

博士学位論文

日本型直播稲作に関する水田工学的研究

2003年11月

茨城大学農学部 牧山 正男

「日本型直播稲作に関する水田工学的研究」 目次

序章 研究の背景と目的	1
序.1 日本型直播稲作の需要	1
序.1.1 直播稲作	
序.1.2 日本型直播の需要	
序.1.2(1) 我が国における直播導入の需要	
序.1.2(2) 日本型直播の技術への要請	
序.1.3 我が国における直播の現状	
序.1.3(1) 乾田直播と湛水直播	
序.1.3(2) 我が国における乾田直播と湛水直播の分布の傾向	
序.1.3(3) 我が国における直播普及の現状と評価	
序.2 研究の目的	10
序.2.1 日本型直播について考える上での論点	
序.2.2 研究の目的	
序.3 研究の構成	11
1 章 既往の研究	14
1.1 日本型直播稲作に関する既往の研究	14
1.1.1 日本型直播稲作に関する既往の研究の主な流れ	
1.1.2 湛水直播でのイネの生育に関する既往の研究	
1.1.2(1) 苗立密度	
1.1.2(2) 初期生育（出芽・苗立ち）への酸素供給剤の関与	
1.1.2(3) 湛水直播における好適な播種深度	
1.1.2(4) 中期以降の生育阻害要因	
1.1.3 経営学分野の既往の研究	

1.1.4	農業土木分野の既往の研究	
1.1.4(1)	1990年以前の農業土木分野の研究	
1.1.4(2)	1990年以降の農業土木分野の研究	
1.1.5	海外の事例	
1.1.5(1)	アメリカ合衆国の事例（秋田，1995）	
1.1.5(2)	オーストラリアの事例（滝田・田淵，1995）	
1.1.5(3)	イタリアの事例（工藤，1995）	
1.2	田面均平に関する既往の研究	27
1.2.1	田面均平に関する研究の区分	
1.2.2	水田の均平精度基準	
1.2.3	均平度の評価	
1.2.3(1)	均平精度の評価法	
1.2.3(2)	標準偏差を用いた均平精度の評価	
1.2.3(3)	傾斜の扱い	
1.2.4	均平整備・均平管理	
1.2.4(1)	圃場整備段階での均平整備の重要性	
1.2.4(2)	営農段階での均平整備の留意点	
1.2.5	均平と排水性	
1.2.6	田面起伏のシミュレーション	
2章	日本型直播稲作の面積変化と技術進歩	34
2.1	本章の目的	34
2.2	全国直播面積変化の概観	35
2.2.1	直播面積の偏在性	
2.2.2	都道府県別直播面積と全直播面積との関係	
2.3	過去の直播面積の変化と技術の発達との対応	39
2.3.1	各都道府県の直播面積変化の概観	
2.3.1(1)	岡山県以外の直播面積の変化	
2.3.1(2)	県別直播面積および県別直播率の中央値の変化に注目した検討	
2.3.2	岡山県の面積変化にみる1970年代の直播技術進展とその導入過程	

2.3.2(1)	岡山県における直播面積変化の要因	
2.3.2(2)	農家の技術選択の観点から見た岡山県の直播普及過程	
2.4	近年の直播面積および技術の動向	44
2.4.1	1990年代後半以降の直播面積変化の傾向	
2.4.2	1990年代後半以降の直播面積変化の特徴と背景	
2.4.2(1)	栽培様式と直播技術の進展	
2.4.2(2)	基盤整備の進展	
2.4.2(3)	政策的措置	
2.5	2章の摘要	49
3章	直播稲作の実施が有意義な農業経営類型	51
3.1	本章の目的	51
3.2	直播稲作の省力化効果	51
3.2.1	直播における省力化の捉え方	
3.2.2	直播の省力性の詳細	
3.2.2(1)	直播の省力性の実態	
3.2.2(2)	直播導入による省力化効果	
3.3	直播稲作の導入による農家の所得の変化	56
3.3.1	直播稲作を経営に組み込むことの所得への影響	
3.3.2	労働機会増による所得増大の可能性	
3.4	直播稲作の導入が有効な経営類型	58
3.4.1	省力化された労働の活用方法の類型化	
3.4.2	休暇増加型の直播導入効果	
3.4.3	稲作拡大型の直播導入効果	
3.4.4	複合経営拡大型の直播導入効果	
3.4.5	第2・3次産業拡充型の直播導入効果	
3.4.6	我が国における直播の定着の特異性	
3.5	農家が稲作拡大を目的とした直播導入を判断する過程	63
3.5.1	新技術導入について考察するための前提	
3.5.1(1)	導入前の問題存在と農業経営の変革	

3.5.1(2) コントロール可能と不可能な因子の区別	
3.5.1(3) 外力的導入について	
3.5.2 新技術の自主的導入を判断するまでの各段階	
3.5.2(1) 発想段階	
3.5.2(2) 可能性判断段階	
3.5.2(3) 経済的評価段階	
3.5.3 稲作農家が直播導入を判断する過程	
3.5.3(1) 直播導入のための発想段階	
3.5.3(2) 直播導入のための可能性判断段階	
3.5.3(3) 直播導入のための経済的評価段階～収量低下の詳細	
3.5.4 大規模稲作農家が直播を判断するための条件	
3.6 直播稲作の導入事例	72
3.6.1 圃場整備などによる経営大規模化を契機にした導入	
3.6.2 数戸単位の組合・勉強会を母体とした導入	
3.6.3 個人単位の大規模化を契機にした導入	
3.6.4 世代交代などの個人的な変化を契機にした導入	
3.7 3章の摘要	79
4章 苗立密度の不均一性から見た田面均平の意義	81
4.1 本章の目的	81
4.1.1 本章の着眼点	
4.1.2 本章の目的	
4.1.3 湛水散播への着目	
4.2 湛水土壌表面散播での苗立密度の不均一と適正苗立密度	82
4.2.1 現地調査の方法	
4.2.2 苗立密度の不均一の存在とその生育・収量への影響	
4.2.3 適正苗立密度および適正播種量の算出	
4.2.3(1) 適正苗立密度	
4.2.3(2) 適正播種量	
4.3 苗立密度が過疎な箇所の問題とその制御のための水田整備の重要性	87

4.3.1	苗立密度の過密・過疎	
4.3.1(1)	苗立ち密度が過密な箇所での収量の安定性	
4.3.1(2)	苗立密度が過疎な箇所における収量について	
4.3.2	苗立密度の不均一を生じる要因	
4.3.2(1)	播種密度不均一の制御	
4.3.2(2)	発芽・出芽・苗立ちの制御	
4.3.2(3)	外的要因の制御	
4.3.3	直播での苗立密度の制御に対する水田管理の重要性	
4.4	4章の摘要	93
5章	代かき後の水田における表層土壌硬度の分布と変化過程	94
5.1	本章の目的	94
5.1.1	着眼点の整理	
5.1.1(1)	埋没深への着目	
5.1.1(2)	湛水土壌中散播で埋没深に関与する因子	
5.1.2	本章の目的	
5.1.3	語句説明	
5.1.3(1)	湛水土壌中散播	
5.1.3(2)	湛水散播における種籾の埋没深	
5.1.3(3)	被覆種子	
5.1.4	水田表面の土壌硬度	
5.1.4(1)	水田表面の土壌硬度	
5.1.4(2)	水田表面の土壌硬度に関する既往の研究	
5.2	現地試験の方法	98
5.2.1	現地試験の目的	
5.2.2	現地試験の方法	
5.2.3	現地試験における土壌硬度の測定方法	
5.3	現地試験の結果と考察	103
5.3.1	表層硬度の変化過程	
5.3.2	表層硬度の不均一性に対する起伏の影響	

5.3.3	埋没深制御のための均平精度向上の重要性	
5.4	5章の摘要	107
6章	湛水土壌中散播の種子埋没深に関する実験的検討	109
6.1	本章の目的	109
6.2	室内実験の方法	109
6.2.1	室内実験の目的	
6.2.2	土層の作成	
6.2.3	被覆種子と播種方法	
6.2.3(1)	被覆種子について	
6.2.3(2)	埋没深の測定法	
6.2.4	室内実験における土壌硬度の測定方法	
6.3	室内実験の結果と考察	114
6.3.1	室内実験の結果	
6.3.1(1)	湛水深および表面土壌硬度と埋没深の関係	
6.3.1(2)	被覆種子の質量と大きさと埋没深の関係	
6.3.1(3)	落下高さとの埋没深の関係	
6.3.2	室内実験に関する考察	
6.3.2(1)	湛水の抵抗	
6.3.2(2)	軟弱な土壌表面への種子の埋没	
6.4	6章の摘要	123
7章	均平整備による種子埋没深制御の可能性	124
7.1	本章の目的	124
7.2	埋没面積率モデルの作成方法	124
7.2.1	モデルの考え方	
7.2.2	散播された種子が埋没可能となる標高の幅の考え方	
7.2.3	埋没可能な標高幅の設定	

7.2.3(1) P_1 の設定	
7.2.3(2) P_2 の設定	
7.2.4 均平精度の表現法	
7.2.5 埋没面積率の計算方法	
7.3 結果と考察	130
7.3.1 埋没面積率のピーク	
7.3.2 湛水深管理について	
7.3.2(1) 湛水深管理の重要性	
7.3.2(2) 湛水深管理の目安	
7.3.3 湛水散播における埋没深制御のための均平精度基準	
7.3.4 均平精度向上の限界と課題	
7.4 7章の摘要	133
終章 研究の結論	134
終.1 研究の結論	134
終.2 今後への課題	135
終.3 補遺	136
終.3.1 本研究の論点の確認	
終.3.2 直播普及のためのもうひとつの要素	
終.3.3 日本型直播稲作の将来像	
引用文献	139
謝辞	150
巻末資料	151
資料.1 論文の内容の要旨	151
資料.2 日本型直播稲作の手法の分類	155
資料.3 本文中で触れなかった直播技術	160

目次

資料.4	日本型直播普及推進への具体的な動き	164
資料.5	近年の直播面積の動向	170
資料.6	我が国におけるスクミリンゴガイの分布	171

序章 研究の背景と目的

序.1 日本型直播稲作の需要

序.1.1 直播稲作

直播稲作^{*序-1}（以下「直播」、ただし播種作業と混同しやすいときなどは略さず「直播稲作」を用いる）とは、イネの種子を催芽した後にそのまま、もしくは被覆剤を被覆した催芽種子を田面に直接播種する方式を言う。対義語は、育苗した苗を田面に移植する移植栽培（以下「移植」、ただし移植作業と混同しやすいときなどは略さず「移植栽培」を用いる）である^{*序-2}。

そもそも直播の手法は国際的に見て様々な手法がある。例えば合衆国のカリフォルニア州では、数10ha規模の水田に対して軽飛行機を用いた散播（日本で言うところの湛水土壌表面播）が行われている。またアーカンソー州やテキサス州では乾田直播（同、裸地耕起直播、テキサス州については冬作跡耕起直播も）が行われている（山路ら、2002）。

それに対し我が国は、後述するように稲作および農業経営について様々な特徴を有する。そのため合衆国で行われているような直播手法とは違う、我が国独自の手法によって直播が実施されている。

そこで本研究では我が国独自の直播技術体系を対象として限定する。これを示す語としては、「日本型直播稲作の確立・普及に関する研究会」（農林水産省）の提言（1994年）などに倣って、「日本型直播稲作」（以下「日本型直播」）を用いる。

序.1.2 日本型直播の需要

序.1.2(1) 我が国における直播導入の需要

我が国における直播導入の需要は大きく2点に分けられる。1つが経営省力性の

*序-1 「直播稲作」と「水稲直播栽培」の両者が使われているが、本研究では「直播稲作」に統一する。なお、「直播」の読み方については、広辞苑第5版（1998）では「『ちよくはん』（チョクハとも）」と表記されている。

*序-2 本研究では直播を、移植に対する新しい技術として捉える。これは国や地域によっては必ずしもあてはまらないが、現在の日本国内では大半の地域で適用できる。

観点からの需要、もう1つが代かき用水量が不足する地域における乾田直播の需要である。

今日の直播の需要は、その多くが前者によって生じている。以下に説明する。

『全国直播稲作推進会議』設置要領（1995年7月13日；巻末資料4参照）には、「直播稲作は、現行の機械移植による稲作の低コスト化、省力化の壁を打破するためのキーテクノロジーとして特に有望視されている。国は、「新しい食料・農業・農村政策の方向」（いわゆる「新政策」、1992年）で示した望ましい稲作経営の早期実現に向けて、直播に関する各種試験研究や現地実証等の施策を講じることとしている。そこで同会議は、我が国における直播栽培の普及・定着等により我が国稲作の体質強化を図ることを目的とする。」と記述されている（抜粋引用、一部著者による改筆・注釈）。このように1995年当時には、まず農業人口の減少への対策や、市場競争力強化の観点から稲作規模を拡大する需要があり、そのための手段として直播の導入の需要が生じた^{*序-3}。そしてその需要が今日まで続いていると考えられる。

また、近年の農林水産省としての直播に対する見解として、続いて近年のものとして、農林水産省が定期的を示している「農業生産の技術指針」の2001年版（巻末資料4参照）を挙げる。そこでは日本型直播稲作技術などについて「省力化や労働ピークの平準化、作期分散等を図るとともに、その効果としての経営規模の拡大、複合部門の充実等を図る観点から、積極的導入を推進する必要がある」とした上で、「その際、地域の立地条件に即した普及性の高い技術体系として早急に確立する観点から、当該技術の普及対象を明確にしつつ、試験研究機関や普及組織の指導の下で推進することが重要である」と謳っている。

序.1.2(2) 日本型直播の技術への要請

上記のように日本型直播には稲作の省力化が求められる。こうした労働生産性重視な点は、国際的に見て一般的な直播（例示した合衆国型など）と共通である。

ところが、我が国の直播には、例えば合衆国で行われているような粗放的な手法は適さない。というのも、我が国の水田農業は、かつての「零細分散錯圃」を

*序-3 直播の導入を目的として、そのための手段として農業経営規模の拡大が必要だということではない点に注意しておきたい。近い将来に個々の農家が経営規模を拡大しなければならないという需要がまずあって、そのための手段のひとつ（詳細は3章）として直播の導入が望まれているのだと考えるべきである。

残しており、近い将来に経営規模拡大が進むとしても、一般的な農業経営はたかだか数10ha規模の経営面積、並びに1~2ha程度の水田区画がひとつの限界点となると考えられる。そうした条件下に直播を導入する際には、農家所得の維持を考慮すると、従来行われている移植体系に比べて大きく劣らないだけの収量を確保しなければならない。

しかも、我が国には稲作国として有利ではない条件をいくつか有する。例えば南部を除けば稲作国としては冷涼な気候であり、また多雨に基づく日照時間の短さ（気象・気候条件）、そして良食味のジャポニカ米が消費者に好まれる点（市場条件）など。こうした条件のもとで土地生産性を確保しながら直播を行うためには、精緻な栽培管理や工夫^{*序-4}を行う必要がある。

すなわち日本型直播には、省力性のみでなく、土地生産性確保のための精緻さをも兼ね備えた技術が要請される。

序.1.3 我が国における直播の現状

序.1.3(1) 乾田直播と湛水直播

直播の手法は、大きく乾田直播と湛水直播とに分けられる。播種方法や耕起・代かきの有無などによって、手法はさらに細分化されている（巻末資料2参照）。また、それぞれ様々な播種法が行われている。播種法に関する詳細は巻末資料3に示すこととし、本章ではそれらの概略のみ整理する。

乾田直播、湛水直播の特徴について**Table 序-1**に整理した。乾田直播は、省力性が高いこと、代かき用水を要さないなどの特徴があるものの、播種直後の降雨、低温に弱く、また雑草が繁茂しやすい、代かきを行わなくても保水できるだけの圃場条件が必要であるといった問題点がある。一方、湛水直播は、我が国では一般に代かきと酸素供給剤の被覆を要することから、乾田直播に比べてより多くの労働が必要である。また栽培初期の水管理が困難であるなどの技術的な問題もある。しかしながら、発芽期の低温や降雨に比較的強く、圃場の保水性も許容幅が広く、また除草も乾田直播に比べれば容易である。

*序-4 直播に適する（低温出芽性、耐倒伏性が高いなど）良食味品種の開発、カルパーコーティングや落水出芽法などといった根の土中進入を促進する技術など。詳細は1章などにて後述。

Table 序-1 乾田直播と湛水直播の特徴並びに利点・欠点

	乾田直播	湛水直播
手法の概要	無代かき・畑状態の圃場に播種，出芽の数週間後に入水。 省力性が高い。	代かき後，湛水が残る圃場に播種，出芽後に一旦落水するのが一般的（落水出芽法）。
播種方式	条播（すじまき）のみ	条播，散播（ばらまき），点播（うちこみ，ショットガン式）の3種
気象条件と適用幅	低温では不可能なため，地域が限定される。	湛水による保温効果によって，低温の地域への適用性は高い。
圃場条件と適応幅	代かきを行わないため，保水性が不可欠。	代かきを行うため，圃場条件の適応幅は広い。
よく言われる欠点	雑草の発生 漏水	特に生育初期において，精密な水管理が必要。 乾田直播に比べると労働や費用が増す（代かき，水管理，酸素供給剤の被覆作業など）
その他の特徴	不耕起・乾田直播も一部地域で行われている 水利権が不利な地域などに，乾田直播が特に適している地域が存在する	近年では代かき同時播種，無代かき湛水直播などの技術もある 酸素供給剤を被覆した種子を土壌中に埋没播種する「土壌中直播」が主流。また，被覆の有無に関わらず表層に播種する「表層播種」がある

序.1.3(2) 我が国における乾田直播と湛水直播の分布の傾向

今日我が国で実施されている直播手法は，Table 序-2や後述するFig.序-2に見られるように乾田直播と湛水直播とがほぼ半々（2001年，農林水産省調べ；以下特に注釈を付けない場合は2001年現在とする）である。

しかし，乾田直播の実施はいくつかの特定の地域に偏っている。Table 序-2に

見られるように中国地方と東海地方がその多くを占めているが、さらに細かく見ると、岡山県（乾直2697.0ha、そのうち不耕起乾直が282.0ha）が特に卓越し、これと愛知県（乾直480.0ha、そのうち不耕起乾直が366.0ha）の2県だけで全国の乾田直播の69%を占めている。次いで熊本県、宮崎県で100haを越えており、佐倉市、八千代市に巨大区画水田を有している千葉県でも多い。

一方、湛水直播は、東北・北陸地方で卓越しているものの、他県にも多少の差こそあれ極度の偏りはなく分布している。

このような差は、我が国の多雨・冷涼な気象条件には湛水直播の方が好適な地域が多いことから生じていると考えられる^{*序-5}。

Table 序-2 各地で実施されている直播手法（2001年、単位：ha）

	乾田直播		湛水直播						合計		
		不耕起		散播				条播		点播	
				有人 ヘリ	無人 ヘリ	乗用 播種機	背負 動散他				
北海道	77.0	1.0	74.0	22.0	0.0	2.0	11.0	9.0	53.0	0.0	152.0
東北	99.5	10.3	1986.7	415.8	0.0	180.5	0.0	235.3	1187.3	383.6	2086.2
関東	334.1	51.4	471.3	64.8	0.0	15.3	0.0	49.5	227.6	178.9	805.5
北陸	175.3	3.0	1652.5	333.3	23.4	154.1	32.3	123.5	1080.7	238.5	1827.8
東海	574.4	427.8	226.6	106.0	17.0	9.1	7.0	72.9	120.0	0.6	801.0
近畿	59.9	26.1	555.6	15.9	0.0	0.0	0.6	15.3	415.6	111.1	615.5
中国四国	2828.8	374.4	279.0	63.5	0.0	5.9	12.2	45.4	103.3	95.0	3107.8
九州	396.7	267.8	398.2	109.9	0.0	8.2	22.0	79.7	186.1	102.2	794.9
全国	4545.8	1161.8	5644.0	1131.3	40.4	375.1	85.1	630.6	3373.6	1109.9	10190.8

（資料：農林水産省生産局農産振興課）

*序-5 地域への直播普及について考える際には、湛水直播が実施できる地域では必ず移植栽培もできるのに対し、水利権の都合で春先の用水が確保できないなどの理由により、移植は困難で乾田直播しか実施できない地域が存在する（例えば【事例3-2】）ことに注意しておきたい。

序.1.3(3) 我が国における直播普及の現状と評価

Fig.序-1に1961年以降の各地方別の直播面積の推移を、**Fig.序-2**に1966年以降の乾田直播、湛水直播それぞれの直播面積の推移を示す。

図に示したように、今日の我が国の直播面積は微増傾向にある。2001年現在で10189haである。稲作面積の0.6%に相当する。

さて、全国直播稲作推進会議（2002年03月27日付；巻末資料4参照）などでは、1万haを超えたことを指摘して、普及の進展についてプラスに評価している。しかしながら、例えば全国における大区画水田の面積率5.4%（2000年3月現在）に比べても、その面積率は明らかに少ない。

また、県別に見ても、**Table 序-2**、**Fig.序-1**に見られるように、直播が実施されている面積は地方別の偏差が大きい。県レベルで見ると、前述の岡山県が、近年では直播面積を年々減少させているものの、未だに面積的に卓越している。岡山県を除くと、多い県（福井県、愛知県）で県内稲作面積の2%弱程度であり、他に1%を越えるのは福島県、富山県、石川県、滋賀県、宮崎県のみである。このように直播の分布は散逸している。

しかし、次に示す県別の分布の変遷からは、違うことが考えられる。**Fig.序-3-1**は前述のように農林水産省が直播の推進を図ったところである1995年の、**Fig.序-3-2**は現在（2001年）の、それぞれ各都道府県の直播面積率を示したものである。面積率そのものは前述のとおりだが、その分布が、1995年時点ではさしたる特徴がなく分布していたのに対し、2001年においては東北・北陸地方といった稲作が盛んな地域において直播の面積率が伸びている。これらの地域は春先に寒冷なために従来は直播の実施が困難であったが、こうした地域で直播が増加しているのは、技術の進展によるものだと考えられる。その結果として分布域が東北日本に広がっている。

以上のように、全国面積の値そのものやその増加のみでは十分には把握できないが、都道府県別の直播面積の分布を地理的に見たところ、まだ面積率は低いながらも分布が広がりつつあることが把握できる。こうしたことから、我が国における直播は普及方向にあると考えることができる。

なお、このような面積変化やそれによる普及度評価に関する詳細、および普及の現状については、本論文2章で詳述する。

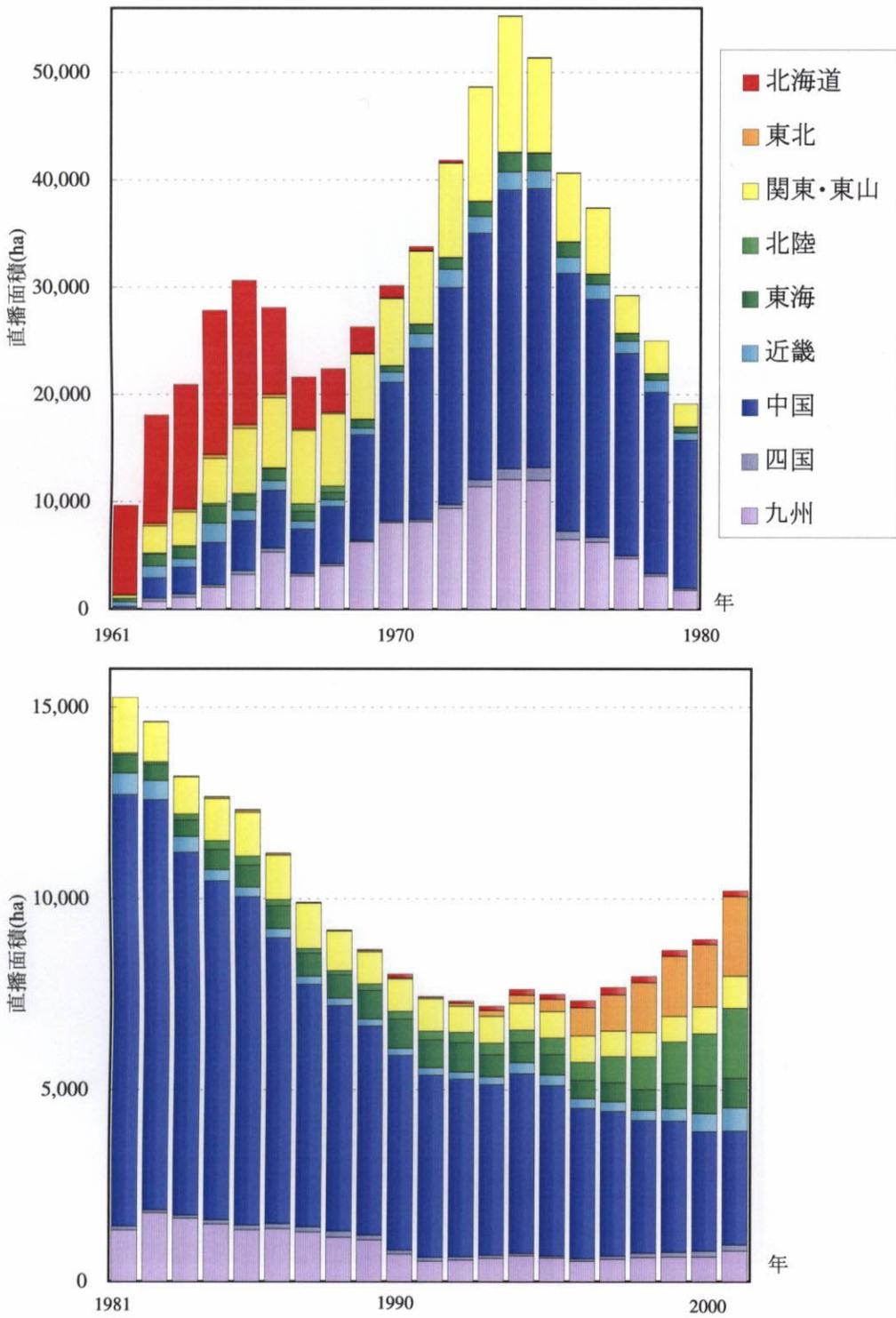


Fig.序-1 全国直播面積の推移（1966年～2001年，各地方に注目）
（資料：『農産年報』，農林水産省生産局農産振興課『資料』）

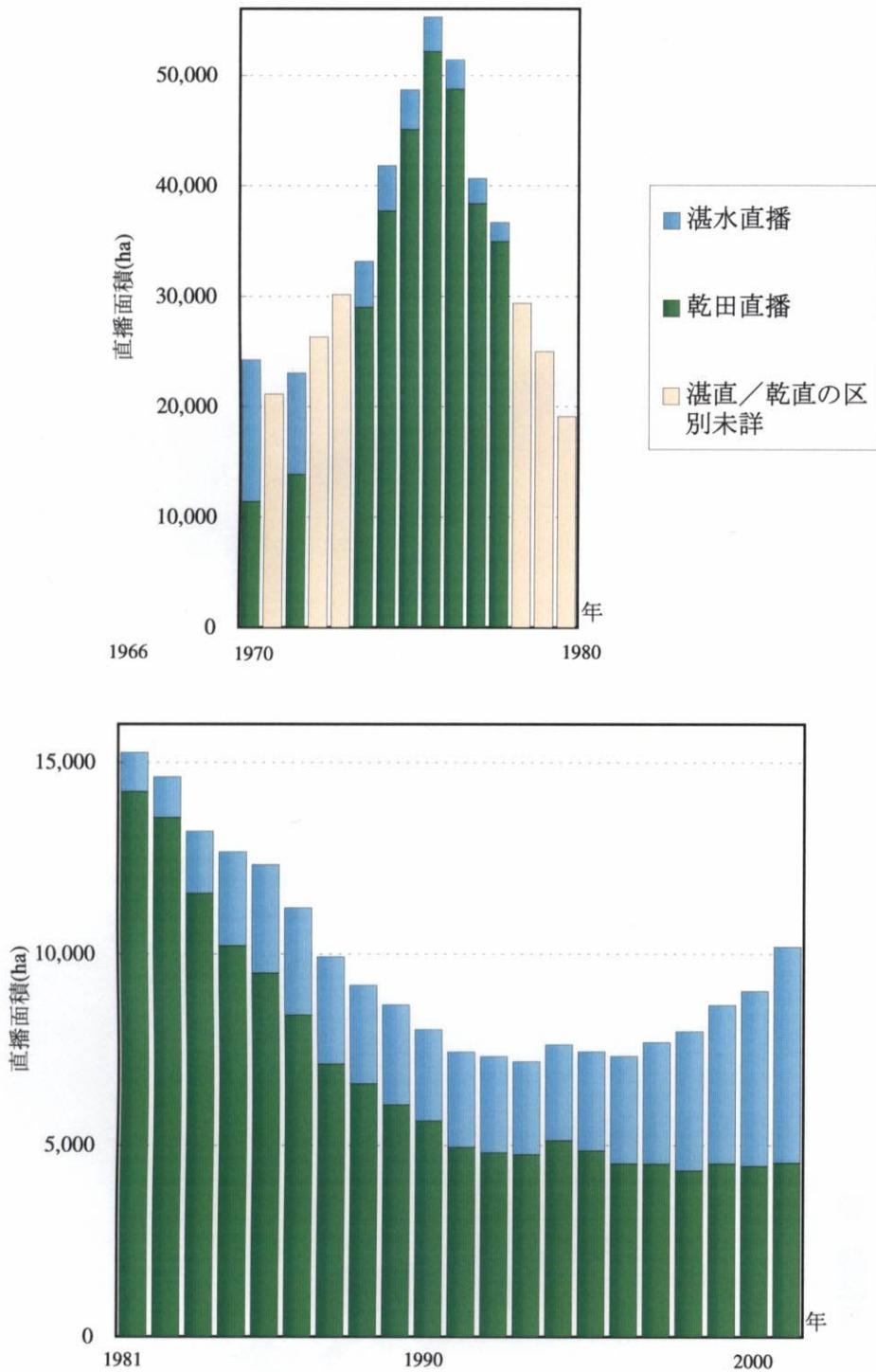


Fig.序-2 全国直播面積の推移（1966年～2001年，手法に注目）
 （資料：『作物統計』，なお，1967，1969，1970年，
 1978～1980年に限り，乾直と湛直を区別したデータが
 存在しない。）

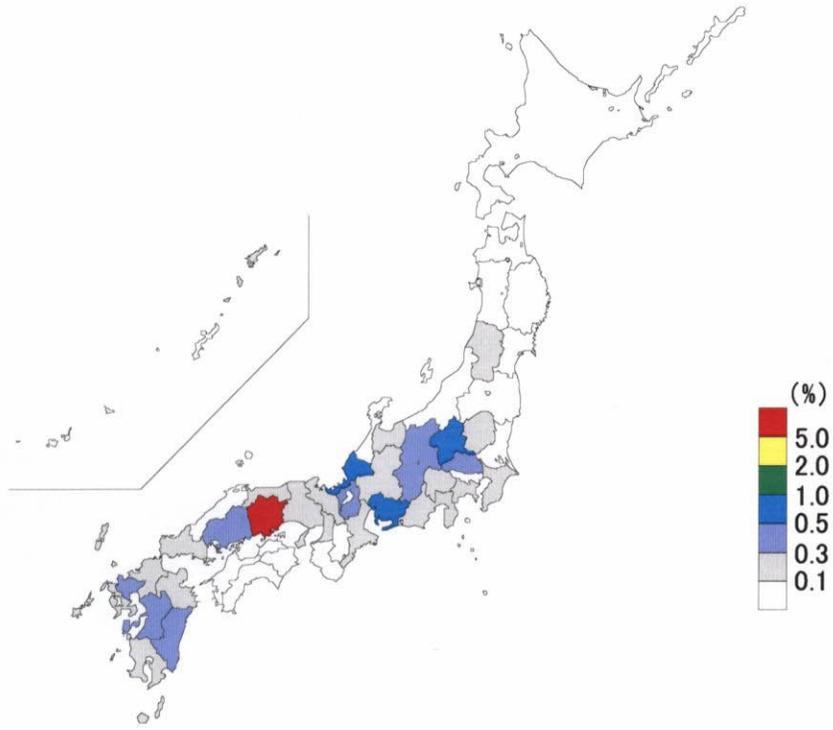


Fig.序-3-1 各都道府県の稲作面積に対する直播面積の割合（1995年）

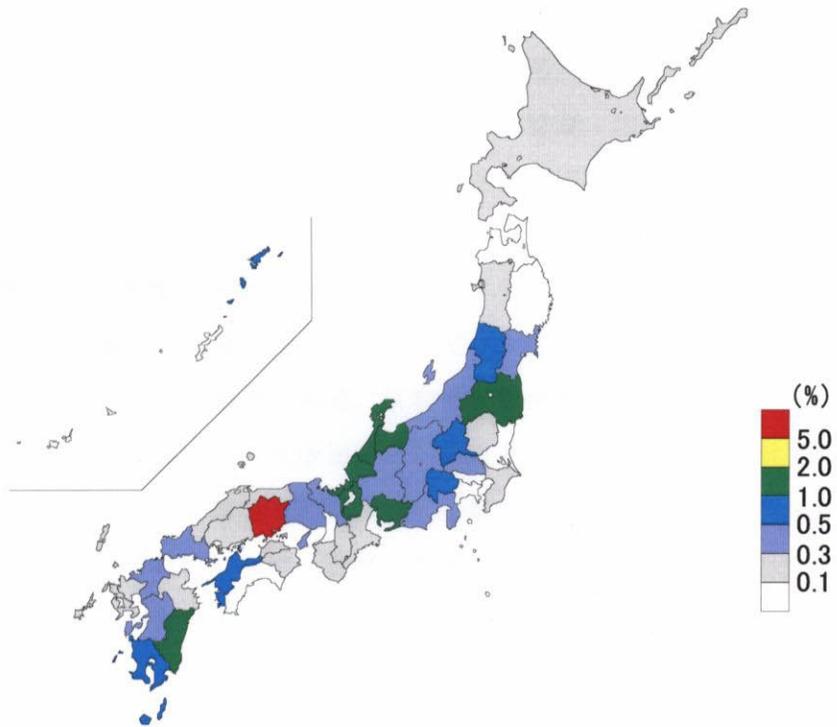


Fig.序-3-2 各都道府県の稲作面積に対する直播面積の割合（2001年）

序.2 研究の目的

序.2.1 日本型直播について考える上での論点

ここまで述べてきたように、直播は主として稲作の省力化・低コスト化の観点からその需要を持ち、また普及が期待されている。そして実際に普及は稲作が盛んな地方において進みつつある。しかしながら、その面積は現時点では少ない。

さて、直播の普及について考える際には、その需要の存在についてと、収量の低下を如何に扱うべきで、またそれに如何に対処できるか、といった2つの論点が挙げられる。

まず1点目として、ここまで述べてきた直播の需要は我が国の稲作の行く末を見てのものであり、全体的な傾向としてあるべき方向を論じたまでにすぎない。しかし、実際に直播の普及の可否や技術の実施について考える上で、最も基本となるユニットは個々の農家である。果たして農家のレベルで見た際に、すべての農家が経営的な観点から、直播の導入に需要を有しているのだろうか。すなわち、如何に直播に移植に比した利点があるといっても、その利点を生かす効果がなければ、その農家が初期投資や技術習得の困難を押し延ばしてまで新しく困難な技術を導入することは考えにくい。さらに前述のように我が国には零細分散錯圃の特性ゆえに土地生産性を軽視できないという特殊事情がある。そこで、そうした事情下での個々の農家に対する直播の需要について明確に整理・把握する必要がある。またそれに先だって、直播の普及に関する現状を詳細に把握することが必要である。

第2の点として、直播は移植栽培に比べて面積あたり収量は低下傾向にあり、また安定しにくい傾向にある。この点については、作物学を中心として様々な対応が取られており、また除草剤の発達、酸素供給剤の被覆や落水出芽法といった特殊な技術の開発・普及によって改善傾向にあるとは考えられる。だが、そうしたイネの生育を支えるべき基盤である水田の立場からは、直播イネの生育という観点からの検討は為されていない。直播に関する農業土木的観点からの既往の研究は、移植栽培に比べての要水量の変化に関するもののみである。そこで直播における収量低下の問題に対して、水田工学的な対応の可能性についての検討が必要だと考えられる（既往の研究については本論文1章で詳述）。

序.2.2 研究の目的

以上を踏まえ、本研究は近い将来における日本型直播稲作の普及を視野に置き、水田工学的な立場から以下の2点を目的として実施する。

第一の目的は、日本型直播の現状と需要を把握することを目的とする。具体的には、日本型直播の面積変化と技術進捗との関係について、および個々の農家の省力化の必要性に注目しながら直播の需要の有無について整理する。

第二の目的は、我が国では適地幅が広い湛水直播の中でも、特に省力性が高い湛水土壌中散播に注目し、その収量低下の抑制に対する水田工学的対処の可能性について検討する。

序.3 研究の構成

本研究は序章、1章から7章、終章の、計9章にて構成される（Fig.序-4）。

本章（序章）にて、本研究の背景と目的を提示した。

1章では日本型直播稲作に関する既往の研究、並びに第二の目的において大きな意味を占める田面起伏、均平精度に関する既往の研究について整理する。

2章、3章が第一の目的に相当する。2章では文献調査および農林水産省のデータを用いて、過去30年程度の日本型直播の普及の動向について概観した上で、我が国における直播普及の現状について評価する。またそれに併せて従来の直播の普及度の評価法についてもその是非と限界について言及する。続いて3章では、稲作を省力化する際の目的に着目して農業経営を類型化し、その各類型ごとに直播の需要について論じる。また農家が直播の導入を判断する過程について整理し、直播導入のための課題・問題点について把握する。さらに直播導入の経緯に着目して事例地区を選定し、各地区への聞き取り調査の結果よりそれぞれの特徴を整理する。以上を通じて、日本型直播の営農上の需要と現状について明示する。

4章から7章が第二の目的に相当する。4章にて直播における好適な苗立密度について検討し、また苗立密度が過疎となる箇所が補植を要するほどの範囲に拡大することが、直播が移植に比べて収量が低下する理由のひとつであること、またそのような箇所は田面起伏に強く影響されることを指摘する。続いてそうした箇所を回避する観点から、以降の章では湛水土壌中散播における種子の埋没の可

否，およびその制御に対する田面均平を主とした水田管理の影響について検討する．5章では現地試験で把握した代かき後の水田における土壌硬度の変化および分布について示す．6章では表面土壌硬度や湛水深，種子の質量や落下高さなどによって種子埋没深を制御する可能性について実験によって検討する．以上の結果を用いて7章にて田面均平水準に着目した湛水土壌中散播での埋没深制御に関するモデルを作成し，それを用いて水田管理による埋没深制御の可能性について考察し，埋没心制御の観点からの田面均平精度基準について言及する．

以上の検討を通じて，終章にて結論を示す．

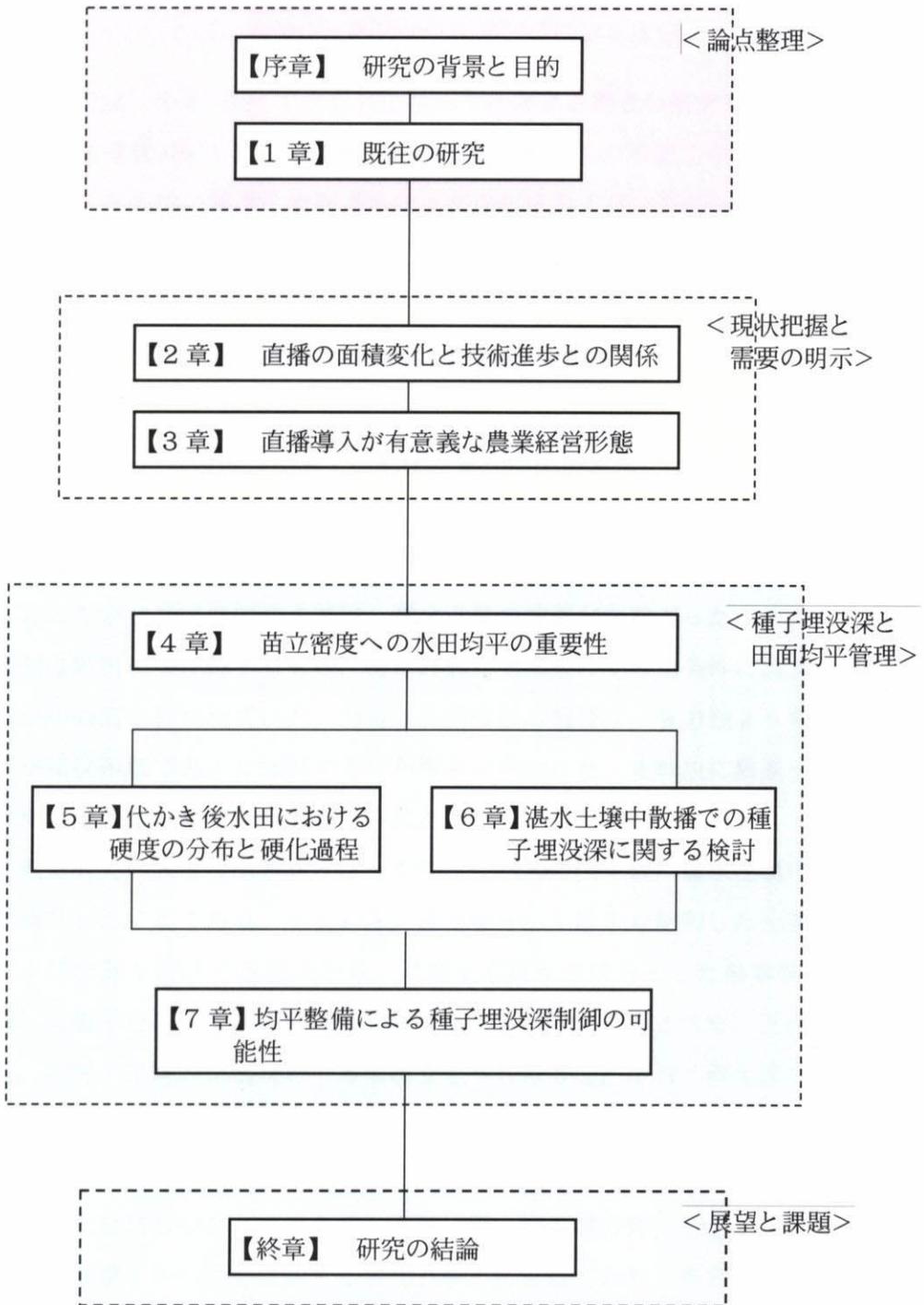


Fig.序-4 本研究の構成

(序章 おわり)

1章 既往の研究

本章では、まず1節にて日本型直播稲作に関する既往の研究について整理する。また本研究4章以下では直播における収量低下への水田工学的対処について論じるが、その際に重要な着眼点となる田面起伏および均平精度について、その既往の研究を本章2節にて整理する。

1.1 日本型直播稲作に関する既往の研究

1.1.1 日本型直播稲作に関する既往の研究の主な流れ

前述のとおり我が国においては、気象条件などを鑑みれば湛水直播の方が普及・定着しやすいと考えられる。

ところが1970年代前半までは、湛水直播の技術が未熟だった。そのため当時の研究は乾田直播に関するもの、特に好適な気象条件や栽培条件に関する研究・報告が中心的に行われていた。当時は乾田直播の需要は、省力性よりも代かき用水量が確保困難であった地域で生じた場合が多かった。それ故に農業土木の分野でも用水量関連の研究が幾例も見られた。

直播研究の大きな転換点となったのは、1970年代中盤に湛水土壌中直播の手法が確立したことである。すなわち、湛水中もしくは水分飽和した土壌中での発芽および出芽を促進する観点から、過酸化石灰を主成分とした酸素供給剤^{*2-1}を被覆した種子を湛水土壌中に埋没播種する直播手法が考案された。三石（例えば三石，1975）は過酸化石灰のイネの出芽性への寄与を、中村（例えば中村，1978）はその種子への被覆手法を検討した。こうして確立された「酸素供給剤を被覆しての湛水直播手法」が「湛水土壌中直播」と呼ばれている。これは日本型直播稲作の大きな特徴のひとつである。それ以降、作物学分野、土壤肥料学分野における湛水直播イネの生育に関する研究が多く行われており、今日に至っている。

一方、乾田直播については、湛水直播に比べれば初期生育そのものは確保しやすいことから、今日では除草法に関するものが主流であり、それも湛水直播の研

*2-1 今日では商品名：「カルパー16粉粒剤」として市販されている。そのため、酸素供給剤は一般に「カルパー」と呼ばれている。

究に比べれば明らかに少ない。

これらに加えて、直播を組み入れた農業経営に関する研究が近年見られるようになってきている。

以上のような日本型直播に関する既往の研究は、大きく2つに分けることができる。1つが、生育や収量に関連するものである。品種改良や好適な気象条件、水管理や施肥、播種方法などといった栽培管理に関するもの全般がこれに位置づけられる。もう1つが、直播を取り入れた稲作経営に関するものである。そしてこれらの他に海外事例の報告が行われている。

以下、生育・収量に関するものを、直播イネの生理や栽培技術に関するもの（主に作物学の分野）と、基盤条件に関するもの（主に農業土木分野）にわけ、これらと農業経営学、そして海外事例の4項に分けて既往の報告について整理する。

1.1.2 湛水直播でのイネの生育に関する既往の研究

この点については作物学が卓越しており、それを補佐する技術が主に農業機械学の観点から開発されている。また直播の栽培の好適条件には地域性が大きく寄与することから、36都道府県（全国直播稲作推進会議調べ、2002年3月現在）で農業試験場などによって様々な試験研究が行われている。

前述のとおり、我が国においては乾田直播より湛水直播の方が適地が多く、普及の可能性が高い。そのため、湛水直播の収量の安定的確保に向けての湛水条件下での生育条件に関する検討が多く行われてきている。

直播イネの面積あたり収量は、播種密度の他に、発芽および出芽・苗立ち率（すなわち初期生育）によって決まる苗立密度と、生育中期以降の倒伏に大きく影響される。出芽・苗立ち率には前述の酸素供給剤と、播種深度が関与する。以下、これらを順に見ていきたい。

1.1.2(1) 苗立密度

姫田（1995）は『直播稲作への挑戦 第1巻』（櫛淵監修）において、1994年時点までの各地での試験研究を含む諸文献を悉皆的に整理している。そこで本論文ではそれ以前の報告については、特徴的な文献を除いてこの姫田の整理を引用することとする。

姫田（1995）によると、湛水条播、湛水点播での苗立密度の適正範囲は50～150本 m^{-2} 、湛水散播では、寒地・寒冷地北部で200本 m^{-2} 以上、寒冷地南部・温暖

地では50~150本 m^{-2} 、暖地では50~100本 m^{-2} であるとしている。またそのための播種量は、北海道では10kg $\cdot 10a^{-1}$ 、その他の地域では2.5~4kg $\cdot 10a^{-1}$ としている。

佐々木ら(1999)は最高分けつ期ごろの個体当たり茎数が苗立密度と有意な負の相関関係を示すことに着目して、穂数500本 m^{-2} (有効茎歩合65%)を確保することを前提に、最大分けつ数にもとづいて苗立密度の下限値を解析し、24~46本 m^{-2} という結果を得ている。なお、佐々木らはこの結果について、従来の研究と相違ない値であるとの評価をしている。

実際の圃場では、同じく佐々木ら(1999)が大区画水田での散播イネの苗立密度を測定し、56~336本 m^{-2} (平均値159本 m^{-2} 、推定苗立ち率50%)で、その変動係数は38%だったとしている。また著者らはこれと類似した測定を行い、ラジコンヘリで散播を行った圃場の方が背負い式動力散粒機での散播を行った圃場よりも苗立密度の変動幅が大きかったことを示している(牧山ら、1997;詳細は後述)。

