

ファーマーミングシステム研究

Farming System Research

6

2004

生育情報収集処理技術を活用した
低投入型高品質
稲作営農システムの確立

ファーミングシステム研究

No.6 (2004)

目次

生育情報収集処理技術を活用した 低投入型高品質稲作営農システムの確立

本報告書の要約	1
序章 研究計画、担当者、公表成果、謝辞	4
第1部 地域農業の動向解析	
1章 大規模借地経営における借地関係の安定化と圃場分散問題の克服過程.....	17
細山隆夫* ¹	
第2部 最適生育管理のための情報の管理・収集システムの開発	
2章 大規模水田作経営における圃場情報の管理と利用	30
土田志郎* ²	
3章 圃場・作物情報収集システムの開発	47
杉本光穂* ³ ・柴田洋一* ⁴ ・帖佐直* ² ・大嶺政朗* ² ・小林恭* ⁵ ・ 佐々木良治* ² ・鳥山和伸* ⁶	
4章 土壌肥沃度の迅速調査法の確立.....	68
鳥山和伸* ⁶ ・中島秀治* ² ・柴田洋一* ⁴ ・佐々木良治* ²	
第3部 作物・環境情報に基づく生育予測・診断技術の確立	
5章 散播直播水稻における最高茎数の予測と窒素追肥による茎数の制御.....	80
佐々木良治* ² ・鳥山和伸* ⁶ ・柴田洋一* ⁴ ・杉本光穂* ³	
6章 直播水稻のいもち病に対する感受性の簡易診断法の開発	101
安田伸子* ⁵ ・荒井治喜* ³ ・藤田佳克* ¹ ・中島敏彦* ⁷	
7章 長距離移動性イネウンカ類の発生予察技術の精度の向上	116
高橋明彦* ²	

第4部	水稻の栽培様式別低投入型生育制御技術の確立	
8章	直播水稻の栽植条件に対応した生育制御技術の確立	121
	松村修* ² ・八百板正則* ⁸	
9章	移植水稻の収穫分散のための生育制御技術の確立	129
	松村修* ² ・八百板正則* ⁸	
10章	水田地帯の排水の環境負荷特性の解明	136
	関矢博幸* ⁷ ・中島秀治* ² ・亀川健一* ²	
第5部	生育適正管理のための乗用機械の汎用利用技術の開発	
11章	局所管理のための施用量可変型定幅散布技術の開発	142
	柴田洋一* ⁴ ・帖佐直* ² ・大嶺政朗* ² ・杉本光穂* ³ ・鳥山和伸* ⁶ ・ 佐々木良治* ² ・小林恭* ⁵	
第6部	低投入型大規模高品質米生産システムの確立	
12章	水稻局所管理技術のシステム化と実証	154
	鳥山和伸* ⁶ ・柴田洋一* ⁴ ・佐々木良治* ² ・杉本光穂* ³ ・小林恭* ⁵ ・ 長坂克彦* ⁹ ・上野直也* ⁹	
13章	水稻局所管理システムの導入条件	176
	齋藤仁藏* ²	
14章	総合考察—特に水稻局所管理システムの利用と課題について	187
	鳥山和伸* ⁶	

執筆者の所属 (2004.3.16現在)

- *1 現 北海道農業研究センター
- *2 中央農業総合研究センター北陸研究センター
- *3 現 九州沖縄農業研究センター
- *4 現 帯広畜産大学畜産学部
- *5 現 中央農業総合研究センター (つくば)
- *6 現 国際農林水産業研究センター
- *7 現 東北農業研究センター
- *8 元 北陸農業試験場
- *9 山梨県総合農業試験場

本報告書の要約

本報告書は、平成10年度（1998年度）から14年度（2002年度）にかけて独立行政法人農業技術研究機構中央農業総合研究センター北陸研究センター（平成12年度までは農林水産省北陸農業試験場）で実施された地域先導技術総合研究「生育情報収集処理技術を活用した低投入型高品質稲作営農システムの確立」の報告書である。

1. 論文の構成

本論文は序章と6部14章から構成されている。各章間の関係は次の通りである。

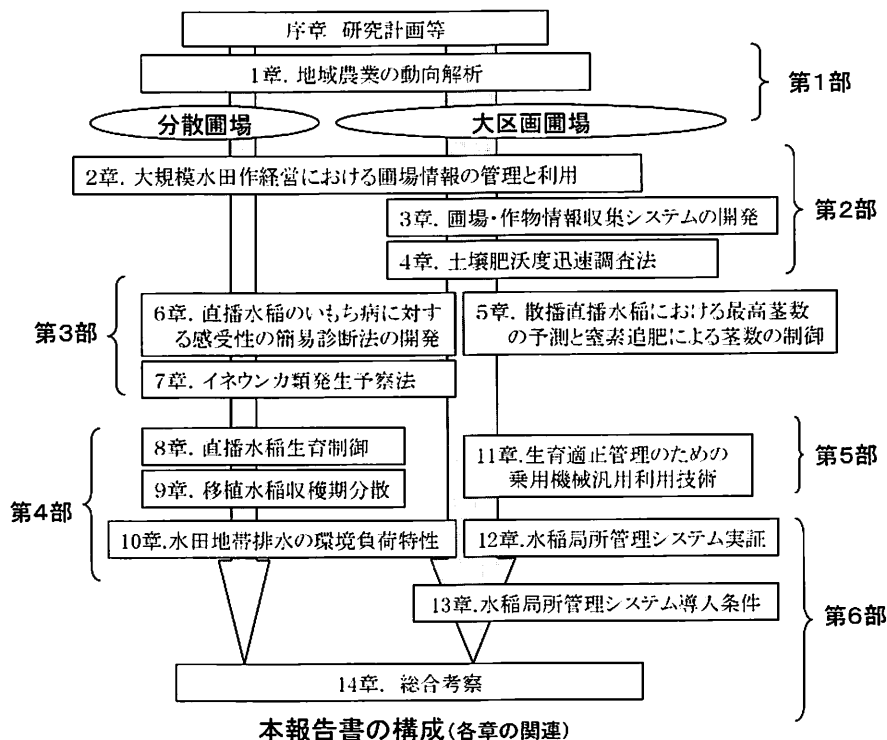
序章では、本研究の背景と全体計画および担当者、公表成果を示した。

第1部の第1章では現地実証試験を行った新潟県三和村および現地試験を行った大規模農家を対象とした地域農業構造の動向解析を実施した。

第2部では、「最適生育管理のための情報の管理・収集システムの開発」として、局所管理技術を構成する要素技術について、2章ではGISを利用した圃場の管理手法、3章ではGPSを利用した圃場内の場所ごとの水稻生育量の推定システム、4章では土壌窒素肥沃度の迅速調査法について検討した。

第3部では、「作物・環境情報による生育予測・診断技術の確立」として、5章では散播直播水稻における生育の予測と制御技術について、6章では葉色によるいもち病の感受性予測について、7章ではウンカの発生予測手法について検討した。

第4部では、「水稻の栽培様式別低投入型生育制御技術の確立」として、8章では分散圃場における直播水稻の晩播限界について米品質面から検討するとともに、9章では移植水稻について栽植密度による収穫期分散の可能性について検討し、10章では水田排水調査を行い環境面の評価を行った。



第5部では、「生育適正管理のための乗用機械の汎用利用技術の開発」として、11章では大区画水田における種子・肥料等の高精度散布技術について検討した。

第6部では、「低投入型高品質稲作営農システムの確立」として、12章では前記した要素技術を「大区画水田における局所管理システム」として統合し、地力ムラのある大区画水田に導入した場合の効果について検討し、13章では新技術システムの導入可能性について検討した。14章では、研究全体を総括的に考察し、今後の課題を提示した。

2. 各章の結論要約

- 1章：地域農業の動向予測について、地域農業構造変革下での大規模借地経営の圃場管理法と作業労力軽減方策を解明した。
- 2章：大規模稲作農家における圃場情報の管理と利用について、現地農家の圃場情報をGISソフトで地図化するとともに、借地料水準等の妥当性を評価するための圃場評価手法を明らかにした。
- 3章：大区画水田の圃場情報収集処理システムについて、画像マッピングシステムを開発し生育ムラの計測手法を確立するとともに、油圧式土壌サンブラを開発した。
- 4章：大区画水田の土壌肥沃度迅速調査法について、土壌サンプラーと近赤外分析計を利用し、地力窒素マップを作成する手法を確立した。
- 5章：散播直播水稻の生育予測と制御について、苗立密度から最高茎数を予測する手法と茎数の制御法を提示した。
- 6章：いもち病の少農薬防除について、追肥後の葉色からいもち病感受性予測を可能とした。
- 7章：長距離飛来害虫であるイネウンカ類の発生予測について、飛来源を高空流跡線図から特定した。
- 8章：散播直播栽培について、北陸における気象条件では、5月中旬に播種し60本/㎡以上の苗立ちが得られれば、玄米品質が確保されることを示した。
- 9章：移植栽培について、栽植密度を変えることにより成熟期(収穫期)を5～10日拡大することが可能であることを明らかにした。
- 10章：水田や転換畑から構成される地域用排水系の水質変動について、水田代かき水、転換畑排水の寄与を確認した。
- 11章：資材散布の高精度化について、セミクローラトラクタの利用により進行方向の散布精度向上を図り、さらに噴口ごとの散布精度を大幅に向上させた可変散布のできる定幅散布機を開発した。
- 12章：上記3、4、11章の要素技術を「水稻局所管理システム」として体系化し、現地試験で収量の均一化、高品質化を実証した。
- 13章：開発したシステムの普及可能性に関して、農協（JA）を「水稻局所管理システム」の導入主体と位置づけ、費用と効果から採算性を明らかにした。
- 14章：大区画水田整備と地力ムラの関連、水稻局所管理システム開発過程で得られた教訓およびシステム利用上の留意点、開発システムの精密農業研究における位置づけ、そして今後に残された課題を整理した。

3. 全体の結論要約

- 1) 北陸における地域農業構造の動向解析を行った結果、今後、多数の分散圃場を有する大規模稲作経営が増加すること、また水田の大区画化が増加することを推定した。
- 2) 地力ムラの大きい大区画水田における局所管理技術の開発および分散圃場における収穫期分散をめざした栽培技術の確立に取り組み、生育情報の収集処理技術を基幹とした種々の技術を開発し、水稻局所管理システムとしてまとめた。
- 3) 水稻局所管理システムを現地の大区画水田に導入して、その効果を実証し、経営的評価を実施した。
- 4) 以上の研究の結果、担い手の減少に従って今後とも圃場の集積や大区画化が予測されること、本研究で開発した個々の技術および水稻局所管理システムは大区画水田に生じやすい地力ムラの克服に効果があること、局所管理システムの導入主体として農協等を想定することによって普及の可能性があること等の結論を得た。

序章 研究計画、担当者、公表成果、謝辞

はじめに

本研究の実施期間中に、米生産・販売を巡る情勢はプロジェクト立案時の予想を超える速さで変化し、米の高品質化への要請がますます高まってきている。一方、基盤整備事業による圃場の大区画化は第4次土地改良長期計画（1993～2006）に則って進められているが、財政難等種々の原因で全国的には大区画化率は約7%にとどまっている。しかし、本研究の営農試験地周辺の市町村では1ha規模の大区画水田が次々と誕生しており、大区画化率が20%を超えている村もある。本研究開始時の基本的な理念である、分散圃場と大区画水田の混在条件下における水稻管理システムを構築するという目標は妥当であったと思われる。

以下に記す研究の背景・目的・計画は、地域総合研究のプロジェクト立案時のものを再録した。なお、研究課題の実施年度等は、実際に行われたものを示した。実施課題と本報告書の各章との対応については序章の最後に付した。

1. 研究の背景目的

良食味米生産基地の北陸地域では経営の大規模化が進展しているが、これらの経営体では、農作業の集中化の回避等から、多品種の作付けとともに、移植と直播を組み合わせた栽培が志向されている。また、広域に分散した経営農地は各々の圃場ごとに土壌特性等の条件が異なり、管理を行う経営管理者の労力は多大である。その中で、従来の省力・低コスト化に加えて、品質・収量の高位安定化が要請されている。

そこで、分散大規模水稻栽培において品種、栽培条件・様式、圃場条件等による水稻の生育状況についての情報に基づいた生育管理のマニュアル化を行い、資材の適量投入による多数圃場間での品質の均一化と収量の安定化を図り、環境負荷の軽減にも配慮した高品質米の低投入型大規模営農システムを確立する。

2. 営農試験地

1) 営農試験地名：新潟県中頸城郡三和村

2) 営農試験地の農業概要および選定理由

三和村は、北陸地域の重粘土水田を代表する地域にあり、大区画圃場整備が進行している。近年の兼業化の進展に伴って当村の農業構造は大きく変動し、大区画圃場整備によって構造変動が促進されている。農地の流動化は新潟県で最も進み、10haを超える大規模経営体の増加が顕著である。地域農業の担い手層の形成の面から見れば、当村は先進的地域に位置づけられる。これらの大規模経営体では、経営改善意欲が高く、直播栽培の取り組みにも熱心であり、労働競合を回避するために、作期の異なる多品種の水稻を移植と直播の組み合わせで栽培している。しかし、圃場が広域に分散していることとも関わって、適正な栽培管理が行い得ず、コストの増大や品質・収量の不安定性の問題を抱えて、対応に苦慮しているところである。さらに、水利条件の厳しい用水の反復利用地区においては、排水等環境負荷面での影響も懸念されている。このため、省力・低コストとともに品質・収量の不安定性要因を改善し、環境負荷軽減にも配慮した高品質米の安定生産技術の確立が要請されている。

以上のような農業の特徴と問題点を有する三和村では、大規模経営体を今後の地域農業の担い手

として位置づけ、上記の問題解決のために新技術導入に積極的な意向を持っており、本研究課題の推進に大きな期待を寄せている。このようなことから、三和村を本研究課題の現地試験地として最適と判断して選定した。

3. 研究内容

1) 中課題名：水稻の最適生育管理のための情報収集処理技術の確立

①研究目的：大区画水田における水稻の最適生育管理のために、圃場・作物等の情報を管理・収集するシステムを開発するとともに、各種情報に基づく水稻の生育予測技術を確立する。さらに、適正な病害虫防除を行うために、いもち病に対する感受性の簡易診断法を開発し、長距離移動性イネウンカ類の発生予察技術の高度化を図る。

②研究内容：大区画圃場内における土壌肥沃度の分布を把握する簡易な調査法を検討するとともに、土壌肥沃度・苗立ち・草丈等の圃場・作物情報を収集するシステム、およびそれらの情報をメッシュデータとして入力し圃場地図として可視化し管理するシステムを構築する。直播水稻の生育予測については、初期環境条件や栽培条件の違いによる初期分げつの発生相の差の面から検討する。直播水稻のいもち病に対する感受性については、葉色値と気象・土壌や栽培法との関係から簡易診断法を検討する。イネウンカ類については、西南暖地における飛来侵入との相互関係や気象要因から飛来量の予測法を策定するとともに、発生の子次変動要因を明らかにする。

③達成目標：土壌肥沃度の迅速調査法を検討する。圃場・作物情報収集のための土壌サンプリング装置および苗立ち・草丈計測システムを開発する。各種情報の入力およびそれらを可視化し管理するシステムを構築する。直播水稻の生育予測モデルを策定し、分げつ構成と収量・品質の関係を解明する。直播水稻に適応したいもち病に対する感受性検定法を開発する。イネウンカ類飛来の量的・時期的予測による発生予察システムを確立する。

2) 中課題名：分散・大区画圃場に対応した低投入型栽培管理技術の確立

①研究目的：大規模水稻栽培において、投入資材を最小限に抑えて品質・収量の高位安定化を図るために、栽培様式別の生育制御技術を確立する。さらに、分散・大区画圃場に対応した生育適正管理のための乗用機械の汎用利用技術を開発する。

②研究内容：直播栽培については播種時期と苗立ち密度の違い、移植栽培については移植時期と栽植密度や肥培管理法の違いが、それぞれ出穂期・成熟期の変動並びに収量・品質の変動に及ぼす影響について定量的解析を行う。定幅散布機の粒状資材の散布量を調整する機構および圃場・作物情報に対応して散布パターンを制御するシステムを開発する。

③達成目標：直播栽培の栽植条件に対応した生育制御技術および移植栽培の収穫期分散のための生育制御システムを確立する。高精度定幅散布機と精密管理作業車による圃場・作物情報に基づく局所管理技術を開発する。

3) 中課題名：低投入型高品質稲作営農システムの確立

①研究目的：大規模水稻栽培における環境負荷を軽減した低投入型高品質米生産システムを構築するとともに、営農試験地域の農業の動向を踏まえて、新技術システムを組み込んだ営農モデルを策定して経営的評価を行い、新技術システムの定着条件を解明する。

②研究内容：既往の技術および開発技術を体系化し、大区画圃場を主とする大規模経営体に適用可能な低投入型高品質米生産システムモデルを実証試験を通して構築する。営農試験地域の

農業構造の動向を解析するとともに、シミュレーション手法によって検討し、大規模経営体を想定して新技術システムを組み込んだ営農モデルの策定と経営的評価を行い新技術システムの定着条件を検討する。

③達成目標：北陸平坦水田地帯の大区画圃場を主とする大規模経営体に適用可能なシステムモデルを提示する。営農試験地域の農業構造と展開方向を明らかにする。シミュレーション手法を開発し、新技術システムを組み込んだ大規模経営体の営農モデルを策定し、経営的評価を行い、新技術システムの定着条件を解明する。

4. 達成すべき成果

- 1) 北陸平坦水田地帯において、専従者3名で大区画圃場を主とする40haの水稲を作付けする大規模経営体の営農モデルを策定する。
- 2) モデル経営体では、専従者1人当たり800万円以上の農業所得を目標とする。
- 3) 水稲は、どんとこい・キヌヒカリの直播栽培にコシヒカリ等の移植栽培を組み合わせた方式とする。
- 4) 直播栽培の目標収量は、10a当たり520kgとする。
- 5) 米の品質は、整粒歩合80%以上、一等米比率90%以上、玄米タンパク質含有率7%以下を目標とする。
- 6) 環境負荷軽減のために、農薬（いもち剤）散布回数1.6回（面積割合）、施肥量（N成分）30%削減、排水内硝酸態窒素1.0ppm以下、二酸化炭素発生量30%低減を目標とする。
- 7) 環境負荷軽減に配慮した低投入型稲作営農システムの確立により、付加価値のついた高品質米の生産・販売戦略が可能になる。

5. 成果の普及方策

農政局の稲作検討会議、直播稲作推進会議等で、直播稲作の安定化と品質向上および移植と直播を組み合わせた大規模水稲生産システムの確立が今後の試験研究への要望としてあげられている。また、環境負荷軽減を考慮しない農業技術は今日受け入れられない情勢にあり、低投入型稲作による高品質米生産は、北陸産米の販売戦略とも一致する。このため、開発される技術システムは、行政および農協を含む普及指導機関はもとより生産者の要望に添っているもので、速やかな普及が見込まれる。

（地域総合研究「生育情報収集処理技術を活用した低投入型高品質稲作営農システムの確立」の計画書（1998）より抜粋）

6. 研究課題の実施年度と担当研究室

本プロジェクト研究は、研究の重点化、担当者の異動等のために当初の実施予定を毎年の評価会議で見直ししながら、遂行された。各課題の担当研究室とその実施年次は下記の通りである。

研究課題名	研究実施年度	担当研究室等
1. 水稻の最適生育管理のための情報収集処理技術の確立		
1) 最適生育管理のための情報の管理・収集システムの開発		
(1) 圃場情報管理システムの構築	←→	農業経営研究室
(2) 圃場・作物情報収集システムの開発	←→	総研1チーム
(3) 土壌肥沃度の迅速調査法の確立	←→	総研1チーム
2) 作物・環境情報に基づく生育予測・診断技術の確立		
(1) 直播水稻栽培における生育予測技術の開発と最小管理単位の設定	←→	総研1チーム
(2) 直播水稻のいもち病に対する感受性の簡易診断法の開発	←→	病害研究室
(3) 長距離移動性イネウンカ類の発生予察技術の精度の向上	←→	虫害研究室
2. 分散・大区画圃場に対応した低投入型栽培管理技術の確立		
1) 水稻の栽培様式別低投入型生育制御技術の確立		
(1) 直播水稻の栽植条件に対応した生育制御技術の確立	←→	栽培生理研究室
(2) 移植水稻の収穫分散のための生育制御技術の確立	←→	栽培生理研究室
(3) 水田地帯の排水の環境負荷特性の解明	←→	土壌管理研究室
2) 生育適正管理のための乗用機械の汎用利用技術の開発		
(1) 定幅散布機の肥料等資材の高精度散布技術の開発	←→	作業技術研究室
(2) 圃場・作物情報に基づく高精度作業技術の開発	←→	作業技術研究室
3. 低投入型高品質稲作営農システムの確立		
1) 低投入型大規模高品質米生産システムの策定		
(1) 高品質米の低投入型大規模生産技術のシステム化	←→	総研1チーム
2) 地域農業構造の動向解析		
(1) 地域農業構造の動向解析	←→	農業経営研究室
(2) 新技術システムの経営的評価と定着条件の解明	←→	農業経営研究室

7. 研究課題と本報告書の章立て・論文タイトルとの対照表

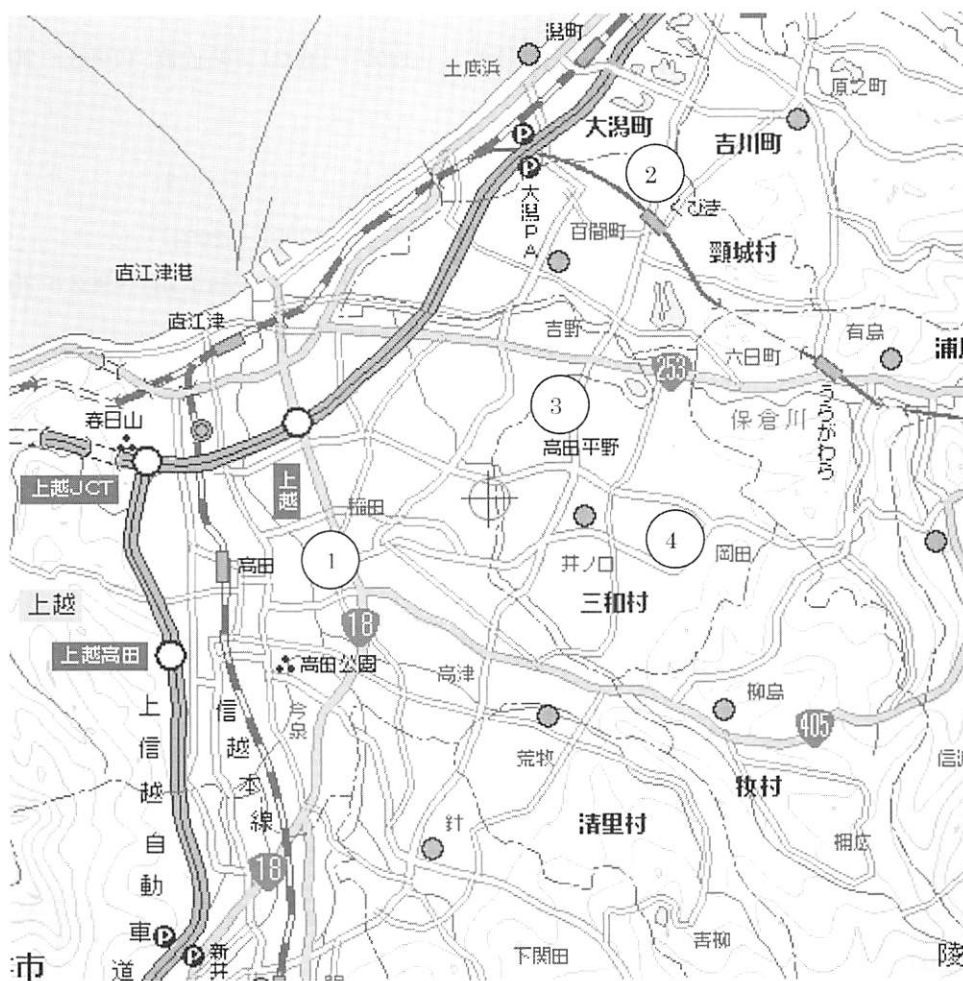
本報告書では、地域農業の動向解析から始まり、局所管理技術の要素技術開発、システム化、導入条件の順序で構成したが、プロジェクト研究の課題の順序とは若干の異同があるため、下記にプロジェクトにおける課題名と本報告書における章立ておよび論文タイトルとを左右対応させて示した。

プロジェクトにおける研究課題名	本報告書での章立ておよび論文タイトル
1. 水稻の最適生育管理のための情報収集処理技術の確立	第1部 地域農業の動向解析 1章 大規模借地経営における借地関係の安定化と圃場分散問題の克服過程
1) 最適生育管理のための情報の管理・収集システムの開発 (1)圃場情報管理システムの構築 (2)圃場・作物情報収集システムの開発 (3)土壌肥沃度の迅速調査法の確立	第2部 最適生育管理のための情報の管理・収集システムの開発 2章 大規模水田作経営における圃場情報の管理と利用 3章 圃場・作物情報収集システムの開発 4章 土壌肥沃度の迅速調査法の確立
2) 作物・環境情報に基づく生育予測・診断技術の確立 (1)直播水稻栽培における生育予測技術の開発と最小管理単位の策定 (2)直播水稻のいもち病に対する感受性の簡易診断法の開発 (3)長距離移動性イネウンカ類の発生予測技術の精度の向上	第3部 作物・環境情報に基づく生育予測・診断技術の確立 5章 散播直播水稻における最高茎数の予測と窒素追肥による茎数の制御 6章 直播水稻のいもち病に対する感受性の簡易診断法の開発 7章 長距離移動性イネウンカ類の発生予測技術の精度の向上
2. 分散・大区画圃場に対応した低投入型栽培管理技術の確立	第4部 水稻の栽培様式別低投入型生育制御技術の確立 8章 直播水稻の栽植条件に対応した生育制御技術の確立 9章 移植水稻の収穫分散のための生育制御技術の確立 10章 水田地帯の排水の環境負荷特性の解明
1) 水稻の栽培様式別低投入型生育制御技術の確立 (1)直播水稻の栽植条件に対応した生育制御技術の確立 (2)移植水稻の収穫分散のための生育制御技術の確立 (3)水田地帯の排水の環境負荷特性の解明	第5部 生育適正管理のための乗用機械の汎用利用技術の開発 11章 局所管理のための施用量可変型定幅散布技術の開発
2) 生育適正管理のための乗用機械の汎用利用技術の開発 (1)定幅散布機の肥料等資材の高精度散布技術の開発 (2)圃場・作物情報に基づく高精度作業技術の開発	
3. 低投入型高品質稲作営農システムの確立	第6部 低投入型大規模高品質米生産システムの確立 12章 水稻局所管理技術のシステム化と実証 13章 水稻局所管理システムの導入条件 14章 総合考察—特に水稻局所管理システムの利用と課題について
1) 低投入型大規模高品質米生産システムの策定 (1)高品質米の低投入型大規模生産技術のシステム化	
2) 地域農業構造の動向解析 (1)地域農業構造の動向解析 (2)新技術システムの経営的評価と定着条件の解明	

8. 営農試験地地図

下記の4カ所で圃場試験を実施した。

- ①北陸研究センター（本場：稲田圃場） 新潟県上越市稲田 （1998～2002）
- ②北陸研究センター（明治圃場） 新潟県中頸城郡頸城村 （1998～2002）
- ③営農試験地（沖柳圃場） 新潟県中頸城郡三和村沖柳 （1998～2002）
- ④営農試験地（岡田圃場） 新潟県中頸城郡三和村岡田 （2002）



9. 担当者および発表成果等の一覧

1) 担当者（組織名称は、組織改廃となったものを除き独立行政法人化後のものとした。）

北陸農業試験場企画連絡室研究技術情報科（鈴木光雄（1998）、土田志郎（2000））

北陸研究センター北陸総合研究部

北陸総合研究部長：中島寛爾（1998～2000）、古賀野完爾（2001～2002）

総合研究第1チーム：鳥山和伸（1998～2002）、柴田洋一（1998～2000）、佐々木良治（1998～2002）、杉本光穂（2001～2002）、長坂克彦（1998年：山梨県総農試依頼研究員）、嶋真毅（2000：非常勤職員近畿大学4年）、上野直也（2002年：山梨県総農試依頼研究員）

農業経営研究室：齋藤仁藏（1999～2002）、細山隆夫（1998～2000）

北陸研究センター北陸水田利用部

北陸水田利用部長：執行盛之（1998～2000）、岩野正敬（2001～2002）

栽培生理研究室：松村修（1998～2002）、八百板正則（1998～2001）

土壌管理研究室：中島秀治（1998～2000）、関矢博幸（1998）

病害研究室：藤田佳克（1998）、中島敏彦（1999～2002）、荒井治喜（1998）、安田伸子（1998～2001）

虫害研究室：高橋明彦（1998～2000）

作業技術研究室：小林恭（1998～2000）、柴田洋一（2000～2002）、帖佐直（1998～2002）、大嶺政朗（1999～2002）

北陸研究センター業務科

業務科長：村松謙生（1998～2002）

1班：浅野修（1998～2002）、廣川誠（1998～2000）、関口誠（2001～2002）

明治圃場班：武藤一夫（1998～2000）、丸山常夫（2001～2002）、矢崎孝司（1998～2001）、栗崎利幸（2001～2002）、小出賢一（1998～2000）、弓納持忍（2000～2002）

2) 評価委員（評価委員当時の職名で記載）

伊藤道秋氏（新潟大学教授：1998～2002）

山田利昭氏（農研センター総合研究官：1999～2000）

鈴木 修氏（技術会議事務局研究開発官：2000）

白井秀男氏（中頸城農業改良普及センター長：2000～2001）

安藤隆夫氏（中頸城農業改良普及センター長：2002）

3) 発表成果（1998年4月から2004年1月）

(1) 原著論文（10篇）

- 1) 長坂克彦・鳥山和伸・佐々木良治（1999）水稻催芽種子の芽（鞘葉）切除が苗立ちに及ぼす影響．北陸作物学会報，35，49-50.
- 2) 佐々木良治（1999）水稻主稈の下位節における節位別分けつの生育と収量．北陸作物学会報，35，62-63.
- 3) 柴田洋一・荒木 幹・鳥山和伸・佐々木良治・浅野 修・廣川 誠（2000）画像マッピングシステムの開発．農機誌，62（2），175～177.
- 4) 松村 修・山口弘道・八百板正則・福田直子（2001）葉身窒素濃度による移植水稻の出穂変異予測の可能性．北陸作物学会報，36，62-64.
- 5) 八百板正則・松村 修（2001）水稻潤土直播栽培における「どんとこい」の播種晩限および苗立密度．北陸作物学会報，36，65-68.
- 6) 佐々木良治・堀江 武・鳥山和伸・柴田洋一（2001）水稻稈長の年次変動とそれに関与する要因．日作紀，70，489-498.
- 7) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸・荒木 幹・浅野 修・廣川 誠（2002）水稻の局所栽培管理のための画像マッピングシステム．農機誌，64（1），127-135.
- 8) 佐々木良治・鳥山和伸・柴田洋一（2002）散播直播栽培した水稻品種どんとこいの低苗立ち群落に対する早期窒素追肥が分けつおよび収量に及ぼす影響．北陸作物学会報，37，37-40.

- 9) 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. 日作紀, 71, 308-316.
- 10) 細山隆夫 (2002) 大規模借地経営の現段階—北陸・新潟県を中心として—. 農業問題研究, 51, 12-23.

(2) 特許 (2件)

- 1) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸 (1999) 画像マッピングシステム (特願平 11-301137) Picture Mapping System (米国特許出願番号 09-691034)
- 2) 小林恭・帖佐直・柴田洋一・鳥山和伸・佐々木良治・浅野 修・廣川 誠 (2001) 土壌サンプラー. 特許第 3229966 号登録 (2001.9.14)

(3) 研究成果情報 (14篇)

- 1) 小林 恭・帖佐 直・柴田洋一・鳥山和伸・佐々木良治 (2000) 油圧式土壌サンプリング装置 (普及). 北陸農業研究成果情報, 16, 59-60 および平成 11 年度総合農業研究成果情報, 224-225.
- 2) 柴田洋一・鳥山和伸・佐々木良治 (2000) 圃場面画像マッピングシステム (研究). 北陸農業研究成果情報, 16, 71-72 および平成 11 年度総合農業研究成果情報, 260-261.
- 3) 柴田洋一・鳥山和伸・佐々木良治 (2000) 散播水稻の苗立数計測システム (研究). 北陸農業研究成果情報, 16, 73-74 および平成 11 年度総合農業研究成果情報, 262-263.
- 4) 佐々木良治・鳥山和伸・柴田洋一・堀江 武 (2000) 最高・最低気温を利用した水稻の草丈推定モデル (研究). 北陸農業研究成果情報, 16, 15-16 および平成 11 年度総合農業研究成果情報, 58-59.
- 5) 佐々木良治・堀江 武・鳥山和伸・柴田洋一 (2001) 水稻稈長の年次変動は穂首分化期頃の葉面積指数と密接に関連する (研究). 北陸農業研究成果情報, 17, 19-20 および平成 12 年度総合農業研究成果情報, 70-71.
- 6) 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和伸 (2001) 植被率を利用した水稻群落の生育量の評価 (研究). 北陸農業研究成果情報, 17, 21-22 および平成 12 年度総合農業研究成果情報, 70-71.
- 7) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸・大嶺政朗 (2001) 水稻群落の植被率連続計測システム (研究). 北陸農業研究成果情報, 17, 65-66 および平成 12 年度総合農業研究成果情報, 296-297.
- 8) 八百板正則・松村 修 (2001) 水稻直播栽培での追播きは初水分の差異を拡大し外観品質を下げる (指導). 北陸農業研究成果情報, 17, 15-16 および平成 12 年度総合農業研究成果情報, 50-51.
- 9) 細山隆夫 (2001) 農地の借り手市場下における大規模借地経営の農地集団化, 圃場管理の方法 (指導). 北陸農業研究成果情報, 17, 59-60 および平成 12 年度総合農業研究成果情報, 318-319.
- 10) 杉本光穂・鳥山和伸・佐々木良治・柴田洋一・帖佐 直・大嶺政朗 (2002) 水稻条方向・条間認識に基づく補正による植被率計測精度の安定性向上 (技術・参考). 平成 13 年度関東東海陸農業研究成果情報, IV, 86-87 および平成 13 年度共通基盤研究成果情報, 298-299.
- 11) 大嶺政朗・柴田洋一・帖佐 直・鳥山和伸・杉本光穂・佐々木良治・安田伸子・中島敏彦・松

- 村 修・亀川健一 (2002) 水稻の群落葉色計測システム (技術・参考). 平成13年度関東東海陸農業研究成果情報, IV, 92-93 および平成13年度共通基盤研究成果情報, 296-297.
- 12) 大嶺政朗・柴田洋一・帖佐 直・鳥山和伸・杉本光穂・佐々木良治 (2002) 携帯電話によるインターネット版圃場マップの閲覧手法 (技術・参考). 平成13年度関東東海陸農業研究成果情報, IV, 94-95 および平成13年度共通基盤研究成果情報, 292-293.
- 13) 鳥山和伸・柴田洋一・佐々木良治・杉本光穂 (2002) 大区画基盤整備水田の地力マップには下層土情報が必要である (技術・参考). 平成13年度関東東海陸農業研究成果情報, IV, 114-115 および平成13年度共通基盤研究成果情報, 118-119.
- 14) 鳥山和伸・柴田洋一・佐々木良治・杉本光穂・小林恭・帖佐直・大嶺政朗・齋藤仁蔵 (2003) 大区画水田を対象とした水稻局所管理システム (技術・普及). 平成14年度関東東海陸農業研究成果情報および平成14年度共通基盤研究成果情報.

(4) 総説および解説 (21 篇)

- 1) 鳥山和伸 (1998) 水稻直播栽培研究の現状と今後の展開方向. 新潟アグロノミー, 34, 3-8.
- 2) 柴田洋一 (1999) 大区画水田における水稻の局所管理. 農機誌, 61 (4), 14-19.
- 3) 鳥山和伸 (1999) 稲作に局所管理技術システムを！—エレガントな収益性の向上は、この方法で。のうせい北陸, 17, 10-11.
- 4) 総研1チーム (1999) 16.生育情報収集処理技術を活用した低投入型高品質稲作営農システムの確立. 農林水産技術会議事務局, 平成11年度地域総合研究の概要, 31-32.
- 5) 柴田洋一 (2000) 圃場面画像マッピングシステム. 総合農業の新技术, 13, 186-191.
- 6) 柴田洋一 (2000) 油圧式土壌サンプリング装置. 北陸農業の新技术, 13, 30-32.
- 7) 柴田洋一 (2000) 局所栽培管理のための画像マッピングシステム. 農業および園芸, 76, 475-481.
- 8) 鳥山和伸 (2001) フィールドから展開される土壌肥料学—新たな視点でデータを採る・見る—
1. 大区画水田における地力窒素ムラと水稻生育. 土肥誌, 72, 453-458.
- 9) 鳥山和伸 (2001) 局所栽培管理技術を利用した大区画水田の地力ムラの克服. 新潟アグロノミー, 37, 15-26.
- 10) 鳥山和伸 (2001) 大区画水田における水稻の生育収量ムラと土壌要因. 圃場と土壌, 33, 20-25.
- 11) 杉本光穂 (2002) 局所栽培管理システムの開発. 農機誌, 64, 17-21.
- 12) 柴田洋一 (2002) ビデオカメラとGPSを活用した圃場面画像マッピングシステムの開発. 中央農業総合研究センターニュース, 3, 4-5.
- 13) 大嶺政朗 (2002) 水稻の葉色をはかる一群落葉色計測システム. 北陸研究センターニュース, 4, 4.
- 14) 大嶺政朗・柴田洋一・帖佐 直 (2002) イネの生育情報としての葉色計測とデータ利用技術. 農業情報学, 4, 31-34.
- 15) 鳥山和伸・柴田洋一・佐々木良治・杉本光穂 (2002) 地力マップに基づく水稻の局所施肥管理技術. 農業情報学, 4, 1-4.
- 16) 佐々木良治 (2002) 大区画水田における水稻の局所栽培管理に必要な情報と求められる精度. 農業および園芸, 77, 1219-1226.

