seeding was conducted post irrigation.  
 D : The unfurrowed plots.



**Fig. 3** The surface of paddy fields in the unpuddling direct seeding culture of rice.  
 A : Furrowing by the rotary tiller, with 30 cm interrow space.  
 B : Puddling was not undertaken after irrigation.  
 C : Ridges were broken down and the soil surface was smoothed immediately after seeding.

③播種様式・入水方法による相違：1990年に散播が条播に優る成績がみられるが、播種後入水した折、種子が水面に浮上し流れるという予期しない現象が起き、条播においてこれが激しかったことによるものである。調査などで播種作業が長引いたため種粒表面が乾燥し、気泡を付着して浮いたものである。実際には起き難い現象であるが技術として確立させるに

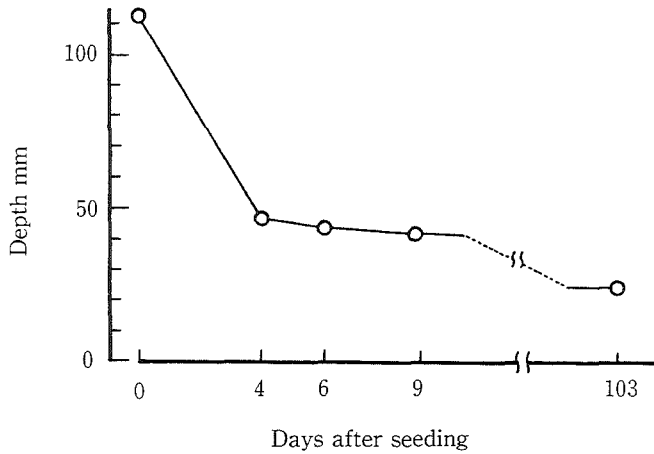


Fig. 4 The change of the furrow depth after irrigation in the unpuddling direct seeding culture of rice.

(1992年)という低い数値がみられたのは、平均気温が例年に比し低く、5月中旬に降ひようがあるなど異常な気象条件に見舞われたこと、加えて、播種後入水のため深度が深くなったことが関連したものであろう。播種後10日間の平均地温が20℃以下では苗立ち率が低下するとの報告もある<sup>34)</sup>。作溝同時播種、ヘリコプターやラジコン播種など作業体系によって入水時期に対する要求が違うので、このことについてはさらに検討を深める必要がある。

## 2) 碎土の程度と生育収量

無代掻き直播栽培では耕起・碎土・整地・作溝が1行程で行われるが、碎土をどの程度にすべきかは基本的な問題である。細かに過ぎれば無代掻きの意味が薄れ、粗きに過ぎれば苗立ちや生育に悪影響をもたらすことが想定される。そこで、1990年にロータリーカルチベーターによる耕起回数により碎土の程度を変え、土塊の重量組成を粗(直径2 cm以下のもの14%)、中(同27%)および精(同35%)の3段階、2区制として無作溝で検討した。

その結果、45日後においても土塊組成の違いが残っていたがその差は微々たるものであった。苗立ち率は粗・中・精の順に55.3・57.7・55.3%で差はなく、初期生育において粗区の草丈が低く推移し、収量構成において一穂粒数がやや低下したほかには特記すべき相違は認められなかった。収量は前記と同順に554・596・548 g/m<sup>2</sup>で中区がやや多かったが有意な差ではなかった。土壌の酸化還元電位(Eh)および全窒素の推移も各区同様であり、極端に粗くない限り問題はないものと考えられた。なお、碎土が粗い場合には浮き苗が少なく、播種深度は確保されるが出芽率が劣るとの報告がある<sup>3)</sup>。

## 3) 播種期と生育収量

播種期については代掻きの有無による相違というよりも、品種の特性によると考えられる。1991年に畦幅30cmの無代掻き作溝条件で品種アキヒカリと日本晴を供試し、5月8日・5月23日・6月12日・7月6日の4期に播種し、生育と収量を検討した。1区面積30m<sup>2</sup>の1区制で隣区からの浸透水を完全に防ぐことができず、精度の高い試験にはならなかったが、一応、苗立ちの状況を記せば次の通りである。

播種後30日間の平均最高水温は、播種の早晚により28.6℃から34.9℃の変異幅(ただし最晩播区は播種後14日間)であり、同じく最低水温は16.5℃から24.6℃であり、出芽・苗立ちは播種が遅れるにつれ向上した。しかし、最晩播区でもアキヒカリ63.0%、日本晴44.0%で

は留意すべきことといえよう。本質的には散播条播による相違は無いと考えられる。

入水を播種の前にするか後にするかは、Fig. 2に図解したように入水による土の崩落から播種深度に差異を生じ、出芽苗立ちにも影響することが認められる<sup>22)</sup>。愛知県では播種後の入水は出芽率の低下を招くが播種深度を深めるので無代掻き直播栽培では播種後入水が適するとしている<sup>3)</sup>。Table

2の中に出芽率14.8%



**Table 3** Effects of sowing rate to growth and yield of the unpuddling direct seeding culture in rice (1990)

Sowing rate gm <sup>-2</sup>	Establishment of seedlings m <sup>-2</sup>	LAI at heading stage m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	Yield (brown rice) gm <sup>-2</sup>	No. of panicles m <sup>-2</sup>	No. of spikelets /panicle	Percentage of ripened grain	1000 grain weight g
2	42.9±13.5a <sup>a1</sup>	3.3	565	290a	97.6a	85.7a	22.1
4	68.8±31.4a	5.0	564	320ab	92.4ab	82.3b	21.6
6	138.1±23.9b	4.0	553	351bc	83.6bc	85.4a	21.8
8	151.8±26.2b	3.5	518	356c	76.3c	87.2a	21.9

a) Values followed by the same letter in a column are not significantly different, according to new multiple range test (P<0.05).

低水準であった。

#### 4) 播種量と生育収量

播種量の多寡は苗立ち数に直接的に関係し、莖数を始め生育全般を変化させ、収量にも当然影響を与える。直播の方式により適正播種量は異なると考えられる。現行の湛水土壤中直播栽培法では乾籾3-5kg/10aで十分な出芽苗立ちを確保できるとき、乾田直播では散播の場合は少なくとも10kg/10a、できれば13-15kg/10aが良いとされた<sup>2)</sup>。ちなみに岡山県立農業試験場の不耕起乾田直播栽培は条播で3.3kg/10aである<sup>15)</sup>。そこで、無代掻き直播栽培での適正播種量を知るために、作溝・条播の条件下において10a当たり2、4、6および8kg(乾籾重量)の4段階について1990年に検討を行った。アキヒカリを供試したので、その播種粒数はm<sup>2</sup>当たり、2kg区では83粒、4kg区で165粒の割合であった。Table 3にその結果を示した。種籾表面の乾燥から入水後に浮いて流れる現象(前述)があり、出芽率は60%にみえず、区間の乱れもあったが苗立ち数には区間の差が明らかであった。収量には有意差が認められなかったが、生育の経過や収量構成からみて4-6kg/10aが適量であると判断された。