1.1.2(2) 初期生育(出芽・苗立ち)への酸素供給剤の関与

酸素供給剤の効果について、まずは三石の成果を概観しておきたい。

三石(1975)によると、水稻種子は水中でも一般的な播種量の範囲であれば溶存する酸素を利用して発芽し、幼芽、幼根を伸長させることができる。しかし、湛水した土壌の表面で発芽した種子は、土壌中への埋没が不十分な場合、湛水によって種子に浮力が生じ種子根を土中に侵入させることができない。その結果、浮き苗、いわゆるタコ足状態となり、「根転び型倒伏」や、生育中期以降の浮き苗による抜け落ちの原因となる。したがって幼根の土中侵入のためには、種子におもりを付けるなどによって土壌表面に固定する必要がある。そこで種子を湛水した土壌中に埋没させる必要が生じる。その際、山田(1951)などによって効果が確認されていた過酸化石灰の種子への被覆を導入した。

被覆種子を湛水した土壌中に埋没すると、50mmの深さからでも鞘葉は伸長して水中に出芽し、その後、水中の溶存酸素を吸収して本葉の伸長に至る。ところが、水中の酸素濃度が低いと鞘葉は出芽するが本葉は出現しない。したがって過酸化石灰から発生する酸素は土壌中で鞘葉が伸長することを助けるだけで、本葉や種子根の伸長には寄与するものでない。

こうした三石の研究以降もなお、湛水直播された種子の発芽・出芽・苗立ち特性と、湛水条件下における土壌中の酸化還元状態との関係についての研究が行われた。

出芽・苗立ちの不安定性について、萩原ら（1986）は種子に被覆した酸素供給剤の近傍で土壤還元が起こることを示した。また萩原ら（1990）は、その還元化の主因が発芽力、すなわち胚の成長活動などと考えられることを明らかにした。さらに萩原ら（1990）は、被覆剤の近傍で起こる還元は、発芽に阻害的に働く可能性は小さい一方で、出芽率低下の有力な原因となることを指摘した。

山内（1997）は酸素供給剤の苗立ち改善に関する過去の報告から、圃場試験では催芽種子の苗立ち率を16%改善しているにすぎないことを指摘している。また、イネは生得的に嫌気条件下の土壤で苗立ちできる生理特性を持っているため、酸素供給剤を利用した土壤播種では、イネの特性を利用していないと指摘している。こうしたことから、資材費、被覆作業等の労力を必要とする酸素供給剤の代わりに、代かき水田における土中播種は嫌氣的な土壤中に播く技術を開発することを提案している。

1.1.2(3) 湛水直播における好適な播種深度

湛水直播での適正な播種深度は、姫田（1995）の整理によれば、寒冷地や暖地の早播では0.5～1cm、暖地の普通期播では1～2cmとされる。湛水散播では埋没深が確保しにくいいため、寒冷地では発芽・苗立ちの安定化をもたらすが、その反面、浮き苗や転び型倒伏を引き起こす。特に不埋没の場合にはこれらばかりでなく鳥害に遭う原因となる（例えば牧山ら、2000）。

過酸化石灰被覆には、酸素供給剤としての効果に加え、もう一つの効果として、散播時に種子の土中埋没を促進するための重み付けの意味がある。井村ら（1983）は、被覆種子にさらに風乾土壤を被覆したペレットを用いての湛水土壤中散播手法を提唱した。

それを応用して、ヘリコプターを用いた湛水散播についても各地で試験研究が行われた。三石・井村（1980）はそれをとりまとめているが、その中で好適なヘリコプターでの散播における好適な播種深度が得られる土壤硬度について、ゴルフボールを用いた評価法を提案している。すなわち、ゴルフボールを1mから落としたときに、ボールの上端が土壤表面と同じ高さに沈むことで評価する土壤硬度が適当だとしている。この評価法は「ゴルフボール貫入深」と呼ばれ、「下げ振り貫入深」と並んで近年も用いられている（例えば農業研究センター、1997）。

三石（1975）では、湛水土壤表面播において、種子根が伸張する時期に排水し、浮力を排除することによって、根の土壤中進入を促進する方法を提示している。三石はこの手法を「芽干し」と呼んでいる。近年では還元化の防止の意味合いも

あって、湛水土壤中直播においても出芽時期の落水が行われ、また乾田直播でも酸素供給剤の被覆が行われる場合が少なからずある。特に前者は「落水出芽法」と呼ばれ（例えば柳澤，1996）、今日の我が国における湛水直播の一般的な手法になった。

播種深度制御の観点から、湛水直播での播種の方法については様々なものが検討されている。今日我が国で行われている湛水直播の播種方法は、大きく分けて散播、条播および点播の3種類に分けられる。このうち点播は1996年に九州農試で開発された打ち込み点播機を用いた最も新しい手法であるが、これが最も耐倒伏性が強いとされている（例えば尾形ら，1998）。吉永ら（2001a）は点播イネは散播イネに比べて有効茎歩合が高く、押し倒し抵抗値が顕著に大きいことにより、稲株の耐倒伏性が強化されることを明らかにした。また吉永ら（2001b）は播種深度について、点播を行った場合には、散播を行った場合と比較して播種深度が浅くなりにくいとともに、播種深度が浅くなっても耐倒伏性は湛水散播に比べて非常に高いことを示した。

1.1.2(4) 中期以降の生育阻害要因

直播イネは移植イネに比べて耐倒伏性が低い。それに対し、吉永ら（2002）は緩効性肥料を用いた後期重点型の施肥を行うと、生育初期の肥効が小さいために分けつ速度が小さくなること、最高分けつ期から幼穂形成期までが短くなり、移植栽培に類似した生育がみられることを示した。また、後期重点施用を行うと桿長の伸長に伴う倒伏が危惧されるが、移植栽培と比較して桿長に対する施肥法の影響は認められず、倒伏程度にも差が生じないことを示している。

1.1.3 経営学分野の既往の研究

農業経営学分野の研究は、大きなものが2つ挙げられる。まずひとつが松田ら（1996）によるもの、もうひとつが小室ら（1999）によるものである。いずれも直播導入による経営効果、およびその定着のための条件について論じている。しかし、これらは視点を若干異にする。

まず松田ら（1996）は、各地方ごと（東南アジアを含む）、ないし各県ごとに事例を手広く列挙し、その上で10章（執筆：大谷四十六）にて、直播導入の経営的意味を論じている。その際に、経営上でイネを主にしているか否か、経営規模が大中小のいずれかで農家を8類型に区分し、それぞれについて導入目的と経営の課題とをアンケートによって整理している（Table 1-1）。

Table 1-1 直播導入農家タイプ別直播導入の目的と経営の課題
(大谷, 1996より引用)

農家タイプ	直播導入の目的タイプ	経営の課題
稲作中心・大規模 (専業)	低コスト化(3) 省力化と低コスト化(3)	稲作所得の向上
稲作中心・中規模 (専業, 1兼)	省力化と低コスト化(5) 省力化(2) 低コスト化(2)	農業労働の苦痛からの解放と所得 の増大(専業) 稲作所得の増大(1兼) 農業労働の軽減(1兼)
稲作中心・小規模 (専業, 1兼, 2兼)	省力化(17) 省力化と低コスト化(6) 省力化と労働分散(6)	労働の苦痛からの解放(専業, 1 兼) 農業労働の軽減(2兼)
稲作が主で他作目が従・ 大規模(専業)	労働の分散(2)	従作目との労働競合の回避
稲作が主で他作目が従・ 中規模(専業)	省力化と低コスト化(3) 低コスト化(2)	稲作あるいは従作目の所得増大
稲作が主で他作目が従・ 小規模 (専業, 1兼, 2兼)	省力化と労働分散(5) 省力化(3)	農業労働の軽減(専業) 稲作と従作目, 農業と兼業の労働 配分(1兼) 農業労働の削減(2兼)
稲作が従で他作目が主・ 大規模(専業)	省力化, 低コスト化, 労 働分散 省力化と労働分散, 低コスト化と労働分散	主作目と稲作の労働競合の解消
稲作が従で他作目が主 ・小規模(専業, 1兼)	労働分散(4) 省力化(2) 省力化と労働分散(2)	農業労働の軽減(1兼) 主作目の所得増大(専業, 1兼)

注：1) 農家タイプの()内は, 含まれる農家の専業, 兼業別を示す。

2) 直播導入の目的タイプの()内は事例数を示す。

3) 経営の課題の()内は, 各々の課題の専業, 兼業別を示す。

対して小室ら（1999）は、全国から先進的・特徴的な事例を選出し、如何にしてその事例地区において直播が定着に至ったかについて、農業研究センターを中心として調査した結果をまとめたものである。同じく農業研究センターが1997年に整理した「日本型直播稲作導入指針」の延長上に位置づけられるものであろう。10章（執筆：梅本雅）において、定着条件について検討する際に農家の直播導入への意志決定過程に重点をおいている点は特徴的である（Table 1-2）。しかし、課題整理を主な目的としているためだと思われるが、全体を通じて視点が散逸している。

なお、著者もこの論点について検討している（牧山ら，1999；牧山ら，2000）。前者における分類の際の視点は松田らのものに近い。また後者においては判断過程を論じており、その意味では小室らの視点到近いが、著者によるものはより技術面を重視している。これらの詳細については3章にて論じる。

Table 1-2 新技術の経営への導入・定着過程とその規定要因
(梅本, 1999より引用)

導入定着過程			
意思決定等の段階	技術開発段階	経営者による採用(試行)段階	経営への定着段階
新技術の導入・定着過程の主体的規定要因	技術的 条件	技術の安定性 ・気象条件, 土壌条件等との適合性 ・水利条件, 水利慣行との適合性	・技術の安定性 ・技術適用の容易さ, 標準化の可能性
	経済的 条件	経営的効果の発現可能性 ・技術導入の緊急性, 重要性 ・技術導入に当たっての初期投資の必要性 ・生産要素の相対価格	・経営目標への適合性(経営的効果の存在)の度合い ・技術導入効果の相対的大きさ
	主体的 規定条件	・技術導入に当たっての心理的・精神的負担 ・経営者の意識や発想パターン ・農民の文化的な選好様式	・経営者の技術水準 ・経営者の管理能力(情報収集能力・問題解決能力)
	環境 条件	・技術情報の伝達体制 ・伝達される情報の内容 ・社会経済的環境(労働市場の展開度合いや高齢化の進展等)	・技術の指導体制 ・地域農業の組織化の状況(情報交換、土地利用・作業調整組織の形成など)

1.1.4 農業土木分野の既往の研究

ここまでに見てきたとおり、作物学的に見た初期生育の安定化に関する研究は進展しつつある。しかし、その実現化のためには水田基盤整備の側からの検討が不可欠である。

ところが、先に結論を言えば、以下に示すように農業土木分野からの直播の研究は極めて少ない。そのため作物学などの分野において進展しつつある初期生育安定化のための技術に対して、水田基盤の観点からの十分な回答が用意できていないのが現状である。

以下、時代順に見ていきたい。

1.1.4(1) 1990年以前の農業土木分野の研究

1960～1970年代には、乾田直播水田の特性に主眼をおいた研究が見られる。

増島（1966）のものが土層に着目した研究ではごく初期のものにあたる。ここでは乾田直播水田の減水深の増大に対して、耕起法を異にした水田での降下浸透の変化と土壌構造との関係について測定し、盤を破碎したプラウ耕での浸透量の大幅な増加、ロータリー耕での増加と不安定さを示した。また移植田では作土層で大きい動水勾配が乾直田では耕盤層で大きいことを示し、これは代かきの有無が関係していることを指摘した。

川崎（1975）は乾直田の減水深の大きさについて、作土内の水分の横方向の動きによるところが大きいとしている。さらに川崎（1977a）は乾直田の方が落水後の地耐力が勝ること、川崎（1977b）は碎土性が高いことを述べている。

1980年代には、直播での栽培や圃場条件について直接論じたものは見られないが、その時代の特徴として、大区画化圃場整備や水田の汎用化に関する研究の中に、キーワードとして直播が絡められている報告が何例か見られる（例えば富田ら、1989）。

1.1.4(2) 1990年以降の農業土木分野の研究

1990年代以降は、不耕起乾直における土層の変容に関する報告（長期不耕起栽培圃場研究グループ、1994；石橋、1998）が見られるが、その着眼点は直播に関するものというよりは、不耕起水田を主眼に置いている。

1990年代以降、農林水産省が水田用水基礎緒元調査委員会の一環として全国の乾直水田の水収支を測定した。その流れで坂田ら（2000）が大区画水田での直播と移植の水収支に関する事例調査結果を報告した。それによれば、i) 灌漑初期には直播は移植と比較して多量の水を必要とすること、ii) 湛直での灌漑初期の

放水が多くなるのは、直播の播種適期と用水量計画のずれが原因の一つであること、iii) 灌漑普通期では乾直では代かきを行わないために移植に比べ浸透量が多くなる傾向がみられ、湛直では年や圃場ごとの変動が大きくなること、iv) 移植と湛直の減水深は計画減水深の範囲内に収まるが、省力化に伴う栽培管理用水の発生を考慮すると、用水計画に栽培管理用水量を別途上乘せする必要があること、v) 直播栽培導入による有効雨量への影響は軽微であることが示された。

また坂田ら（2001）ではより詳細に、灌漑普通期においては移植と湛直では生育ステージごとの水需要変化に類似性がみられたのに対し、乾直はこれらと異なる傾向が見られること、中干し前後の減水深変化から、湛直は移植と同様の水管理により栽培できると考えられることから、乾直は水需要の時系列変化や必要水量が移植と大きく異なるため、導入してから定着するまでに乾直の方が時間を要すると考えられることを示した。

同じく水田用水基礎緒元調査において、李ら（2003a）は不耕起乾田直播を実施することによる減水深の変化について岐阜県巣南地区を対象に調査した。その結果、乾直水田は移植水田の3.5倍の減水深を有することを示し、その要因としてシロカキや畦塗りの省略を指摘した。また数量化I類を用いた分析から、乾田直播田での減水深は水田内の湛水深の管理や排水路水位に強く影響される傾向を見た。また李ら（2003b）は坂田ら（2002）の視点に類似して、乾田直播と移植の水田用水量の差について3年間の調査を行い、乾田直播田の初期用水量は浸透強度に影響されること、また乾田直播水田の普通期用水量は無代かきゆえに蒸発散浸透量が増大するため、移植水田の約2倍の値となることを示した。このことは湛水深の変動を大きくし、降雨有効化率や栽培管理用水量を変化させる要因となっていることを指摘した。

さて、以上は主に用水の観点から見たものである。これに対して直播に適合した基盤条件に関するものとしては、駒村ら（1998）は乾田直播に適応した水田の整備水準、特に均平度や用排水および地下灌漑施設などの整備について千葉県米本地区を事例とし、圃場の均平と不陸修正、土壌の碎土率、圃場の用排水管理の迅速化などの点について適応性を精査した。長野間（1998）は特に不耕起乾田直播に着目して、そのための土壌物理的課題を整理している。足立（1993）は、先述の佐々木ら（2002）に一部類似しているが、湛水土壤中直播での均平精度に基づく湛水深と水稻生育との関係について、①初期生育において湛水深が深いとイネはひ弱で徒長となる、②中期以降は湛水深の影響が少ないが、湛水深が深い方

が穂数が少なくなる傾向がある、③均平精度の違いによって、湛水深に加えて作土層の厚さが異なり、それがイネに影響を与える、の3点を示した。

さて、著者は牧山・山路(1997a)で苗立密度の不均一性について言及した上で、発芽・苗立ち率の重要性について指摘した。また牧山・山路(1997b)にて水田工学の観点から直播に関する論点を整理し、特に直播導入のための水田管理水準について仮説的に提示した。そしてそのうちの湛水土壌中散播の埋没深制御の可能性について、牧山(2002a)、牧山(2002b)にて示した。これらのうち、前2者については4章で、後2者については5章から7章で詳細に述べることにする。

1.1.5 海外の事例

1.1.5(1) アメリカ合衆国の事例(秋田, 1995)

アメリカ合衆国の稲作は直播による大規模経営である。大型機械等が効率的利用され、また気象的・土地条件的に適地のみで栽培されていることから、生産コストも日本の約1/13程度である。

水田地帯は広大なミシシッピ、サクラメント川などのデルタ地帯にあって、耕土層も厚く、漏水は小さく、耕地の傾斜も小さい。そのため基盤整備は技術的にも容易で、しかも安価でできる。圃場整備はレーザー均平が一般的で、等高線に沿った不整形の畦畔に囲まれた水田が多い。カリフォルニアでは矩形の大区画水田へと基盤整備が進みつつある。

稲作地帯のうち、カリフォルニア(軽飛行機による湛水散播)では気象的に稲作北限に近いことから、耐冷性の強い日本型の品種を主に用いている。稲作期間の降雨量は約50mmと少なく、日射量が著しく多いうえ、台風等の気象災害も少ない。また乾燥地であることから病虫害も少ない。そのために9t(籾重)/ha以上の単収が得られている。

これに対し、南部(乾田直播)では稲作期間の降雨量が700~1000mmと多く、日射量が日本と同じ程度であるうえ、温度が高く、日較差も小さく、病虫害も多い。すなわち稲作期間の気象はカリフォルニアほど恵まれてはいない。また、輪作が基本とされ、収量は6.5t(籾重)/ha前後である。

1.1.5(2) オーストラリアの事例(滝田・田淵, 1995)

オーストラリアでの稲作のほとんどはニューサウスウェルズ州のリベリナ地方(南緯35度前後)で行われている。リベリナ地方は温帯に属し、年間を通じて降

雨が認められるが、平均年間降雨量は406mmにすぎない。マランビジー川とマレー川に取水域を持つ灌漑事業により、1924年から稲作が可能になった。

オーストラリアの稲作は、とりわけ環境が似ているカリフォルニアをモデルにしており、①大規模機械化、②品種は日本型の中粒種を主体、③日射量に恵まれた高多収性、④生産量の70%以上を輸出する輸出依存型に特徴づけられる。

栽培法は基本的に輪作であり、一般的な輪作形態は、豆科の牧草を3年間栽培して土地を肥沃化した後に稲を2年続けて栽培し、ついで1年間休閑した後、7年目に小麦などの冬作物を栽培する。このため、水田は畑の中に孤立して作られ、わが国に見られるような田園地帯の印象はまったくない。

播種様式は乾田直播、湛水直播、ソッド播種（短く刈り込んだ牧草の中に条播する一種の不耕起播種）の3通りの方法があるが、飛行機播種による湛水直播が全体の90%を占めている。

湛水直播は、代かきを行わず、整地し浅水を入れた後、鳩胸から発芽状態の籾を直播する。播種量は125～135kg/haで、苗立ちは150～300本/m²を目標にしている。わが国で認められるような風による籾の移動や鳥害はほとんど無く、圃場が均平であれば苗立ちは一般に良い。

収量は、日射量が多く気温の日較差が大きい気象条件に恵まれ、収量（籾）は、農家レベルで4～12（平均8）t/haである。農家の収量差の大きい原因は第1に規模が大きいため管理が十分にできないところもあるためと思われるが、次の7点が主な減収要因となっている。①圃場造成の良否、②播種期の適否、③苗立ちの良否、④除草剤・殺虫剤使用の適否、④施肥量および追肥時期の適否、⑤水管理の適否、⑥収穫期の適否。

1.1.5(3) イタリアの事例（工藤，1995）

イタリアでの稲作は、用水の関係から北部のポー河の中流域、ベルチェリーとノバラ、パピアとロンバルディアの2地区に94%が集中している。この地域は工業都市トリノと金融商業都市ミラノのほぼ中間に位置しており1960年代以降急速に両都市が経済発展したので、農村部から大量の農業労働者がこれらに流出した。従来、水稻栽培面積の約40%は主として労働配分と通水時期などの関係から手植えによるものであったが、この栽培様式に必要な季節雇の田植、除草、収穫の労働者を集めることができなくなり、省力の直播に全面的に移行せざるをえなくなった。播種期である4月下旬の気温がまだ低いいため、湛水直播が選ばれた。この結果、1972年以降は移植による水稻栽培を全く見ることができなくなった。

労力不足に対応してトラクタの大型化と、レーベラ、ブロードキャスト、コンバインの普及が進展し、ha当り稲作所要労働時間は1960年の移植様式の742時間から1980年の直播様式の50時間に大きく減少した。その結果、従来、雇用労働は田植、除草、収穫作業に使われていたが、もはやその必要はなくなった。そのうえ、台湾やアメリカから種籾を導入して機械化に適応した新しい品種を育成し、またそれに対応した栽培法を開発して、これらを農家に普及した。これらの結果、水稻の栽培面積がその後216千haに拡大し、収量はha当り5.5～6.7tに増加安定した。

なお、1982年当時日本から田植機を輸入して稚苗移植の試験を実施したが、育苗に多くの労働を要し、また欠株が多く発生したためこれを中断したので、田植機による移植様式が普及するに至っていない。

1.2 田面均平に関する既往の研究

1.2.1 田面均平に関する研究の区分

田面を均平にすることは、主に次の2点が目的となっていた。すなわち、1点目が水稻の生育を安定化させる目的、2点目が地耐力の確保などのための地表排水の迅速化、確実化を目的としたものである。

1点目については、近年、佐々木ら（2002）は水田内の田面の高低が直播水稻の初期生育、特に分けつ出現に及ぼす影響について作物学的見地から研究している。大区画水田での調査の結果、草丈は田面の高低の影響を受けやすく、また分けつは低位節ほど出現率が低いことを示している。また、平均2.5cmの水深の場合には田面の高低の影響は第2、3節分けつ（T2、T3）にとどまったが、平均5.9cmの水深の場合には第3、4節分けつ（T3、T4）も田面の高低の影響を受けることが多く、平均標高±3cmないし±2cm以内でも田面が低い地点ほど分けつ出現率は低かった。ただし、田面の標高と分けつ出現率との相関係数は有意の場合でも0.338～0.664であったことから、他の要因を検討したところ、湛水開始時の葉齢のわずかな差異が関与していることを推察している。

これに対して2点目については、田淵らの研究が重要な発端となっている。田淵らは機械の導入の観点からの水田の排水性に関して研究した（例えば田淵、1966）が、その中で田面均平度と残留水の関係について指摘している。その後、長田（1967）、多田ら（1967）などを初めとして、他に丸山、山路、長利、清野などを中心として農業土木の分野における田面均平に関する研究が展開されてきた。

1.2.2 水田の均平精度基準

水田の均平精度基準は、土地改良事業計画設計基準（農林水産省構造改善局、1977）の「全測点の高低差は、水稻栽培上の制約から少なくとも平均標高の±5cm以内にあることが望ましい。整地工事費や経年的な田面の不等沈下などを考慮して、全測点が±10cm以内にあり、そのうち80%以上が±5cm以内におさまればよいことにする。」というものが長らく用いられていた。前節で述べた直播に関する既往の研究の多くが、この基準であったころに為されたものである。

近年になって、この基準が精緻化された。すなわち、「田面は不陸のないよう

に整地する。仕上りの均平精度は、稲作栽培上の制約と施工上、 $\pm 3.5\text{cm}$ を目標とする。心土基盤の均平は、表土戻し後の手直しができないから、田面以上の精度を心掛けなければならない。」とされている（農林水産省構造改善局，2000）。

精緻化された背景には、レーザーブル、レーザーレベラー（例えば山路，1987）の普及が大きい。今日では、レーザー発光機の作業可能到達距離が半径200～300m、水平精度が $\pm 8\sim 15\text{mm}$ の全自動レーザーシステムが開発されており、オペレータの熟練度を要さなくなってきた（藤森，2001）。

1.2.3 均平度の評価

1.2.3(1) 均平精度の評価法

山路（1989）は、水田均平精度の評価に用いられている統計的指標を以下の7つに整理している。すなわち、ア）度数分布型（山口ら，1967）、イ）変動幅（著者注；前述の土地改良事業計画設計基準（農林水産省）など）、ウ）標準偏差（著者注；例えば山路など；後述）、エ）折れ線長比（長田，1967）、オ）平均勾配（長利，1985）、カ）自己相関係数（丸山・富田，1975）、およびキ）パワースペクトル密度（並河，1970）である。いずれの指標も水田表面の凹凸を測量し、そのデータから評価がなされるが、測量点を水田全面から一様に抽出する場合と、ある測定線を決めてそこを細かく測る場合とがある。ア）、イ）、ウ）、オ）は両方のデータに適用可能であるが、エ）、カ）、キ）は後者のデータにしか適用できない。

1.2.3(2) 標準偏差を用いた均平精度の評価

山路（1989）は「全測点が $\pm 10\text{cm}$ 以内」という変動幅について、基準を満たすかどうかはデータ数に依存し、測定点を増やすほど変動幅基準を超えて不合格になる可能性が高くなることから、標準偏差を評価基準に用いることを提案している。

さらに、施工時の凹凸分布は正規分布に近いことを事例により示している。すなわち、測定データを10段階に区分したヒストグラムと理論分布である正規分布に関して、ヒストグラムと正規分布とが独立でないことを示した（ χ^2 検定で5%有意）。

すなわち、標高分布が正規分布すると見なした上で、変動幅の範囲を99%とすると、標準偏差を σmm として、変動幅を平均値 $\pm(\sigma \times 2.58)\text{mm}$ と読みかえることができる。よって、当時の均平精度基準である変動幅の平均値 $\pm 5\text{cm}$ は、標

準偏差19.4mmにはほぼ等しいことから、営農段階の水田では、均平精度の目標を標準偏差20mmにおけばよいことを提案している。

なお、この99%をそのまま用いれば、現在の均平精度基準である平均値±3.5cmは、標準偏差14mmと等価であると考えられる（例えば牧山，2002a）。しかし最近の既述でも、長利（2001）は岩手大学（1980）を引用しながら18mmを採用している。これは変動幅を95%（ $\sigma \times 1.96$ ）と考えてのものだと考えられる。また農業土木学会標準用語事典第5版（2003）でも、長利の執筆であることもあって、これを18mmとしている。また広田（2002）では「すべての測定値が±3.5cm以内に収まるか、または標準偏差20mmである」としている。このように標準偏差を用いた均平精度評価法は、今日においても基準として確立しているとは言い難い。

1.2.3(3) 傾斜の扱い

長利（1985）にて、圃場は水平なものではなく緩傾斜を有したものとする方が合理的であり、均平評価はその「圃場面傾斜」を基準として考える必要がある旨を論じている。具体的には、水準測量から得られた圃場面凹凸（みかけの圃場面凹凸）を、圃場面傾斜の成分と真の圃場面凹凸の成分に分けて評価すべきだとしている。また長利（1987）では、傾斜は短辺方向につけるのが実際的であることを述べている。

これを発展させる形で、長利（1990）では圃場を「傾斜優勢型」と「凹凸優勢型」とに分類し、均平作業の際に「傾斜修正型」作業と「凹凸修正型」作業とを適切に選択することで要望に応じた圃場型を達成できるとしている。さらに長利（1997）は、傾斜補正前の標準偏差に対する傾斜補正後の標準偏差の比を「状態指数」とし、これを水田の均平状態を示す指標とすることを提案している。これによれば、状態指数が1に近ければ凹凸優勢型、小さければ傾斜優勢型ということになる。

1.2.4 均平整備・均平管理

1.2.4(1) 圃場整備段階での均平整備の重要性

長利（1996）は、営農段階で均平作業の負担を定量的に評価するために、切盛り土量（ m^3 ）に運搬距離（ m ）を乗じた運土仕事量（ $m^3 \cdot m$ ）を指標として、圃場整備段階における均平基準を提案している。その上でこれを用いて、大区画水田における営農段階での均平作業は、30a区画水田に比べて過大な作業量とな

ること、また大区画水田における農家の均平作業の負担を30a区画水田並みにするためには、施工段階で少なくとも±3cmの管理基準値を設定することを提案している。

1.2.4(2) 営農段階での均平整備の留意点

清野ら（1998）は、整地工事によって基準を満たす均平が実現されても、土壌物理性の不均一性のために自然圧密による不等沈下によって均平精度が経年的に変化することを明らかにした。そのため施工後1～2年程度作付けした後に、必要に応じて二次的な均平作業を行うことを薦めている。

長利・矢治（2001）は、耕耘整地および代かきといった営農段階での均平作業について、走行路に沿って耕耘整地作業を行った場合の標高変化をパワースペクトルによる周波数成分に着目することで分析した。その結果、耕耘整地については作業回数を多くしても卓越周波数成分変化はみられず、短い周波数成分の寄与率が減少した。すなわち、水田表面についている細かい凹凸を取り去り滑らかな表面にする役割は期待できるものの、水田全体の標高を揃える役割は期待できないことが分かった。一方、代かきについては、意識的に土を動かす作業を組み入れることで水田全体の標高を揃える役割も期待できるものの、作業回数を増やすことでトラクターの轍が残り、その部分は乾燥が進めば沈下することを指摘した。以上を踏まえて、水田全体の標高を揃えるためには、その目的を持った均平作業を別途行う必要があることを示唆している。なお、この報告では代かき後の軟弱な表層の均平度評価の方法についても言及している点を特筆しておきたい。

長利（2001）は、大区画水田の区画形状と均平作業量との関係について、長辺長が長い場合には均平状態のわずかな差が均平作業量に大きく影響することを示している。

1.2.5 均平と排水性

田淵らによる一連の研究（例えば田淵，1966）は、イネの増産や区画拡大を背景とした水田の機械化に向けて、地耐力の向上に着眼し、湛水の残留が問題になるという点を指摘したものであった。そのひとつの着眼点が、田面の微地形と湛水の残留との関係であった。結果は、①田面の微地形が悪いために残留水が生じ、その残留水深の差により田内に乾湿の格差が生じる、②（粘土質水田では）地下浸透が期待できないために残留水深を小さくすること、すなわち微地形の改良が必要である、と整理されている（田淵，1968）。

丸山（1975）は田面の起伏・勾配と地表残留水量との関係についてシミュレー

ションを行っている。このモデルでは、水田をメッシュに切り、それぞれのメッシュに標高データを与えて、まず落水口の水位を標高と等しいと考え、その上で任意のメッシュについて隣接メッシュとの標高の高低の関係によって湛水の有無および水位を決定している。基礎的なモデルだが、地表排水溝や落水口の数や配置の効果を明示し、また長辺長はそれほど影響しないことなどを示している。なお、丸山・富田（1975）はこのモデルを転換畑の畝間残留水に適用している。また丸山・前川（1979）、丸山・前川（1980）では、有効雨量の検討においてこのモデルを活用している。

山路ら（1981）はこの丸山のモデルを「圃場面の凹凸を覆い尽くすほどの巨大降雨に適用する場合には、湛水可能量以上は単に排除すればよく、横方向の流れ・越流といった水の動きは考える必要がないので最適なモデルである」と評価した上で、小降雨の場合は適用できないことを指摘している。その上で、汎用圃場の畝間残留水に関して、降水が流動の後に最終的に水たまりが形成されるまでの過程に着目して湛水残留量をシミュレートしている。具体的には、降水は低位部に流下し、水位が上がった低位部から、越流を起こす。越流するまでの容量および越流方向は、低位部（池）を挟む高位部（鞍部）の高さと配置に関係する。そうした考えのもとで「三次元囲い込みモデル」を提案した。

以上は湛水残留に関するモデルである。これに対し岩渕ら（2001）は、水田での地表排水について、田面凹凸の影響を考慮した選択的な流れを再現する差分解析手法を開発した。

1.2.6 田面起伏のシミュレーション

丸山（1975）では、田面起伏の自己相関係数が単純マルコフに近い性質を持っていることなどを把握した上で、自己回帰方式による田面起伏の模擬発生を提起した。具体的には以下の手順による（一部は内田（1984）の整理より引用）。

ある点の規準化標高（平均0、分散1）を $Z_{x,y}$ とすれば、この点はx軸上およびy軸上の隣接点 $Z_{x-1,y}$ および $Z_{x,y-1}$ 点とある相関を持ち、しかもそれに任意の高さ（変動部分）が加わったものと考え、すなわち、

$$Z_{x,y} = \rho_x Z_{x-1,y} + \rho_y Z_{x,y-1} + \varepsilon \sqrt{1 - \rho_x^2 - \rho_y^2} \quad \dots \dots (3.1)$$

ここで ρ_x 、 ρ_y はそれぞれx軸、y軸方向の自己相関係数であり、 ε は一様乱数 Z と以下の関係を持つ、平均0、分散1の正規乱数（正規白色雑音）である。

$$Z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\epsilon}^{\infty} e^{-\frac{\epsilon^2}{2}} d\epsilon \quad \dots \dots (3.2)$$

(3.1) 式を用いて任意の点の標高を求めるには、初期値 $Z_{0,0}$ を乱数で与えて、 $y=0$ 線上の $Z_{x,0}$ はこの式に $\rho_y=0$ とおいて順次計算し、次に $y \neq 0$ の値 $Z_{x,y}$ はこの式によって順次計算する。

この際、規準化された $Z_{x,y}$ を実際の水田標高に換算するには、

$$\rho_{ea} = \int_{Z_{xy}}^{\infty} e^{-\frac{Z_{xy}^2}{2}} dZ_{xy} \quad \dots \dots (3.3)$$

を用いて $Z_{x,y}$ を一様乱数 ρ_{ea} に変換し、さらに次式

$$\rho_{ea} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_h^{\infty} f(h) dh \quad \dots \dots (3.4)$$

により、田面標高 h に変換すればよい。なお、 $f(h)$ の関数形は実測により求めた田面標高の頻度分布を用いることとしている。なお、このモデルは田面起伏を対象としているため、耕耘、代かきなどの作業は長辺方向（ないし短辺方向）に行われると考え、 x 方向と y 方向の相互相関係数はゼロであるとの仮定の上に成り立っている。

このモデルに対し、山路ら（1981）は自己相関係数に問題があることを指摘している。

内田ら（1984）はその山路の指摘について確認した上で、この丸山モデルを改良し、「画像処理の分野に用いられている分離型の共分散関数を持つ因果的確率モデル」の利用について検討している。すなわち、水田の起伏系列について分離型の共分散構造を有していることを確認した上で、斜め方向の自己相関係数 ρ_{xy} について、

$$\rho_{xy} = \rho_x \cdot \rho_y \quad \dots \dots (3.5)$$

なる関係が成り立つことから、(3.1) 式を以下のように改良することを提案している。

$$Z_{x,y} = \rho_x Z_{x-1,y} + \rho_y Z_{x,y-1} - \rho_x \rho_y Z_{x-1,y-1} + \epsilon \sqrt{1 - \rho_x^2 - \rho_y^2} \quad \dots \dots (3.6)$$

近年では、長利（2001）では、長辺方向のみだが、田面傾斜と田面凹凸とを組み合わせた田面標高を模擬発生させている。ただし、ここでは軸方向の自己相関

係数や隣接メッシュとの相関関係は考慮していない。想定した田面傾斜によって設定した標高に、想定した標準偏差の正規乱数を加算し、高低差がある範囲内に収まっていることを確認するのみである。極めて簡便なモデルと言える。

(1章 おわり)

2章 日本型直播稲作の面積変化と技術進歩

2.1 本章の目的

我が国における直播普及の現状および実態を把握することを本章の目的とする。そのために、過去から今日に至る直播面積の変化について概観し、特徴的な時代における面積変化と当時の技術進展との関係について検証を行う。さらに当時の時代背景や、試験的導入による面積の急増急減、技術がその地域に定着したと目される際の面積変動の特異性についても言及する。

本章は以下を背景とする。すなわち、従来の直播の普及に関する議論は、そのほとんどが直播技術と全国の直播面積（以下「全直播面積」）の変化をリンクさせることによって行われている。また、政策的提言も面積拡大を目標に出されている^{*2-1}。ところが、序章においても示唆したとおり、全直播面積のみへの着目では各都道府県の直播普及度が十分に把握できない。また、直播の普及度に関する唯一の指標として使われている全直播面積も、その変化の要因に関しては、特例的に県内の直播面積が多い岡山県において要因分析が行われている（山本ら、2000）以外は、全国的には田植機の普及が指摘された（武井、1984）のみで、十分に精査されていない。そうしたことから、直播の現状把握のためには、過去から現在までの面積変化について詳細に振り返る必要があると考えられる。

なお、直播面積については序章同様に『農産年報』および農林水産省生産局農産振興課『資料』から1961-2001年のデータを、また水稻作付面積と田植機利用面積率については『作物統計』から、それぞれ1961-2001年、1970-2000年の値を用いた。ただし、沖縄県の直播面積は1984-1986年に1haないし2ha記録されているだけであることから、本研究の解析対象からは除いた。

*2-1 例えば全国直播稲作推進会議の提言「直播稲作のさらなる普及拡大に向けて」（2002年3月27日；巻末資料4参照）では、「現在、36道府県において、普及目標面積の設定がなされ、それを元に平成22年度の普及目標を試算すると、5万haを超える見込み」と記述している。

2.2 全国直播面積変化の概観

2.2.1 直播面積の偏在性

Fig.2-1は、Fig.序-1（序章参照）において直播面積の変化が特徴的な北海道、東北、北陸地方および岡山県について、それぞれの直播面積が全直播面積に占める割合（以下、面積シェア）が年を追うごとにどのように変化したかについて示したものである。1960年代前半では北海道、1970年代から1990年代前半にかけて中国地方（特に岡山県）で卓越している。1990年代後半以降は東北、北陸地方で増加している。

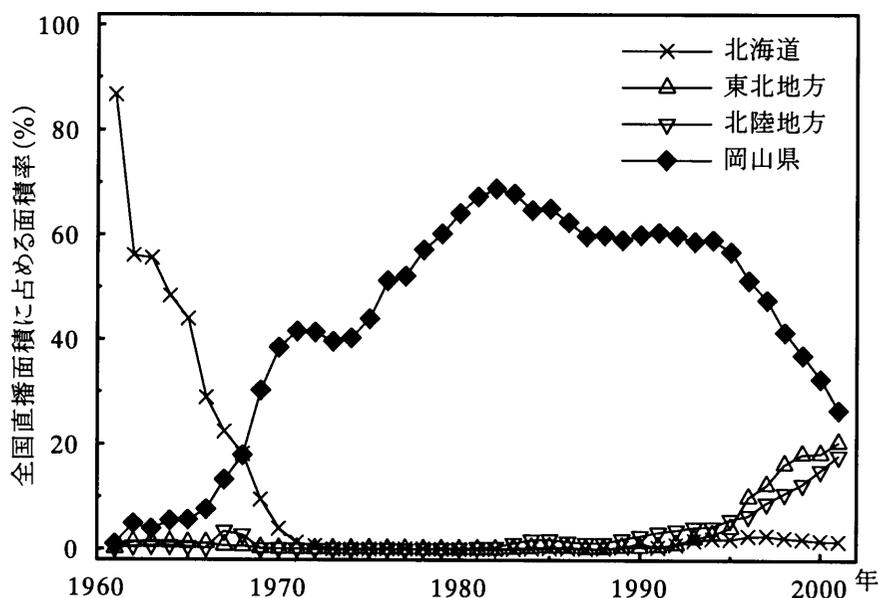


Fig.2-1 特徴的な地方および県の直播面積が全国直播面積に占める割合の推移

続いてTable 2-1には各年代（5年ごと）における各都道府県の面積シェアのうち、上位10都道府県を示した。また、全直播面積が最大だった1974年（全水稲作付面積に占める全直播面積の割合；以下、全直播率は2.07%）について、Table 2-1と同様に面積シェア上位の都道府県について詳しく見る。当時の各都道府県の直播面積（以下、県別直播面積）がそれぞれの水稲作付面積に占める割合（以下、県別直播率）はFig.2-2のとおりである。全直播率を超えているのは10県で、その面積シェアの合計は87.6%である。

これらの図表から、岡山県や愛知県などの一部の県を除いて各年代ごとに面積シェアが上位となる道県は異なるが、いずれの年代においても上位のごく限られた道県で全直播面積の大部分を占めている、すなわち、それぞれの年代において直播面積は特定の道県ないし地方に偏在していることがわかる。したがってこうした道県や地方の面積の変化が全直播面積の変化に与える影響が強いことが推察される。実際にFig.序-1を見ると、全直播面積の1974年から1975年への減少は関東・東山地方の減少が、1975年から1976年への減少は九州地方の減少が主な要因であると考えられる。

Table 2-1 全国直播面積に占める各都道府県の直播面積の割合
（1965年以降の5年ごと、上位10都道府県）

年	1965年		1970年		1975年		1980年		1985年		1990年		1995年		2000年	
全国直播面積 (ha)	30,632		30,145		51,414		19,138		12,324		8,027		7,502		8,942	
上位都道府県名 および 全国に占める割合 (%)	北海道	43.92	岡山	38.42	岡山	43.96	岡山	64.11	岡山	65.03	岡山	60.02	岡山	56.74	岡山	32.4
	埼玉	12.33	佐賀	15.03	佐賀	9.71	埼玉	5.90	熊本	4.38	愛知	6.95	愛知	4.76	福島	8.0
	岡山	5.55	埼玉	14.95	埼玉	9.08	鳥取	5.49	佐賀	4.20	熊本	3.99	福井	3.24	山形	6.2
	広島	5.18	熊本	8.17	熊本	6.35	佐賀	3.61	愛知	3.41	埼玉	3.11	山形	2.91	愛知	6.1
	山口	2.91	北海道	3.88	群馬	5.20	熊本	3.18	埼玉	2.88	広島	2.38	熊本	2.65	富山	4.8
	愛知	2.82	長野	2.73	鳥取	3.81	愛知	2.01	静岡	2.69	群馬	2.12	長野	2.40	福井	4.5
	鹿児島	2.82	兵庫	2.19	福岡	3.56	長野	1.98	広島	2.41	佐賀	2.09	埼玉	2.09	新潟	3.7
	静岡	2.31	広島	1.52	愛知	2.38	群馬	1.92	山口	1.46	静岡	1.84	滋賀	2.05	滋賀	3.1
	熊本	2.29	愛知	1.51	兵庫	2.15	広島	1.46	群馬	1.38	栃木	1.69	北海道	1.92	宮崎	2.3
	宮崎	1.83	群馬	1.45	香川	1.98	兵庫	1.42	福岡	1.27	福岡	1.51	富山	1.67	石川	1.9

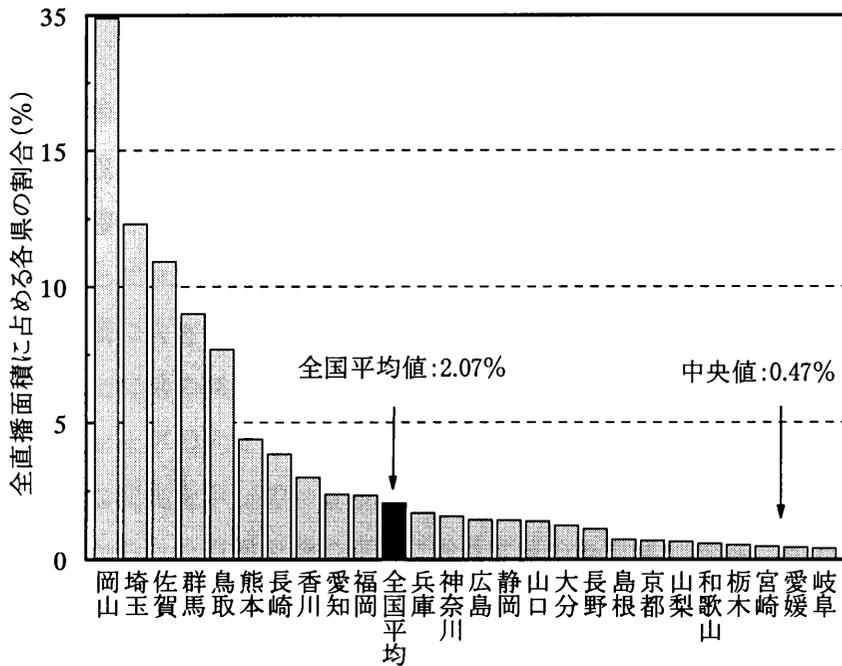


Fig.2-2 1974年（全国直播面積最大年）における各県の直播面積が全国直播面積に占める割合（上位25府県）

2.2.2 都道府県別直播面積と全直播面積との関係

面積シェアが小さい都道府県も、その直播面積の変化が全直播面積と同様の傾向を示していれば、全直播面積の傾向を分析することで特徴を捉えられる。

そこで、年代ごとの県別直播面積の変化と全直播面積の変化との相関係数を調べ、無相関検定により有意水準1%で有意と認められた都道府県数を示した（Table 2-2）。比較のために、移植栽培（以下、移植）についても同様の方法で相関関係が認められた都道府県の数を示している。なおここで移植面積は、水稲作付面積から直播面積を控除した値を用いた。また1%有意と認められた相関係数の最小値は、直播では1990-2001年の山形県で0.73、移植では1970-1979年の岩手県で0.77である。

同表より、1970年代以降の移植については、多くの都道府県の傾向が全国の移植面積の変化から把握できると考えられる。それに対して直播では、全直播面積と異なる傾向を示している都道府県が大部分である。

さらに、各都道府県の県別直播率がどの年代に最大となったかについて、地方別に集計した（Table 2-3）。なお、北海道では1935年頃に最大値を記録した（川

崎ら, 1973)。その他の地方については, 1961年以降を見る限りでは, 暖地地域(北海道, 東北, 北陸以外)では1960年代から1970年代にかけて最大となった。また, 東北と北陸地方で2000年以降に直播率が大きくなっている。このように都道府県によって直播が多く行われた時期は異なっている。そのことが, 全直播面積と県別直播面積との変化の傾向の違いに現れている。

こうしたことに加えて, 全直播面積は非常に小さいため, 1県でのわずかな増減が全直播面積に大きく影響する。具体的には, ある県で直播面積が減少しても, その減少分以上に他の県で増加すれば, 全直播面積は増加することになる。逆に言えば, 面積シェアの大きな都道府県や地方の変化に隠されて, 面積規模が小さくとも特徴的な変化を示している地域を見落す危険がある。

以上のことから, 全直播面積の変化に着目するのみでは, 各地における直播普及の動向は十分に把握できないことが指摘できる。したがって, 地方別ないし都道府県別の直播面積の変化に焦点を当てた議論が必要である。

Table 2-2 全国の移植および直播面積変化と相関関係のある都道府県数

	1961-1969	1970-1979	1980-1989	1990-2001
移植	3	31	43	45
直播	8	14	12	22

注：無相関検定により1%有意である都道府県数を示している。

Table 2-3 各年代で都道府県内の直播面積率が最大を記録した都道府県数
(1961年以降, 地方別に集計)

	北海道	東北	関東東山	北陸	東海	近畿	中国	四国	九州
1961-1969	1	0	4	0	2	1	1	1	2
1970-1979	0	0	5	0	1	3	3	1	6
1980-1989	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1990-1999	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2000-2001	0	6	0	4	0	1	0	2	0

2.3 過去の直播面積の変化と技術の発達との対応

都道府県別の直播面積の変化について検討するに当たって、過去に直播面積の大部分を占めていた岡山県が目される。そこで、岡山県（並びに沖縄県）を除く45都道府県(以下、岡山県以外)と岡山県に区分して、それぞれの直播面積の変化について見る。

2.3.1 各都道府県の直播面積変化の概観

2.3.1(1) 岡山県以外の直播面積の変化

Fig.2-3は岡山県以外と岡山県、比較のために全国の直播面積の変化について、全直播面積が最大であった1974年を100として指数化したものである。岡山県以外の直播面積は、1970年代前半には岡山県と同様に増加している。しかし、1970年代後半の減少期には、岡山県を上回るペースで減少している。その後1980年代から1990年代前半までは同程度の数値を保ったあと、1990年代後半以降に増加に転じている。こうした変化について各地方の面積変化を踏まえながら説明すると、1970年代の直播面積変化は、当時直播面積が多かった県(例えば、佐賀、群馬、鳥取など；**Fig.2-2**)で急激に増加および減少したことが背景にある。また近年の増加は東北、北陸地方の増加に対応する(**Fig.2-1**)が、詳細は次章で述べる。

2.3.1(2) 県別直播面積および県別直播率の中央値の変化に注目した検討

より全国的な変化を捉えるために、全直播率、岡山県以外の直播率、ならびに県別直播面積、県別直播率それぞれの中央値の変化を**Fig.2-4**に示す。

1960年代と1970年代の岡山県以外の直播率や、県別直播率の中央値の変化には、同様の傾向がみられる。すなわち、各年代の前半に増加した後に、後半にかけて減少しており、最大値もほぼ同値である。このことを踏まえると、**Fig.序-1**に見られる1970年代前半の全直播面積の大きな増加は、前節で述べたように限られた地域での増加に過ぎず、直播の全国的な拡がりには1960年代と1970年代では似た傾向にあったといえる。