- 17) 鳥山和伸 (2002) 精密農業に関する第6回国際研究集会の概要. 土肥誌, 73, 839.
- 18) 鳥山和伸 (2002) 大区画水田における地力ムラの克服—精密農業技術開発物語. 北陸研究センターニュース, 5, 217.
- 19) 杉本光穂 (2003) 精密農業技術—局所栽培管理システム. 機械化農業, 2003 (1), 28-31.
- 20) 鳥山和伸 (2003) 水田における精密農業の展望と課題. 季刊肥料, 通巻95号, 印刷中
- 21) Toriyama, K., Sasaki, R., Shibata, Y., Sugimoto, M., Chosa, T., Omine, M. and Saito J. (2003) Development of a Site-Specific Nitrogen Management System for Paddy Rice. JARQ, 37 (4) 213-218.

(5) 学会発表講演要旨 (34 篇)

1) 水稻の最適生産管理のための情報収集処理技術の確立

①最適生産管理のための情報の管理・収集システムの開発 (17)

- 1) 帖佐 直・小林 恭 (1998) 水稻の生育モニタリングに関する研究 (第1報) —様々なセンサの立毛稲に対する反応. 農機学会関東支部第34回年次大会講演要旨集, 45-46.
- 2) 柴田洋一 (1999) 水稻の局所管理システムのための隔測技術, 第4回農業リモートセンシング実利用研究会—北陸地方におけるリモートセンシング技術活用の現状と展望—予稿集, 21~24.
- 3) 帖佐 直・小林 恭 (1999) 水稻の生育モニタリングに関する研究 (第2報) 超音波センサによる草丈計測. 第35回農機学会関東支部会講演要旨集.
- 4) 大嶺政朗・柴田洋一・鳥山和伸・佐々木良治・浅野 修 (1999) 水稻葉色の隔測手法に関する研究—群落葉色計を用いた計測システムの構築とその評価—. 第35回農機学会関東支部会講演要旨集.
- 5) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸・浅野 修・廣川 誠 (2000) 直播水稻の苗立数計測システム. 農機学会第59回年次大会講演要旨, 323~324.
- 6) 大嶺政朗・柴田洋一・鳥山和伸・佐々木良治・小林 恭・帖佐 直 (2000) 水稻群落における葉色のリアルタイム遠隔計測システムの構築. 農機学会第59回年次大会講演要旨, 325~326.
- 7) 鳥山和伸・達林頭一・柴田洋一・佐々木良治・小林 恭・帖佐 直・浅野 修・廣川 誠 (2000) 土壌全窒素濃度の分光法による非破壊迅速測定. 土肥学会要旨集, 46, 301.
- 8) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸・大嶺政朗・浅野 修・廣川 誠 (2001) 水稻の植被率計測システム. 農機学会第60回年次大会講演要旨, 355-356.
- 9) 大嶺政朗・柴田洋一・松村 修・安田伸子 (2001) 水稻群落の葉色計測による利用技術の開発—いもち病の発病および出穂変異の推定—. 農機学会第60回年次大会講演要旨, 361-362.
- 10) 小林 恭・柴田洋一・帖佐 直・大嶺政朗・鳥山和伸 (2001) 重粘土水田におけるセミクロウ型トラクタの走行性. 農作業研究, 36別1, 35-36.
- 11) 鳥山和伸・柴田洋一・佐々木良治 (2000) 大区画水田における局所栽培管理のための情報収集システム—圃場面の画像マッピングシステムを中心として—. 平成12年度農林水産業北陸地域研究成果発表会, 持続的農業生産を目指した北陸稲作の展開—21世紀を担う技術の芽—, 講演要旨, 12-13.
- 12) 佐々木良治・鳥山和伸・柴田洋一・杉本光穂 (2002) イネの形態的規則性を利用した主茎葉身長から1次分げつの葉身長の推定. 日作紀, 71別1, 260-261.

- 13) Shibata Y., R.Sasaki, K.Toriyama, O.Asano, and M.Hirokawa (2002) Development of Image Mapping System for Site-Specific Management. Proc. of 6th International Conference on Precision Agriculture (on CD-ROM), ed. P. C. Robert, Madison, Wisconsin, ASA/CSSA/SSSA/, pp.2015. (柴田洋一ほか：「局所管理のための画像マッピングシステムの開発」第6回精密農業等に関する国際会議プロシーディングス (CD-ROM版))
- 14) Sasaki, R., Y. Shibata, K. Toriyama, and M. Sugimoto (2002) Estimating nitrogen uptake by rice at the panicle initiation stage using plant cover ratio. Proc. of 6th International Conference on Precision Agriculture (on CD-ROM), ed. P. C. Robert, Madison, Wisconsin, ASA/CSSA/SSSA/, pp.2015. (佐々木良治ほか：「植被率を利用した幼穂分化期における水稻の窒素吸収量の推定」)
- 15) Sugimoto, M., Y. Shibata, K. Toriyama, R. Sasaki, M. Omine, and T. Chosa (2002) Image analysis method for GIMS. Proc. of 6th International Conference on Precision Agriculture (on CD-ROM), ed. P. C. Robert, Madison, Wisconsin, ASA/CSSA/SSSA/, pp.2015. (杉本光穂ほか：「GIMS (地上ベース画像マッピングシステム) のための画像解析方法」)
- 16) 杉本光穂・鳥山和伸・佐々木良治・柴田洋一 (2002) 植被率計測における計測領域ズレ補正法. 第61回農業機械学会年次大会講演要旨, 337-338.
- 17) 杉本光穂・鳥山和伸・佐々木良治・柴田洋一 (2002) 可変閾値法による植被率計測度向上. 第61回農業機械学会年次大会講演要旨, 339-340.

②作物・環境情報に基づく生育予測・診断技術の確立 (5)

- 1) 佐々木良治・堀江 武・鳥山和伸・柴田洋一 (2000) 最高気温と最低気温に基づく移植水稻の草丈の推定. 日作紀, 69別1, 166~167.
- 2) 佐々木良治・堀江 武・鳥山和伸・柴田洋一 (2000) 水稻稈長の年次変動とそれに関与する要因. 日作紀, 69, 別1, 162~163.
- 3) 安田伸子・荒井治喜・辻本雅子・原澤良栄・藤田佳克・中島敏彦 (2000) 水稻直播栽培におけるイネ体のいもち病感受性の簡易推定. 第52回北陸病害虫研究会講演要旨集, 7.
- 4) 佐々木良治・鳥山和伸・柴田洋一・杉本光穂 (2002) イネの形態的規則性を利用した主茎葉身長から一次分げつの葉身長の推定. 日作紀, 71別1, 260-261.
- 5) Sasaki, R. K. Toriyama (2002) The role of endosperm reserves in the growth response of submerged rice seedlings. Proceedings of the 2nd Temperate Rice Conference. 13-17 June 1999, Sacramento, California, USA. eds. Hill J.E., Hardy B. 700-701, Los Banos (Philippines) :IRRI. 714p.

2) 分散・大区画圃場に対応した低投入型栽培管理技術の確立 (5)

- 1) 八百板正則・松村 修 (2000) 追い播きが直播水稻の収量および品質に及ぼす影響. 日作紀, 69別1, 98~99.
- 2) 松村 修・山口弘道・八百板正則・福田直子 (1999) 水稻品種の収量面から見た疎植適応性について. 北陸作物学会報, 35別, 52~53.
- 3) 八百板正則・松村 修 (2000) 北陸地方における水稻潤土直播栽培の播種晩限について. 北陸作物学会報, 36別.
- 4) 八百板正則・松村 修 (2002) 追い播きが直播水稻の収量および品質に及ぼす影響. 日作紀,

69別1, 98-99.

- 5) 柴田洋一・帖佐 直・大嶺政朗・杉本光穂・鳥山和伸・佐々木良治 (2002) 広幅散布機の改造と局所栽培管理への適用. 農機学会関東支部第38回年次大会講要, 42-43.

3) 低投入型高品質稲作営農システムの確立 (7)

- 1) 鳥山和伸・長坂克彦・柴田洋一・佐々木良治 (2000) 大区画水田の地力ムラに対応した局所施肥管理に関する研究—第1報 地力マップ, 生育マップ, 収量マップの相互関係. 土肥学会要旨集, 46, 131.
- 2) 細山隆夫 (1999) 大区画圃場整備進展下における集落農家各階層の動向と大規模借地経営の対応—新潟県中頸城郡・三和村を対象として—. 1999年度日本農業経済学会論文集, 1-3.
- 3) 細山隆夫 (2000) 平場水田地帯における農地流動化, 大規模経営形成の地域性—近年の圃場整備進展と関連させて—. 北陸農試農業経営研究, 57, 1-10.
- 4) 細山隆夫 (2000) 大区画圃場整備条件下における農家階層構成と大規模借地経営の存在状況—新潟県中頸城郡三和村を対象として—. 北陸農試農業経営研究, 57, 11-49.
- 5) 細山隆夫 (2000) 大規模借地経営の農地集積と農地管理・利用—農地の借り手市場化地域, 三和村・N経営を素材として—. 北陸農試農業経営研究, 57, 50-82.
- 6) Toriyama, K., Y. Shibata, R. Sasaki, M. Sugimoto (2002) Field Trials of a Site-Specific Nitrogen Management System for Paddy Rice in Japan. Proc. of 6th International Conference on Precision Agriculture (on CD-ROM), ed. P. C. Robert, Madison, Wisconsin, ASA/CSSA/SSSA/, pp.2015. (鳥山和伸ほか: 「日本における水稻の局所窒素管理技術の圃場実証試験」)
- 7) 鳥山和伸・柴田洋一・佐々木良治 (2002) 大区画水田の地力ムラに対応した局所施肥管理に関する研究—第2報 地力窒素マップ作成における下層土の意義. 土肥要旨集, 48, 106.

(6) 講演、講義等 (11件)

- 1) 鳥山和伸 (1999) 水稻作における新しい養分管理技術 I —大区画水田の地力ムラに対応した局所施肥管理技術開発の現状. 平成11年度関西土壌肥料協議会講要, 1-16.
- 2) 佐々木良治 (2000) 最高・最低気温による移植水稻の草丈の推定および幼穂分化期の葉面積指数に基づく稈長の予測. 平成11年度北陸地域栽培研究会資料.
- 3) 鳥山和伸 (2000) 大区画水田における局所栽培管理のための情報収集システム—IT農業事始め—. 平成12年度北陸農業試験場公開セミナー要旨, 1-4.
- 4) 鳥山和伸 (2001) 水稻直播栽培における局所管理技術の方向. 平成12年度北陸地域水稻直播研究会資料, 27-40.
- 5) 鳥山和伸 (2001) ほ場整備後の地力ムラと肥培管理. 上越地域ほ場整備成果事例現地検討会資料.
- 6) 鳥山和伸・柴田洋一・佐々木良治・杉本光穂 (2001) 大区画水田の地力ムラと局所施肥管理効果. 農業機械学会シンポジウム, 第6回テクノフェスタ講演要旨.
- 7) 佐々木良治 (2002) 水稻の局所管理に必要なデータは何か?. 平成13年度北陸地域技術研究会 (作業技術関係) 資料, 1-6.
- 8) 鳥山和伸 (2002) 環境保全型農業における精密圃場管理技術研究の展開方向—北陸地域の大区画水田における地力ムラに対応した施肥管理システムを例として—. 平成13年度共通基盤試

験研究推進会議・土壌肥料部会資料，68-75.

- 9) 柴田洋一（2002）北陸研究センターにおけるプロジェクト研究．北陸地域先進的技術開発・普及協議会セミナー資料，20-30.
- 10) 柴田洋一（2002）大区画水田における生育情報収集システムと局所管理技術．シンポジウムー精密農業は儲かるかー，帯広市・十勝農業機械化懇話会，1-9.
- 11) 「精密圃場管理学特論」東京農工大大学院平成14年度後期集中講義，（鳥山和伸，佐々木良治，柴田洋一）
- 12) 「水稻精密農法の開発と土壌肥料学」名古屋大学大学院平成15年度後期集中講義，（鳥山和伸）

(7) 新聞、放送等（5件）

- 1) 水稻直播の特徴整理ー作業性など目的別に，日本農業新聞，1999.3.16.
- 2) 精密農業など話題に，農経しんぼう，2001.12.10.
- 3) 水稻の葉色を群落葉色計で調べる，上越市有線放送，2002.7.
- 4) 圃場単位で精密な管理，農業の新たな挑戦．十勝毎日新聞，2003.1.5.
- 5) 水稻局所管理システム開発ー生育むら防ぐ，日本農業新聞，2003.5.4.

謝辞

本研究プロジェクトの予算確保にあたり、農林水産技術会議事務局地域振興課（現地域研究課）の関係官には御尽力頂いた。評価委員の先生方には、適切な御指摘と暖かい励ましのお言葉を頂き研究の推進方向に重要な貢献を頂いた。また、実証試験協力農家で沖柳圃場の鳴海一文氏（1998年～2002年）および岡田圃場の若山健太郎氏（2002年）には、貴重な試験圃場を提供していただき、日常の栽培管理や農繁期の日程調整等で多大なる御協力を頂いた。三和村役場の関係官には研究計画着手時から色々と便宜を図って頂いた。中頸城農業改良普及センター小林大普及員には、会議の場での貴重なご指摘とともに岡田圃場施工図の入手や圃場選定でご協力を頂いた。北陸4県の各農業試験場の地域基幹研究担当者各位には、並行して関連研究を進める中で、研究上重要な御示唆を頂いた。北陸農政局の関係官には会議、現地検討会で有益なご指摘を頂いた。また、京都大学大学院農学研究科小崎隆教授、矢内純太助手、李忠根氏（当時博士課程、現韓国農村振興庁農業機械化研究所研究員）、東京農工大学澁澤栄教授、(株)オムロン技術本部中央研究所山崎喜造参与、(株)オムロンライフサイエンス平子進一主幹、(財)くまもとテクノ産業財団電子応用機械技術研究所大友篤次長などの方々には研究上の連携で多くの御示唆と励ましを頂いた。(株)シーズラボ荒木幹氏には本研究の成果であるGIMS、RiceNiSMo等のソフト開発でご協力を頂いた。(株)クボタには、セミクローラトラクタの改造等でご協力頂いた。また、初田工業(株)には定幅散布機の改造等でご協力頂いた。膨大な生育調査や試料処理等では、北陸研究センター関係職員および非常勤職員に多大なご協力を頂いた。とりわけ、総合研究第1チームの秋山せつ子氏、作業技術研究室の高嶋桂子氏には、全面的にお世話になった。最後になってしまったが、稲葉忠興前農研機構副理事長、平岩進前北陸農業試験場長、松葉捷也北陸農業研究官には、地域総合研究の円滑な推進に終始ご高配・御配慮頂いた。以上の方々の熱心な関与が無ければ本プロジェクト研究は、所期の成果を挙げる事が出来なかったであろう。ご支援、ご協力に、心よりの謝意を表したい。

（とりまとめ責任者 鳥山和伸）

第1部 地域農業の動向解析

1章 大規模借地経営における借地関係の安定化と 圃場分散問題の克服過程

細山 隆夫

1. 課題

1980年代後半以降の我が国水田農業では農家のリタイア、土地持ち非農家の増加と農地賃貸借の進展を通じた構造変化が進行している。これを背景として北陸地域を中心に大面積の借地を集積した大規模借地経営が形成されており、農業生産、地域農業の担い手としての期待が高まっている。

だが、こうした借地規模拡大の問題点として、第1に借地関係の不安定性が指摘されている¹⁾。農地賃貸借には貸し手側による第3者への貸付、転用売却による借地引き上げ発生の恐れがあり、借り手から見れば貸し手の農地貸付け継続には不安定性が存在するのである。

第2に我が国では分散耕地制下にあるため、大規模借地経営では圃場分散とそこでの非効率性が指摘されている²⁾。即ち、出作先集落数の増加に伴って圃場は増加・遠隔化し、結果として作業能率低下、圃場管理困難化と単収低下の発生をもたらす恐れがある。同時に大規模借地経営では複数集落にわたる農道・用排水路等の維持管理＝地域資源管理作業に対しても、労力不足のため実施が困難とされるのである。

しかし、以上の諸問題は農業構造変化の加速、農地の借り手市場化の進行によって克服される傾向にある。

農家のリタイアが著しく、貸し手は多いが借り手が少数化した借り手市場下では借り手の立場は強い。即ち、貸し手にとって借り手は地域社会の中での希少な農地の受け手と期待され、依存されているのである。従って、ここでの借り手は分散借地の扱いに関しても主導権を持つことになる。

特に本プロジェクトが研究対象とする三和村はリタイア、土地持ち非農家の大量発生を背景に農地の借り手市場にある上、近年の全国的な米価下落の状況下でも相対的な高米価地域という条件も相まって20～30ha規模の大規模借地経営が展開している。さらに近年では大区画圃場整備の進展により脱農の加速が著しく、大規模借地経営のシェア拡大が加速している。こうした中では借地や地域社会に対する大規模借地経営の行動の自由度も高まっていると想定されるのである。

本稿の目的は以上に見るような大規模借地経営の借地関係の安定性、および圃場分散問題の克服に向けての取り組み動向を先進的経営体である三和村における現地実証農家の検討を通して解明することである。特に後者に関しては農作業体系のあり方を含め、農地集団化の取り組み、分散圃場の管理方法、地域資源の管理方法に着目したい。事例対象はOY集落（大区画圃場整備済み）に居住する25ha規模のN経営およびS経営であり、これら大規模借地経営の実態調査を通して分析を

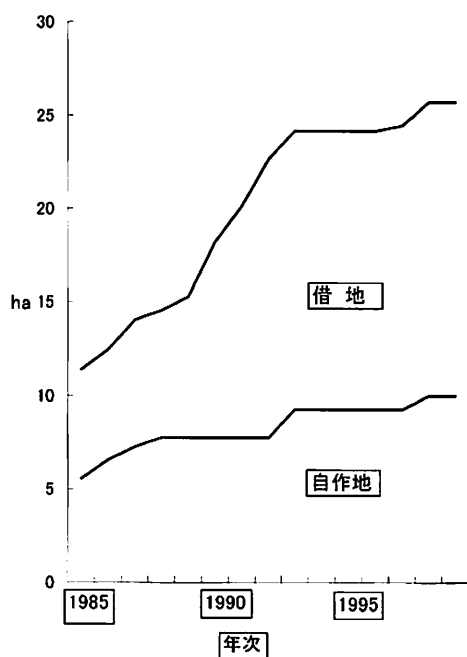


図 1-1-1 S経営の経営面積拡大課程

資料：農家実態調査より作成

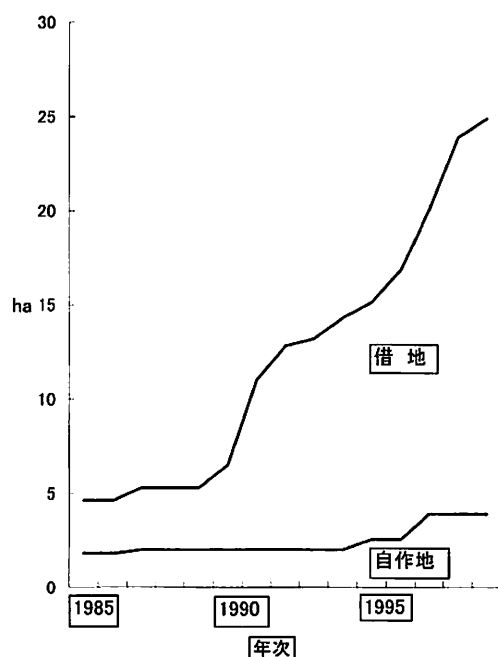


図 1-1-2 N経営の経営面積拡大過程

資料：農家実態調査より作成

進めたい。

2. 大規模借地経営の特質と借地関係の安定性

1) 大規模借地経営の経営規模拡大過程

図1-1は両事例経営の規模拡大過程を示している。

S経営は早くから規模拡大を志向し、購入、借地双方の拡大によって大規模化を実現してきた並進型である。今日、経営面積25.7haの構成は自作地10haの上に借地が15.7haであり、大規模経営としては自作地のウエイトが高い。他方、N経営の本格的規模拡大の開始時期は遅いが、短期間で急速に大規模化が進み、しかも借地シェアが高い借地型である。今日では経営耕地面積24.7haのうち自作地は3.9haに過ぎず、借地が20haを超えて圧倒的に借地優位である。加えて耕起～乾燥調製の作業受託面積の延べ合計も17haと、かなりの規模に至る。

両経営の大規模化の実現過程は対照的であり、S経営が先発して規模拡大を開始した上に、購入による自作地シェアも高いのに対し、N経営は後発の規模拡大であるが、短期間で大面積の借地集積が図られている。しかし、いずれも全国的に農家リタイアが進む1980年代後半以降から急速に農地が集まるようになり、1990年代は加速している。ことにN経営の規模拡大過程は1990年代の地域における著しい脱農化、借り手市場化の進行を裏付ける。もう一つ、両経営とも規模拡大を志向した背景には1992年以降の米独自販売（特裁米制度）の高収益性があり、これが稲作付け面積の大幅増加に向かわせている。

2) 大規模経営の経営概況

表1-1はN、S経営の現在の農業経営の概況を見たものである。

共通点として第1に家族経営の性格が挙げられる。基幹労働力は世帯主夫婦で担われ、概ね世帯主は機械作業と米販売の顧客管理を、妻は水管理、草刈りと精米管理が担当である。N経営に関し

表1-1 大規模借地経営の農業経営

(単位：歳，a，円)

		S 経営		N 経営	
労働力構成	世帯主世代	経営主	農業専業	経営主	農業基幹（冬期自営兼業）
	後継者世代	妻	農業専業（米販売事務）	妻	農業専業（米販売事務）
親世代		長男	学生	長男	他産業従事
		長女	学生	次男	他産業従事
雇用労働		父		父，母	
		延べ30～40日		延べ20日+春作業のオペレータ3人	
経営規模	経営規模	経営耕地面積 2570a		経営耕地面積 2468a	
		自作地 1000		自作地 393	
作業受託延べ		借地 1570		借地 2075	
		計 60a	育苗 20a	計 3600a	育苗 2000a
			耕起代掻 20		耕起代掻 460
			田植 20		田植 250
					収穫 680
					乾燥調製 340
借地の特徴	借入集落地主数	集落数 7		集落数 7	
	小作料	地主数 20人		地主数 36人	
	契約期間	10a当19,000円		10a当18,400～20,000円	
		3～10年		5～10年	
圃場条件	団地数	7 団地		7 団地	
	圃場区画	10a区画基本		10a区画基本	
	圃場枚数	300枚		180枚（村外除き）	
	最遠距離	8 Km		8 Km	
作付け	水稲作付け	計 2100a	コシヒカリ 1300a キヌヒカリ 200 ひとめぼれ 200 その他 400	計 1920a	コシヒカリ 1078a キヌヒカリ 300 ひとめぼれ 384 その他 158
	生産調整	保全管理170，青刈150，加工米180 他に転作借地170		保全管理420，加工米190	
機械装備	トラクタ	2台（60ps，40ps）		3台（25ps，70ps，41ps）	
	田植機	2台（乗用8条，乗用8条）		2台（乗用8条，乗用10条）	
	コンバイン	1台（5条刈，グレンタンク）		1台（5条刈，グレンタンク）	
	乾燥機	3台（70a，70a，70a）		3台（60a，40a，20a）	
	他	精米機，色彩選別機，低温貯蔵庫		精米機，色彩選別機，食味計，低温貯蔵庫	
農産販売	米販売額	4千5百万円（仕入れ販売込み）		5千5百万円（仕入れ販売込み）	
	販売先	一般消費者（800俵） 米屋：上越市内A店，R B・N会社		一般消費者200人 米屋：横浜B店，東京C店，他業者等	
	独自ブランド	使用：○		使用：○	

資料：図1-1と同じ。

注1）1999年度の実績を示しているが、販売額については1998年度を示している。

2）小作料は中心的な契約のケースを代表させている。

3）仕入れ販売とは、他農家より米を買取り販売することを意味する。

て見れば、近年まで農業資材等配送の自営業にウエイトがあったが、規模拡大につれて農業経営に比重を移している。また有限会社化を志向し、経営継承者が第3者となることも許容する。後述するが、分散圃場への対応で不十分な点があり、オペレータや管理作業者等の雇用者を求めていることが会社化志向の背景にある。これには以前、自営兼業の雇用者を田植え作業に配置替えして労力低減を図っていた経験が基礎にある。

第2に、大量の農地集積に伴って圃場枚数増加が著しい。借地に関して地主数から見ると、S経営で20人、N経営では36人にのぼる。そのため借入先はともに7集落と広がり、圃場管理上の問題発生は避けられない。OY集落以外は5～12aの零細区画がほとんどを占めるため、自宅から6～8Kmの範囲にS経営で300枚、N経営では村外借地を除き180枚の圃場がある。

第3に水稲単作経営であり、生産調整は不整形地を主とした保安全管理と加工用米、さらには生産調整が15%カウントされる直播での対応である。水稲作大規模化の中、麦、大豆導入は労働負担増となり、最近の高額な転作奨励金施策の実施に対しても、転作作物の導入は見られない。高米価地域であり、同時に畑作物導入には厳しい重粘土質条件にあるとは言え、転作作物が不作付けの点に問題を残している。

第4に、米販売については組合員ではあるがJAから独立している。独自ブランドも使用して全量独自販売であり、仕入れ販売も含め販売額は5千万円前後に至る。売り先としてS経営では県内の米小売、販売会社为中心であり、N経営では県外の一般消費者、関東の米小売が中心である。こうした販売対応により、最近の米価下落に対しても比較的強い抵抗力を持っている。また、N経営では資金面でもJAからの借入はなく、市中銀行が取引先の金融機関であることに加え、経営安定対策、全国とも補償いずれにも未加入である。

次に両経営の相違は、相対的にS経営は農地購入主義、N経営は借地主義の点である。いずれが大規模経営の農地集積と農地管理・利用の動向を探る検討素材としての確かと言え、N経営と言わざるを得ない。即ち、地域に展開している大規模経営は、まさにN経営のような借地型経営であり、利用優位の借地で広域的集積を図ってきたものである。

3) 農地集積とその安定性

表1-2はN経営の農地集積の状況を旧村別、集落別等で示し、表1-3は借地に限り農地集積の経

表1-2 N経営の農地集積の動向

(単位：年，a，円)

集落名	大区画 圃場 整備	購入				借入				経営 耕地			距離 (km)
		年次 (年)	件数	面積 (a)	価格 (円/10a)	開始年 (年)	件数	面積 (a)	小作料 (円/10a)	面積 (a)	自作 (a)	借地 (a)	
OY集落	終了			(182a)		—	—	0	—	182	182	0	—
S集落	未着工	1995年～	2	7a	30万	1991年～	18+α	535a	18,400円	542	7	535	3km
SS集落	未着工	—	—	—	—	1991年～	11+α	679a	〃	679	0	679	3km
OG集落	未着工	—	—	—	—	1991年	2	187a	〃	181	0	181	3km
KD集落	進行中	1995年～	5	133a	30～ 90万	1991年～	7	638a	18,400円	771	133	638	5～5.7km
OD集落	進行中	1997年	1	54a	55万	—	—	0	—	54	54	0	6km
IN集落	未着工	—	—	—	—	?	1	24a	18,400円	24	0	24	3km
上越市 IK集落	終了	1987年	2	30a	80万	—	1	30a	25,000円	60	30	30	1.5km
M村	予定無	—	—	—	—	1996年	3	243a	20,000円	243	0	243	10km以上

資料：図1-1に同じ。

注1) 1999年時点の数値

2) OY集落の「購入」にある「(182a)」は以前からの自作地。

3) 小作料は1998年度の標準小作料23000円から減反分20% (村の減反率より低く設定) を差し引いた18400円が契約のかなりの部分を占めているため、これを記載している。

過を貸し手の性格と合わせて示している。

農地購入は既存耕作地への近接が条件であり、上越市・IK集落での購入もOY集落の隣接である。売り手の農地売却には経営不振、負債整理、あるいは圃場整備を契機に農業に見切りをつけるといった要因が作用している。それら集落では買い手が不在なため、近隣への入作者であるN経営が頼られ、集落の区長ないし農業委員会、農協の依頼で持ち込まれている。多額の資金を必要とする農地購入は本来避けたいが、特に売却して工事費負担を回避したい農家からの要望は拒絶できないでいる。元来、借地主義であるのは、一定の規模拡大の実現後には土地条件に応じて随時に農地選別が必要となるが、購入ではそれが不可能だからである。

借入に関して、以下のことが指摘される。

第1に、借入先は村外を含む7集落と広範囲であり、地主の数も40人近くと膨大である。借地は全て他集落から得られており、村内では5集落、村外では中山間地域のM村から減反の保全管理地として荒れ田を借り入れている。さらに借地は特定集落に基盤があり、S、SS、KD集落に偏る傾向にある。中でもKD集落は耕作面積が大きい上に、作業受託面積も最大規模である。膨大な数の地主の性格も縁戚関係とは無関係であり、農業担当世代が高齢化の果てにリタイアした土地持ち非農家である。

第2に、多くが利用権設定であるが、契約期間や小作料水準に相違が生じている。契約期間の差に関しては、地主は貸付けの長期安定化のため10年契約を望むが、後述のように圃場によって土地・水利条件が異なるため、利用者に不良な個所では長期的耕作に躊躇があるためである。一方、小作料は標準小作料から減反分を差し引く等、良質米生産地域にも拘わらず、10a当たり18,400～19,200円にまで低下している。ここで小作料格差が生じているのは区画や形状の土地条件が考

表1-3 N経営の借地拡大過程と農地貸付け者の性格

(単位：年、a、円)

世帯 NO	借入 年次	利用権 設定	面積 (a)	10a当たり 小作料	契約 期間	相手側 集落	状況
1	1991	○	32	18,400	5年	S S	●+転出
2	91	○	13	19,200	10年	S S	△80a
3	91	○	21	19,200	10年	S	転出
4	91	○	4	19,200	10年	S	
5	91	○	67	19,200	10年	S	
6	91	○	15	18,400	10年	S	
	93	○	2	16,000	5	"	
7	91	○	115	18,400	7年	KD	◎ ●
8	91	○	161	18,400	10年	KD	
9	91	○	187	19,000	10年	OG	
10	93	○	22	16,800	5年	S S	
11	91	○	4	18,400	10年	S S	◎
	93	○	10	16,600	5		◎
12	91	○	6	19,200	10年	S S	●
	96	○	20	19,200	7年		
13	91	○	4	19,200	10年	S S	◎
	98	○	14	23,500	5年		◎
14	92	○	157	21,400	10年	KD	●
15	92	○	103	19,000	10年	S S	△20a
16	93	○	51	18,400	10年	S S	
	93	○	23	17,200	5年		
17	93	○	7	16,700	5年	S S	
18	93	○	27	17,800	10年	S S	
19	94	×	65	18,400	相対	S S	
20	94	○	22	20,500	6年	I N	△10a
21	95	○	31	19,200	5年	S S	
22	95	○	66	19,200	3年	S	△30a
23	96	×	12	18,400	相対	S S	
24	96	○	242	20,000	?	M村	保全管理
27	96	○	117	18,400	10年	KD	◎
28	96	○	57	22,000	5年	S S	
29	98	×	20	18,400	相対	S	
30	98	×	7	19,200	相対	S	△60a
31	98	×	18	19,200	相対	S	
32	98	×	81	18,400	相対	S S	
33	98	×	19	19,200	相対	S S	
34	98	×	93	18,400	相対	S S	
35	98	×	30	16,800	相対	I K	
36	99	×	108	18,400	相対	KD	

資料：図1-1に同じ。

注1) 1999年時点を示している。

2) 貸し手が未だ自作の場合は「△」と面積で示す。

3) 以前の借地農家がリタイアしたため、N経営に貸付けたケースは：「◎」印

4) 相続発生のケースは「●」印

慮されているためであり、借地選別が顕在化しており、これは貸し手が小作料水準に拘らない性格にあるからである。請負耕作に関しては委託者に要因があり、リタイア間近い農家で春作業期に体調不良、機械故障等が発生し、これが見切りの契機となって年度途中から全面委託を依頼してきたものである。

関連して第3に、借り手市場を背景に借地関係は安定的である。借り手市場下では数多い貸し手が数少ない農地の借入れ相手を探しており、そこで見つかる借り手は貴重な存在である。従って、当の借り手による長期安定的な農地耕作、即ち先に見た利用権設定の10年契約が望まれているのである。同時に、実際には世帯主が相当の高齢者、ないし既に死去があって家の後継者層に世代交代されているケースもあり、賃貸借関係は世代を越えて継承されている。貸し手に相続の発生もあるが、地域内での相続であり、いずれもN経営に貸付けられて継続性に影響はない。世代交代後の土地持ち非農家では特に農地・農業に対する関心の程度は低くなると見られる。

最後に、借入先集落には担い手不在のために他の入作者も存在し、S経営が耕作地を確保している。これに関して、これまで集落外で発生する供給農地に対しては年次毎に両経営が交替で吸収してきており、時間的「住みわけ」により借入が行われている。このように大量に農地の貸し手が現われる中では、大規模経営の一方的立場から供給農地は選択されている。

3. 圃場分散問題の克服に向けての取り組み

1) 団地別の圃場条件、水利条件と農作業体系

(1) 団地別の圃場条件、水利条件

表1-4はN経営における圃場条件、水利条件を集落別に示す。N経営は出作集落数を団地数と捉えているが、村内での圃場枚数は大小合わせて170枚あまりと多数にのぼる。また河川用水、溜め池用水の集落と、水系が跨るため各集落の耕作条件も異なる。特に溜め池用水の集落では通水期間が短い。これら集落はOY集落を除けば5～12aと零細な区画であるため、水利条件とそれに影響を受ける水稲単収水準から、次の3つに区分できる。

第1はOY、KD集落である。圃場整備が終了、ないし進行中であり、水稲単収水準も高い。表示していないが、OY集落に隣接の上越市・IK集落も同様である。OY集落は水量、通水期間に余裕があり、作期幅も拡大している。給水は運転員にバルブを任せ、水回りは1週間に1回程度と縮小している。水利施設の高度化が圃場管理労力の軽減を進める上で重要な条件になっている。KD集落は溜め池用水のために水利用規制が働いており、自由な操作が許されていない。ただし、そのため集落構成員が輪番で集落農地の水管理を担当する「水番」が集落機能として存在し、水かかりは比較的良好である。

第2はOG集落、IK集落である。上江用水がかかる地域であり、4月10日から秋までと比較的豊富に水が利用できる体制にあることから、水稲単収水準も比較的高い。OG集落には集落機能ではないが、やはり給水を担当する「水番」が存在している。

第3はS集落、SS集落である。S集落は溜め池利用であり、SS集落は保倉川からの河川用水と溜め池を併用している。N経営の圃場の多くが溜め池利用のため通水期間が短かく、最も水利用の自由度と水稲単収水準が低い地域である。しかも、大区画圃場整備の工事開始が遅い地域である。

以上の7集落に圃場があるが、作業機械の移動・錯綜と、水回りや畦畔管理時間の増加が懸念される。M村を除けば、最遠の圃場まで6km、移動時間にして15分程度であるが、1日の水管理には4時間近くを要する。区画零細な圃場を複数集落から借り入れる中では、家族労働力では限界に

表1-4 地域・集落別に見たN経営の圃場条件、水利条件

(単位：a, km, kg)

自治体	三 和 村							M 村
集落名	OY集落	KD集落	IN集落	OG集落	S集落	SS集落	OD集落	
担い手存在	○	××	×	×	×	×	×	××
経営面積	182	771	24	181	542	679	54	243
自作地	182	133	0	0	7	0	54	0
借地	0	638	24	181	535	679	0	243
距離	—	5～5.7km	3km	3km	3km	3km	6km	10km以上
大区画整備	○完了	△進行中	×	×	×	×	△進行中	×
区画の大きさ	大区画	12a区画	10a区画	10a区画	10a区画	5a区画	10a区画	零細区画
稲作付け	キヌヒカリ ゆきの精	コシヒカリ ひとめぼれ	コシヒカリ	コシヒカリ キヌヒカリ	キヌヒカリ ひとめぼれ	ひとめぼれ わたぼうし キヌヒカリ, 他	交換耕作 され、耕 地ない	保全管理
水稲単収	510kg	540kg	540kg	540kg	480kg	480kg	?	減反用
水利条件	○ 溜め池用水 ハイライン ファームノド	○ 溜め池用水	○ 河川用水 U字溝	○ 河川用水 U字溝	×	×	?	×
備 考	・運転員がマ ターのチェック ・土糞不要 ・水回り楽 (週に1回) ・機械作業効 率化	・集落構成員 が全耕地水 管理を行う 「集落機能」 ・入作者は字 費負担	・欲しい時 に水が来 る。	・欲しい時 に水が来 る ・集落構成員 の中に 「水番」が 存在	・水不自由 ・単収低い	・水不自由 ・単収低い	・圃場整備 入るKD 集落と隣 接集落	・減反用 の荒田

資料：図1-1に同じ。

注1) 1999年時点を示している。

2) 上越市のIK集落は居住地であるOY集落に隣接しており、また経営面積も小規模であることから、ここでは載せていない。以下の図表も同様である。

3) 「担い手存在」は、○：いる、×：ほぼ不在、××：全く不在

4) 水稲単収は平年作のコシヒカリでの換算。

近づくことになる。ただし、一般に大規模借地経営では圃場分散のため単収が低下しがちだが、N経営では1997～99年の村平均526kgに劣らない単収水準が維持されていること、むしろ良質米生産のため収量を抑え気味な点も指摘しておく必要がある。

具体的な問題の第1は機械作業である。春の代掻き、田植え作業では特にS、SS集落の溜め池灌漑地域で影響が大きい。そこでは通水期間が限られ、作期が広がる大規模経営は代かき、田植えを早期に完了させる必要に迫られている。こうした春作業期間の短縮化は収穫および乾燥調製といった秋作業にも労働の集中化をもたらすことになる。

第2は田植え後の圃場管理である。まず連続的に見回りが要請される水管理であり、複雑な水利慣行下にあるため稠密管理に労苦を要している。次いで畦畔除草の問題であり、N経営では全借地圃場に対して3年1サイクルでの徹底した除草が行われているが、結局3年サイクルでは2年間は管理できない。こうした作業は機械化が困難なために作業能率向上に限界があり、最も重要な問題となっている。