#### 5) 播種様式・入水時期と生育

無代掻き直播栽培の収量性については、前項で概観したが、ここではさらに項を分けて若干の検討を行う。まず、作溝については、土壤の崩落による覆土効果により播種深度が確保され、ひいては転び倒伏を防止しようとするものである。そもそも無代掻きとするのは省力はもとより土塊の間に種籾が入り、播種深度を得ようとするものであり、作溝はこの効果を助長するためのものである。最近これをさらに確実にするため培土作業が検討されている<sup>24)</sup>。作溝区は無作溝区に比し穂重依存型の生育相をとることは前述したが(Table 1)、稈基部の土中深度は0.8cmに対し2.8cm(条播)、1.3cmに対し2.2cm(散播)と明らかに深く、この年は両区ともに倒伏がみられなかったとはいえ、耐倒伏性を付与するものといえよう。散播と条播の問題については、前者の稲は短稈穂数型で、上位3葉が短く受光態勢に優れ、短穂ではあるが根量多く登熟が良い<sup>2)</sup>とされる。筆者らも、莖数の推移、穂数、上位3葉の長さ、稈長にこの傾向を認め、散播は条播に比し穂数依存型の収量構成をとることが認められた(1990年)。直播水稻は移植水稻に比し、生育相、収量構成において異なる特性をもつことは当然であり、この特性を活かして栽培法が構成されるべきである。この観点から無代掻き直播栽培も散播を本来のものと考え、省力低コスト化の方向を基軸として栽培ならびに作業体系の改善が行われるべきであろう。入水時期については、播種作業体系により決まるが播種深度の問題を忘れてはならないであろう。

#### 4. 無代掻き直播栽培における土壌環境

代掻きは水稻栽培にとって必須とされてきた。これを省略し、しかも直播を対象とするわ

**Table 4** Water requirement in depth and water temperature in the unpuddling direct seeding culture of rice

Plot	Water requirement in depth mm day <sup>-1</sup>				Water temperature in degrees centigrade			
	1989		1990		1989 <sup>a)</sup>		1991 <sup>b)</sup>	
	Jun. 14	Jul. 30	Jun. 17	Aug. 28	Max.	Min.	Max.	Min.
Unpuddling	11	22	11	21	31.9±3.8	16.3±2.2	31.0±3.5	21.1±1.9
Puddling	8	16	8	17	31.9±3.5	16.8±2.2	32.2±3.7	21.0±1.9
					27.3±3.0 <sup>c)</sup>	14.9±2.8 <sup>c)</sup>	26.9±3.8 <sup>c)</sup>	19.7±2.6 <sup>c)</sup>

a) Mean value over 25 days, 3 days after seeding.

b) Mean value over 38 days, directly after seeding.

c) Atmospheric temperature.

**Table 5** Redox potential (Eh mv) of soil in the unpuddling direct seeding culture of rice (1990)<sup>a)</sup>

	May 28	Jun. 18	Jul. 10	Aug. 3	Aug. 28
Unpuddling	226	20	-48	-44	31
Puddling	98	1	-75	-114	-19

a) Measurements were made at the 2 cm level below soil.

けで、未知のことが山積しているといえる。ここでは土壤環境について若干触れてみたい。

代掻きの意義のひとつに保水性の維持または増強がある。無代掻きによりこれがどれほど損なわれるかは土壤構造、土性、土質などによって異なり、一概にはいえない。筆者らの供試圃場は灰色低地土・埴壤土とされる。湛水中の水田減水深と水温を代掻きの場合と対比して Table 4 に示した。代掻き省略によって減水深は確かに増加したが、むしろ、透水性を付与し、水稻生育にとっては好適とされる数値を示した。水温についても変化はほとんど認められなかった。次に土壤の酸化還元電位 (Eh) の推移を Table 5 によってみると、代掻き省略によって還元化の進行がやや抑制されることが認められた。すなわち、この限りにおいては、当水田は無代掻き直播栽培の成立する可能性が高いと推定された。代掻き省略によって漏水が激しくなる水田ではもちろん対策が必要であり、具体的な方法が論議されている<sup>3)</sup>。しかし、基盤として不適なところに適用を考へることも大切であろうが、まず適地での技術を確認することが肝要であろう。なお、土壤窒素の消長について、代掻きの有無による相違を見いだすことはできなかった。

### 5. 無代掻き直播栽培における雑草・鳥害対策

雑草は直播栽培の普及を阻む最大の要因であるといわれてきた。いうまでもなく直播栽培には雑草対策は不可欠である。幸いにもピラゾレート系をはじめ数種の新除草剤が普及に移され、除草体系として確立されつつある<sup>32)</sup>。当研究においても、これら薬剤を 2-3 回散布し、試験目的を達成するに足る一応の防除は可能であった。すなわち、現行直播栽培における除草体系は、無代掻き直播栽培においても適用可能と考えられる。しかし、環境保全を踏まえ、省力低コストを目指し、今後とも多方面の除草対策が考究されねばならない。鳥害については年次と場所によっては害が多いという。的確な対策がないため、本研究では苗立ちまで防鳥網をかけたが、忌避方法の開発が急がれる。

### 6. 無代掻き直播栽培に対する品種の適応性

直播栽培の普及が進まない大きな理由として、適応性品種のないことが必ず強調される。

低温出芽性、初期伸長性、耐倒伏性、低温登熟性、縞葉枯病抵抗性などが適応性の内容とされるが<sup>3)</sup>、北海道の在来種・古い系統、陸稲に低温出芽性と低温発根性の優れたものが見いだされたとのことであり<sup>34)</sup>、本格的な今後の育種への取り組みが期待される。現在の稲作では良質・良食味が第一の要件とされ、湛水土壤中直播栽培研究会でも都道府県の奨励品種の中から選ぶことを原則としている<sup>45)</sup>。筆者らもアキヒカリ、コシヒカリ、日本晴、アケボノ、朝日（以上は岡山県奨励品種）およびキヌヒカリの6品種について1989年から1991年まで無代掻き直播栽培（無作溝・条播）に対する適応性を知ろうと代掻きとの比較検討を試みた。その結果、出芽性、苗立ち、生育相、収量構成それぞれに年次間差異が大きく、無代掻き直播条件に対する適否を特定することはできなかった。一般移植栽培における特性が無代掻き直播栽培では一層強調される傾向がみられ、アキヒカリ、キヌヒカリ、日本晴は穂数減による収量減少に留意を要するとはいえ短稈で耐倒伏性の利点があり、アケボノ、朝日は収量は安定的であるが耐倒伏性に難がある。コシヒカリではなによりも倒伏が問題と考えられた。

### 7. 無代掻き直播栽培法の展望と課題

わが国農業の基軸はいうまでもなく水田水稲作である。戦後の食糧難をなんとか乗り切ってまもなく供給過剰となって生産調整に入り、量より質への転換ということで今日に至るが、近年、まだ一部ではあるが有機米生産の動きが急であることに注目される。栽培技術もこの間大きな変化をみせ、地力増強、健苗育成、合理的な肥料分施と水管理などを合言葉に多収技術が追究され、深層追肥法、V字稲作栽培法をはじめ各地に多収栽培法が続出した。次いで、量に対する要求の達成と前後して、田植の機械化に成功し、わが国稲作は稚苗・中苗を使い分けての機械移植栽培一色となった。篤農的個別技術から画一的規格技術への転換ともいえる。高度経済生長下において農村の労働力は減退の一途をたどり、栽培技術は一層の省力を目指して機械化、化学化の度を強めるに至った。