その後、岡山県以外の直播率およびそれぞれの中央値は、1980年前半までに急激に低下し、底這いの期間を経た後、近年上昇している。一方、全国直播率は1990年代始めまで減少を続けている。これは岡山県が現在まで減少を続けていることが原因であると考えられる。したがって、実際には、1970年代前半に増加し

た直播面積は、ほとんどの県で10年ほどでなくなり、その後は試験研究を除けば、後述するように大区画水田などの一部の地域で採用されるに留まっていたと考えられる。

以上から、各地方や各都道府県別の面積変化を用いることで、直播の普及の動向がある程度詳細に把握できる可能性が示唆された。

ところで、ここで1980年代当時の農水省の直播関係の試験研究について、松田(1996)を借りて補足説明しておく。

まず、1988年度開始(5ヵ年計画)の「高生産性水田農業実証モデル事業」は、水田農業の生産コストの低減を図るため、主として湛水土壤中直播栽培技術についてそのモデル事業を行った。また同じく1988年度開始(5ヵ年計画)の「大区画水田圃場営農推進対策調査」では、大区画水田における乾田直播技術に対する機械化作業技術および大規模田畑輪換技術の検証、確立が目的とされた。

1993年度開始の「地域総合研究」の直播関連課題として、各地で湛水直播、潤土直播、乾田直播、作溝培土直播などがそれぞれ機械作業体系との関連で技術開発が予定された。

そして1994年度開始の「地域基幹農業技術体系実用化研究」における水稲直播栽培技術関連課題として、大区画・機械化作業体系を前提に湛水直播や無代かき湛水散播、不耕起直播などが取り上げられた^{*2-2}。

このように1990年前後においては、各地で様々な時限的試験研究が行われた。当時の直播面積のかなりの部分はこれらによって占められていたと考えられる。

*2-2 なお、松田は試験研究が後年のものになるにつれて地域性を考慮した微細なものになっていることに着目し、本来は粗放的なものを目指すべきであった我が国の直播技術開発を、農政が精緻な技術によって少しでも多収を目指そうという方向に進めてしまったことが、直播の普及を阻害している要因であると考察している。

こうした松田の直播技術に対する捉え方は、「我が国における直播には収量の維持も必要である」という本研究の立脚点とは大きく異なっていることに注意しておきたい。

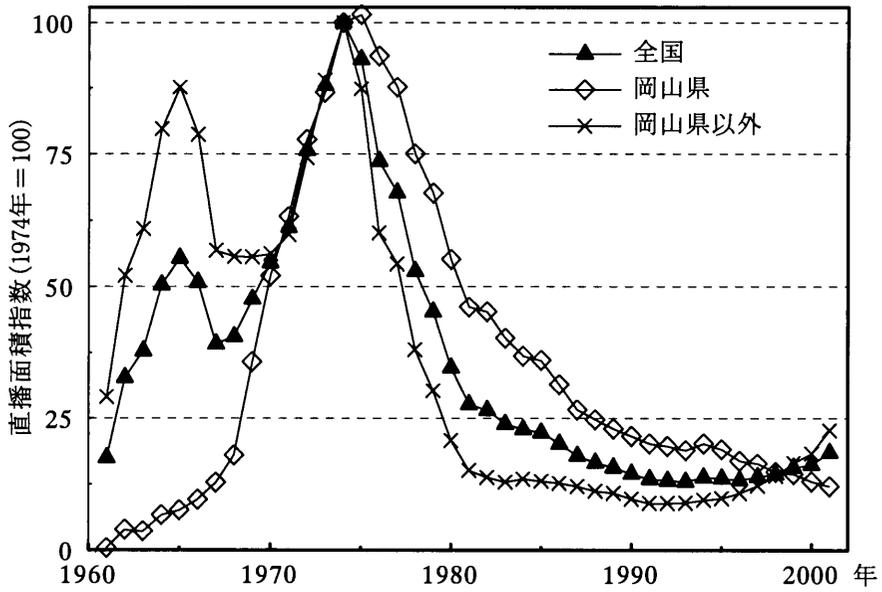


Fig.2-3 全国直播面積最大年（1974年）を100としたときの全国，岡山県および岡山県以外の直播面積の推移

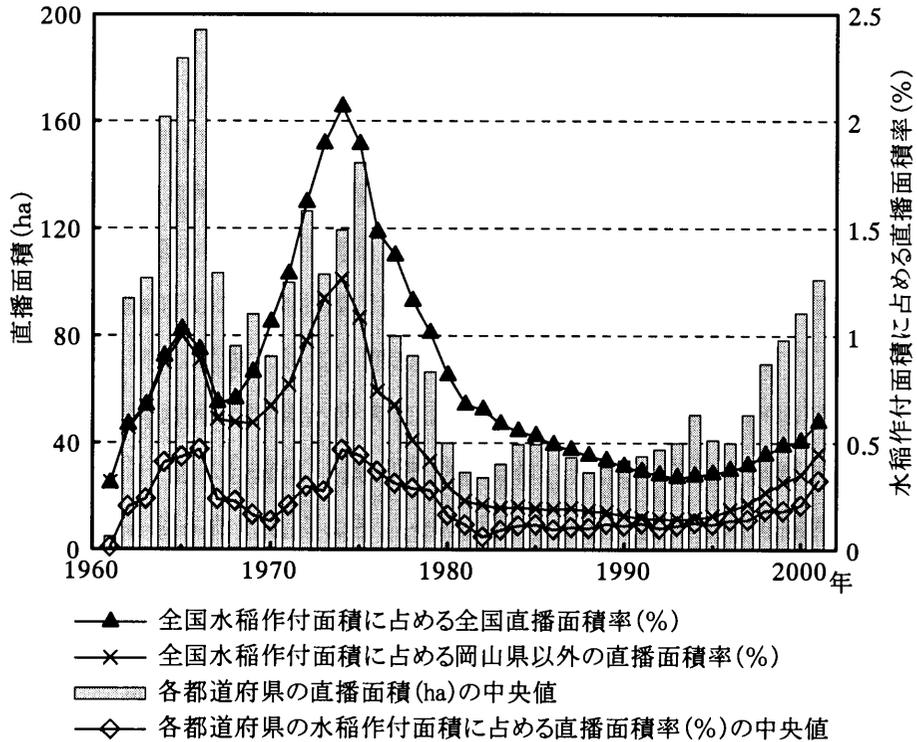


Fig.2-4 直播面積および全国水稲作付面積に占める直播面積率の中央値の推移

2.3.2 岡山県の面積変化にみる1970年代の直播技術進展とその導入過程

1970年代の岡山県は、県別直播率が最低でも20%以上と高かったことから、微細な要因での面積変化に対する影響は現れにくいと考えられる。そこで、これを用いて直播面積変化と技術進展との関わりについて検討する。

2.3.2(1) 岡山県における直播面積変化の要因

岡山県では、1975年に22,600haの直播面積を記録してからは2001年まで減少を続けているものの、1969年以降現在に至るまで全国で最大の直播面積を有しており、面積シェアも非常に大きい(Fig.2-1)。また同県の直播は乾田直播栽培(以下、乾直)がほとんどである。乾直は、その問題点である初期除草を解決するための除草剤DCPAが導入されたことにより、1964年頃から急速に普及し始めた。また岡山県農試で開発された縞葉枯病防除技術が1967年頃から実用化されたことで、面積が大幅に増加した(菅原, 1970)。さらに耕耘機やトラクターが同時期に普及したことで、碎土、整地が十分に行えるようになり、水稻の出芽、苗立ちが安定したことに加えて、播種前に雑草を防除できるようになったことが、面積増の理由の一つである(昭和農業技術発達史編纂委員会, 1993)。

直播が取り入れられたのは県の南部であるが、5月中旬から6月上旬の播種期に降雨が少なく、乾直に適している(山本, 1971)。その結果、収量は移植よりも多く、1日あたりの労働報酬も移植に比べ1.65倍であり、土地生産性、労働生産性とも移植を上回っていた(定金, 1975)。

その後、1980年代には岡山県で直播の減少は、岡山県以外に比べて緩やかだった(Fig.2-3)。その理由として、第2次世界大戦時から戦後にかけて、民間の農業研究所による精力的な指導と研究により定着が図られたことが挙げられている(橋川, 1996)。逆にいえば、岡山県以外では、農家に直播の技術的な素地がないままに導入を図ったことにより、その反動で急激に減少した可能性が考えられる。

しかし、岡山県の直播面積は1975年にピークを迎え、その後減少している。その原因の一つは田植機の普及とされている(山本ら, 2000)。それ以外の原因として、1976年の播種期に長雨が続いたことを契機に機械移植への転換が進んだことが挙げられている。その後も5月の降水量が多い年には面積が大きく減少した(山本ら, 2000)。一方、経営面では面積増加のテンポが速すぎたことにより、十分な整地作業や除草時期など、直播の特性を把握できていない兼業農家が失敗

したことが原因の一つと考えられている（菅原，1970）。

2.3.2(2) 農家の技術選択の観点から見た岡山県の直播普及過程

岡山県で直播面積が減少した理由の一つとして田植機の普及が挙げられていることを前述したが、これは他地域についても一般にいわれていることである。このことについて、農家が技術を如何に選択したかという観点から改めて検討する。

岡山県における直播面積、県別直播率および田植機利用面積率（以下、田植機率）をFig.2-5に示す。1973年まで直播率が田植機率を上回っており、1974年に田植機を使った移植（以下、機械移植）、手植えによる移植（以下、手植）と直播がほぼ3分されている。すなわち、1974年時点で、直播と機械移植に差はなく、手植からいずれかの栽培様式への転換を農家が選択することになっていた。

複数の栽培様式から一つの栽培様式を選択する場合、利点の大きいもの、あるいは問題点の小さいものが選ばれる。もしくは、栽培様式を組み合わせることによって、利点の最大化あるいは問題点の最小化を図ることになる。

直播と田植機の利点は、ともに春作業の省力化である。しかし直播作業はこの当時においても省力化ではなく多収が期待されていた。そのため、省力性を追求するなら中・大型機を主軸にした方式に切り替えるべきところを、人力用播種機段階でとどまっていた（菅原，1970）。一方、当時、田植機は2条植が主流であり、稚、中苗用田植機による栽培技術が問題を抱えながらも確立しつつある段階であった（宮沢，1976）。その後、田植機は年々性能が向上し、単位面積あたりの田植時間は1965年と比較して、1975年には50%、1981年には35%にまで減少した（佐藤，1983）。1977年頃からは乗用型も登場した。

そして収量については、直播には依然として移植に比べて苗立ち不安定、雑草繁茂といった問題点があった。

以上から、1970年代後半には、機械移植と比較して直播を導入する利点は小さく、逆に問題点が大きかったと考えられる。すなわち、田植機率の増加と直播面積の減少には直接的な因果関係はなく、単に同時に生じた現象である。また、手植の代替手段として直播ではなく機械移植を採用する農家が増加したことが、この当時に田植機が普及した原因であると考えられる。

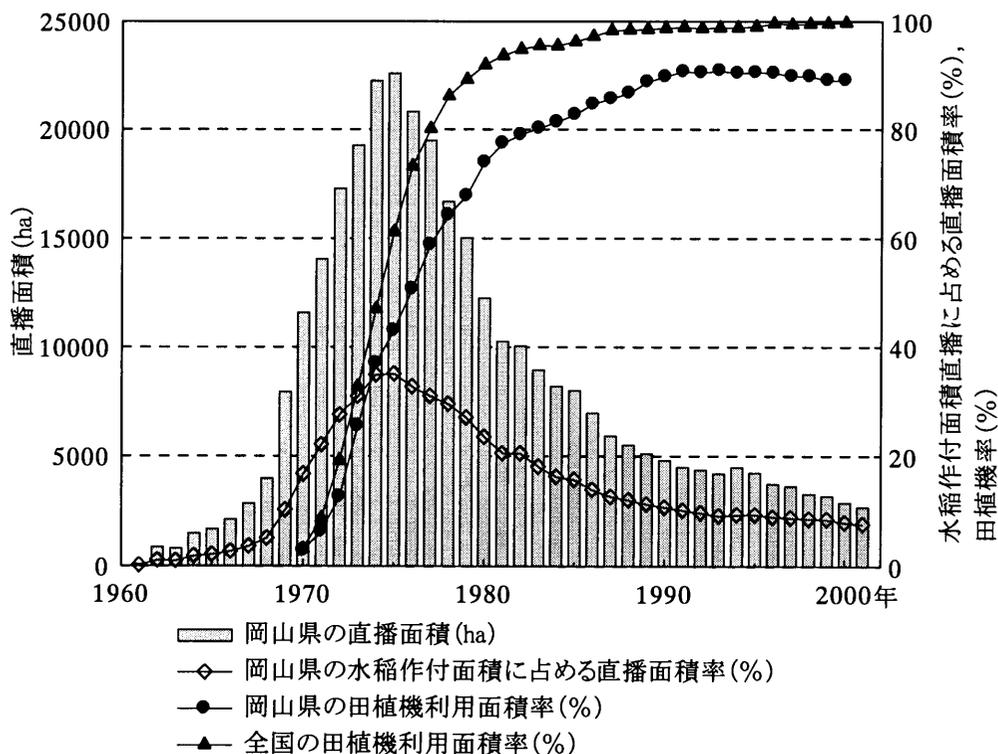


Fig.2-5 岡山県における直播面積および田植機利用面積率の変化

2.4 近年の直播面積および技術の動向

2.4.1 1990年代後半以降の直播面積変化の傾向

全直播面積は1993年に7,184ha(直播率0.34%)の最小値を記録したが、その後増加し続けており、2001年には10,206ha(同、0.60%)となっている。Table 2-1やFig. 序-3-2(序章参照)を見ると、その面積の増加については東北地方、北陸地方が寄与する部分大きいことが推測される。

Fig.2-6に東北地方と北陸地方の直播面積および直播率の変化を示した。両地方で1990年代以降に大きく面積が増加しており、特に1995年以降の伸び率が大きい。

なお、東北、北陸地方以外では、Table 2-3のように滋賀県、徳島県および愛媛県において、1990年代後半以降面積が増加している。

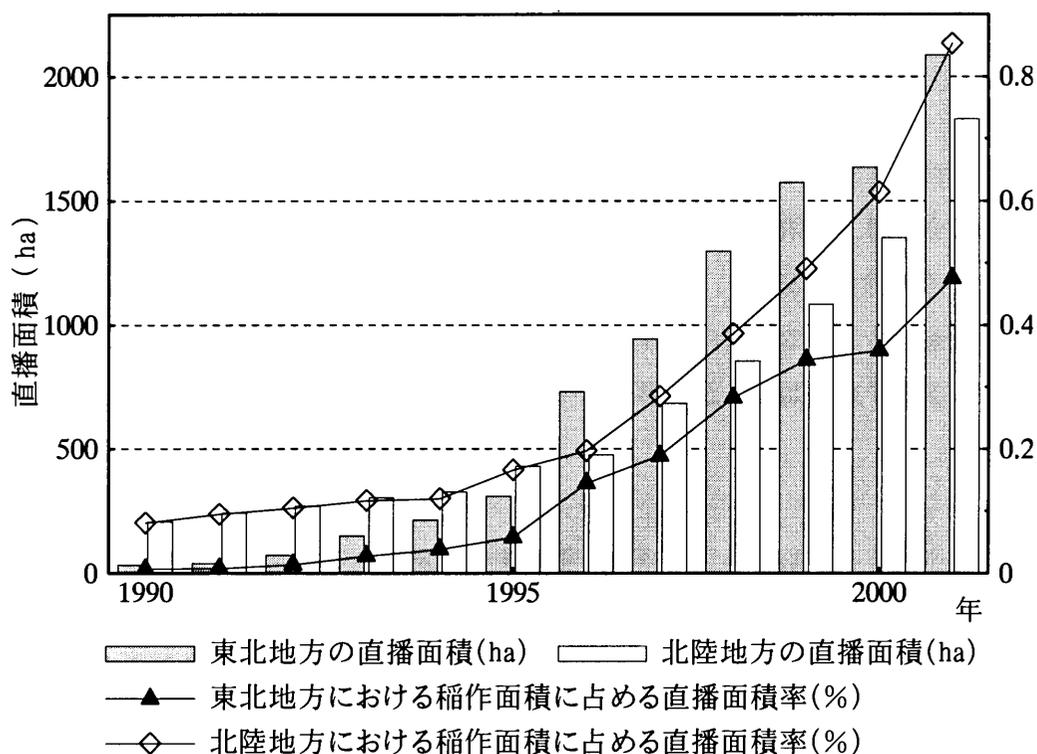


Fig.2-6 東北地方、北陸地方における直播面積およびそれぞれの地方の稲作面積に占める直播面積率の推移

2.4.2 1990年代後半以降の直播面積変化の特徴と背景

2.4.2(1) 栽培様式と直播技術の進展

直播面積が増加している地域では、湛水直播が卓越している(例えば、2001年の東北、北陸地方の直播面積に占める湛水直播面積の割合はそれぞれ95.2%、90.4%)。従来主流であった乾田直播は一部で見られるのみである。

湛水直播は、序章で示したように1970年代中盤に三石らによって湛水土壤中直播法が開発されたが、それでも乾田直播に比べて苗立ちが不安定であるという課題があった。これに対する栽培技術面の対応として、1990年代後半に落水出芽法が確立された(例えば柳澤, 1996)。一方、基盤整備における対応として均平精度を高める必要がある(例えば牧山, 2002a)が、初期投資が高額になるが、レーザーレベラーなどの導入が効果的である。したがって直播技術全般で見ると、指導を受けて2~3年の栽培経験により習熟できる程度に「ほぼ完成されている」との評価が得られている(堀末・矢治, 2000)。

ここに湛水直播、乾田直播それぞれの近年開発された技術を見ておきたい。

1) 湛水直播の新たな技術

湛水直播の3タイプの播種手法のうち、近年の普及に大きく寄与しているのは種子を田面に打ち込む「点播」である。後部に点播のアタッチメントを付けた乗用管理機械で、代かきを行うのと同時に高速回転する歯車を用いて種子を田面に打ち込む^{*2-3}。序章で述べたように耐倒伏性が高いこと、埋没深の制御がしやすいことに加え、畝状に並ぶことからその後の管理もしやすいことなど、条播に似た利点を有する上に、代かきと同時なことから条播に比べれば高速であるという利点を持つ。

2) 乾田直播の新たな技術

乾田直播は元来、苗立ちが確保しやすい手法だが、近年では「冬季代かき式乾田直播」（いわゆる「愛知式不耕起乾田直播^{*2-4}」）を始めとする、苗立ちをより安定させることを目指した技術が確立されつつある。

冬季代かき式乾田直播とは、粘質の土壌に対して、①冬季の農閑期に代かき、もしくは耕起および転圧を行って均平にし、②表面が硬化した春に深めのV溝を掘り、そこに肥料と同時に種子を播種する乾田直播方式である。いわゆる「冬季代かき式乾田直播」である。この技術は1994年ごろから愛知県にて試験的に実施され、1998年ごろに完成を見たとされる（著者らによる聞き取り調査より）。代かきを行うことから一般の乾田直播よりも除草効果があること、溝が深いことから鳥害が回避しやすいこと、しかも代かきの作業競合も回避できることなど、冬に水が確保できる地域であればこの方法は応用しやすいと考えられる。愛知県の他に、岐阜県で行われている。また、例えば福島県原町市などで2002年度に試験的に実施されるなど、普及の可能性が考えられる。

2.4.2(2) 基盤整備の進展

技術の高度化と並行して、その技術を必要とする経営体が存在することが導入の条件となる。

直播導入に利点があるのは大規模経営体である（牧山ら、1999；詳細は3章に

*2-3 打ち込む動作から「ショットガン式」とも呼ばれる。

*2-4 愛知式“不耕起”乾直という俗称を持つが、春季に耕起・代かきを行わないというだけで、一般的な不耕起稲作（例えば長期不耕起栽培圃場研究グループ、1994）とは異なる。

て後述)。そこで規模拡大の促進が直播普及には深く関与する。そこで近年の水田の大区画化、経営の規模拡大の流れについて追っておきたい。

稲作の経営規模拡大については、「新しい食料・農業・農村政策の方向」(いわゆる「新政策」, 1992年)で唱えられた。この政策では10年程度後の稲作経営像として、経営規模は個別経営体で10~20ha程度へ拡大し、それによって面積あたり労働時間やコストは当時の5~6割程度に低下することが期待された。

また、大区画化に関しては「第4次土地改良長期計画」(1993年)によって具体的な整備目標が示された。同計画では水田に関しては2002年までの10年計画で、30a程度以上に整備済みの水田を全水田の75%(1992年:50%)に、また1ha程度以上の大区画水田を30%(同:3%)に増加させることが目標とされ、これによって労働時間は4割、生産費は3分の1が削減できると試算された。ところが1995年末現在の実績では整備済みが54%、大区画整備は3.9%と伸びが芳しくなく、1997年12月の農政審議会で計画の4年延長が示されている。なお、最近のデータ(「土地改良長期計画の改定について」, 2001年10月)では、2000年3月現在の実績で整備済み、大区画整備はそれぞれ58.2%、5.4%であり、2003年推計値でそれぞれ61.7%、6.8%である。

またこの当時は、1993年の大冷害(いわゆる“平成米騒動”)、1994年のコメの輸入自由化、G A T Tウルグアイラウンド(1986~1994年)を経たウルグアイラウンド農業協定(1995年~)などに伴い、稲作の省力化、低コスト化の需要が大きく高まり、大区画化、大規模化がさらに着目された時期である。

これらに先立つ1989年に「低コスト化水田農業大区画ほ場整備事業」が創設され、さらに1993年以降は「担い手育成型基盤整備事業」が実施されている。いずれも大規模経営体への集積が事業実施の要件となっているため、これらの圃場整備を契機として、育苗施設を廃棄したり、高精度大型機械を導入するなど、直播を取り組むきっかけになった地区も存在する。

2.4.2(3) 政策的措置

転作カウントと初期投資への助成について見ていきたい。

1996年から、直播面積の一部(10~20%程度)をコメの生産調整の実績算入面積としてカウントする、いわゆる「転作カウント」が、多くの県で実施されるようになった。すなわち、直播の移植に比べての収量の低下を直接的に金銭化して補償しようとするのではなく、転作面積の緩和という形で補填しようというもの

である^{*2-5}。例えば栃木県は13%、福島県や山形県は15%の転作カウントを取っている（2002年現在）。

転作カウントの導入によって、直播での10%程度の収量減は、実質的に担保されるようになった。すなわち直播導入の足かせとなっていた収量低下の問題を緩和できるようになったため、直播が導入しやすくなったと思われる。著者の各地への聞き取りでも、導入時におけるこうした効果を大きく指摘する声が多数見られた。

ところで、コメの生産調整は2008年度に廃止され、自主調整へと転換する。その後に転作カウントをどのように変えていくかについては現時点で明らかになっていない。だが、いずれにしても現在の転作カウントの処置は時限的なものと捉えるべきである。そもそも行政等による経済的支援は本来的には恒久的に与えるものではなく、直播を導入してから、実施する体制が確立するまでの間のものであるべきである。従来の転作カウントはその意味を有していた。そうすると今後は他の形による導入初期段階への行政的な支援が期待される。

そこで次に初期投資支援の現状について見てみたい。国や県からの機械購入（直播以外も含む）に対する助成は存在する。ただしこれは個人単位での助成はされておらず、組合や団体による共同購入の場合にのみ有効である。そのため、次章で示す【事例3-10】～【事例3-12】の事例のように地域内での直播の勉強会などの母体となる場合もある。

そうした中、福島県、愛知県は、機械のリース代などに独自の補助金を出すなど、県レベルで直播普及の推奨をしている。このうち福島県は2000年の直播面積の増加が顕著な県である。ここで福島県における行政による取り組みについて、詳細に見ておきたい。

【事例2-1】福島県では1996年春の段階で「将来的に2000haに増やそう」とのスローガンが出されたことからわかるように、県が主導しての普及である。1996～2004年度までを3期に分け、第1期(1996～1998年)を基礎技術定着期間、第2期(1999～2001年)を普及から定着への移行期間、第3期(2002～2004年)を地域営農システム(集落営農の規模を大きくした形態、例えば会津本郷町；【事例3-7】で後述)を確立する期間と計画した。その結果、1999年の全国直播サミ

*2-5 地域によっては、「転作率の達成」を目的として、直播を実施が推奨されているケースが見られる。

ットを経て、2001年には県の稲作面積の1%を越えた。ある特定の地区での面積増ではなく、全県的に普及が見られる点は全国的に見ても特殊な事例である。

県の事業での圃場整備後、初年度は地盤が不安定のために機械の使用が困難である。そこに直播の導入が推進された。具体的には、1996～2001年までは直播栽培を取り入れると4,000円/10aの補助金が付き、団地化するとさらに1,000円/10a上乘せされる。2002年からは生産組織に団地化面積に応じて補助金が決まる。機械リースに対して、リース代の1/2(2002年から1/3)を補助している。ちなみに、リース代は条播機5,000円/10a、点播機6,000円/10aで、うちオペレータ代は1,000円/10aである(オペレータ代は補助の対象外)。

また、そのために県の研究機関、普及機関との関係によって技術の確立を目指しているが、そこにも県が助成している。

さらに、県内の農家11.8万戸(うち販米農家8万)のうち2万戸にパンフレット配布したことも効果的だったと思われる。

こうした県のサポートももちろんプラスに作用しているが、前述のように技術のレベルが発達してからの導入であったことが、その後の円滑な普及に大きく関係していると考えられる。

最後に設備投資のタイミングについて簡単に補足しておきたい。ある地区ではつい数年前に大規模な育苗施設を建設したばかりであるために、直播の導入が進んでいない。後述する【事例3-8】のように、育苗施設の拡大に伴って直播面積を縮小したケースもある。反対に、ある地区では大区画化圃場整備と同時に、老朽化していた育苗施設を一切廃棄し、不転転の覚悟を持って直播に取り組んでいる。このように施設の更新のタイミングは、導入の進捗に大きく寄与する。これからの直播導入を考案している地域では、考慮すべき点である。

2.5 2章の摘要

直播の面積の変化について、全国および県レベルで各時代ごとの技術水準を考慮しながら詳細に分析し、過去から現在に至る直播の動向について検討した。その結果、全国レベルでの直播面積の変化のみでの普及状況の議論を行うのには限

界があることをまず明らかにした。その一方で、県別あるいは地方別に面積変化を分析することによって、年代ごとの技術水準について検証できる可能性を、特異的に直播面積が卓越している岡山県を例に示した。さらに近年の直播面積の増加傾向について、東北・北陸地方がそれに大きく寄与していること、またその要因として、落水出芽法や冬季代かき乾田直播、湛水点播といった技術の進歩に加えて、基盤整備の進捗とそれを契機とした直播の導入、転作カウントの存在、初期投資に対する行政的な助成など、直播を導入しやすい環境が整ってきていることを挙げた。

(2章 おわり)

3章 直播稲作の実施が有意義な農業経営類型

3.1 本章の目的

既述のとおり、直播の利点は省力性、欠点は移植に比べて収量が低下しやすい点にある。農家はその導入を判断する際に、収量の低下を抑えられるか否か、および収量の低下を抑えきれなかった場合には、省力性を生かしてそれを補えるか否かについて考慮する。ところが、この省力性の活用については、これまでに十分には明らかにされていない。

そこで本章では直播の省力性が如何に発揮されるかに着目し、農業経営類型ごとに直播の導入意義の有無について検討する。その上で、農家が直播導入を如何に判断するかの過程を追い、直播がどのように農家に導入されたかについて、著者が調査してきた特徴的な事例を示す。

3.2 直播稲作の省力化効果

3.2.1 直播における省力化の捉え方

労働を量として考える考え方には、年間トータル量として考える場合と、労働ピークに注目して考える場合の2通りがある。

1995年当時までの国内の文献をほぼ網羅した姫田（1995）によると、直播稲作については多くの文献において、「労働量が移植の△%減」などと年間トータルでの省力効果にのみ注目している。例えば、古くは中村（1984）が湛水土壤中直播の場合、移植体系に対して労力で3割、コストは1割減であるとしている。また近年では長野間（2001）が、移植栽培の平均的な10a当たりの作業時間が39.6時間/10a、10ha以上の大規模農家では21.2時間なのに対し、直播栽培技術の確立と普及は労働時間を10時間/10a以下に大幅に削減する効果が期待されると述べている。

ところが、移植に比べて直播が省力的なのは、育苗、移植作業が省略できる春先の効果が大きい。そのため、上記のような年間のトータル量にのみに着目した評価では、直播の特徴は十分に表現できない。

また、我が国の水田農業の特徴のひとつに、家族経営を主体としているというものがある。そのため経営面積は労働ピークによって規定されている。これは経営が大規模化されている場合でも、臨時雇用を伴わないかぎりと同様である。これらを考えると、労働ピークの軽減に注目して考える必要がある。

3.2.2 直播の省力性の詳細

3.2.2(1) 直播の省力性の実態

我が国の稲作の春作業の労働時間（農林水産省統計情報部，2003）を移植栽培と直播稲作に分けてTable 3-1に示す^{*3-1}。移植栽培の春作業は直播の3.1倍である。すなわち、春作業のみを考える^{*3-2}と、移植栽培を直播稲作に切り替えることによって約3倍の面積に拡大が可能である。

Table 3-1 移植栽培と直播稲作の春作業時間の比較

（単位：時間／10a）

	移植	直播
春作業合計	10.20	3.32
種子予措		0.29
育苗	3.76	—
耕起整地		2.44
基肥		0.57
田植	3.14	—
直まき	—	0.02

※農林水産省統計情報部（2003），2001年産，作業別直接労働時間（10aあたり），3ha以上，より作成

*3-1 本節は労働ピークが生じる春・秋のみに限定した議論であるために考えないが、直播では除草などの夏作業は増加する場合もある。

*3-2 参考までに同じ資料によれば、夏作業は追肥0.37，除草0.98，管理4.02，防除0.47で計5.84時間/10a，秋作業は刈取脱穀2.88，乾燥1.40，生産管理0.61で計4.89時間/10a。

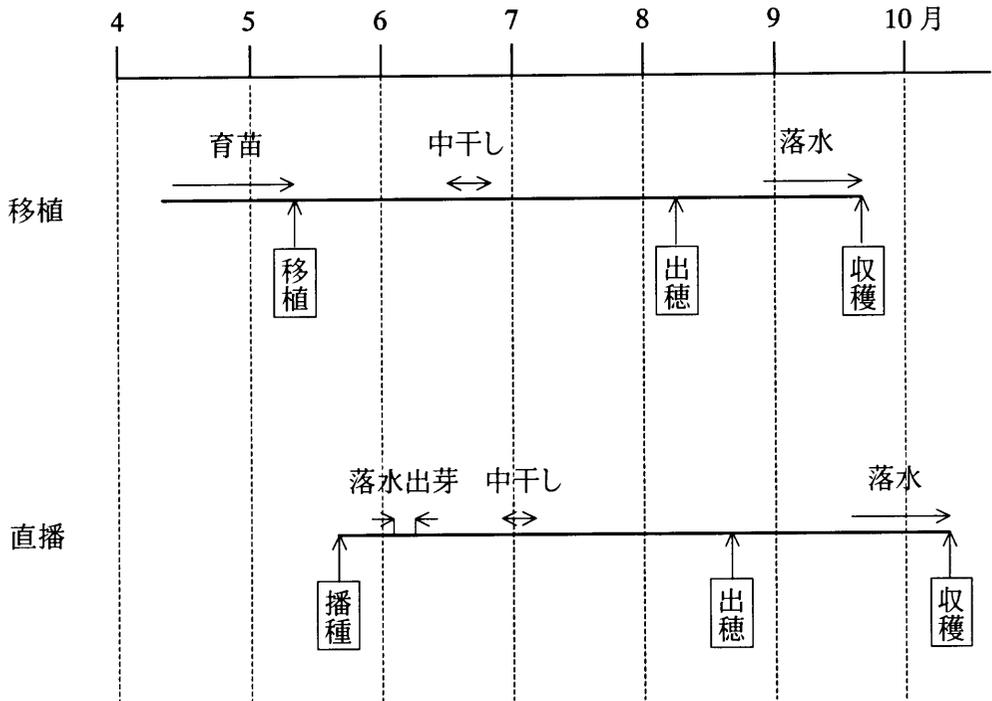


Fig.3-1 移植と直播の作期のずれの例（埼玉県鷲宮町，品種：日本晴）

次にFig.3-1に直播と移植栽培との作期のずれについて，埼玉県東葛飾郡鷲宮町の例を示す。直播の第一の特徴は育苗期間が不要な点であるが，他にFig.3-1に見られるように，特に収穫時期が数週間ずれる点が指摘できる。

3.2.2(2) 直播導入による省力化効果

移植において労働ピークとなるのは，育苗・耕起・代かきの春と，収穫の秋である（概念図をFig.3-2に示す）。

これに対し，直播の省力性と時期のずれを概念図で示すとFig.3-3のようになる。このように，直播を導入すれば，まず春作業のピークがカットできる。

これだけでは秋の労働ピークは量的に変化しない。だが，直播と移植の作期のずれを生かして，これらを組み合わせた作付け体系にすることによって，秋作業の労働ピークが分散できる。

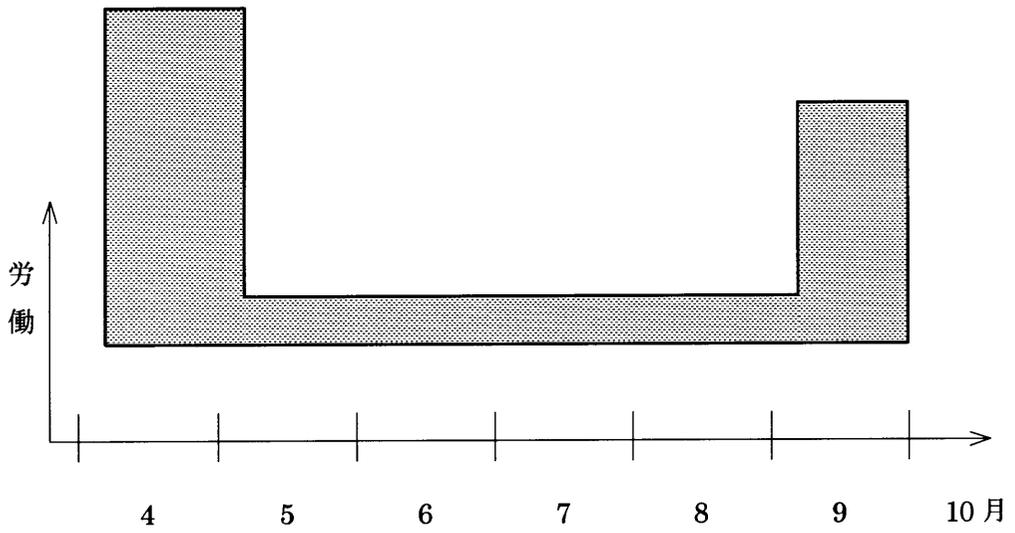


Fig.3-2 移植栽培における労働ピークの概念図

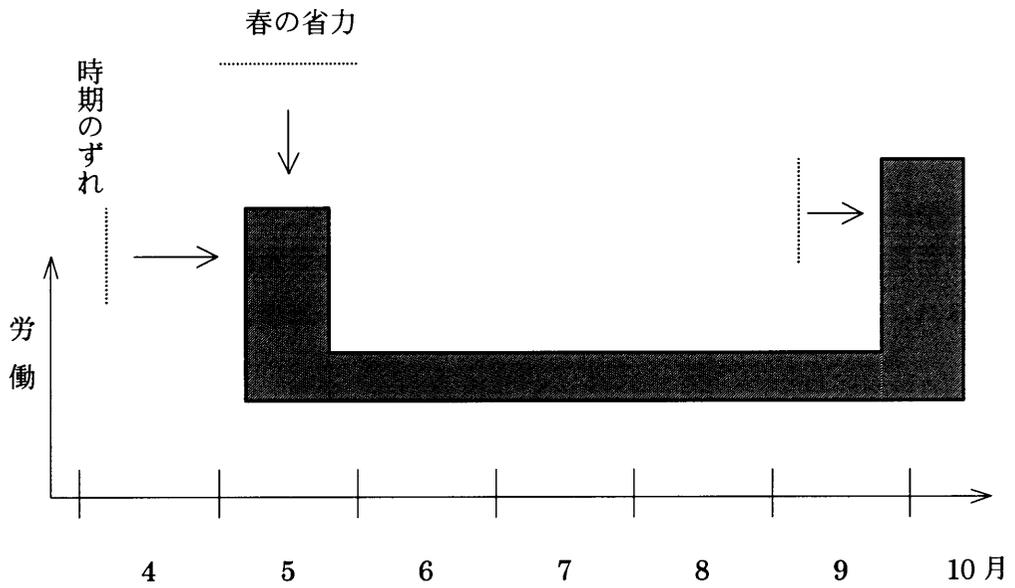


Fig.3-3 直播導入によるの春の省力効果の概念図

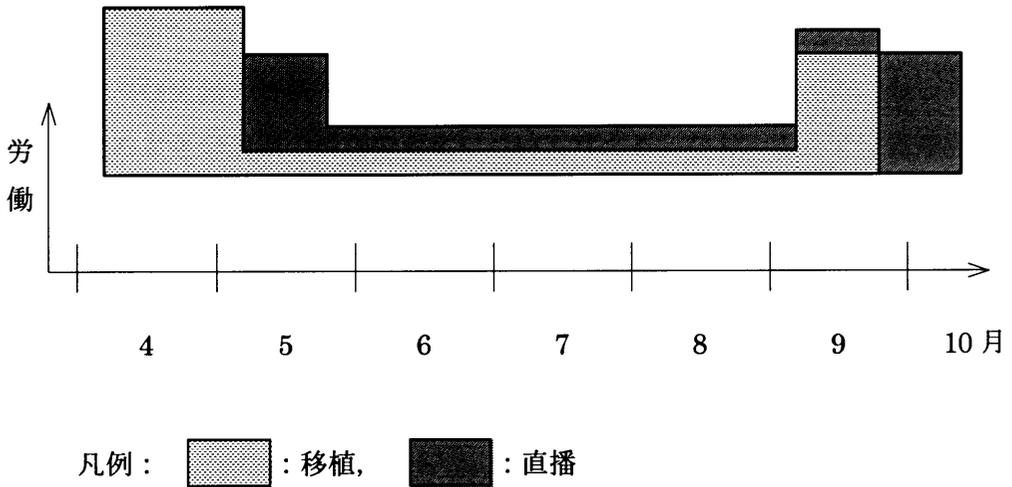


Fig.3-4 直播と移植を組み合わせた秋の労働ピークカットの概念図
 (移植 (Fig.3-2) と直播 (Fig.3-3) を1:1で組み合わせた例)

以上を考え合わせると次のようになる。すなわち、例えばもしも移植を行っていた面積の半分を直播にすると、春の労働ピークは従来のおよそ2/3にカットできる。また収穫時期が移植と直播とで完全にずれるとすれば、秋作業のピークは従来のおよそ半分に減少する。春の労働ピークの方が秋のそれより大きいとすると、経営規模は1.5倍に拡大が可能である。

このように、移植栽培を行っていた稲作農家が、新たな技術である直播を導入することは、この労働ピークを軽減する観点から極めて有効だと考えられる^{*3-3}。

*3-3 なお、移植と直播とを組み合わせることは、リスク分散の効果も持つ。

3.3 直播稲作の導入による農家の所得の変化

このような直播の特徴を踏まえながら、移植を直播に切り替えた、もしくは組み合わせたときの農家の所得の変化について考える。なお、ここでは直播導入に伴う初期投資については考えないこととする。

その変化については、2つの要素に分けて考える必要がある。1つは直播そのものを見た場合の移植と比べての収支の変化について、もう1つは経営全体で見た場合の、その省力化された労働を他の収入機会に振り分けることによる経営全体で見た収支の変化についてである。

3.3.1 直播稲作を経営に組み込むことの所得への影響

移植栽培での10aあたりの収量（3ha以上）を543kg（2001年；農林水産省，2003；これを移植栽培と見なした），10aあたり生産費の費用合計（3ha以上）を95,528円（2001年；農林水産省，2003），また米価を1俵（精米，約60kg）あたり13,000円とする。

さて、直播の収量については、姫田（1995）で直播の代表的な手法である湛水土壌中直播について見ると、生産費、収量ともに幅があり、慣行の移植の数%増しとしているものもあるが、概して移植の5～10%減としているものが多い。

Table 3-2 春作業受託の価格（埼玉県久喜農業普及センター管内の例，1999）

◎育苗	
芽だし苗（コシヒカリ）	400円／1箱
緑化苗（コシヒカリ）	600円／1箱
硬化苗（日本晴）	900円／1箱
◎農作業	
田おこし（1回目）	4700円／10a
（2回目以降）	3700円／10a
代かき	7000円／10a
田植え	7000円／10a

※箱苗は一般に10aあたり20箱を使用

そこでここでは生産費、収量ともに10%減とすると、生産費は約0.96万円の減、また収量は約54kg減だから、売り上げは約1.2万円の減となる。すなわち移植に比べて、10aあたりで差し引き約0.2万円の損失と計算できる。

3.3.2 労働機会増による所得増大の可能性

次に、直播の導入によってカットされた労働ピークの活用について考える。本項では春先の空いた時間を生かす最も基礎的な方法として、春作業受託について考える。

農作業の受委託がスムーズに進んだと仮定した上で、Table 3-1で移動の時間などを無視して単純計算すると、10aの面積で移植を直播に換えて、その時間だけ春作業を受託した場合には、6.7aが受託できる。

次にTable 3-2に、埼玉県久喜市の育苗、農作業受託の価格の相場（1999年）を示す。もしも10aの農地に対して育苗（緑化苗）から耕起（1回）、移植まで受託すると、約3.1万円の賃金が得られる。利益率を仮に50%とする^{*3-4}と、約1.5万円のプラスと考えられる。

このプラス1.5万円を移植栽培で10haの水田経営をしていた農家に当てはめる。3haに直播稲作を導入し、その浮いた時間で春作業を受託すると、約2.0haの請け負いが可能になる。そこから得られる利益は約30万円と計算できる。

一方、3ha直播稲作に切り替えたことによって、収量低下によるマイナス約6.0万円がある。したがって、移植のみで10haの水田を経営していた場合に比べて収支で約24万円の所得増と算出される。

以上のように、直播稲作を導入したのみで、余剰労働を活用しない場合には、所得の増加は期待しにくい。その場合の利益の確保のためには、収量を維持・確保すること、並びに生産費のさらなる減少が必須である。一方、省力化された春先を他の収入機会に活用すれば、たとえ直播での収量が5～10%程度低下しても、経営全体で見ると、所得の増大が可能となる。

*3-4 育苗施設の設備や規模、また移動距離などによって異なるため、ここでこれ以上の精度は不要だと考える。

3.4 直播稲作の導入が有効な経営類型

3.4.1 省力化された労働の活用方法の類型化

直播稲作の利点を生かせるような農家とはどのような農家なのか、それを考えるために、ここでは農家がそれまでの農法に新たな技術を導入することによって労働が省力化された際、その余った労働を何にどのように使用するかに注目して、以下のように類型化した。

まず大きく分けて、従来の経営の他の新たな所得機会に回す場合と、何にも回さず、休暇を増やす場合とに分けられる。

ここで他の所得機会とは、水産業、林業といった農業以外の第1次産業はレアケースと見なして省くと、農業か、その他か（第2・3次産業）に分けられる^{*3-5}。

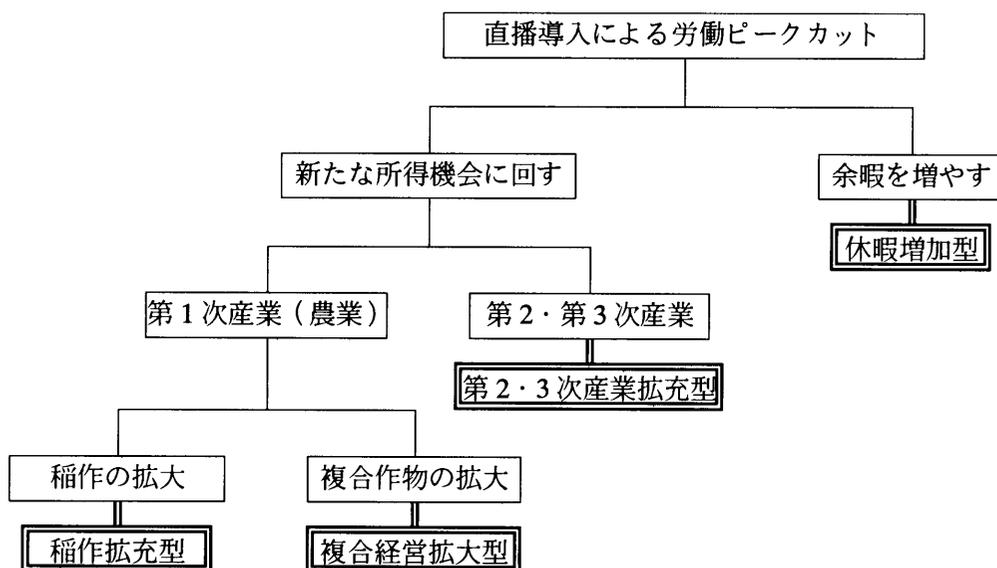


Fig.3-5 省力化の目的に基づいた農業経営類型区分

*3-5 ここでは専業・兼業に着目したのではなく、農林業センサスの「就業状態別農家人口」と同様に「自営農業従事者は自営農業だけか、その他の仕事も持っているか、また他の仕事がある場合は農業と他とのどちらの比率が高いか」に注目した。

このうち農業について、本研究ではさらに細かく見る。すなわち、本研究が移植栽培を主軸としていた稲作農家が直播稲作を導入した場合に注目していることを考えると、直播導入によって余った労働を、稲作の拡大に当てる場合と、イネ以外の作物（以下「複合作物」）の拡大に当てて複合経営を拡大する場合とに分けられる^{*3-6}。

以上を稲作拡大型、複合経営拡大型、第2・3次産業拡充型、休暇増加型と呼ぶこととする（Fig.3-5）。

以下、直播導入に際してそれぞれの類型は意義を有するのか否かについて、個々に見ていく。

3.4.2 休暇増加型の直播導入効果

上記4類型の中でも特殊なこの類型について、先に議論しておきたい。

ここには、高齢化によって労働の負担を軽減させる必然的が高いが、それでも農地資産を維持していく必要がある場合などが当てはまる。この他の3類型は、いずれも収益の増加を目的とした省力化であるのに対し、この類型は利益増を目的とした省力化でもない。言うなれば「少々損してでも手間をできるだけ省きたい」という発想で直播を導入したのであるから、直播を導入した際の収量の低下に対しても厳格になる必要性は低い。

以下の事例は地域として直播作業の受託体制を整えている特殊な例であり、高齢者からの委託を受けている。

【事例3-1】 埼玉県鷲宮町の事例。以前から乾田直播が卓越している行田市、南河原町など（後述）と近接するが、鷲宮町はムギ作地帯ではないため、乾田直播を実施する必然性に乏しく、1970年代に乾田直播の、1980年代に湛水直播のそれぞれ試験的な導入がなされたものの、直播はほとんど定着しなかった。また1990年代初頭に大区画化圃場整備に伴う有人ヘリコプターでの散播が短期間だけ行われた久喜市野牛地区（**【事例3-3】**）と同じ農業普及センターの管轄であるが、鷲宮町は大区画化が行われていないためか、その影響はほとんど見られない。

同町では直播機械（湛水条播専用機）を1980年代から町として所有してい

*3-6 農業の拡充は、自らが以前から所有していた農地はそのままに投入する労働を増やす場合と、受託などで農地面積を拡張する場合とがある。

た。町の意向として、名産品で町の転作奨励作物であるソバの種子の無料配布と同様に、町営の農業機械化センター（機械作業を基本的に有償で受託）による直播作業の無料受託が行われていた。これは2002年現在も継続中である。