(2) 農作業体系の概況

N経営における農作業体系の特筆点として、複数のオペレータ雇用や作業委託によって労力軽減を図っている点があげられる。

春作業には複数の兼業農家（50歳前後）がオペレータとして雇用されている。具体的にはN経営のトラクター、田植え機を駆使し、水が来る集落の順番にそって、KD、S、SS集落で耕起代掻き～田植えが行われている。なお、雇用者には地域のオペレータ賃金として日当1万5千円を支払う。一方、兼業農家では機械装備が不十分なため、N経営が上記機械を貸し出して支援している。これが可能なのは、兼業農家は大規模経営と作期が異なる上に各作業が1～2日で終了するためである。

秋作業も、オペレータ雇用や兼業農家への作業委託、乾燥調製もM村JAライスセンター（以下、RC）への部分的委託が行われている。しかも作業料金、雇用賃金は地域の協定水準より低く、特にRCの協定料金は1俵当たり1600円だが、N経営は980円に割引かれている。これは委託持ち込みが一般農家の作業終了後であり、作業受委託市場で需要者が減少していること、RCとしても実績向上が図られるためである。

複数集落に跨るトラクター、田植機、コンバインの移動に関しては部分的にメーカーへの搬送委託が行われている。比較的近い集落は自走するが、遠い集落では事故防止のためメーカーに運搬が委託されている。これには運搬料が1回1台5千円と低料金であること、搬送委託により農業機械の消耗が軽減されることも背景にある。

栽培法に関しては各集落の水利、圃場条件に応じながら、早生、中生、晩生と生育ステージの異なる品種配置と、同一品種でも直播栽培（5.3ha）の実施により春作業省力化、作期分散を図っている。品種選定と作付け面積に関しては作期分散に加えて、業者からの各品種の需要（市場動向）を見ながら決定されている。このように作期分散のための多品種作付け、その品種選定も販売対応と密接に関係している。

このように時間的・空間的に一貫した作業体系が構築されている。加えて、より効率的な機械稼働のため零細分散圃場に対する改善の取り組みが見られる。即ち、畦畔を除去しての区画拡大、自主的な交換耕作による圃場集団化である。これは圃場の管理問題と密接に関係しており、これについても水管理、畦畔除草の地主への再委託が行われ、労力軽減が図られている。以上は圃場の集団化・管理問題として次節で検討する。

2) 圃場の集団化・管理および地域資源管理の方法

(1) 畦畔除去、交換耕作による圃場集団化

圃場集団化のための畦畔除去、交換耕作の実践動向を示したものが図1-2である。

畦畔除去はS、SS、KD集落で実施されている。ことに後2集落で活発であり、区画の最も零細なSS集落では10a区画または20a区画への拡大、KD集落では24a区画へ拡大が行われている。これは地主との対応があるが、借り手の自由度は高く、S、SS集落では隣り合う圃場が異なる地主でも実施されている。未実施は大区画化したOY集落、次にも述べるが交換耕作されて既に耕作地がないOD集落、借地以前から畦抜き状態のIN集落と、不要なケースである。担い手少数化の中では、地主にとって現在の農地の借り手は貴重な存在であり、それだけに借地経営の土地改良の行動に抵抗できない状況にある。

交換耕作は相互に借地、また借地と自作地のケースがある（当然、互いの自作地であるケースもあり得る）。即ち、その方法は所有地貸付け、借地又貸し、相手借地の又借り等である。これはSS、

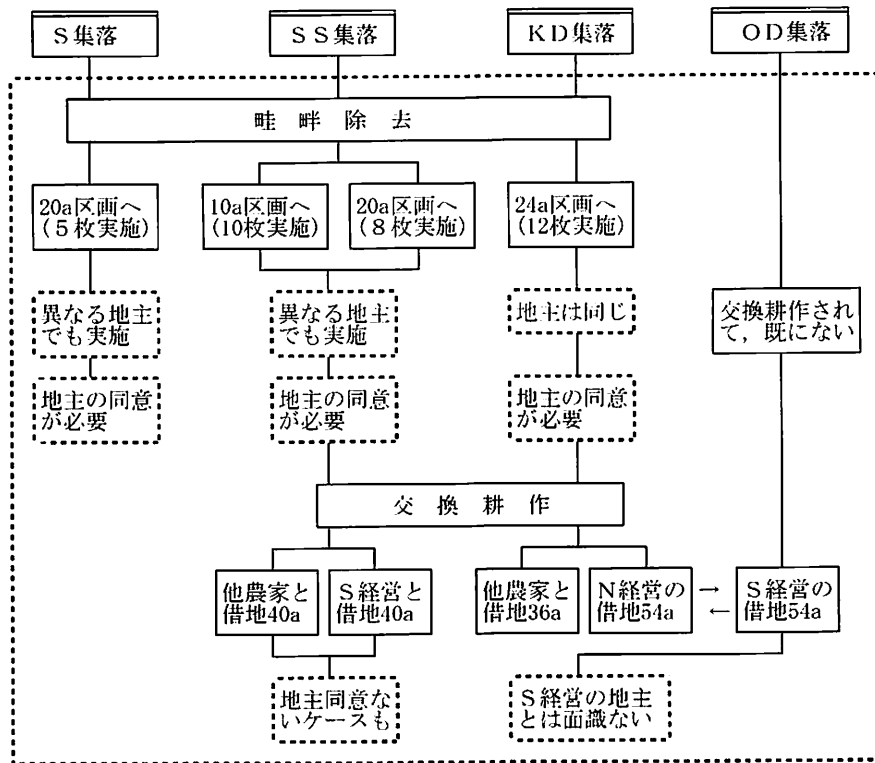


図1-2 地域・集落別に見たN経営の借地集団化の実態

(単位：a)

資料：図1-1に同じ

注1) 1998年時点を示している。

2) M村は減反用の保全管理のため、掲載していない。

KD、OD集落で実施されている。SS集落では、先のS経営と借地40a、SS集落の農家と借地10aを交換して合計50aの借地を集団化させている。中には地主の同意をとらないケースも存在している。注目されるのはKD集落であり、当集落の農家と借地36aが交換されている他に、集落を越えた交換耕作がある。即ち、OD集落で購入した農地54aが隣接するKD集落での入作者S経営の借地と交換されている。両経営ともにKD、OD集落への入作者であるが、N経営はKD集落で、S経営はOD集落で農地集団化を図っている。KD集落の地主にとっては借り手がN経営に交代したが、S経営の説明により同意している。しかし、N経営は依然として地主と面識がない。

交換耕作に関する特徴として次の点がある。

第1に、地主の許可なしや、地主と面識のないケースである。N経営によれば地主には「貸付けた以上、耕作されるのであれば後は借り手の自由」という態度があり、借り手間の合意が成立すれば交換耕作は容易な状況にある。即ち、交換耕作はもはや地主と借り手の合意形成というより、土地条件をめぐる借り手間の合意形成の方が重要性を増している。交換耕作を通じた借地関係は新規借り手と以前の借り手との関係として現れており、借地圃場の貸し手とは関係が希薄化しているのである。

第2に、その典型的ケースが大規模借地経営間での集落を越えた交換耕作である。借地集落群からの供給農地に対して、S、N経営間で年次的な農地取得調整が行われてきたが、次の段階の調整として集落を跨る交換耕作という空間的な農地利用調整が行われているのである。

(2) 圃場管理作業の再委託

図1-3は水管理、畦畔除草の再委託の状況を示す。

再委託はKD、SS集落、M村で実施されており、高齢者ではあるが地主、近隣農家が活用されている。他集落では基盤整備されたり、「水番」が存在して委託の必要がない。

SS集落には3人の受託者が存在する。委託者NO.①には所有地分のみ水管理を委託する。NO.②、③には、水管理・畦畔草刈りを集落借地の40%近くを委託する。草刈り委託料は地域の高齢者労賃を考慮して1日当たり換算で5千円を支払うが、5千円相当の御酒の御礼（酒3本に相当）で対応する場合も多い。

KD集落にも3人の受託者が存在し、広範囲に委託が行われている。委託者NO.④には末端用排水路の溝さらえや畦畔草刈りを委託し、日当5千円を支払う。NO.⑤は集落の実力者であり、独特の作業が委託されている。ここは田に旗を立てれば給水される集落機能としての水番が存在するが、NO.⑤は集落構成員に対してN経営の田に給水を命じたり、畦畔草刈りの命令を行う。委託料は日当8時間換算で6千円が支払われている。NO.⑥には所有地分だけ畦畔草刈りを委託し、10a区画の下手の草刈りに対して2千円が支払われている。

M村では、面識のない地主の高齢者3人に借地243aの畦畔草刈りを委託する。小作料2万円と、M村の水準以上の支払いのため委託料は無料である。ただ全員高齢化の果てに1998年から労力を失い、実際には草刈りは放棄されている。

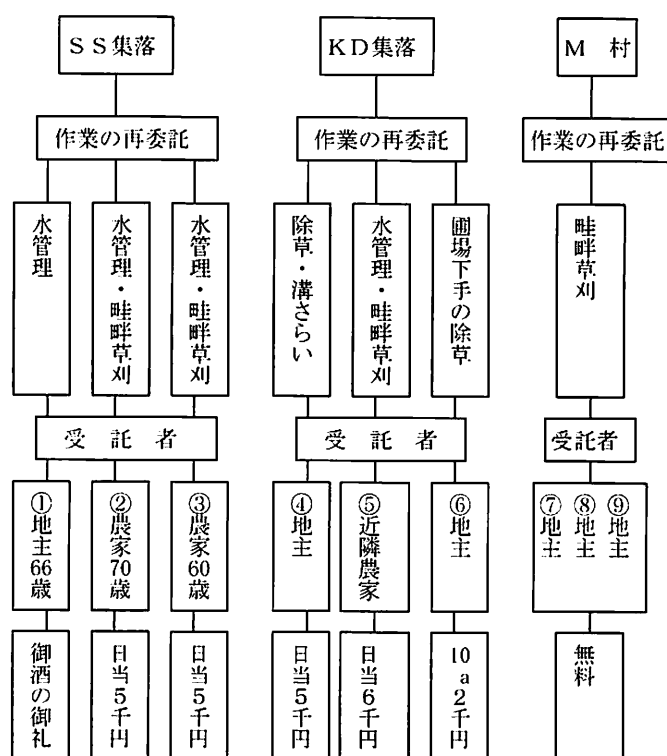


図1-3 地域・集落別に見たN経営の作業（再）委託の実態
(単位：a、歳、人、円)

資料：図1-1に同じ

注1) 1998年時点を示している。

2) No.①～⑨は作業の受託者ナンバーを示す。

3) No.①は地主だが、まだ80a自作している。

作業再委託の特徴として次のことを挙げておく。

再委託実施の集落は入作面積が大きい。規模拡大に伴って負担が増加していること、N経営が担い手として認知されていることが背景にある。即ち、地主は勿論、再委託を受託する近隣農家もいずれ貸し手となる兼業農家のため、現在あるいは将来的な委託先としてN経営が重要な存在と見られていると言える。

しかし、受託者も高齢者が多く、いずれ労力を喪失する。M村では既に現実化しており、S集落では高齢化のため受託者が形成されない。その上、依然として分散圃場に対する管理遂行は負担が大きく、先に指摘したように3年サイクルの畦畔除草では2年間は管理できず、刈り取ったままの放置状態も散見される。この負担は加齢とともに増すが、出作先の集落構成員も高齢化する中、誰が圃場管理を担うかは深刻な問題となる。

(3) 地域資源の維持管理

複数集落に入込む借地経営では農道・用排水路等の地域資源管理の対応も問われる。しかし、三和村を含む中頸城では出作先集落からの地域資源管理の出役要請はなく、集落構成員（耕作者）の共同作業として行われるのが未だに一般的である。そこには集落財産は「集落で管理する」領域規範がある。

図1-4はN経営の各集落における地域資源管理の対応を示す。基盤整備されたOY集落では、基幹用水路の溝さらいは不要である上、農道の砂利敷きも当面は必要ない。他集落に関しては基本的に出役要請がない、あるいは字費、水利費負担等で済まされている。逆に言えば、借入れに際しては字費を負担するが、代わりに地域資源管理は地主負担とすることにより、集落共同作業への出役が回避されている。各集落では共同作業として、基幹用排水路の清掃（溝さらい、草刈り）、実際には業者委託である農道砂利敷き等が現存している。これらの共同作業は入作者ではなく、集落構成員によって担われている。唯一、OG集落で出役要請があるが、地主に再委託されている。

このように入作借地経営は集落農地の耕作者であり、集落構成員は地域資源管理の担い手となっている。出役免除の背景には、集落構成員による強固な領域規範もあるが、集落からも希少な担い

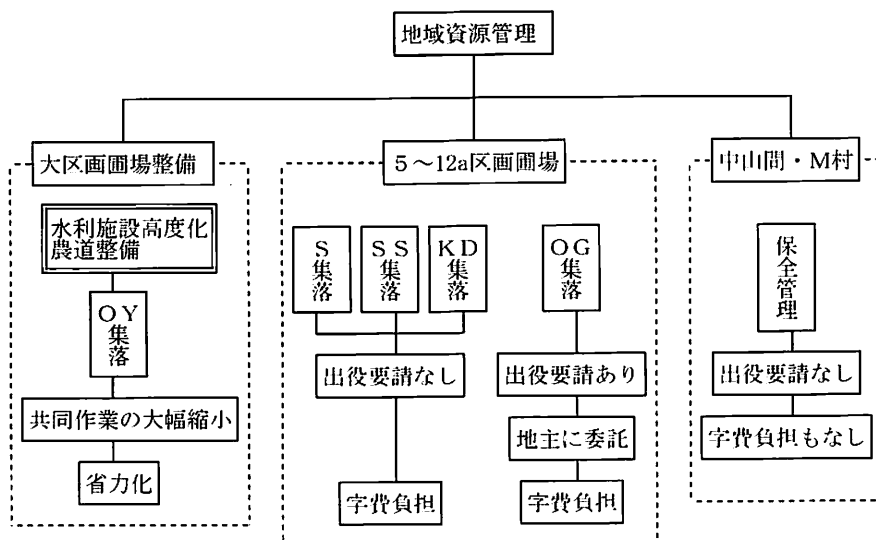


図1-4 N経営の地域資源管理の実態

資料：図1-1に同じ

注1) 1998年時点を示している。

手と認知されていることもある。N経営によれば、集落側には「耕作してくれるのだから、この程度は集落が行う」といった対応が見受けられる。複数集落に出作する大規模借地経営の展開は、先に検討した圃場管理の再委託実施と同様に、地域資源管理を担う兼業農家の存在が前提である。

しかし、集落構成員は減少傾向にあり、基盤整備で地域資源管理領域が大幅に縮小した集落以外では問題となっている。三和土地改良区によれば、土地持ち非農家と化した世帯は直に共同作業参加を停止して、経費負担に切り替える傾向が強い。それも30歳代が目立ち、世代交替後の後継者は農地・農業への関心が希薄であるという。こうした土地持ち非農家増加に土地改良区は危機感を抱いている。借地経営としては借地改良や小作料引き下げが容易となるが、反面で地域資源管理者の減少という危険を伴っている。

N経営としては先の作業委託やオペレータ雇用も含め、受託者層は地域社会内の協力者である。当経営からは受託者群は「Nグループ」と称され、その意味で「集落営農」方式であると認識されている。従って、地域社会の農家が完全リタイアに至っては自らの経営の存立も危うくなる。逆に言えば、再委託は脱農層を営農や地域資源管理に関与させ、完全リタイアを抑制する取り組みでもある。

4. 結語

本稿での検討結果は次のように結論づけられる。

第1に、農地の借り手市場化を背景に大規模借地経営にとって安定的な借地関係が形成されている。借り手少数化の中、多数を占める貸し手としては借り手の確保、維持が問題となり、小作料が低下している。しかも、農地は低地価で資産価値が低い上に転用売却の見込みもない。こうした中、貸し手は農地に所有以上の関心は見出せず、借り手がいれば選択の余地なく利用権設定による長期貸付け契約が選択されている。同時に、その貸付け地は貸し手が世代交代した後も、現借り手への貸付け地として継承されている。ここでは低額小作料とともに長期・安定的な農地借入れが実現されているのである。加えて、圃場整備を契機に借地経営への農地売却も増加中であり、借地経営はより安定した耕作地を抱えることになる。

第2に、大規模借地経営では次のような圃場分散問題克服のための取り組みが行われていた。一つに、畦畔除去が実施されるとともに、交換耕作による団地化が図られ、圃場管理作業は地主へ再委託されている。ことに借地経営間の交換耕作は集落を越え、相互の拠点集落での農地集団化にまで展開している。二つに地域資源管理に関しても、再委託されたり、作業出役が要請されずに字費負担で済まされている。集落構成員としては借り手の維持が優先されるために、借地経営による畦畔除去や交換耕作を容認したり、さらには圃場管理作業や地域資源管理も担う実態にある。特に作業の再委託はオペレータ雇用や基幹作業の委託もあって、広範に行われている。この作業の再委託、外部化は適期作業遂行と作業量減少を図る上で経営としての合理性を備えていると言える。このように徐々にではあるが、零細分散圃場問題が解決の糸口の段階に入りつつあると言える。

最後に指摘しておく必要があるのは大規模借地経営の展開は在村の兼業農家、土地持ち非農家の存在により支えられている点である。ここで見た圃場分散問題、地域資源管理問題の克服動向は地域社会に定住する住民の再受託があって初めて成立しているものである。そして現状での、こうした関係は個別相対的關係の下で形成されている。

従って、今後において農業生産、地域農業の担い手として大規模借地経営のいっそうの発展を考えるならば、大規模借地経営と農村社会との基幹（機械）作業、管理作業（圃場管理、地域資源管

理)を巡る機能分担関係のシステム化も求められると言える。

注

- 1) 宇佐美 (1975)、伊藤 (1979)。
- 2) 永田 (1983)、高橋 (1983)。
- 3) 本稿では具体的な検討は割愛したが、N経営の出作先集落で最も面積が大きいKD集落は大区画圃場整備事業進展の下で当経営に向けてさらに農地流動化が進展しつつある。同時に当集落は良食味米地域でもあり、販売戦略上でもN経営にとって重要な集落となっている。この詳しい動向については細山 (2001)を参照されたい。

5. 文献

- 1) 宇佐美 繁 (1975) 稲作上層農の性格。古島敏雄編「産業構造変革下における稲作の構造Ⅰ・理論篇」東京大学出版会、347-382。
- 2) 伊藤 喜雄 (1979) 現代借地制農業の形成。御茶の水書房、1-295。
- 3) 永田恵十郎 (1983) 規模問題と稲作の生産組織。農業経済研究、55 (3)、131-139。
- 4) 高橋 正郎 (1983) 規模問題と構造政策の視点。農業経済研究、55 (3)、115-122。
- 5) 細山 隆夫 (2001) 北陸地域における農地賃貸借進展の地域差と大規模借地経営の展開条件。北陸農業試験場研究報告、44、1-129。

(実施課題名：地域農業構造の動向解析 (1998～2000))

第2部 最適生育管理のための情報の管理・ 収集システムの開発

2章 大規模水田作経営における圃場情報の管理と利用

土田 志郎

1. はじめに

水田作経営では経営耕地の拡大に伴って圃場の分散が顕著になる。圃場の団地化に努めている経営であっても、隣接する圃場のみを集積することは困難であることから、圃場分散が発生しやすい。圃場分散がもたらす弊害は、圃場作業能率の低下だけにとどまらない。水田圃場は地域によって土壌条件や用排水条件が異なるため、圃場の特性を踏まえた栽培管理ができない場合は、単収や品質の低下に直結する。したがって、大規模経営になるほど、圃場分散の回避とともに、圃場条件に応じた作物・品種の配置や機械作業の計画的実施が必要になる。特に、低投入型の高品質稲作を実現するには、水田圃場に関わる諸情報を圃場単位に整理し、それらを作業管理、栽培管理、財務管理等の場で利活用していくことが望まれる。

そこで本章では、大規模水田作経営における圃場情報管理に焦点を当て、圃場情報の管理の仕方とその利用場面について検討を加える。具体的には、圃場情報を地図情報として可視化するマッピングシステムと圃場の有する経済価値の優劣を評価する手法の二つを提示するとともに、それらを実際に新潟県三和村のN経営（地域総合研究の現地農家）に適用する。

2. 圃場情報の管理と地図化

1) N経営における圃場分散の実態

まず、大規模水田作経営における圃場分散の実態を把握するために、N経営の圃場分散について簡単に見ておく。なお、N経営については細山（2000）が詳細な分析を行っているので、ここではその成果に依拠する¹⁾。N経営の経営耕地は表2-1のように整理できる。

1999年時点におけるN経営の圃場数は約180筆で、それらは自宅からほぼ半径6kmの範囲内に分散している（保全管理をしているM村の耕地は除く）。N経営では分散圃場を集落単位にグルーピングし、水田圃場をⅠ～Ⅵの6つの圃場群に区分して管理している。表2-1に示したように、圃場条件は圃場群によって異なる。1ha前後の大区画圃場となっているのはⅠ圃場群で、Ⅴ圃場群でも大区画化に向けた整備が進行中である。しかし、その他の圃場群は10a区画前後の小区画圃場のままである。また、パイプライン灌漑が行われているのは大区画化が完了したⅠ圃場群だけであり、河川用水を利用できる圃場もⅣ圃場群とⅥ圃場群で、他の圃場群は溜池灌漑に依存している。このため、圃場群によって使用可能な用水量や用水の使用可能時期等が制約を受ける。さらに、Ⅱ圃場群、Ⅲ圃場群とその他の圃場群とでは減水深等の土壌条件もかなり相違している。こうしたことか

表2-1 N経営の経営耕地と圃場条件

	I 圃場群	II 圃場群	III 圃場群	IV 圃場群	V 圃場群	VI 圃場群
集 落 名	OY集落	S集落	SS集落	OG集落	KD集落	IN集落
経営面積(a)	182	542	679	181	771	24
通作距離(km)	—	3	3	3	5～5.7	3
大区画整備 区画	完了 大区画	未実施 10a区画	未実施 5a区画	未実施 10a区画	進行中 12a区画	未実施 10a区画
水利条件	問題なし 溜池用水、 パイライン、 ファームホント	問題あり 溜池用水	問題あり 溜池用水 と河川用 水の併用	問題なし 河川用水 U字溝	問題なし 溜池用水	問題なし 河川用水 U字溝
作付け品種	キヌヒカ リ、ゆき の精	キヌヒカ リ、ひと めぼれ	ひとめぼ れ、わた ぼうし、 キヌヒカ リ、他	コシヒカ リ、キヌ ヒカリ	コシヒカ リ、ひと めぼれ	コシヒカリ
水稻単収(kg)	510	480	480	540	540	540

資料：細山隆夫「大規模借地経営の農地集積と農地管理・利用」北陸農試農業経営研究第57号P62から一部加工して引用。

注1) 1999年時点のデータ。

2) 水稻単収はコシヒカリ換算。

ら、各圃場群の10a当たり水稻単収は、480kg～540kgの間でばらついている。

2) 圃場条件差とその影響

大規模水田作経営では様々な特性を持った圃場が集積されることが確認できたが、次に、そうした圃場条件の違いが営農面にどのような影響を及ぼしているのか、あるいは大規模経営では圃場条件の違いを踏まえてどのような圃場管理を行っているのか、これらの点について検討する。N経営からの聞き取り調査の結果を基に整理すると、次のようになる。

第1は、水稻の栽培方法が制約される点である。N経営では経営規模の拡大に伴って湛水直播栽培の導入を試みてきたが、その栽培圃場が制約を受ける。移植水稻と生育ステージが異なる直播水稻は、圃場への入水時期や落水時期などの水管理が移植栽培と相違するため、その導入には用水の自由な利用が前提となる。しかし、表2-1で見たように、N経営では溜池灌漑に依存している圃場が多く、そうした地区では周囲の移植水稻に合わせた用水利用が行われるため、直播栽培の導入が難しい。このため、N経営では省力化のために直播栽培の一層の拡大を希望しているにもかかわらず、直播水稻の作付が制約されている。

第2は、圃場条件によって使用可能な機械が制約されることである。圃場区画の大きさの違いや地耐力の違い等を考慮し、N経営では基盤整備直後の耕盤の形成されていない圃場や地耐力の小さい圃場等では、クローラ型トラクタを使用するなどの対応を行っている。

第3は、水管理作業への影響である。II 圃場群とIII 圃場群では、水持ちが悪いことに加え、溜池灌漑に頼る割合が大きいことから、旱魃になると水稻にも被害が発生しやすい。また、普段の水回り回数も他の圃場群に比べて多くなっている。さらに農道が軽トラックでやっと入っていける程度

の道幅であるため、機械作業能率を低下させる一因となっており、コストアップをもたらしている。

以上は、圃場条件が栽培管理や機械作業へ及ぼす影響であるが、圃場条件の違いは交換耕作や借地等を行う場合にも問題になる。圃場条件がほぼ同一の場合には、当事者間に交換耕作の意向が存在すれば地主の了解を得た上で比較的スムーズに実施できるが、圃場条件が大きく異なると単純に交換するというわけにはいかなくなる。N経営においても、圃場分散を極力回避する目的で同村内の他の大規模経営と協力して交換耕作を実施しているが、圃場条件が同一ではないため、条件の悪い圃場については条件の良い圃場よりも交換面積を多くするなどの調整を行っている。さらにまた、N経営では、機械作業能率に与える影響を考慮し、借入地の区画の大きさや整形か不整形かによって、借地料水準に差を設けている。

3) 営農に必要な圃場情報とその管理方法

次に、圃場情報には具体的にどのようなものがあるか、簡単に整理しておきたい。圃場情報は技術情報と経営情報に大別できる（表2-2）。前者の技術情報は、①圃場位置・区画に関わる情報、②気象に関わる情報、③土壌に関わる情報、④用排水に関わる情報、⑤作物栽培に関わる情報に区分できる。また後者の経営情報は、①所有圃場に関わる情報と②借入圃場に関わる情報に区分できるよう。

経営者は、労働力や機械施設等の経営資源の保有状況、作目別の収益性、上記①～⑤の圃場に関わる技術情報等を勘案しながら、各圃場ごとに作付作物・品種、栽培管理方法、作業スケジュール等を決めていく。したがって、作付作物・品種の決定や作業計画の作成を行う場合には、圃場1筆ごとに①～⑤の技術情報を正確に把握しておく必要がある。またN経営のように、圃場の枚数が100を超すようになると、圃場ごとの作付作物の生育状況や作業内容を記録し、以後の気象条件の変化等も考慮しながら、収量と品質の向上に向けた生産管理を実践することが要請されるようになる。特に、臨時雇用を含め、複数の作業者が圃場作業に従事する場合は、作業の重複ややり残しを防ぐためにも、圃場1筆ごとの作業記録等は欠かせない。

他方、圃場1筆ごとの経営情報に関しては、借地の場合であれば、借地料の支払いや借地契約の継続等の面から整理・記録しておく必要がある。また、農地の購入による規模拡大を図る場合には、既存所有地の購入価格情報等が、妥当な購入価格水準を検討する際の参考情報となる。

このように、圃場1筆ごとの技術情報と経営情報は効果的な経営管理を実践していく上で不可欠

表2-2 圃場に関する技術・経営情報の種類と具体的内容

情報の種類	情報の具体的内容
〈技術情報〉	
①圃場位置・区画に関わる情報	位置、形状、長短辺長、面積、農道の条件等
②気象に関わる情報	日照条件、風の強さや向き等
③土壌に関わる情報	作土深、地力窒素、土性等
④用排水に関わる情報	給水期間、用水量、排水条件等
⑤作物栽培に関わる情報	作付作物・品種、作業内容・作業時期、投入資材、生育データ、収量・品質等
〈経営情報〉	
①所有地に関わる情報	購入時期、購入価格、税金、土地改良区費等
②借入地に関わる情報	地主、借地料、借入期間等

な情報であることが分かる。では、これらの圃場情報はどのように整理して管理したらよいのであろうか。一般には、パソコン上で表計算ソフトウェアを用いて圃場データを管理するケースが多いと思われる。しかし、表形式の整理では圃場情報が多くなると全体的なイメージが掴みにくく、経営者でも、表形式に整理された圃場データだけを見て、個々の圃場を瞬時に頭の中に描き出すことは難しい。さらにまた、家族労働力や雇用労働力によって圃場作業を分担している場合には、各作業者に作業場所と作業内容を正確に指示しなくてはならなくなる。こうしたことから、表形式で整理・蓄積された圃場情報については、それらを視覚化した地図情報として表示できるシステムがあると便利である²⁾。そこで、次節では、各種圃場情報を地図化するための手法について紹介する。

3. 圃場情報の地図化手法

1) 市販ソフトウェアを利用した圃場情報の地図化

圃場情報の地図化については、デジタイザー等を使用して圃場図をコンピュータに入力し、各種圃場情報を地図情報として表示できる手法が既に確立されている。またこの手法を活用して圃場図の入力と圃場情報の地図化システムの構築を有料で行うソフトウェアメーカーも何社かあり、市町村や土地改良区の中にはそうした企業に管内の全圃場を管理するシステムを構築してもらい、それを農地管理に関わる諸業務に活用している先進事例も出てきている。しかしながら、外注によるシステム構築には一般に数百万円から数千万円もの経費がかかるため、現在までのところ、これを利用しているのは行政や農業関係機関のごく一部に限られている。ましてや、個々の農業経営が圃場情報の管理を目的に地図化システムを導入するケースはほとんど見られない。

一方、近年、一般企業での汎用利用を目的に、パソコン上で利用できる地図情報システム（GISソフトウェア）が相対的に安価な価格（数十万円）で販売されるようになってきている。このソフトウェアは、デジタイザーで圃場図を入力することもできるが、スキャナーで読み込んだ地図とパソコンのマウスを利用して圃場図を入力することもできる。したがって、こうしたGISソフトウェアを利用すれば、一般の者でも比較的安価に圃場情報の地図化システムを構築することができる。しかし、GISソフトウェアは幅広い業種に汎用利用できるようになっているため、それを農業者や農業関係機関の職員等が圃場管理用に利用するには、圃場情報管理に必要とされる圃場情報の特定、圃場図の読み込み、圃場図と圃場データのドッキング等に関する必要最小限の基礎知識が必要となる。そこで以下では、N経営を素材にして、そうしたソフトウェア（ここでは市販のGISソフトであるMapinfoを使用³⁾）を用いて圃場情報地図化システムを構築する際のポイント部分を示す（表2-3）。

2) 地図化に必要な作業手順

(1) 地図の入手

まず最初に行わなければならないのは地図の入手である。対象経営の経営耕地の分散状況を鳥瞰できるようにするために、当該経営の全ての経営耕地が含まれるような市町村地図を入手する（例えばN経営の場合は主要道路や集落位置が分かる三和村全図1枚）。しかし、これには圃場1筆ごとの位置や形状等は表示されていないので、圃場1筆ごとの位置と区画形状が把握できる圃場図（N経営の場合は三和村地籍集成編纂図14枚）を別途準備する。

(2) 地図の読み込み

次に、入手した地図をパソコン上で参照できるようにするために、それらをスキャナーで読み込み、地図1枚ごとに1つの画像ファイル（例えばGIFファイル）を作成する（N経営の場合は三和

表2-3 GISソフトウェアを用いた圃場図の作成手順

作業項目	作業内容
(1) 地図の入手	該当する市町村図（1万分の1程度）および地図化したい地区の圃場図（1,500分の1程度の地籍集成編集図）を土地改良区等から入手する。
(2) 地図の読み込み	地図をスキャナーで読み込みGIFファイル等で保存する。
(3) 圃場図の貼り付け	パソコン上で圃場図を市町村図の中の該当位置に貼り付ける。
(4) 管理対象圃場のポリゴン の作成とジオコード作業	(3)で作成した圃場図を用いて個々の圃場のポリゴンを作成するとともに、各ポリゴンをテーブルのレコードと1対1に対応させる。
(5) 圃場情報の入力	個々の圃場情報を表形式に入力する。
(6) 圃場情報の地図化	検索・色分け表示機能等を利用し、必要とする圃場情報を地図化する。

注：ここでは市販のGISソフトウェアとしてMapinfoを使用している。

村全図を含め全部で15ファイル）。

(3) 圃場図の貼り付け

個々の圃場図（N経営の場合は14枚）が市町村図上のどこに位置するかを確認し、それらをパソコン上に表示された市町村図に貼り付ける。具体的には、入手した市町村図と圃場図の双方に緯度と経度の情報が表示され、圃場図上の任意の点を市町村図上の該当する点に正確に対応させることができる場合は、この緯度・経度情報に基づいて圃場図を市町村図上に貼り付ける（具体的操作手順はMapinfoのマニュアルを参考にする。なお、緯度・経度で位置情報を設定した場合は地図上の任意の範囲を指定すればその面積を正確に計算することも可能になる）。しかし、入手した地図に緯度・経度情報が明示されていない場合は、市町村図などに示されている基準点からの距離指標値（経度・緯度に代え全国の特定の地点を基準点にしてそこからの東西・南北の距離を示している線）を参考にしたり、自分で地図上に基準点を設定してそこからの地図上の距離（cm）を測ることで地図上の座標を確定する。圃場図の具体的貼り付け手順は、N経営を事例にした場合、次のa～cのとおりである。

a. まず、14枚の圃場図について、各圃場図の四隅の4点が三和村全図上のどの点に対応しているかを確認し、三和村全図上の対応する点（4点×14枚）に印を付けておく。そして、三和村全村図のGIFファイルを、Mapinfoの指示に従って単位や投影法等を設定しながら、ラスターイメージファイルとしてMapinfoに読み込む。その際、三和村全図には上述した基準点からの距離指標値として南北は+120～+130km、東西は-16～-9kmの指標値が地図上に記入されているので、この指標値の読みとりやすい地図上の任意の点をいくつか選択し、それぞれの点の座標に該当する指標値を入力する。これによって、地図上の任意の点をマウスで選択すると、その点の座標データ（南北+120～+130km、東西-16～-9kmの範囲内で変化する指標値）が表示できるようになる。そこで、三和村全図上に印を付けた点（4点×14枚）の座標データを順次表示させ、記録しておく。

b. 次に、上記aでMapinfoに登録した三和村全村図（ラスターイメージファイル）をパソコンのディスプレイ上に表示しておき、14枚のうちの任意の圃場図（GIFデータ）を1枚読み込み、

上記 a で設定した圃場図上の四隅の4点を指定し、上記 a で測定したそれらの点の座標データを登録することによって、Mapinfo 上の三和村全村図に当該する圃場図を貼り付けることができる。そして残りの圃場図についても同様のやり方で全て貼り付ける。なお、コピーした市町村図や圃場図を使用すると若干のゆがみが生じるため、Mapinfo 上で貼り付けた隣接する圃場図どうしであっても道路部分や圃場線等はぴったりと一致しない（ただし目的とする圃場情報の管理を行う上では大きな障害とはならない）。

c. 上記の作業を行うことにより、市町村図に分析対象経営の圃場図を張り付けたレイヤ（線・記号・文字等が描かれたパソコン画面上に作られた透明なフィルムのようなもので、これを何枚か重ねることにより画面上に地図が表示される）が完成するので、これをファイル（仮にファイル A と呼ぶことにする）に保存する（この図のイメージについては図2-1を参照）。なお、これにより地図の読み込み作業は完了するが、対象経営の全経営耕地を鳥瞰したい場合は、再びこのファイルを呼び出して市町村図を表示すればよい。さらにまた、その中から任意の経営耕地を拡大して見たい場合は、市町村図上の該当する地域をマウスで指示し、地図の拡大化操作を行えば、目的とする圃場が拡大表示される。