1992年6月、農林水産省は「新しい食糧・農業・農村政策の方向」として10年程度後の稲作を中心とする経営を展望し、個別経営体群（効率的規模10-20ha）と多数農家による組織経営体群を想定し、大規模化による一層の低コスト化を求めている。国際的な農産物貿易自由化の動きを背景に、稲作低コスト化はその歩を速めることは必至である。

移植栽培における春作業（種子予措・育苗一切・耕起整地・基肥施肥・田植）に要する23.3時間は、稲作全労働時間55.1時間の42%に当たり（1985年）、直播栽培の省力効果は大きいとの報告があるが<sup>3)</sup>、岡山県の10a当たり5時間は特例としても作業時間や生産費の30-50%の節減は十分可能であることが想定され、これ以上の省力事例の非公式報告も見られる。低コスト化を求めている移植栽培から直播栽培への回帰は必然の方向であると考えられる。最近関心と呼んでいる乳苗移植栽培<sup>31)</sup>は直播の苗立ち不安定性の対応策ともいえ、直播栽培法が確立するまでの過渡的なものと位置づけられる。無代掻き直播栽培はこの中の一場面として実施されるであろうが、その前途は、低コストだけではなく、収量性、安定性において信頼できる栽培法が確立されるか否かにかかっている。なお、直播栽培法には多種多様な方式があることは前述した通りであるが、適用地域の土壌や水利などの立地条件、経営様式に応じて最適の方式が選ばれるよう、技術メニューは多いほうが良く、適用条件が明示されるべきであろう。このためには十分な検討を必要とし、無代掻き直播栽培法が新しい技術として確立されるにはまだまだ道は遠いといわざるを得ない。検討が急がれる栽培技術の立場からの課題を以下に列挙する。

①品種の適応性の解明と育種：良食味にこだわらず幅広い用途を対象とする。前項に述べた特性が望まれる。②苗立ち率関係要因の解析と安定向上対策の確定：種籾の生理と環境の関係。③無代掻き直播栽培法成立条件の整理：各種の気象・土壌（特に保水性）条件におけ

る適用可能幅の確認。④施肥法の検討：肥料流亡，土壤窒素発現の様相，肥料の種類と簡易施肥法。⑤水管理法の検討：節水効果，深水による生育調整。⑥雑草・鳥害の防除対策：保水性との関係，除草剤の水口施用，同じく局所施用，鳥害忌避方法の開発。⑦播種適期幅の確定：前作との関係から特に晩限。

## II. 有機米生産に関する栽培技術

「有機農業」という表現が初めて用いられたのは1971年である。この年，日本有機農業研究会が発足し有機農業生産者と消費者グループとをつなぐ広範な横断的結合が生まれた。現在，有機農業は市民権を確立したかにみえるが，荷見<sup>8)</sup>が述べるように「有機農法が完全に支配的な地位を確立したわけではない。(中略)有機農業袋叩きの構図は，依然として水面下に厳存している」とみるべきかもしれない。

完全無農薬によって発生する病虫害・雑草の発生，またそれらから生じる収量低下のリスクは極めて大きいといわざるをえない。一方，米に対する農薬や化学肥料の大量使用がもたらす影響について，安全性はもとより品質や食味の低下が懸念されるような状況にあることも確かである<sup>4)</sup>。化学肥料・農薬の大量使用によって生じる環境汚染が深刻であることもまた現実の問題である。

現在，EC 諸国では粗放農業，アメリカでは持続的農業という形で，農法転換の大きなうねりがみられる<sup>5,12)</sup>。持続的農業とは，「資源の再生産と再利用を可能にし，農薬・化学肥料の投入量を必要最小限に抑えることによって，地域資源と環境を保全しつつ一定の生産力と収益性を確保し，しかもより安全な食糧生産に寄与しようとする農法の体系」と定義される<sup>12)</sup>。

全米研究協議会レポート<sup>53)</sup>は農業および環境政策に対し，次のように代替農業の重要性を勧告した。「代替農業の技術を研究し，開発し，促進するための研究と普及に必要な計画資金は不十分である。多くの代替農業技術によって可能となる，生産性向上の利益を農民が十分に享受できるようにするためには，連邦政府の農業は再構築されねばならない。このような農業技術のなかにはマメ科植物やそれ以外の作物を用いる輪作の広範な適用，改良品種，総合防除，疾病抵抗性家畜，農業機械の改良，農外投入資材や化学物質の使用を減らした低コスト管理戦略，その他多くの代替的技術と営農管理体系などが含まれる。」

日本の水田農業においても，環境保全と消費者ニーズに対応するために，化学肥料や農薬の投入量を可能なかぎり減らしていくという意味での「粗放型農業」へのシステム変換をはかるべきであるという考え<sup>12)</sup>も説得力を持つ状況である。このような動向を踏まえ，農水省は有機農業対策室を設け，さらに環境保全型農業対策室へと発展させ，幅広い調査と対策に当たっており，地方自治体の有機農業への対応もとみに活発化している。

一方，有機農業や生態系農業の思想は理解できるとしながらも，「科学的根拠に乏しい一部の風潮に流されてはいないだろうか」との意見<sup>50)</sup>もみられる。

自然農法の調査研究としては，片野<sup>13)</sup>は自然農法とは，化学肥料，殺虫剤，殺菌剤，除草剤，植物生長調節剤など，人体や家畜に有害なものや環境を汚染したり生態系を攪乱したりする恐れのある人工合成化学物質（ケミカルズ）を一切使用しない農法であるとし，自然農法で栽培された稲体の作物学的解析を長期間にわたり行っている。

### 1. 有機米の栽培試験

栽培試験は1989年に着手した<sup>18)</sup>。岡山大学農学部附属農場横尾東水田（埴壤土）において，水稻品種「日本晴」を用いて機械移植（18.2株/m<sup>2</sup>，6月20日）とした。試験区は1区1aとし，Table 6に示したように，施肥・病虫害防除・雑草防除対策の違いによる6区を設定した。肥料は全区とも窒素（N）成分量を12kg/10aに統一したが，用いた有機質肥料の種類が

**Table 6** Experimental design of the organic cultured rice in 1989

		Plots	Fertilizer (kg/10a)			
	Pesticide	Fertilizer	Rapeseed meal	Dried chicken droppings	Processed organic	Chemical
I	Non	Organic	110	130	—	—
II	Reduced <sup>a)</sup>	Organic	110	130	—	—
III	Reduced <sup>a)</sup>	Processed organic	47	54	132	—
IV	Reduced <sup>a)</sup>	Reduced chemical	47	54	—	50
V	Reduced <sup>a)</sup>	Organic & chemical	51	57	51	28
VI	Applied <sup>b)</sup>	Chemical	—	—	—	86

a) Single application of herbicide and pesticide.

b) Single application of herbicide and three of pesticide.