このような支援体制を整えている機械化センターに対して直播作業を委託しているのは、1990年代後半以降は70歳代後半の高齢者S氏とT氏の2戸のみである。T氏は自宅の庭でブドウの生産直売を行っているが、S氏はいわゆる「老人専業」で、それぞれ所有している水田（S氏は13a、T氏は19aと22aの2枚を隔年で；ともに自家飯米のみ）の小規模なもののみである。この水田の維持管理が必要だが、しかし移植作業は負担が大きく、特に負担が大きい育苗は、機械化センターで受託しておらず、他の農家に委託すると多額の費用がかかる。そのために機械化センターに無料で委託できる直播を行い（作業は機械化センターのオペレータによる）、それ以外の作業（収穫を含む）は自ら行っていた。

しかし、このような類型の農家は現時点では我が国に相当数存在するが、農業経営が零細であり、機械の維持なども困難なため、耕作者の年齢にもよるが、既に育苗や移植、収穫作業の一部を委託している場合が多い。そして将来的には農地の利用権も含めて営農集団などに吸収されていくことが予想できる。

したがって以後の議論では類型の農家には注目しないこととする。

3.4.3 稲作拡大型の直播導入効果

イネを基幹作物としている農家は、昨今の生産者米価の低落を背景として、必然的に稲作経営を10数ha～数10haの大規模面積で行っていくことが求められる。逆に言えば、大規模稲作農家（個人および営農集団；農林水産省統計情報部（2003）を考慮すると、「3ha以上」が一応の区切りと見てよいだろう）が将来の日本の稲作の基軸になるのは間違いない。これへの期待は、「食料・農業・農村基本法」が「専ら農業を営む者」による「農業経営の展開」の重要性を示していること、また「農業白書」（農林統計協会、1999）が、担い手となるべき農家への農地集積やその法人化の方向性を示していることから見て取れる。

そうした農家が経営面積を拡大し、それを維持するためには、直播導入によって春、秋の労働ピークをカットすることは極めて有効である。

その場合、課題となるのは、

- ・収量の安定性確保のための、直播の低収量性の解決。特に大区画水田で直播を

安定的に実施できる技術の開発、
・導入段階における機械の購入や技術指導などの体制整備
の2点である。

3.4.4 複合経営拡大型の直播導入効果

上記と同様に米価低落や、およそ40%の面積の水田で生産調整が強いられていることを背景として、複合作物を基幹に切り替える、またすでに基幹としていた複合作物をさらに拡充していく農家が今後増えていくことが予測される。

この類型が直播を導入した場合の第一の利点として、従来は移植と春先の労働ピークが重なるために稲作と組み合わせにくかった複合作物が、労働ピークがカットされる直播となら組み合わせやすくなる点、ならびにその複合作物の栽培により多くの時間を割ける点が挙げられる。

こうした複合作物としては、春播きムギやソバなどの穀類、イチゴやブドウなどの多くの果実や野菜が挙げられる。また花卉などは、手をかければかけるほど販売価格が高くなること（著者の農家からのヒアリングより）、施設栽培の場合は栽培時期をある程度自由に調節できることから、出荷時期を調整して高価で販売できることが利点として指摘できる。

ただし、直播機械をどのように確保するかといった支援体制に対する課題は、稲作拡大型と同様に残っている。

3.4.5 第2・3次産業拡充型の直播導入効果

稲作拡大型、複合経営拡大型の農家が直播導入による労働ピークカットが有効なのは、カットされた労働を用いて拡充する対象である移植や複合作物栽培に、季節ごとの労働に差があるためである。

一方、第2・3次産業拡充型の農家は、直播による育苗省略などの省力効果はあるものの、他類型に比べて直播導入の効果は小さいと考えられる。理由は以下の2点である。

1点目として、この類型の農家は、もともと所有している水田面積が大きくても1~2ha程度、多くの場合は数10a単位であるため、今日の進歩した農作業機械であれば、土日の休日を利用して作業を行うことが十分に可能である。直播を導入した場合、確かに作業時間は短くなるが、しかし土日がすべて空き、余暇が増えるわけではない。そのため、省力化の効果は必ずしも大きくはない。

2点目に、この類型の場合には、第2・3次産業が、春などに労働が集中する農業と違って、労働の季節差が少ない。また直播導入によって春の労働が第2・3次産業に振り向けられるといっても、簡単に労働時間の調整ができるわけでもない。

さらに、直播に限らず新技術は慣れるまでに少なからぬ精神的負担を要するが、この類型には農業は副業であって、それほど大きな負担はかけられない。

以上を考えあわせると、この類型にとっての直播導入の効果は小さい。むしろ多くのケースにおいて、敢えて直播を導入せずに従来どおりの移植を継続すべきであると考えられる。

3.4.6 我が国における直播の定着の特異性

以上から、集約的農法である移植栽培を伝統的に実施してきた我が国において直播稲作を実施する効果を有するのは、農業経営の規模拡大を意図した場合にほぼ限定できる。すなわち直播の実施は、小区画・零細経営が主体的に根付いていた我が国の稲作経営を変革するためのキーとなる手段として位置づけられることが確認された。

巨大な水田での直播の実施を前提として、稲作開始当初から我が国の数十倍の規模で経営しようとしている新大陸における直播の実施とは、そもそも技術の実施に至るまでの構造が大きく異なる点に注意しておきたい。

なお、我が国にも以下の事例のように、直播が元来の技術で、移植の方が新技術と位置づけられるケースが例外的に存在する。

【事例3-2】埼玉県北部の行田市、南河原町などは、もともと冬蒔きのムギ作が卓越していた地域であった。といっても、経営の問題ではなく、ムギの収穫の6月までは水が来ないこと、水が来ても水田に水を入れると湿気を嫌うムギに悪影響を及ぼすことから、一般的なの移植栽培が行えず、乾田直播を行うことが余儀なくされた。

そうした地域的な事情から乾田直播が長きにわたって定着していたが、近年ではムギ作の縮小により、乾田直播からより容易に行える移植栽培に切り替わりつつある。

なお、長年定着していた乾田直播が徐々に減っているのは、岡山県の現状に類似している。

3.5 農家が稲作拡大を目的とした直播導入を判断する過程

本節では、農家が新技術である直播の導入を如何に判断するかについて考える。まずは新技術一般の導入に対する判断過程について概念的に考察した上で、新技術を直播に置き換え、直播の特性を農家はどのように捉えるかについて整理する。

なお、本節では理論の単純化のために、稲作主体の農家の直播導入、すなわち前述の「稲作拡大型」に限定して考える。

3.5.1 新技術導入について考察するための前提

3.5.1(1) 導入前の問題存在と農業経営の変革

新技術の導入は、農業経営を変革する手段のひとつである。また、農家が経営の変革を必要とするのは、従前の農法では経営的に何か問題が生じているか、もしくは近い将来に生じることが予期されていて、その解決や予防を目的とする場合である。

以上のように考え、農家による新技術の導入は、1)従前の農作業技術や手法では問題が存在していることを前提とし、2)それを解決することを目的として生じるもの、として捉える。

3.5.1(2) コントロール可能と不可能な因子の区別

例えば水田での新技術導入の場合、圃場整備（大区画化、パイプライン化など）や均平管理、機械の貸与や購入、指導機関の存在などについては、技術的な限界はあるものの、理論的にはコントロール可能なものとして捉えられる。一方、気候条件や土壌条件などの地域性はコントロール不可能である。またその地域の水利権や技術力、労働力などは、一朝一夕にはコントロールが困難である。

このように新技術導入の課題は、「コントロール可能なもの」と「コントロール不可能（困難を含む）なもの」とに分かれる。本節ではこれらを分けて考える。

3.5.1(3) 外力的導入について

農家が新技術を導入するのは、農家が自発的かつ積極的に導入する場合（以下「自主的導入」）と、農家は受け身的で、機械メーカーや地域、指導機関などの主導によって導入する場合（以下「外力的導入」）の両極が存在する。実際にはこれらの中間に位置するケースも多いと思われるが、まずは本節では単純化のために自主的導入と外力的導入の2者に分ける。

自主的導入は前述のとおり既に問題が生じていることが前提となり、また農家が自らリスクを負うことから、導入を判断するまでに農家は熟慮を要する。

一方、外力的導入は何らかの事業とセットになる形で行われる場合が多いが、農家にとっては気楽に導入してみようという気になる場合があるし、新技術の必要性がひっ迫してなくても導入できることから、目的意識が希薄なまでの導入になりやすい。さらに場合によっては、導入に気乗りでなくても地域やメーカーとのしがらみで導入を余儀なくされることさえある。

さて、2章でも見てきたように、直播を一旦導入したものの定着させず、従来の移植栽培に戻す農家が数多い。このことが、今日の直播面積が伸びない一因となっている。そのような定着しないケースは、下記の例のように、リスクを負わず、目的意識が希薄になりやすい外力的導入の場合に生じやすいことが推察される。

こうしたことから、本節での議論からは外力的導入は除外する。

【事例3-3】埼玉県久喜市野牛地区において直播稲作を導入したものの、定着しなかった例を紹介する。同地区では圃場整備完了直後（1990）から、地元の農業普及センターのモデルケースとして、ヘリコプターを用いた大規模な湛水散播を始めた（滝沢，1991）。1990年代前半は各地で有人／無人ヘリコプターによる湛水散播が試験的に行われた時期に相当する。その一つの例と考えられる。

ところが、1999年時点における著者の聞き取りによれば、直播実施当初から農家が不満の声を挙げ、当初の計画だった3年が経過した段階で直播の実施をピタリとやめたとのことである。その後、今日まで同地区では直播を一切行っていない。

不満の声が挙がった理由として、以下が指摘できる。まず、当地区は東京への通勤圏のために当時も兼業農家が多かった。しかしながら圃場整備に伴う農地の集積が進まなかったため、そうした兼業農家による小さな面積の水田による小規模な稲作経営が多く残った。そのため、直播を導入したところで効果が薄かった。

このことに加え、技術の不備もあって開始直後より生育が著しく不良だった。そして事前のアナウンスが少なく、農家側に直播を実施する精神的な準備が十分にできていなかったことも少なからず影響しよう。

これらの原因によって、農家は直播導入のメリットを感じられなかった。そ

れが定着しなかった大きな理由と考えられる^{*3-7,*3-8}。

3.5.2 新技術の自主的導入を判断するまでの各段階

農家が新技術導入を判断するまでには、いくつかの障壁がある。本節ではそれらを「段階」として捉え、直列的な相互関係を持つものとする。

3.5.2(1) 発想段階

3.5.1(1)で述べたとおり、農家が新技術を導入しようとするのは、例えば後継者不足の問題や、増収の必要性が切迫しているなどのような何らかの問題が存在していることが前提となる。

次に、農家はその問題を解決することを目的として、あらゆる新技術の中から何を導入すればよいかを考える。この段階を「発想段階」と定義する。

3.5.2(2) 可能性判断段階

発想された新技術の実施が可能か否かを判断するこの段階を「可能性判断段階」と定義する。

この段階で重要なのが、3.5.1(2)で述べた地域条件などのコントロール不可能な要因である。従来の農法では障害にならなかったこうした要因が、新技術の導入にあたってはネックになるというケースは十分に考えられる。それを詳細に見極める必要がある。

3.5.2(3) 経済的評価段階

ここまでで判断されてきた新技術をもしも導入した場合、得られるプラス面と、逆に生じてしまうマイナス面とを具体的に比較・評価する。

*3-7 前述の通り、直播の利点が活用されるのは、稲作経営規模の拡大、もしくは複合経営の拡大を農家が意図している場合であって、小規模稲作経営の兼業農家には直播導入の効果は小さい。この事例の場合、圃場整備事業を機に担い手への農地の集積が行えて、それによる稲作経営規模の拡大が果たせれば、直播を導入する効果も上がったと考えられる。ところが、それが達成されなかったため、直播導入の需要は生じなかった。そのため、直播導入による春（および秋）の省力化効果がほとんど意味をなさず、収量の低下のみが問題として残った。それが定着に至らなかった主な理由と説明できよう。

*3-8 1990年当時は直播の技術が現在よりさらに未確立だった。もしも今日の福島県（【事例2-1】参照）のように技術がより発達してからの導入だったら、収量低下のデメリットが軽減したことから、需要が低くても多少は定着した可能性がある。

プラス面とは発想段階でニーズに合致したものばかりでなく、副次的に生じる要素も含む。逆に、マイナス面とは、導入にあたって副作用的に生じるであろう問題点や、導入にかかる投資や諸経費や技術習熟などを示す。

導入にあたっては、これらのバランスを経済的に評価する必要がある。得られるプラス面の方が大きければその新技術の導入へと前進し、逆にマイナス面の方が大きければ、再び発想段階に戻って他の新技術を模索することになる。この段階を「経済的評価段階」と呼ぶ。

ここまでのすべての段階をクリアできれば、その新技術は導入すべきであるという結論に達する。以上を「新技術導入の判断過程」として提起する（Fig.3-6）。

なお、Fig.3-6ではエンドレスループが生じる場合があるが、それは農家が様々な新技術を模索しつつ、試行錯誤している過程であることを示す。

3.5.3 稲作農家が直播導入を判断する過程

3.5.3(1) 直播導入のための発想段階

大規模稲作農家にとって、新技術導入のための前提条件となる目的意識は、所得の増大であると考えられる。

様々な新技術のうちから直播が選択されるためには、まずは直播が知られていることが必要であるが、今日ではマスコミ等でも取り上げられていることから、これは大方クリアできていると思われる。

続いて、農家の新技術導入に対するニーズに、直播の利点が合致する必要がある。

前述のとおり、大規模稲作農家にとっての直播導入の利点は、育苗などを省略することによる春先の労力分散によって、稲作もしくはその他の作物の経営面積が拡大できる点である。こうした効果は耕作面積の一部に直播を導入するだけでも生じる。換言すれば、農業経営の拡大意向を持っている大規模稲作農家にとって、直播導入はそのニーズを満たす手段として有効である。

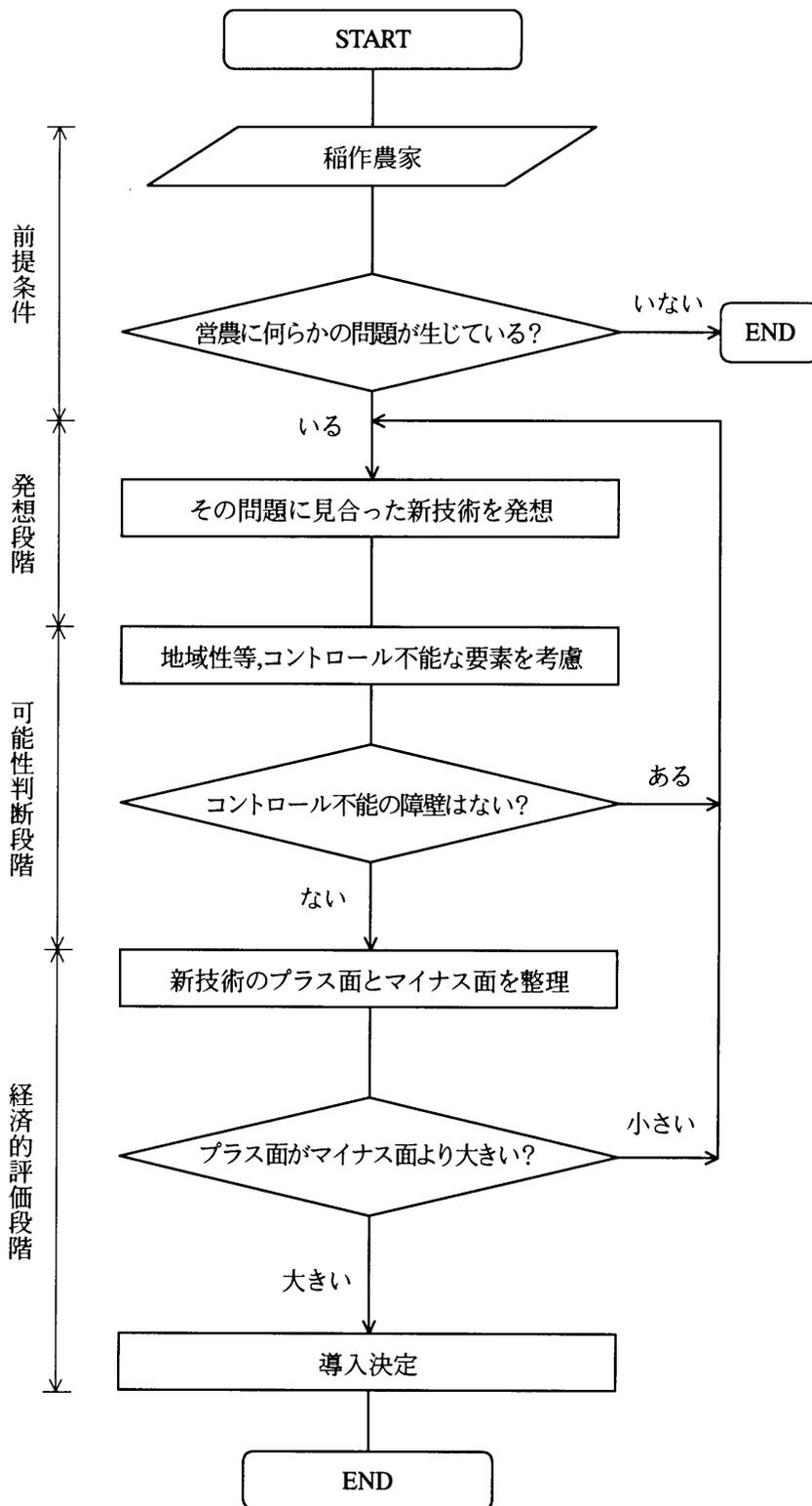


Fig.3-6 新技術導入の判断過程

3.5.3(2) 直播導入のための可能性判断段階

直播を行う上でコントロール不可能な因子は、

- 1) 地域の気象・気候条件；主に発芽期の気温や降雨、
 - 2) 土壌条件、
 - 3) 基盤条件のうちコントロール不能もしくは困難なもの；例えば水利権など、
- の3点となる（牧山・山路，1997；牧山・山路，1998a）。また、これらを違う視点から分ければ、
- a) 直播の実施を現実的に不可能にするもの、
 - b) 不可能にするわけではないが、手法を制限するもの、
 - c) 不可能にするわけではないが、収量の低下が明確に予測できるもの、
- の3者に分けられる。c)はあらかじめ予期できるものであることから、経済的評価段階において扱うよりも、可能性判断評価で扱う方が適当である。

これらの多くは地域性に依存している。また、これらをクリアするには、直播向けの品種やより高い技術の開発などで対処するしか方法がない。しかし、これらが十分にクリアできない場合には、直播導入を諦め、再度発想段階に戻って他の新技術を模索することとなる。

3.5.3(3) 直播導入のための経済的評価段階～収量低下の詳細

3.3にて、直播の導入によってカットされた労働で稲作を拡大すれば、経済的効果が得られると考察した。だが、これは直播での移植に比した収量低下を5～10%程度と前提している。ここでそのことについて補足しておきたい。

1) 「収量の低下傾向」と「収量激減の危険性」

直播の普及を地域単位などでマクロに見る場合には、「面積あたり収量が一般にどの程度減少するか」といった最頻値や平均値を重視する見方が妥当であろう。その場合、前述の姫田（1995）の文献整理のような「湛水土壤中直播では地方にもよるが5～10%程度の減」といった表現を用いることで十分である。

だが、農家単位で見ると場合には、「面積あたり収量が個々の水田でどの程度ばらつくか」の分散に着目する必要がある。

著者のこれまでの農家への聞き取り調査によれば、移植の10%程度増しになったものから、ほぼゼロに近かったものからまで種々存在した。このうち営農的に問題となるのは収量がゼロ近くまで激減する場合である。上記の「収量が低下する傾向」と区別するために、これを「収量激減の危険性」と称する。

なお、「収量激減の危険性」は、実際に生じている大きな問題であるにも関わ

らず、過去の研究の報告はほとんど見られない。これは過去の研究では収量を県単位、市町村単位などで平均しているため、水田単位や農家単位、圃区単位で生じるこれが見いだしにくいためだと思われる。1章で直播稲作のマクロな面積変化を追うのみの現状把握には問題があると指摘したが、これもそれと同様にマクロな検討では見落としかねない問題である。

以上の概念をFig.3-7を用いて説明する。個々の水田の面積あたり収量は、平均値を中心として正規分布のような確率分布をされると考えられる。移植水田でのそうした分布をFig.3-7の点線で表す。これに比べて直播水田個々の面積あたり収量の分布は、まず平均値が移植水田に比べて低下し、さらに収量が大幅に減る確率が高くなると考えられる。

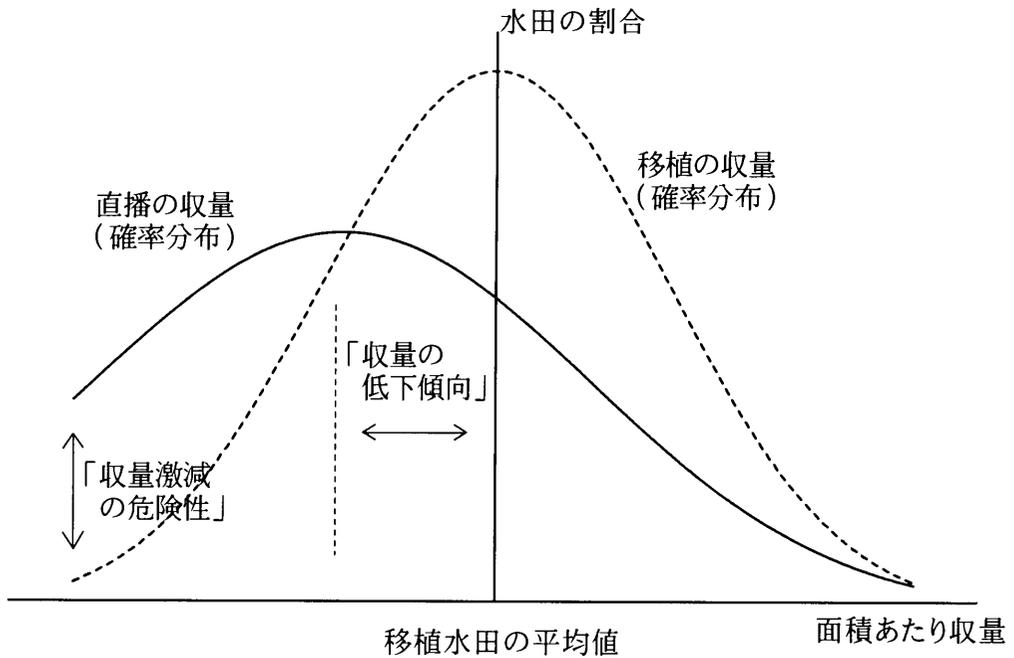


Fig.3-7 直播の収量低下の分類

2) 「収量激減の危険性」への着目

著者は実際に、農業試験場の指導の元に直播を行っていたものの、鳥害で苗立ち数が不足し、水田全体を代かきし直して移植を余儀なくされた例や、圃場整備直後の不等沈下のために均平精度が大きく狂い、再播種せざるを得なくなった例、除草剤の与えすぎでイネの苗立ち数まで激減した例などを見てきた。他にも、春の長雨、倒伏、雑草、貝害などで、収量がゼロに近い状態まで激減する危険が残されている。直播を稲作技術として見た場合、これは最も重大な課題である。またこれは現在の移植技術にはほとんど存在しない点にも注意しておきたい。端的に言えばこうした状況は「直播の失敗」であり、経済面や時間的な損失は莫大なものとなる。農家にとって絶対に回避しなければならないものである。

なお、「収量激減の危険性」の原因は、直播は移植に比べて高い技術水準を要求されることにある。例えば農家にとって、直播特有の水管理や圃場管理、除草法などを遂行することは、経験的にも技量的にも難しい。また、導入時に地域の気候を考慮しているといっても、直播は気象条件への許容性が低いことから、春先の豪雨や低温などといった、予想以上に大きな天候変動があった場合への対応は、やはり農家レベルでは困難である。

よって、直播導入への経済的評価には、収量激減の危険性が本質的な課題となる。危険性は確率の問題だから、農家によって捉え方が異なる。危険を重大な問題だと捉えれば直播導入を白紙に戻すし、逆に直播技術そのものへの信頼や、気候が安定している、適切な指導者がいるなどでこれを回避できる可能性が高いと考えれば導入へと前進することになる。

3.5.4 大規模稲作農家が直播を判断するための条件

以上で見てきたように、大規模稲作農家が直播の導入を判断するためには、

- 1) 農業経営の変革によって、さらなる規模拡大や所得機会の増加を求めている（前提）、直播導入で春先に時間の余裕を設けることでそれが実現できることが見込めること（発想段階）、
- 2) 直播実施のための条件のうち、気候条件、水利権など、地域条件を中心としたコントロール不能な条件がクリアできていること（可能性判断段階）、
- 3) 収量の平均値的低下のみならず、その経済的損失は所得機会の増加で対処できることから、経済的な重要課題は直播の欠点である「収量激減の危険性」である。この回避が見込めること（経済的評価段階）、

の3点を同時に満たさなければならない。

2)については改善は不能だから、もしこの段階をクリアできなければ、農家は直播導入を諦めるしかない。

3)は問題である。本論ではこの段階の、特に収量激減の危険性こそが、農家が直播導入を判断する際の本質的かつ最大のネックであると同時に、早急に改善されるべき課題であると考え、なぜならこれは直播の技術及び普及上の問題であり、危険性を下げるといった改善の余地が残されているからである。

さて、ここまで直播導入の判断過程をシミュレートしてきたところ、結果的に収量激減の危険性に行き着いた。その回避策についてソフト面から考察したい。

1章で記したとおり、現時点では、直播の技術は試験場レベルではある程度確立してきているといわれている。ところが3.5.3(3)で述べたように、これは農家レベルでは遂行しやすい技術ではなく、このことが「収量激減の危険性」の原因となっている。

したがって、「収量激減の危険性」を回避するためには、農家にとってより導入しやすい技術が開発されていることと、そうした技術を農家に対して指導や援助できる指導機関が存在していることが求められる。

前者は試験研究機関レベルでの課題である。敢えて例を挙げれば、発芽性や耐倒伏性が優れ、かつ食味のみならずブランドイメージもコシヒカリに負けない（牧山・山路，1998）品種の開発などになろう。

一方、後者こそが、本論の対象である農家レベルで行える「収量激減の危険性」の回避策である。これには各地域の農業普及センターなどがあたるべきであろう。しかしそのためには、指導機関自体がサポート体勢を整えていることが前提となる。したがって、試験研究機関との連携強化、および普及職員の一層の資質向上（平成10年度版農業白書（農林統計協会，1999）より）^{*3-9}といった形で、指導機関の育成が求められる。

*3-9 ここで普及職員の資質向上とは、技術を確実に修得し、それを耕作者に指導するのはもちろんだが、それだけでなく、気象の変動等に臨機応変に対応でき、農家に対して確実なアドバイスを与えられるなどの能力を身につけることも含むと著者は捉えている。

3.6 直播稲作の導入事例

序章および1章にて、県ごとの直播普及度が散逸的である旨を述べた。それについてさらに細かく市町村別の普及度を見てみたい。もしも直播普及の既定要因が気象条件であるとするれば、直播面積率が高い市町村に近接する地区でも普及度が類似すると考えられる。ところが、例えば埼玉県比企郡吉見町（下記の【事例3-10】）は、1997年33ha、98年45ha、99年64ha、2000年64haと、直播が多くの面積で安定的に実施されているが、近接する市町村、吹上町、鴻巣市、北本市、川島町、東松山市では直播が一切行われていなかった。同様の例は各地で見られる。こうした実情を考えると、現在の普及への規定要因は、市町村単位や集落単位などでの基盤の整備状況、および普及への行政的取り組み、導入への農家レベルでの取り組みにあると考えられる。

このようなことを踏まえて、基盤や各種の取り組みに着目した以下のような整理を試みたい。

直播稲作の導入・定着が有効なパターンは、経営類型を鑑みると、規模の大きな順に以下のように整理できる。

- 1) 大区画化圃場整備を契機にしたり、担い手の育成を目的とした経営の大規模化、法人化、
 - 2) 増収を目論んでの、数戸による連携（機械の共同利用組合や、勉強会の発足など）、
 - 3) 個人単位での経営規模拡大、
 - 4) 世代交代や相続、定年帰農、機械・設備の更新といった個人的な変化、
- によって生じる。このような変化をきっかけとして、直播を経営に組み込もうという農家側の体制が整っていくのだと考えられる。

以下、1)に相当する事例（【事例3-4】～【事例3-9】）、2)に相当する事例（【事例3-10】～【事例3-12】）、3)に相当する事例（【事例3-13】）、4)に相当する事例（【事例3-14】）について紹介する。

3.6.1 圃場整備などによる経営大規模化を契機にした導入

【事例3-4】日本における最も著名な大区画化圃場整備のひとつの例である角来地区の例。印旛沼沿岸の低地だったために洪水の多発地区だったが、湖底土を浚渫盛り土して嵩上げし、同時に大区画化圃場整備（1979～）、用排水路の地下埋設などを行った（兼坂，1988）。その後、区画の拡大と同時に集団化が進展した。結果として農作業が2名のオペレータに集積された。面積規模（23ha）的にも、一部に直播を導入することは必須だったと言えよう。

ところが、耕作者の1人であるS氏は、均平を中心とした基盤面に問題が残っており、均平に関する許容性が高い乾田直播でないと上手く耕作できないと述べている。このことから、ソフト面での合意は充分に行えても、まだハード面の課題は解決が不十分であることがわかる。

【事例3-5】茨城県新利根町の太田新田営農組合は、今日では約30ha（うち組合員6戸の自作地が19ha）を経営（加えて作業受託が10ha以上）していて、さらに拡大していこうという意欲が強い（目標は50ha）。3人のオペレータが農作業に従事しており、また組合ではレーザーレベラー、8条植えの田植機などの大型農業機械を所有している。

同地区は、周辺は泥炭土の低地で排水不良であったが、1978年に県営圃場整備が済み、農地集積、大区画化（最大2.2ha）も進んでいる。また国営灌漑排水事業が1993年に終了し、1997年より乾田化された。

当初は麦と大豆が基幹作物であったが、転作作物の価格低下や「新政策」への対応を目指し、1994年から米作主体へと移行した。1999年には水田16haにて稲作を行い、他にイチゴの施設栽培（20a）や大豆と麦の二毛作（10ha）などを行っている。

最初（1994年）は、ある国立研究機関の研究に圃場を提供する形で直播を試験的に導入した。当初は湛水直播と乾田直播の両方が試験されたが、春先の降雨に強いことから乾田直播の、中でも冬に耕起するのみの手法（播種直前には耕起しない手法）が選択された。こうした技術選択と、同組合では育苗作業とイチゴの収穫時期との競合を回避する目的、また稲作経営を拡大しようとする意向とから、直播の意義が大きくなったことが相俟って、今日までに定着してきている（1997年5ha→1999年8ha）。ただし、このまま直播面積率を増やし

続けるのではなく、将来的にも危険分散を考慮して直播と移植の面積比を半々程度としていく計画である。

なお、直播導入における技術的特徴としては除草や鳥害防止の観点から均平の維持が課題となっており、レーザーレベラーで毎年均平整備を行っている。また灌漑の合理化のためのパイプライン径の拡大や、畦畔浸透抑制のための畦シートの適用など、技術面での工夫もなされている。その結果、今日では移植とほぼ同じか若干よい収量が得られている（1998年は移植492kg/10a、直播515kg/10a（玄米））。

【事例3-6】福島県郡山市日和田地区では、現在は専業農家7人が組織している受託組合を中心に農業が行われている。なお、圃場整備の際に、担い手育成の観点から農業法人として日和田西部地区農業生産組合を設定した。しかし、これは意志決定の際に総会の開催を要するため、機敏な対応ができず、実際には土地利用調整以上の仕事は行えない。したがって実質的な担い手として、受託組合が改めて組織されたという経緯がある。

1996年以降の担い手育成型圃場整備に伴って担い手を育成することを目的に、1997年から直播が導入された。裏の意図として、これまで農家が共同で何かに取り組む機会がなかったので、福島県の政策のタイミングと合わせて新技術である直播を取り入れることで団結を計ろうという考えもあった。

導入2、3年目は収量が低下した。しかし、補助金をもらっているために、直播をやめることができなかった。そのうちに散播から条播に切り替えたこともあって収量が上がり、定着へと向かうことになった。また、各農家は他の地区にも農地を持っているが、そちらで移植する分の育苗はできても、日和田の分の育苗はできなかった。それも日和田で直播がなくならなかった要因と考えられる。

【事例3-7】福島県の会津坂下農業普及センター管内では、水田面積が6,000ha弱あり、そのうち282ha(約5%)で直播栽培が行われている（2002年）。特に八木沢地区と会津本郷町で直播が盛んに行われているが、その目的は異なる。

会津本郷町では、1992年から行われた基盤整備直後、基盤が不安定で機械が入れなかったために直播を導入した。機械が入れるようになった1998年には直播面積が半減した。ところが、1999年に町内に「早炊き加工米」の工場を設立

した。その原料となるもち米を低コストで作ることを目的として、直播を再び導入した。その後は年々倍増するペースで伸びている。増加のペースが速すぎるため、播種機等の設備投資が追いつかないほどである。

八木沢地区も、会津本郷町と同様に、1995年から行われた基盤整備が直播導入のきっかけだった。当初は1～2年で止めるつもりだった。だが、初年度(1997年)に予想以上の高収量になった。また、行政主導であった「八木沢水稲直播栽培実行委員会」の代表を地元にするこゝで、地元主体性を持たせる努力をした。

その後、1999年の全国直播サミットの開催をにらんで、行政主導で1999年は直播実施面積の拡大を強行したものの、それは1999年から2000年にかけての直播面積の大幅な減少(この減少により福島県全体の面積も大きく減少)という形になって現れた。

さらにその後、2000年以降はコシヒカリを作る試みが行われ、直播面積が増加している。専業農家への集積も進みつつあり、現在では地区内のほぼ全水田で直播が行われている。

【事例3-8】 栃木県鹿沼市の事例。大規模な受託作業を行っている第3セクター(市とJAが共同出資)が存在する。市内の、主に都市化の進展に伴い経営の継続が困難となった農家が所有する水田での作業を一括して受託している。すなわち「農業公社による大規模農業経営」という新たな取り組みと言える。

ここでは移植栽培を基本としているが、育苗できる量の限界を超えると、それ以上は直播を行っている。

なお、近年では育苗施設が拡充されたことから、直播面積は減少している。

【事例3-9】 山形県長井市の例。当地区は1991年ごろ、全国で散播が広まり始めた頃から増えはじめ、1995年(第2回全国棚田サミット(現地開催の第1号)が開催)にピーク(41ha)、その後減少し、2002年現在は15ha程度で、ほぼ底を打ったと見られている。当初は散播中心だったが、今日で条播、点播が主に行われている。

直播を導入したのは、育苗の省力による受託の拡大を目的とした中規模以上の農家が多く、一部の農家はその流れに乗っての試験的な導入であった。

さて、大幅増の理由としては、1993年の「低コストモデル事業」(全国7ヶ

所)による農協のカルパーコーティングのセンターの設立、直播推進組合による機械の共同購入といった形で設備が充実したこと、そして当時のコメの輸入自由化に伴う低価格化が、勢いを加速したものと思われる。また、地元の研究会に、指導が細かく、信頼を得ていた(聞き取り調査より)普及員が加わっていた^{*3-10}ことも関係するだろう。

今日では面積的には大幅に減少したが、現在でも直播を続けている、すなわち定着したと考えられる農家は、専業の大規模稲作農家、しかも自身が経営している農地の全面積で直播を行っている農家ばかりである。春作業受託との組み合わせが直播の定着に関与していることが考えられる。

なお、梅本(1999)はこの地区について、大幅な面積減に着目しての調査を行っている。しかし、もともと試験的導入の農家が多かった^{*3-11}こと、導入が技術レベルが未確立な時期だったことがその大きな理由だと著者は考える。そのため、面積減に着目するよりも、むしろ飛躍的に面積が増えたことに着目し、その理由を検証することの方が重要であろう。

3.6.2 数戸単位の組合・勉強会を母体とした導入

【事例3-10】埼玉県吉見町では、南部地域の大規模稲作地域(すでに団地化されている)、および東部地域のハウス野菜中心の複合経営農家において、直播が実施されている。

当初は1993年の試験的な手播きから始まり、1995年に機械の共同利用組合を設立、1997年に国営の事業を導入し、2000年に栽培農家数30戸で、栽培面積59.0ha(最大)。今日はムギ作の畑が団地化されたことから、稲作面積が減ったことにより、直播面積も減少している。機械は共同利用組合と農協がそれぞれ所有している。

*3-10 なお、山形県置賜町の面積の急減、同県長井市の面積増の理由の一つとして、この普及員が長井市の地区に異動したことも指摘できる。

*3-11 聞き取り調査を行った地元JA担当者の話によれば、試験的な導入を行った農家は、所有している農地の中でも、排水性や水回りがあまりよくない圃場に導入したため、なおさら定着しなかったのではないかとのことであった。試験的導入に恵まれた水田を新技術導入に使用しないのは、農家ならではの危機管理策だと解釈できる。

【事例3-11】 栃木県西方町は、イチゴを主幹とした農家が多い（町の農業生産額のうち、半分がイチゴ）。また水量が豊富な「小倉堰」によって、水利にも恵まれている。

当地区では1992年から動力散布機による直播が導入され、今日では条播、点播が主流となっている。これはイチゴとの作業競合回避（イチゴは10月～6月がずっと忙しい）を目的としている。近年、直播面積が拡大している。それは、生産調整の拡大により、イチゴ栽培の面積が増加し、その労働量の確保のために移植から直播への移行が加速したからである。県営圃場整備が1978年から1996年に実施されたが、圃場整備は担い手育成や営農集団への集積を意図したものではなかったため、圃場整備事業とのセットでの直播導入ではない。

また、面積規模の小さい農家が多い（平均農地面積1.2ha、兼業農家も多数）ことから営農集団を結成し、そこで農機具を共有していた。そのため、直播機械の共有組織（直播推進協議会）が設立しやすかったということもプラスに影響した。今日では同協議会は、直播機械の共有の他、勉強会を行っている。過去には噴霧用のラジコンヘリを所有していたが、それは2002年よりJAの管轄に切り替えられた。またカルパーの被覆作業もJAが所有している機械で行っているが、こうしたJAが補佐している例は、愛知県南陽町、山形県長井市など、全国に多い。

【事例3-12】 山形県長井市に隣接する置賜町の例。こちらは春作業受託ではなく、ブドウとの作業競合回避のために直播が導入された。導入は1992年からだが、当時は失敗が目立ち、本格的な普及へと至ったのは1995年に発足した直播機械の共有組合を兼ねた勉強会（普及所がバックアップ）の存在が大きい。

普及員の指導を得ても若干の抜け落ちはさけられないことから、最初から補植を行うことを覚悟すること、また15%の転作カウントがあることから、収量が15%くらい落ちててもかまわないと考えるなど、農家は低収量性に対して開き直りとも言える強い意志を持っている。こうした感覚の成熟には勉強会が大きく寄与している。

3.6.3 個人単位の大規模化を契機にした導入

【事例3-13】茨城県河内町のA氏の例を紹介する。同地区は1980年代に区画、水路の整備は済んでいる。A氏は同地区を中心に、1999年現在で水稲22ha、ムギ29haの大規模経営を行っており、加えて稲作については春作業10ha以上、秋作業20ha以上を受託している。

A氏はさらなる稲作経営規模の拡大を目指し、また同県の転作カウント10%をも考慮して、1998年より自主的に直播を試行し始めた。導入は自主的なもので、メーカーや普及機関の主導によるものではない（近隣の試験機関（以下「C機関」）からのアドバイスは仰いでいる）。5年程度を目途に慎重に定着を図っており、徐々に規模拡大（1998年48a→1999年76a）しながら、適正な直播手法を模索している段階である（1999年までは背負い式動力散布機（ミスト機）による湛水散播→2000年からは代かき同時湛水点播を導入）。将来的には自作の農地を中心とした水田数枚、計1.5ha程度までは直播を定着させたいと考えている。

1999年は、直播に失敗し、結果として代かきし直した上での移植を余儀なくされた。これはミスト機での播種では種子が土壌中へ埋没する深さ（以下「埋没深」）を確保しにくいこと、またそのことに加えて早期に落水してしまったことから、発芽直後に田面および表層播種された種籾が水面上に露出してしまい、鳥害に遭ったためである。

さて、ここでミスト機に一般に共通する埋没深の問題については考えず、鳥害の主要因と考えられる落水が早すぎた点について考えたい。

落水が早すぎた原因には、1999年に直播を行った水田はモグラ穴などによる漏水が多く（代かき直後であるにも関わらず、日浸透量が1cm程度）、水管理が困難であったことが挙げられる。それに加えて、B氏が直播での水管理に関して適切な知識を有していなかった。

このうちの前者は、圃場管理上の問題である。

後者については、A氏自身も地域の研修会などを通じて様々な知見を集めてはいたが、肝心な部分はC機関に技術指導を頼る形となった。しかし著者がA氏並びにC機関へ聞き取り調査を行ったところ、C機関がA氏に対して指導した技術の内容の中に、代かき数日後に播種し、播種直後に落水すべきであるなどと、ミスト機に関する一般の知見とは異なる点が何点か認められた。これは

C機関自身が直播技術を十分に把握できていなかったためであると考えられる。具体的には、ミスト機での散播では表層播種になりやすく、また近隣の水田で直播を行っていないことから、早期落水した場合には鳥に集中的に狙われることは容易に予期できる。この点をC機関が指導時に考慮できなかった点を指摘しておきたい。

3.6.4 世代交代などの個人的な変化を契機にした導入

【事例3-14】茨城県内原町のある農家は、相続に伴う新規就農と同時に直播を開始した。本研究では直播を、移植を従前の技術と考えた上での新技術と位置づけている。すなわちこの農家の場合にとっては直播がオリジナルな技術である。例外的なケースといえよう。

3.7 3章の摘要

本章では、まず直播における低コスト化は主に省力化された時間の活用によって得られるものであることから、省力化こそが主目的かつ意義深いことを示した。その上で、農家類型を省力化する際の労働の利用目的に応じて「稲作拡充型」、「複合経営拡大型」、「第2・3次産業拡充型」、「余暇増加型」の4類型に分類し、それぞれの直播の導入意義に関して営農の観点から検討した。結果として「稲作拡充型」「複合経営拡大型」の農家にとっては直播導入の有効性が高いこと、逆に「第2・3次産業拡充型」の農家にとっては、農外所得機会が労働の季節差が少ないために労力配分の効果が低いことから、直播導入の意義は低いことを示した。

続いて大規模稲作農家が直播の導入を判断する過程について、従前の栽培法に問題が存在していることを前提にして、①春先の省力化によって所得機会が増大できる場合に直播を必要だと発想し、②地域条件を踏まえて導入が可能であると判断し、③直播の経済性を評価し、特に最大のリスクである「収量が激減する危険性」が回避可能と判断する、の各段階がすべてクリアされる必要があることを整理した。このうち最大の障壁は直播の低収量性、特に技術の困難さによる収量大幅減の危険性と考えられた。

さらに直播を導入する契機となる農家の経営上の変化について、圃場整備などを契機とした経営の大規模化・法人化、数戸単位での連携、個人単位での規模拡大、世代交代や相続などの個人的な変化の4者に分類し、それぞれについて事例を紹介した。

(3章 おわり)

4章 苗立密度の不均一性から見た田面均平の意義

4.1 本章の目的

4.1.1 本章の着眼点

直播，特に湛水直播では移植以上の田面均平が求められることが，古くより指摘されている．例えば山崎（1971）では，乾田ジカマキ，移植，タン水ジカマキの順に，平均値±7.5cm，±5cm，±2.5cmが必要だとしている．だが，均平整備が不十分な場合に直播イネの生育にどのような問題が生じるかについては，序章で述べた三石らや佐々木らの他には，具体的な指摘はほとんど為されていない．

一方，前章で問題視した「収量激減の危険性」については，その大きな理由として苗立密度の不均一性が挙げられる．

そこで，著者は苗立密度の観点から田面均平の重要性について論じることとしたい．

4.1.2 本章の目的

上記に向けて，本章では苗立密度が1枚の水田内において不均一になっている実態を把握すること，苗立密度が生育・収量にどのような影響を及ぼすかを検討することを第一の目的として，最も苗立密度の不均一が生じやすいと考えられる湛水土壤表面散播を行った水田において現地調査を行う．またこの結果を用いて，生育にとって適正な苗立密度およびそれを得られる適正播種量を算出する．

続いて湛水土壤表面散播や湛水土壤中散播のような苗立密度が不均一になりやすい手法に着目し，その苗立密度の均一化に対して水田均平整備が有する重要性について考察することとする．

4.1.3 湛水散播への着目

本研究では本章以降の章において，湛水土壤表面散播，および湛水土壤中散播に注目する．理由は以下の通りである．すなわち，これらの湛水条件下への散播手法は，中小規模面積向けの背負い式動力散粒機から，乗用管理機に散粒機を付設したもの，無人もしくは有人ヘリコプタなどを用いた大面積向けのものまで，

多種多様な播種機が用いられる。そのため小面積への適用性から個人農家への定着の可能性（姫田，1995），また大面積での高い播種作業効率（農業研究センター，1997）など，様々な可能性が期待される。特に後者については，省力性を重視した直播栽培の手法の中でも，散播は大面積に対する省力性が最も高い手法のひとつとして注目される。

なお，湛水土壤表面散播と湛水土壤中散播との区別は，前者は播種した種子の埋没は意図しておらず，過去においては多くの場合に酸素供給剤の被覆を要さなかった^{*4-1}のに対し，後者は酸素供給剤を被覆した種子を土壤中への埋没を意図して播種する方法である。

4.2 湛水土壤表面散播での苗立密度の不均一と適正苗立密度

4.2.1 現地調査の方法

現地調査は，湛水土壤表面散播（不被覆での湛水散播）が行われている千葉県佐倉市の水田（【事例3-4】，Table 4-1）において行った。収穫直前期，田面の任意の箇所において，50cm×50cmのコドラート（木枠）を用いてその枠内に生育しているイネの個々の位置座標と分けつ数（測定時期を考えると，有効茎数とほぼ同値と考えられる）を測定した（Fig.4-1に測定例を示す）。

Table 4-1 苗立密度測定圃場と播種方法

地区名	測定年	圃場面積(ha)	播種法	測定点
N地区	1993	1.53	ラジコンヘリ	14
U地区	1994	2.14	背負い式動力散布機	36

※）共に播種量は5kg/10a，品種はコシヒカリ，酸素供給剤を粉衣せず

*4-1 近年では酸素供給剤被覆の自動化機械が開発され，かつて問題視されていた作業競合の問題は軽減した。そのため，乾田直播でも酸素供給剤の被覆を行うケースが見られるほどで，湛水直播で被覆しないものは以前よりも減少していると思われる。

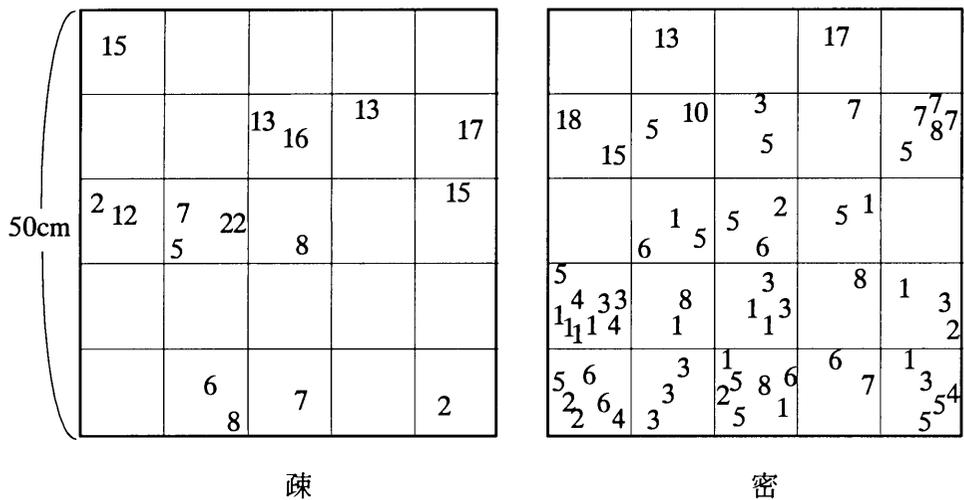


Fig.4-1 株の位置座標と分けつ数の測定方法と結果の例（定幅散布機による湛水土壤表面播種水田にて，1995年）

4.2.2 苗立密度の不均一の存在とその生育・収量への影響

各測定点における苗立密度と茎数の合計との関係をFig.4-2に示す。これより、Table 4-1の播種法では両手法ともに苗立密度に4~5倍の格差が存在していた。また苗立密度が高い方が個体あたりの茎数が少なくなる傾向があることが確認された。また、年度や圃場が違うために一概には言えないが、ラジコンヘリ散播の方が動力散布機よりも密度の不均一性が大きい。この結果から、ヘリ散播では均一な密度で播種することがより困難であることが推察される。