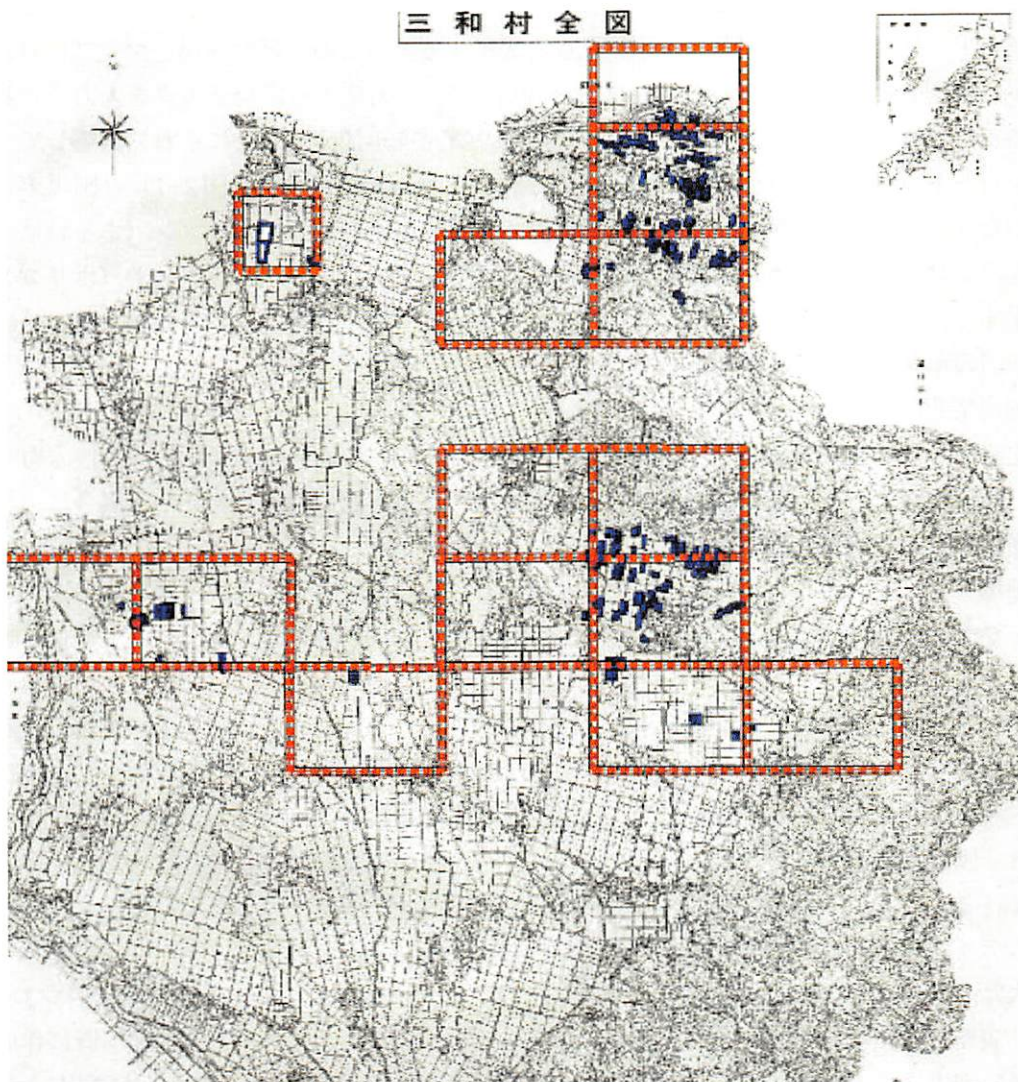


図2-1 N経営の経営耕地圃場

(4) 管理対象圃場のポリゴン作成とジオコード作業

次に、上記(3)でMapinfo内に読み込んだ圃場図を利用し、対象経営の圃場1筆ごとに圃場区画を特定する作業(ポリゴンの作成)とそれを表形式のデータ(レコード)と1対1対応させる作業(ジオコード)を行う。具体的には次のa～cの作業を行う。

a. ラスター形式のレイヤ(上記(3)で作成したファイルA)を開き、各圃場図(N経営の場合は14枚の圃場図)の貼り付け場所がすぐ分かるように、システムレイヤ(レイヤのうち最上部にあるもの)上に各圃場図の枠を示す線(図2-1の赤い枠)を設定しておく(必要なければこの作業は省いてもよい)。そして、このシステムレイヤを適当な名前のファイル名(仮にファイルBと呼ぶことにする)で保存する(ベクトルデータとして保存される)。すると、画面に表示されているシステムレイヤ上には、オブジェクトは何も無くなり、枠を作成する前の状態になる。

b. 次に、このシステムレイヤ上に、画面に表示されている圃場図の任意の圃場1筆について、その圃場の形状に沿って線を引くために形状に沿った任意の数点を順次マウスで選択し、ポリゴン(任意の数の直線で囲まれた多角形)を1つだけ作る。そして、このシステムレイヤを、例えば「経営圃場」というファイル名で登録しておく。

c. 次にレイヤ管理メニューで、新しくできた「経営圃場」レイヤを編集可の状態にする。そして、ウインドーメニューでブラウザウインドウを表示すると、この「経営圃場」マップに対応したテーブル(上記bの作業で登録したポリゴン(圃場1筆)に対応する圃場データを入力できる表形式ファイル)が表示される。こうして、マップにポリゴンを追加するごとにそれに対応してテーブルにもレコード(行)が1つ追加されていく。これにより、圃場マップ(図2-1)と圃場データがリンクしたプロトタイプのテーブルCが作成される。マップ上の任意のポリゴン(あるいはテーブルの任意のレコード)をマウスで選択すると、それに対応するテーブルのレコード(ポリゴン)の色が変化する。なお、誤ってポリゴンやレコードを作ってしまった時はそれを選択してDelキーを押すと該当のポリゴンは削除される。

(5) 圃場情報の入力

地図化表示したい圃場情報は、上記(4)で作成したプロトタイプテーブルCに直接入力してもよいが、既に地図化したい圃場情報がエクセル等を用いて表形式に整理されている場合は、次のa～cの操作を行ってデータを結合できる。

a. 圃場データが入力されたエクセルファイル(行には圃場が、列には各種圃場情報が入力されている)をMapinfoで読み込み、Mapinfoのテーブルとして保存する(仮にテーブルDと呼ぶことにする)。

b. ディスプレイ上にテーブルCと上記aで作成したテーブルDの2つを表示しておく(個々の圃場を示すテーブルDのレコードはテーブルCのレコードの順番と一致していなくても構わない)。また、ドッキング作業のために両テーブルには、共通の圃場番号を入力するためのフィールドを作っておき、圃場番号を入力しておく)。次にメニューバーの検索をマウスでクリックし、その中のSQL検索を選択する。「対象テーブル」の入力欄にカーソルを移し、テーブルのダウンロードメニューからテーブルCとテーブルDを選択すると、対象テーブルの表示欄に「テーブルC、テーブルD」と表示される。そこで、検索条件のところにカーソルを移し、「フィールドのダウンロード」および「演算子のダウンロード」のメニューから、接合のための共通フィールド名(既に作成してある共通の圃場番号が入っているフィールドを仮にIDとする)を選択し、演算子を選択し、「テーブルC、ID=テーブルD、ID」となるように入力する。

c. 「OK」をクリックすると、共通のIDを通じて両テーブルが結合した新テーブルが作成される。これを保存する（仮にテーブルEと呼ぶことにする）。これで、地図化したい圃場データの全てが納められたテーブルEと、そのテーブルのレコード（個々の圃場の圃場データ）に対応したポリゴン（「経営圃場」マップ上にある圃場）がセットとなり、テーブル内に入力されている任意の圃場情報を地図化表示できるようになる。

(6) 圃場情報の地図化

上述した手順に基づいて、圃場情報を管理できるシステムが構築できたら、このシステムを実際の営農現場で利用することになる。圃場情報を地図化する手順を、テーブルEを用いて示すと、次のとおりである。

a. 分析に利用するテーブルEを開く。次に、Mapinfoの検索機能等を使い、ある条件を満たすレコードを抽出し（例えば作付品種別にレコードを抽出）、これをテーブルとして登録しておく（仮にテーブルFとする）。さらに、これをMapinfoの主題図作成機能を利用して、マップ上に表示させる。このようにして、テーブルに入力された各種圃場データを色分けしたり、グラフ化したりしてマップ上に表示することができる。

b. 表示されたマップの印刷は、印刷したいマップを画面上に表示させておき、「レイアウトウインドウを表示させる」を選択すると、凡例付きの印刷マップが表示されるので、これを印刷する。図2-2はN経営の作付水稻品種を圃場別に色分け表示したものである。これまでは、作付品種の配置は経営者の頭の中のみにあたり、地図化する場合、白地図形式の圃場図に色鉛筆等で圃場1筆ごとに色分け作業を行っていたが、本システムを利用することで瞬時に地図化できるようになる。また、同様の方法を用いて、代かきの作業実施日を圃場ごとに表示したのが図2-3である。春作業時は、耕耘整地、代かき、田植え、水管理作業が同時並行的に実施されるが、スケジュールどおりに作業を実施するには、各オペレータに事前に当日の作業場所を正確に指示しておく必要がある。そのような場合に、このようにして作成した圃場図が役立つ。

4. 圃場価値の評価手法

1) 圃場価値を評価する必要性

圃場情報は、作物・品種の配置や圃場作業計画の作成等の生産管理の場面で利用されることが多いが、農地価格や借地料水準の妥当性を検討する際にも利活用できる。例えば、農地の借入により規模拡大を行えば一般に粗収益は増大するが、圃場条件によっては、期待した程の純収益が得られないこともありうる。このため、借地圃場の借り換えに備えた現有借地圃場の相対的な優劣の把握を行ったり、購入や借入依頼のあった圃場の農地価格や借地料水準の妥当性を検討できる評価手法があると便利である。そこで、以下では、圃場情報に基づいて圃場1筆ごとの経済価値の相対的な優劣を評価する手法を試論的に提示する。

2) 圃場評価の基本的考え方

圃場の優劣を1筆ごとに評価する方法としては、圃場面積の大小や排水性の良否等を点数化してそれらの合計点で評価する方法などが提案されているが、ここでは、圃場の持つ経済価値の相対的優劣を土地純収益の大小で評価する手法を検討する⁴⁾。その基本的な考え方は以下のとおりである。

まず、10a当たり土地純収益は10a当たり粗収益から10a当たり生産費（労働費、物財費、資本利子）を減じて求められるが、ここでは、10a当たり土地純収益の絶対額ではなく、当該経営の全

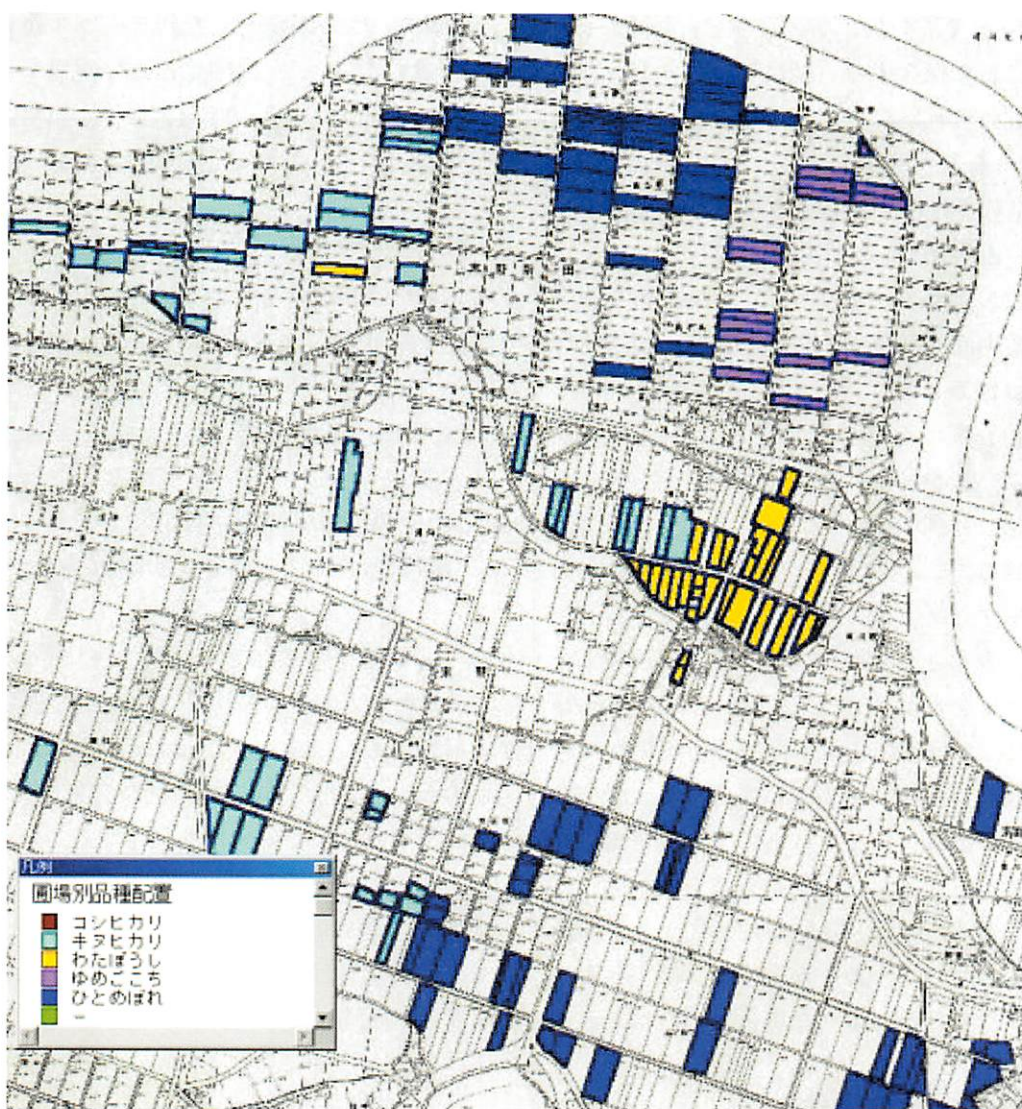


図2-2 N経営における水稻品種の圃場配置

耕地平均の土地純収益との差を問題にする（これにより、減価償却費と資本利子の計算が不要になる）。したがって、次の①式で表される10a当たり土地純収益差に注目する。

$$10a \text{ 当たり土地純収益差} = 10a \text{ 当たり粗収益差} - 10a \text{ 当たり生産費差（労働費、資材費）} \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

上記の①式に基づいて圃場1筆ごとの10a当たり土地純収益差を推定するには、圃場別の粗収益差をもたらす要因と圃場別の生産費差（労働費、資材費）をもたらす要因について整理しておく必要がある。それらは次のようになる。

第1に、10a当たりの圃場別粗収益差（当該圃場の10a当たり粗収益－全圃場の10a当たり平均粗収益）に影響する要因としては、圃場別の10a当たり単収差がある。ここでは水稻を水田に作付けた場合の土地純収益差に注目しているので、圃場別の粗収益差は、次の②式のように表現できる。

$$10a \text{ 当たり粗収益差} = 1kg \text{ 当たり米価} \times 10a \text{ 当たり単収差（同一品種）} \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

第2に、10a当たりの圃場別生産費差（当該圃場の10a当たり生産費－全圃場の10a当たり平均生産費）をもたらす主要因としては、10a当たり労働費差と10a当たり資材費差の二つがある。

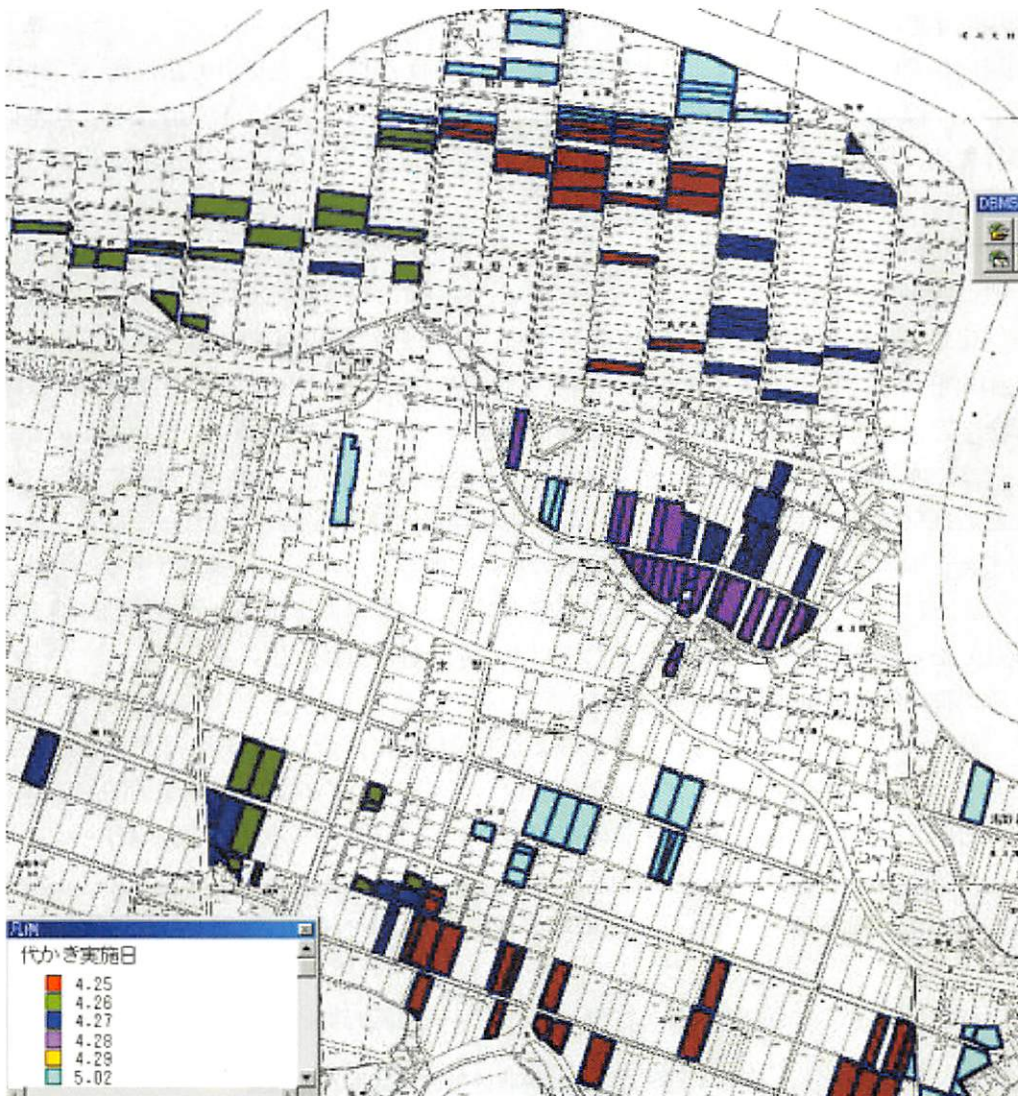


図2-3 N経営における圃場別の代かき実施日

前者の労働費差は、さらに次の③式のように表すことができる。

$$10a \text{ 当たり労働費差} = 1 \text{ 時間当たり労働費} \times 10a \text{ 当たり労働時間差} \quad \dots \dots \textcircled{3}$$

なお、圃場別の10a当たり労働時間差の主な発生要因としては、a. 圃場面積、圃場長・短辺長等による圃場内作業時間差、b. 圃場内除草・防除・肥培管理回数差、c. 畦畔面積による畦畔管理作業時間差、d. 圃場位置による圃場間移動時間差の四つがある。

3) 圃場評価の具体的手順

次に、上記2)で述べた基本的な考え方にに基づき、N経営を素材にして圃場評価の具体的手順を述べると以下ようになる(表2-4)。

(1) 10a当たり粗収益差の推計

10a当たり単収差(同一品種を前提)は、本来ならば現在開発中の収量計測コンバイン等を用いて圃場別の水稲単収を毎年記録し、それを基に圃場別単収差を設定することが最も望ましいが、それができない場合は経営者の経験等に基づいて圃場別単収差を設定する(N経営の場合は表2-1に示した調査データ: 480~540kg/10aを用いる。なお米価はN経営の場合260円/kgとする)。

(2) 10a当たり労働費差の推計

①圃場内作業時間

圃場内作業時間については、日本農作業学会（1999）が提示した推計方法に従って計算する⁶⁾。すなわち、圃場の短辺長と長辺長、使用機械の有効作業速度、機械の有効作業幅、枕地回行作業時の行程数、往復作業時の平均巡回時間のデータを、表2-5に示したa～e式に代入して計算する。

②圃場間移動時間

一般に圃場作業では、類似した圃場条件下で近距離にある複数の圃場を1つの圃場群としてグループ化し、諸作業を行うことが多い。例えば、田植え作業や収穫作業では1日の作業が終了しても圃場群内の全ての圃場作業が終了するまで田植機やコンバインをその圃場群内に置いておき、全て完了した段階で機械を次の圃場群に移動したり、自宅の格納庫に移動することが少なくない。また水管理作業では、自宅から出発して各圃場群を効率よく回って自宅に帰るコースがほとんどの経営で決まっている。したがって、圃場間移動時間の推計に当たっては、こうした現実を踏まえ、圃場群間の移動時間と圃場群内の移動時間の二つに区分して推計する。では、圃場群をどのように設定したらいいのか。また、圃場群間の移動時間、圃場群内の移動時間をどのように推計したらいいのか。ここでは試みに、以下に示す推計方法を用いる。

a. 圃場群内距離と圃場群間距離の推計

ア. 経営者に、経営耕地をこれまでどのような圃場群に区分して管理してきたかを尋ね、それに基づいて圃場群を設定する。経営者に設定してもらえない場合は、圃場地図を用いて最も隣接する圃場ととの間の道路距離が一定距離以内にある圃場どうしを同一の圃場群とする（ただし一定距離以内にある圃場どうしの場合でも、区画条件、土壌条件、用排水条件等がかなり異なる圃場がある場合は、これらは別の圃場群とする。なおN経営については15圃場群に区分した。）。

イ. 経営耕地を幾つかの圃場群に区分できたら、同一圃場群内の圃場間平均距離を次のように

表2-4 圃場別土地純収益差の推定手法の概要

圃場1筆ごとの土地純収益差の推定方法	①圃場別水稲単収差：収量記録コンバイン等から得られる客観データの使用が望ましいが、そうしたデータが無い場合は経営者の経験に基づく主観的評価によって推定する。
	②圃場別粗収益差：米価に①の単収差を掛けて求める。
	③圃場内主要作業時間差：日本農作業学会編『農作業学』農林統計協会（1999）P50の表3-4-1の推定式に基づき、長短辺長等から推定する。
	④圃場間移動時間差：圃場群単位にみた圃場間移動距離及び移動速度に基づいて推定する。
	⑤その他の作業時間差：作業回数差等に基づいて畦畔除草、追肥、除草剤散布、防除等の追加作業時間を推定する。
	⑥圃場別労働費差：1時間当たり労働費に上記③～⑤の時間差の合計値を掛けて求める。
	⑦資材費差：圃場条件差に基づく追肥、除草剤散布、防除の費用差を経営者に尋ねる。
事前に設定しておくデータ	1kg当たり平均米価、1時間当たり労働費、想定する圃場作業機の有効作業速度、有効作業幅、枕地回行作業時の行程数、往復作業時の平均巡回時間、枕地回行作業時の平均巡回時間、苗補給時間、圃場内糞搬出時間、作業機の平均移動速度
評価に必要な入力データ	圃場面積、長短辺長、圃場群内平均圃場間移動距離、自宅圃場群間移動距離、圃場群間移動距離、水稲単収、追加追肥・除草剤散布・防除作業回数、1日当たり圃場見回り回数、年間圃場見回り日数、圃場条件差に基づく追肥・除草剤散布・防除の費用差

表2-5 水稲作の圃場別作業時間の推計式

作業名	作業時間の推計式			
a. 耕起作業（単位：分） （作業者：オペ1）	$((xy/vw + ((x - 2nw)/w - 1)t_1 + 4nt_2)/(60xy/1000)) + t_e$			
b. 整地作業（単位：分） （作業者：オペ1）	$((xy/vw + ((x - 2nw)/w - 1)t_1 + 4nt_2)/(60xy/1000)) + t_e$			
c. 代かき作業（単位：分） （作業者：オペ1）	$((xy/vw + ((x - 2nw)/w - 1)t_1 + 4nt_2)/(60xy/1000)) + t_e$			
d. 田植え作業（単位：分） （作業者：田植機オペ1、 補助・苗運搬補助2）	$((xy/vw + ((x - 2nw)/w - 1)t_1 + 4nt_2)/(60xy/1000)) + t_e + t_c \times 3$			
e. 収穫作業（単位：分） （作業者：コンバインオペ 1 補助・初運搬補助1）	$((xy/vw + ((x - 2nw)/w - 1)t_1 + 4nt_2)/(60xy/1000)) + t_e + t_c \times 2$			
〈推計式に用いた変数の定義〉		〈使用した数値〉		
x：圃場短辺の長さ(m)；圃場面積／長辺長		N経営の圃場データ		
y：圃場長辺の長さ(m)；圃場図から計測		N経営の圃場データ		
		耕起 整地 代かき	田植え 収穫	
〈推計式に用いた変数の定義と使用係数値の引用文献〉				
v：有効作業速度(m/s)；東北農業試験場研究資料第21号p39表		0.42	0.45	0.55
w：有効作業幅(m)；同上p39表		2.00	1.80	1.20
n：枕地回行作業時の行程数（回）；2回とする。		2	2	2
t ₁ ：往復作業時の平均旋回時間(s)；北陸農試経営研究資料第40号p24表		30	30	25
t ₂ ：枕地回行作業時の平均旋回時間(s)；同上p24の表		40	40	16
t _c ：苗補給時間（分/10a）；同上p24の表		—	5.1	—
t _a ：圃場内初搬出時間（分/10a）；同上p24の表		—	—	8.0
t _e ：その他（調整、故障等）（分/10a）；同上p24の表		2.0	4.0	3.0

注: 1) 推計式は日本農作業学会編『農作業学』農林統計協会(1999) P50による。

2) v ~ t_e の値は、可能であれば、対象経営の実態調査データに基づいて設定するのが望ましい。

3) 不整形圃場の場合は、便宜的に最長辺を長辺とし、上式に従って短辺を求める(便宜的に整形圃場として処理)。

4) 推計式に使用した係数値は、圃場条件や使用機械によって設定値を変える必要がある(なおN経営の圃場別作業時間の推定ではどの圃場群も表中に示した値を使用した)。

して求める。まず、経営者に同一圃場群内にある全圃場を回るための最短のコースを尋ね、その場合の総道路距離を圃場地図を用いて計測する（ただし圃場の一辺や隅が他の圃場の一辺や隅と隣接している場合は圃場間距離を0とする）。そして、計測した道路距離を当該圃場群の総圃場数で割り、1筆当たりの平均移動距離（ $A : m / 1 \text{ 筆}$ ）を出す（N経営の場合は0～80 mの範囲にばらついている）⁷⁾。

ウ．次に、自宅（機械格納庫）から各圃場群までの距離を次のようにして求める。経営者に自宅から圃場群の中心地までの移動コースを尋ね（あるいは最短道路距離を地図上で計測する）、地図を用いて自宅・圃場群間距離（ $B : m$ ）を計測する（N経営の場合は600～5600 mの範囲にばらついている）⁸⁾。

エ．さらに、自宅から出発して全圃場群を回って自宅に戻ってくる場合の圃場群間の平均距離（ m ）を次のようにして求める。経営者に自宅から全圃場群（各圃場群の中心地）を回って帰る最短コースを尋ね、その道路距離を計測する。次に、ある圃場群Xが仮に無くなった場合（あるいは新たにできた場合）、それによってどの程度上記の道路距離が減少するか（あるいは増加するか）、計測する。そして、この道路距離を、当該圃場群Xが存在することによって必要となる圃場群間距離（ $C : m$ ）とする（N経営の場合、各圃場群の圃場群間距離は0～1200 mの範囲にばらついている）⁹⁾。

b. 作業機別の圃場間移動時間の推計

耕起、整地、代かき、田植え、収穫作業については、作業機に乗って自宅から任意の圃場群に行き、当該圃場群内の全圃場の作業を終え、作業機に乗って自宅に戻るものとする（作業が1日で終わらない場合は、作業機を残したまま車等で自宅に連れ帰ってもらうものとする）¹⁰⁾。この場合の圃場間移動時間は次のア～ウのようにして求める。

ア．圃場群内の圃場間移動時間（分/10a）は、圃場群内の圃場間の移動時の平均速度を X_1 （各作業機の平均速度（ $m / \text{分}$ ）を設定）とし、（圃場群内1筆当たり平均移動距離（ A ）/ X_1 ）/（当該圃場面積（10a））で求める。

イ．自宅から圃場群までの往復の移動時間（分/10a）は、移動時の平均速度を X_2 （各作業機の平均速度（ $m / \text{分}$ ）を設定）とし、（ $2 \times \text{自宅・圃場群間距離（} B \text{）} / X_2$ ）/（圃場群面積（10a））で求める。

ウ．ア＋イの時間が耕起、整地、代かき、田植え、収穫の5作業に必要なため、基幹5作業に関する圃場移動時間は、（ア＋イ） $\times 5$ で求める。

c. 水管理作業の圃場間移動時間の推計

水管理作業は、自宅を車で出て各圃場群と圃場群内の全ての圃場を回って、その日のうちに自宅に戻るものとする。この場合の圃場間移動時間は次のア～ウのようにして求める。

ア．圃場群内の圃場間移動時間（分/10a）は、圃場群内圃場間の移動時の平均速度を X_3 （ $m / \text{分}$ ）とすると、（（圃場群内1筆当たり平均移動距離（ A ）/ X_3 ）/（当該圃場面積（10a））で求める（なおここでは水量調整等に要する10a当たり水管理時間は全圃場で同じとする）。

イ．圃場群間の移動時間（分/10a）は、移動時の平均速度を X_4 （ $m / \text{分}$ ）とすると、（圃場群間距離（ C ）/ X_4 ）/（圃場群面積（10a））で求める。

ウ．したがって、年間の10a当たり水管理作業時間は、（ア＋イ） $\times 1$ 日当たり平均見回り回数 $\times$ 見回り期間（日）で求める。

③その他の作業時間の推計

a. 畦畔除草作業時間（分／10a）については、圃場周辺の畦畔の平均幅を30cmとし、 $0.3 \times (\text{長辺 (m)} + \text{短辺 (m)}) \times 2 / (\text{圃場面積 (10a)}) \times \text{除草回数} \times \text{作業時間 (分/m}^2\text{)}$ で求める。

b. 圃場によって施肥回数に差がある場合、余分に必要な追加追肥作業時間は、経営者から1回当たりの10a当たり追肥時間を聞き、1回当たりの10a当たり追肥時間（分） $\times$ 追加追肥作業回数で求める。

c. 圃場によって除草回数に差がある場合、余分に必要な追加除草作業時間は、経営者から1回当たりの10a当たり時間を聞き、1回当たりの10a当たり作業時間（分） $\times$ 追加作業回数で求める。

d. 圃場によって防除回数に差がある場合、余分に必要な追加防除作業時間、経営者から1回当たり10a当たり防除時間（分）を聞き、1回当たりの10a当たり防除時間（分） $\times$ 追加防除作業回数で求める。

④上記のようにして求めた各種労働時間を用いて、圃場別の労働時間差（各圃場の10a当たり労働時間－全圃場平均の10a当たり労働時間）を計算し、これに1時間当たり労働費（1666円／10a）を掛けて、10a当たりの圃場別労働費差を求める。

(3) 10a当たり資材費差

①圃場ごとの肥料費に、圃場条件差に基づく差がある場合、経営者にその差額（円／10a）を尋ねる。

②圃場ごとの除草剤費に、圃場条件差に基づく差がある場合、経営者にその差額（円／10a）を尋ねる。

③圃場ごとの防除費に、圃場条件差に基づく差がある場合、経営者にその差額（円／10a）を尋ねる。

④上記のようにして求めた値を用いて、圃場別の資材費差（各圃場の10a当たり資材費－全圃場平均の10a当たり資材費）を計算し、10a当たりの圃場別資材費差を求める。

4) N経営への適用

上述してきた圃場評価のやり方に基づいて、圃場ごとの土地純収益差を計算することができる。表計算ソフトウェアを利用し、各セルに上述してきた計算式および、計算式に使用するデータ等（表2-5、表2-6）を入力しておくことによって、最終的に圃場ごとの土地純収益差を求めることができる。これを、N経営に適用し、その計算結果を地図化すると、図2-4のようになる。圃場条件の違いを反映し、圃場間で土地純収益に差があることが分かる。N経営の全圃場について比較すると、最大で10a当たり3万円程度の差異が発生している。このように、圃場ごとの土地純収益差を推計してそれを地図化することにより、収益的に見て問題になっている圃場が一目瞭然となり、借入圃場の借り換えや借地料水準の見直し等を行う際に参考となる。

5. おわりに

本章では、大規模水田作経営における圃場情報の管理の仕方について論述してきた。その内容は大きく次の3つに整理できる。

第1は、圃場情報管理システムを構築することの重要性についての指摘である。三和村のN経営の聞き取り調査等により、①圃場によって区画条件、土壌条件、用排水条件、単収水準等が相違し

表2-6 N経営の土地純収益差の計測に用いたその他の係数値

項目		設定した係数値
移動速度	圃場群内移動速度	作業機の場合：60m／分 軽トラ・トラックの場合：60m／分
	圃場群間移動速度	作業機の場合：340m／分 軽トラ・トラックの場合：500m／分
1回当たりの作業時間	1回当たり追肥時間	20分／10a
	1回当たり除草剤散布時間	30分／10a
	1回当たり防除時間	5分／10a
	1回当たり畦畔除草時間	0.5分／m ²
作業回数	追肥・除草剤散布回数	減水深の大きい圃場群で他の圃場群よりも1回多くなるように設定
	畦畔除草回数	年3回
	水回り日数	年120日
	1日平均水回り回数	圃場群によって0.5、1.0、1.5回／日のいずれかを設定

注：ここで使用した数値はあくまで仮の数値であり、分析対象経営の実測値等に基づいて設定するのが望ましい。例えば、ここでは、軽トラ・トラックの圃場群内移動速度は、近隣の圃場1筆ごとに諸作業を行いながら移動することを想定し、60m／分と低速に設定している。また、作業機は40PS以上のトラクタを想定している。

ていること、②圃場数が100筆を越すような経営では圃場別の作業スケジュール管理が重要になっていること、③圃場条件によって借地料水準に差を設けたり、圃場の購入や交換耕作等を行うなどして圃場の集積に努めていることを明らかにし、大規模水田作経営においては各種圃場情報を地図情報として可視化する圃場情報管理システムの導入の必要性が高いことを指摘した。

第2は、市販のGISソフトウェアを用いた圃場情報の地図化手法についてである。圃場情報を地図化するには、①市町村図と圃場図をスキャナーで取り込む、②パソコン上で圃場図を市町村図の中の該当位置に貼り付ける、③対象経営の個々の圃場を②の圃場図上にポリゴンとして登録する、④圃場1筆ごとの情報と各ポリゴンを1対1に対応させる作業が必要になる。こうした手順を踏むことにより、圃場情報を比較的簡易に地図化することができることを具体的に示した。

第3は、水田圃場の経済価値の相対的な優劣の推定手法についてである。推定作業では、①評価対象とする圃場の水稲単収、圃場面積、圃場長・短辺長、圃場間移動距離等のデータ等を収集する、②事前に設定した計算式と①のデータ等を用いて、圃場別の10a当たり粗収益差、労働費差、資材費差等を推計することにより、各水田圃場が有する経済価値の相対的な優劣（10a当たり土地純収益差）を評価することができる。

以上、本章では、圃場情報の管理と利用に関して、主に圃場情報の地図化と圃場評価の二つの側面から検討してきた。圃場情報管理システムでは、圃場における作業管理や生育状況の把握といった技術データに加え、貸借や購入といった経済データを効果的に管理し、それを生産管理や財務管理を含む経営管理の場面にどのように活用していくかがポイントとなる。本章でこれまで論述してきた内容は、そうした圃場情報管理システムの構築に向けた一つの試みであり、細部についてはより一層検討を加え、体系化した圃場情報管理システムとして完成度を高める必要があると考えている。この点については今後の課題としたい。

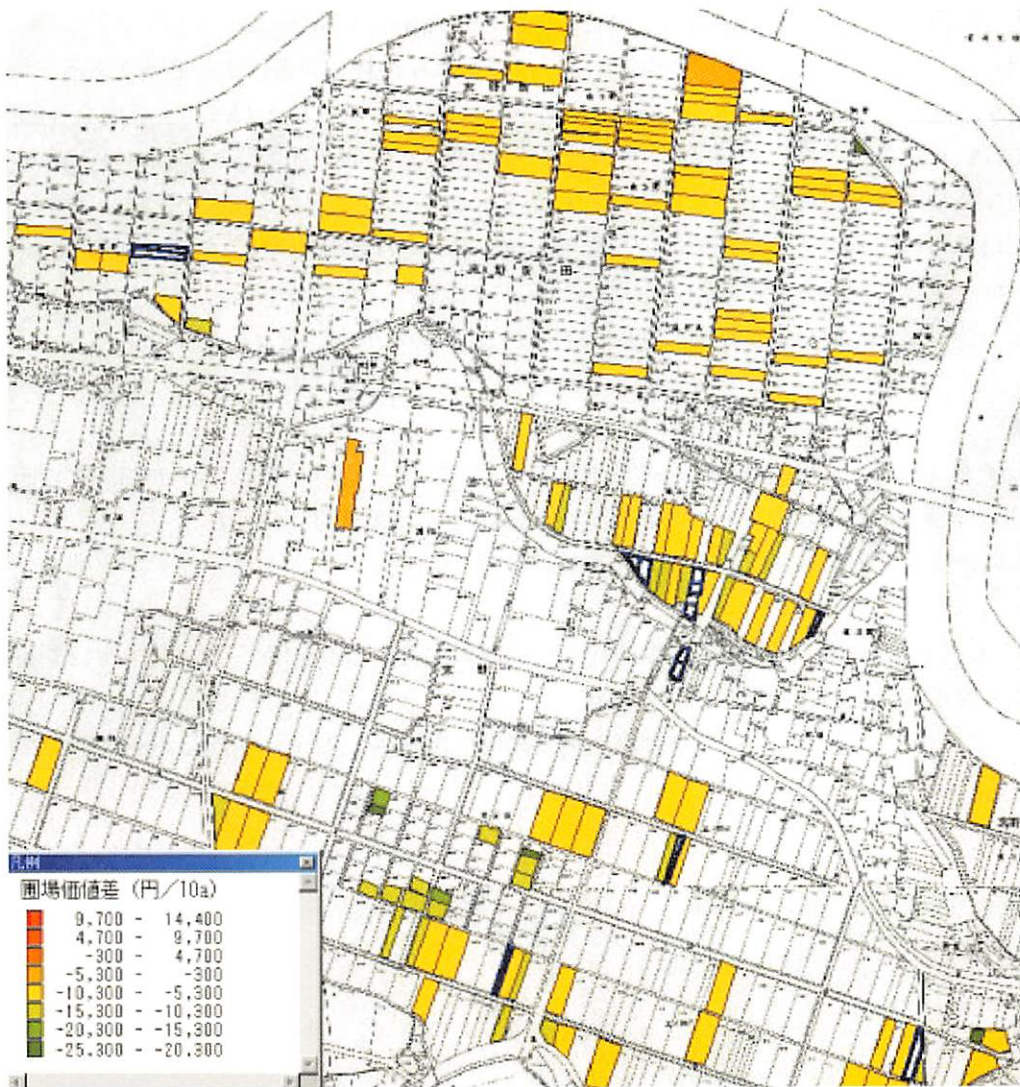


図2-4 N経営における圍場別の土地純収益差（圍場価値差）

注

- 1) 詳細は引用文献 [1] を参照のこと。
- 2) N経営では、複数の臨時雇用オペレータに各種圍場作業を指示するため、作業実施圍場と作業内容を色塗りで示した圍場図を手渡している。
- 3) Mapinfoの操作の詳細はマニュアル等を参照のこと。
- 4) ここでは、評価対象とする圍場の水稲単収、圍场面積、圍場長・短辺長、圍場間移動距離等の各種圍場データを用いて、個々の圍場の10a当たり土地純収益差を推計する手法を提示する。
- 5) 10a当たり減価償却費は全ての圍場で等しいので圍場間差は生じず、物財費差については減価償却費を除いた資材費差のみに注目すればよい。
- 6) 詳細は引用文献 [2] を参照のこと。
- 7) ここで着目している圍場群内の圍場間距離は圍場間の位置関係によって定まるため、個々の圍場固有の圍場間距離を求めることは適当でないと考え、圍場群内の全圍場が同じ値となるような、こうした圍場1筆当たりの平均移動距離に注目している。

- 8) 自宅と圃場群を往復する作業もあるので、このような距離を計測する。
- 9) 水回り等、1日で全圃場を移動する場合は、このような距離を問題にする必要がある。例えば、自宅から遠い圃場群があったとしても、別の圃場群がその近くにあれば、実質的な移動距離の負担は大きくない。逆に、自宅に比較的近い圃場群でも、他の圃場群と離れている場合は、実質的な移動距離の負担は小さくないこともある。そこでここでは、水回り等を行う場合の任意の圃場群の負担すべき移動距離は、当該圃場群も含めた全圃場群を巡回する移動距離から他の圃場群をすべて巡回する移動距離を引いた距離とした。
- 10) なお、迎えに車を使用した場合の移動時間は無視する。

6. 文献

- 1) 細山隆夫（2000）大規模借地経営の農地集積と農地管理・利用—農地の借り手市場化地域、三和村・N経営を素材として—、北陸農試農業経営研究，第57号，50-82.
- 2) 日本農作業学会編（1999）農作業学，農林統計協会，50.