**Table 7** Experimental design and fertilizing materials of organic cultured rice in 1990-1992

Plot No.	Pesticide	Fertilizer				
		Top		Basal	Materials of basal fertilizer	
1	Non	[N] Organic <sup>a)</sup>	[O] Organic	[A] Barnyard manure [BM]		
2	Non	[N] Organic	[O] Organic	[B] [BM], Fermented chicken droppings [CD]		
3	Non	[N] Organic	[O] Organic	[C] [BM], [CD], Rice straw		
4	Reduced <sup>b)</sup>	[R] Org., chemical	[OC] Organic	[A] Barnyard manure [BM]		
5	Reduced	[R] Org., chemical	[OC] Organic	[B] [BM], Fermented chicken droppings [CD]		
6	Reduced	[R] Org., chemical	[OC] Organic	[C] [BM], [CD], Rice straw		
7	Applied <sup>c)</sup>	[A] Chemical	[Ch] Organic	[A] Barnyard manure [BM]		
8	Applied	[A] Chemical	[Ch] Organic	[B] [BM], Fermented chicken droppings [CD]		
9	Applied	[A] Chemical	[Ch] Organic	[C] [BM], [CD], Rice straw		
10	Applied	[A] Chemical	[Ch] Chemical	[Ch] —		

a) Rapeseed meal.

b) Single applications of herbicide and pesticide. In 1992, pesticide was not applied due to negligible infection.

c) Single application of herbicide and double applications of pesticide. In 1992, single pesticide was applied due to negligible infection.

異なるため、リン酸 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、カリ (K<sub>2</sub>O) の施用量には区間に差異を生じた。5 kgN/10 a を基肥とし、7 kgN/10 a を追肥として分施した。化学肥料としては磷加安44号、有機質肥料としては菜種油粕、乾燥鶏ふんのほかに、植物性有機物をペレット状に加工した有機加工品を使用した。

1990年以降は附属農場3号水田(埴壤土)を用い、試験区としては、基肥系列3水準に追肥・農薬系列3水準を組み合わせ、慣行栽培に準じて化学肥料と農薬を施用する対照区を加えて10区を設定した(Table 7)。供試品種は「日本晴」で、1990年は6月15日(20.3株/m<sup>2</sup>)、1991年は6月14日(18.9株/m<sup>2</sup>)、1992年は6月15日(18.9株/m<sup>2</sup>)にそれぞれ機械移植を行った。試験区は1区1aとし、施肥量は全区とも11kgN/10aとなるように調整し、5 kgN/10 a を基肥として追肥は3回に分施した。使用した有機質肥料によってP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>とK<sub>2</sub>Oの施用量に区間差を生じたのは1989年と同様である。化学肥料としては磷加安44号、有機質肥料としては完熟堆肥、発酵鶏ふん、生糞および菜種油粕を使用した。なお、減農薬系列区の1991年および1992年は処理条件をやや異にして追肥効果の試験に供し、別途報告<sup>30)</sup>したので、本稿では除外した。

## 2. 有機米生産における生育と収量

1989年の生育概況をみると、草丈は有機質肥料区のI, II区で低く、茎数は有機加工品区のIII区が少なく推移した。分けつ旺盛であったのは総合区のV区、慣行技術区のVI区であった。また出穂期もこのV, VI区が他区に比して2-3日早く、生育が促進される傾向がみられた。収穫期の生葉数は有機加工品を用いたIII, V区と追肥に化学肥料を用いたIV区において多く、他の各区とは有意な差異が認められた。

Table 8に収量及び収量構成要素を示したが、穂数、千粒重には5%水準で、また、精玄米重、登熟歩合には10%水準で有意差が認められた。精玄米重は有機質肥料のみを用いたI, II, III区より化学肥料を用いたIV, V, VI区で高い傾向が認められた。精玄米重は穂数、 $m^2$ 当たりの籾数と有意な正の相関関係が認められ、本試験では穂数と籾数が収量を決定する第一義的な要因となった。したがって、分けつ期、有効茎決定期および幼穂形成期における化学肥料が速効的な効果を示したものと考えられる。

さらに区別に検討すると、I区の収量減は一穂粒数、登熟歩合、千粒重がそれぞれ低いことによるものである。II区は穂数が少なく十分な籾数は確保できなかったが登熟歩合は高かった。III区はII区と類似の傾向を示したが、追肥に有機加工品を使用したIII区の収量は、堆厩肥を用いたII区に比べ収量はむしろ減少しており、菜種粕、乾燥鶏ふんの素材に比べて肥

**Table 8** Yield and yield components of organic cultured rice in 1989

Plots		Yield (brown rice) $gm^{-2}$	No. of panicles $m^{-2}$	No. of spike- lets $m^{-2}$	No. of spike- lets /panicle	Percentage of ripened grain	1000 grain weight g
Pesticide	Fertilizer						
I	Non Organic	470	258	23.8	92.2	74.2	23.3
II	Reduced Organic	496	241	22.8	94.6	80.7	23.8
III	Reduced Processed organic	491	235	23.0	98.0	79.1	23.9
IV	Reduced Reduced chemical	530	263	25.7	97.5	80.0	23.8
V	Reduced Organic, chemical	550	268	26.0	96.8	79.0	24.0
VI	Applied Chemical	565	273	25.6	94.0	82.6	24.0

**Table 9** Yield and yield components of organic cultured rice in 1990

Plot	Yield (brown rice) $gm^{-2}$	No. of panicles $m^{-2}$	No. of spikelets /panicle	Percentage of ripened grain	1000 grain weight g
1 [N O A]	332	210	84.4	85.3	21.8
2 [N O B]	367	251	78.8	80.3	21.9
3 [N O C]	388	279	79.6	75.7	21.9
4 [R OC A]	518	312	80.4	91.0	22.6
5 [R OC B]	540	316	83.1	90.7	22.5
6 [R OC C]	518	308	84.2	87.7	22.3
7 [A Ch A]	507	309	84.1	86.3	22.3
8 [A Ch B]	559	343	84.0	84.3	22.1
9 [A Ch C]	513	327	86.2	78.3	21.9
10 [A Ch Ch]	565	345	84.8	84.0	22.3

効面において優れているとは認められなかった。Ⅳ区は追肥に化学肥料を用いたが、その速効性が登熟歩合の向上に影響を及ぼしたものと思われる。Ⅳ、Ⅴ区は有機質肥料を中心に化学肥料を補完的に用いており比較的高い収量を示した。Ⅴ区の収量構成要素をみると登熟歩合は若干低かったものの穂数、籾数は高く、特に籾数は他区に比し最も高い値を示した。Ⅵ区は一穂粒数は低かったが、穂数と登熟歩合が高く収量に大きく貢献した。その結果収量は有機質肥料のみを用いた区より多く、特にⅤ区は化学肥料のみを用いたⅥ区と同等の収量が得られた。

1990年の収量および収量構成要素を Table 9 によってみると、まず収量については1989年の場合とほぼ同様で、無農薬・有機質肥料区はかなりの減収がみられたのに対し、減農薬・化学肥料補完系列では減収の程度は小さく、慣行技術区に匹敵する収量を得た区（8区）もあった。収量構成要素の中でその減収の主因となったのは穂数であり、生育前期における過小な栄養生長が有機米生産の低収要因となりやすいことが明らかであった。

1991年の収量（Table 10）は全般に低収であったが、やはり慣行技術区に比べ無農薬・有機肥料追肥系列における穂数の減少が認められた。一方、登熟歩合・千粒重は無農薬・有機肥料追肥系列で同等か、あるいは微増した区もあった。有機米生産においては穂数と一穂粒数によるシンク量の確保が不十分とならざるをえない場合が多いと思われるが、本試験でも有機米生産におけるシンク拡大の重要性を示唆する結果となった。