続いてこの結果をよりミクロに検討し、ある個体の生育がその周辺の個体の生育に影響を与えているか否かについて考える。Fig.4-3はU地区のデータを用いて、注目した個体（「中心個体」と呼ぶ）の茎数とその個体から半径15cm以内に位置する個体（「周辺個体」と呼ぶ）の数との関係を、全個体について示したものである。またFig.4-4は中心個体を含んだ半径15cm以内の個体数と茎数の総和の関係を表したものである（それぞれサンプル数は729）。ここでイネの個体に着目すると、周辺個体数が多いときを苗立密度が高い、周辺個体数が少ないときを苗立密度が低いとすることができる。

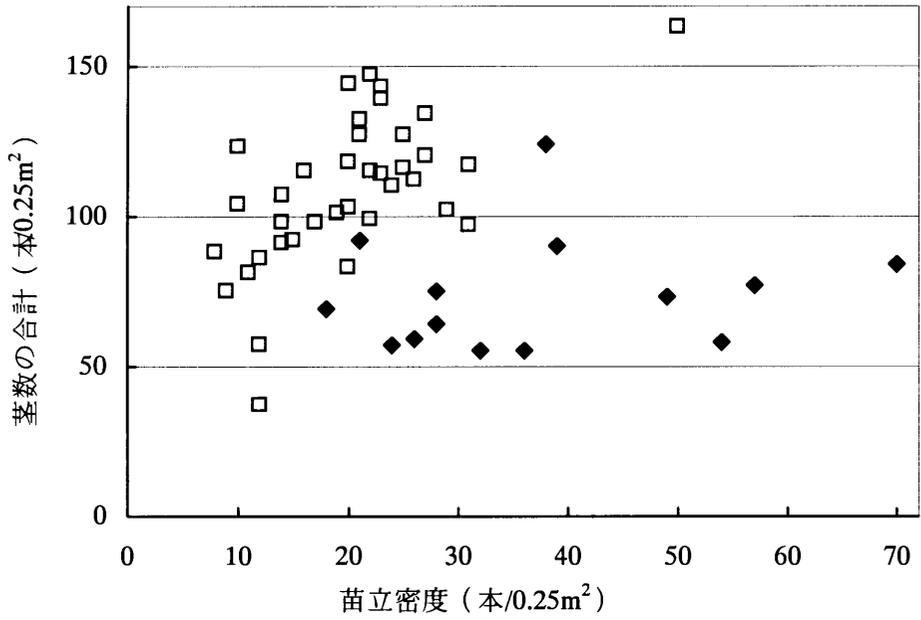


Fig.4-2 苗立密度と面積あたり総茎数の関係

(◆：N地区=ラジコンヘリ，□：U地区=背負い式動力散布機)

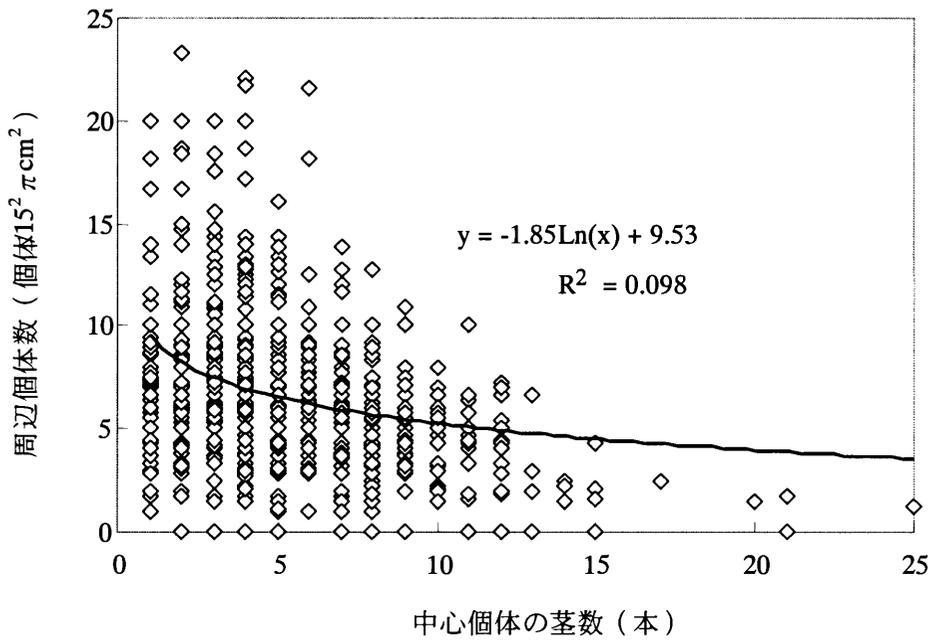


Fig.4-3 中心個体の茎数と周辺個体の個体数の関係

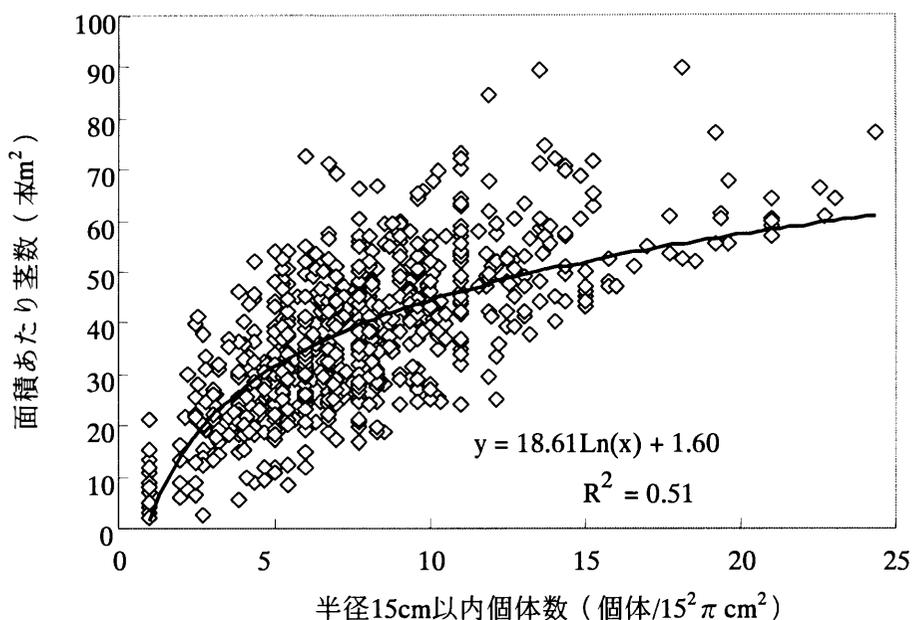


Fig.4-4 中心個体の半径15cm以内に位置する個体数と茎数の関係

Fig.4-3, Fig.4-4から、以下の2点が推定される。

- 1) Fig.4-3より、苗立密度が低いときには中心個体の茎数が多くなる傾向があるが、その数はばらつきやすい。逆に苗立密度が高いときには中心個体の茎数は少なく、またばらつきにくくなる。
- 2) Fig.4-4より、苗立密度が低いと面積あたりの茎数も少なくなる。逆に苗立密度が高いと面積あたりの茎数も多くなる。これらの増加はいずれも頭打ちになる。

以上に加えて、ここで測定した茎数は有効茎数とほぼ一致していることから、面積あたりの茎数の増加はそのまま収量の増加と考えることができる。また茎数がばらついていると穂揃いが悪くなって玄米品質が不揃いとなる（例えば星川，1975）。

さらに、次節で述べるように、イネは苗立密度が高くなっても、面積当たりの収量が頭打ちになるだけで、低下はしないと考えられる。

これらのことから、茎数が頭打ちになる直前でかつできる限り高い苗立密度が、生育の不均一を生じず、かつ多くの収量を安定的に得やすい、適正な苗立密度であると考えられる。

4.2.3 適正苗立密度および適正播種量の算出

4.2.3(1) 適正苗立密度

茎数が頭打ちにならず、しかも個体あたりの茎数の不均一を生じさせないような苗立密度が存在すると考え、それを「適正苗立密度」と呼ぶ。

苗立密度の高低が広く分布しているU地区のデータを用いて、以下のような検討を行なった。

まずFig.4-2について、苗立密度と茎数との関係の詳細を見ると、「 0.25m^2 あたり25個体」という数値を境に、面積あたりの全茎数は、100本以上の値を安定してとっている。

また、各測定箇所における各個体の茎数のばらつきを標準偏差で示したFig.4-5からは、やはり 0.25m^2 あたり25個体を境として標準偏差が小さくなっている。

これらの結果から、苗立密度が25個体/ 0.25m^2 以上で面積あたりの収量は安定しやすくなっていると言える。

以上から、本報では適正苗立密度として25個体/ 0.25m^2 以上、すなわち100個体/ m^2 以上を用いることを提起する。

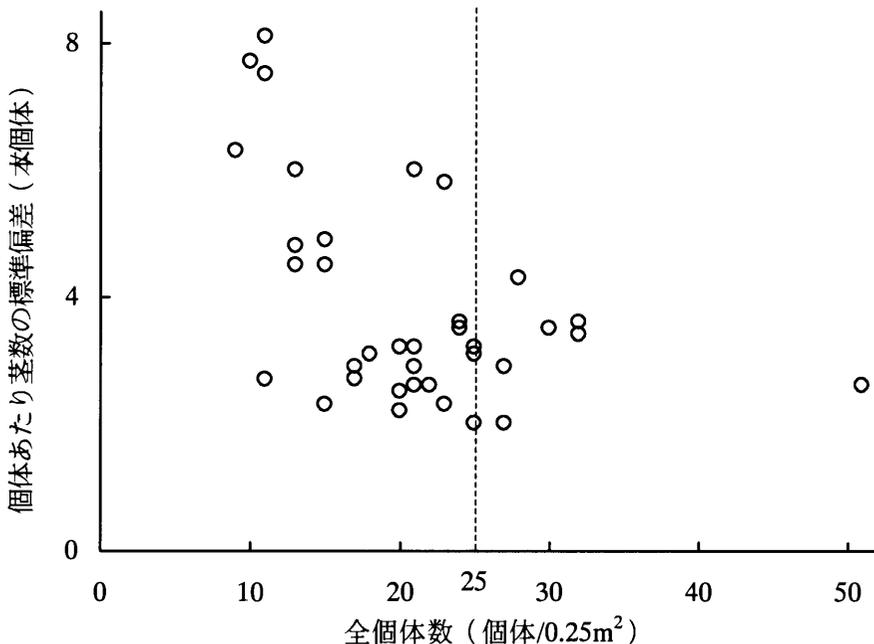


Fig.4-5 苗立密度と個体あたり茎数のばらつき

4.2.3(2) 適正播種量

適正苗立密度を満たすような播種量（以下「適正播種量」と呼ぶ）を、以下のよう算出した。

まず、日本で多く用いられている種籾の1000粒重は、一般に20～25g程度である。

また圃場全体から見ると苗立密度は不均一となっているが、そのような状態の下で苗立密度の低い部分が適正苗立密度以上となるためには、播種量を多くする必要がある。そのことを踏まえて、生存率を大きく決定づける出芽・苗立ち率を60%とする。

これらをもとに適正播種量を(4.1)式のように算出した。

$$\frac{100\text{粒}}{1\text{m}^2} \times \frac{20\sim 25\text{g}}{1000\text{粒}} \div 60\% = 3.3\sim 4.2\text{ g/m}^2 \quad \dots\dots(4.1)$$

したがって10aあたりの播種量としては3.3～4.2kg以上が必要である。この結果から、適正播種量は「10aあたり4kg以上」と表すことができる。

なお、ここで提示した適正苗立密度100個体 m^{-2} 以上および4kg 10a $^{-1}$ 以上は、1章で述べた既往の報告と遜色ない。

4.3 苗立密度が過疎な箇所の問題とその制御のための水田整備の重要性

4.3.1 苗立密度の過密・過疎

4.3.1(1) 苗立ち密度が過密な箇所での収量の安定性

水稻の生育において、栽植密度がある程度以上になれば収量はほぼ一定となることは、山田（1963）らなど多くの文献で述べられている。しかし、これらの既往の研究は1株2～3個体植えて行なわれている。そこで湛水散播のように個々の株が1個体ずつの場合にもこれが成立するか否かについて、以下のような試験を行なった。

試験は東京大学農学部構内のライシメータ（2.4m×1.2m）2基を用いて、16cm間隔（256 cm^2 /株）から5cm間隔（25 cm^2 /株）の6種類の実験区に、葉齢3のコシヒカリを1個体ずつ移植し（1995年5月19日）、9月28日に収穫した。

Fig.4-6に各実験区における中央付近の約30株について測定した穂重およびそれを面積あたりに換算した結果を示す。株あたりの穂重は栽植密度が高くなるに従って概ね少なくなるが、面積あたりに換算すると7cm間隔区を除いて300kg/10a前後^{*4-2}でほぼ一定値となった。この結果から、山田らなどの既往の研究は1個体植えの場合にも適用できると考えられる。

また、生育初期の苗立密度が過密な箇所では、イネが自ら競合・淘汰することによって苗立密度を是正する可能性が考えられたが、5cm間隔の過密な実験区でも収穫期までに競合によって抜け落ちたものは皆無であった。このことから、個体同士が接触しているような超過密条件でなければ、競合による苗立密度の調節は生じにくいであろう。したがって生育初期に決定された苗立密度は、収穫期までほとんど変化しないことが推察される。

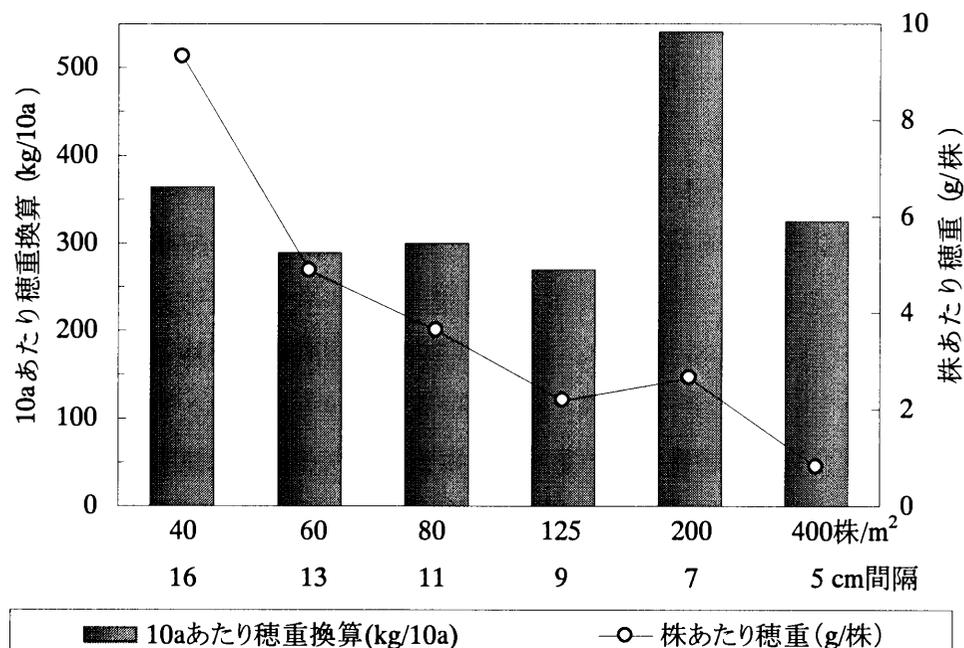


Fig.4-6 株あたり1個体植えでの栽植密度と収量との関係

*4-2 収量が標準値に遠く及んでいないのは、本試験はライシメータ設置場所の制約から、全般的に日射量が少なかったためだと考えられる。

4.3.1(2) 苗立密度が過疎な箇所における収量について

逆に苗立密度が低下した場合には、ある程度の密度までは面積あたりの収量が維持できるが、その密度より低下した場合にはその箇所における収量は低下すると考えられる。

例えば鳥害の場合、播種された種子や発芽直後の乳苗が、局所的・集中的に食害される。【事例3-13】のような田面全体で被害に遭った例は特殊だと思われるが、数 m^2 ～数 $10m^2$ に渡って食害を受けた例は著者は何例も見えてきた。そのようにして部分的に苗立密度が過疎になった場合、その部分は面積あたりの収量は低下する。

このように、苗立密度が過疎になる箇所ができることが、その水田における収量の低下の要因のひとつになっている。さらにこうした過疎となる箇所が広がった場合に、「収量の大幅減」が生じるのだと考えられる。

なお、苗立密度の下限値については、前述のとおり佐々木ら（1999）が $24\sim 46$ 本 m^2 としている。

4.3.2 苗立密度の不均一を生じる要因

湛水散播における苗立密度の不均一は、以下の要因によって生じると考えられる。

- 1) 播種段階における播種密度の不均一、
- 2) 発芽・出芽・苗立ち（いわゆる初期生育）の不均一、
- 3) 主に生育初期における、外的要因（風・波など／鳥害・貝害など）による個体数減少。

以下でこれらを個々に検討し、苗立密度の不均一を抑止する対策について考察する。

4.3.2(1) 播種密度不均一の制御

第一に考えられるのは、播種密度の不均一性がそのまま残って苗立密度に影響することである。特に播種密度が薄い箇所は、面積あたり茎数を分けつのみで確保することは困難であるため、収量の減少を誘発しかねない。

播種密度の不均一は、播種作業者の技術にもよるが、多くは播種機械の精度に起因するものと思われる。したがって、均等な密度で播種できるような機械技術の開発が必要である。他にも、播種密度が過疎な箇所を作らないように播種量を若干多めにすること、また、特にヘリコプターによる散播の場合には、薄目の密

度での播種を数回繰り返すことなども効果的だと考えられる。

4.3.2(2) 発芽・出芽・苗立ちの制御

出芽・苗立ちを決定づけるのは、気象条件と圃場条件である。以下の考察から、これらは「気象条件による圃場全体の平均的発芽・苗立ち率の低下」と「圃場条件による局所的な苗立ち率の低下」とは明確に区分して議論するべきだと考えられる。以下にそれぞれの主な因子を挙げる。

1) 気象条件

例えば（宮坂，1973）は湛水散播は年平均8℃以上の地域であることが必要としている。播種時期の気温が低い場合には苗立ち率は激しく低下する。このような気象条件による発芽・苗立ち率の低下は圃場全体に一樣に影響するものであり、人為的な対処がとりにくい。したがって播種密度をあらかじめ高めておくこと、低温発芽性の強い品種を使用するなどの対応が求められる。

2) 圃場条件

序章にて既述のとおり、湛水直播では根の土壌中への進入を目的として、発芽後にいったん落水する「落水出芽法」を行うのが今日では一般的になってきている。その場合、均平が悪い場合には、落水期間中にも局所的な凹地に湛水が残り、そのために根が表層から出る（タコ足状態）浮き苗が生じる。したがって速やかかつ湛水残留の微少となるような、高い精度の地表排水が求められる。1章にて前述のように、地表排水は均平精度と凹部の連続性に依存する（例えば丸山，1975など）が、このことから類推して、圃場内の凹凸を極力減らし、明渠を設け、さらになおかつ排水路側に向けて緩傾斜をつけるなどといった整備を行なう必要が生じる。

さらに、湛水土壌中散播の場合には種子が適切な深度に埋没する必要がある。そのためには、播種機械の精度も必要だが、水田表面土壌の軟弱度や、湛水による抵抗なども均一化する必要がある。この点でも田面均平の重要性が示唆される。

これらのような圃場条件による発芽・苗立ちの低下は局所的に生じるものであり、また極端な場合には水田内の大きな面積で苗立ち不足が生じる危険性がある。これへの対応は播種密度を高めるだけでは不十分で、より厳密な均平精度の確保や排水性の向上など、水田管理条件の向上が強く要求される。

4.3.2(3) 外的要因の制御

まず、発芽直後の稚苗の段階において、根づきが弱いために風や波によって生じる抜け落ちが考えられる。湛水散播の場合は種子の埋没深が浅くなりやすいこ

とから、適正な埋没深を得ることが望まれる。また、特に大区画水田では波の影響が大きいが、湛水深調整の意味も込めて波板などを利用している地域が存在する。

次に考えられるのが、発芽直前・直後の種子が鳥害に遭うことである。ハトやスズメは水面から露出した箇所の種子を、カモは水没した箇所のを好んで食うとされる。鳥害の抑制のためには、種子の適切な埋没が必要である。また先述のような局所的・集中的な被害を回避するためには、湛水深の均一化が有効だと考えられる。

さらに近年では、九州地方を中心にスクミリングガイによる食害が大きな問題となっている。この貝は特に1~2葉期のイネを好むため、移植イネは食害に遭いにくい反面、直播イネは被害に遭いやすい。著者の調べ^{*4-3}では、2002年現在で被害地域は東海地方以西の太平洋岸に当たる。これを抑制する方法としては、貝が移動しにくくなる浅水での管理が有効だとされる。すなわち、ここでも湛水深の均一化が重要である。

以上のように、外的要因による苗立密度の低下についても、埋没深の確保、湛水深の均一化といった水田管理が関係することが指摘できる。

4.3.3 直播での苗立密度の制御に対する水田管理の重要性

ここまでの考察は、以下のように整理できる（Fig.4-7）。

- 1)期待できる苗立密度の最大値は、播種密度である。
- 2)苗立密度は、気象条件（人為的な制御は不可能）に由来する水田全面での一様な苗立ち率の低下と、圃場条件（人為的な制御が可能）に由来する局所的な苗立ち率の低下および苗立ち数の減少によって決まる。
- 3)直播での収量低下の問題のうち、より重大な問題だと考えられる「収量激減」は、局所的な苗立密度の過疎化がその大きな要因だと考えられる。そのため、直播での収量低下の問題に対しては、水田管理水準の向上が寄与できると考えられる。

*4-3 北海道、北東北地方を除く全国の農業改良普及センターへの郵送アンケート（2002年12月実施、回収率77%；調査結果は巻末資料6に掲載）によって把握した。

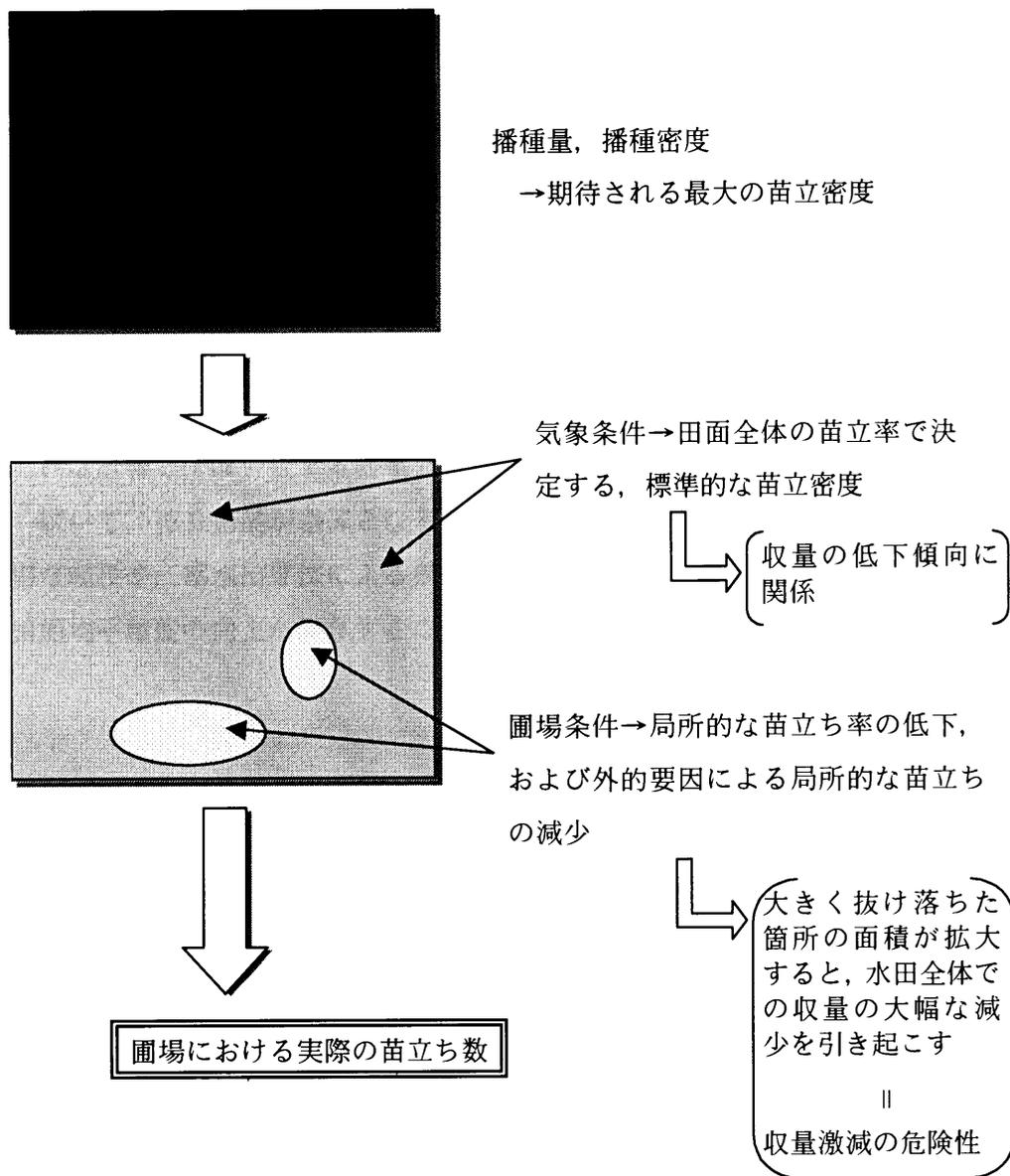


Fig.4-7 直播で苗立密度低下に起因する収量低下が生じる過程の概念図

4.4 4章の摘要

安定的かつ均一的な苗立密度を確保する観点から、田面均平精度の問題について論じた。湛水土壌表面散播圃場での調査により、苗立密度の不均一性の存在を把握した上で、直播の面積あたり収量の低下はこうした苗立密度が過疎となる箇所が原因となって生じること、さらに苗立密度が過疎となる箇所が拡大することによって、収量の大幅減が生じることを示唆した。また、散播での適正な苗立密度および播種量について、それぞれ 100本m^{-2} 、 $4\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ という数値を算出した。これは既報とほぼ一致する結果である。

続いて、苗立密度が過疎となる要因について整理・検討し、播種した種子の適切な埋没や、落水出芽法による根の土壌進入の促進、鳥害・貝害の回避の点で、田面均平精度の向上が関与することを考察した。

(4章 おわり)

5章 代かき後の水田における表層土壌硬度の分布と変化過程

5.1 本章の目的

5.1.1 着眼点の整理

5.1.1(1) 埋没深への着目

前章で、直播の収量低下に対して、田面の均平精度の向上や、水管理の方法で対処し得ることを論じた。それらのうち、本章では播種した種子の埋没に注目する。これは以下の理由による。

まず1点目として、種子を適切な深さに埋没させることは苗立密度の確保に重要な因子であることが挙げられる。具体的には、埋没深が深過ぎる場合には不出芽を生じる。また浅すぎる場合には栽培初期の鳥害や抜け落ち、栽培後期の根転び型倒伏などを生じる。このように不適切な埋没深は、収量の局所的な低下、さらには収量激減に対する直接的な原因になる。したがって埋没深を適切に制御することが期待される。にも関わらず、埋没深の制御については、起伏^{*5-1}の関与は推察されるものの、その詳細はわかっていない。またその他の因子の寄与についても明らかになっていない。

2点目として、埋没深は圃場管理の状態を敏感に受けやすい因子であることが挙げられる。すなわち埋没深を精緻に制御できる圃場条件は、他の因子をも満たせる圃場管理条件となると考えられる。

5.1.1(2) 湛水土壤中散播で埋没深に関与する因子

前章では湛水土壤表面散播と湛水土壤中散播の両者を対象としたが、本章ではこのうち、湛水土壤中散播を対象とする。前章で述べたとおりあらゆる面積規模の水田に適用可能なこと、大区画水田に対しては省時間性が高いことといった利点はある。しかしその反面、姫田(1995)も指摘しているとおり、湛水土壤中散

*5-1 田面の凹凸の程度を示す用語としては「均平度」「微地形」が用いられるケースもあるが、本章では田面の凹凸をミクロにかつ直接的に表した「起伏」を用いる。なお、本研究では「均平精度」も用いているが、これは田面全体の起伏の状態をマクロに示した指標である。

播では「埋没が不完全」になりやすい。

さて、湛水土壌中散播での埋没深に関与する要因としては、

- ・ 播種方式，特に種子を落下させる高さ，
- ・ 被覆種子の大きさおよび重量，
- ・ 土層による抵抗，主に表面付近の土壌硬度，
- ・ 湛水による種子への抵抗，これは湛水深で決まる。

の4つが挙げられる（Fig.5-1）。

5.1.2 本章の目的

本章では、湛水土壌中散播における種子の埋没深に関係するにも関わらず、従来は面的分布の測定が困難だった代かき後の水田の表面土壌硬度について、その分布と変化の過程を、田面の起伏や湛水の残留に着目しながら現地試験を行う。

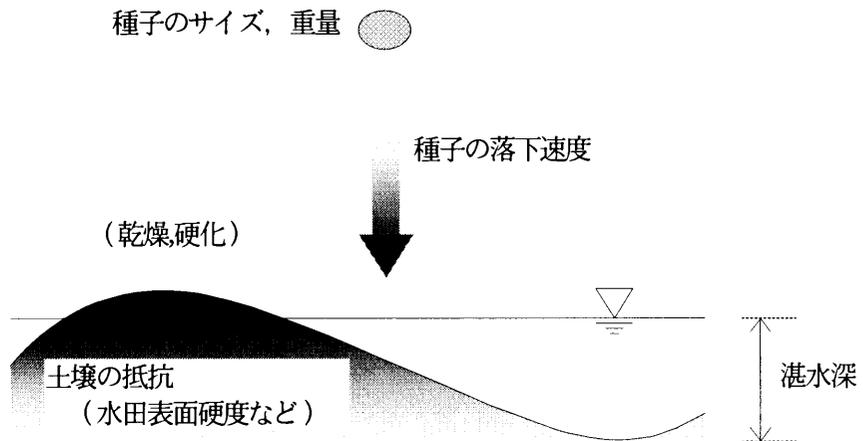


Fig.5-1 湛水散播での埋没深に関与する諸因子

5.1.3 語句説明

5.1.3(1) 湛水土壌中散播

姫田（1995）^{*5-2}はこの直播方式を、「代かき後浅水状態とするかまたは落水し、被覆量を増加して重くした種子を土中に落下させ、種子の自重により（土中に）埋没させる播種法」としている（括弧内は著者注）。すなわち、土中への埋没を期待して代かき後の水田に散粒する手法である。

本章以下では、この手法のみを「湛水散播」と簡略化する。

5.1.3(2) 湛水散播における種籾の埋没深

種子の埋没の程度を示す指標としては、一般には生長後の苗を土から引き抜いて測定する「播種深度」が用いられる。ところが本研究では種子が埋没した深さを直接測定していることから、新たに「埋没深」を定義する。これは覆土厚を想定し、土層表面から埋没した種子の上面までの垂直長さとする。また「不埋没」とは、種子の上面が土層表面より上にあることを示す。

湛水散播では埋没深が確保しにくいいため、寒冷地では発芽・苗立ちの安定化をもたらすが、その反面、浮き苗や転び型倒伏を引き起こす。特に不埋没の場合にはこれらばかりでなく、鳥害に遭う原因となり、「局所的な苗立ち率低下」の大きな要因となる。したがって不埋没の回避を先決事項として考える必要がある。

なお、序章でも触れたとおり、湛水直播での適正な播種深度は、寒冷地や暖地の早播では0.5～1cm、暖地の普通期播では1～2cmとされる（姫田，1995）。適正な埋没深も播種深度とほぼ同等と考えられることから、本章では気候条件を考慮せず、この両者を併せた0.5～2cmを適正な埋没深と考える。

なお、気候条件を考慮しないことで適正と考える埋没深の範囲を拡大したことになったが、それにも関わらず、以下の結果に見られるように適正な埋没深を得ることは難しかった。

*5-2 最も新しい直播方式の整理である農業研究センター（1997）によれば、湛水土壌中散播は「湛水直播・耕起代かき表層播種」に含まれる。ところが、これは姫田（1995）などでは区別されていた「湛水土壌中散播」と、埋没を期待しない「湛水土壌表面散播」とを統一したものである。似た語句で「湛水直播・耕起代かき土中播種」が見られるが、これは条播、点播のみが想定されており、散播は含まれていない。

以上の理由により、本章では少し古い呼称だが、姫田（1995）によるものを用いることとする。

5.1.3(3) 被覆種子

これも前述のとおり、直播（特に湛水直播）に際しては、埋没のための重み付けと、埋没した際の酸素供給を目的として、種子を被覆剤でコーティング（粉衣）する。一般に用いられている被覆剤は、商品名「カルパー粉粒剤16」（主成分は過酸化カルシウム CaO_2 ）である。実際の直播稲作では、種子の2倍重のカルパー粉粒剤16を被覆したもの（すなわち、種子：カルパー粉粒剤16=1：2）が一般に使われる。地域によっては被覆剤を加減したり、土を混ぜたりしている。

以下ではこの作業を「被覆する」といい、被覆された種子を「被覆種子」と呼ぶ。

5.1.4 水田表面の土壌硬度

5.1.4(1) 水田表面の土壌硬度

直播に関係するのは代かき後数日間における軟弱な水田の、しかも表面付近の硬度である。本研究ではこれを以下に示すように、測定法に応じて「表面土壌硬度」「水田表面硬度」と呼ぶこととする。

5.1.4(2) 水田表面の土壌硬度に関する既往の研究

水田の土壌硬度に関する既往の研究は、例えば田淵（1966）などのように、機械使用の観点から行われているものが多い。そのため移植時期よりも収穫時期における報告が多く、また耕盤・心土までを含めた硬度の深さ方向への変化を追っているものが多い。

しかし、代かき後数日間の軟弱な表面硬度については、測定が困難なことも関係すると思われるが、研究例が見られない。例えば現場レベルでは多田ら（1967）がコーンペネトロメータで測定しているが、表層の地耐力は0と記されている。雷・多田（1987）は実験室レベルでフォールコーンによる測定を行っているが、ハス田を想定していることから、後述の表層の水面上への露出については考慮していない。

直播に関連しては、表層硬度の簡便な目安として、下げ振り貫入深やゴルフボール落下露出高が用いられることがある（例えば農業研究センター、1997）。しかしこの方法は目安にしかならず、定量的な測定に適さない。なお、澤田（1989）は下げ振り貫入深やゴルフボール落下露出高と散播での種子の貫入深さの関係を次元解析によって検討しているが、本研究で後述する湛水の抵抗については考慮していない。

5.2 現地試験の方法

5.2.1 現地試験の目的

代かき後の水田において、表層硬度を如何にして田面全体で適正な範囲内に維持するか注目した。

表層硬度について考えるためには、

- 1) 湛水下での硬化、
 - 2) 減水（代かきしたばかりなので浸透は微少、蒸散は0のため、蒸発が主因と考えられる）によって表層が水面から露出した後の硬化、
 - 3) 表層硬度の分布、
- について検討する必要がある。

1)には代かきからの時間経過による硬化、2)には露出してからの硬化、3)には起伏に基づく湛水残留の有無が関与すると考えられる。そしてこれらを検討するためには、起伏に伴って湛水が残留している箇所の時間変化を追う必要がある。

そこで、これらを以下の現地試験によって検討した。

5.2.2 現地試験の方法

現地試験には埼玉県北葛飾郡鷺宮町の沖積水田（長辺78m、短辺28～22m、面積19a、表層はSiL、室内実験で用いる土壌は、作土、耕盤ともにこの水田の土壌）を用いた。

この水田は隔年休耕で、水稲作をする年は湛水土壌中条播を行っている。経験則により、この水田で表層硬度が播種に適当になるのは代かき2日後である。

当試験は休耕年の1999年に、また水利権の都合で8月中旬に行った。

試験に先立って8月6日に荒代かき、13日に植代かきを行い（鷺宮町農業センターのオペレータに依頼）、地表排水させず、主に蒸発により減水した（小型蒸発計、東大式漏水量迅速測定器による測定では、蒸発量は5mm/day、浸透量は0）。表層が露出し始めた8月16日から20日（代かきの3日後（測定1日目）から7日後（測定5日目））の5日間、24時間おきに、田面に等間隔（8m×6m）に設定したグリッドポイント（Fig.5-2に試験水田の概況とグリッドポイントを示す）にてコーン進入深を測定し、また湛水残留箇所をスケッチした（Photo 5-1）。

なお、試験期間中の降雨は植代かき翌日の約50mmのみであった。これによっ

て表層の露出までの日数は延びたが、表層の凸部さえもまだ水面上に露出していない段階への降雨であったことから、表層硬度に対しては影響しないものと見なせる。

その後、水田が完全に乾燥した10月4日に、2mグリッドでのレベル測量を行った。

5.2.3 現地試験における土壌硬度の測定方法

軟弱な表層硬度を現場で測定できる装置として、フォールコーンを応用した「土壌表面硬度計」(林ら, 1998: 大起理化より市販)に注目した。著者はこれをより軟弱な土層にも対応させるべく、コーンを小さく軽く改良した(もとのコーンは先端角44.5度, コーン断面積16.0cm², 自重115gf, 改良後は先端角同じ, コーン断面積5.39cm², 自重46.0gf)。この装置(Photo 5-2)を「水田表層硬度計」と名付ける。コーンが自重によって土中に進入する深さを数回測定し、その平均値を「コーン進入深」とする(Fig.5-3)。なお、このコーン進入深は、表層が柔らかいほど大きな数値を示す。

コーン進入深と埋没深との関係の確認のため、以下の予備実験を行った。土壌は現地試験水田の作土(SiL)を使用した。これを60cm×40cm×30cmの容器内で念入りに練り返し(代かきをイメージ)、表層硬度は練り返しからの経過時間で制御した。そこに被覆種子(2倍重被覆, 品種: 日本晴, 平均0.096gf, 標準偏差0.030gf)を落下高さ1mで播種して埋没深を測定し、またコーン進入深を測定した。なお、この実験においては、湛水の抵抗の影響を除くべく、残留水を排除した。

結果をFig.5-4に示す。水田表層硬度計は、適正な埋没深を得られる表層硬度を測定可能な範囲としてほぼ含んでいる。具体的には、寒冷地及び暖地の早播に適当な表層硬度はコーン進入深2~3.5cm程度、暖地の普通期播には3.5~5cm程度である。また、図には示さないが、コーン進入深1cm以下では大半が不埋没となった。

以上から、水田表層硬度計が本試験における測定の目的に対して妥当であることが確認された。

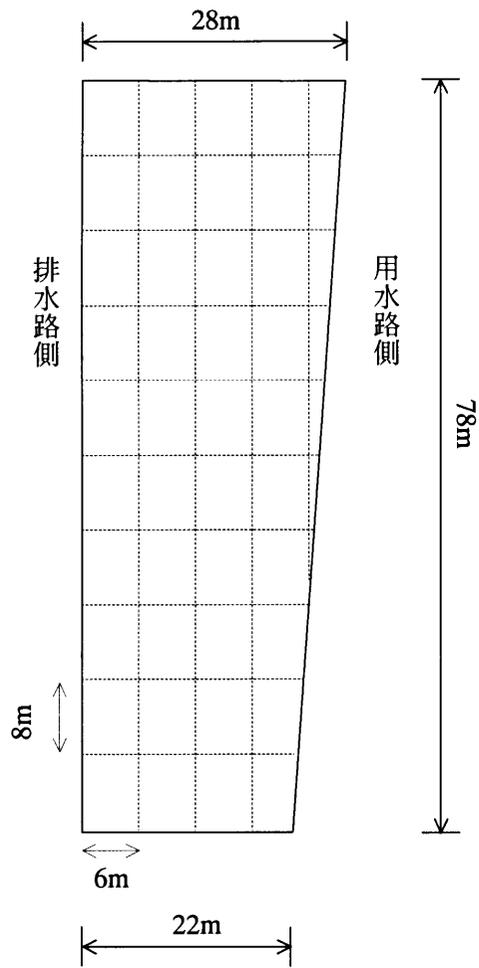


Fig.5-2 試験水田の概況

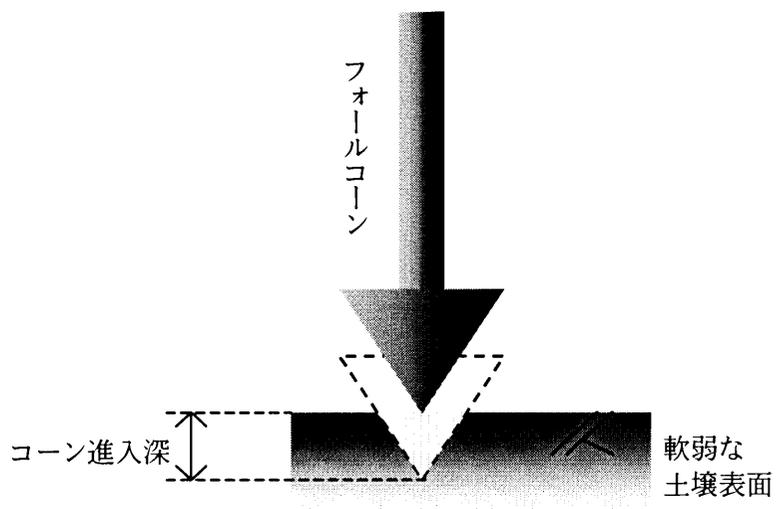


Fig.5-3 水田表層硬度計の測定法の概念

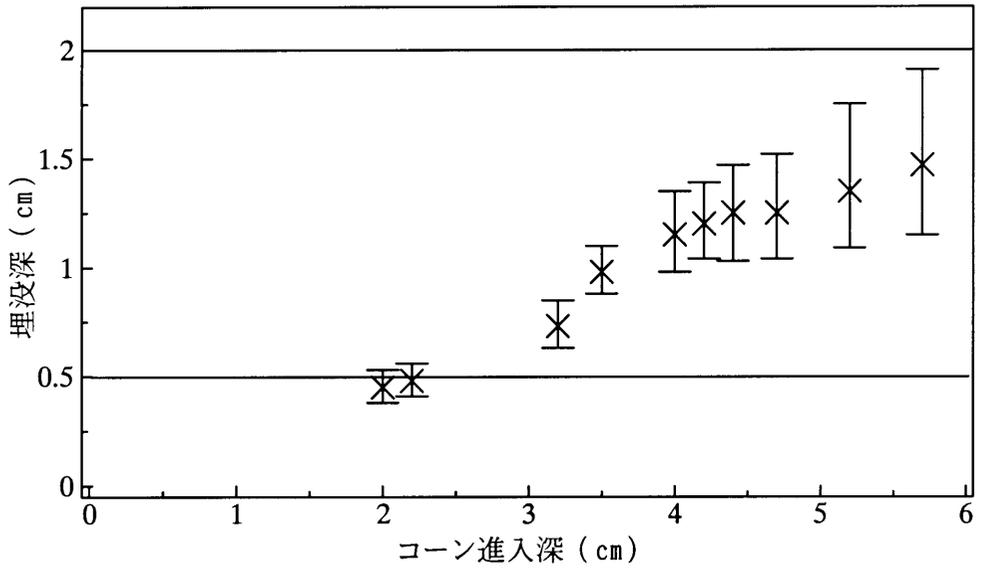


Fig.5-4 コーン進入深と埋没深の関係



Photo 5-1 現地試験の様子



Photo 5-2 水田表層硬度計

5.3 現地試験の結果と考察

5.3.1 表層硬度の変化過程

Fig.5-5に試験水田のコンターマップ（平均値+2.9cm～-5.5cm，標準偏差11mm）を示す。

各測点におけるコーン進入深と湛水残留箇所の日変化をFig.5-6に示す。湛水残留箇所がFig.5-5の起伏にはほぼ一致していることを確認した上で、以下について見ていく。

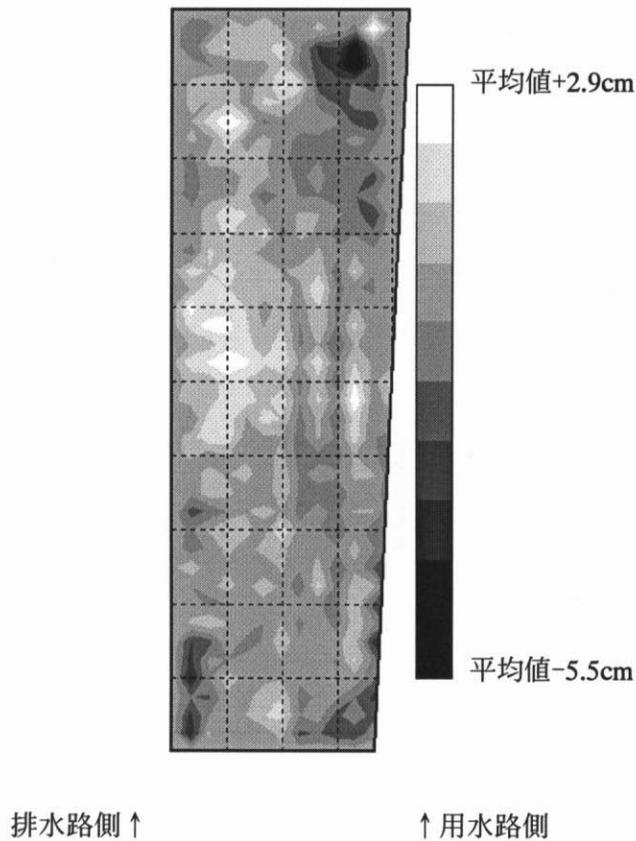
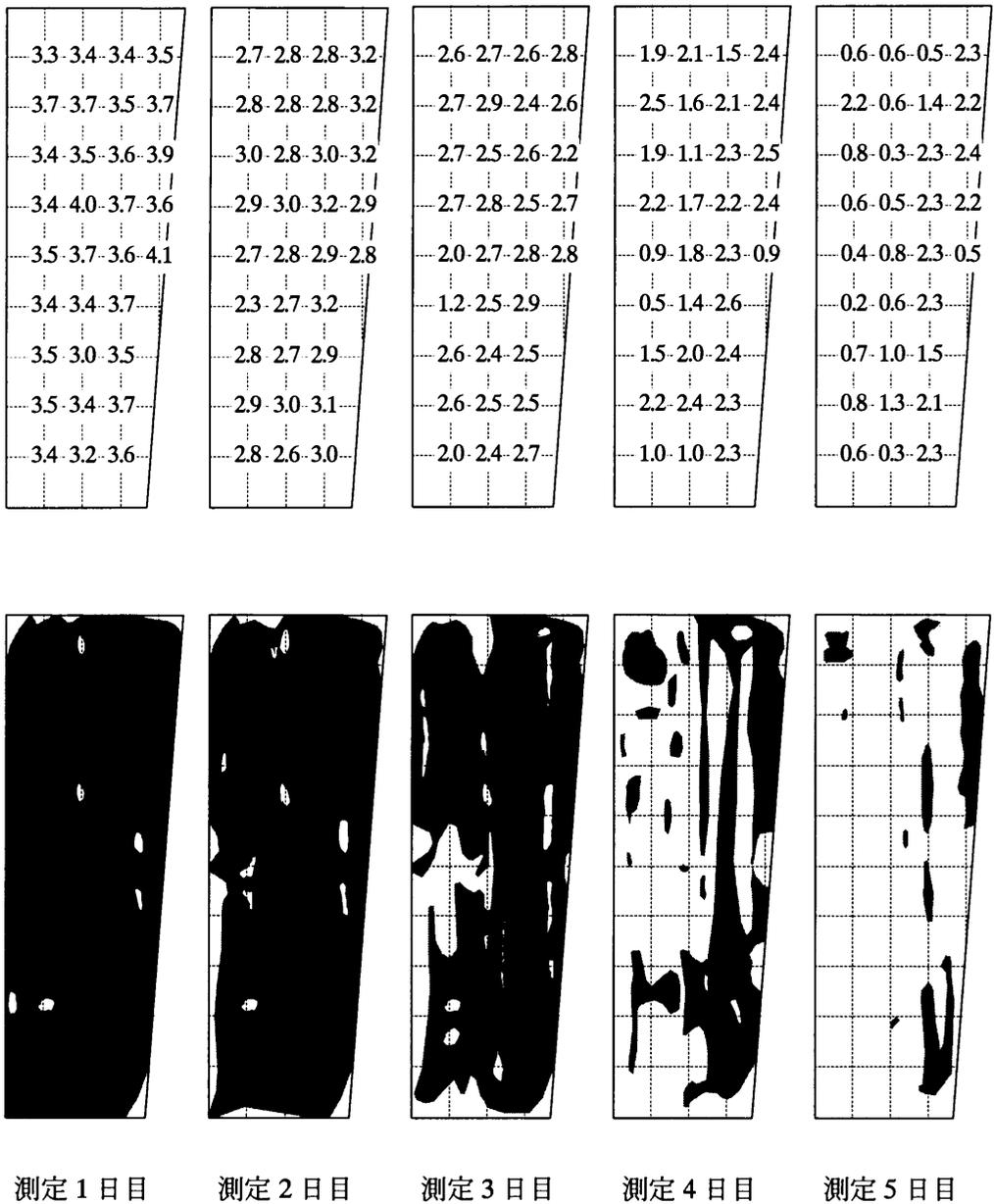


Fig.5-5 試験水田の起伏



凡例：

- ・ 上図の数字はコーン進入深 (cm).
- ・ 下図は網掛け部分が湛水残留箇所, 白い部分が地表が露出した箇所.