〔付記〕三和村全図およびN経営の圃場図、さらに圃場1筆ごとの面積データについては細山隆夫氏が調査・収集したものを使用させて頂いた。

（実施課題名：圃場情報管理システムの構築（1998年、2000年）

3章 圃場・作物情報収集システムの開発

○杉本 光穂・柴田 洋一・帖佐 直・大嶺 政朗・小林 恭・
佐々木良治・鳥山 和伸

1. 背景と目的

稲作では、稲体の窒素吸収量は収量や品質に及ぼす影響が大きいため、水稻生育の指標として極めて重要である。稲体の窒素吸収量を制御するためには、圃場の土壌肥沃度（地力窒素）や生育途中での稲体の窒素吸収量を把握し施肥量を適切に制御する必要がある。しかし、大区画圃場では地力ムラのある場合が多く局所管理が必要となり、圃場・生育情報の収集点数は小区画水田と比較してはるかに多くなる。そこで、省力的で迅速な計測技術の開発が望まれる。

圃場情報収集技術としては、近赤外分析計を用いて土壌に白色光を照射し2波長の光の反射率から回帰式を介して土壌全窒素濃度をリアルタイムに計測する技術を開発している（4章参照）。この分析計により圃場の地力マップを作成するのに必要な試料数を迅速に計測できるようになる。しかし、この分析計の処理能力と比較すると慣行の土壌採取作業の能率が低いため、省力的で効率的な土壌採取技術の開発を行う必要がある。

生育情報としては、水稻群落の画像情報が多様な情報を大量に含むため生育環境や生育状態を把握するには効果的である。画像情報の利用は、衛星によるリモートセンシングや航空機による撮影等による植生地図等があげられる。しかし、これらの方法では気象条件の影響を受けやすいこと、1画像あたりのコストが高いこと、圃場内の局所管理を行うために十分な画像分解能が得られにくいことなどの問題がある。また、無人ヘリの利用には操縦の熟練が要求され、操縦者のほかに撮影機器の制御や安全確認などの人員が必要であるなどの問題がある。

一方、CCD カメラによる画像情報、GPSによる位置情報や群落葉色計による水稻の葉色情報等センシング技術の発展は目覚ましい。たとえば、画像による水稻の生育推定の研究には、クレーンを利用した高所からの近赤外フィルムによる植被率計測（林ら 1993）、デジタルカメラによる植被率計測（長谷川ら 2001）の報告がある。また、広範囲の葉色を隔測することができる群落葉色計（Takebeら 1990）がある。しかし、これらの研究では、圃場内の生育ムラを把握するために必要な位置情報との結合に関しては触れられていない。

そこで、本研究ではこれらの情報を統合して圃場内を移動するシステムを開発し地上ベース（地上から数m以内）の生育情報の収集が可能となるシステムの開発を目的とする。さらに、収集された土壌肥沃度や生育情報について圃場内のムラとして把握するため、視覚的にムラを把握し局所管理技術に結びつけるための地図化手法や、苗立ち数や植被率を計測するための画像処理手法を含んだ生育情報の解析手法の開発を行う。

2. 要素技術の開発

本研究では、1haの大区画水田を対象に水稻局所管理システムに必要な圃場・生育情報を地上ベースで収集するために、先ず下記に示す要素技術による省力的で迅速な情報収集技術の開発を行った（図3-1）。なお、管理単位（以下、メッシュ）は定幅散布機（11章参照）の作業幅（10m）を基準に10m×10mをとした。

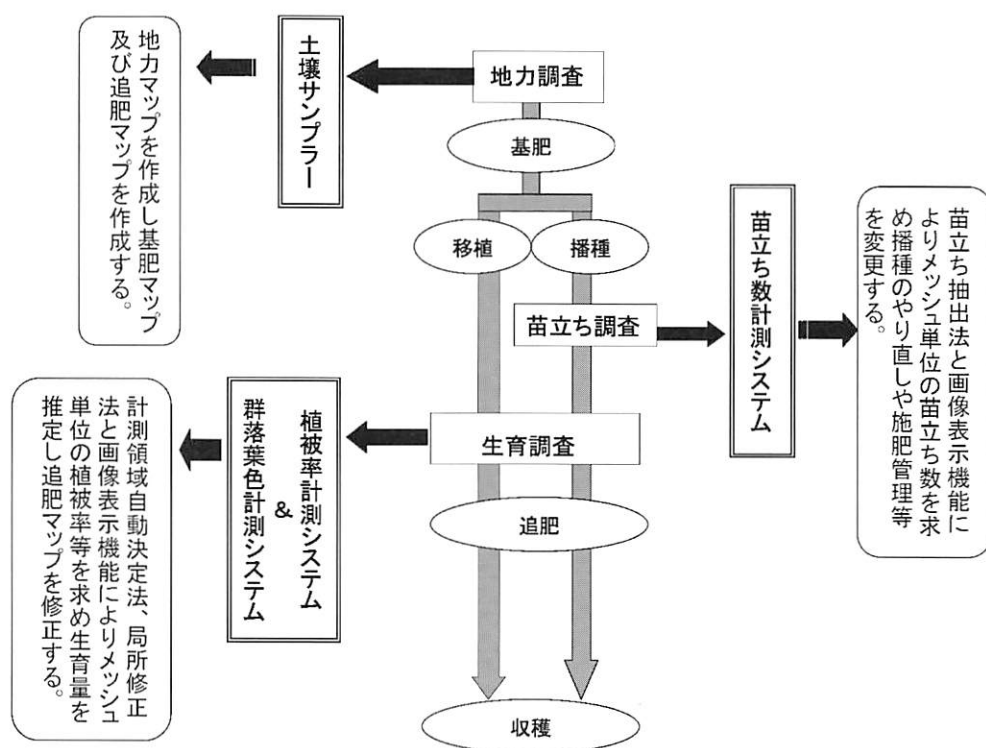


図3-1 開発した要素技術と局所管理システムとの関係

なお、図中の苗立ち数計測システムと植被率計測システムは計測システムは「苗立ち数・植被率汎用計測システム」(図3-5 (b))として統合化し、さらに同システムの低コスト化を図り「簡易型画像収集システム」(図3-6)を開発した。

1) 地力情報収集装置の開発

局所管理システムでは、全メッシュの地力窒素の情報が要求され、1メッシュ1点としても1haの圃場で100点の土壌採取が必要となるため、効率的に作土を採取できる土壌サンプラーの開発が必要である。土壌サンプラーは油圧シリンダとそのピストンロッド先端に取り付けられる採土円筒から構成され(図3-2)、油圧装置を有したトラクタの3点リンクに鉛直下向きに固定され、シリンダの昇降制御はトラクタ本体の油圧制御機構で行う。

採土円筒は容易に着脱できるようにピンの抜入方式として、採取土壌は採土円筒ごとに保存できる。また、採土円筒の大きさは全長400mm、外径60mm、内径52mmであり、円筒の底から上部にかけて縦方向に全長の2/3ほどの切れ目を設け付属の開溝具を用いて切れ目を押し開くことにより、円筒から容易に土壌を取りだすことができる。採土円筒は弾性のある透明な合成樹脂製で、採土長さを外側から把握することができる。

2) 生育情報収集システムの開発

生育情報収集・処理システムは圃場内を移動しながら位置や画像情報等を収集し時間のかかる画像処理等は圃場作業後に実施するシステムであり、その構成を図3-3に示す。情報収集ブロックでは、デスクトップ型パソコン(CPU 266MHz)に4入力ビデオキャプチャーボード(canopus社製 Power Movie PCI)と2入力AD変換ボードを装着した。ビデオキャプチャーボードを介しCCDカメラから画像情報を、RS-232Cを介しRTK-GPS(精度(CEP)2cm)から位置情報を入力する。さらに、別のRS-232Cを介し群落葉色計測システムからは葉色情報を入力できるほか、

AD変換ボードによりアナログセンサからの情報を入力することができる。

計測開始前の主な設定は計測間隔と計測項目である。情報収集のための計測間隔の設定は、時間モード、移動距離モード、スナップショットの3モードを選択できる。時間モードは1秒以上の秒単位で、移動距離モードはm単位で任意の数値を設定できる。なお、移動距離はGPSの位置情報により計算する。また、4台のCCDカメラ、群落葉色計測システムおよびAD変換ボード（2入力）の項目から計測に必要な項目だけを選択することができる。

入力される画像情報は連続した番号名がつけられ、対応した位置情報や他の生育情報とともに関連付けられてデータファイルに記憶され管理する。また、情報処理・解析機能としては、画像合成機能、苗立ち数・植被率計測のための画像処理機能、さらには生育情報の地図化機能を持たせた。これらの機能については後述する。

（1）苗立ち数計測システムの開発

直播水稻における苗立ち数は分げつの最終節位と関係があり、苗立ち数から推定される最高茎数による収量や倒伏等の予測に基づいて直播水稻の局所管理を行う上で、その計測システムの開発は重要である。そのため、安定した画像を撮影するために必要な撮影システムを開発した。

カラービデオカメラ1台（SONY社製 DCR-TRV10）を使用し計測領域を遮蔽板（移動暗室）で覆うことで自然光の影響を排除し、2つの人工灯（LPL社製 コピーライトFCL-415）により暗室内を照明することで安定した画像を収集する暗箱方式（図3-4）である。移動暗箱は、底面の一辺が外寸900mmの四角錐形で、圃場に触れる底面を除く他の面は遮光のため板で覆い、上底の中央にビデオカメラを取り付ける。トラクタの3点リンクに取り付けた専用フレームの末端に移動暗箱を吊り下げトラクタの油圧制御機構により昇降させる。画像収集方法は、移動暗箱が撮影位置の頭上に来たところでトラクタを停止させて移動暗箱を降ろし、移動暗箱の底が土壌中に沈み外部からの光が遮蔽されたことをモニターで確認し撮影する。このときのカメラ高さは約1100mmとなる。



図3-2 開発した土壌サンプラーとその作業風景

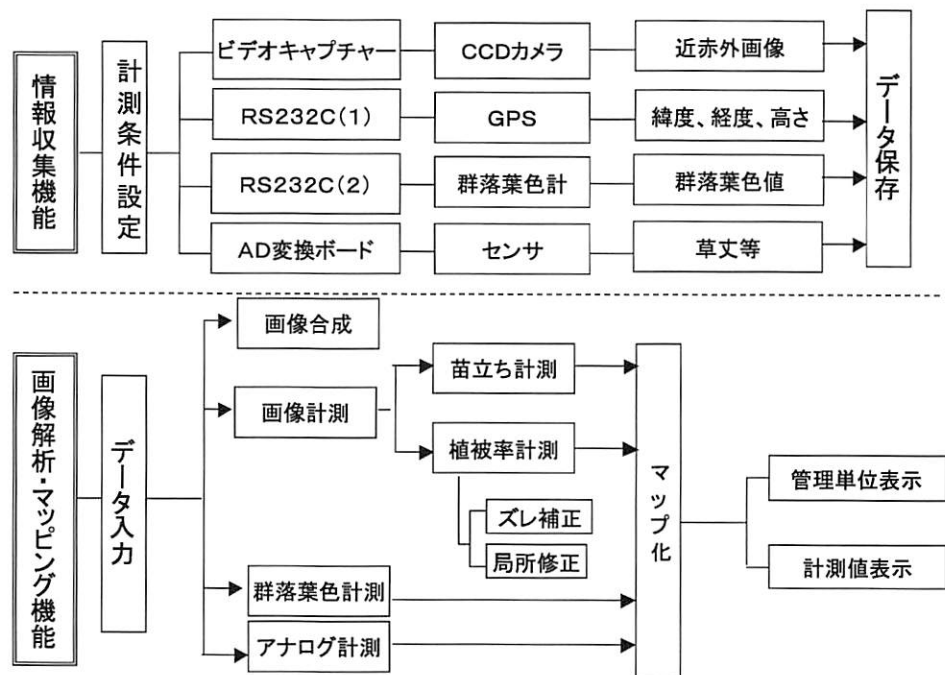


図3-3 生育情報収集システムの機能の概要

情報収集機能は圃場での収集時に必要な機能をまとめ、画像解析・マッピング機能は室内での解析等の機能をまとめた。



図3-4 苗立ち計測数システムの概要

(2) 植被率計測システムの開発

植被率は葉面積指数（以下、LAI）や稲体窒素吸収量と相関があり水稻の生育状況を非破壊計測するに適しているため、植被率を計測するための撮影システムを開発した。支柱の先端にカラービデオカメラ（SONY社製 DCR-TRV10）1台を鉛直下向き固定して、その真上にGPSアンテナを取り付けた構造であり（図3-5-(a)；以下、高所カラー画像方式）、トラクタにより移動する。支柱の昇降、旋回は、手動式の油圧シリンダにより操作でき、撮影時のカメラ位置高さは5.2mであ

り、撮影範囲は約6m×7mである。

(3) 苗立ち数・植被率汎用計測システムの開発

苗立ち数と植被率を一つの計測系で計測するため、近赤外画像の撮影装置を開発した。水平方向バー（長さ8m）の端にGPSアンテナを取り付け、GPSアンテナを基点に0m、2m、6m、8mの水平距離で計4台のCCDカメラ（TAKEX社製 TM-7EXI）を鉛直下向きで配置した（図3-5-（b）（以下、近赤外方式）。なお、CCDカメラに800nmのバンドパスフィルター（日本真空光学（株）製 DIF-BPF）を装着し近赤外画像を撮る。水平方向バーはワイヤにより振動しないように固定され、トラクタの水平制御機能によりバーの水平を維持する。焦点距離8mmレンズをCCDカメラに取り付けカメラ高さを2.5mに設定した場合に、4台のCCDカメラによる画像撮影幅はトラクタ中心部の2mを除く約10mの領域となる。

(4) 簡易型画像収集システムの開発

近赤外方式の小型軽量・低コスト化を目的として画像収集のみに機能を限定し1台のCCDカメラとD-GPS（CEP75cm）から構成される簡易型画像収集システム（図3-6）を開発した。このシステムでは、画像入力1チャンネルとなるがPCカードタイプのビデオキャプチャーを用いるこ

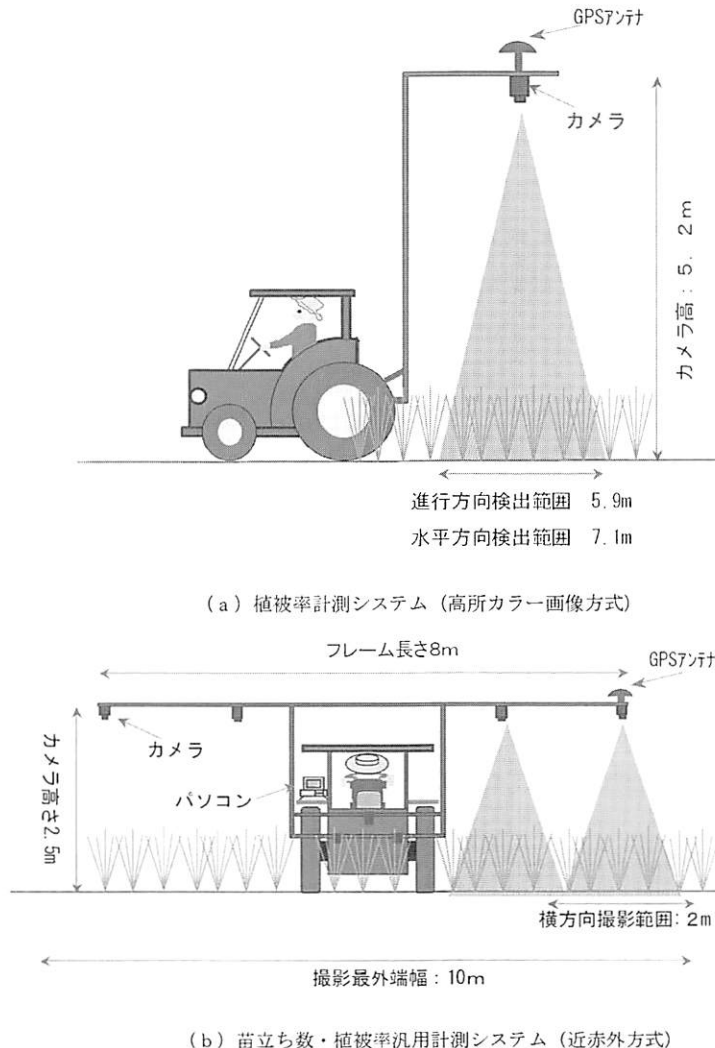


図3-5 生育情報収集システムで開発した試作機の概要

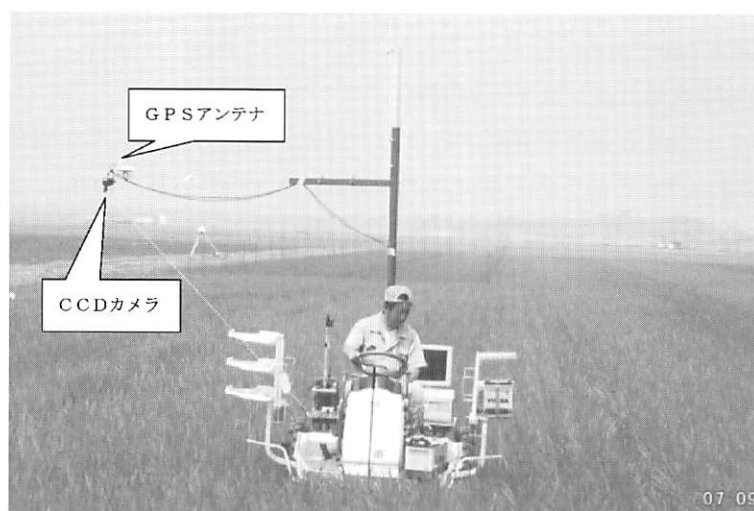


図3-6 開発した簡易型画像収集システムとその作業風景

とができるようになりノート型パソコンで操作する。このような小型軽量化により計測の取扱いが簡便になり、かつ田植え機への取り付けが可能となりトラクタと比較して水田での機動性も向上し、制作コストも材料費のみで80万円程度に抑えられる。

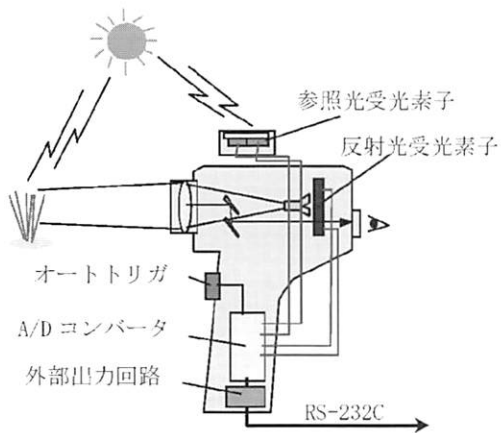
(5) 群落葉色計測システムの開発

水稻の葉色は、生育状態を把握するうえで重要な情報のひとつであり、例えばいもち病の感受性推定の指標となる可能性がある（6章参照）。葉色計測手法としては、一般に接触式葉緑素計を用いるが、水稻の葉を1枚ずつ挟む必要があるため、局所管理システムでは困難である。そこで、Takebeら（1990）が開発した群落葉色計（原型機）を改良し生育情報収集システムと共有できる群落葉色計測システムを開発した。原型機は、計測者がトリガを押しファインダー内に表示される計測値を読み取る方式であった。そこで、計測制御方式にタイマリレー制御を追加しさらに外部出力回路（RS-232C）を介してパソコンと接続できるように改良した1号機（図3-7）を試作し、生育情報収集システムのパソコンにつなぐことで群落葉色の自動計測・出力・記録を可能とした。ただし、計測伝達方式は0.7秒間隔で連続的に群落葉色値を出力しており、パソコン側で位置情報と関連付けるためGPS情報入力後の最初の群落葉色値を記録することとした。

2号機（図3-8）は、生育情報収集システムへのより一層の統合を図るためにパソコンからのコマンド制御による通信機能を追加することでGPSの位置情報収集と群落葉色計測を同期させることができ、より正確な計測位置を求めることができる。また、2号機では、群落観測センサと参照光センサが独立している。なお、最適な計測条件は日中晴天時相当の照度50,000lx以上である。計測群落との相対的位置関係は、地上高約1.5m、計測領域までの距離は約5mであり、そのような計測条件になるように群落観測センサを生育情報収集システムのフレームに取り付けた。

3) 画像解析手法の開発

苗立ち数計測や植被率計測は非破壊計測手法として有効である。しかし、圃場における撮影では走行しながらの撮影であること、1圃場での撮影時間中に照度変動すること等の理由により画像の撮影条件が安定しない。特に小さい葉や草冠下の葉の抽出精度は撮影条件に影響され易く、そのために苗立ち数計測精度や、植被率と葉面積指数あるいは植被率と窒素吸収量との回帰式の信頼性に影響する。そのため、計測対象群落と計測領域のズレや画像のコントラストの不安定さによる計測精度の低下に対応するための画像処理手法を開発した。



群落葉色値は次の式で算出する。

$$\text{群落葉色値(Canopy Green Index)} \\ CGI = \frac{\rho_{800 \text{ nm}}}{\rho_{550 \text{ nm}}} \times 10$$

なお、波長Xnmの反射率 ρ_{Xnm} は、
反射光量 R_{Xnm} 参照光量 I_{Xnm} とすると、

$$\rho_{800 \text{ nm}} = R_{800 \text{ nm}} / I_{800 \text{ nm}}$$

$$\rho_{550 \text{ nm}} = R_{550 \text{ nm}} / I_{550 \text{ nm}}$$

で示される。

図3-7 群落葉色計測システム (1号機)

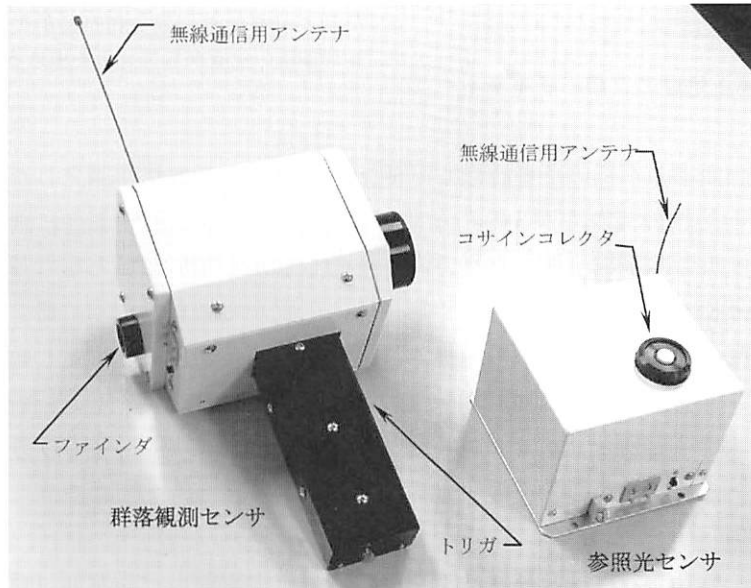


図3-8 群落葉色計測システム (2号機)

(1) 苗立ち抽出法

直播水稻における初期の苗の抽出は、苗を強調するため原画像に対してエッジ処理を行った後に判別分析法による2値化により苗を抽出する。苗立ち数の計測は、抽出画像にラベリングを行い、抽出1個体を苗1個体としてカウントするが、計測領域の境界線に交わる抽出個体については抽出1個体を苗0.5個体とする。なお、エッジ処理には 3×3 画素の2次微分フィルタ（ラプラシアンフィルタ）を用い、その計算式は

$$fl(x, y) = 9 \times f(x, y) - (f(x-1, y-1) + f(x-1, y) + f(x-1, y+1) + f(x, y-1) + f(x, y+1) \\ + f(x+1, y-1) + f(x+1, y) + f(x+1, y+1))$$

とした。なお、 $fl(x, y)$ は座標 (x, y) のエッジ処理後の輝度、 $f(x, y)$ は座標 (x, y) のエッジ処理前の輝度である。

(2) 計測領域自動決定法

移植水稻における画像収集では、トラクタの走行中にカメラと水稻の相対位置が変化するため計測領域を画面上に固定すると水稻群落と計測領域の相対位置が常に変化して植被率計測の誤差要因

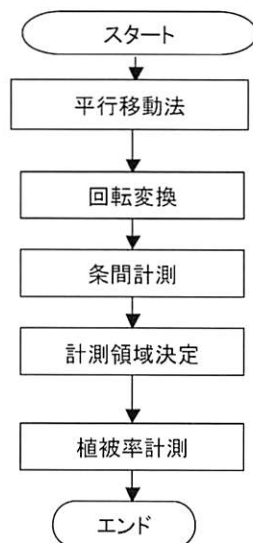


図3-9 計測領域補正処理のフローチャート

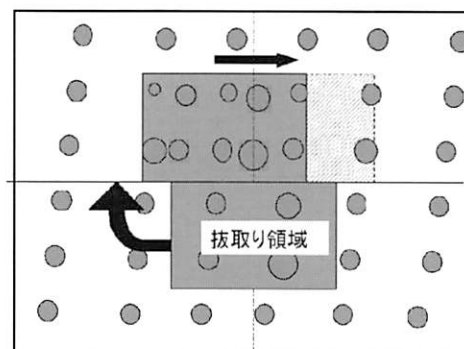


図3-10 平行移動法の概略

画面中央下に設定した矩形領域を画面中央の水平線上側を移動し、さらに水平方向に移動しながら矩形領域と重なる領域との輝度の差分和を計算する。差分和が最小になった時の矩形領域の位置からズレ角を求める。

となる。そのため、画面上の水稻の条を認識し計測領域を決定する方法を開発した。

計測領域自動決定の処理の流れを図3-9に示す。まず、図3-10に示すように画面中央下に設定した矩形領域を画面中央の水平線上側を水平方向に移動しながら矩形領域と重なる領域との輝度の差分和を計算し、差分和が最小になった時の矩形領域の位置からズレ角を求める。そして、画面中央部において平均輝度が最大値の列を条の中央、最小値の列を条間中央と推定し画面上の条間長さを計算する。計算した条間長さを基に条間中心が計測領域中心と重なるように計測領域を設定する。そして、計測領域の大きさは画面上の条間を基準として設定することで、CCDカメラの鉛直方向ブレによる画像のスケール変化の影響を緩和することができる。

(3) 局所修正法

穂肥前の水稻では、草冠下の水稻の輝度は暗くなり草冠上の水稻よりも水面（背景）の輝度に近くなる。一般に用いられている判別分析法による2値化では草冠下の水稻は背景に分割されるため、植被率から窒素吸収量を推定することが困難となる。そこで、コントラストが異なった画像でも安定した2値化が可能な可変閾値法を開発する必要がある。可変閾値法とは計測領域を局所領域に分割して局所領域ごとに閾値を決めて2値化を行う方法であるが、局所領域に分割する方法は特に決まっていない。一般的な可変閾値法では、計測領域を $X \times Y$ 個の局所領域に等分割し、局所領域の閾値は判別分析法により決定する。しかし、全局所領域において水稻と背景が正確に2値化できるように植被率計測時の画像を等分割することは非常に難しい。そこで、原画像の輝度の傾向を考慮した不定形局所領域による可変閾値法（以下、局所修正法）を開発した。

その処理の流れは図3-11に示す。画像の背景領域は小面積で多数に分裂しているため、個々の背景領域を局所領域として判別分析法による2値化を行う。再2値化は水稻を含んだ局所領域のみに行う必要があり、その判断のための基準値を設定する必要がある。一般に、ひとつの物体だけの領域に比べ複数の異なる物体が存在する領域では輝度のバラツキは大きい傾向にあり、境界線では大きい2次微分値を示す。そのため、局所領域について輝度特徴量や面積を計算し、これらの項目の関係より2値化を行うかどうかを判断する。水稻が含まれると判断した局所領域については判別分析法で2値化を行う。全ての局所領域が水稻を含んでないと判断されるまで繰り返す。

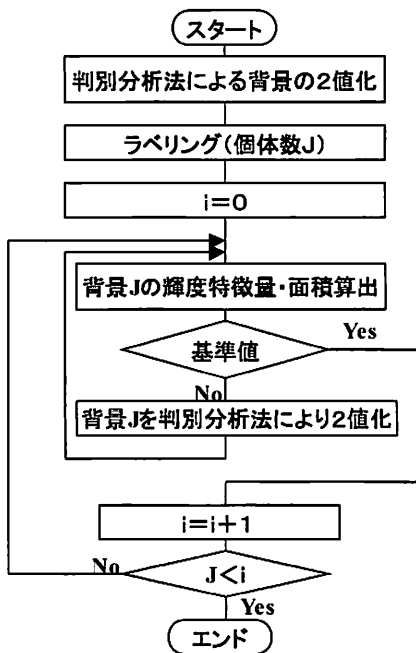


図3-11 局所修正法のフローチャート

4) 局所画像および局所計測情報の地図化技術の開発

(1) 画像合成機能

画像合成機能は、GPSの位置情報により各局所画像の中心座標と画像の向きを計算し合成画像を作成し、合成画像はモニタ画面に収まるよう最適の大きさに縮小して表示する。局所画像の中心座標は、レンズの光軸と地表の交点とし、計測前に設定したカメラ高さから算出する。合成する際の画像の重複部分については、先に撮影した画像と後の画像のどちらを上書きするかを選択できる。合成画像の任意の点をクリックすると同一地点の局所画像が拡大表示される。また、局所画像を撮影順に自動表示することもできる（柴田ら2000, 2002）。

(2) 地図表示機能

地図表示機能には、メッシュ単位で生育情報の平均値や標準偏差を計算し5段階表示する機能と、メッシュを拡大表示し計測位置と計測値を表示する機能を持つ。

地図を作成する手順は、まず圃場の大きさを四隅の緯度・経度により設定し、次にメッシュの大きさを圃場の長辺方向と短辺方向の長さをm単位で設定する。また、圃場の長辺方向の両端を枕地として枕地の大きさを圃場の長辺方向の長さとしてm単位で設定できる。なお、本機能では、全てのメッシュの大きさは同じとし、圃場の形状（あるいは表示領域）およびメッシュの形状は矩形に限定される。5段階表示の操作は、生育情報の平均値と標準偏差のどちらで表示するかを選択し、位置情報によりメッシュ毎にグループ化し計算した。そして、最小値から最大値までを5等分し、異なった色でメッシュを表示できる。また、表示色は入力画面から指定することができる。なお、生育情報項目は苗立ち数、植被率、葉色値とAD変換ポートから入力する計測値（2つまで）の計5つから設定できる。メッシュを拡大表示するためには、メッシュ上にカーソルを移動してクリックすることで、そのメッシュが拡大表示される。拡大表示されたメッシュの内の収集位置は○でプロットされ、その右下に計測値が表示されるようにしたが、収集位置の経度・緯度の表示機能はない。

情報収集用のプログラムと情報処理用のプログラムを各々独立して開発したため、圃場で収集した生育情報を室内に持ち帰り、情報処理は室内で行うことができる。これらのプログラムの開発言語は、画像合成機能の一部にVisual C++ ver5.0を使用しているが、残りはVisual Basic ver6.0を使用する。

3. 圃場試験の方法

1) 土壌サンプリング

土壌サンプラーによる作業能率等を検討するため1999年に実証試験を行う。実証試験における土壌採取の作業手順は、土壌サンプラーを装着したトラクタで圃場内を移動しながら採取地点で停止しシリンダに採土円筒を取り付け油圧の力で地中の所定の位置まで挿入し、その後引き抜き円筒内に充填した土壌を採取したのち移動する。

2) 苗立ち数計測

暗箱方式による苗立ち数計測では、1999年6月2日（品種：どんとこい、播種後15日）に大区画圃場の全面（長辺方向200m×短辺方向50m）においてメッシュ毎に1点（計100点）の画像収集を行う。各画像の中央部60cm四方について目視でカウントした数値を実測値とする。

一方、近赤外方式については、2001年6月4日（品種：どんとこい、播種後13日）に圃場の一部（長辺方向200m×短辺方向20m）において走行しながら4秒間隔で連続撮影を行う。圃場内に計測精度試験のために50cmの枠を水平方向バー両端のカメラ下に約10m間隔に計40個設置した。枠内の苗立ち数は、試験終了直後に圃場に入り人が数えた値を実測値とする。

両試験時の水深は全面に渡って地表面が隠れる程度とする。

3) 植被率計測

(1) 植被率と葉面積指数および窒素吸収量

散播水稻（品種：どんとこい）と移植水稻（品種：コシヒカリ）について近赤外画像から求める植被率と稲体窒素吸収量等の相関を調べる。試験は、表3-1に示すように2000年と2002年に播種密度、植付け本数と基肥量を数段階に変えた試験区を供試し幼穂形成期までの画像を経時的に撮影し2値化を行い植被率を求める。2000年は手動絞りレンズ（TAKEX社製 CS-614、焦点距離6mm）を、2002年は自動絞りレンズ（TAKEX社製 CL-814、焦点距離8mm）を使用する。なお、手動絞りレンズは計測中には絞り調整を行わないので、以下固定絞りと表現する。計測対象領域は、移植の場合2000年は2条×3株、2002年は2条×4株、散播の場合は50cm×50cmとし、計測対象領域が画像の中心にある状態でカメラ高約2.5mから撮影する。計測領域内の水稻は撮影後にすぐ抜き取り、葉面積計（林電工AAM-9）によりLAIを計測する。計測対象領域の大きさは稲体窒素吸収量等の計測にかかる作業量とレンズによる画面周辺の歪の影響を考慮して決定した。水深は全面にわたって地表面が隠れる程度とし、撮影時には水面に反射した太陽光が直接計測領域に入らないようにする。

表3-1 植被率計測に供試した圃場の条件

	品種	移植区 コシヒカリ	散播区 どんとこい
2000年	基肥窒素量 (g/m ²)	0、2、4、6	4、6
	播種量 (g/m ²)	—	2、4、6、8
2001年	基肥窒素量 (g/m ²)	0、2、4、6	4
	植付け本数 (本/株)	1、2、4、7	—
	苗立ち密度 (本/m ²)	—	24、48、 80、120、 140、200

(2) 大区画圃場連続計測

高所カラー画像方式は1999年に1ha圃場（200m×50m）長辺方向に走行し農道ターンをしながら、進行速度を0.33m/s、撮影間隔を4mに設定して画像収集を行う。近赤外方式は2002年に1ha圃場3枚（200m×50m1枚、125m×80m2枚）を供試し任意の速度で走行しながら画像収集を行う。なお、撮影間隔は4秒とする。さらに、2002年のデータを供試し計測領域自動決定法による植被率の精度について検討する。

4) 群落葉色計測

接触式葉緑素計（SPAD-502）と群落葉色計測システム2方式の計測精度の比較試験を行った。

1号機に対する試験は、2001年に追肥量を5段階に変えて葉色を制御した散播水稻（品種：どんとこい）を供試し、7月17日から8月3日の間に計7日計測する。1つの領域に対して1号機は30回、葉緑素計は同一領域の水稻を無作為に40回計測してそれぞれの平均を求める。2号機の試験では、2002年7月25日に基肥量と追肥量を10段階に変えて葉色を制御した移植水稻（品種：コシヒカリ）を供試し、1つの領域に対して2号機は10回、葉緑素計は同一領域の水稻株を無作為に3株採取しそれぞれの株を40回計測してそれぞれの平均を求める。

4. 結果および考察

1) 土壌サンプリングの機械化

実証試験は1999年に計7回行い、供試した圃場の土壌条件と試験結果を表3-2に示す。供試圃場は合計6圃場であり、土性で分類すると3圃場がHCであり、他の圃場はそれぞれLIC、CL、SLであった。総採取本数は386本となり、土壌の水分状態は29～52%（含水率）であった。土壌採取の成功率は95%であり、採取に失敗した土壌の含水比は高かった。表面滞水するほどの高水分土壌条件でなければ、引抜き時に採取土壌が脱落することなく、ほとんど1回の挿入で採取することができた。

採取作業は、トラクタのオペレータ1名と採土円筒の装着を行う作業員1名で行い、1点当たりの採取所要時間は約1分以下であり10mの移動時間を加えても2分以下であった。これは従来の人力方式の3倍以上の能率であり、大区画圃場で100点を採取するのに要した時間はわずか2時間となり大幅な作業短縮が可能となった。さらに、土壌サンプラーは鉛直方向に最大35cmまで土壌を採取することができるため、ほとんどの水田において下層土まで達するので、近赤外分析器により窒素含有率の深さ方向のプロフィールを作成することができる。また、円筒の底から上部にかけて縦方向の切れ目より、円筒から土壌を取りだすときに土壌構造を破壊することはなかった。

なお、採取位置計測は土壌サンプラーにその機能が無いため別作業として行う必要がある。しかし、生育情報収集システムのGPSとアプリケーションを使うことにより地図化処理を効率よく行うことができる。また、石礫の多い圃場では採土円筒を破損することがあり使用困難であり、また砂質土壌の圃場では引抜き時に円筒から土壌が脱落することがあった。