Table 10 Yield and yield components of organic cultured rice in 1991

Plot	Yield (brown rice) gm <sup>-2</sup>	No. of panicles m <sup>-2</sup>	No. of spikelets /panicle	Percentage of ripened grain	1000 grain weight g
1 [N O A]	292	224	69	83	21.0
2 [N O B]	249	203	66	82	21.3
3 [N O C]	400	302	70	85	20.8
7 [A Ch A]	430	285	75	89	21.4
8 [A Ch B]	418	301	73	86	21.0
9 [A Ch C]	413	306	75	82	20.5
10 [A Ch Ch]	430	327	73	80	20.3

Table 11 Yield and yield components of organic cultured rice in 1992

Plot	Yield (brown rice) gm <sup>-2</sup>	No. of panicles m <sup>-2</sup>	No. of spikelets /panicle	Percentage of ripened grain	1000 grain weight g
1 [N O A]	382	209	80	90	23.8
2 [N O B]	498	270	81	90	23.9
3 [N O C]	464	267	80	86	24.2
7 [A Ch A]	571	336	84	83	23.0
8 [A Ch B]	528	311	87	81	23.2
9 [A Ch C]	594	335	89	85	23.0
10 [A Ch Ch]	541	317	81	87	23.2

1992年の収量調査結果 (Table 11) も無農薬・有機肥料追肥系列での穂数および一穂粒数が慣行技術区に比べ低い値を示した。また、これらの区における登熟歩合の増加と千粒重の維持も同時に認められ、シンク量の低下に伴うシンクの充実が顕著であった。すなわち、面積当たり収量の減少と引き換えに高品質化に結びつく登熟歩合と千粒重の向上を獲得した収量成立といえよう。一方、有農薬・化学肥料補完区における穂数と一穂粒数の増加あるいは維持が注目された。シンク量が確保されながら登熟歩合と千粒重が低下せず、慣行技術区の収量に匹敵する収量性を示した。

4年間を通じ有機米生産における穂数低下の傾向を認めたが、有効茎歩合について1990年を例に検討してみると、有効茎歩合は慣行技術区が85%であったのに対し、無農薬・有機肥料系列の平均では80%、減農薬・化学肥料補完区で88%、有農薬・化学肥料追肥区系列で86%となり、化学肥料追肥補完系列で向上が認められた。この傾向は年次を異にしても認められ、有機米生産において無効茎を抑制する対策の可能性を示すものといえよう。

無施肥水田における水稻の生育、収量の解析から無施肥によって草丈・茎数の減少をきたし<sup>47)</sup>、無施肥田では穂重型品種の収量性が高い<sup>38)</sup>と報じられているが、地力に依存する有機米生産にとっても、穂数確保を容易にする肥培管理と品種選択が重要といえよう。

生育収量の経年変化を考察するには4年間の結果では不十分ではあるが、少なくとも経年の減収はいまのところない。自然農法水田では収量の経年変化は、実施年数が経過した田ほど増収していたと報告されており<sup>13)</sup>、山田<sup>52)</sup>はタマネギとキャベツなどにおける9年間の有機農業の技術的評価において、冬作の収量は各作とも化学肥料・牛ふん堆肥加用区が化学肥料単用区と同等か、それ以上であり、菜種油粕単用区の収量では、1作目のキャベツは化学肥料単用区の50%程度にとどまったが、レタス、タマネギではほぼ化学肥料単用区と同等の収量が得られたと報じている。また夏作キャベツでは各作とも化学肥料・牛ふん堆肥加用区が化学肥料単用区と同等かそれ以上であったとした。いずれも短期間の有機物投入だけでは収量の維持が困難であることを示している。

地力に依存する有機米生産では有機物の投入が地力向上に積極的に作用することは間違いなく、また有機米生産でなくとも地力向上が多収と安定化に不可欠であり、長期的な生産性と安定化を確保するうえで有機米生産が今後の稲作技術の発展方向を示唆しているといえよう。同時に地力のみには依存することの限界も同時に認識する必要がある。

### 3. 有機米生産における病虫害

1989年の試験においては生育に大きな影響をおよぼすほどの病虫害と雑草害は認められず無農薬条件下でも著しい減収を招くことはなかった。1989年は、例年に比しウンカ類、コブノメイガ等の飛来は少なく被害が小さかった年とされ、イモチ病、モンガレ病などの病害については平年並の発生とされる。当年の試験においては全般的に病虫害の発生は異常といえるほど少なかった。一応、発生が散見されたコブノメイガ、イネツトムシおよびイモチ病、モンガレ病について調査を行った。コブノメイガの被害は、出穂期の植物体Nの含有量が高い区ほど害が大きく、防除を行ったVI区をはじめとして薬剤散布の効果は認められなかった。イネツトムシは各区に若干の発生があったが区間に差異は認められなかった。

イモチ病については2回防除を行ったVI区が他の区に比して罹病株が少なく、農薬散布の効果があったことを示している。しかし1回のみ防除を行った区と防除を行わなかった区とでは罹病程度に差はなく、むしろ防除を行ったIII、IV区で罹病株が増加しており1回のみ散布では防除の効果はなかったといえる。モンガレ病についてもほぼ同様の結果であった。

1990年-1992年のモンガレ病とイモチ病の罹病程度について Table 12に示した。無農薬系列と減農薬系列においても収量と品質に影響をもたらすほどの発生は認められず、むしろ慣



**Table 12** Infection degree<sup>a)</sup> of sheath blight and blast in organic cultured rice

Plot	Sheath blight			Blast <sup>b)</sup>		
	1990	1991	1992	1990	1991	1992
1 [N O A]	27	7	0	0	0	0
2 [N O B]	0	47	0	0	0	13
3 [N O C]	7	33	4	0	0	4
4 [R OC A]	13	—	—	0	—	—
5 [R OC B]	7	—	—	7	—	—
6 [R OC C]	20	—	—	7	—	—
7 [A Ch A]	23	53	0	0	3	7
8 [A Ch B]	20	53	0	10	0	3
9 [A Ch C]	33	57	3	0	0	7
10 [A Ch Ch]	7	60	0	0	3	10

a) Percentage of infected hills at the end of September.

b) Hills with two infected leaves were determined.

**Table 13** Population density<sup>a)</sup> of brown planthopper in organic cultured rice

Plot <sup>b)</sup>	1990		1991	
	Larvae	Adults	Larvae	Adults
1 [N O A]	54.5	1.4	525.1	3.0
2 [N O B]	153.9	16.1	259.8	2.8
3 [N O C]	146.7	19.4	290.1	3.2
4 [R OC A]	8.7	1.5	—	—
5 [R OC B]	6.6	0.3	—	—
6 [R OC C]	8.4	1.2	—	—
7 [A Ch A]	3.6	0.3	—	—
8 [A Ch B]	9.1	0.4	28.9	0.0
9 [A Ch C]	6.6	0.5	—	—
10 [A Ch Ch]	3.3	0.3	11.3	0.0

a) Numbers per hill.

b) Plots No. 4, 5, 6, 7, and 9 were omitted in 1991.