Fig.5-6 代かき後の水田におけるコーン進入深と湛水残留箇所の分布と日変化

まずは表層硬度の変化過程について、表層が露出する前後に着目して考える。
Fig.5-7に露出前々日から露出2日目までの間の各測点のコーン進入深の変化を、
 また**Table 5-1**に露出前日に対する露出前々日、初日、2日目それぞれのコーン進入深の比を示した。これらから、代かき後の表層硬度は湛水下では硬化が徐々に進むもののその変化量は小さいのに対し、露出後には大きく硬化が進むことが見て取れる（概念図を**Fig.5-8**に示す）。例えば**Fig.5-4**で述べたコーン進入深2～5cmは、湛水が残留していれば代かきから数日間は維持されるが、露出後は長い時間は維持できない。

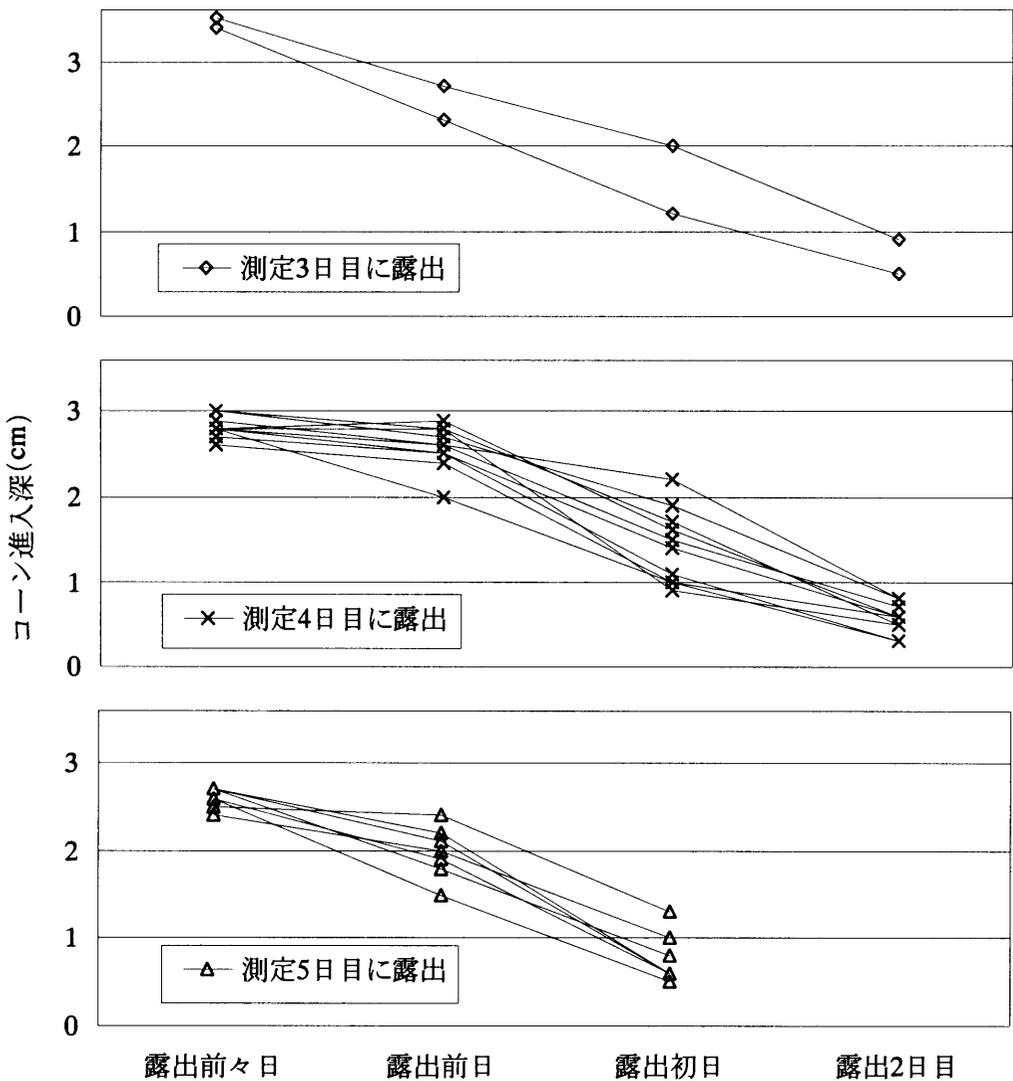


Fig.5-7 表層の露出前から露出後におけるコーン進入深の変化

Table 5-1 露出前日のコーン進入深に対するそれぞれの日のコーン進入深の比

(単位：cm)			
	平均	範囲	標準偏差
露出前々日	1.2	1.7~1.0	0.20
(露出前日)	(1)	—	—
露出初日	0.52	0.9~0.3	0.18
露出2日目	0.18	0.3~0.1	0.072

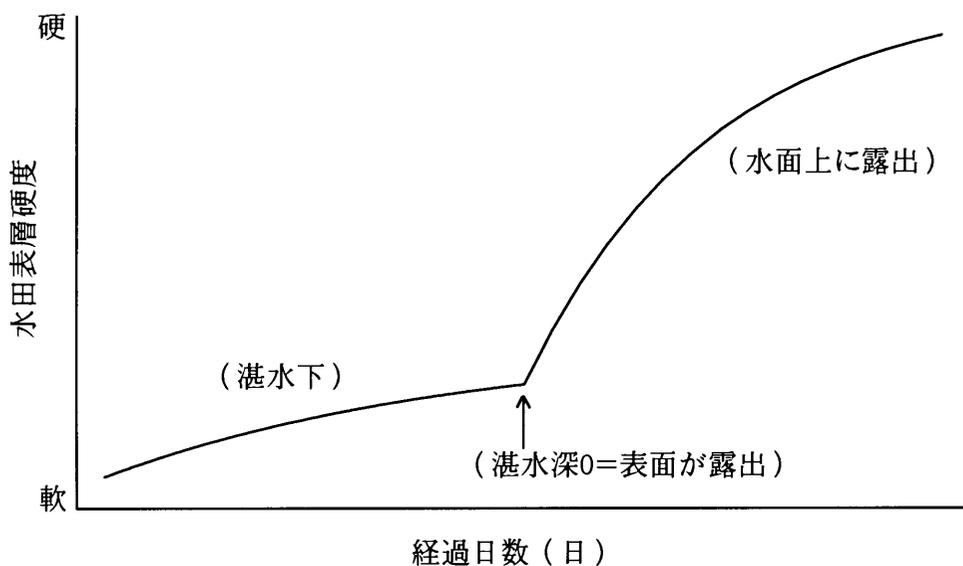


Fig.5-8 代かき後の表層硬度が変化する過程 (概念図)

なお、Fig.5-7などで「露出初日」と表現したが、各点が露出してから何時間後なのかは、今回の24時間おきの測定ではわからなかった。露出からの経過時間と硬度変化の関係に関する詳細な検討は、今後への課題となる。

5.3.2 表層硬度の不均一性に対する起伏の影響

次に、起伏に基づく露出の時間差が田面全体での表層硬度の不均一性にどう影響するかについて見る。

Fig.5-6を見ると、湛水下にある測定1日目、2日目にも、田面全体での表層硬度は不均一である。この原因としては、代かきが均一に行えなかったなどによる表層硬度の初期値の違いなどが考えられる。しかしその不均一性も、値の幅は小さい。

ところが、測定3日目以降、水面から露出した箇所と湛水下にある箇所とが共存するようになると、前者は硬化が大きく進むのに対し、後者は変化が小さいために、両者間の表層硬度の差が大きくなる。結果として田面全体での表層硬度の不均一性は拡大する。起伏が大きければ大きいほど露出するタイミングの差は拡大することから、この値の幅はさらに拡大すると考えられる。

5.3.3 埋没深制御のための均平精度向上の重要性

本章の視点である湛水散播での埋没深の制御のためには、表層の硬度が田面全体で一様に適切な値で分布することが望まれる。そのための方策としては、田面の均平精度を高め、露出までの時間差を小さくすることの重要性がこの試験の結果から指摘される。

具体的には、露出後1日を経過すると硬度が大幅に増す（コーン進入深が半減；Table 5-1より）。そこで露出から1日程度が散播された種子が埋没することが可能となる限界値だと考えると、日減水深を考慮して、水面からわずか数mmの部分までに限られることになる。このことについては、7章にて詳細に考えることとしたい。

5.4 5章の摘要

湛水土壤中散播での種子の埋没に対して田面起伏・均平精度が及ぼす影響について掘り下げた。

散播での種子の埋没深は、落下速度（落下高さ）、種子の質量の他、代かき後の土壌硬度、湛水による抵抗といった田面起伏に関与する要因に影響される。そこで本章では代かき後の水田における土壌の硬化過程とその田面起伏との関係について現地において測定することとした。軟弱な土壌の硬度評価については過去に例がないが、ここでは測定には簡易なフォールコーンを利用した。その結果、

湛水下においては表層硬度はゆっくりと硬化していき、代かきから数日間は種子の埋没が可能な硬度が保たれるのに対し、表層が水面から露出した後の硬化は急速で、コーンの土中への進入深は露出から1日程度でほぼ半減した。散播された種子の埋没深を制御するためには表層硬度の均一化が必要だが、以上の結果から田面起伏に伴う湛水残留の有無、および露出までの時間差のために表層硬度は不均一になることが把握できた

(5章 おわり)

6章 湛水土壌中散播の種子埋没深に関する実験的検討

6.1 本章の目的

前章では湛水散播で埋没深に影響するのは土壌による抵抗（主に土壌の硬度に関係）、湛水による抵抗、種子の質量と大きさ、水面到達速度（落下高さに関係）であると整理し（Fig.5-1）、その上で散播での種子の埋没の可否に代かき後の田面起伏が及ぼす影響について検討した。しかし、土壌硬度の測定法（6.2.4にて後述）やその再現性、また種子が埋没する深さの直接的な測定や、それに種子の質量などの上記の諸因子がどう影響するかといった課題が残されている。

こうした背景をもとに本章では、湛水散播における種子の埋没深に、湛水深および土壌の硬度、被覆種子の質量と大きさの違い、落下高さといった諸因子がどのような影響を及ぼすかについて、室内実験にて検討を行うことを目的とする。

6.2 室内実験の方法

6.2.1 室内実験の目的

散播における種子の埋没深に、湛水深、土壌の硬度、被覆種子の質量と大きさの違い、落下高さといった諸因子がどのような影響を及ぼすかについて、定性的な検討を行うことを目的とする。

6.2.2 土層の作成

土壌は埼玉県北部の沖積水田の作土および耕盤（ともにSiL）を用いた。2mmふるい通過後、実際の水田の状況に合わせて作土は固相率29%で15cm、耕盤は固相率43%で4cmの深さでカラム（断面積320cm²、断面は円形）に充填した。耕盤の下には川砂を1cm敷いた。

続いて、下方からの浸潤により1cm湛水した後、先端を切った泡立て器で深さ10cmまで1秒間にカラム1周の割合で練り返し（代かきを想定）を行った（Photo 6-1）。練り返しは実験開始2日前（荒代かきを想定）に10秒間、実験開

始時（植代かきを想定）に20秒間行った。設定する湛水深が1cm以外の場合には、実験開始6時間後（土粒子が概ね沈下したと目視された）に測定する湛水深、すなわち0cmから3cmまで1cm間隔の4通りに設定した。

その後、蒸発はカラム上面をラッピングフィルムで覆って、また降下浸透はカラムに排水口を設けないことで、ともに抑制した。また、時間が経過するにしたがって土層は沈下し、それに伴って湛水が増えることになる。そこで湛水深は、播種を行う直前ごとに注射器を用いて水を吸い出すことによって微調整を行った。

6.2.3 被覆種子と播種方法

6.2.3(1) 被覆種子について

被覆種子は、種子：カルパー粉粒剤16=1：2の比で被覆したもの（以下「2倍重」）を主とし、この他に1：1と1：3の比で被覆したもの（それぞれ「1倍重」、「3倍重」）を用いた（**Photo 6-2**）。種子の品種は日本晴を用いた。実験に用いた被覆種子すべてについて、質量、および形状を回転楕円体と見なした上で、長径と短径を測定した（**Table 6-1**）。

被覆種子の播種法は、背負い式動力散粒機による播種を想定して、落下高さ1mからの自由落下を基準とした。比較のために落下高さ2mも用いた。

各湛水深のそれぞれの表面土壌硬度に対して、被覆種子は20粒ずつ播種した。

6.2.3(2) 埋没深の測定法

実験に際しては、埋没深は以下のように直接測定した。すなわち、播種した種子がカラムのどの位置に落下・埋没したのかを目視によって確認し、直後にその位置に縫い針を、種子に接触するまで静かに刺し入れ、針が土壌表面からもぐった深さを0.1cm単位で測定した。

Table 6-1 被覆種子の質量と大きさ（平均±標準偏差）

被覆種子	質量(g)	長径(cm)	短径(cm)
1倍重	0.057±0.011	0.730±0.040	0.373±0.037
2倍重	0.092±0.058	0.728±0.033	0.425±0.035
3倍重	0.137±0.048	0.777±0.047	0.487±0.056



Photo 6-1 カラムの練り返し（疑似代かき）の方法



Photo 6-2 被覆種子（左から3倍，2倍，1倍重被覆種子）

6.2.4 室内実験における土壌硬度の測定方法

表面付近の「極度に軟らかい」土壌硬度を詳細に測定すべく、S社のデジタルフォースゲージ（分解能0.001N）（Photo 6-3）を、以下のようにコーンペネトローメータのように用いて測定を行った（Photo 6-4）。すなわち、先端にコーン（頂角60度，断面積 0.2cm^2 ）を取り付け，それを土壌の表面から1cmまで，秒速0.5cm/秒の割合で等速で貫入した。コーンへの抵抗力（N）が一定間隔（0.12秒ごと）で測定されるが，その平均値をコーン断面積で除し，kPa単位に換算した。それを同一カラム内で10点以上測定し，その平均値^{*6-1}を「表面土壌硬度」とした。

表面土壌硬度の制御は，実験開始からの経過時間によって行った。具体的には，土壌が極めて軟弱な状態から，播種した種子が埋没しなくなるまでの間，5～9回の測定を行った。

なお，室内実験と現地試験とで表層硬度の測定法を使い分けたが，それは以下の理由による。すなわち，現地試験で用いた簡易なフォールコーン（水田表層硬度計）は，測定法が簡便で，現場での測定には適する。しかし，大きいときで5cm程度土壌中に進入するため，湛水散播での埋没深に強く関与すると考えられる表面付近の硬度は十分に評価できない。一方，本章で用いるデジタルフォースゲージ（表面土壌硬度測定機）は，湛水散播での埋没深に強く関与すると考えられる表面付近の硬度が定量的に評価できる。また，本章の趣旨のためには，水田表層硬度計の測定限界よりもさらに軟らかい土壌の状態を評価する必要がある。

*6-1 硬度はカラム内で一様ではなく，本実験でも概して変動係数0.1～0.2（10～20％）程度のばらつきが見られた。



Photo 6-3 表面土壌硬度測定機 (S社デジタルフォースゲージ)



Photo 6-4 表面土壌硬度の測定法

6.3 室内実験の結果と考察

6.3.1 室内実験の結果

6.3.1(1) 湛水深および表面土壌硬度と埋没深の関係

2倍重の被覆種子を落下高さ1mから播種したときの埋没深をFig.6-1に示す(図中での表面土壌硬度の表示には対数目盛を用いた;以下の図も同様)。湛水が深くなるほど、また土壌が硬くなるほど埋没しにくくなっている。

次にそれぞれの湛水深において、適正な埋没深を得られる表面土壌硬度の幅について考える。湛水深0cmでは土壌硬度が軟弱な時点では埋没しすぎる傾向にあるが、その後1kPa程度まで適正な埋没深が得られた。それに対し、湛水1~2cmで適正な埋没深が得られるのは0.5~0.6kPa程度までで、1kPaを過ぎるころにはほとんど埋没しなくなった。また湛水3cmでは適正な埋没深が得られるのは0.3kPa程度までで、0.6kPa程度でほとんど埋没深しなくなった。

以上のように、湛水が深くなれば、土壌が極度に軟らかくない限りは種子は土中に埋没しないことがわかった。すなわち、埋没深に対する湛水の抵抗の関与が大きいことが明らかになった。

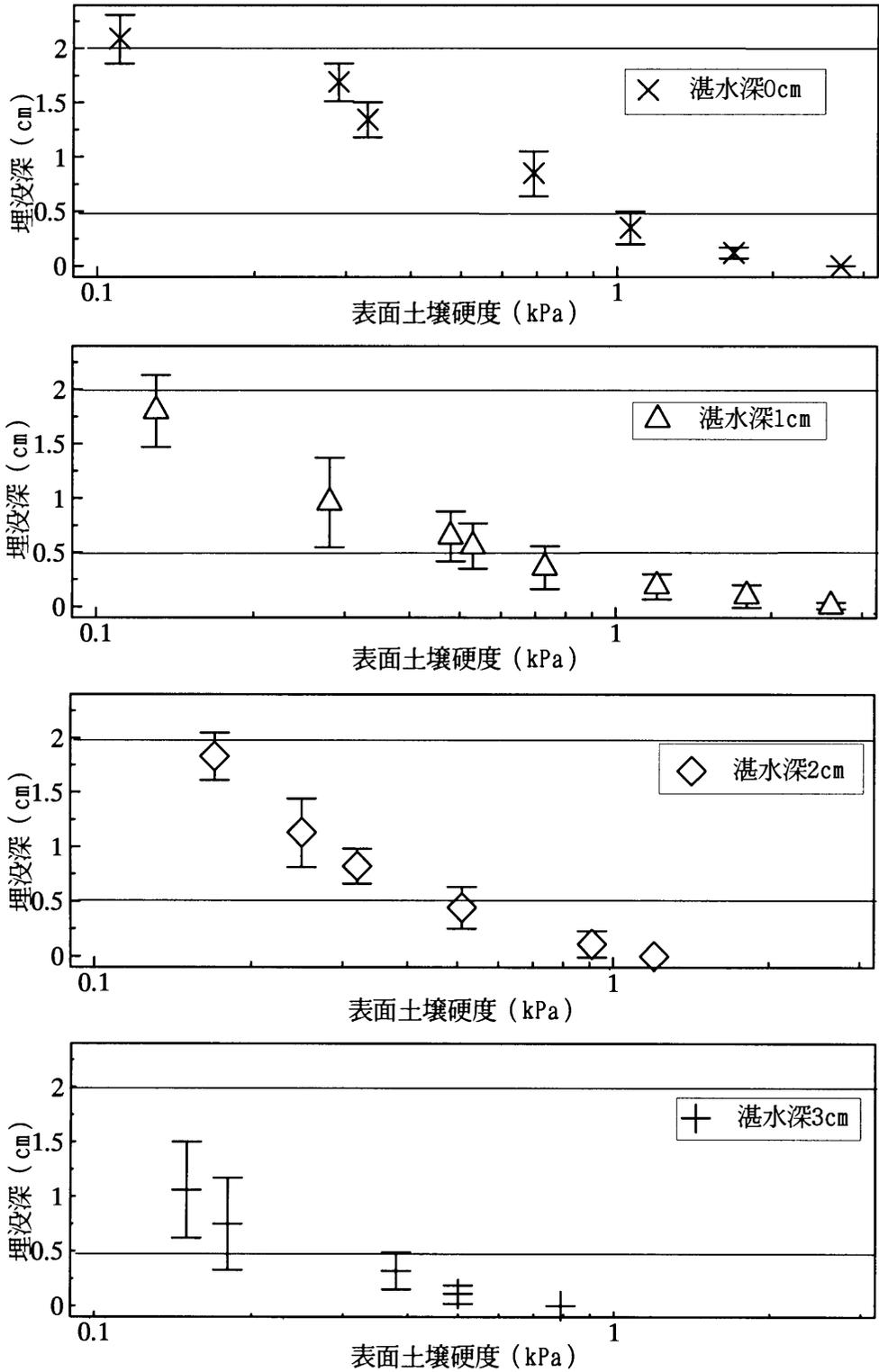


Fig.6-1 湛水深および表面土壌硬度と埋没深（平均値と標準偏差）の関係（湛水深 0~3cm, 2倍重種子）

6.3.1(2) 被覆種子の質量と大きさと埋没深の関係

被覆種子の大きさは湛水散播での埋没深に関係することが予測できる。そこで埋没深に関与すると考えられる被覆種子の質量、密度、断面積あたりの質量について考える。

まず、短径と長径から換算した体積と質量を比較すると、高い正の相関 ($r=0.96$) を持ち、そのために被覆種子の密度は 1.8Mg/m^3 程度でほぼ一定となった。また、断面積^{*6-2}あたりの質量も、質量との間に高い正の相関があった ($r=0.95$)。これらのことから、被覆種子の質量および大きさの関与については、質量について考えればまずは概要を把握できると判断できる。

そこで被覆種子の質量に注目して、1倍重から3倍重の被覆種子の個々の質量と埋没深の関係について測定した。結果のうち、湛水深0cmと3cmで土壌表面硬度0.1kPaのものをFig.6-2-1, Fig.6-2-2, に、また湛水深3cmで表面硬度0.3kPaのものをFig.6-2-3に示す。いずれも有意な正の相関が見られる。同様の実験を他の湛水深、土壌表面硬度で10数通り行ったが、いずれにおいても有意な正の相関が見られた。このことから、被覆量を増やすことによって埋没深を増やせる効果があることがわかった。

ところが、Fig.6-2-3のように、湛水が3cm程度あって、しかも表面土壌がわずかながらも硬化している場合には、埋没深は全般的に小さくなり、また種子の被覆量を増やした効果も顕著には表れなかった。すなわち、湛水条件下において、種子の質量を増すことによって埋没深が制御できるのは、土壌が極度に軟らかい場合のみに限られると考えられる。

*6-2 目視での観測によれば、種子のほとんどは落下時、水中沈下時ともに、ラグビーボールを横にした平たい形で動いていた。

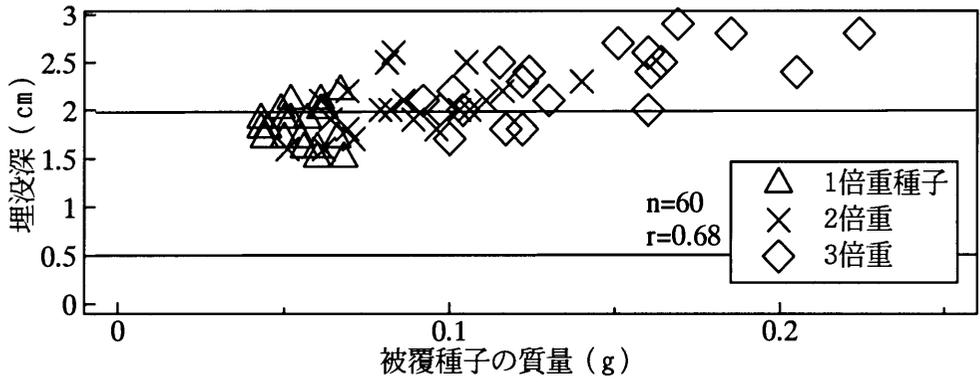


Fig.6-2-1 被覆種子の質量と埋没深の関係 (湛水深0cm, 表面土壌硬度0.1kPa)

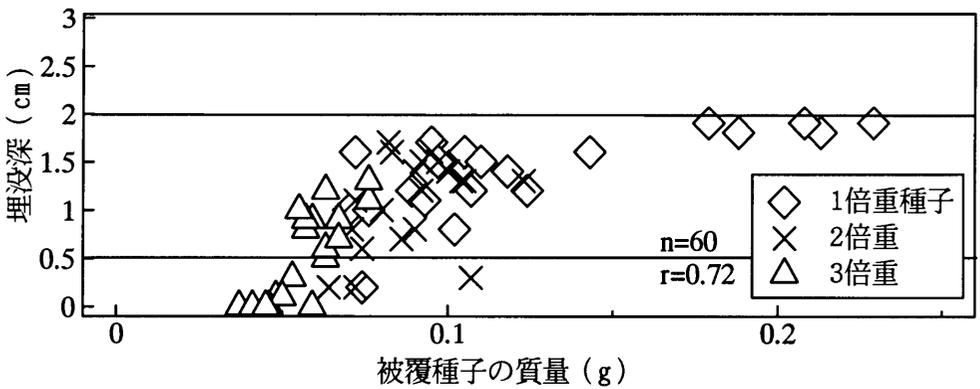


Fig.6-2-2 被覆種子の質量と埋没深の関係 (湛水深3cm, 表面土壌硬度0.1kPa)

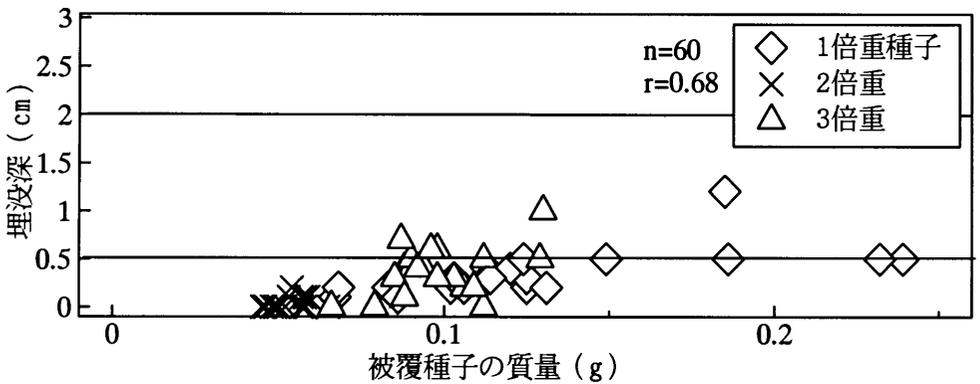


Fig.6-2-3 被覆種子の質量と埋没深の関係 (湛水深3cm, 表面土壌硬度0.3kPa)

6.3.1(3) 落下高さとの埋没深の関係

2倍重の被覆種子の落下高さ2mで得た埋没深の結果のうち、湛水深0cm, 3cmのみについて、落下高さ1mのものと比較したものをFig.6-3に示す。空気抵抗を無視すれば、落下高さ2mのときの水面到達時の運動エネルギーは、1mのときの2倍になる。そのためより深く埋没することが予測された。しかし、その影響が見られるのは表面土壌が0.4kPa程度以下の軟らかい時点のみに限られた。

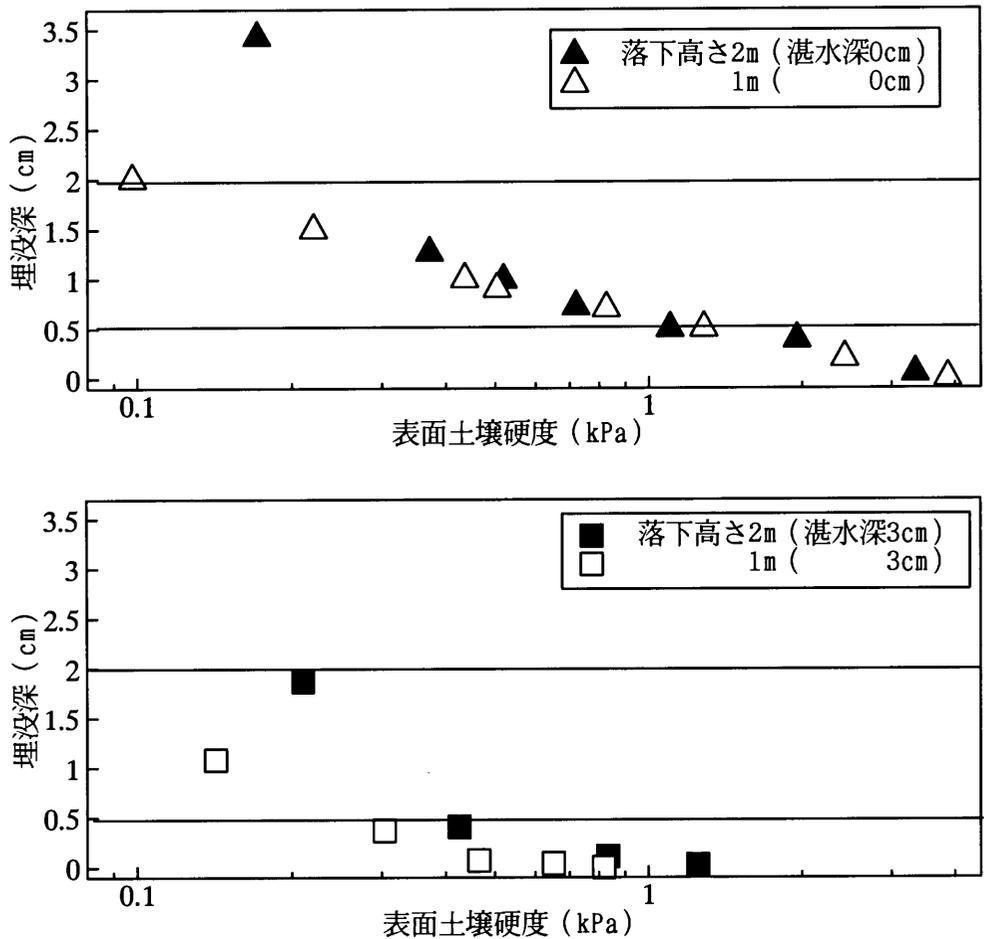


Fig.6-3 落下高さとの埋没深の関係 (2倍重種子, 湛水深 0cm, 3cm)

また湛水深3cmについては1倍重、3倍重の被覆種子についても埋没深を測定した（Fig.6-4）。やはり0.6kPa程度以上の表面土壌硬度になると、落下高さの影響並びに質量を変えることの影響が見られなくなった。

以上から、湛水が数cmある場合、および表面土壌がある値（湛水深による。例えば湛水深3cmの場合には0.5kPa程度が目安と考えられる）よりも硬くなった場合には、種子の質量や落下高さを増しても^{*6-3}、適正な埋没深は確保しにくいことがわかった。

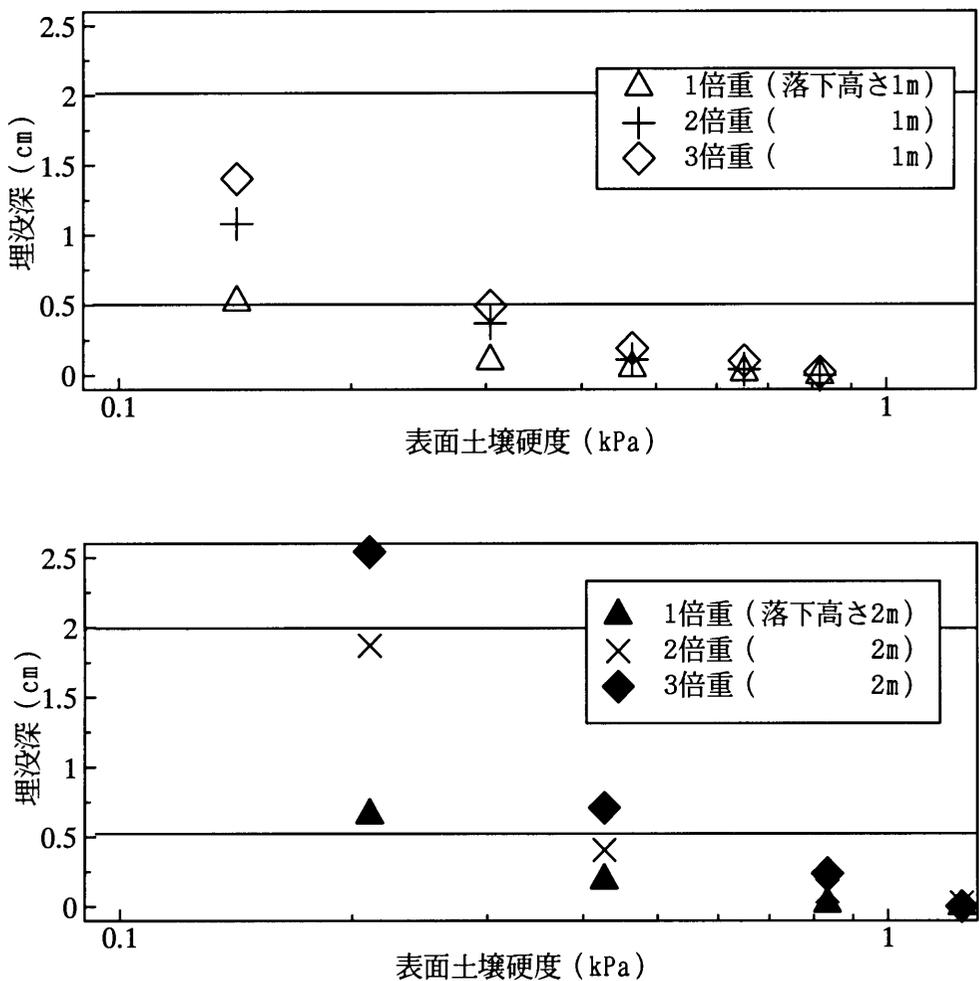


Fig.6-4 各被覆種子の落下高さとの埋没深の関係（湛水深 3cm）

*6-3 落下高さ、すなわち播種方法は、圃場規模や経営形態、所有機械などによって異なるものである。埋没深制御を意図して使い分けるようなことは、実際にはない。

6.3.2 室内実験に関する考察

6.3.2(1) 湛水の抵抗

埋没深には、種子が土壌表面に到達した際に保持しているエネルギーが関係する。よって水面に到達した段階で持っているエネルギーが、湛水の抵抗によってどれほど減少するかが重要である。

澤田・花井（1992）は散播における湛水の抵抗について検討している。それによれば、水面到達時の速度が5.6m/秒だった種子が、水深1cmで沈降速度は3.16m/秒（水面到達時の56％）に、湛水深2cmで1.72m/秒（同30％）に減少している。

このことから、沈降速度は湛水深1cmあたりで55％程度低下していると考えた上で、落下高さ1mの場合（空気抵抗を無視すると水面到達時の速度が4.4m/秒）でもこれが当てはまるとして運動エネルギーを概算すると、湛水1cm、2cm、3cmではそれぞれ水面到達時の30％、9％、3％程度に低下する。すなわち、湛水深3cmでは運動エネルギーはほとんど無視できるようになる。

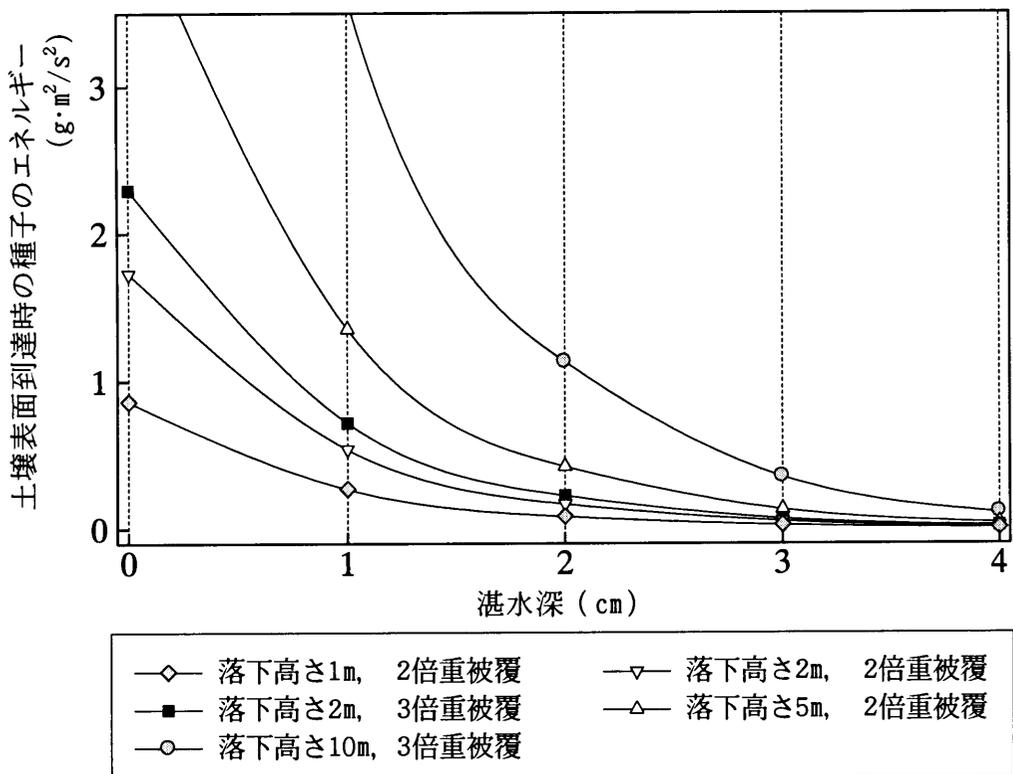


Fig.6-5 土壌表面到達時の種子のエネルギーに対する落下高さと湛水深の影響（推算）

さて、運動エネルギーに関係するのは被覆種子の質量と落下高さである。そこで、被覆種子の質量と水面到達速度によらず、水中ではエネルギーが前述同様に湛水深1cmあたり55%に失われると仮定し、空気抵抗を無視して比較する。例えば2倍重の被覆種子で落下高さ1mのときの水面到達時の運動エネルギーを基準（100%）とすると、3倍重、落下高さ1mの場合の湛水3cmでの運動エネルギーは4%、同じく2倍重、落下高さ2mでは6%となる。また、3倍重で落下高さ10m（有人ヘリコプターなどを想定）だとしても、湛水3cmでは40%となるが、湛水4cmで12%に減少する（Fig.6-5）。

以上が、種子の質量や落下高さを増したとしても、湛水が3cm程度あれば、その抵抗が排除できないことの大きな理由だと考えられる。

6.3.2(2) 軟弱な土壌表面への種子の埋没

Fig.6-1などより、湛水が3cm程度ある場合にも、土壌表面が0.2kPa以下などの極めて軟弱なときに限って、種子は土中に埋没する。ここで「極めて軟弱な土壌表面」について考える。

繰り返された土層の沈下には降下浸透が強く関与し、降下浸透がない状態だと土層の沈下は大幅に遅れる（例えば雷・多田，1987）。ところが、今回の実験では降下浸透を考慮しなかった。そのため、特に湛水下において、土粒子の沈降は目視されたものの、土層の沈下は進まず、表面土壌の硬化が進んでいない状態が維持された。それが表面土壌硬度が0.2kPa程度以下の極度に軟弱な土壌表面の状態である。

ここで繰り返しからの時間と埋没深との関係について考える。Fig.6-6に、今回の実験での土壌を繰り返してから経過時間と表面土壌硬度の関係を示す。湛水0cmでは速やかに硬化が進んでいるのに対し、湛水下は硬化が極めて遅い。例えば0.5kPaになるのに、湛水1cmでは2日程度、湛水2cm、3cmではともに4日程度かかった。

次に、それぞれの湛水深での表面土壌硬度と埋没深の関係にFig.6-6を考え合わせ、繰り返しからの時間と埋没深の関係に関する図を作成した。その結果のうち、湛水深0cmおよび3cmについてFig.6-7に示す。散播は一般に代かき翌日～2日後に行うことが多いが、実験結果のみから考えると、湛水条件でもその日数までは適切な埋没深が得られることになる。

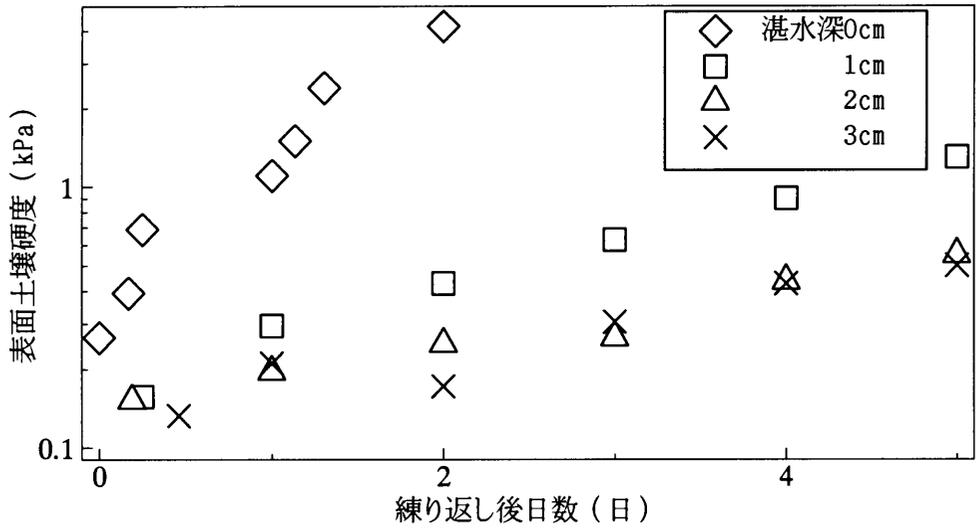


Fig.6-6 各湛水深での表面土壌硬度の練り返しからの日変化

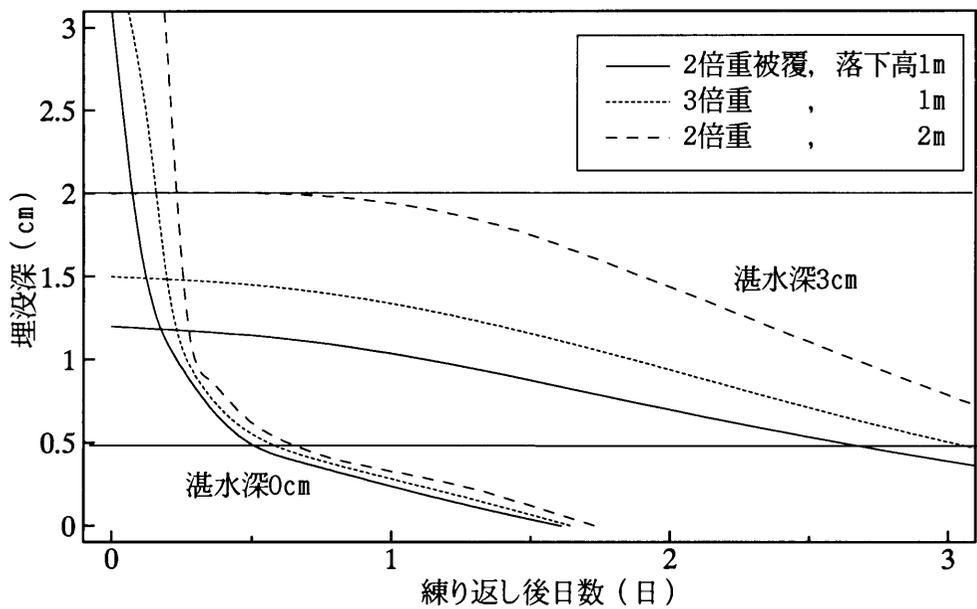


Fig.6-7 練り返し後日数と埋没深の関係 (湛水深 0cm, 3cm)

ところが、実際に散播が行われている水田では、湛水条件への播種で埋没しないケースが多々見られる（例えば【事例3-13】にて前述）。これは田面が水面上に露出したことの影響もあるが、湛水下については降下浸透があるために土壌表面の硬化が進むためだと考えられる。

すなわち、実際の水田においては、湛水条件下でも、降下浸透によって土層が十分に沈下する前であれば、散播によって適正な埋没深を確保することは可能だと考えられる。ところが、実際の水田で降下浸透をなくすことは不可能である。したがって土層が十分に沈下する前に播種するための方法としては、代かき直後に散播を行うことが挙げられる。

6.4 6章の摘要

本章では散播での種子の埋没深に表面土壌硬度、湛水深、被覆種子の質量と大きさ、並びに落下高さが及ぼす影響について、室内実験により検討した。その結果、湛水の抵抗が埋没深に対する大きな要因であること、並びに湛水条件下で種子が適切な埋没深を得られるのは、表面土壌硬度が0.2kPa程度、すなわち繰り返された土層が十分に沈下せず、硬度が極めて軟弱なときのみであることを把握した。また湛水条件下で被覆種子の質量や落下高さを増すことによって埋没深を増すことができるのも、同様に表面土壌が軟弱なときに限られること、逆に言えば、湛水条件下において表面土壌が硬化した後は、種子の質量や落下高さを増しても埋没深確保には効果がほとんどないことがわかった。そのため、代かき後、土層が十分に沈下する前に播種するように作業体型を見直すことが考えられるが、その場合は埋没深が深くなりすぎる恐れがある。

（6章 おわり）

7章 均平整備による種子埋没深制御の可能性

7.1 本章の目的

これまで見てきたとおり、散播での種子の埋没深には、湛水深の抵抗や、表層の露出後における表層硬度の不均一性といった起伏の寄与するところが大きい。これを制御するためには、可能な限り田面の起伏を小さくすることが必要である。

さて、水田1枚単位で見ると、「起伏の縮小」は「均平精度の向上」と言い換えられる。そこで本章では、均平精度の向上が散播での種子の埋没の制御にどの程度寄与するかについて考える。

ここでは埋没深制御の前段階として、凸部での鳥害、凹部での抜け落ちや根の土壌進入不足による根転び型倒伏の要因となる「不埋没の回避」に着目することとした。まず、種子の埋没が可能となる部分の水田全体に対する面積率（以下「埋没面積率」）が均平整備によってどのように変化するかを考える「埋没面積率モデル」を作成する。そこにこれまでの結果を適用し、均平精度の向上によって埋没面積率がどう変化するかを示す。以上を通じて、湛水散播のための均平精度の指標を用意することを本章の目的とする。

7.2 埋没面積率モデルの作成方法

7.2.1 モデルの考え方

これまでに述べてきたように、散播された種子の埋没を妨げる主な要因は、水田表面が水面から露出することによる急速な硬化と、湛水が深すぎた場合のその抵抗にある。逆に言えば、前者については、湛水表面から露出してからわずかな時間しか経過していない水田表面においては、散播された種子は埋没すると考えられる。また後者については、湛水深^{*7-1}が浅い箇所においては埋没すると考え

*7-1 なお、湛水残留箇所には凹部どうしの連結や排水路との連結の有無なども関係することから、水田全体で見た場合の標高の凹部とは必ずしも一致しない。だが、本章ではそれらについては考慮しないこととする。