表3-2 土壌サンプラーの供試圃場と試験結果（1999年）

圃場名	採取日時	土性	面積 (a)	含水率 (%)	採取本数 (本)	採取成功率 (%)	作業能率 (分/本)
A	4月13日	HC	100	42～52	108	86	2.0
B	4月16日	LIC	3	32～42	31	96	1.4
C	4月19日	CL	100	36～39	50	100	1.6
D	4月20日	HC	120	43～48	31	97	1.5
E	4月20日	HC	70	41～47	28	89	1.4
F	10月22日	SL	30	29～36	30	100	1.7
A	10月27日	HC	100	データなし	108	100	1.1

2) 苗立ち数計測

試験条件と結果を表3-3に、暗箱、近赤外両方式で撮影した苗立ちの画像を図3-12に示す。供試圃場の水稻の葉齢は、両圃場とも不完全葉を第1葉として3.5齢であった。

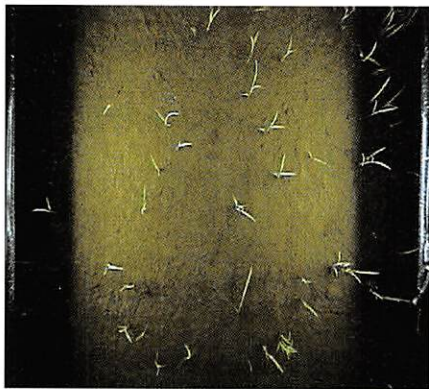
暗箱方式では、暗箱を下ろした状態でカメラの計測領域は移動暗室に覆われ外乱光の影響を受け

表3-3 苗立ち計測試験の結果

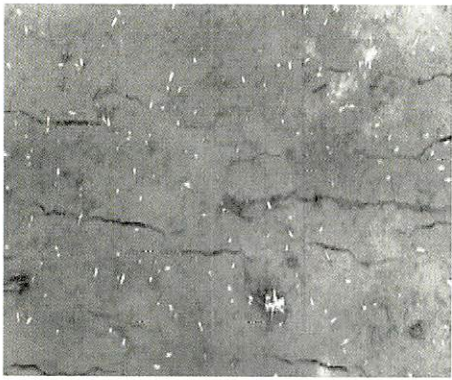
	1号機	2号機
画像	カラー画像	近赤外画像
撮影時光条件	遮光(暗箱)・照明使用	太陽光
計測領域	60cm四方	画面全領域可能 (通常2m×1.5m)
カメラ台数	1台	4台
対象葉令	～3.5葉	～3.5葉
計測能力(事例)	2.2時間/ha* 100画像/ha*	1.3時間/ha** 2300画像/ha**
その他	専用システム	生育情報収集システムと共有

*は圃場1haを10m間隔で計測した事例より

**は圃場40aを連続計測した事例より



(a) 暗箱方式で撮影した苗立ちの
カラー画像



(b) 近赤外方式で撮影した苗立ちの
近赤外画像

図3-12 苗立ち画像の一例

ず、200～800lxの比較的照度ムラの少ない60cm四方を計測領域とすることで安定した良質のカラー画像を得ることができた。一方、近赤外方式では、近赤外画像のため土壌の亀裂縁の輝度がカラー画像より強調されるため判別分析法や暗箱方式で用いたプログラムでは亀裂縁を水稻として抽出する画像が多数生じた。そこで、亀裂縁を抽出しないために、任意の原画像に対して計測領域内の平均輝度を計算する一方、閾値を変えながら目視で最適と判断した閾値を決定した。他の原画像に対しては平均輝度の変化量分だけ直線的に閾値を変化させて2値化を行った。領域境界線での処理は暗箱方式の場合と同じとした。

暗箱方式では1haの大区画圃場内の画像を100枚収集するのに2時間以上かかったが、近赤外方式では所要時間は1.3時間/haに短縮され、撮影画像数はカメラ4台使用のため2000枚以上となった。開発した画像処理手法では、はじめに画像の閾値を目視により設定する工程を必要とするが、亀裂の影響も少なくかつ大量の画像を短時間で計測することができた。

計測精度については、実測値と計測値の相関は近赤外方式 ($R^2 = 0.70$) と比較して暗箱方式では $R^2 = 0.95$ と高かった。計測精度の相違は、暗箱方式はカメラ高さが低いため解像度が高く、かつ亀裂がない安定した画像を収集したこと、原画像上で苗を目視で判別した個数を実測値としており、苗の水没、水のにごりなどで原画像を目視するだけでは判別できない苗が数えられていない点等が精度を高めた原因と考えられる。ただし、両方式とも局所管理を想定した4段階判定では目視

表3-4 苗立ち数計測システムの試験結果

			計測値(個体数/㎡)				正解率 (%)
			～ 30	31～ 50	51～150	151～	
暗箱方式	目視 (個体数/㎡)	～ 30	22	5	0	0	81.5
		31～ 50	2	19	5	0	73.1
		51～150	1	4	42	0	89.4
	平 均						83
近赤外方式	目視 (個体数/㎡)	～ 30	0	2	0	0	0
		31～ 50	0	1	2	0	33.3
		51～150	0	1	34	0	97.1
	平 均						87.5

注) ～ 30個体数/㎡: 過少苗立ち数

31～ 50個体数/㎡: 分けつ促進が必要な苗立ち数

51～150個体数/㎡: 正常苗立ち数

151個体数/㎡～ : 過剰苗立ち数

調査による判定精度は表3-4に示すように、近赤外方式は低苗立ちでは苗立ち数を過大評価する傾向があるものの、正常苗立ち領域を把握するうえでは問題は少ないと思われる。なお、4段階判定とは、実際の栽培管理では播種作業のやり直しや栽培中止の必要がある「過少苗立ち数」、施肥量調整による「分けつ促進が必要な苗立ち数」、通常の管理を行う「正常苗立ち数」、および倒伏等が心配される「過剰苗立ち数」の4段階を意味する。

苗立ち数計測のための画像装置は、撮影した画像の解像度の高さでは暗箱方式が優れているが、収集作業の所要時間が短いことや実用上の精度には差がないことから近赤外方式により生育情報収集システムとの共有化を図り効率的に収集作業を行うことが重要であると判断した。

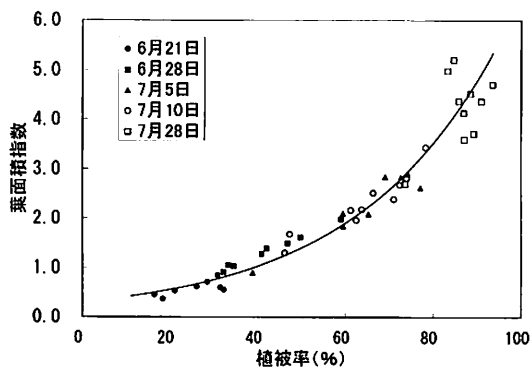
3) 植被率計測

(1) 植被率と葉面積指数および窒素吸収量

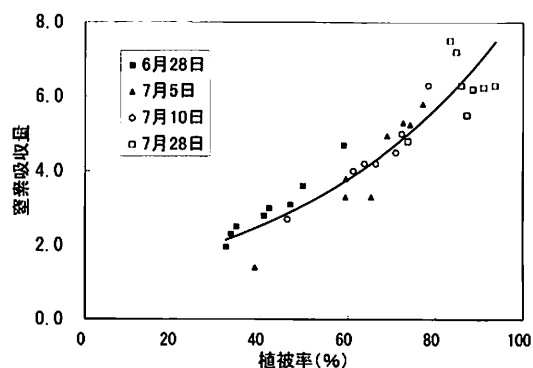
2000年の植被率と窒素吸収量との関係を図3-13と図3-14に示す。植被率とLAIの相関は移植水稻で $R^2=0.95$ 、散播水稻で $R^2=0.95$ 、また窒素吸収量との相関はそれぞれ $R^2=0.86$ 、 $R^2=0.89$ と高かった。しかし、図3-15に示すように2001年に同計測方法で撮影した移植水稻の植被率とLAIの関係を求めるとその相関は $R^2=0.89$ とやや低くなった。たとえば撮影日6月26日(図3-15のプロット■)では絞り調整がやや露出オーバーになっており植被率が他の撮影日より大きくなった。このように、手動による固定絞りでは撮影日ごとに水稻と背景の輝度がはっきりとした画像を撮ることができるように調整するが、人の感性によるところが大きく画像が安定しない場合が生じやすい。

一方、自動絞りを使用した2002年の植被率とLAIの関係を図3-16、図3-17に、植被率と窒素吸収量の関係を図3-18と図3-19に示す。判別分析法(図3-16～図3-19の(a))で求めた植被率との相関は、期間全体を通して相関は低かった。特に、計測後半になり、繁茂量が多くなると全データから求めた相関式から求めた数値より小さい値を示している。これは、草冠下の水稻葉の輝度は暗くなり抽出されないことが一因と考えられる。林らの報告(林ら、1993)でも植被率が高くなると欠落部分が若干増加することを指摘している。そこで、2002年度の同じ画像を供試し局所修正法により植被率を求めた結果を図3-16～図3-19の(b)に示したが、判別分析法と比較して相関が $R^2=0.86\sim0.90$ と高くなった。

なお局所修正法の閾値は次のようにして求めた。生育初期(6月10日)の散播画像では植被率も小さく(10%前後)、水稻同士は孤立しているため判別分析法でも正確に水稻と背景を2値化する



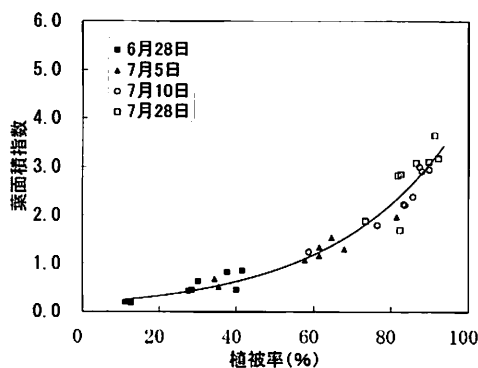
(a) 葉面積指数



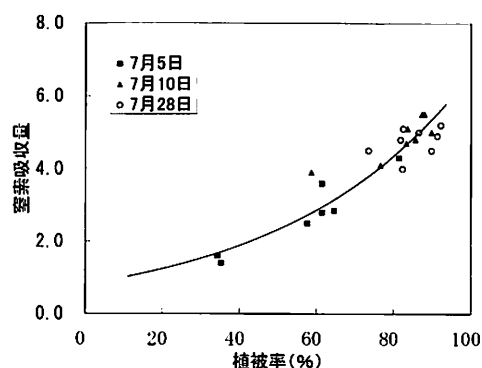
(b) 稲体窒素吸収量

図3-13 移植水稻（コシヒカリ）の植被率と葉面積指数および稲体窒素吸収量の関係（2000年）

全データの相関式と相関係数は(a) $Y=0.293e^{0.031X}$ ($R^2=0.95$) (b) $Y=1.131e^{0.020X}$ ($R^2=0.86$)である。
なお、判別分析法により植被率を求めた。



(a) 葉面積指数



(b) 稲体窒素吸収量

図3-14 散播水稻（どんとこい）の植被率と葉面積指数および稲体窒素吸収量の関係（2000年）

全データの相関式と相関係数は(a) $Y=0.177e^{0.032X}$ ($R^2=0.95$) (b) $Y=0.796e^{0.021X}$ ($R^2=0.89$)である。
なお、判別分析法により植被率を求めた。

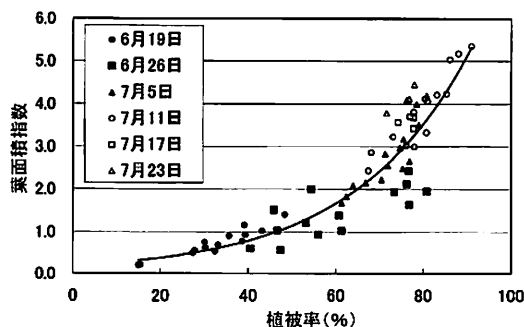


図3-15 移植水稻（コシヒカリ）の植被率と葉面積指数の関係（2001年）

全データの相関式と相関係数は $Y=0.175e^{0.038X}$ ($R^2=0.89$)である。
なお、判別分析法により植被率を求めた。

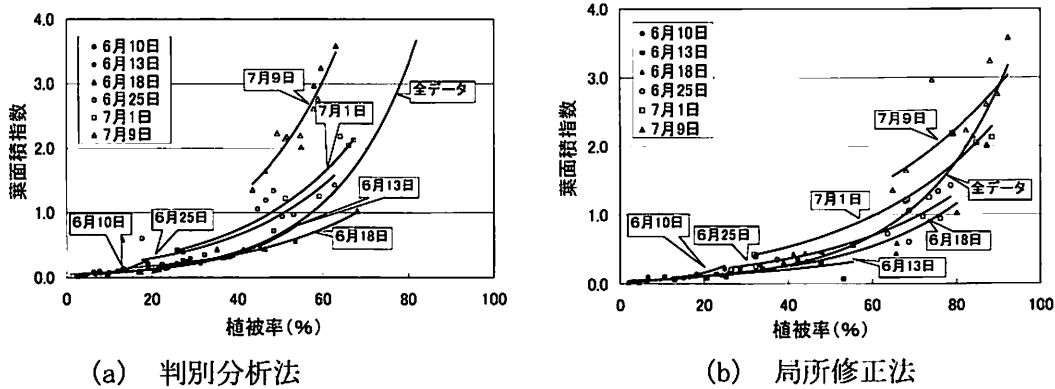


図3-16 散播水稻（どんとこい）の植被率と葉面積指数の関係（2002年）

植被率と葉面積指数の相関式と相関係数は次のとおりである。

6月10日のデータでは(a) $Y=0.019e^{0.140X}$ ($R^2=0.81$) (b) $Y=0.022e^{0.100X}$ ($R^2=0.74$)、6月13日のデータでは(a) $Y=0.042e^{0.055X}$ ($R^2=0.88$) (b) $Y=0.071e^{0.027X}$ ($R^2=0.29$)、6月18日のデータでは(a) $Y=0.086e^{0.036X}$ ($R^2=0.53$) (b) $Y=0.057e^{0.039X}$ ($R^2=0.85$)、6月25日のデータでは(a) $Y=0.139e^{0.039X}$ ($R^2=0.66$) (b) $Y=0.104e^{0.032X}$ ($R^2=0.89$)、7月1日のデータでは(a) $Y=0.154e^{0.039X}$ ($R^2=0.96$) (b) $Y=0.163e^{0.034X}$ ($R^2=0.96$)、7月9日のデータでは(a) $Y=0.206e^{0.045X}$ ($R^2=0.86$) (b) $Y=0.324e^{0.024X}$ ($R^2=0.57$)、全データでは(a) $Y=0.049e^{0.053X}$ ($R^2=0.82$) (b) $Y=0.042e^{0.047X}$ ($R^2=0.90$)。なお、(a)は判別分析法、(b)は局所修正法により求めた植被率である。

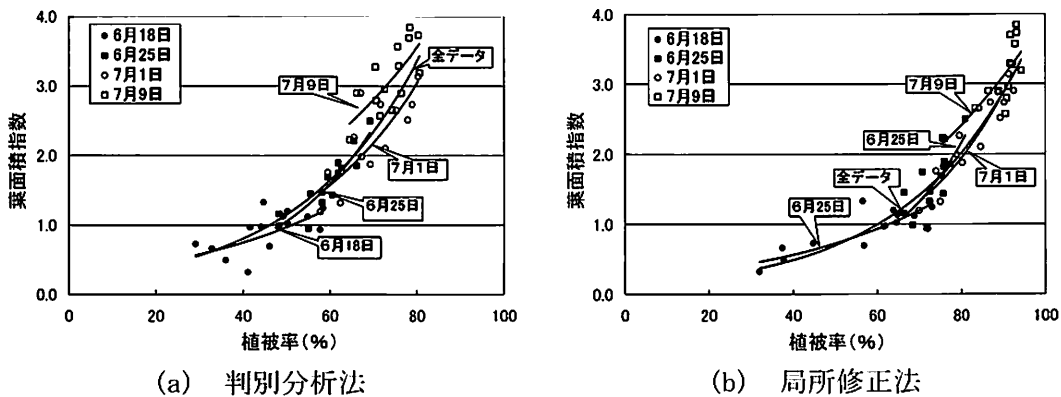


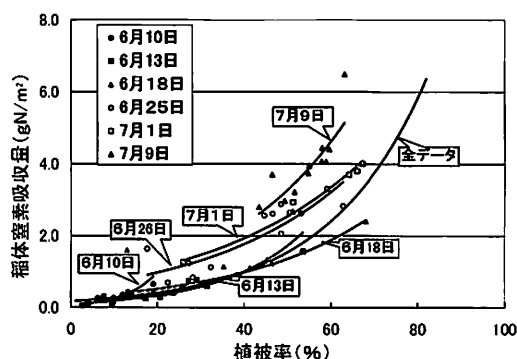
図3-17 移植水稻（コシヒカリ）の植被率と葉面積指数の関係（2002年）

植被率と葉面積指数の相関式と相関係数は次のとおりである。

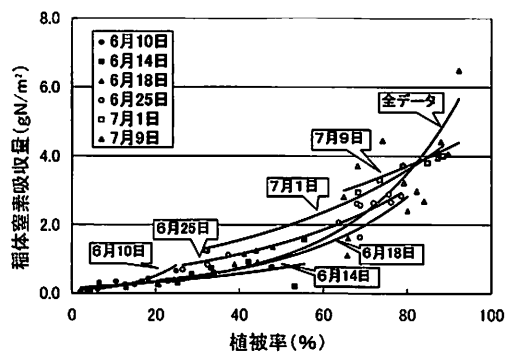
6月18日のデータでは(a) $Y=0.269e^{0.026X}$ ($R^2=0.33$) (b) $Y=0.207e^{0.025X}$ ($R^2=0.72$)、6月25日のデータでは(a) $Y=0.131e^{0.042X}$ ($R^2=0.81$) (b) $Y=0.042e^{0.049X}$ ($R^2=0.55$)、7月1日のデータでは(a) $Y=0.219e^{0.033X}$ ($R^2=0.64$) (b) $Y=0.088e^{0.039X}$ ($R^2=0.86$)、7月9日のデータでは(a) $Y=0.526e^{0.024X}$ ($R^2=0.54$) (b) $Y=0.319e^{0.025X}$ ($R^2=0.62$)、全データでは(a) $Y=0.193e^{0.036X}$ ($R^2=0.73$) (b) $Y=0.119e^{0.035X}$ ($R^2=0.90$)。なお、(a)は判別分析法、(b)は局所修正法により求めた植被率である。

ことができた。しかし、生育が進むにつれて個体間の相互遮蔽が進み判別分析法では2値化が不正確になる。そこで、局所領域の輝度特徴量を生育の初期と後期で比較した。その一例として局所領域の輝度変動係数と画素数との関係のグラフを図3-20に示すが、同面積では生育初期の方ほど輝度変動係数が小さいという傾向があることが認められる。そこで、判断のための基準値として6月10日の局所領域の面積と輝度変動係数から、基準値 $=1/(2.6 \times \ln(X) - 3.4)$ という式を経験的に仮定して、基準値より輝度変動係数が大きければ背景の中に水稻が含まれると判断することとした。なお、Xは局所領域の面積（画素数）である。

また、2001年8月6日に日射が変動する条件下で約5時間にわたり水稻移植圃場（品種：コシヒ



(a) 判別分析法

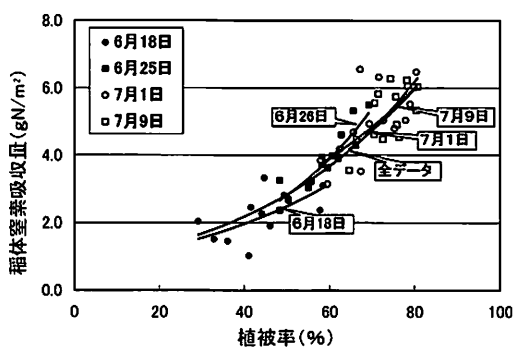


(b) 局所修正法

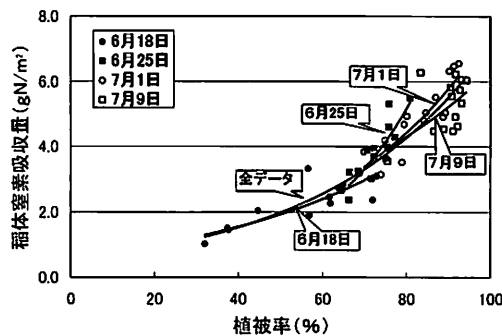
図3-18 散播水稻（どんとこい）の植被率と稲体窒素吸収量の関係（2002年）

植被率と稲体窒素吸収量の相関式と相関係数は次のとおりである。

6月10日のデータでは(a) $Y=0.063e^{0.138X}$ ($R^2=0.82$) (b) $Y=0.073e^{0.097X}$ ($R^2=0.73$)、6月13日のデータでは(a) $Y=0.114e^{0.33X}$ ($R^2=0.89$) (b) $Y=0.196e^{0.027X}$ ($R^2=0.29$)、6月18日のデータでは(a) $Y=0.269e^{0.033X}$ ($R^2=0.51$) (b) $Y=0.181e^{0.034X}$ ($R^2=0.83$)、6月25日のデータでは(a) $Y=0.537e^{0.030X}$ ($R^2=0.67$) (b) $Y=0.429e^{0.025X}$ ($R^2=0.90$)、7月1日のデータでは(a) $Y=0.645e^{0.028X}$ ($R^2=0.98$) (b) $Y=0.670e^{0.021X}$ ($R^2=0.98$)、7月9日のデータでは(a) $Y=0.584e^{0.035X}$ ($R^2=0.69$) (b) $Y=1.213e^{0.014X}$ ($R^2=0.25$)、全データでは(a) $Y=0.171e^{0.044X}$ ($R^2=0.72$) (b) $Y=0.150e^{0.039X}$ ($R^2=0.86$)。なお、(a)は判別分析法、(b)は局所修正法により求めた植被率である。



(a) 判別分析法



(b) 局所修正法

図3-19 移植水稻（コシヒカリ）の植被率と稲体窒素吸収量の関係（2002年）

植被率と稲体窒素吸収量の相関式と相関係数は次のとおりである。

6月18日のデータでは(a) $Y=0.767e^{0.024X}$ ($R^2=0.38$) (b) $Y=0.646e^{0.021X}$ ($R^2=0.75$)、6月25日のデータでは(a) $Y=0.545e^{0.033X}$ ($R^2=0.82$) (b) $Y=0.151e^{0.044X}$ ($R^2=0.72$)、7月1日のデータでは(a) $Y=1.093e^{0.021X}$ ($R^2=0.46$) (b) $Y=0.521e^{0.037X}$ ($R^2=0.75$)、7月9日のデータでは(a) $Y=0.940e^{0.023X}$ ($R^2=0.46$) (b) $Y=0.896e^{0.020X}$ ($R^2=0.34$)、全データでは(a) $Y=0.768e^{0.026X}$ ($R^2=0.71$) (b) $Y=0.549e^{0.026X}$ ($R^2=0.87$)。なお、(a)は判別分析法、(b)は局所修正法により求めた植被率である。

カリ）を供試して固定絞りレンズと自動絞りレンズによる判別分析法による植被率の比較試験を行った。その結果、固定絞りレンズでは図3-21に示すように、計測領域の平均輝度は夕方になると暗くなり、植被率の変動は大きく、30ポイント前後の差を生じることもあった。しかし、自動絞りレンズで撮影した画像は植被率、輝度ともにほぼ一定であり、日没後の植被率も比較的安定していた。

以上より、固定絞りでは自然光の変化の影響が大きく、また判別分析法によって大区画圃場での走行しながらの安定した画像を得ることは不可能な方法であることが分かった。そして、本研究で開発した計測領域自動決定法と局所修正法に自動絞りレンズを組み合わせることにより生育情報収集

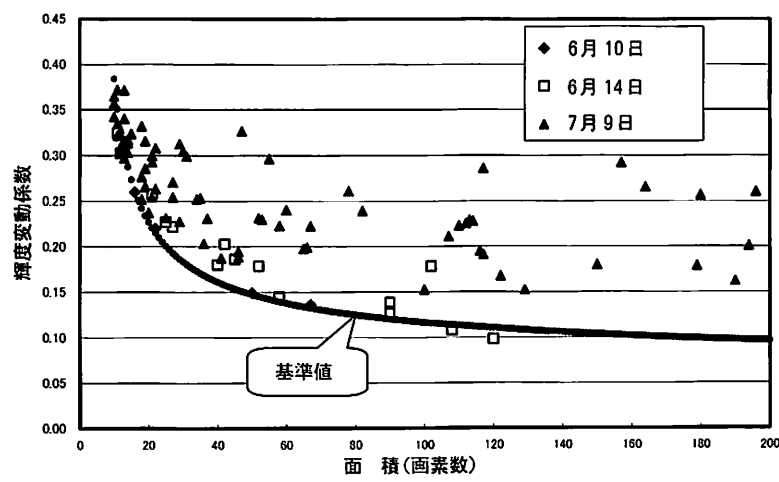
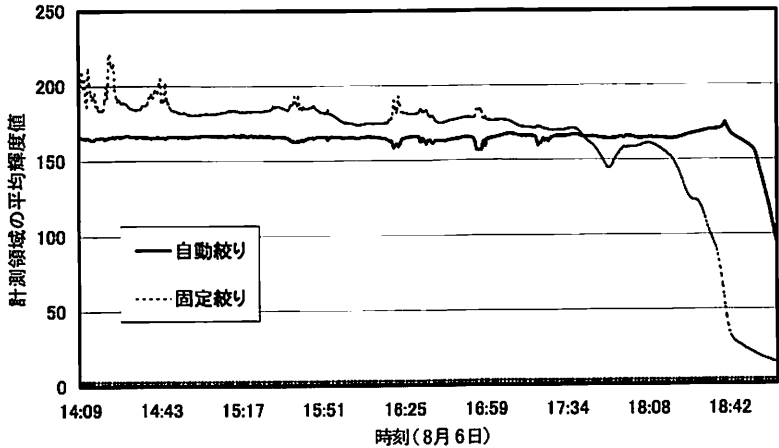
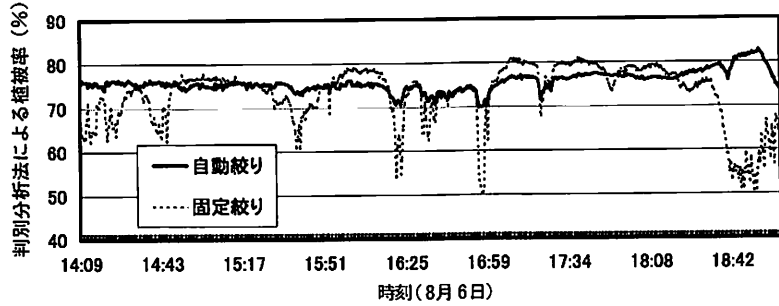


図3-20 輝度特徴量等の関係の一例
(局所領域の面積と輝度分散量の関係)



(a) 計測領域の平均輝度



(b) 植被率

図3-21 固定絞りと自動絞り機能レンズによる撮影画像の輝度と
植被率の経時的变化の事例

表3-5 画像情報収集システムの供試圃場と試験結果

圃場名	収集日時	圃場の大きさ 長辺(m)×短辺	所要時間	収集画像数 (枚)	備考
G	1999年7月5日	200×50	2時間	658	農道ターン
G	2002年7月7日	200×50	1時間28分	4532	農道ターン
H	2002年7月5日	125×80	1時間31分	5056	片側農道 ターン
I	2002年7月5日	125×80	1時間	3284	

システムが実用化の段階に達したと判断された。なお、上記の局所修正法の基準値は自動絞りによる近赤外画像の場合に適用できるものであり、計測系が変われば新たに求める必要がある。

(2) 大区画水田連続計測

高所カラー画像方式に関しては1999年、近赤外方式に関しては2002年に実証試験を行い、その供試圃場の条件と試験結果を表3-5に示す。高所カラー画像方式は所要時間約2時間で、局所画像は合計658枚であった。一方、近赤外方式は200m×50m圃場を1枚（G圃場）と125m×80m圃場を2枚（H、I圃場）の形状が異なる計3つの1ha圃場で試験を行った。全ての圃場について長辺方向に走行したが、G圃場では農道ターン、H圃場では片側農道ターン、I圃場では圃場内ターンで撮影した。なお、撮影間隔は全圃場4秒間隔とした。その結果、撮影所要時間は1時間～1時間30分で、局所画像は3000枚以上であった。実証試験により、高所カラー画像方式は支柱のゆれにより画像が劣化しやすいため移動速度は0.4m/sが限界であり近赤外方式と比較して高速化による収集時間の短縮が難しいと考えられた。

画像計測が終了後、圃場において図3-22-(a)のように画像合成を行うことができる。また、画像処理による植被率計測が終われば図3-22-(b)に示すようにメッシュ単位に色分けされた地図で表示したりメッシュ内の計測値をプロットすることができる。

次に、CCDカメラのズレによる画像のズレ角および水平方向ズレの影響について表3-5のH圃場の植被率計測を例にとると、GPSによる位置情報から計算したズレ角及び水平方向ズレは最大で10°、20cm以上となり、100枚の局所画像に対して計測領域を画面の中央に固定して計測した植被率と計測領域を目視で決定して計測した植被率では、図3-23-(a)に示すように最大で20ポイント以上の誤差を生じ相関係数も低く（ $R^2=0.022$ ）、移植水稻の場合にはズレが計測精度に及ぼす影響は無視できないことがわかった。計測領域自動決定法を用いれば図3-24の写真のように計測領域が条間に沿って補正され、植被率の相関も図3-23-(b)に示すように $R^2=0.81$ と著しく改善された。

大区画圃場での撮影は、太陽高度や雲による日射量変化等の撮影条件の変動があるため短時間での撮影が望ましく、結論として近赤外方式を生育情報収集システムのハード部分とすることにした。

4) 群落葉色計測技術の開発

接触式葉緑素計（SPAD-502）と群落葉色計測システムとの比較試験の結果を図3-25に示す。群落葉色計値はSPAD値との相関は1号機では $R^2=0.85$ 、2号機では $R^2=0.97$ となった。2号機のほうが群落葉色計値はSPAD値との相関が高く、しかも無線機方式となり取扱いに優れていたの、2号機を生育情報収集システムに導入した。

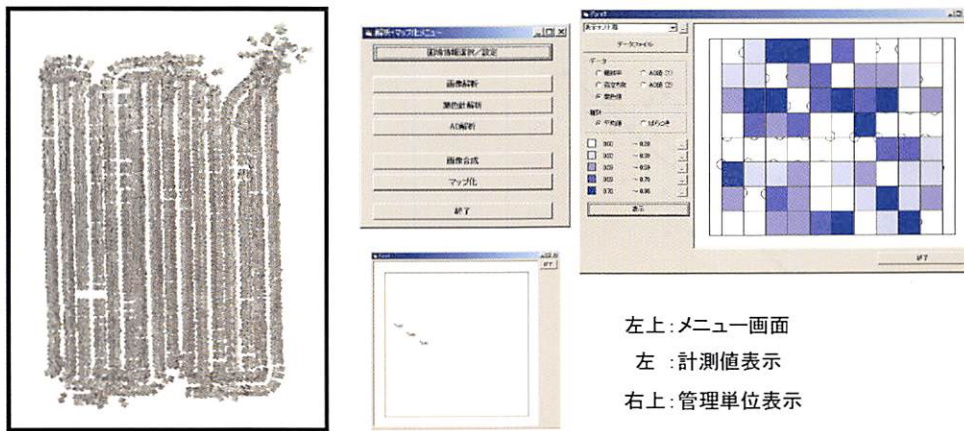
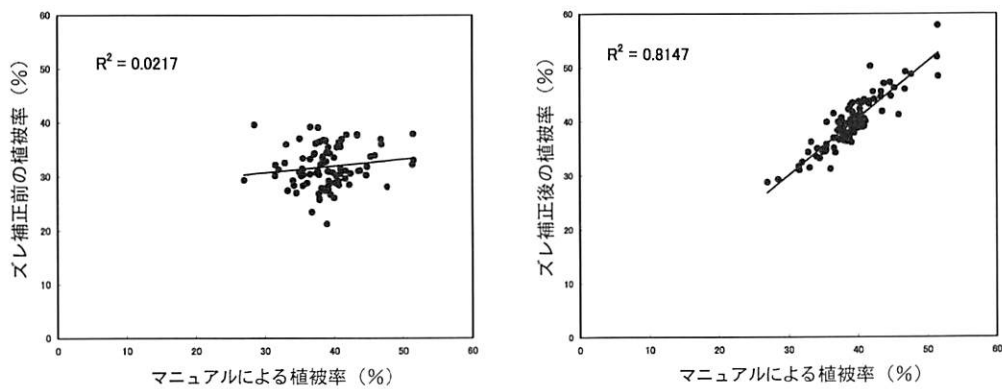


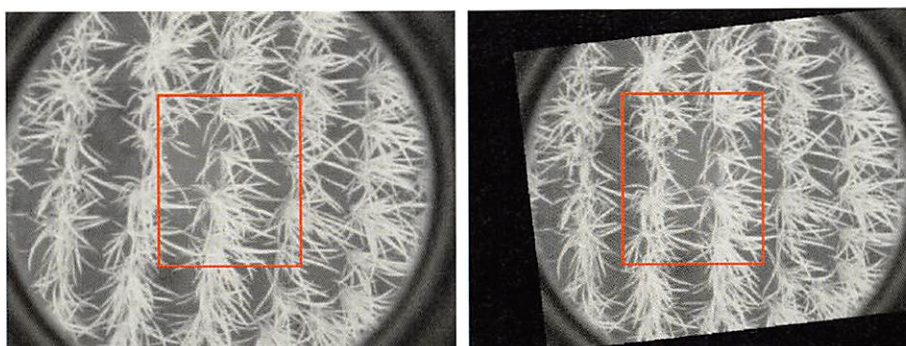
図3-22 地図化機能の一例



(a) 計測領域を固定した場合の植被率 (b) 計測領域自動決定した場合の植被率

図3-23 計測領域固定と計測領域自動決定法により補正した場合の計測誤差の一例

注) マニュアルとは目視により条の植付け方向に沿って計測領域(2条×4株)を決定する方法

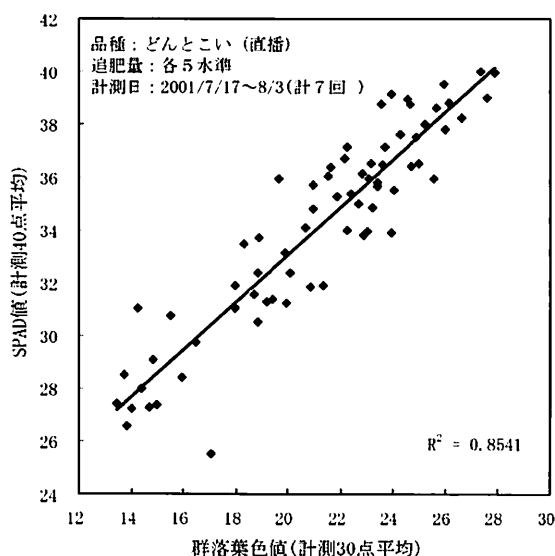


(a) 原画像 (b) 計測領域自動決定後の画像

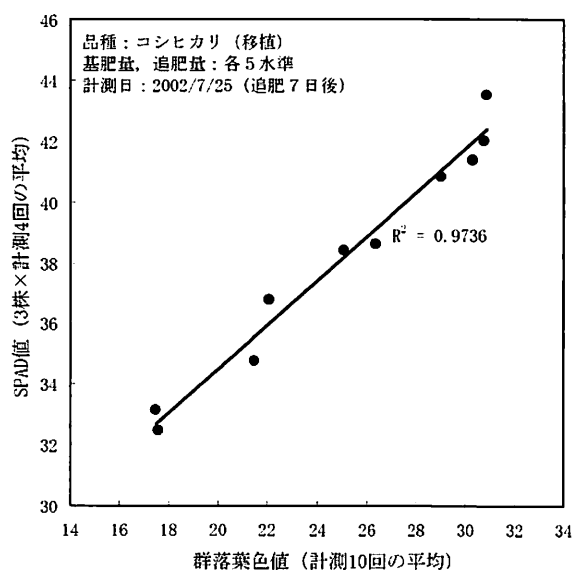
図3-24 計測領域自動決定法の一例

(a)の画面中央部の矩形の枠は画像中心の計測領域の中心を固定の場合の計測領域である。

(b)の枠は計測領域自動決定法により求めた計測領域である。



（a）1号機



（b）2号機

図3-25 群落葉色計測システムによる計測精度の結果

5. 要約

- 1) 10m×10mを管理単位（以下、メッシュ）とした局所管理システムに必要な圃場の地力・生育情報を得るために地上における簡易で迅速な情報収集技術の開発を行った。
- 2) 土壌サンプラーによる土壌採取作業は、トラクタのオペレータ1名、採土円筒の装着を行う作業員1名の2名1組で行い、採取にかかる時間は1点当たり約1分以下であり、従来の人力方式の3倍以上の能率に改善された。1haの大区画圃場で局所管理するのに必要な点数を採取するための所要時間は移動時間を含めて約2時間であった。
- 3) 生育情報収集技術としては、位置情報や画像情報等を走行しながら連続収集する生育情報収集システムを開発した。本システムは、4台のCCDカメラ、RTK-GPSおよびパソコンから構成され、その他にも群落葉色計測システムや種々のアナログセンサ（例えば草丈計測のための距離センサ）を取り付けることができる。これらの生育情報はパソコンにより管理され画像の合成や情報の地図化表示などの機能を有する。また、カメラ1台からなる簡易な生育情報収集システムも開発した。
- 4) 収集した近赤外画像から苗立ち数や植被率を計測するためのプログラムを多数開発して安定的な解析が行えるようにした。
- 5) 1haの大区画圃場における生育情報収集に要した時間は1時間～1時間30分であり、収集した3000枚以上の画像から植被率を求めるには約17時間かかったが、画像解析による植被率計測はパソコン上で自動処理されるため24時間稼動が可能であり計測日の翌日には対象圃場の水稻の植被率や窒素吸収量に関するマップを得ることができるので、穂肥計算への実利用が可能である。

6. 文献

- 1) 林 恒夫・佐藤 勉・酒井 究・岩田忠寿・笈田豊彦・間脇正博・斎尾乾二郎・二宮正士・吉田隆亮 (1993) 画像解析を利用した水稻の生育診断技術-第1報 植被率と葉面積指数の関係による生育量の推定. 福井県農業試験場報告, 30, 9-18.
- 2) 長谷川正俊・加藤賢一・芳賀静雄・三沢民男 (2001) 移植水稻におけるデジタルカメラを用いた生育推定. 日作東北支部報, 44, 77-78.
- 3) Takebe, M., Yoneyama, T., Inada, K. and Murakami, T. (1990) Spectacle reflectance ratio of rice canopy for estimating crop nitrogen status. *Plant and Soil*, 122, 295 ~ 297.
- 4) 柴田洋一・荒木 幹・鳥山和伸・佐々木良治・浅野 修・廣川 誠 (2000) 画像マッピングシステムの開発. 農機誌, 62巻, 175 ~ 177.
- 5) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸・荒木 幹・浅野 修・廣川 誠 (2000) 水稻の局所栽培管理のための画像マッピングシステム. 農機誌, 64巻, 127 ~ 135.