行技術区と化学肥料追肥区系列において発生が増加する場合のあったことが注目される。地方の高い条件下での作物栽培が病害の発生を抑制する場合の多いことは一般的に認められているところであり、畑作物でも、山田<sup>52)</sup>はキャベツ・タマネギなどの長期間の試験において、肥料の種類と無農薬との関連につき有機質肥料では無農薬による収量低下が化学肥料の場合に比較し軽微であったと報じている。

有機米生産による病害の減少あるいは使用薬剤量削減の可能性は十分にあるものと思われるが、本試験の化学肥料追肥区系列でのモンガレ病罹病率の増大からうかがわれるように、生育状況を考慮しない無農薬栽培は危険が大きいことはいままでもない。また気象条件によってはイモチ病が激発する危険はなお大きいといわざるを得ない。

Table 14 Influence of weed on the yield of organic cultured rice in 1992

Plots	Dry weight of weed <sup>b)</sup> gm <sup>-2</sup>	LAI of rice <sup>a)</sup> m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	Yield (brown rice) gm <sup>-2</sup>	No. of panicles m <sup>-2</sup>	No. of spike-lets /panicle	Percentage of ripened grain	1000 grain weight g
Weeding perfectly <sup>b)</sup>	—	4.10	510	291	82	88	23.9
Single weeding <sup>c)</sup>	42.2	3.85	463	258	84	88	23.0
Non weeding	234.5	2.39	378	209	80	90	23.8

a) Heading stage of rice.

b) Weeding by hands.

c) At the neck node differentiation stage of rice.

つぎに、1990年と1991年実験における害虫発生、特にトビイロウンカについて検討すると (Table 13)、両年とも農薬散布によってトビイロウンカの発生は大幅に減少した。トビイロウンカによる坪枯れ症状の発生は有・減農薬系列区では皆無であったが、1990年の無農薬系列区ではいずれも発生し、1区内の坪枯れ面積が50m<sup>2</sup>を越える区もあった。ただし、収穫期直前であったため収量・品質への影響はさほど大きくはなかった。供試した品種日本晴は当地では生育期間が比較的短い品種に属し、このことが直接的被害を回避する結果となったといえる。必要以上の農薬散布に対し、食糧の安全確保と環境悪化の防止そしてなにより農作業の安全性確保の視点から、減農薬栽培が提唱されている<sup>51)</sup>。また、日鷹<sup>9)</sup>は自然農法田において、その無防除年数を重ねるごとにウンカの天敵ウンカシヘンチュウの土壤中での生息密度が回復し、ウンカ個体群に対する影響も大きくなることを示した。適期防除の徹底と殺虫剤使用量の削減方策を確立することが重要と思われる。

#### 4. 有機米生産における雑草

1989年試験では雑草については、除草剤の無散布区においても生育・収量に影響をおよぼすほどの発生は見られなかった。ヒエは除草剤を散布しなかったI区において明らかに多く、散布した他の区においてはほとんど、あるいは全く観察されなかった。コナギについても同様であった。しかし除草剤を散布しなかったI区においても手取り除草を必要とするほどの雑草は発生しなかった。これは前作までの徹底した雑草防除により雑草の発生源が少なかったことが一因であろう。

1992年試験では無除草剤区内に除草程度を異にする試験区を設定し、雑草が水稻の生育収量に及ぼす影響を検討を加えた (Table 14)。手取り除草を行った完全除草区に対し、無除草区では雑草乾物重が著しく増加して水稻のLAIを低下させ、収量構成要素のうち特に穂数の減少によって、収量が26%低下した。また水稻の穂首分化期に1回の手取り除草を行った区では雑草量がある程度抑制でき、10%の減収にとどまった。除草剤を用いず、また物理的除草を行わなければ極端な減収を招くことは明らかで、場合によっては次年度以降の作付に著しい障害をもたらすことにもなりかねない。生態系利用による雑草防除<sup>42)</sup>も当然考慮されねばならないが、その具体策の確立には問題点が多い。機械的防除やマルチ栽培などについても、低コスト化を念頭に置いての技術開発が望まれる。

#### 5. 有機米栽培の生態的条件

1989年試験成績は「有機米」生産初年度のものであるが、生育・収量には試験区間に大きな差異がみられた。1989年は病虫害、雑草ともに少なく、収量は主に施肥処理に支配されることとなった。無農薬で有機質肥料のみによる、いわば完全有機米生産に相当する区の玄米収量は慣行技術区の17%減にとどまったが、1990年には、トビイロウンカと雑草の害、さらには有機物施用によるN肥効の発現の問題も加わって玄米で40%を越える減収となり、1991

年以降もほぼ30%の減収となった。反面、有機質肥料を中心に化学肥料を補完的に用いた区では、1989年では慣行技術区に匹敵する収量であり、1990年でも10%以内の減収にとどまり、また1991年では慣行技術区に匹敵する収量、1992年ではそれ以上の収量を示した。したがって、有機質肥料を主軸に地力の培養を計りつつ、収量構成要素を決定づける有効茎決定期、幼穂形成期、登熟期といった生育の節目においては、生育状況に応じて化学肥料の速効性を利用して、収量の安定向上を期することが、当面の技術改善方向と考えられる。さらに将来的には、化学肥料に代替し得る有機質速効性肥料の施用法の開発が望まれる。

有機農業は有機物による地力向上に期待するところから、年度を経るにつれ収量が増加するといわれる。本試験においても、有機物の継続的な施用効果について、土壌の理化学的特性の変化、これに伴う生育反応について検討を深める必要があると思われる。

有機米生産では、有機物が無機化される過程において、有機物の種類により、土壌の酸化還元電位 (Eh)、三相分布および N 含有率に処理の差が生じることを期待したが、実験開始当初では相違は認められなかった。しかし今後とも経年的な検討を要すると考えられる。

有機米生産にかかわる土壌条件につき言及した 2、3 の報告を挙げれば、熊沢<sup>19,20)</sup>は「土壌の生物性の欠陥を早急に克服しなければならず、そのためには農業施用、化学肥料の多施用が是正され、田畑輪換、適当な輪作体系の樹立、飼料自給や耕種作物経営、野菜栽培等と結合した畜産経営などが求められなければならない。必要な農政の転換もなされなければならないであろう」とした。津野<sup>49)</sup>は自然農法水田から採取した土壌で稲幼植物を育てその乾物量をもって基礎地力とし、これがイネの収量と正の相関関係を示したことを報じ、さらにこの基礎地力が対立する因子すなわち土壌中の C と N で説明できることから、未熟有機物の利用法として温水堆肥を考案した。

大久保<sup>30)</sup>は、自然調和型農業を行うには、第 1 に有機物含有量が多く、土壌養分が有効化しやすい土壌を造成すること、第 2 に根系発達を促進される土壌環境をつくること、第 3 に土壌伝染性病害虫の少ない土壌条件にすること、第 4 に投入有機物は耕地内で生産すること、などが準備されねばならないとした。

病虫害、雑草害については、試験実施の開始年と以後とで、また年次ごとにより異なった様相を示した。農業に依存し過ぎる今日の農業技術を見直し、使用量を減らすという方向は正しいが、岡山地域における夏作は、高温多湿条件で行われるため、完全無農薬のリスクは大きい、病虫害の発生予察情報に留意し、適期に適剤を使用し、被害を最小限に抑えるべきであるが、この際も使用量を極力減ずる工夫が必要となる。環境保全や食糧の安全性はもとより、経済性<sup>35)</sup>をも含め「有機米」生産の確立にはなお究明すべき多くの問題が残されている。

## 6. 有機米生産の展望と課題

有機米生産の主な背景としてつぎの 4 点をまず指摘したい。食糧の安全性に対する不安、地力減退と環境悪化に対する懸念、高級（良食味）指向、および生産農家の労働安全の問題である。