られる。

代かきを行ってから数時間～数日後における水面の標高は、その間の蒸発や降水浸透、地表排水による水位低下、またときには降雨による水位上昇によって変動する。上記の考えによれば、散播時における水面の標高から見て上方向に数cm、下方向に数cmといった「ある標高の範囲」にある水田表面は、散播された種子が埋没するということになる。

ところで、山路（1989）は水田標高の分布は正規分布で表せることを示している。これに沿えば、水面の標高を設定し、そこから上下方向に見た“埋没可能な水田表面”の標高の範囲を決めれば、その範囲内に含まれる割合、すなわち湛水散播にされた種子が埋没可能となる部分の、水田全体に対する面積率が計算できる。

この面積率を「埋没面積率」と呼ぶこととする（Fig.7-1）。以下、この計算法について具体的に考える。

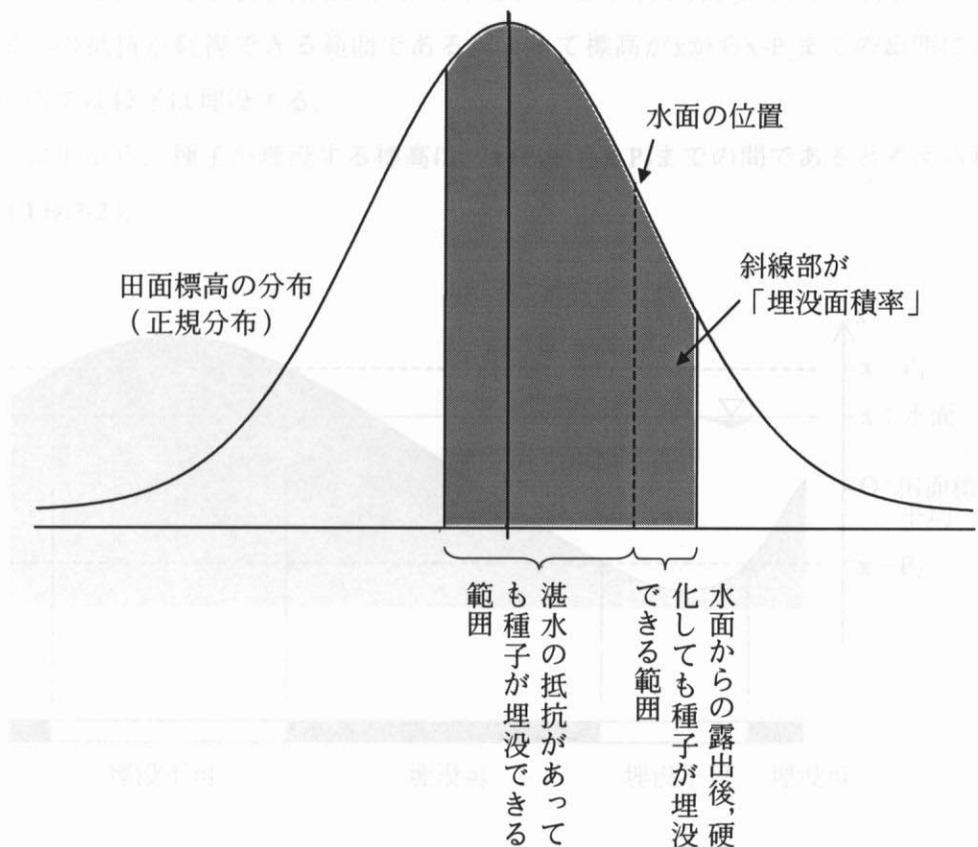


Fig.7-1 埋没面積率の考え方

7.2.2 散播された種子が埋没可能となる標高の幅の考え方

まず、垂直上向きを正として標高の軸を設定し、田面の平均標高を原点と考え、 $\pm 0\text{cm}$ とする。そして散播時における水面の標高を $x\text{cm}$ とする。

先に露出部分（水面から見て正の方向）について考える。表層は露出してから数時間程度で散播された種子が埋没できない硬度に硬化する。その時間を n 時間とすると、その間に水面は日減水深（ $\text{cm}/24$ 時間）の $n/24$ だけ低下する。

すなわち、

$$P_1 = \text{日減水深} \times \frac{n (\text{時間})}{24 (\text{時間})} \dots\dots (7.1)$$

とすると、水面 x と、現時点から n 時間前に露出した標高 $x+P_1$ との間は、露出による水田表面の硬化が軽視できる。よってその標高が x から $x+P_1$ までの範囲にある田面においては、散播された種子が埋没する。

続いて湛水の抵抗（水面から見て負の方向）について考える。湛水の抵抗によって不埋没となる湛水深を P_2 以上とする。つまり湛水深 P_2 以内は、湛水による種子への抵抗が軽視できる範囲である。よって標高が x から $x-P_2$ までの範囲にある田面では種子は埋没する。

以上から、種子が埋没する標高は、 $x+P_1$ から $x-P_2$ までの間であると考えられる (Fig.7-2)。

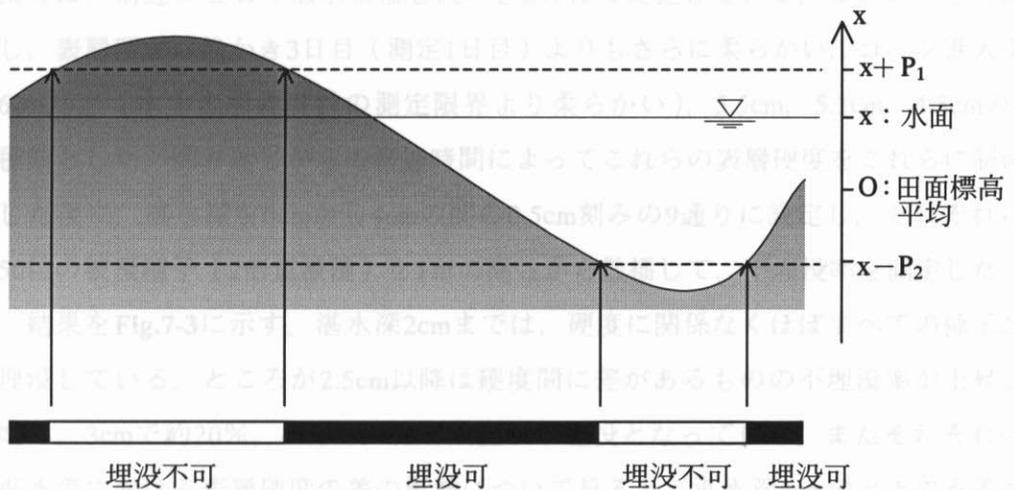


Fig.7-2 湛水散播で種子が埋没する標高の幅（概念図）

7.2.3 埋没可能な標高幅の設定

7.2.3(1) P_1 の設定

P_1 について、先述のn時間がどの程度の時間なのかは、露出直前の水田表層硬度とその変化の様子によって異なるので厳密には言えない。だが、Table 5-1で露出初日にコーン進入深が半減していることを考慮し、ここでは24時間程度と考えることにする。

また、散播時の減水深は、蒸散がなく、代かき後ゆえに降下浸透が少ないことから、蒸発が主である。中川(1966)によれば、6月上旬の北海道、東北、北陸地方の蒸発散量は0.34~0.38cm/24時間である。湛水散播の播種時期は地域ごとに異なるが、4月下旬から5月中旬が一般的であることから、そのころの日減水深は0.2~0.3cm/24時間程度と考えられる。

以上から $P_1=0.2\text{cm}$ とする。

7.2.3(2) P_2 の設定

P_2 については、Fig.6-1では測定点が多くないことから判断が困難である。そこで改めて湛水深、表層硬度ごとの不埋没率について実験によって把握した。ここに不埋没とは埋没深がマイナス、すなわち種子の上端が土壌表面より上に出ている場合のことである。播種した種子の粒数に対する不埋没となった種子の数の割合を「不埋没率」とする。

この実験では水田表層硬度計(簡易フォールコーン)を用いた。5章の試験水田では、前述のとおり湛水条播を代かき2日目に実施している。このことを考慮し、表層硬度は代かき3日目(測定1日目)よりもさらに柔らかい、コーン進入深6cm以上(水田表層硬度計の測定限界より柔らかい)、5.5cm、5.1cm、4.5cmの4種類とした。繰り返しからの経過時間によってこれらの表層硬度をこれらに制御した後に、湛水深を0cmから4cmの間の0.5cm刻みの9通りに設定し、それぞれに50粒の被覆種子(2倍重被覆)を1mの高さから散播して、不埋没率を測定した。

結果をFig.7-3に示す。湛水深2cmまでは、硬度に関係なくほぼすべての種子が埋没している。ところが2.5cm以降は硬度間に差があるものの不埋没率が上昇し始め、3cmで約20%、4cmでは60%以上が不埋没となっている。またそれぞれの湛水深における表層硬度の差の影響について見ると、湛水深4cmのときのみ差が大きいが、その他は有意な差はない。

以上の結果を考慮して、 $P_2=2\text{cm}$ とする。

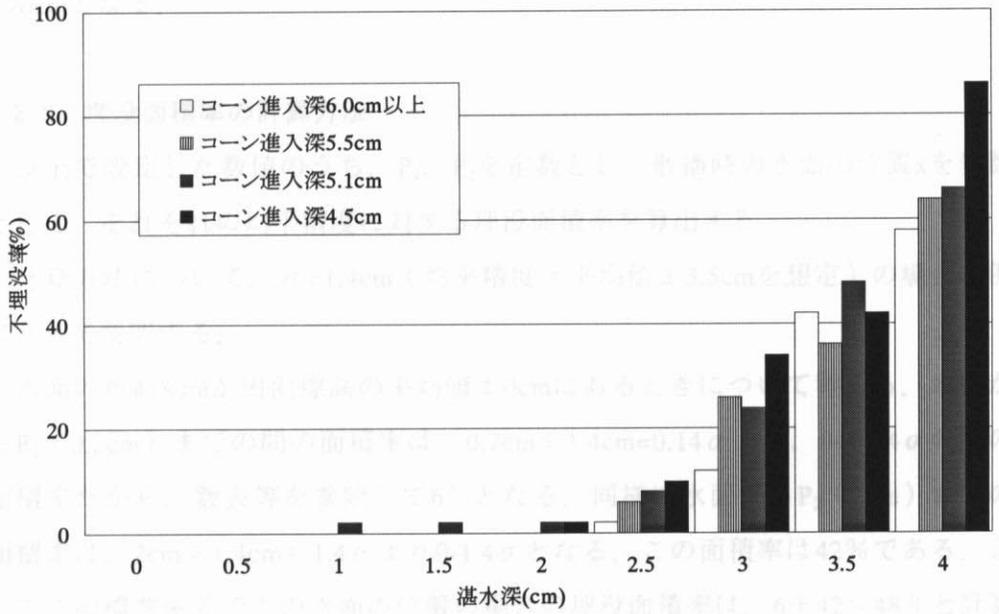


Fig.7-3 各湛水深における水田表層硬度と不埋没率との関係

7.2.4 均平精度の表現法

山路(1989)は正規分布で表せるとした田面標高について、「平均値±x cm」という均平精度は、変動幅の範囲を99%(2.58σ)として、「 $x = \sigma \times 2.58$ 」となる標準偏差σで評価できることを提案している。

本報でもこれに倣い、均平精度を変動幅を標準偏差σで示した正規分布で表し、その変動幅を $\sigma \times 2.58$ とする^{*7-2}。例えば我が国の土地改良事業計画設計基準における水田の圃場整備基準である「田面標高の平均値±3.5cm」の場合、田面の99%(2.58σ)がその範囲に入ると考えると、σは1.4cmと考えられる。

ここに、現在の水田圃場整備基準の均平精度目標である平均値±3.5cmと、旧来の基準である±5cm、そしてそれとの比較のために±6cm、±2.5cm、±1.8cmを加えた5通りについて考える。それぞれの標準偏差σは、±6cm、5cm、3.5cm、2.5cm、1.8cmのそれぞれを2.58で割って、順に2.3cm、1.9cm、1.4cm、1.0cm、

*7-2 1章にて前述のとおり、この範囲を95%と考えるか99%と考えるかには諸説ある。ここでは旧来の圃場整備基準にある「全測点が～」の表現を鑑みて、より厳密な99%を採用する。

0.70cmとなる。

7.2.5 埋没面積率の計算方法

以上で設定した数値のうち、 P_1 、 P_2 を定数とし、散播時の水面の位置 x を変数として、それぞれの均平精度に対する埋没面積率を算出する。

計算方法について、 $\sigma = 1.4\text{cm}$ （均平精度＝平均値 $\pm 3.5\text{cm}$ を想定）の場合を例にとって説明する。

水面の標高 $x\text{cm}$ が田面標高の平均値 $\pm 0\text{cm}$ にあるときについて考える。水面から P_1 （ 0.2cm ）までの間の面積率は、 $0.2\text{cm} \div 1.4\text{cm} = 0.14\sigma$ より、 $0 + 0.14\sigma$ の間の面積率だから、数表等を参照して6%となる。同様に水面から P_2 （ 2cm ）までの面積率は、 $2\text{cm} \div 1.4\text{cm} = 1.4\sigma$ より $0 - 1.4\sigma$ となる。この面積率は42%である。よってこの標準偏差でこの水面の位置の場合の埋没面積率は、 $6 + 42 = 48\%$ と計算できる。

次に、水面 $x\text{cm}$ が標高平均 $\pm 0\text{cm}$ よりも 0.5cm 高かったとき、すなわち水面の標高 $x = +0.5\text{cm}$ のときについて考える。水面から P_1 （ 0.2cm ）までは、 $x\text{cm}$ から $x + 0.2\text{cm}$ だから、 0.5cm から 0.7cm までの範囲になる。同様に水面から P_2 （ 2cm ）までは $x\text{cm}$ から $x - 2\text{cm}$ だから、 $+0.5\text{cm}$ から -1.5cm である。すなわち P_1 から P_2 の間は、 0.7cm から -1.5cm までの範囲となる。 $0.7\text{cm} \div 1.4\text{cm} = 0.5\sigma$ 、 $1.5\text{cm} \div 1.4\text{cm} = 1.1\sigma$ より、これは -0.5σ から $+1.1\sigma$ の間の面積率となる。数表等を用いて、この場合の埋没面積率は56%となる。

このように、ある標準偏差 σ に対して、まず田面標高から見た水面の位置を決め、そのときの埋没面積率を算出する。そして水面の位置を変化させて、それぞれのときにおける埋没面積率を逐次算出する。その変動をグラフに示す。この計算過程を、標準偏差を 2.3cm 、 1.9cm 、 1.4cm 、 1.0cm 、 0.70cm についてくり返し行った。

7.3 結果と考察

埋没面積率モデルによる計算結果をFig.7-4に示す。

7.3.1 埋没面積率のピーク

埋没面積率がピークとなるのは、標高の範囲が $x+0.2\text{cm}$ から $x-2\text{cm}$ の間であるという設定から、水面の標高 x が田面標高に比べて 0.9cm 高いときになる。このときの埋没面積率は、旧来の圃場整備基準である $\pm 5\text{cm}$ では 40% 強で、また現行の圃場整備基準の $\pm 3.5\text{cm}$ では増えているものの 60% 弱でしかない。

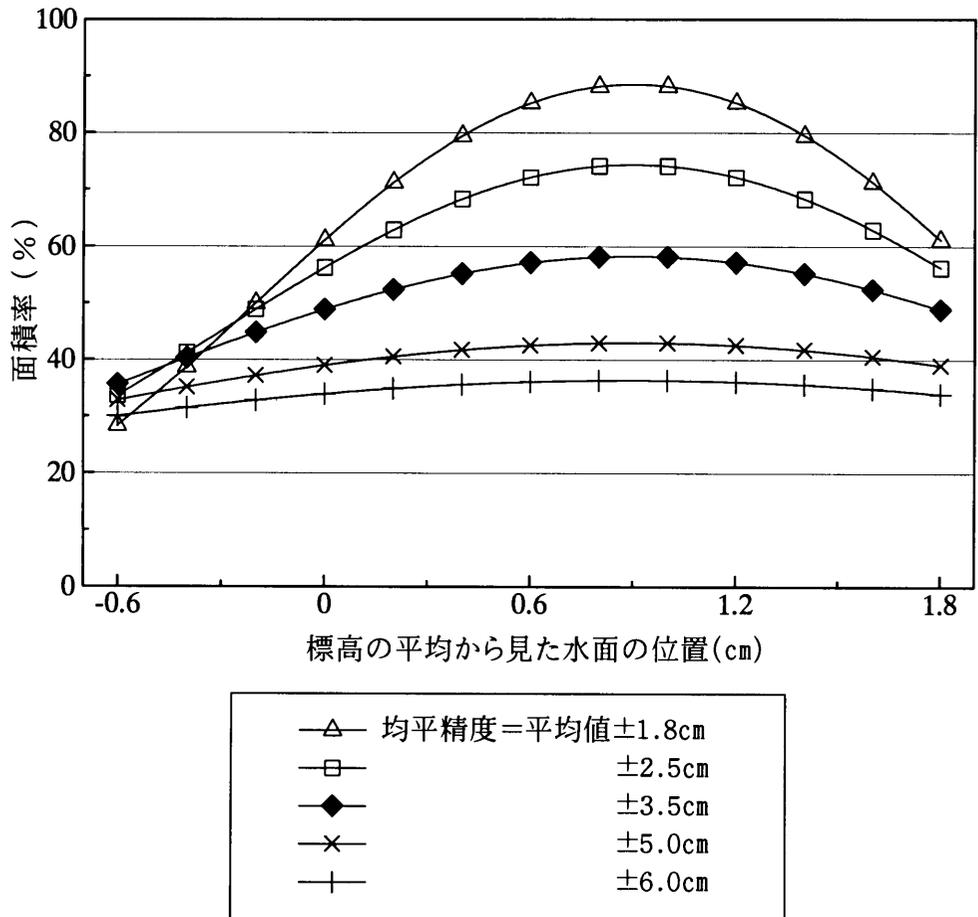


Fig.7-4 均平精度と散播における種子の埋没面積率との関係

このように、現行の均平精度基準は旧来より精緻化しているが、それでもなお少ない面積での不埋没を覚悟する必要があることが指摘できる。

続いて均平精度をさらに向上させた場合、例えば $\pm 2.5\text{cm}$ 、 $\pm 1.8\text{cm}$ での埋没面積率は、それぞれ80%弱、約90%弱という高率を占めている。このことから、均平精度の向上が埋没面積率を大きく向上させる可能性があることがわかる。

7.3.2 湛水深管理について

7.3.2(1) 湛水深管理の重要性

続いてピーク値以外に注目する。散播時の水面の標高が十分に調節できなかった場合には、埋没面積率は低下する。その低下の程度は、均平精度が悪い $\pm 6\text{cm}$ などの場合には、ピーク時に比べて10ポイント程度低下するだけに過ぎない。それに対して均平精度が高い場合には、容易に予想できることだが、埋没面積率が大幅に低落する。例えば散播時の水面が田面標高の平均値よりも 0.4cm 程度下がると、均平精度による差は見られなくなる。

こうしたことから、均平精度の向上のみでなく散播時の水面の標高（すなわち散播時の湛水深）の制御にも配慮する必要があることが指摘できる。ところが現実的には、散播時の湛水深を mm 単位で制御することは容易ではない。特に均平精度が上がれば平均値近傍の面積率が上がることから、その分だけ湛水深の管理のわずかなミスが大きく影響する。

また前述のとおり、播種時期は代かき直後のため、減水深はたかだか $2\sim 3\text{mm}$ だ考えられる。この時期に代かきから数時間～数日程度で湛水深を田面標高 $+1\text{cm}$ 程度にするためには、環境への負荷を考えると代かき排水は行うべきではない（例えば田淵，1998）ことから、代かき段階においてすでに湛水深が深くなく、田面の一部が水面から露出している状態で代かきを行う必要があることも指摘できる。

7.3.2(2) 湛水深管理の目安

ここで具体的に湛水深管理の目安について試算する。

散播時の水面の標高を、埋没面積率がほぼピーク値となる田面標高平均 $+1\text{cm}$ に管理した場合について考える。例えば均平精度が $\pm 2.5\text{cm}$ の場合には散播時において田面の16%程度が水面から露出しているという計算になる。同様に均平精度が $\pm 1.8\text{cm}$ のときには8%程度が露出することになる。すなわち、農家はある程度高い均平精度が確保できていることを把握もしくは認識した上で、散播時には

田面の10～15%程度が水面から露出していることを確認すればよいということになる。

次に代かき時の湛水深について試算する。代かきから1日後に湛水深が平均値+1cmの状態に散播するとして、減水深を0.3cmと考えると、代かき時の湛水深は平均値+1.3cmということになる。これは均平精度が平均値±2.5cmの場合、代かき時には田面のおよそ9%が露出している状態だと試算できる。同様に平均値±1.8cmのときにはおよそ3%の田面が露出していることになる。

7.3.3 湛水散播における埋没深制御のための均平精度基準

以上で見てきたように、田面の均平整備に配慮することと同時に、散播時の湛水深を精緻に管理することによって、埋没面積率の向上に大きな効果を生じることが示唆された。

以上の結果を踏まえると、湛水散播における種子埋没深を制御するための田面均平精度の基準としては、より多くの埋没面積率を得られる平均値±2.5cm以上、できれば±2cm程度以上を確保することが望ましいことが提示できる。

なお、ここで平均値±2.5cmや±2cmという値を用いたが、これらの妥当性について注釈しておきたい。岩手大学農地造成研究会（1980）は、熟田になるにつれて均平精度が向上することを指摘し、その均平精度として平均値±2.0cm、 $\sigma = 1.0 \sim 1.4\text{cm}$ を挙げている。また、著者のS社（機械メーカー）への聞き取り調査によれば、2002年現在では施工段階におけるレーザーレベラーによる均平整備の技術的限界は平均値±1.5cm程度であるとのことである。これらを踏まえると、水田の均平精度の±2.0cm程度は達成可能であると考えられる。

7.3.4 均平精度向上の限界と課題

均平精度を向上させるためには、圃場整備以後、耕耘や代かきなどの営農努力による均平整備が重要である。例えば長利・矢治（2000）は田面標高をそろえるためには耕耘整地よりも運土を意図して代かきを行うことの方が有効だと指摘している。

しかしながら、実際には均平精度の向上には技術的、経済的な限界がある。すなわち、営農段階における均平整備並びに管理のための手法を改善し、確立することが、次なる課題として指摘される。

また長利（1985）などでは田面は水平なものではなく、傾斜成分と凹凸成分と

に分けて評価する方が妥当であることを述べている。さらに近年では大区画水田などにおいて、地表排水性の向上のために敢えて圃場面に緩傾斜をつける施工法が行われることも多い。すなわち、多くの水田には潜在的および顕在的に緩傾斜が付いていると考えた方がよい。中でも特に人為的に付した緩傾斜については、排水性向上には有効であるが、本章まで述べてきたような湛水散播での種子埋没深制御の観点から見れば必ずしも有効ではないと考えられる。

7.4 7章の摘要

本章では埋没深制御の初歩的段階として、不埋没の回避について検討した。具体的には、現地試験、室内実験の結果を踏まえて「埋没面積率モデル」を作成し、散播された種子が土中に埋没する箇所の面積率が均平精度に応じて如何に変化するかについて検討した。

その結果、現行の均平精度基準ではある程度の不埋没を覚悟する必要があるのに対し、均平精度を平均値±2.5cm程度以上、できれば±2cm程度以上に向上させ、さらに散播時における湛水深を適切に管理することによって、埋没面積率が70%以上の高率となることを示した。すなわち、湛水散播で苗立密度が極度に低い箇所を作らないようにするためには、均平精度だけではなく、同時に精緻な水管理が重要であることがわかった。具体的には、均平精度が高いことを前提とした上で、散播時において田面が完全に水没しているのではなく、田面の10~15%程度が水面から露出している程度が、計算上は理想的な湛水深だといえる。また、播種時期は減水深が少ないので、代かき段階において浅めの湛水深で作業を行うことが望ましい。

そのような均平管理、湛水深管理を行うためには、運土を意図した代かきを行うことや、代かきの段階からすでに浅水で作業を行うことなど、営農段階、特に代かき作業における農家の工夫や努力が求められる。

(7章 おわり)

終章 研究の結論

終.1 研究の結論

日本型直播稲作は、移植栽培体系での経営規模拡大の限界を打破することを目的として普及の需要が唱えられている。しかし、期待に反して普及が進んでいない。

その理由としては、以下の2点が考えられる。

- 1) 一般に指摘されている「直播の需要」に対し、個々の農家は直播の需要をそれほど大きく感じていないのではないかと、
- 2) 技術的に不完全で、需要に応え切れていないのではないかと、

そもそも日本型直播においては、我が国の零細分散錯圃の特質を鑑みれば省力性と同時に土地生産性も重視される。しかしそれが達成できない技術水準では、導入効果は低減する。そしてメリットが小さければ、需要を感じる農家も必然的に減少する。我が国における直播の普及の伸び悩みは、そういった構造によるものだと考えられる。

そして技術水準については、農林水産省による「技術的にほぼ完成している」との既述も見られるが、既往の研究を概観しても作物学の分野を除けば蓄積は不足している。中でも基盤となるべき水田については、用排水に関するものを除けば農業土木の分野からはさしたる検討は行われて来ておらず、半ば経験則的に均平精度の重要性が指摘されているのみであった。

こうしたことに加えて、直播の導入はその多くが大区画化圃場整備と同時に行われることが多いことを踏まえて、本研究は日本型直播稲作の導入および安定的な実施に向けて、水田工学の立場からの検討を行った。

上記のうち1点目については2章、3章にて検討した。近年の技術進歩や助成策などが相俟って、農業経営の拡大を意図している農家に限られるが、直播の導入は有効であることを再認した。その一方で、収量が大幅に減少する危険性が、導入に際してのネックになっていることが把握できた。

2点目について、収量の安定化のための苗立密度の均一化、ひいては初期生育の安定化の観点に対する田面起伏・均平精度の寄与について、我が国において定着の可能性が高いと目される湛水直播の中でも、様々な圃場規模への適応性が高

く、また最も省時間的な手法である湛水土壤中散播に着目し、その生育低下の主因の一つと考えられる種子の埋没深に着目して検討を行った。現地試験、室内実験、並びにモデル計算を通じて、均平精度を平均値±2.5cm程度、できれば±2cm程度以上に向上させ、さらに播種時における湛水深を適切に管理することによって、種子が埋没できる田面の面積率が70%以上の高率となることを示した。

このように本研究では、普及度評価や需要、導入される過程について確認することで、日本型直播に関する現状および問題点を整理した。その上で、従来の直播技術の検討の中で欠如していた湛水直播の生育に関する水田基盤整備の関与について検討した。その結果、直播での収量低下の大きな要因と考えられる、苗立密度が過疎となる箇所の回避、すなわち初期生育の安定化に対して、従来は仮説的・経験則的に指摘されていた田面均平精度の向上と、それに加えて湛水深管理の精緻化による種子埋没深の制御によって寄与できる旨を示した。またそれに必要な田面均平精度水準について示唆した。

以上から、需要を有する大規模経営農家が、高度な技術を持って適切に水田基盤を整備することによって、我が国における直播は有効に導入され得ると結論づけられる。

終.2 今後への課題

以上のように、本研究では直播稲作の生育安定化に対する水田基盤管理の寄与について、ひとつの回答を示すことができた。本研究で示した均平や湛水深管理の精度は、現実的な運営はまだ容易ではないレベルである。本研究が次なる技術開発への一助となることを望みたい。

本研究においてはその過程で、日本型直播の需要と課題、従来用いられていた全国面積をはじめとした数値のみを用いた普及度評価法に対する批判、同じく年間トータルでの労働時間のみに着目した直播の省力性に関する従来議論法に対する批判、兼業農家には直播導入の意義が低い点、技術導入に際しての圃場整備などの契機となる動きの重要性、収量大幅減の危険性の指摘や、収量低下の要因に関する分類や検討など、従来はさほど注目されてこなかった点について新たな指摘を行った。また軟弱土壌の現場および室内における硬度評価法について提案

した。これらのことは、直播研究のさらなる発展へと寄与することが期待される。

さて、本研究を通じて見出された今後への新たな研究課題として、著者は以下の点を提示しておきたい。

1点目として、本研究の4章の一部は、明確に推定できる事項ではあるものの、実測データではない。具体的には、栽培初期における田面凹部での生育不良については、現場レベルでは足立（1993）、佐々木ら（2002）の他に実測値は見られない。湛水散播水田でのこれの把握は今後の必須課題である。

2点目として、3章に関連して、農家が直播を受容する過程について、集落単位などの広範で長期的、詳細な調査が挙げられる。特に圃場整備や担い手育成との絡みで新技術として直播を導入することに対して、個々の農家の意向が如何に収斂していくかの過程について興味深い。

3点目として、5章、6章の内容に関連して、代かき後の土壌の沈降、硬化過程について、より基礎的な見地からの検討が必要である。この課題については古くから多くの検討が為されており、また近年では降下浸透の影響についての雷・多田（1987）などが挙げられる。だが、それに加えて代かき強度の影響や湛水深の影響、また土性による差異などを把握することが、直播における表面土壌硬度の制御にとってのみならず、近年では不要論さえ唱えられている代かきの意義を再認識する意味でも必要だと考えられる。また、そのためにはさらに精密な硬度測定の新技術開発も求められる。

そして4点目として、7章では不埋没の回避に着目したが、これは埋没深制御に関する検討の初歩的な段階でしかない。したがってその方向へのモデルの深化が求められる。

終.3 補遺

終.3.1 本研究の論点の確認

本稿を締めるにあたって、著者の直播に対する捉え方について改めて確認しておきたい。

多くの場合、直播はすでに経営規模を拡大した農家がさらに省力化するための手段として捉えられている。すなわち、直播の導入のためには大規模経営である

ことが前提となっており、逆に言えば零細分散錯圃の性質を残した今日の我が国の農地所有の構造では、直播の意義が見だしにくいと考えられている。

ところが著者の考え方はこれとは異なる。すなわち、経営規模拡大のための手段として、春先の労働ピークカットに有効な直播を導入しようと捉えている。換言すれば、経営規模拡大の進展のためには直播の技術確立が前提となるという考え方である。

こうした考えから本研究は、近い将来に向けてますます増大する農業経営規模拡大の需要に向けて、そのための準備として、直播の課題や技術について検討しようという立場から行った。

終.3.2 直播普及のためのもうひとつの要素

本研究では直播について需要と技術との観点から論じた。しかし、現在の直播普及の進捗の遅れにはこれらのみでは十分に説明ができない要素が含まれている。

例えば現在の農業の中樞が戦中・戦後派で、食糧難の時代を生き抜いてきた人たちであることから、農家は労力を惜しんで収量を落とすよりは、手間を惜しまずに少しでもよいコメを少しでも多く作りたいと考えており、労働生産性重視の直播は風土に合わない側面がある。また、これは技術的な問題であるが、農業は年に1度のチャンスで1年分の収入を得なければならない。そのため第2・3次産業に比べて失敗に対する許容幅は低い。その他、特異的に高価で取り引きされているコシヒカリが弱稈のために直播に適さないなども問題点として指摘できる。

こうした事情に基づき、伝統的に根付いている移植作業体系に対して、直播を導入して農業経営構造を変えていこうという取り組みは、我が国においては一種の革命的な出来事だと捉えることもできる。その“革命”を外力的に起こして失敗した例として【事例3-3】を挙げた。類似したケースは他にもあると思われる。実際、近年の直播面積の増大は目を見張るものがあるが（巻末資料5参照）、著者は地域によっては多少なりともこの事例と似たことが起こるのではないかと危惧する。

2章で1970年代における岡山県以外の直播の急減について、「農家に技術的な素地がないままに導入を図ったことにより、その反動で急激に減少した可能性」について指摘した。ここでは技術的素地にのみ着目していたが、その指導力、経営規模拡大の可能性、さらにそれらに加えて本項で指摘した農家の精神的な部分などの下地が確立したところに導入されて、初めて直播は根付いていくのであろう

うと考えている。

終.3.3 日本型直播稲作の将来像

最後に直播の今後の姿について考えておきたい。

先に遠い未来について考えておこう。旧来の零細分散錯圃の構造は解消されつつあるが、今から数10年、数100年後にはその構造は完全に消えている可能性がある。そうした場合、我が国においても新大陸型の粗放的な直播が行われているのではないだろうか。ただし山がちの我が国で、傾斜地水田（1/20以上の傾斜の水田は、全水田面積の8%存在する）においても直播が行われているかどうかについては、現在の技術では否定的に考えざるを得ない。

続いて近い将来について検討したい。直播が最も大きなメリットを持つのは、数10ha規模の経営を行っている場合である。現状では担い手育成型の圃場整備が行われており、新たな経営感覚や新技術に対する許容力を持った若い大規模稲作経営農家が育成される途上にある。こうした動きがさらに進展し、我が国の水田農業に新たな時代が訪れる10数年後（団塊の世代が引退するころが最大の転換期になると著者は考えている）には、直播は数%のレベルまで増えているのではないかと思われる。簡易に試算すると、「第4次土地改良長期計画」（1993年）に準じて低平地水田の多くが大区画化され、その3割程度に直播が導入されるとすれば、我が国の稲作面積の10%程度に直播が導入される計算になる。

そのように考え、技術開発やそのためのソフト面の整備といったいわゆる「下地作り」は、数年単位でなく、10数年単位の長いスパンで行っていくべきだと著者は考えている。

直播研究に水田工学の見地を投入する試みは、まだ初歩段階でしかない。今後に向けてさらなる検討が必要である。

（終章 おわり）

引用文献

本研究のもとになった論文

牧山正男, 山路永司 (1997a): 直播稲作の現状と農業土木技術から見た湛水直播の問題解決の可能性, 農業および園芸, 72(10), pp.1097-1102

(4章, 資料)

牧山正男, 山路永司 (1997b): 大区画・湛水散播水田で水稻の個体密度が生育・収量に与える影響, 農業土木学会論文集, 191, pp.47-52

(4章)

牧山正男, 山路永司 (1998): 直播稲作の課題と大区画水田への導入の可能性, 農土誌66(10), pp.3-8

(序章, 2章)

牧山正男, 山路永司, 佐藤洋平 (1999): 営農の立場から見た直播稲作の導入意義—直播稲作に関するソフト面の研究(1)—, 農業土木学会論文集, 201, pp.53-58

(3章)

牧山正男, 佐藤洋平, 山路永司 (2000): 大規模稲作農家が直播稲作の導入を判断する過程—直播稲作に関するソフト面の研究(2)—, 農業土木学会論文集, 206, pp.83-90

(3章)

牧山正男 (2002a): 水稻湛水土壌中散播における種子の埋没に代かき後の田面起伏が及ぼす影響, 農業土木学会論文集, 218, pp.73-80

(5章, 7章)

牧山正男 (2002b): 湛水土壌中散播での種子の埋没深に関する実験的検討, 農業土木学会論文集, 222, pp.109-114

(6章)

坂田賢, 牧山正男, 三野徹 (2003): 水稻直播栽培面積変化および技術進展との関係, 農業土木学会誌, 71(6), pp.47-52

(2章)

序章

- 牧山正男, 山路永司 (1998): 直播稲作の課題と大区画水田への導入の可能性, 農業土木学会誌, 66(10), pp.3-8
- 山路永司, 佐藤照男 (2002): 大区画化水田整備, 食と環境を守る水田づくり—新しい水田整備工学— (富田正彦ら編著), 農業土木学会, p.67

1 章

1.1 日本型直播稲作に関する既往の研究

- 足立一日出 (1993): 直播栽培における湛水深と水稻生育について, 農業工学研究所技報, 187, pp.129-139
- 秋田重誠 (1995): アメリカ合衆国における省力大規模直播栽培の技術的特色, 直播稲作への挑戦 第3巻 新しい日本型直播稲作の戦略 (櫛淵欽也監修), 農林水産技術情報協会, pp.83-92
- 長期不耕起栽培圃場研究グループ (1994): 長期不耕起直播田の土壌及び水稻栽培の実態調査, 農業技術, 49 (6), pp.251-256
- 姫田正美 (1995): 直播稲作への挑戦 第1巻 直播稲作研究四半世紀のあゆみ (櫛淵欽也監修), 農林水産技術情報協会
- 萩原素之, 井村光夫, 三石昭三 (1986): 湛水土壌中に播種した水稻種籾近傍の酸化還元状態, 日本作物学会紀事, 56 (3), pp.356-362
- 萩原素之, 井村光夫, 三石昭三 (1990): 酸素発生剤を被覆した水稻種籾の近傍で起こる局所的土壌還元と発芽・出芽の関係, 日本作物学会紀事, 59 (1), pp.56-62
- 井村光夫, 三石昭三 (1983): コストダウン稲作としての“湛水土中散播”栽培法(1), 農業および園芸, 58(4), pp.543-548
- 石橋英二, 赤井直彦, 大家理哉, 川中弘二 (1998): 不耕起乾田直播栽培の継続が土壌ち密度並びに減水深に及ぼす影響, 土壌の物理性, 79, pp.11-21
- 小室重雄 (編) (1999): 水稻直播の経営的效果と定着条件, 農林統計協会, pp.1-253
- 川崎哲郎 (1975): 乾田ジキマキ田と湛水ジキマキ田の土壌物理性と減水深—乾田ジキマキ水田の合理的管理体系に関する基礎的研究 (I)—, 農業土木学

- 会論文集, 59, pp.15-22
- 川崎哲郎 (1977a): 乾田ジキマキ田とタン水ジキマキ田の乾燥特性と地耐力—
乾田ジキマキ水田の合理的管理体系に関する基礎的研究 (II)一, 農業土木
学会論文集, 67, pp.10-16
- 川崎哲郎 (1977b): 乾田ジキマキ田とタン水ジキマキ田の土壤構造と易耕性—
乾田ジキマキ水田の合理的管理体系に関する基礎的研究 (III)一, 農業土木
学会論文集, 68, pp.14-20
- 駒村正治, 中村貴彦, 飯田厚, 中川幸夫 (1998): 乾田直播栽培における水田
の基盤整備, 農業土木学会誌, 68(10), pp.25-31
- 工藤壽郎 (1995): イタリアにおける移植から直播への農法転換・実態とその要
因, 直播稲作への挑戦 第3巻 新しい日本型直播稲作の戦略 (櫛渕欽也監
修), 農林水産技術情報協会, pp.107-120
- 李尚奉, 千家正照, 伊藤健吾, 林博康 (2003a): 不耕起乾田直播栽培が水田減
水深に及ぼす影響—岐阜県巢南地区を対象とした減水深の事例研究—, 農
業土木学会論文集, 224, pp.19-26
- 李尚奉, 千家正照, 伊藤健吾, 林博康 (2003b): 不耕起乾田直播栽培の導入に
よる水管理と水田用水量の変化, 農業土木学会論文集, 224, pp.45-52
- 牧山正男, 山路永司 (1997a): 直播稲作の現状と農業土木技術から見た湛水直
播の問題解決の可能性, 農業および園芸, 72(10), pp.1097-1102
- 牧山正男, 山路永司 (1997b): 大区画・湛水散播水田で水稻の個体密度が生育
・収量に与える影響, 農業土木学会論文集, 191, pp.47-52
- 牧山正男, 山路永司, 佐藤洋平 (1999): 営農の立場から見た直播稲作の導入意
義—直播稲作に関するソフト面の研究(1)—, 農業土木学会論文集, 201,
pp.53-58
- 牧山正男, 佐藤洋平, 山路永司 (2000): 大規模稲作農家が直播稲作の導入を判
断する過程—直播稲作に関するソフト面の研究(2)—, 農業土木学会論文集,
206, pp.83-90
- 牧山正男 (2002a): 水稻湛水土壌中散播における種子の埋没に代かき後の田面
起伏が及ぼす影響, 農業土木学会論文集, 218, pp.73-80
- 牧山正男 (2002b): 湛水土壌中散播での種子の埋没深に関する実験的検討, 農
業土木学会論文集, 222, pp.109-114

- 増島博 (1966) : 水稲乾田直播栽培における降下浸透, 土壌の物理性, 15, pp.12-14
- 松田藤四郎, 小野功, 新沼勝利 (編) (1996) : 水稲直播による経営革新, 農林統計協会, pp.1-262
- 三石昭三 (1975) : 水稲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, 石川県立農業短期大学特別研究報告, 4, pp.1-59
- 三石昭三, 井村光夫 (1980) : 水稲の湛水直播における諸問題(1)~(3), 湛水土壌中直播法を中心にして, 農業および園芸, 57(10), pp.1265-1268 ; (11), pp.1383-1388 ; (12), pp.1493-1498
- 中村喜彰 (1978) : 湛水土壌中直播機に関する研究, 石川県立農業短期大学特別研究報告, 7, pp.1-137
- 農業研究センター (1997) : 日本型直播稲作導入指針
- 長野間宏 (1998) : 稲作技術の展開方向と土壌物理的諸問題, 土壌の物理性, 79, pp.3-9
- 坂田賢, 堀野治彦, 三野徹 (2001) : 直播水田における圃場単位の水利用に関する事例的研究, 農業土木学会論文集, 212, pp.17-22
- 坂田賢, 堀野治彦, 三野徹 (2002) : 水稲直播栽培定着のための必要条件—滋賀県横山地区における圃場水収支測定に基づく事例的研究—, 農業土木学会論文集, 221, pp.1-9
- 滝田正, 田淵俊雄 (1995) : オーストラリアにおける完全輪作型大規模直播水田と用排水管理システム, 直播稲作への挑戦 第3巻 新しい日本型直播稲作の戦略 (櫛淵欽也監修), 農林水産技術情報協会, pp.93-106
- 富田正彦, 藤崎浩幸, 山路永司, C.Murugaboopathi (1989) : 大規模区画水田の事例と考察, 農業土木学会誌, 57(3), pp.49-55
- 柳澤憲作 (1996) : 落水出芽方式による水稲湛水直播の出芽安定化, 農業および園芸, 71(12), pp.47-52
- 尾形武文, 松江勇次 (1998) : 北部九州における水稲湛水直播栽培に関する研究—首立ち密度ならびに播種様式が水稲の生育, 収量におよび米の食味特性に及ぼす影響—, 日本作物学会紀事, 67 (4), pp.485-191
- 佐々木良治, 山口弘道, 松葉捷也 (1999) : イネの最大分けつ力からみた散播直

播水稻の限界苗立密度, 日本作物学会紀事, 68(1), pp.10-15

吉永悟志, 脇本賢三, 田坂幸平, 松島憲一, 富樫辰志, 下坪訓次 (2001a): 打ち込み式代かき土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上一播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響一, 日本作物学会紀事, 70(2), pp.186-193

吉永倍志, 脇本賢三, 田坂幸平, 松島憲一, 富樫辰志, 下坪訓次 (2001b): 打ち込み式代かき土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上一耐倒伏性向上および安定化のための点播条件一, 日本作物学会紀事, 70(2), pp.194-201

山田登 (1951): 過酸化石灰による作物に対する酸素の供給 (予報), 日本作物学会紀事, 21, pp.65-66

山内稔 (1997): 湛水土壤中における直播水稻の苗立ち, 日本土壌肥科学雑誌, 68(4), pp.467-476

1.2 水田の起伏, 均平精度に関する既往の研究

藤森新作 (2001): 高生産性水田の管理技術, 高生産性水田農業と基盤整備一その事例と展望一 (高生産性水田農業と基盤整備委員会 編著), 農業土木学会, pp.19-24

広田純一 (2002): 水田整備の基礎, 食と環境を守る水田づくり一新しい水田整備工学一 (富田正彦ら編著), 農業土木学会, p.34

岩淵善彦, 藤森新作, 長利洋 (2001): 田面凹凸を考慮した差分法による圃場用排水解析手法の開発, 農業土木学会論文集, 212, pp.63-69

岩手大学農地造成研究会 (1980): 傾斜地水田の圃場整備施工法について, 1980年度東北支部研修会テキスト, p.30

牧山正男 (2002a): 水稻湛水土壤中散播における種子の埋没に代かき後の田面起伏が及ぼす影響, 農業土木学会論文集, 218, pp.73-80

丸山利輔, 富田正彦 (1975): 転換畑のウネ間残留水について, 農業土木学会論文集, 59, pp.9-14

丸山利輔 (1975): 水田の水収支一とくに, 水田内における地表残留水量について一, 土壌の物理性, 32, pp.11-15

- 丸山利輔, 前川俊清 (1979): シミュレーションによる有効雨量率の検討—水田カンガイ計画における田面有効雨量について(I)—, 農業土木学会論文集84, pp.1-6
- 丸山利輔, 前川俊清 (1980): シミュレーションによる年間変動の検討—水田カンガイ計画における田面有効雨量について(II)—, 農業土木学会論文集85, pp.28-33
- 長田昇 (1967): 田面均平度の評価に関する一考察, 農業土木学会論文集, 21, pp.55-59
- 並河清 (1970): 水田のおうとつと田植機の上下変動, 農業機械学会誌, 32(3), pp.186-192
- 農業土木学会: 「均平精度」, 農業土木標準用語事典 (改訂第5版), p.50
- 農林水産省構造改善局 (1977): 土地改良事業計画設計基準 ほ場整備 (水田), 農業土木学会, p.45
- 農林水産省構造改善局 (2000): 土地改良事業計画設計基準 ほ場整備 (水田), 農業土木学会, p.263
- 山口英太郎, 永石義隆, 山下恒雄 (1967): 九州地方平坦水田における均平度の実態について, 農業土木学会誌, 35 (2), pp.2-10
- 長利洋 (1985): 傾斜面を基準とする圃場面均平の評価法, 農業土木学会誌, 53 (12), pp.5-10
- 長利洋 (1987): 圃場内排水溝による残留水の排除効果, 農業土木学会誌, 55 (4), pp.13-18
- 長利洋 (1990): 圃場面粗さの評価と均平作業, 農業土木学会誌, 58(2), pp.43-48
- 長利洋 (1996): 大区画水田造成のための均平管理基準, 農業土木学会論文集, 183, pp.97-104
- 長利洋 (1997): 水田整備における均平管理について—均平作業の負担を公平にするために—, 農業土木学会論文集, 187, pp.9-15
- 長利洋 (2001): 大区画水田の区画形状が均平作業量に与える影響, 農業土木学会論文集, 214, pp.9-17
- 長利洋, 矢治幸夫 (2001): 耕耘整地・代かき作業における均平作業の役割, 農

- 業土木学会論文集, 212, pp.143-149
- 佐々木良治, 柴田洋一, 鳥山和伸 (2002): 大区画水田における田面の高低が直播水稻の初期生育と分けつに及ぼす影響, 日本作物学会紀事, 71(3), pp.308-316
- 清野真人, 芳賀泰典, 須藤英弥 (1998): 大区画水田における機械作業体系と圃場整備の課題, 農業土木学会誌, 66(10), pp.9-14
- 田淵俊雄 (1966): 粘土質の水田の排水に関する研究(1) 粘土質水田の排水に関する問題点と仮説, 農業土木学会論文集, 18, pp.7-11
- 田淵俊雄 (1968): 粘土質の水田の排水を中心として, 土壤物理研究部会“水田の排水について”シンポジウム, 農業土木学会誌, 36(4), pp.29-31
- 内田晴夫, 丸山利輔, 小林慎太郎 (1984): 三次元空間系列を対象とした地形起伏シミュレーションに関する基礎的研究, 農業土木学会論文集, 114, pp.1-6
- 山路永司 (1981): 3次元囲い込みモデルによる地表水残留状況の検討—大区画汎用圃場に関する研究(I)—, 農業土木学会論文集, 94, pp.16-22
- 山路永司 (1987): 先端技術による日本農業の展開〔2〕—開発応用の現状—レーザー光測量の大区画圃場整備への応用, 農業および園芸, 62(8), pp.43-48
- 山路永司 (1989): 大区画水田の均平, 農業土木学会誌, 57(3), pp.17-22

2 章

- 長期不耕起栽培圃場研究グループ (1994): 長期不耕起直播田の土壤及び水稻栽培の実態調査, 農業技術, 49(6), pp.251-256
- 川崎健, 門脇博, 富田貢, 金谷豊: 北海道における水稻直播栽培の機械化, 農業技術, 28(3), pp.7-12(1973)
- 橋川潮: わが国における稲作の未来像を考える, 農耕の技術と文化, 19, pp.1-23(1996)
- 堀末登, 矢治幸夫 (2000): 東北地方における水稻直播栽培の研究と普及の展望, 農業技術, 55(7), pp.1-9
- 牧山正男, 山路永司, 佐藤洋平 (1999): 営農の立場から見た直播稲作の導入意