(実施課題名: 圃場・作物情報収集システムの開発 (1998 ~ 2002))

4章 土壤肥沃度の迅速調査法の確立

○鳥山 和伸・中島 秀治・柴田 洋一・佐々木良治

1. 背景と目的

稲作の作業性や生産性向上のため、第4次土地改良長期計画（1993～2006）では、圃場の大区画化を全水田面積の30%前後にまで拡げる計画であり、2002年現在、全国で約7%が大区画化されている。しかし、大区画圃場基盤整備の際には大規模な土壤の移動を伴うので肥沃度の低い切り土部と肥沃度の高い盛り土部が1筆内に混在する場合がある。そのような場合に均一な栽培管理を行うと、生育・収量のバラツキ、同一圃場内での成熟期のバラツキ、倒伏・品質劣化等の問題を生じる。大区画水田における生育・収量のバラツキを是正するには、土壤肥沃度のバラツキ（以下、地力ムラ）を地図化し、地力マップに従って基肥や追肥の施用量を調節する等の局所管理が必要である。

地力ムラは、多くの場合、地力窒素が原因となることが多い。地力窒素は、土壤有機物が微生物分解される時に供給される窒素のことであるが、この地力窒素の分析には専用の化学分析室や専門的技術を必要とし時間やコストがかかり、多点数の分析を必要とする地力マップ作成には不向きである。そこで、化学分析の代替法として多くの場面で利用されている近赤外法を適用して迅速に分析することとした。土壤の近赤外分析については、松永・上沢（1992a,b）によって風乾細土の全窒素濃度等の分析が報告されているが、分析に要する時間や費用を削減するためには、風乾や粉碎といった前処理を必要としない湿潤土壌試料の直接計測法の確立が必要である。

本研究では大区画水田の土壤肥沃度迅速調査法を確立するため、1) 湿潤土壌試料を用いた全窒素濃度の近赤外分析法手順の確立と適用性の検討、2) 土壤全窒素濃度から土壤窒素肥沃度（地力窒素）を推定することの妥当性の検討、3) 基盤整備施工図が入手可能な場合の簡易な地力マップ作成手法の検討を行う。

2. 材料および方法

1) 土壤採取地点および採取方法

土壤採取位置は、施肥機の作業幅（10m）を基準とし、10m×10m格子（メッシュ）での採取（1haで108箇所）を基本とした。採取には、3章に記載された北陸研究センター開発の油圧式土壌サンプラー（大起理化製土壌サンプラー（トラクター用）：DIK-1690）をトラクタの3点リンクに装着して使用した。サンプラーから抜き出した土壌（直径5cm×長さ20～30cmで土壌コアと呼ぶ）を深さ方向にナイフで2分割し、サランラップに包んで分析時まで冷蔵庫（約4℃）で保管した。供試土壌の多くは、新潟県中頸城郡三和村沖柳地区の1ha大区画水田（細粒強グライ土：80m×125m、1995年大区画化施工）から採取した（沖柳土壌）。また、比較のためにややシルト含量の高い中頸城郡頸城村明治圃場の1ha圃場（細粒グライ土：50m×200m、1990年大区画化施工）においても土壌採取を行った（明治土壌）。さらに、圃場施工図を利用した採取では、中頸城郡三和村岡田地区の1ha圃場（細粒強グライ土：80m×125m、2000年大区画化施工）において土壌採取を行った（岡田土壌）。近赤外分析の条件検討には北陸研究センター稲田圃場の水田作土（稲田土壌）を使用した。

2) 土壌の近赤外分析方法

土壌表面の近赤外分析はダイレクトライト法によった。分析機は、(株)ニレコ製ダイレクトライト6500を使用した。標準的分析方法は以下のものであった。すなわちハロゲンランプからの白色光を土壌表面に照射した。その照射角度は、鉛直下向きから約30度の角度を付け、距離は土壌表面から約6cm離れた。照射部位の土壌表面の直上約6cmではグラスファイバー末端部が土壌表面からの反射光を受光し、その後、反射光は分光器に導入され400nmから2500nmまでの波長範囲を回折格子で2秒掃引（スキャン）し反射光の原スペクトルが記録された。反射スペクトルは土壌表面の直径2cm程度の領域の物質組成を反映している。なお、土壌表面上の照射部位は、照射距離が約6cmの場合3cm×5cm程度の楕円形であった。分析時間は、波長スキャン回数が標準（32回）の時には光照射時の約1分と光を照射しないブランク測定時の約1分を合わせて1試料あたり2分強であった。反射スペクトル（2次微分スペクトル）と後述の化学分析による全窒素濃度値との関係から重回帰式を作成し土壌全窒素濃度の推定値を求めた。

3) 近赤外分析の検量線作成のための化学分析

検量線作成の際の化学分析では、近赤外分析（表面分析）に供した部分の近傍を厚さ5～10mm程度に削り、風乾・微粉碎後ケルダール分解に供し、オートアナライザー（ブラン・ルーベ社製TRACCS800）でアンモニア態窒素濃度を測定し、土壌の全窒素濃度（mgN/100g乾土）として表示した。検量線作成以外の場合には、培養による地力窒素分析に一定量の土壌が必要なことから土壌コアを2分割した後、土壌表面から0～6cm（第1層）、6～12cm（第2層）、12cm～18cm（第3層）に分けて、各々の湿潤土（100g前後）を2mmふるい上にとり、ゴム栓で土壌をつぶしながら漉した。湿潤土試料のうち水分分析に5g、湛水密栓培養（4週および10週培養、2連）に20gずつを供試した。湿潤土試料の残りを風乾後微粉碎し、1gの試料について前述の方法で全窒素濃度を求めた。

4) 近赤外法の測定条件の検討

土壌全窒素濃度の近赤外測定に及ぼす測定条件の影響について、次の各項目について条件を変えて検討した。すなわち、①土壌試料と発光部との距離、②波長スキャン回数、③土壌中の無機態窒素濃度、④測定中の試料移動、⑤測定時間、⑥土壌水分（乾土と湿潤土）である。また、土壌断面の鉛直方向に分析領域を2cmずつ移動させることにより、鉛直方向の肥沃度プロファイルが得られるかどうかについても検討した。

5) 基盤整備施工図に基づく簡易な地力マップ作成方法の検討

基盤整備工事前後の田面標高を記録した施工図を当該の土地改良区（三和村岡田地区）から入手し、工事前後の標高差と旧圃場図を基に大区画圃場内の切り土および盛り土の層厚を推定した。それに基づき試験対象の大区画圃場（1ha）を12区画に分け、各区画から2カ所土壌採取を行い、作土と下層土の全窒素分析値、地力窒素分析値、近赤外法による全窒素分析を行った。そして10m×10mメッシュの土壌採取により作成した地力マップと比較した。

3. 結果と考察

1) 地力窒素と全窒素との関係

地力窒素推定値は、土壌表面への白色光照射時間とともに変化し安定値を示さなかった。一方、全窒素量は、照射時間を長くしても推定値の変化が少なかった（表4-1）。また、湿潤土培養窒素量あるいは風乾土培養窒素量と土壌全窒素濃度との間には正の相関が認められた（図4-1）。一般

表4-1 白色光照射時間（スキャン回数）が近赤外分析値の変動に及ぼす影響

時間 (sec)	スキャン 回数	全窒素(%)			風乾土化成量(mg/100g)			土壌水分(%)		
		平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
2	1	0.297	0.049	16.4	26.7	12.6	47.1	39.6	1.5	3.7
10	5	0.299	0.014	4.6	21.6	4.4	20.2	41.3	0.4	1.0
20	10	0.296	0.012	4.0	18.1	3.0	16.3	42.1	0.4	0.9
40	20	0.300	0.005	1.6	16.9	2.7	16.1	41.9	0.3	0.7

注1) 1回のスキャンには照射時間(2秒)とブランク時間(2秒)の合計4秒前後かかる。

2) 試料には、稲田土壌の風乾細土を使用。

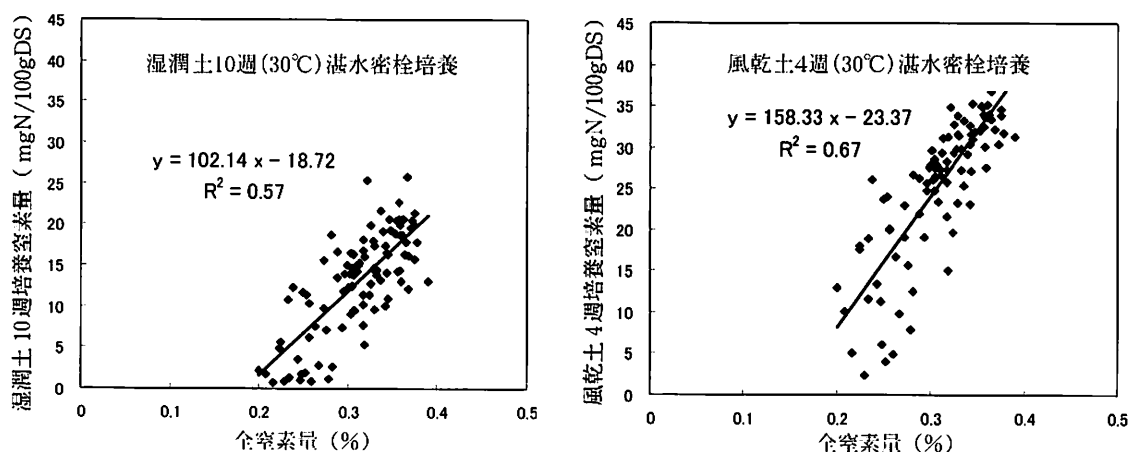


図4-1 土壌全窒素濃度と培養して生成するアンモニア態窒素量（培養窒素量、あるいは地力窒素）との関係

注) 試料は沖柳圃場の作土

に土壌全窒素量の数%が地力窒素として無機化することが知られており、また、文献においても、風乾土化成量と全窒素濃度との高い正の相関が報告されている（和田ら、1981）。以上の結果から、近赤外法によって迅速定量が可能な全窒素量推定値のマップを先ず作成し、それを後述するように水稻収量を媒介にして土壌窒素吸収量推定値に読み替えることとした。

2) 土壌近赤外分析法についての予備的検討

近赤外ダイレクトライト法により、湿潤土壌コアの割断面およびそれを風乾させた試料の断面に白色光を照射し、400nm～2500nmまでの可視・近赤外反射スペクトル（原スペクトル）を求めた（図4-2）。水分に由来する幅広いピークが1400nmおよび1900nm付近にあった。この原スペクトルからは全窒素を構成するタンパク質等に由来する微少なピークの検出は難しいので、先ず反射スペクトルの2次微分値を求めた。すると2次微分スペクトルには水分由来のピークの他に数多くの鋭いピークが検出された（図4-3）。そこで2次微分スペクトル強度と土壌全窒素濃度（化学分析値）との単相関係数を波長に対してプロットし、単相関係数の絶対値が大きい2つの波長（742nmおよび2164nm）を選定した（図4-4）。次に両波長の2次微分値（X）を利用して全窒素濃度を推定するための重回帰式を分析器内蔵のプログラムで求めた（式1）。

$$Y = 757 + 33985 \times X(742\text{nm}) - 16504 \times X(2164\text{nm}) \cdots \cdots (1)$$

なお、試料として湿潤土を用いた場合と乾土を用いた場合の両者とも選択波長は上述の波長であり、両波長ともタンパク質構造に帰属できる。重回帰式の決定係数は0.90であった。式（1）を用いて、各試料の全窒素濃度を推定した結果、作土（0～5cm、5～10cm）も下層土（12～18cm）

も $Y = X$ の直線付近に分布し標準誤差は $19\text{mg}/100\text{g}$ 乾土であった (図4-5)。近赤外ダイレクトライト法による非破壊分析は、食品生産ライン (味噌等) の非破壊的な品質管理に利用されてきたが、この手法が圃場から採取した無処理の湿潤土壌面の非破壊分析にも適用できることが分かった。

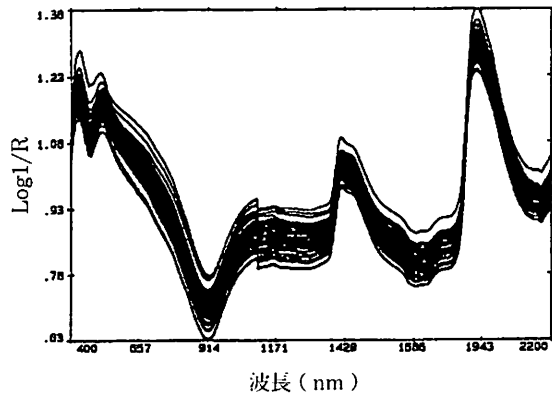


図4-2 近赤外分析 (ダイレクトライト法) による土壌反射スペクトル (400nm ~ 2200nm)
注) $1/R$ (反射光強度) は、土壌への光吸収強度に対応する。

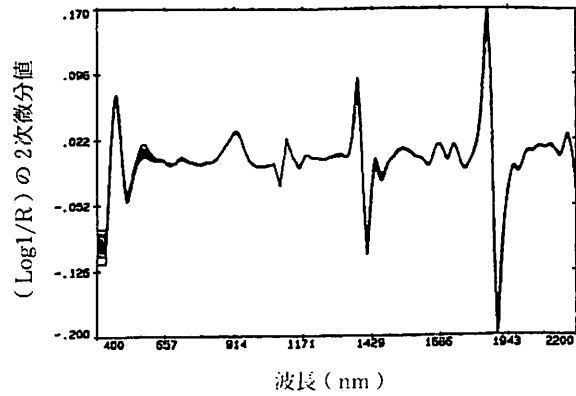


図4-3 土壌反射スペクトルの2次微分スペクトル

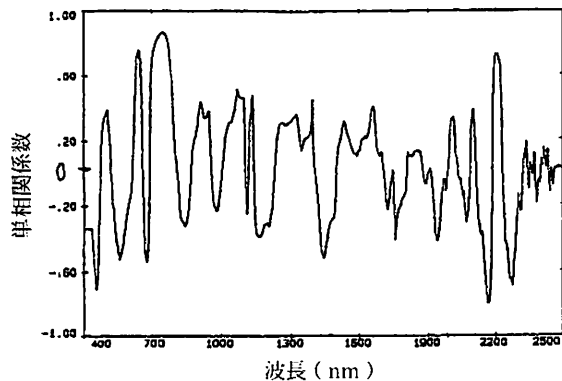


図4-4 土壌全窒素濃度の化学分析値と2次微分スペクトル強度との間の単相関係数と波長との関係

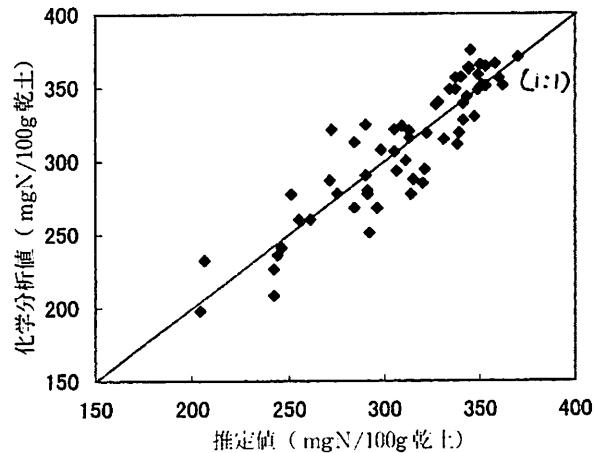


図4-5 近赤外分析 (ダイレクトライト法) による土壌全窒素濃度推定値と化学分析値との関係

3) 測定条件の検討

土壌表面に白色光をあてて分析する場合の最適な条件を明らかにしようとした。

① 土壌試料と光源間の距離

検討の結果、距離により測定値が大きく変動し、また距離が短いと変動係数が大きく7cm以上では変動係数が大きくなる傾向があった。距離5cm ~ 7cmの間では、全窒素濃度が0.28%レベルの試料で標準偏差は0.002%であった (表4-2)。距離が短い場合、土壌表面がハロゲン光で強く加熱されるため水蒸気が発生し、これが変動係数を大きくしたものと考えられた。土壌と光源間の距離が5cm以上あればスキャン回数を増やしても水蒸気のは発生は少なくなった。

② スキャン回数

6cmの距離でスキャン回数を変えて検討したところ、スキャン回数が多くなるほど推定値の変動係数は減少し、20回のスキャンを行えば標準偏差0.005%で平均値を推定できた(表4-1)。

③ 無機態窒素

土壌中の無機態窒素が土壌全窒素濃度に及ぼす影響については、アンモニア態、硝酸態、尿素態のいずれも、7mgNおよび32mgN/100g乾土の添加量では、無添加試料と比較して近赤外分析値に有意な差は認められなかった(図4-6)。また実際に土壌採取を行うのは、春秋の非作付け期間であるため土壌中の無機態窒素が数mgN/100g乾土を超えることはほとんど無い。したがって、無機態窒素が分析値に及ぼす影響は無視できると言える。

④ 測定中の水平移動

近赤外分析は土壌コア割断面における3cm×5cm程度の限られた範囲しか分析できない。そのため、深さ方向の平均値を求めるには、複数回の分析が必要である。しかし、計測中に試料を水平移動すれば、平均値を1度の計測で把握できる可能性がある。この点を確認するため、スキャン中に作土部分(0～12cm)の試料を5～10cm/sec程度の速さで水平移動しながら計測した場合と、同じ作土について0～6cmおよび6～12cmで別々に測定後平均した値を比較したところ、ほぼ一致した(図4-7)。

表4-2 土壌表面と照射光光源との距離が全窒素濃度の近赤外分析値に及ぼす影響(単位: %)

照射距離 (cm)	湿潤細土			風乾細土		
	平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
4	0.283	0.002	0.8	0.293	0.003	0.9
6	0.272	0.001	0.6	0.277	0.002	0.7
9	0.295	0.003	1.0	0.290	0.002	0.6
11.5	0.363	0.010	2.7	0.324	0.005	1.4

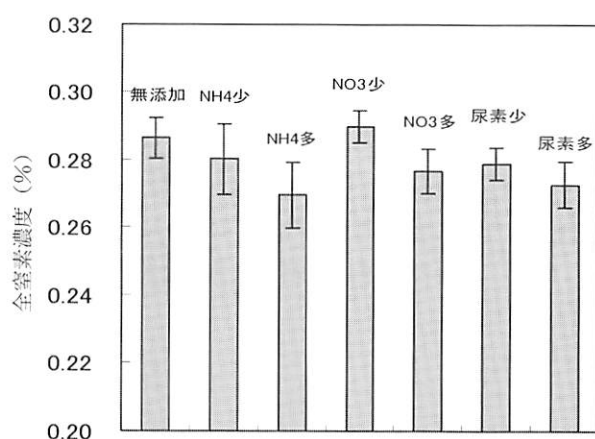


図4-6 土壌中の無機態窒素が全窒素濃度近赤外分析値に及ぼす影響

注) 無機態窒素の添加量:

少: 7mgN/100g乾土、多: 32mgN/100g乾土

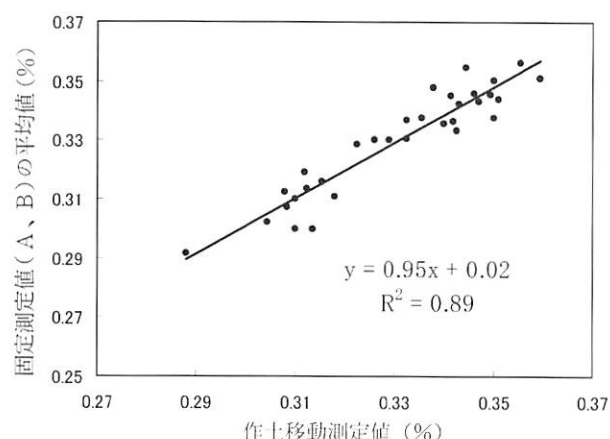


図4-7 作土水平移動の影響

⑤土壌水分

湿潤土試料では試料間で水分変動が大きい場合もあり得ること、また乾燥細土では湿潤細土に比較して近赤外分析値の再現性が良好であったことから、土壌コアを2分したものを105℃の乾燥器で乾燥した試料であれば水分条件を揃えて測定できると考え、土壌コアの形状で湿潤土と乾土を供試して近赤外分析値と化学分析値との相関を検討した結果、湿潤土では単相関係数は0.69～0.75であったが、乾土では0.46～0.60と低かった（表4-3）。土壌コアの分析で、乾土試料において相関が低下した理由は、土壌コアの乾燥時に割断面に亀裂が発生したことが原因の一つと考えられる。したがって、土壌コアのまま全窒素を測定するには、湿潤土で測定する方が良いと考えられる。

⑥土壌表面の平滑度

土壌表面をナイフ等で平滑にした場合とブラシで表面を荒くした場合を比較したところ、ブラシで表面状態を荒くすると平滑にした場合よりも化学分析値との相関係数は変化しないかあるいは向上した（図4-8）。一般に近赤外分析においては拡散反射光に表面の成分情報が含まれるので、表面を平滑にすると全反射光が拡散反射光より相対的に多くなり、信号/雑音比が低下し相関が低くなる場合があると考えられる。したがって、土壌断面を平滑にして測定する必要は無く、断面を作成後、そのまま測定しても問題ないと判断された。

⑦土壌断面を連続的に測定した場合の全窒素プロフィール

土壌コアを土壌表面から下層土まで、白色光の照射位置を少しずつずらして全窒素濃度を分析した結果、図4-9のように工事の際の切り盛りを反映したプロフィールが得られた。土壌の切り盛りや鋤き床位置の計測は根域の肥沃な土壌の深さの把握を可能にするので、地力マップ作成に有効であると考えられる。

表4-3 全窒素濃度近赤外分析値と化学分析値の回帰式の比較

	乾土				湿潤土			
	1層	2層	3層	平均	1層	2層	3層	平均
傾き	1.55	1.23	0.85	1.21	1.25	1.19	0.95	1.13
切片	-0.08	-0.02	0.04	-0.02	-0.03	-0.03	0.01	-0.02
単相関係数	0.60	0.54	0.46	0.53	0.69	0.70	0.75	0.71

注) 土壌コアで測定。湿潤土とそれを105℃で24時間乾燥した乾土の比較

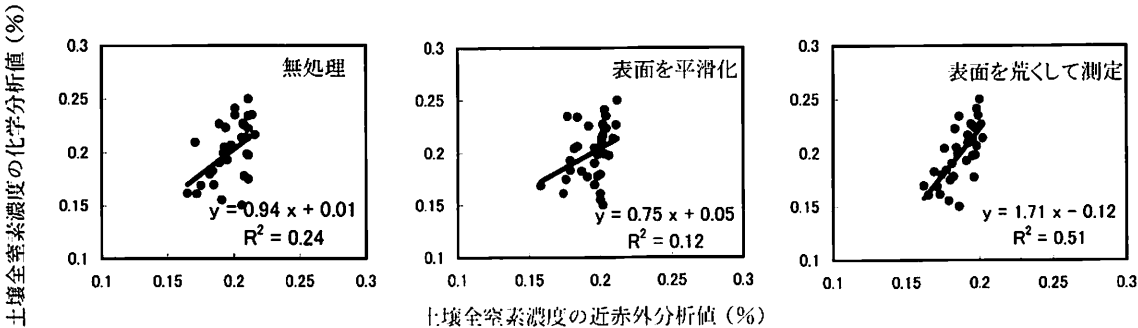


図4-8 分析用湿潤土壌試料表面の平滑さの度合いが近赤外分析値と化学分析値の相関に及ぼす影響

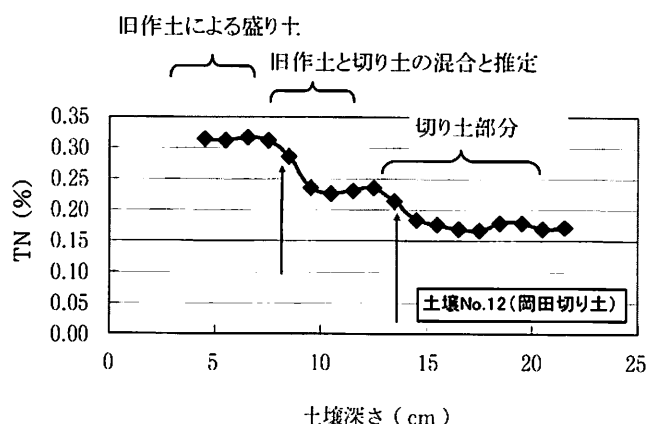


図4-9 分近赤外法で照射面を約1cm毎に移動して計測した
土壌全窒素濃度の深さ別分布

4) 地力マップの作成方法の検討

沖柳土壌で作成した検量線を用いて、いくつかの土壌で全窒素濃度の推定値と化学分析値との相関を調べた結果、沖柳圃場と同様な粘土質土壌（岡田土壌、稲田土壌、明治土壌）では高い相関が得られた。近赤外分析値が化学分析値よりやや高くなる場合が多く、回帰直線は1：1の直線からややはずれることがあったが、図4-10に示すように大区画圃場内の地力ムラの傾向は化学分析値から把握されるものと近赤外分析値から把握されるものが同様の傾向を示した。

地力マップ作成方法の検討の中で、作土（耕起上層）とそれ以下の下層土では地力ムラの傾向が大きく異なることを認めた。そこで水稻窒素吸収量に対する下層土の関与を調べた結果、水稻の生育・収量や窒素吸収量は作土との相関よりも下層土との相関が高いことが分かった（表4-4）。これは、水稻窒素吸収量の30%前後は下層土に由来するとの報告（鳥山2001）と対応するものである。そこで、作土（0～12cm）と下層土（12～24cm）の全窒素を加算して地力窒素の指標にした。加算する深さを24cmまでとした理由は、圃場での根張りの観察結果と油圧式土壌サンプラーで確実に採取できる土壌深度を考慮した結果である。ただし、土壌の全窒素濃度は水稻の土壌窒素吸収量の相対的指標とはなるが、施肥量の計算に使用するには水稻窒素吸収量と同じ単位に変換する必要がある。そこで、圃場内の高収部位と低収部位における収量から各々の地点の水稻窒素吸収量を推定し、土壌全窒素濃度を土壌窒素吸収量に変換した（図4-11）。この方法を実際に明治圃場で実行した結果、作付け前の土壌分析からの窒素吸収量予測値と坪刈り水稻から計算した土壌由来窒素吸収量推定値とは高い相関を示し、有効性が示唆された（図4-12）。

表4-4 水稻の生育収量と作土および下層土の窒素無機化量との相関（沖柳圃場；1999年）

土壌層位	幼形期草丈	稈長	N吸収量	精玄米重	m ² モミ数	登熟歩合	千粒重
作土(0～12cm)	-0.17	-0.19	-0.09	-0.25	-0.11	-0.19	-0.52
下層土(12～18cm)	0.24**	0.64**	0.50**	0.53**	0.49**	0.11	0.50**
根域土壌(0～24cm)	0.06**	0.34**	0.31**	0.22	0.29*	-0.04	0.02

注1) 各メッシュの大きさは8m×10mで、計算に用いたメッシュ数は基肥施肥量(2g N m⁻²)の等しい68カ所
地力窒素値として、湿潤土30℃10週湛水培養におけるアンモニア態窒素生成量(g N m⁻²)を使用

2) 作土および根域土壌の地力窒素値は、6cm毎の層位別培養値を加算

3) **は1%水準で有意、*は5%水準で有意

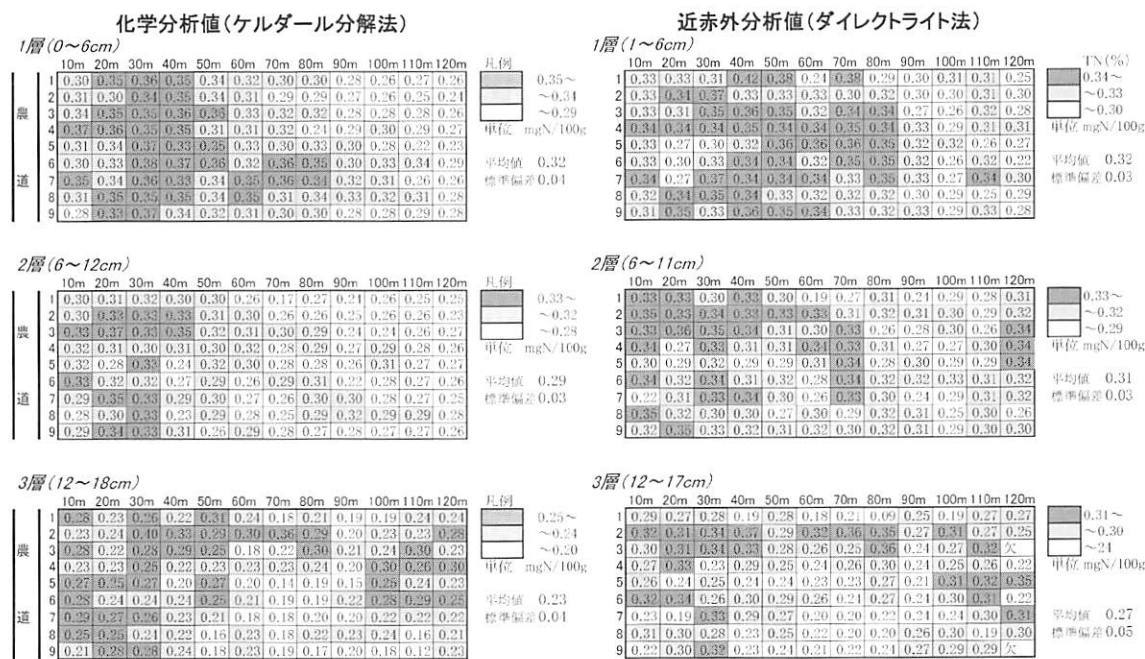


図4-10 土層別の全窒素濃度マップ；近赤外分析値(右)と化学分析値(左)の比較(沖柳圃場)

注) 圃場短辺に付した数字は、レーン番号(距離で表すと、順番に6m、14m、22m、30m、38m、46m、54m、62m、70m)

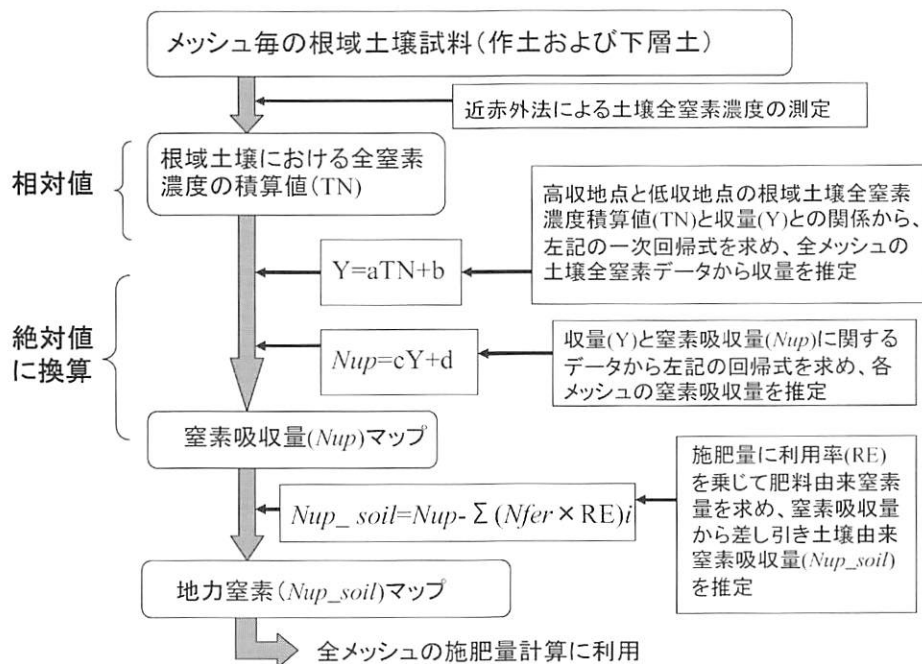


図4-11 近赤外法により計測した土壌全窒素濃度と一部の収量データから地力窒素マップを作成する方法

注) a,b,c,dは回帰式の係数

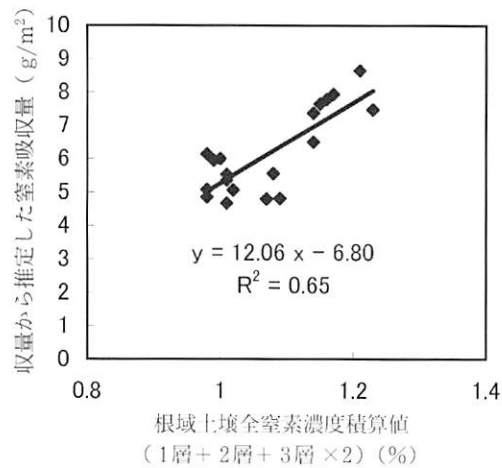


図4-12 根域土壌の全窒素濃度積算値と推定水稻窒素吸収量との関係
(明治圃場：1999年)

注1) 全窒素濃度は近赤外分析器で計測した。

2) 1層は0～6cm、2層は6～12cm、3層は12～18cmの各測定値。
3層の全窒素濃度が24cmまで等しいと仮定し2倍した。

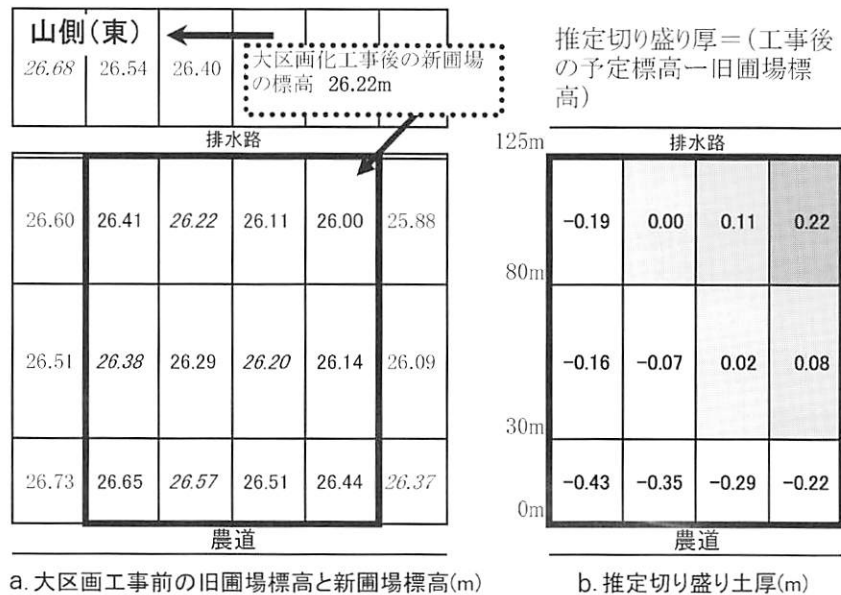


図4-13 大区画化施工図 (a) と施工図から推定した推定切り盛り土厚 (岡田圃場)

注1) 太線の内側が実証試験対象1ha圃場。

2) 細線内が旧圃場区画で、実測標高を記載 (斜め字は内挿値)。

5) 基盤整備施工図を参照にした省力的地力マップ作成方法の検討

大区画化前後の田面高の差を施工図 (図4-13a) から読み取って、大区画工事における切り盛り厚さの違いを推定し、旧圃場と大区画圃場との位置関係と合わせて区画推定図を作成した (図4-13b)。大区画圃場は12枚の8a圃場から造成されていた。そこで、土壌の採取・分析労力を削減する実証試験を行うため、旧圃場あたり2カ所で合計24カ所から土壌を採取し、作土 (0～12cm)

と下層土（12cm～24cm）の土壤全窒素濃度を化学分析法で測定し土層別の土壤全窒素マップを作成し（図4-14）、作土と下層土の積算値をもとに収量を媒介として土壤窒素吸収量に変換した。この土壤窒素吸収量予測マップをもとに可変施肥を行い、収穫期の坪刈り水稻の窒素吸収量から施肥由来分を差し引いて土壤窒素吸収量を推定し、これを土壤窒素吸収量実測値として、作付け前の土壤窒素吸収量予測値と比較検証した結果、図4-15に示すように実測値は盛り土部位で予測値を大きく上回った。そこで、図4-13bで推定した盛り土厚で根域土壤の全窒素の積算を、図4-11の式に従って再計算して予測値を求め、実測値と比較した。その結果、盛り土厚の考慮によって予測値と実測値との間には直線回帰で単相関係数0.99が得られた（図4-16）。これは盛り土によって旧圃場の作土部分が下層土となり、そこに根が到達し窒素を吸収していることを強く示唆している。

圃場試験の可変施肥では、先に述べたように全窒素濃度値として化学分析値を使用したか、実際の場面を想定して近赤外分析値を用いた場合にも実測窒素吸収量との関係が化学分析に匹敵するかどうかを、図4-16と同様な散布図を作成し検討した。その結果、図4-17に示すように化学分析値をもとに作成した予測値に比べて実測値との誤差はやや大きかったが、盛り土厚を考慮した予測方法によって、十分実用に耐える地力マップとなり得ることが推察された。このように基盤整備時の施工図を参考に土壤採取点数を削減して地力マップを作成する場合、10mメッシュで土壤を採取する場合に比べて1ha当たりの省力効果は、採取点数が100点から24点に削減されたため、土壤採取2時間（2人）、土壤試料前処理1.5時間（1人）、近赤外1.1時間が見込まれる（根拠となる作業時間数値として表13-2を使用）。そして、標高を記載した施工図から切り盛り厚さを把握することによって実測値に極めて近い土壤窒素吸収量の予測値を推定することが可能になることが分かった（図4-17）。