第 1 の食糧の安全性については、無農薬、無化学肥料が理想であるとしても、生産性と安定性、低コストを無視することになる。現在の農業技術への警鐘とはなりえても、現実的な問題解決には結びつかない。可能な限り安全な農薬を開発し、可能な限り使用量を減少させることが、今後の方向であると考えられるが、それにしても、安全性の限界をどこに求めるかが、基本的な要件といえよう。

第 2 に、地力減退と環境悪化に対する懸念は、化学肥料への過度の依存がもたらす土壌腐植の減少、土壌三相分布の劣化、微生物相の変化などを通じての、生産力の持続性の低下を

問題とし、また、化学肥料はもとより農薬が水田から系外へ汚染物質として流出することが問題となる。これらに対しても生産性、安定性、低コストとの接点を考慮しなければならない。水田系内の生態的条件も環境悪化の問題類としてとらえられる。すなわち農薬と化学肥料の使用は水田内の生態系に影響をもたらす。齊藤<sup>39,40)</sup>は農薬の使用が水稻の生育、収量ならびに水田の生態系に及ぼす影響を量的、質的に評価することなく今日に至っているとの視点から、農薬を連用してきた水田において農薬の使用を中断して水稻を栽培し、雑草・病虫害の発生、水稻の生育・収量を調査したところ、藻類、雑草の大量発生、トンボ類の大発生などさまざまな変化が認められ、雑草の発生程度によっては収量の低下の小さいことを示した。有機物の水田への過投による環境悪化にも配慮しつつ、農薬・化学肥料における使用量の削減方法を探るのが現実的であると思われる。

第3に、米の良食味への志向は社会的ニーズといえようが、このことが有機米の市民権獲得を加速している点を見落とすわけにはいかない。食味の良否は品種を含め栽培条件に大きく影響されることは周知の事実であり、有機米でなくとも良食味とされる場合が多いところから、この場合は安全性が加味されて有機米の食味評価と考えられる。有機米の安全良食味は将来とも消費者の歓迎するところであろうが、有機米生産における多収と安定性を追求する場合に、この食味との整合性をどう調和させるのが問題となろう。

第4に生産農家の労働安全性の問題である。農薬取扱い時に生じる危険性は生産農家の健康を脅かす問題であり、この点において無農薬栽培は有機米生産を拡大する方向に作用する。この問題も食糧の安全性と環境悪化の場合と同じく、使用量の削減をはじめ危険性を最小限にとどめる方策を追求していくことが肝要である。

次に、有機米生産をやや抑制する立場からの問題点を整理してみよう。第1に作物栽培の多収性を追求する側からの問題点である。無農薬・無化学肥料で今日の収量レベルを実現することは極めて困難である。しかし、有機米生産の基本である有機物の施用は地力増強の観点から従来より重要性が指摘されてきたところである。かつての「米作日本一」の稲作技術における多収事例のほとんどは、水田基盤造成に当たり、有機物の多投による地力の培養につとめている<sup>10)</sup>。したがって、有機米生産がただちに低収に結びつくとも考えるのは当を得ず、むしろ多収を指向するものといえる。しかし、前田<sup>23)</sup>は有機物だけに依存することは、その生産性の低さ、有機物施用の困難性および有機物だけでは十分でない養分の補給、の諸点から問題があるという。ここに有機質肥料と化学肥料との共存の可否が課題となる。

第2に作物生産の安定性の問題がある。農業技術は生産量を増大するとともに、その安定性を長期的に保証するものでなければならない。そのためには栽培技術は病虫害や気象災害に対処しうることが重要である。病虫害対策を無農薬で行うことは不可能に近い。健全な稲体の育成を通じて病虫害を回避することの重要性はいうまでもなく、また抵抗性を付与した品種の育成と総合的防除の確立によって農薬使用量の削減を実現することが重要である。生態系に配慮した生物的防除を主体とし、最少限の農薬を活用しての被害回避が課題になると考えられる。

第3に、低コスト化を阻害する要因が有機米生産にある点である。主として雑草対策と有機物の投入が隘路となっており、収量の低下も高コスト化の因子である。簡易堆厩肥製造法、雑草の生物的ないし物理的防除法、および各種直播栽培法が有効と思われる。

以上、高品質・多収・安定・低コスト技術の確立を求める立場からの有機米生産の課題は、高品質には問題がないとしても、多収水準における養分供給が地力のみで可能であるかどうか、有機質肥料追肥による生育調整の効果の程度はどうかの問題があり、安定性に対しては、たとえば低温年に遭遇した場合、地力培養田における障害型・遅延型不稔が、化学肥料偏重

田に比して相対的に少ないことが認められるにしても、イモチ病発生を無農薬で軽微にとどめ得るとの保証はない。そして、コストについては、現時点では有機物投入、雑草害、病虫害対応をはじめとする諸作業による労働生産性の低下が不可避であることが強調される。これらの対策の樹立が有機米生産の今後を大きく支配するといえよう。

## 摘 要

水稻の低コスト技術開発の一環として無代掻き直播栽培成立の可能性、および環境の保全と地力培養を前提とする有機米生産技術について、それぞれ生産現場に近い形での圃場試験を行い、作物学的見地から問題点を摘出し対策を検討した。

すなわち、代掻き作業を省略し、作溝、散播、播種後入水で構成される無代掻き直播栽培法は、乾田直播栽培法と湛水直播栽培法の欠点を補い、現行の湛水土壌中直播栽培法とほぼ同水準の収量性を示し、その裏付けとなる生育相・収量構成の解析からみてこの栽培法の成立には明るい展望があると考えられた。しかし、これが確立するためには品種の適応性の解明と実際の育種、より確実な雑草防除対策、適用水田の特性に応じた合理的施肥法と水管理法が検討される必要がある。また、より一層の低コストを具現するためには機械の改善を含む作業面の検討が不可欠であることはいうまでもない。

有機米生産技術については、有機肥料のみで高収量を得ることは極めて困難で、化学肥料を補完的に使用することによって安定的な収量を得ることができる。無農薬栽培の試験区における収量は、病虫害の被害はほとんどなかったが、栽培年次と品種によって重大な被害を受ける場合があると考えられた。除草剤を省略すると、栽培初年目ではさしたる被害は生じないが、2年目以降では他の除草方法をとらない限り被害は重大であった。有機物投入による地力の増強に加え、速効性有機質肥料の開発、最少限の化学肥料による作物の生育調整法、食糧の安全性と生態系の健全な維持を確保できる農薬の活用、ならびに除草剤を削減しうる雑草対策などの確立がこれからの課題とされる。