- 義一直播稲作に関するソフト面の研究(1)一, 農業土木学会論文集, 201, pp.53-58
- 牧山正男 (2002a): 水稲湛水土壤中散播における種子の埋没に代かき後の田面起伏が及ぼす影響, 農業土木学会論文集, 218, pp.73-80
- 松田藤四郎 (1996): 新しい水田農業像, 水稲直播による経営革新 (松田ら編著), 農林統計協会, pp.8-13
- 宮沢福治 (1976): 田植機械化の推移, 農作業研究, 26, pp.21~27
- 定金章 (1975): 岡山県における直播栽培の普及と代表的事例, 農作業研究, 24, pp.36-45
- 佐藤清美 (1983): 低コスト農業をすすめるための機械高度利用, 技術と普及, 20(10), pp.36-51
- 菅原友太 (1962): 日本の農業, 10, 農政調査委員会, p.6
- 菅原友太 (1970): 日本の農業, 69, 農政調査委員会, pp.45-47
- 昭和農業技術発達史編纂委員会 (1993): 昭和農業技術発達史 第2巻 水田編, 農山漁村文化協会, pp.146-155
- 武井昭 (1984): 日本稲作の技術的性格, 明文書房, p.127
- 山本晃郎, 富久保男, 坂本定禧 (2000): 岡山県における水稲直播栽培の減少継続要因とそのなかで不耕起乾田直播が持つ意義, 農業技術, 55(12), pp.1-9
- 山本史夫 (1971): 岡山県における水稲乾田直まき栽培(1), 農業技術, 26(1), pp.6-9
- 柳澤憲作(1996): 落水出芽方式による水稲湛水直播の出芽安定化, 農業および園芸, 71(12), pp.47-52

3章

- 姫田正美 (1995): 直播稲作への挑戦 第1巻 直播稲作研究四半世紀のあゆみ (櫛淵欽也監修), 農林水産技術情報協会, pp.197-214
- 兼坂祐 (1988): わが農業革命—世界—安い米作りに挑む—, 中央公論社中公新書
- 牧山正男, 山路永司 (1997): 直播稲作の現状と農業土木技術から見た湛水直播

- の問題解決の可能性, 農業および園芸, 72(10), pp.1097-1102
- 牧山正男, 山路永司 (1998): 直播稲作の課題と大区画水田への導入の可能性, 農土誌, 66(10), pp.3-8
- 中村喜彰 (1984): コメ生産の低コスト化—湛水土壤中直播栽培, 農業機械学会誌, 46(1), pp.656-660
- 長野間宏 (2001): 直播栽培の技術, 高生産性水田農業と基盤整備—その事例と展望— (高生産性水田農業と基盤整備委員会 編著), 農業土木学会, p.3
- 農林水産省統計情報部 (2003): 農業経営統計調査報告 平成13年産 米及び麦類の生産費, pp.41-46
- 農林統計協会 (1999): 図説農業白書 (平成10年度), pp.12-15 ; pp.218-219
- 滝沢利秋 (文責) (1992): 支部研究会記事—1991年度研究会「ヘリコプター稲作技術」—, 農作業研究, 27(2), pp.146-150

4 章

- 姫田正美 (1995): 直播稲作への挑戦 第1巻 直播稲作研究四半世紀のあゆみ (榑淵欽也監修), 農林水産技術情報協会, p.142 ; p.215 ; pp.240-241.
- 星川清親 (1975): 解剖図解イネの生長, 農文協, p.247
- 丸山利輔 (1975): 水田の水収支—とくに, 水田内における地表残留水量について—, 土壤の物理性, 32, pp.11-15
- 農業研究センター (1997): 日本型直播稲作導入指針, pp.4-6 ; pp.20-21 ; p.34
- 佐々木良治, 山口弘道, 松葉捷也 (1999): イネの最大分げつ力からみた散播直播水稻の限界苗立密度, 日本作物学会紀事, 68(1), pp.10-15
- 山田登 (1963): 作物体系 第1編 イネ III. 水稻の生態, 養賢堂, pp.67-97
- 山崎不二夫 (1971): 水田の工学, 農地工学 (上), 東京大学出版会, p.344

5 章

- 姫田正美 (1995): 直播稲作への挑戦 第1巻 直播稲作研究四半世紀のあゆみ (榑淵欽也監修), 農林水産技術情報協会, p.142 ; p.215 ; pp.240-241
- 農業研究センター (1997): 日本型直播稲作導入指針, pp.4-6

田淵俊雄（1966）：粘土質の水田の排水に関する研究(1) 粘土質水田の排水に関する問題点と仮説，農業土木学会論文集，18，p.10

多田敦，安富六郎，堤聡（1967）：粘土質の水田の地耐力に関する研究(I)―地耐力の年間変化―，農業土木学会論文集，21，pp.26-27

雷沛豊，多田敦（1987）：降下浸透が代かき土壌の沈下に及ぼす影響について―ハス田の土壌工学に関する研究(I)―，農業土木学会論文集，132，p.41

澤田恭彦（1989）：施肥播種機の開発（第1報）代かき土壌に落下する種子の貫入深さの解析，愛知県農業総合試験場研究報告，21，pp.131-137

林和信，西村洋，後藤隆志，堀尾光広，澤野寿彦（1998）：代かき土壌表面硬度計の開発（第2報），農業機械学会大会講演要旨集，pp.49-50

6 章

澤田恭彦，花井英之（1992）：空中から落下する水稻種子の水中沈降速度，愛知県農業総合試験場研究報告，24，pp.49-53

雷沛豊，多田敦（1987）：降下浸透が代かき土壌の沈下に及ぼす影響について―ハス田の土壌工学に関する研究(I)―，農土論集，132，pp.36-37

7 章

岩手大学農地造成研究会（1980）：傾斜地水田の圃場整備施工法について，1980年度東北支部研修会テキスト，p.30

中川昭一郎（1966）：水田用水量調査計画法（その2），農業土木学会誌，34(2)，p.87

長利洋（1985）：傾斜面を基準とする圃場面均平の評価法，農業土木学会誌，53(12)，pp.5-10

長利洋，矢治幸夫（2001）：耕耘整地・代かき作業における均平作業の役割，農業土木学会論文集，212，pp.143-149

田淵俊雄（1998）：代かき，改めて問われるその必要性，清らかな水のためのサイエンス―水質環境学―（田淵ら編著），農業土木学会，p.106

山路永司（1989）：大区画水田の均平，農業土木学会誌，57(3)，pp.192-193

終章

足立一日出（1993）：直播栽培における湛水深と水稻生育について，農業工学研究所技報，187，pp.129-139

雷沛豊，多田敦（1987）：降下浸透が代かき土壤の沈下に及ぼす影響について—ハス田の土壤工学に関する研究(I)—，農業土木学会論文集，132，pp.35-42

佐々木良治，柴田洋一，鳥山和伸（2002）：大区画水田における田面の高低が直播水稻の初期生育と分けつに及ぼす影響，日本作物学会紀事，71(3)，pp.308-316

（引用文献 おわり）

謝辞

本論文は、著者が1994年4月に東京大学大学院農学系研究科に進学してからのおよそ10年を通じて実施してきた研究成果をまとめたものである。

まずは本論文を取りまとめるに際してのご指導、並びに学位審査の際の主査として多大なるご苦勞をいただいた佐藤洋平 東京大学教授に、甚大なる感謝の意を表す。並びにご審査いただいた東京大学の田中忠次 教授、宮崎毅 教授、塩沢昌 助教授、そして松木洋一 日本獣医畜産大学教授に厚く御礼を申し上げる。

研究の遂行に当たっては、水田ゼミ（筑波水田工学研究会）の存在が大きい。その主宰者の田淵俊雄 元東京大学教授には、著者が東大農地研に配属されてからの11年間、数え切れないほどのご叱咤、ご鞭撻をいただいた。多田敦 筑波大学名誉教授には、技術論としての本研究のあるべき姿をご教示いただいた。軽部重太郎 茨城大学教授には、著者が1998年4月に茨城大学に奉職して以降もこの研究を続ける環境を与えていただいた。山路永司 東京大学教授は著者の学部・院生時代の指導教官であり、本研究の出発点となった4章1節を修論テーマにいただいた。さらに長谷川周一 北海道大学教授、黒田久雄 茨城大学助教授、加藤亮 茨城大学助手、並びにその他多くの方々とのディスカッションを行ってきた。

各章については、2章は坂田賢君（京都大学大学院博士課程2003年修了）、5章は村田君と大羽君（共に茨城大学2000年卒）、6章は沢田君（同2002年卒）、付録のスクミリングガイの分布は伊東君（同2003年卒）との、それぞれ共同研究の成果である。また6章では井本博美 東京大学技官にご助言いただいた。現地でのヒアリング調査（3章など）では多数の行政担当者、農家の方々のご協力を得た。中でも古谷信明氏（埼玉県鷲宮町農業センター所長）は5章の現地試験田の手配など、多くのご尽力をいただいた。そして審査会での口頭発表については、石川雅也 山形大学助教授および橋本君ほかの後輩諸氏よりご意見をいただいた。

以上の方々、並びにここに挙げることができなかつた数え切れないほどの方々のご協力、ご助言を得て、本論文を完成させることができた。末筆となったが、各位に心からの謝意を表す。

卷末資料

巻末資料

資料.1 論文の内容の要旨

「日本型直播稲作に関する水田工学的研究」

本研究は我が国における直播稲作、いわゆる「日本型直播稲作」の課題に対して、水田工学的な観点から検討したものである。以下のように序章、1章から7章、および終章の全9章にて構成される。

今日の我が国では、稲作の省力化、低コスト化を目的として、稲作経営規模拡大の需要が唱えられている。しかしながら現行の移植栽培の作業体系では、個々の農家が経営可能な水田面積規模には限界がある。特に春先の短期間は育苗、本田準備、移植作業など、多くの労働を要する労働ピークとなっており、これが経営面積の規定条件となっている。その規模拡大への壁を打破するためのキーテクノロジーとして、直播稲作の導入が着目されている。

ところが、我が国は零細分散錯圃の農地条件ゆえに、将来的に規模拡大しても1戸あたりたかだか10数ha程度、水田面積も1~2ha程度が多くなると考えられる。そのために合衆国などで行われているような省力性が極度に高い直播の導入は困難なことから、所得の確保のためには土地生産性の維持が求められる。さらに降雨の多さなどの気象条件や、良食味品種のみが高価で取引される市場条件などの特性を踏まえると、我が国独自の「日本型直播稲作」の技術確立が求められる。

なお、現状では直播面積は全国で1万haを越える程度（2001年）で、これは稲作面積の0.6%に過ぎないが、微増傾向にある。特に東北地方・北陸地方における湛水直播の普及が見られる。

さて、直播稲作の導入は、多くのケースにおいて大区画化圃場整備と同時に行われるべきだと考えられる。そこで本研究は大区画化圃場整備と直播導入との連携について考えるべく、直播を組み入れた農家の経営形態の確立について、並びに直播導入のための圃場整備水準についての2点を検討することとした。すなわち、第一に日本型直播の現状と需要を把握することを目的とした。具体的には日本型直播およびそれに深く関わる田面均平について既往の研究を概観した上で、日本型直播の面積変化と技術進捗との関係について、および個々の農家の省力化

の必要性に注目しながら各経営類型ごとの直播の需要の有無について整理した。また農家が直播を導入するための課題・問題点について把握した。第二に湛水土壤中散播の収量低下に対する水田工学的対処の可能性について検討することを目的とした。収量低下の要因のひとつが苗立密度の過疎にあることを考察し、またそれは田面起伏に強く影響されることを指摘した上で、そうした箇所を回避する観点から、湛水土壤中散播での種子の埋没深に着目した。そしてそれに田面起伏および均平精度の向上が及ぼす影響について、現地試験、室内実験、モデル考察によって検討した。

結果を以下に示す。

1章での既往の研究の整理に続き、2章では直播の面積の変化について検討した。全国および県レベルで直播面積の動向について検討した結果、全国レベルでの直播面積の変化のみでの普及状況の議論を行うのには限界があることをまず明らかにした。その一方で、特異的に直播面積が卓越している岡山県を例に、県別あるいは地方別に面積変化を分析することによって、年代ごとの技術水準について検証できる可能性を示した。さらに近年では岡山県、福島県などを除けば県内の稲作面積に対する直播面積の割合が1%を越える県は少ないが、概して直播面積は増加傾向にある。そのことについて、東北・北陸地方の面積増が大きいこと、またその要因として、落水出芽法や冬季代かき乾田直播、湛水点播といった技術の進歩に加えて、基盤整備の進捗とそれを契機とした直播の導入、転作カウントの存在、初期投資に対する行政的な助成など、直播を導入しやすい環境が整ってきていることを挙げた。

3章では、最初に直播導入に際しては省力化が第一目的で、低コスト化は省力化されて生じた余剰労力を活用した結果として得られるものであることを指摘した。続いて、省力化する際の労働の利用目的に応じて農家類型を「稲作拡充型」、「複合経営拡大型」、「第2・3次産業拡充型」、「余暇増加型」の4類型に分類し、それぞれの直播の導入意義に関して営農の観点から検討した。結果として「稲作拡充型」「複合経営拡大型」の農家にとっては直播導入の有効性が高いこと、逆に「第2・3次産業拡充型」の農家にとっては、農外所得機会が労働の季節差が少ないために労力配分の効果が低いことから、直播導入の意義は低いことを示した。

次に大規模稲作農家が直播の導入を判断する過程について、従前の栽培法に問題が存在していることを前提にして、①春先の省力化によって所得機会が増大できる場合に直播を必要だと発想し、②地域条件を踏まえて導入が可能であると判

断し、③直播の経済性を評価し、特に最大のリスクである「収量が大幅に減少する危険性」が回避可能と判断する、の各段階がすべてクリアされる必要があることを整理した。このうち最大の障壁は直播の低収量性、特に技術の困難さによる収量大幅減の危険性と考えられた。

さらに直播を導入する契機となる農家の経営上の変化について、圃場整備などを契機とした経営の大規模化・法人化、数戸単位での連携、個人単位での規模拡大、世代交代や相続などの個人的な変化の4者に分類し、それぞれについて事例を紹介した。

以上が第一の目的に対する検討である。これらの結果を受けて、以下では我が国においては乾田直播に比べて適地が多いこと、その一方で初期生育に課題が残されていることを踏まえて、対象を湛水直播に限定した上で、第二の目的について検討した。

4章では、安定的かつ均一的な苗立密度を確保する観点から、田面均平精度の問題について論じた。湛水土壌表面散播圃場での調査により、苗立密度の不均一性の存在を把握し、また特に苗立密度が過疎となる箇所において収量の大幅減が生じることを示唆した。さらに散播での適正な苗立密度および播種量について、それぞれ100本/m²、4kg/10aという数値を算出した。これは既報とほぼ一致する結果である。

続いて、苗立密度が過疎となる要因について整理・検討し、落水出芽法による根の土壌進入の促進、鳥害・貝害の回避の点で、田面均平精度の向上が関与すること、また種子を適切に埋没させることでこれらの多くが制御可能であることを考察した。

以下では湛水直播の中でも最も省時間的で、また区画規模にも汎用性が高いが、その反面で種子の埋没深の制御は困難な湛水土壌中散播にさらに対象を限定し、その手法での種子の埋没に対して田面起伏・均平精度が及ぼす影響について掘り下げた。なお、湛水散播での種子の埋没深は、落下速度（落下高さ）、種子の質量の他、代かき後の土壌硬度、湛水による抵抗といった田面起伏に関与する要因に影響される。

5章では代かき後の水田における土壌の硬化過程とその田面起伏との関係について現地において測定した。軟弱な土壌硬度の定量的評価については過去に例がないが、ここでは測定には簡易なフォールコーンを利用した。その結果、湛水下においては表層硬度はゆっくりと硬化していき、代かきから数日間は種子の埋没

が可能な硬度が保たれるのに対し、表層が水面から露出した後の硬化は急速で、コーンの土中への進入深は露出から1日程度でほぼ半減した。散播された種子の埋没深を制御するためには表層硬度の均一化が必要だが、以上の結果から田面起伏に伴う湛水残留の有無、および露出までの時間差のために表層硬度は不均一となることが把握できた。

6章では散播での種子の埋没深に表面土壌硬度、湛水深、被覆種子の質量と大きさ、並びに落下高さが及ぼす影響について、室内実験により検討した。その結果、湛水の抵抗が埋没深に対する大きな要因であること、また湛水条件下で種子が適切な埋没深を得られるのは、表面土壌硬度が0.2kPa程度、すなわち練り返された土層が十分に沈下せず、硬度が極めて軟弱なときのみであることから、湛水深制御の重要性を把握した。さらに湛水条件下で被覆種子の質量や落下高さを増すことによって埋没深を増すことができるのも、同様に表面土壌が軟弱なときに限られること、逆に言えば、湛水条件下において表面土壌が硬化した後には、種子の質量や落下高さを増しても埋没深確保には効果がほとんどないことがわかった。そのため、代かき後、土層が十分に沈下する前に播種するように作業体型を見直すことが必要だと考えられる。

7章では現地試験および室内実験の結果を踏まえて「埋没面積率モデル」を作成し、散播された種子が土中に埋没する箇所の面積率が均平精度に応じて如何に変化するかについて検討した。その結果、現行の圃場整備基準の均平精度ではある程度の不埋没を覚悟する必要があるのに対し、熟田の均平精度とされる平均値±2.5cm程度に均平精度を向上させ、さらに播種時における湛水深を適切に管理することによって、埋没面積率が70%以上の高率となることを示した。

以上のように、本研究では普及度評価や需要、導入される過程について確認することで日本型直播に関する現状および問題点を整理した。その上で、従来の直播技術の検討の中で欠如していた湛水直播に関する水田基盤整備の関与について検討した。その結果、直播での収量低下の大きな要因と目される苗立密度が過疎となる箇所の回避、すなわち初期生育の安定化に対して、従来は仮説的・経験則的に指摘されていた田面均平精度の向上と、それに加えて湛水深管理の精緻化による種子埋没深の制御によって寄与できる旨を示し、またそれに必要な田面均平精度水準について平均値±2.5cm程度以上が必要であることを示唆することができた。

資料.2 日本型直播稲作の手法の分類

本文中**Table 序-1**で、例えば北海道の無人へりに注目する。2haのみ実施ということは、1戸の農家が1～2筆の大区画水田でのみ実施していることが考えられる。多くても2～3戸の農家であろう。近畿地方の乗用播種機の0.6haも同様である（これは和歌山県で実施されているのみ）。

これと同様に、極度に小さい面積で実施されているケースが、さらに県単位で見ると多々存在する。これらも個人、多くても集落程度の規模でのみ導入されている例が多いものと推察される。直播実施面積は全国的に見ても極めて少ないため、こうした1戸程度しか実施していない技術もデータ上は無視できなくなっている。そのことが以下のような細かい類型化を要する原因の一つである。

最近の分類として、姫田（1995）によるもの（**Table 資-1**）、農業研究センター（1997）によるもの（**Table 資-2**）を以下に示す。

姫田の整理については、ムギ跡への乾田直播は今日ではあまり行われておらず、また「折衷直播」の語は今日では用いられない（播種時に畑状態か湛水状態で、前者を乾田直播、後者を湛水直播と2分するという農業研究センターの整理が一般に用いられている）ことから、すでに古い整理と考えられる。

一方、農業研究センターの整理は詳細ではあるが、本文中でも指摘したように、“種子の埋没を意図した”湛水土壤中散播が適合しないなど、問題を残している。

さらに、いずれの整理も、冬季代かき・乾田直播（いわゆる愛知式不耕起乾田直播）のような新しい技術には適応していない。

Table 資-1 姫田（1995）による直播手法の分類

大分類	中分類	特徴
乾 田 直 播	裸地耕起直播	一毛作田で耕うん・整地後に土中に播種する最も一般的な直播方式。代かきをしないため、浸透量の大きい水田では不適。また除草剤なくしては畑雑草の繁茂が避けられない。
	冬作跡耕起直播	麦等の冬作跡に播種される乾田直播。降雨の多い時期に播種されるため排水性の良い水田でないとは不可。また晩播であるため晩播適応性の高い品種とする。
	不耕起直播	降雨の多い時期あるいは重粘土地帯においては耕起が難しいあるいは耕起によって排水性が悪化するため、不耕起のまま直播を行う方式。
	作物間直播	前作物の収穫後に播種すると播種期が遅れるため、それを回避するために開発された方式。
湛 水 直 播	湛水土壌中直播	過酸化石灰で被覆した種子を代かき・落水後の水田に条播・点播する方式。種子の出芽が安定するという特徴を持つ一方、被覆のための作業・経費が必要。
	湛水土壌中散播	被覆種子を、背負い式動力散布機やヘリコプタにより散播する方式。
	土壌表面直播	湛水された水田、あるいは代かき・落水後の水田に被覆しない種子を播種する方式。表面播種のため倒伏しやすいという欠点を持つ。
折 衷 直 播	無代かき作溝直播	耕うん・碎土を畑状態で行い溝を作った上で播種しその後湛水する方式。湛水によって土が崩落し種子を埋め、また保温性も高まる。
	無代かき平畦直播	通常の乾田直接と同様に播種し、その後湛水する方式。
	潤土直播	耕起・代かき後に落水して散播し、苗立ち完了までは入水しない方式。乾燥の甚だしい場合にのみ走り水をする。

（山路（2002）の整理を引用）

Table 資-2 農業研究センター（1997）による直播手法の分類

★湛水直播

播種方式	特 徴	問題点とその解決法
①不耕起播種 不耕起一条播・ 点播	耕起を省略した水田において、前作作物の刈株やレンゲがある中に湛水して土壌を膨軟にし、乗用管理機等を用いて潤土状態の水田に溝切りを行いながら播種する。耕起、代かきが省略できるので省力効果が大きく、二毛作や田畑輪換栽培等の作物切り替え時の省力技術として有効である。	不耕起栽培であるので漏水田や土壌肥沃度が極端に低い水田には適さない。潤土状態の表面条播であるが、不耕起のため苗立安定性が劣るので、寒冷地での栽培は適さない。また、播種深度が浅いので倒伏に弱い品種の利用は避ける。
②耕起代かき作 溝播種 耕起一代かき一 作溝一表面条播	耕起代かき後落水し、土壌がある程度固まってから乗用管理機等を用いて作溝と同時に播種し、播種後に湛水する。代かきを行う方式なので全土壌条件に対応し、播種作業が天候による影響を受けにくい。表面播種に近いので出芽が良好であり、湛水後の自然覆土によりある程度の倒伏防止効果も期待できる。	耕起、代かきを必要とし、作溝播種の作業性が劣るので省力化が必要である。また、無粉衣種子の利用が課題であるが、土壌条件により苗立安定化と倒伏抑制のための作溝形状を明らかにする必要がある。二毛作田等では前作作物の残査が作溝の障害となるので適切な処理が必要である。
③耕起代かき土 中播種 耕起一代かき一 土中条播・点播	代かき同時または代かき後に粉衣種子を湛水土壌中に覆土、打ち込み等により強制的に播種する。代かきを行う方式なので全土壌条件に対応し、播種作業が天候による影響を受けにくい。土壌中播種なので株探さが確保され、湛水直播の方式の中では最も倒伏抑制効果が高く、台風常襲	代かき後の湛水土壌中への播種のため苗立ちが劣るので、播種後の気温が低い地域では播種深度を浅く調節する必要がある。

	地域への導入も可能である。	
④ 耕起代かき表層播種 排起一代かき一表層条播・散播	代かき後に粉衣または無粉衣種子を土壌表層に播種し、その後湛水あるいは潤土状態の管理を行う。代かきを行う方式なので全土壌条件に対応し、播種作業が天候による影響を受けにくい。多様な播種方式が選択でき、散播は省力効果が比較的大きい。	表層播種のため浮き苗、転び苗や倒伏が発生し易いので、耐倒伏性品種の利用および水管理、施肥制御等の栽培管理による生育安定、倒伏軽減対策が必要である。
⑤ 耕起無代かき表層播種 耕起無代かき一条播・散播	耕起・作溝を行った後に湛水し、無粉衣種子を土壌表面に播種する。代かきが省略できるので省力効果が大きく、湛水播種なので天候による制約を受けにくい。	代かきしないので漏水田には適さない。表面播種のため浮き苗、転び苗や倒伏が発生し易いので、耐倒伏性品種の利用および水管理、施肥制御等の栽培管理による生育安定、倒伏軽減対策が必要である。

★乾田直播

播種方式	特 徴	問題点とその解決法
⑥ 不耕起播種 不耕起一条播・点播	耕起を省略した水田において、前作物の刈株間に溝を切るか、最小限の耕起を行って播種し、通常3、4葉期に湛水する。耕起、代かきが省略できるので極めて省力効果が大きく、生育期間の地耐力が高いため管理作業に有利である。播種深度を深くできるので耐倒伏性は高い。	不耕起栽培であるので漏水田や極端に土壌肥沃度の低い水田には適さない。土壌表面の凹凸により苗立不良となる場合には均平を行う。播種後に保温が必要な場合は早期湛水を行う。雑草が繁茂し易く、除草回数が多くなりがちであるので、省力的で効果の高い雑草防除技術の確立が必要である。
⑦ 耕起播種 耕起一条播・散播	耕起・碎土した水田に溝切り播種または表面散播を行い、必要に応じ覆土、鎮圧を行う。通常3～4葉期に湛水する。乾田播種のため、作業	代かきしないので漏水田には適さない。播種時の降雨により作業困難となる。土壌が過湿、過乾燥となり出芽苗立ちが低下しやすい場合は排水、

	性、省力性が高く、大型機械の導入も容易である。播種深度を深くできるので耐倒伏性は高い。	地下灌漑等による土壌水分の制御が必要である。保温が必要な場合は早期湛水を行う。雑草が繁茂し易いので、省力的で効果の高い雑草防除技術の確立が必要である。
⑧排起作溝播種 耕起一作溝一表面条播	耕起後あるいは耕起と同時に作溝機で畝立てし、溝に播種した後に湛水する。乾田播種のため、作業性、省力性が高く、表面播種に近いので苗立ちが良好であり、湛水後の土壌崩落または培土機による強制覆土により株深さを移植並みに深くして倒伏を抑制することが可能である。	代かきしないので漏水田には適さない。溝への土壌崩落が早すぎると苗立不良となるので、土壌条件により苗立ちが安定し、かつ、耐倒伏性が向上する溝形状、湛水時期、水管理方式等を明らかにする必要がある。

(農業研究センター(1997)より、一部修正および改変して引用)

資料.3 本文中で触れなかった直播技術

資.3.1 湛水直播の技術

播種方式は3通りに分けられる。ばらまき式の「散播」、田面に筋を切ってそこに播種していく「条播」、種子を田面に打ち込む「点播」である。

点播については本文中でふれたので、ここでは散播と条播について触れる。

資.3.1(1) 湛水散播の方法

散播は、代かき数日後、湛水を田面ヒタヒタまで落水し、そこに播種するのが我が国で一般的に行われている方法である。

有人ヘリコプターを利用する大規模なものから、背負い式動力散布機で畦や田面内を歩行しながら播種する小規模のものまで見られるが、今日では乗用管理機によるものは石川県に、有人ヘリは福井県^{*資料-1}と愛知県に見られる他は、ほとんど見られなくなった。東北・北陸地方では概して無人ヘリが、また背負い式は山形県で卓越しているものの、傾向としては全国で広く行われている。

この手法の難点としては、本文中で触れた種子が土壤中に埋没にくい点の他、発芽後は畝間が存在しないので、田面内を歩いての栽培中期以降の管理が困難であることが挙げられる。

資.3.1(2) 湛水条播の方法

条播は6条播きなどの乗用管理機を用いる場合が多い（地域によっては歩行式の播種機も未だ用いられている）ことから、イメージ的には移植に近い。

溝を切った播種であることから、種子の埋没は制御しやすい。また畝状に並ぶため、田面を歩行しての管理も可能である。溝の切り方をM字状にして、播種後に土壌が徐々に崩壊して覆土厚を確保しやすくするなどの工夫も見られる（作溝直播；かつては折衷直播^{*資料-2}と呼ばれた）。一方、散播に比べると播種作業に

*資料-1 福井県は、土壌が粘質であり、また雪解け水もあることから、排水性の確保が重要な課題である。そこで「トラムライン潤土直播」と呼ばれる手法が行われている。これは水田内にあらかじめ明渠を設置し、そこをコンクリートで固める。そこを播種からその後の管理機に至るまでの轍として使用する。

*資料-2 今日では用いられていない用語である「折衷直播」は、乾田状態でM字溝に播種し、その直後に湛水することによって溝の崩壊→覆土を促進する手法であった。今日ではこれは発芽前に湛水することから、湛水直播に区分される。

時間がかかるため、大面積への適用性は低い。

また、湛水直播において代かきを省略した「無代かき湛水直播」も行われている。乾田直播に近い作業量となるが、やはり圃場の保水性が要求されるため、適地は限られる。

資.3.1(3) 酸素供給剤の費用と労働時間

酸素供給剤の被覆については、2点の問題が指摘できる。1点がそのための費用、もう1点がその作業時間である。

酸素供給剤にかかる費用は、例えば水田10aあたりに被覆前の種子を4kg播種するとすると、酸素供給剤は2倍重（種子の重量の2倍の重さの酸素供給剤を被覆）だと約6000円かかる。10aあたり8俵取れて10万円の売り上げがあると考え、利益率50%と考えて5万円である。そう考えると、6000円は決して軽視できる金額ではない。

作業については、被覆作業は播種の数日前に行う必要がある。そのため代かきと時期的に競合する。さらに著者の調べによれば、中村（1978）の方法（**Photo 資-1**）では熟練者3人で10a分の被覆に20分以上を要する作業である。この作業を委託する業者、ないしは自動化が求められた。**【事例3-8】**の鹿沼市の第3セクターは被覆作業を請け負っている。また愛知県南陽町など、今日では農協などが被覆作業を請け負うケースも数多く見られる。さらに1999年にヤンマー社などから全自動の酸素供給剤被覆機が発売された。



Photo 資-1 中村が提案した酸素供給剤を被覆する方法

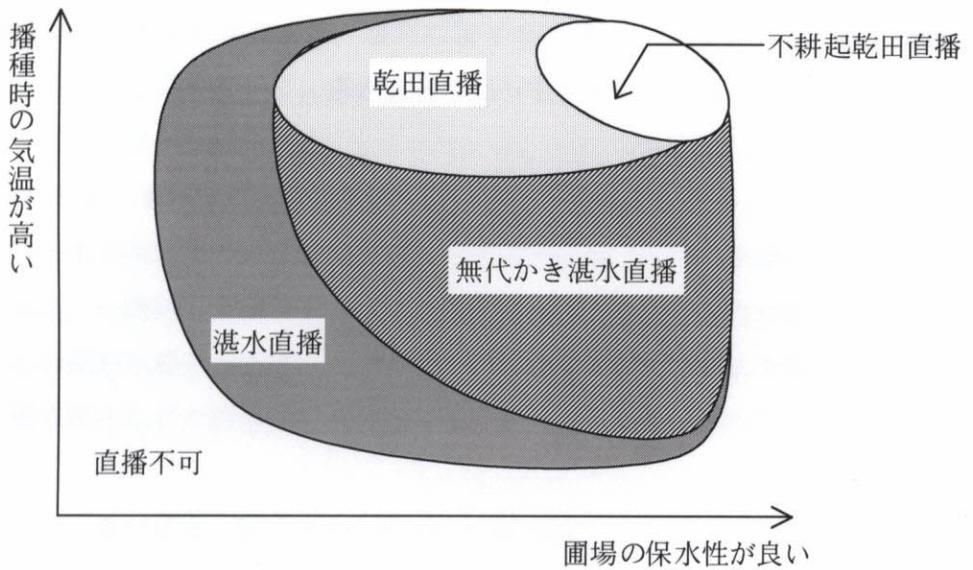


Fig. 資-1 直播の諸手法の気象・圃場条件に対する適用性（概念図）

資.3.2 乾田直播の技術

資.3.2(1) 乾田直播の方法と特徴

無代かきで畑状態の圃場に播種し、生育初期は未湛水の下で栽培し、数週間程度後から湛水を開始する栽培法。

低温や降雨の影響を受けやすいことから、気象・気候条件が大きく規定される。また圃場の保水性および透水性が優れている必要があるなど、圃場条件の制約が厳しい。そのため実施可能な地域は移植や後述の湛直に比べて多くはない。さらに出芽直後の未湛水時期に雑草が繁茂する点や、施肥のためには碎土率を高める必要がある点など、今後への課題は多い。

利点としては、まず、無代かきであること、種子への被覆剤の被覆を要さない（近年では播種直後の降雨への対応などを考慮して、被覆する場合もある）ことから、省力性ゆえに注目されている直播の中でも、湛直に比べてさらに省力的である。また、代かき用水が不要なことから、春先の水利条件が悪く、用水の確保に困難なために、移植よりもむしろ乾直が適している地域、さらには乾直しか実施できない地域も存在する。さらに種子を表層から数cm深のところに播種できるために根を張りやすく、湛水直播に比べて生育初期以降の抜け落ち、倒伏が少ないことなどが挙げられる。

資.3.2(2) 特殊な乾田直播手法

代かきのみでなく耕起まで省略した不耕起圃場で行なう直播が不耕起乾田直播である。一般の乾直よりもさらに省力性が高い。また、生育が秋まさりのであるなどの長所も報告されている。しかし、不耕起水田には漏水や除草、均平管理、表層の硬化などの課題が指摘されることから、適地幅は極めて狭い。

資.3.3 湛水直播・乾田直播の適応幅の概念図

Fig.資-1は、以上の直播手法について、気象条件、圃場条件をそれぞれ気温の高低、保水性の良し悪しで代表させ、それぞれへの適応性に基づいて整理したものである。

資料.4 日本型直播普及推進への具体的な動き

Table 資-3 「農業生産の技術指針」(2001年, 農林水産省: 下線は著者)

(前略)

(Ⅱ) 作目別

1 水稲

(1) 基本的留意事項

稲作については、「米政策改革大綱」を踏まえ、米を取り巻く環境の変化に対応し、消費者重視・市場重視の考え方に立って、需要に即応した計画的・安定的な生産の推進を図るとともに、生産の大宗を担い手が占める構造への転換を促進しつつ、効率的かつ安定的な水田農業経営を早急に確立していく必要がある。(中略)

イ 効率的かつ安定的な水田農業経営の育成及びこれに資する新技術の積極的導入

効率的かつ安定的な水田農業経営を実現し、生産性の大幅な向上を図るため、このような農業経営を営む者への生産の集積等の構造政策を強力に推進するとともに、生産性の向上に資する新技術の開発・普及を促進する。さらに、生産部局と農地流動化部局との連携の下での担い手への農地・作業の集積の促進や規模拡大に対応した営農技術体系の確立、大規模乾燥施設の整備等の取組を計画的・重点的に推進する。

なお、日本型直播稲作技術を始め、乳苗移植技術、不耕起又は部分耕起移植技術等の新技術について、省力化や労働ピークの平準化、作期分散等を図るとともに、その効果としての経営規模の拡大、複合部門の充実等を図る観点から、積極的導入を推進する必要がある。

その際、地域の立地条件に即した普及性の高い技術体系として早急に確立する観点から、当該技術の普及対象を明確にしつつ、試験研究機関や普及組織の指導の下で推進することが重要である。特に、日本型直播稲作技術については、技術的にはほぼ完成されているところであり、その普及に当たっては、平成22(2010)年度の目標普及面積を5万haとし、その経営的評価を実施しつつ、省力・低コスト技術の導入により大きなメリットを享受できる経営体を対

象として重点化して推進する。

さらに、自動水管理システム、中間管理作業の機械化技術等を組み合わせることにより、構造政策の推進と合わせ、大区画ほ場や大規模経営等に適合した稲作技術体系の確立を図る必要がある。(中略)

(2) 栽培技術上の留意事項

ア 栽培様式

(7) 直播栽培

直播栽培技術は、稲作の飛躍的生産性の向上及び経営体の規模拡大に資するキーテクノロジーとして位置づけられるものであり、その実施に当たっては、品種の選定、は種、施肥、雑草防除、水管理等について移植栽培とは異なる技術が必要となるため、当該地区の試験研究機関や普及組織において関係機関と連携して現地実証等を実施し、その技術的・経営的特性を十分踏まえ、地域条件に適した直播技術体系の確立と普及を図る。(中略)

ウ ほ場準備

(中略) 大区画ほ場においては、効果的な水管理が行えるよう、特に均平化に留意する。また、近年、直播栽培をはじめ、自動水管理システム、レーザー均平機等、大区画ほ場に対応した技術開発が進んでおり、試験研究機関や普及組織の指導の下、これら技術の積極的な導入に努める。

不等沈下や減水深の増大等がみられる水田については、代かき及び畦塗りを入念に行うほか、必要に応じて床締め等漏水防止対策を実施する。

エ 播種・育苗・田植

(中略)

(1) 直播栽培

直播栽培では直接ほ場に播種するため、出芽・苗立ち数の確保に細心の注意を払う必要がある。特に、低温時の播種は、出芽率の低下、出芽の不揃い等を招くため、極力避ける。

品種の選定に当たっては、低温発芽性、耐倒伏性に優れた品種を選定するとともに、種子もみについては、十分な塩水選を徹底し、発芽勢に優れた種子を確保する。

ほ場準備に当たっては、特にほ場の均平に努めるとともに、播種に当たっては地域の気象条件等により適正な播種深を遵守する。

また、湛水直播においては出芽・苗立ち時の落水管理、乾田直播においては

水温上昇に従った入水時期の設定等水管理の工夫により苗立ち数の確保に努める。用水については、事前に土地改良区等との調整により必要量の確保に努める。

なお、その後の栽培管理については、移植栽培と生育ステージがずれることから、病害虫による被害集中に留意し、必要な発生予察及び防除に努める。

Table 資-4 全国直播稲作推進会議設置要領（1995.07.13付け）

全国直播稲作推進会議設置要領

平成7（1995）年7月13日

1 目的

我が国の稲作農業については、ウルグァイ・ラウンド農業合意に伴う国際化の進展に対応し、今後、効率的・安定的経営体を広範に育成するとともに、新技術の開発・普及・定着の加速化を図り、生産性の向上、体質強化を強力に進めることが緊要となっている。

このような中で、直播栽培については、現行の機械移植による稲作の低コスト化、省力化の壁を打破するためのキーテクノロジーとして特に有望視されており、国においては、新政策で示した望ましい稲作経営の早期実現に向けて、直播栽培に関する各種試験研究や現地実証等の施策を講じることとしているほか、都道府県段階や農業団体、民間企業等においても直播栽培技術の確立へ向けて種々の取組が始められている。また、不耕起栽培、乳苗移植栽培等様々な技術についても、各地において提案、取組がなされているところである。

このような状況を踏まえ、直播栽培に関する全国的な推進方策の検討、情報交換、相互連携等を促進するため、全国直播稲作推進会議を設置し、生産者をはじめ試験研究機関、普及組織、農業団体、民間企業、行政機関等の横断的な取組を助長し、我が国における直播栽培の普及・定着等により我が国稲作の体質強化を図ることとする。

2 活動事項

全国直播稲作推進会議は以下の事項について活動を行うものとする。

(1) 直播稲作に関する全国的な推進方策の検討

- (2) 直播稲作に関する関係団体等の情報交換及び相互連携の推進
- (3) 直播稲作の定着、普及に関する事項
- (4) その他、稲作の低コスト化、省力化に資する技術の定着、普及に関する事項

3 構成等

全国直播稲作推進会議は、試験研究機関、普及組織、農業団体、民間企業、行政機関等の直播稲作関係者、生産者及び学識経験者で構成するものとする。
(以下略)

Table 資-5 全国直播稲作推進会議提言(2002.03.27付)

直播稲作のさらなる普及拡大に向けて(提言)

平成14(2002)年3月27日

全国直播稲作推進会議

行政、普及、試験研究、民間団体、生産者等関係者一体となった取組により全国の直播面積が1万ヘクタールを超えた今、我々全国直播稲作推進会議は、さらなる普及拡大に向け、また、我が国の普遍的な稲作技術としていくべく、本日、以下のような分析・評価・提言を行う。

1 現状分析

- ・ 全国の直播面積は、昭和49(1974)年以降減少傾向にあったものの、落水出芽法の普及、高精度播種機の開発等を背景に、平成9(1997)年度以降増加傾向に転じ、平成13(2001)年度には1万ヘクタールを超えた。
- ・ しかしながら、その取組には地域により大きな差。東北、北陸地域では急速に普及。
- ・ 直播技術の普及に貢献した大きな要因としては、「春作業の軽減」、「規模拡大」、「コスト低減」。定着・普及の要因として大きなものは「単収の向上・安定」、「機械作業体制の確立」、「関係団体の推進」。
- ・ 現在、36道府県において、普及目標面積の設定がなされ、それを元に平成22(2010)年度の普及目標を試算すると、5万ヘクタールを超える見込み。

2 課題

- ・コシヒカリなどの良食味品種での対応が増加。ポスト・コシヒカリとして直播適応性が高く、多様な熟期の品種の育成が急務。
- ・多くの地域で除草問題が課題として残されており、除草剤の適用範囲の拡大が必要。
- ・省力化のメリットは顕著であるものの、酸素供給剤、除草剤等の掛増しにより資材費低減には限界。低価格資材・高機能資材(除草剤・生育促進剤の同時施用)の開発、低コスト播種様式の開発が重要。
- ・直播技術に対する取組姿勢、指導体制に格差。広汎な普及のためには、地域での指導目標の明確化・指導体制の充実が必要。

3 今後の方向

- ・大規模経営体、複合部門の拡大を志向する経営体、労働力配分の合理化を指向する集落営農等直播のメリットを享受できる経営体及び大区画水田等直播に適した基盤整備が進んだ地域に普及の対象を重点化
- ・行政、普及、試験研究、民間団体、生産者団体が一体となった指導・支援体制の確立
- ・生産者間の交流の促進による技術レベルの高位平準化
- ・産学官の連携による除草剤・低価格播種機等の開発の促進
- ・より一層の省力・低コスト化に向けた直播技術体系の開発、特に直播適性の高い良食味品種の開発の推進

Table 資-5において、「直播のメリットを享受できる経営体及び大区画水田等直播に適した基盤整備が進んだ地域に普及の対象を重点化」とある。これは同推進会議が発足してからこれまでの6年半の間、理想どおりの直播推進策が取れなかったことのあらわれだと解釈できる。我が国の稲作経営農家の大多数が中小規模であることを鑑みれば、そうした状況は許容するべきであると考えられる。ただし、中小規模の経営体や基盤整備が不十分な地域に普及を図ったところで、一時的な面積増は見られてもそれが定着や普及に至る補償がないというのが現実である。

また、**Table 資-3**では「技術的にはほぼ完成」とあるが、**Table 資-5**の課題を見る限り、直播技術はまだ完成の域に達していないと解釈するべきである。そのような状態で1万haや5万haといった数値にのみ重点を置いた“スローガン先行”

型のアピールが為されているのが現状である。省力化のための手段であるべき直播が、それを導入することが目的へとすり替わってしまっている感がある。

また、「普及に貢献した要因」として「春作業の軽減」を挙げているが、これは「春作業軽減のための技術である直播が普及したのは、直播に春作業軽減の効果があったから」と述べているようなものであり、概念規定の曖昧さが指摘できる。

資料.5 近年の直播面積の動向

本論文の審査後に入手できた我が国における直播面積データ，2002年確定値と，
と2003年速報値を記載する。湛水直播，特に点播の著しい増加が注目される。

Table 資-6 各地方の直播面積（2002年確定値，単位：ha）

	乾田直播		湛水直播							合計	
	不耕起	散播	条播	点播	散播						
					有人 ヘリ	無人 ヘリ	乗用 播種機	背負 動散他			
北海道	72.4	9.8	104.3	24.9	0.0	4.5	16.9	3.5	79.4	0.0	176.7
東北	83.0	14.1	2395.1	356.5	0.0	137.9	0.1	218.5	1414.7	623.9	2478.1
関東	393.2	64.9	518.5	67.4	4.0	5.9	0.0	57.5	235.1	216.0	911.7
北陸	152.4	0.0	2180.0	260.6	22.3	116.6	38.1	83.6	1542.8	376.6	2332.4
東海	644.3	539.1	142.5	60.0	0.0	10.0	2.0	48.0	79.2	3.5	786.8
近畿	75.7	29.5	631.7	32.8	0.0	1.5	3.9	27.4	435.3	163.6	707.4
中国四国	2923.1	321.9	344.5	120.1	0.0	7.1	32.8	80.2	143.3	81.2	3267.6
九州	418.2	297.4	459.0	142.7	0.0	8.1	9.0	125.6	234.7	81.6	877.2
全国	4762.3	1276.7	6775.6	1064.9	26.3	291.6	102.8	644.3	4164.4	1546.4	11537.9

（資料：農林水産省生産局農産振興課）

Table 資-7 各地方の直播面積（2003年速報値，単位：ha）

	乾田直播		湛水直播							合計	
	不耕起	散播	条播	点播	散播						
					有人 ヘリ	無人 ヘリ	乗用 播種機	背負 動散他			
北海道	72.4	5.3	100.1	22.6	0.4	5.8	15.4	1.0	77.5	0.0	174.2
東北	94.0	27.4	2687.3	300.2	0.0	90.4	0.0	209.9	1636.2	751.0	2781.3
関東	285.6	29.3	524.9	56.6	0.0	10.2	3.9	42.6	215.0	253.2	810.5
北陸	156.7	2.3	3273.7	223.7	17.6	95.8	26.0	84.3	2416.1	633.9	3430.4
東海	752.0	619.1	140.1	54.3	0.0	5.1	3.4	45.8	68.9	16.9	893.4
近畿	67.4	23.1	758.9	34.8	0.0	13.2	0.0	21.6	518.1	205.0	826.4
中国四国	2928.5	321.2	391.6	108.7	0.0	10.2	13.6	85.0	189.1	93.8	3320.1
九州	444.0	325.9	459.8	204.9	0.0	17.5	31.2	156.1	191.6	63.4	903.7
全国	4800.6	1353.6	8336.4	1005.7	18.0	248.2	93.5	646.3	5312.5	2017.2	13139.9

（資料：農林水産省生産局農産振興課）

資料.6 我が国におけるスクミリンゴガイの分布

資.6.1 調査目的と方法

直播に対して大きな被害をもたらす外来種、スクミリンゴガイの繁殖状況については農林水産省が県別に把握したデータのみしか存在しない。

そこで我が国におけるスクミリンゴガイの生息状況とその水稲への被害の程度について把握するため、全国各地の農業改良普及センターに対し、往復はがきを用いてアンケートを行った。

アンケートはがきは2002年12月に発送し、2003年1月に回収した。対象としたのは東京都と、寒冷地である岩手県、青森県、北海道を除く2府41県の農業改良普及センター419箇所、そのうち323箇所から回答を得た（有効回答率77.1%）。

資.6.2 調査結果

調査結果のうち、生息状況と、生息している地域の被害程度について、**Fig.資-2**に示す。一般に知られている知見である九州、四国に特に繁殖していること、北限が茨城県北浦であるということに加えて、その繁殖は海岸沿い、特に太平洋岸と瀬戸内海沿岸に多いことといった、県別の調査では十分に把握できなかった点を知ることができた。

また、水稲への被害については、移植機械での補植が必要なほどの大きな被害は、温暖で以前から問題が指摘されていた九州、四国地方にも見られるが、兵庫県、静岡県、千葉県にも及んでいる。また手植えでの補植が必要な程度の被害は、九州、四国地方に多く見られる。



凡例 「スクミリンゴガイが生息している」と回答した農業改良普及センターのうち、
●：被害なし，▼：無視できる程度の被害，▲：小～中規模被害（手植えでの補植が必要），★：大規模被害（機械での補植が必要）

Fig.資-2 スクミリンゴガイの被害分布（2002年12月，全国の農業改良普及センターへのアンケート結果より）

（巻末付録 おわり）