## 文 献

- 1) 愛知県農総誌：無代かき直播栽培における出芽特性。研究成果情報（関東東海農業）農研センター，71—72（1990）
- 2) 赤松誠一：散播栽培水稻の特性と栽培技術。岡山農大農場報告 2，1—14（1979）
- 3) 大日本農会：水稻直播栽培の現状と課題—湛・乾折衷型直播技術確立の提唱。農業 1989年3月号，1—63（1989）
- 4) 古川嗣彦：直播を中心とした機械作業システム研究の現状と課題。農水技術情報協会研究ジャーナル 16，12—17（1993）
- 5) 後沢昭範：有機農業の現状と課題—その背景と国際的な動向を含めて—。生態系活用型農業における野菜生産の現状と今後の方向 農水省野菜・茶業試験場，31—44（1991）
- 6) 萩原素之・井村光夫・三石昭三：湛水土壌中に播種した水稻種籾近傍の酸化還元状態。日作紀 56（3），356—362（1987）
- 7) 荷見武敬：21世紀を展望する有機農業—農業観のコペルニクスの転換を—。農業と経済 1987年2月号，6—16（1987）
- 8) 荷見武敬：有機農業に賭ける。1—357，日本経済評論社，東京（1991）
- 9) 日鷹一雅・中筋房夫：自然・有機農法と害虫。1—292，冬樹社，東京（1990）
- 10) 飯田克実：技術の特徴と評価。「米作日本一」の稲作技術，76—143，農政調査委員会，東京（1971）
- 11) 梶木信幸：新しい栽培管理技術研究の現状と課題。農水技術情報協会研究ジャーナル 16，7—11（1993）
- 12) 嘉田良平：環境保全と持続的農業。1—262，家の光協会，東京（1990）
- 13) 片野 学：自然農法のイネづくり。1—246，農文協，東京（1990）
- 14) 加藤明治：水稻直播栽培の試験研究の現状。農業 1246，41—83（1989）
- 15) 河本恭一・狩谷寿志・富久保男・岡武三郎：超低コスト栽培法としての水稻不耕起乾田直播栽培法の開発・実証。日作中国支部研究集録 34，34—35（1993）

- 16) 小林広美・鷺尾 養：不耕起直播水稻の倒伏防止に関する研究. 中国農試報 A25, 39—66 (1977)
- 17) 熊野誠一・関 寛三・金 忠男：水稻の機械移植栽培法における代掻きに関する研究. 東北農試研報 72, 1—53 (1985)
- 18) 熊野誠一・黒田俊郎：現場技術としての「有機米」生産に関する諸問題の解明. 兩備禮園記念財団論集 6, 49—54 (1991)
- 19) 熊沢喜久雄：「有機農業」と現代農業 (1). 農業および園芸 64 (1), 89—103 (1989)
- 20) 熊沢喜久雄：「有機農業」と現代農業 (2). 農業および園芸 64 (2), 276—288 (1989)
- 21) 国武正彦・山口政栄：溝播方式による水稻折衷直播栽培法の研究. 新潟農試報告 20, 1—13 (1970)
- 22) 黒田俊郎・石村 亮・齊藤邦行・熊野誠一：水稻における無代掻き直播栽培法に関する研究—作溝幅・入水方法による生育収量の相違—. 日作中国支部研究集録 34, 32—33 (1993)
- 23) 前田乾一：有機農業の技術的特質. 農業と経済 87 (2), 17—24 (1984)
- 24) 松村 修・澤村 篤・笹倉修司・亀川健一：無代かき作溝直播栽培での培土が水稻倒伏に及ぼす影響. 日作紀 62 (別1), 4—5 (1993)
- 25) 三石昭三：水稻の湛水直播における土壌中埋没播種に関する作物学的研究. 石川農短大特別研究報告 4, 1—59 (1975)
- 26) 三石昭三・井村光夫：水稻湛水直播における諸問題 (1) 湛水土壌中直播法を中心として. 農業および園芸 57, 1265—1268 (1982)
- 27) 三石昭三：水稻の湛水土壌中直播法が成立するまで. 農業技術 37 (7), 294—298 (1982)
- 28) 三石昭三：我が国における水稻直播栽培の消長. 岐阜経済大論集 24, 11—36 (1991)
- 29) 中村喜彰：低コスト増収の米作り 湛水土壌中直播栽培. 1—194, 家の光協会, 東京 (1983)
- 30) 中野 治・橋本忠浩・黒田俊郎・熊野誠一：「有機米」生産における菜種油粕追肥が生育収量に及ぼす影響. 日作中国支部研究集録 33, 16—17 (1992)
- 31) 中谷治夫：水稻の「乳苗」移植栽培の実際と問題点. 農業および園芸 62, 403—407 (1987)
- 32) 中澤伸夫：折衷直播による低コスト化技術. 北陸作物学会報 27 (別), 91—94 (1991)
- 33) 農水省技術会議事務局：農林水産研究文献解題 水稻直播栽培. 1—333, 農林統計協会, 東京 (1973)
- 34) 農林水産技術会議事務局：水稻直播栽培を中心とした先進的技術の開発. 研究成果 229, 1—75 (1989)
- 35) 農水省農蚕園芸局農産課環境保全型農業対策室：環境保全型農業の推進について. 1—83 (1993)
- 36) 大久保隆弘：地力と田畑輪換・作付体系. 農業および園芸 64 (1), 133—140 (1989)
- 37) 岡崎絃一郎・松尾喜義・川崎 健・上村幸正・糸川信弘・宮崎昌宏：水稻の溝播無覆土湛水直播栽培技術の開発 第1報 溝播無覆土直播機の開発. 四国農試報告 53, 79—86 (1990)
- 38) 奥村俊勝・長谷川浩・竹内史郎：無施肥田と施肥田における水稻品種の生育反応の比較. 近畿大学農学部紀要 12, 141—147 (1979)
- 39) 齊藤邦行・有瀬英恵・小林智宏・下田博之：農薬の使用中断が水稻の生育・収量ならびに水田の生態系に及ぼす影響 (1990—1992年). 日作紀 62 (別1), 202—203 (1993)
- 40) 齊藤邦行・小林智宏：農薬の使用中断が水稻の生育, 収量ならびに病害虫, 雑草の発生に及ぼす影響. 農工大農場研報 14, 58—68 (1992)
- 41) 坂本慶一：有機農業とその現代的意義. 農業および園芸 64 (1), 104—108 (1989)
- 42) 佐々木康之・尾崎 享・佐藤 薫：生態系利用による水田雑草の防除. 北陸作物学会報 25, 92—93 (1990)
- 43) 澤村 篤・松村 修：水稻直播栽培のための作業技術研究の最近の動向. 農業技術 47, 391—395 (1992)
- 44) 澤村直志：潤土直播の現状と展望. 北陸作物学会報 27 (別), 80—84 (1991)
- 45) 水稻土壌中直播技術研究会：水稻湛水土壌中直播栽培の手引き (平成4年度版). 1—21, 農産業振興協会, 東京 (1992)
- 46) 鈴木 守：水稻低コスト生産技術の現状と展望. 農水技術情報協会研究ジャーナル 16, 3—6 (1993)
- 47) 竹内史郎・奥村俊勝・長谷川浩：無施肥田と施肥田における水稻の生育反応の差異. 近畿大学農学部紀要 12, 135—140 (1979)
- 48) 戸刈義次：水稻直播栽培の新構想. 植調 23, 5—7 (1989)
- 49) 津野幸人：“自然農法”稲作の技術的問題点とその対策. 日作紀 59 (別2), 290—293 (1990)
- 50) 上野正夫：有機農業と農産物ブランド志向. 農業および園芸 63 (12), 1343—1347 (1988)
- 51) 宇根 豊：減農薬のイネづくり. 1—168, 農文協, 東京 (1987)
- 52) 山田 裕：有機農業の技術的評価. 農業技術 43 (10), 433—437 (1988)
- 53) 全米研究者協議会：代替農業. (久馬一剛・嘉田良平・西村和夫 訳), 1—573 自然農法国際研究開発センター, 熱海 (1992)