6) 確立された地力マップ作成方法

上述の岡田圃場における実証試験を踏まえて確立された迅速地力マップ作成法の概要を図4-18に示した。基本的な地力マップ作成方法の骨格を示すことはできたと思われる。

耕起土層(0～12cm)				下層(12～24cm)				根域土層の平均値			
0.22	0.23	0.26	0.27	0.18	0.23	0.29	0.26	0.20	0.23	0.27	0.26
0.23	0.26	0.27	0.27	0.19	0.24	0.28	0.30	0.21	0.25	0.28	0.28
0.21	0.19	0.22	0.23	0.15	0.08	0.11	0.12	0.18	0.14	0.16	0.17

図4-14 旧圃場単位のメッシュ単位で推定した土壤全窒素化学分析値マップ
(岡田圃場) 単位：％

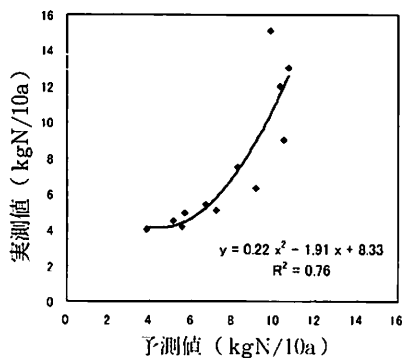


図4-15 土壌全窒素化学分析値（根域積算値）から収量を媒介に予測した土壌窒素吸収量と実測値との関係

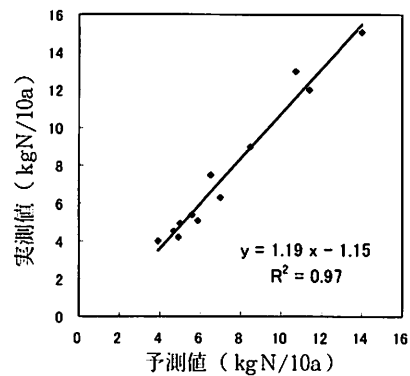


図4-16 土壌全窒素化学分析値（根域積算に盛り土厚考慮）から収量を媒介に予測した土壌窒素吸収量と実測値との関係

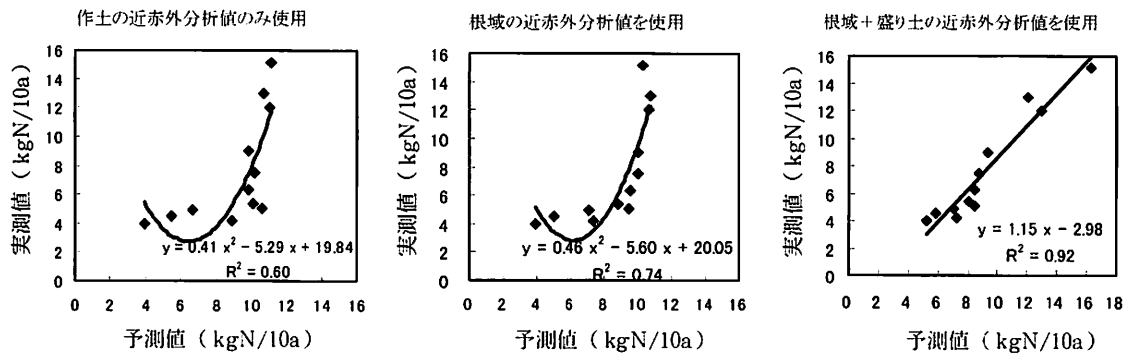


図4-17 土壌の近赤外分析値から収量を媒介にして予測した土壌窒素吸収量と実測窒素吸収量との関係

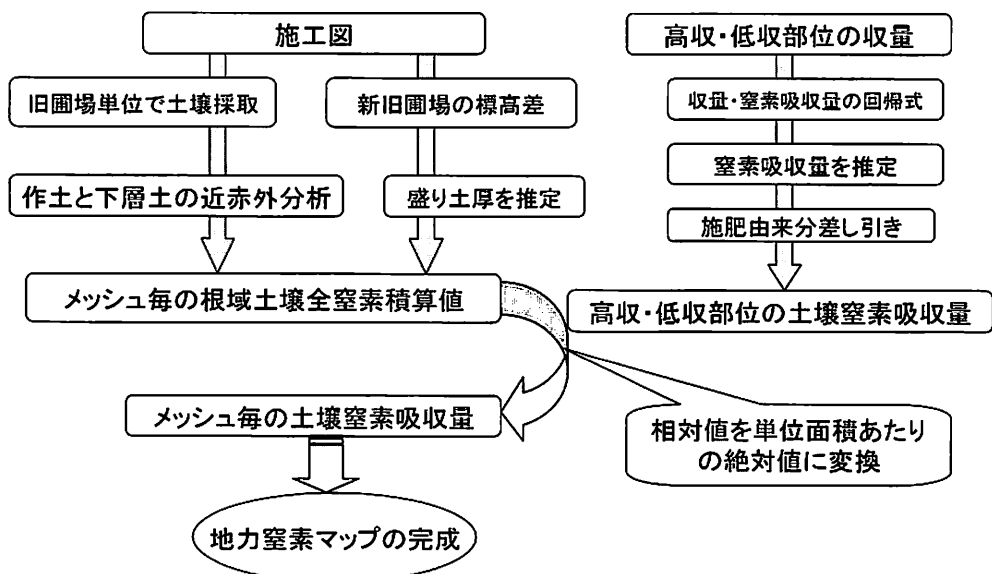


図4-18 施工図、聞き取り収量、近赤外分析法を利用した迅速地力マップ作成法

4. 要約

- 1) 土壤肥沃度は多くの要素から成り立っているが、水稻生育に最も影響するのは土壤から水稻に供給される窒素（地力窒素）である。そこで非破壊分析法である近赤外分析法を適用して地力窒素マップの迅速作成法を確立しようとした。
- 2) 近赤外法による湿润土の地力窒素測定値は、分析に用いる白色光の照射時間によって変動したので、地力窒素と相関が極めて高い全窒素濃度を近赤外法で測定することとした。
- 3) 作土の全窒素マップでは水稻の窒素吸収量の圃場内変異を説明することはできなかったが、作土と下層土の全窒素濃度を加算した根域土壤全窒素量が水稻の窒素吸収量との相関が高かった。
- 4) 根域全窒素濃度は相対値なので、圃場内の高収部位と低収部位の収量および施肥窒素量から推定される土壤窒素吸収量を媒介にして土壤窒素吸収量予測値に変換し、地力マップを作成する方法を考案した。
- 5) 土壤窒素吸収量予測値の計算で、大区画化工事施工図から推定された盛り土厚を根域として考慮することによって、予測値と実測値は良好な直線回帰を示した。
- 6) 以上から、大区画水田の地力マップの作成では、工事施工図から切り土盛り土マップを作成し、それをもとに採取地点を絞った土壤採取の実施が有効なこと、また採取土壤については、コアのまま全窒素濃度の近赤外分析を行い、根域や盛り土厚を考慮するとともに前年度の水稲収量および施肥量データを媒介にすることにより施肥量計算の基礎として利用可能な地力マップの作成が可能であることを明らかにした。

5. 文献

- 1) 松永俊朗・上沢正志（1992a）畑土壤の近赤外拡散スペクトル，土肥誌，63，403～410.
- 2) 松永俊朗・上沢正志（1992b）近赤外分析法の土壤の理化学的性質定量への適用，土肥誌，63，712～714.
- 3) 和田秀徳・犬伏和之・上原洋一・高井康雄（1981）全窒素量とアンモニア化成量との関係，土肥誌，52，246～252.
- 4) 鳥山和伸（2001）大区画水田における地力窒素ムラと水稻生育，土肥誌，72，453～458.

（実施課題名：土壤肥沃度の迅速調査法の確立（1998～2000））

第3部 作物・環境情報に基づく 生育予測・診断技術の確立

5章 散播直播水稻における最高茎数の予測と 窒素追肥による茎数の制御

○佐々木良治・鳥山 和伸・柴田 洋一・杉本 光穂

1. はじめに

水稻の直播栽培は、省力・低コストの点から注目されており、今後の普及拡大が期待されているが、出芽・苗立ちが不安定であり倒伏しやすいなどの栽培上の問題点も少なくない。近年、出芽・苗立ちを安定させる方策として播種後の落水管理が一般的に採用されるようになり、出芽・苗立ちはかなり改善されてきてはいるものの、大区画水田における苗立密度の局所変動は依然として避けられない状況にある。

圃場内で苗立密度の変動がある場合、生育の経過とともに補償作用が働き、 m^2 当たりの茎数や穂数、収量の変動係数は徐々に低下する。つまり、苗立密度の高低によって収量構成要素の変動の仕方が異なり、収量構成要素が相互に補完し合うことにより収量は平均化する（三石ら 1990）。江原ら（1998）によると、散播直播水稻において苗立密度が低い場合、純同化率は生育後期まで高く、相対分げつ速度が高く維持され、個体当たりの穂数が低密度ほど多いことが収量の補償に向けた第1番目の変動であるとしている。散播直播栽培の収量は、主として単位面積当たりの穂数によって決定される（赤松 1965、角田ら 1980、佐々木ら 1999）が、個体当たりの穂数は分げつ数の増加過程と最高分げつ期以降の有効化の過程によって決まるので、収量の補償には個体当たりの分げつ数の増減が重要な意味を持つと考えられる。

そこで本研究では、まず生育初期の環境条件の違いによる初期分げつの発生相の差が、最高茎数に及ぼす影響を調査し、得られた知見をもとに最高茎数の予測法を明らかにすることを目的とした。次に、著者らは3章でも述べたように、移植水稻や散播直播水稻における植被率が、葉面積指数や窒素吸収量と密接に関連することを明らかにし、植被率を利用した生育量の推定手法を検討している。そこで本章では、植被率から散播直播水稻の茎数の推定が可能かどうかを明らかにするために、苗立密度を異にする水稻群落を対象として葉面積指数と m^2 当たりの茎数との関係を調査・解析し、葉面積指数から茎数を推定する方法を提示した。最後に、大区画水田内の局所施肥管理技術を想定し、窒素追肥による茎数制御法を検討した。具体的には、茎数不足となりやすい低苗立密度の群落に対する早期窒素追肥が茎数や収量に及ぼす影響を調査するとともに（佐々木ら 2002b）、高苗立密度の群落を対象として、最高分げつ期頃の窒素追肥が有効茎歩合や収量に及ぼす影響を調査した。

2. 方法

1) 最高茎数の予測法

(1) 最高茎数の予測モデルの作成：1998年と2002年に水稻品種どんとこいを供試し、中央農業総合研究センター北陸研究センターの場内圃場（上越市稲田、細粒強グライ土）において潤土直播方式で散播直播栽培を行った。1998年は比較対象として水稻品種キヌヒカリも供試した。1998年は5月18日に両品種の催芽初を手播きで散播し、2002年は5月15日にどんとこいの催芽初を同様に播種した。1998年の播種量は乾籾換算で1.0、1.5、2.0、4.0、6.0、8.0g/m²とし、同様に2002年は1.25、2.25、3.5、5.0、6.0、8.75g/m²とし、これによって苗立密度の異なる群落を作出した。播種後は落水状態で管理して播種後8日目（1998年）ないし13日目（2002年）に湛水を開始し、その後は2～3cmの湛水深で管理した。1998年は試験区の大きさを11m²（2、6g/m²播種区）と4.7m²（1、1.5、4、8g/m²播種区）として2反復の乱塊法で配置した。2002年は、播種量の少ない試験区ほど面積を大きくして9.9～29.0m²とし、無作為に3反復で配置した。苗立ち期には0.5×0.5mの調査枠（高さ2cmのアルミニウム製の枠であり、枠内の出入水が自由にできるように2辺に直径8mmの穴を設けた）を試験区内に設置したが、試験区内での設置場所は調査枠内に入る個体数を基準として選択した。具体的な調査枠内の個体数は、1998年が6、9、12、25、38、50本、2002年は6、12、20、30、35、50本を目安とし、一部の試験区では間引きないし補植を行った。そして、調査枠内で比較的生育の良好な4個体（1998年）ないし6個体（2002年）を選択して、葉齢と分げつの出現節位などを調査するとともに調査枠内に生育するイネの茎数を適時調査した。基肥は両年ともにNを4.0g/m²とし、P₂O₅とK₂Oは1998年がそれぞれ4.0g/m²と7.2g/m²を、2002年は同様に8.0g/m²と7.2g/m²を施用した。また、1998年は7月22日に穂肥としてN、K₂Oをそれぞれ1.0g/m²施肥し、2002年は7月23日と8月5日にNを2.0g/m²施肥した。除草剤は、播種当日にジメピペレート・ベンスルフロンメチル粒剤を散布し、湛水後に別の除草剤を散布した。殺菌剤や殺虫剤の散布は、慣行法に準じて適宜行った。なお、以下の圃場試験においても、薬剤散布は同様に行った。

(2) 大区画水田における最高茎数の予測精度の検証：1998年、1999年ならびに2002年に中央農業総合研究センターの大区画水田（新潟県中頸城郡頸城村、細粒グライ土、200×52m）で、制限走行路式無粉衣潤土直播栽培を行った。

1998年は、5月19日に催芽初を定幅散布機により土壌表面に播種した。栽培面積はキヌヒカリ195×20m、どんとこい195×30mとした。播種量は乾籾換算でキヌヒカリ6.9g/m²、どんとこい5.0g/m²であった。圃場内の田面の高低と初期分げつの生育との関係を調査するために圃場内100箇所に調査枠を播種前に設置した。調査枠の設置場所は、各走行路（トラムライン）の片側に排水側の畦畔から水田長辺方向に向かって5m地点（短辺方向には走行路中央から2.0–2.5m）に1枠と10～190m地点に10m間隔（短辺方向には走行路中央から2.0–2.5m、2.5–3.0m、3.0–3.5mの位置に順に繰り返す）で19枠を設置した。6月1日に湛水を開始し、6月9日に調査枠内の苗立ち個体数を数えて苗立密度を算出した。また、広葉雑草が散見されたので6月11日に落水して除草剤ベンタゾン粒剤を散布し、以後5日間は落水状態とした。6月23日には全調査枠の中央部分で湛水深を測定するとともに、調査枠の近傍から10～13個体を無作為にサンプリングし、冷蔵庫に保存して後日草丈、葉齢、分げつ出現等を調査した。また、7月7日、14日および21日に調査枠内の茎数を調査して最高茎数を求めた。

1999年は、苗立ち期以降の湛水深を深くすることにより低位節の分げつ出現を抑制し、抑制さ

れた初期生育が苗立密度と1次最終分げつの出現節位との関係に及ぼす影響を調査するとともに、最高茎数についても調査した。播種は5月18日に行った。栽培面積は、両品種ともに195×20mとした。播種量は乾籾換算でキヌヒカリ5.7g/m²、どんとこい5.5g/m²であった。調査枠の設置は1998年とほぼ同様に行ったが、短辺方向には走行路中央からは2.5-3.0mの位置にすべて設置し、全体として80枠を設置した。5月31日に湛水して6月7日と17日に各調査枠の中央部分で湛水深を測定し、6月17日には調査枠内の苗立ち個体数を調査した。そして、この調査結果をもとに苗立密度が広範となるようにキヌヒカリで16地点（苗立密度40～192本/m²）、どんとこいで18地点（苗立密度32～180本/m²）を選択し、調査枠内の4個体について葉齢と1次最終分げつの出現節位を調査した。また、6月22日には全調査枠の近傍から10個体を無作為に採取し、1998年と同様に草丈、葉齢、分げつ出現等を調査した。そして、6月28日から7月28日に計5回、調査枠内の茎数を調査して最高茎数を求めた。なお、2カ年とも水管理や風雨等にもなう湛水深の変化を調査した。1998年はフロート式の水位計（藤原製作所製、自記水田減水位計RR-20型）を用いて圃場内の2箇所（給水側と排水側、1998年）で、1999年は圧力式の水位計（コーナシステム株式会社製、KADEC-MIZU）を用いて圃場内1箇所で調査した。

2002年は、上記大区画水田の半分で水稻品種どんとこいを供試して散播直播栽培を行った。そのうち、基肥窒素を4.0g/m²と2.0g/m²均一に施肥した試験区（各5×200m、P₂O₅、K₂Oはそれぞれm²当たり6.7g、6.0g）を調査対象とした。播種は5月13日に行い、乾籾換算で5.6g/m²の催芽籾を定幅散布機により土壌表面に散播した。苗立ち期に調査枠を水田長辺方向に10m等間隔で計18枠（各9枠）設置し、全調査枠を対象に6月7日から7月12日までに計5回茎数調査を行って最高茎数を求めた。なお、分げつの表記は、第1葉（不完全葉）葉腋から発生する分げつを1号分げつ（T1）とし、節位の順に2号分げつ（T2）、3号分げつ（T3）のように記した。また、2次分げつも同様に表し、例えば2号分げつの第1葉葉腋から出現する2次分げつをT21と記した。

2) 葉面積指数と茎数との関係

水稻品種どんとこいを供試して、2000年から2002年の3ヶ年、中央農業総合研究センター北陸研究センター内の場内圃場（上越市稲田、細粒強グライ土）において潤土直播方式で散播直播栽培を行った。いずれの年も播種量を変えることにより異なる苗立密度の群落を作出した（表5-1）。播種量は、2000年は乾籾換算2.0～8.0g/m²で4水準（2g/m²区のみ2反復、他は反復なし）、2001年と2002は1.25～8.75g/m²で6水準（2001年は3反復、2002年は2反復）とし、定幅散布機（2000年と2001年）もしくは手（2002年）で催芽籾を散播した。そして、表5-1に示す各サンプリング日には、予め設置しておいた調査枠内に生育するイネを抜き取り、茎数を調査するとともに葉身を切除して葉面積（林電工、AAM-9）を調査した。基肥窒素量は、2000年は4.0g/m²（2～8g/m²播種区）と6.0g/m²（4～8g/m²播種区）とし、2001年と2002年は4.0g/m²とした。P₂O₅

表5-1 試験区の栽培条件とサンプリング日

栽培年	播種日	播種量 (g/m ²)	基肥窒素量 (g/m ²)	苗立密度 (個体/m ²)	サンプリング日 (DAS)
2000	5月23日	2, 4, 6, 8	4, 6*	60-292	36
2001	5月17日	1.25, 2.25, 3.5, 5.0, 6.0, 8.75	4	28-208	33, 40
2002	5月15日				
				24-212	26, 30, 34, 41

DAS: 播種後日数を示す。*: 基肥窒素6g/m²は、播種量4～8g/m²の試験区で実施した。

と K_2O は、2000 年と 2001 年はそれぞれ $7.2g/m^2$ と $6.4g/m^2$ 、2002 年はそれぞれ $8.0g/m^2$ と $7.2g/m^2$ を基肥として施肥した。

3) 低苗立密度の群落に対する早期窒素追肥が最高茎数ならびに収量に及ぼす影響

水稻品種どんとこいを供試し、1999 年と 2000 年の 2 カ年試験を行った。1999 年は中央農業総合研究センターの大区画水田（新潟県頸城村、細粒グライ土、 $200 \times 52m$ ）内の $150 \times 10m$ に、2000 年は同センターの場内圃場（上越市稲田、細粒強グライ土、 $11 \times 98m$ ）内の $10 \times 26m$ に定幅散布機により散布幅 $10m$ で催芽粉をそれぞれ 5 月 18 日と 5 月 23 日に播種した。両年とも苗立密度の低い群落を作出するために、1999 年は乾初換算で $1.1g/m^2$ を、2000 年は $2.0g/m^2$ 播種した。播種後は落水状態で管理し、1999 年は 5 月 31 日に 2000 年は 6 月 2 日に湛水を開始した。

1999 年は、プラスチックシートにより囲った $1.2 \times 1.2m$ を 1 試験区とし、試験区内に $0.5 \times 0.5m$ の調査枠を 2 枠設置した。2000 年はアルミ板（ $75 \times 25cm$ ）4 枚により囲った $75 \times 75cm$ を 1 試験区とし、試験区内の中央部分に調査枠を 1 枠設置した。そして、両年とも調査枠内の苗立ち数は、間引きないし補植により 1999 年は 6 個体（ $24 本/m^2$ ）に 2000 年は 5 個体（ $20 本/m^2$ ）に調整し、試験区内の苗立密度も併せて調整した。窒素追肥には、硫安（窒素成分で $4.0g/m^2$ 施用、以下硫安区と記す）と緩効性の肥料である LP コート 30（窒素成分で $3.0g/m^2$ 施用、チッソ旭株式会社製、以下 LP30 区と記す）を使用した。追肥時期は 3、4 および 5 葉期（ただし不完全葉を第 1 葉とする）とし、それぞれ 1999 年は 6 月 2 日、7 日および 11 日に、2000 年は 6 月 7 日、12 日および 16 日に表層施肥した。試験は 3 反復で行った。追肥処理以外の施肥は、基肥として N 、 P_2O_5 、 K_2O をそれぞれ m^2 当たり $4.0g$ 、 $7.2g$ 、 $6.4g$ 全層施用した。穂肥は、1999 年は 7 月 29 日に上記成分それぞれを m^2 当たり $3.2g$ 、 $5.7g$ 、 $5.1g$ 、2000 年は 8 月 3 日に窒素成分で $3.3g/m^2$ を施用した。調査は枠内の個体を対象とし、6 月下旬ないし 7 月上旬にすべての分けつの次位と節位を調査した。7 月中旬に茎数を調査するとともに、収穫期には枠内の個体を刈り取って収量構成要素を調査した。

また、同一圃場内で局所窒素追肥をする際の基礎的知見を得るために、田面水中の窒素濃度の推移を調査した。具体的には、2000 年の 4 葉期に追肥した硫安区を対象として、追肥直後から 8 日間に計 9 回田面水をサンプリングしてアンモニア態窒素濃度をインドールフェノール法で調査した。そして、試験区の面積と水深から田面水中のアンモニア態窒素量を算出した。

4) 高苗立密度の群落に対する最高分けつ期頃の窒素追肥が有効茎歩合や収量に及ぼす影響

水稻品種どんとこいを供試して 2002 年に中央農業総合研究センター内の水田（上越市稲田、細粒強グライ土）で試験を行った。試験法の概要は上記（1）と同様である。播種量は乾初換算で 1.25 、 2.25 、 3.5 、 5.0 、 6.0 、 $8.75g/m^2$ として無作為に 3 反復で配置した。施肥は N を $4.0g/m^2$ とし、 P_2O_5 と K_2O はそれぞれ $8.0g/m^2$ と $7.2g/m^2$ を基肥として施用した。窒素追肥は、硫安により窒素成分で $2.0g/m^2$ 施用した。そして、1 次最終分けつの出現時期を最高分けつ期とみなし、苗立密度に応じて試験区ごとに追肥時期を設定した（表 5-2）。なお、1 次最終分けつの出現時期は、分けつの発育における規則性に基づいて、1 次最終分けつの出現節位に 3 を加えた値に葉齢が達した時とし、1 次最終分けつの出現節位は 1998 年に行った上記（1）の試験で得られた苗立密度と 1 次最終分けつの出現節位との関係（図 5-1）を用いて推定した。この他に、幼穂形成期（7 月 23 日）ならびに減数分裂期（8 月 5 日）にも窒素成分で $2.0g/m^2$ を穂肥として施肥した。窒素追肥時に調査枠内の茎数を調査し、収穫期にはこの調査枠内のイネを刈り取り、穂数ならびに粗玄米重などを調査した。また、この他に、7 月 23 日、8 月 5 日ならびに 8 月 19 日にも予め設置しておいた調査枠内に生育するイネを抜き取り、茎数や穂数を調査した。

表5-2 窒素追肥時期

試験区	月.日	播種後日数	葉齢
200	6月20日	36	8.0 (8.1)
140	6月30日	46	9.3 (9.1)
120	7月2日	48	9.6 (9.5)
80	7月4日	50	10.5 (10.2)
48	7月5日	51	10.8 (10.7)
24	7月8日	54	11.6 (11.1)

()内の数字は設定した窒素追肥時期を示す(2002年). 詳細は本文参照.

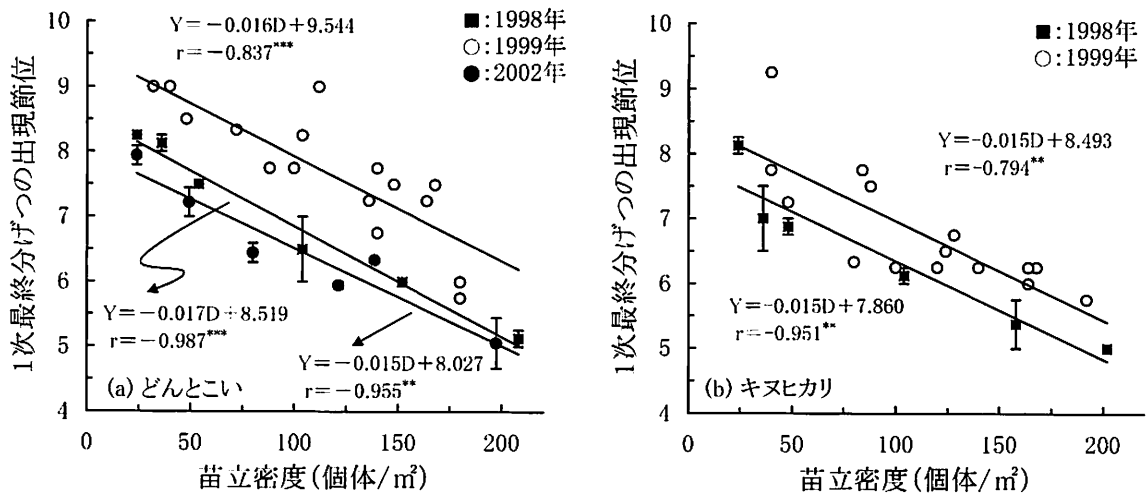


図5-1 苗立密度 (D) と1次最終分げつの出現節位との関係

図中の垂線は標準誤差 (1998年; n=2、2002年; n=3) を示す。1999年は大区画水田における調査結果 (どんとこい18地点、キヌヒカリ16地点) を示す。

3. 結果と考察

1) 最高茎数の予測法ならびに葉面積指数と茎数との関係

(1) 最高茎数の予測モデルの作成: イネの最大分げつ力に基づいて散播直播水稻の最高茎数を予測する手法が佐々木ら (1998) によって報告されているが、この予測法では苗立密度、2号分げつ (T2) や3号分げつ (T3) の出現個体割合、そして、主稈上で最後に出現する1次分げつ (1次最終分げつ) の出現節位の情報が必要となる。しかしながら、これらT2やT3といった低位節から出現する1次分げつは、苗立ち期の湛水深の影響を強く受け、田面のわずかな高低によって影響されるので (佐々木ら 2002a)、大区画水田ではできるだけ多くの地点で調査する必要があるが、調査に多くの労力を必要とするので現実的ではない。したがって、圃場内の多数地点における低位節の分げつ出現率の情報を得るためには、田面の高低を計測するとともに苗立ち期の湛水深をモニタリングし、これらの情報から低位節の分げつ出現率を推定する手法が有効と思われる。

1998年と1999年に大区画水田内の多数地点で水深を調査し、品種毎の平均水深を基準として各地点の田面の標高を求め、草丈や分げつ出現率との相関関係を調査した結果を表5-3に示す。草丈は田面の標高と負の相関関係 ($r = -0.543*** \sim -0.802***$) を示し、田面が低い地点ほど長い傾向にあった。一方、分げつ出現率をみると、T2の出現率と田面の標高との間には品種や年次

表5-3 田面の標高と播種後35日目の草丈および分げつ出現率との相関関係

	キヌヒカリ		どんとこい	
	1998年	1999年	1998年	1999年
調査地点数	40	39	60	39
草丈	-0.526 ***	-0.802 ***	-0.563 ***	-0.543 ***
T2	0.571 ***	0.437 **	0.425 ***	0.362 *
T3	0.598 ***	0.664 ***	0.208	0.411 **
T4	0.237	0.446 **	0.117	0.444 **
茎数	0.412 **	0.454 **	0.233	0.464 **

田面の標高は、水深調査の結果から品種毎の平均水深を求め、平均水深を基準として各地点の田面の相対的な標高を算出した。T2～T4は2～4号分げつを示す。

*, **および***は、それぞれ5%, 1%および0.1%水準で有意であることを示す。

関わらず正の相関関係が認められた ($r=0.362^* \sim 0.571^{***}$) が、T3の出現率と田面の標高との相関係数は $0.208^{ns} \sim 0.664^{***}$ の範囲内にあった。これらの結果は、低位節の分げつ出現率は湛水深の影響を強く受けることを示すが、相関係数の大きさから湛水深以外の栽培環境によっても影響されたことが示唆される。つまり、田面の高低を計測し、さらに苗立ち期の湛水深をモニタリングしたとしても、低位節からの分げつ出現率を高い精度で推定することは現状では難しいと判断せざるを得ない。苗立ち数は、画像解析法によって概ね推定できることを3章で報告したが、低位節からの分げつの出現状況を画像解析法によって把握することは困難であった。したがって、大区画水田内の局所栽培管理を前提として多数地点の最高茎数を予測するためには、分げつ出現率の情報を必要としない予測法が必要であり、以下ではこの予測法を検討した。

まず、苗立密度と1次最終分げつの出現節位との関係を図5-1に示す。1998年と2002年は場内試験の結果であり、1999年は大区画水田での調査結果である。どんとこい、キヌヒカリとも栽培年に関わらず1次最終分げつの出現節位は苗立密度と高い負の相関関係を示し、苗立密度が大きいほど出現節位は低位となった。このような傾向は、三石ら (1990)、梅津ら (1992)、渡部ら (1994) や佐々木ら (1999) などの報告の結果とも一致する。苗立密度の増加にともなう1次最終分げつの出現節位の低下の程度、すなわち回帰係数はどんとこいで $-0.017 \sim -0.015$ 、キヌヒカリでは2ヶ年とも -0.015 であり、両品種とも回帰係数には有意な年次間差は認められず、また同一年次で比較した場合には品種間にも有意な差は認められなかった。しかし、両品種とも1999年の1次最終分げつの出現節位は他の年に比較して高く、どんとこいの場合、1999年の回帰定数は1998年に比較して1.0節位高く ($p < 0.01$)、また2002年に比較して1.5節位高かった ($p < 0.01$)。キヌヒカリでも同様の傾向が認められ、1999年の回帰定数は1998年に比較して有位差は認められなかったが0.6節位高かった。1999年は苗立ち期から生育初期にかけて湛水深を深くして栽培し、その結果、初期生育は著しく抑制された (佐々木ら 2002a)。具体的には、1999年はサンプリングを行った6月22日までの平均標高地点における水深は5.9cmであったが、それにより下位節の分げつ出現率は大きく低下し、T2の出現率はキヌヒカリで8%、どんとこいで23%であり、T3の出現率も同様にそれぞれ53%と67%にとどまった。一方、1998年はサンプリング日までの平均水深は2.5cm程度であったことから、調査対象個体の88% (キヌヒカリ) ないし92% (どんとこい) がT2を初発分げつとし、残りの個体もT3が初発分げつであり1999年とは対照的であった。したがって、低位節からの分げつ出現率の高低、すなわち初期生育の良否が1次最終分げつの出現節位に関与した可能性が考えられ、1次最終分げつの出現節位は単に苗立密度によって規定さ

れるのではなく、初期生育の良否によっても影響されと考えられた。

松葉（1988）は直播イネについて分げつの出現を観察し、分枝構造や分げつ数は各母茎上における最終分げつの出現節位の位置関係によって限定されること、そして、1次分げつの出現節位が第 n 節で終わった場合、主茎を含む理論的な最大限の分げつ数（最大分げつ数）は、 2^n であることを報告している。この理論的な最大分げつ数は、1次分げつの出現開始節位と最終出現節位とから1次分げつの出現範囲を定めることにより算出することができる。そこで、品種どんとこいについて、1次分げつの出現節位数（ n ）を算出して苗立密度との関係を示したのが図5-2である。ただし、1999年は、6月22日の調査時点（平均葉齢7.7）で分げつが出現していなかった個体は、1次分げつの最下出現節位をすべて5として、その地点における1次分げつ最下出現節位の平均値を求めた。また、2002年は初発分げつの出現節位を調査しなかったが、6月14日（葉齢6.5）に調査した個体当たりの茎数から低位節の分げつ出現率を別途推定し、その推定値（T2の出現率87%、T3の出現率100%）を用いた。場内圃場で行った1998年と2002年の1次分げつの出現節位数は苗立密度と密接に関連し（ $R^2 = 0.923$ ）、また、大区画水田で試験を行った1999年はバラツキがやや大きいものの1998年や2002年と同様に苗立密度と関連することがわかる（図5-2）。いずれの年も1次分げつの出現節位数は苗立密度の増加にともなって減少する傾向にあったことから、1次分げつの出現節位数は個体の密度によって強く影響されと考えられた。そこで、1次分げつの出現節位数（ n ）は苗立密度（ D ）の関数とし、場内試験で得られた1998年と2002年データから関係式（式1）を導き出した。

$$n = -1.325 \times \ln(D) + 11.371 \quad (\text{式1})$$

既述のように主茎を含む理論的な最大限の分げつ数は、1次分げつの出現節位数から算出するが、この場合、前葉節から出現する分げつの扱いが問題となる。しかし、1998年と1999年の大区画圃場で行った上記サンプリング調査の結果では、前葉節から出現したと思われる2次分げつは確認できなかった。そこで、個体当たりの最大分げつ数の算出に際しては、前葉節からは分げつは出現しないと仮定し、分げつの次位は最大3とした。これにより、主茎を含む個体当たりの理論的な最大分げつ数（ $T_{\max}$ と記す）は、松葉（1988）の報告を参考にして、

$$T_{\max} = 1 + n + (n-1)(n-2)/2! + (n-2)(n-3)(n-4)/3! \quad (\text{式2})$$

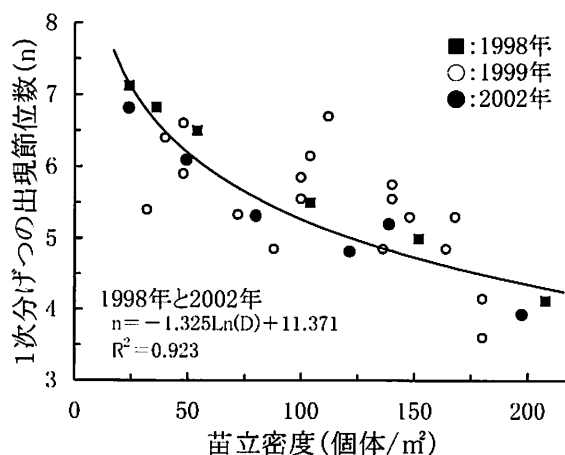


図5-2 苗立密度（ D ）と1次分げつの出現節位数（ n ）との関係
1次分げつの出現節位数の算出については本文参照。

と表すことができる。 $(n-1)(n-2)/2!$ は2次分げつ数を、 $(n-2)(n-3)(n-4)/3!$ は3次分げつ数を表す。この $T_{\max}$ は、1次分げつの出現節位数から理論的に導き出される最大分げつ数であるが、実際に出現する分げつ数は理論値よりも低いと推察される(佐々木ら 1999)。そこで、個体当たりの最高茎数の実測値と式2によって算出される理論値から個体全体の分げつ出現率を算出すると、分げつ出現率は図5-3に示すように概ね60～80%の範囲内に収まり、低密度でやや低下する傾向がうかがえた。そこで、個体全体の分げつ出現率(SURatio)は以下の式で表すことにした。

$$\text{SURatio} = 47.324 \times D^{0.00771} \quad (\text{式3})$$

以上より、個体当たりの最高茎数の予測値は、式2によって算出される理論的な最大分げつ数($T_{\max}$)に個体全体の分げつ出現率(SURatio)を乗じて算出され、これに苗立密度(D)を乗じることによって m^2 当たりの最高茎数($\text{CN}_{\max}$)が算出される(式4)。これらの式によって、パラメータの推定に使用した1998年と2002年の広範囲な最高茎数(483～1349本/ m^2)が平均推定誤差(RMSE)で91本/ m^2 、そして決定係数 $R^2 = 0.909$ の精度で説明することができた(図5-4)。

$$\text{CN}_{\max} = T_{\max} \times \text{SURatio} \times D \quad (\text{式4})$$

(2) 大区画水田における最高茎数の局所予測例

1998年と2002年：まず、上記と同一栽培年である1998年(圃場内60地点)と2002年(同18地点)の大区画水田での最高茎数を予測した結果を以下に述べる。実測した苗立密度を用いて最高茎数を予測した結果、ほとんどの地点で過大に予測し、RMSEは318本/ m^2 で $R^2 = 0.445$ となり、十分な予測精度は得られなかった。1998年のT2の出現率は平均58%であったが、それらの個体のうち2次分げつT21が出現した個体は26.4%に過ぎなかった(佐々木ら 2002a)。2002年もT2の出現個体割合は平均55.4%であった。これらの調査結果を踏まえ、最下1次分げつから2次分げつは出現しなかったと仮定し、式2を以下に示す式5と変更した。

$$T_{\max} = 1 + n + (n-2)(n-3)/2! + (n-3)(n-4)(n-5)/3! \quad (\text{式5})$$

これによって最高茎数を予測した結果、過大に予測するという問題は大幅に改善され、図5-5に示

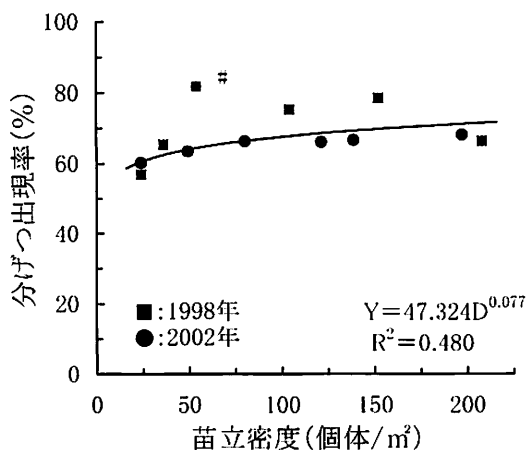


図5-3 苗立密度(D)と個体全体の分げつ出現率(SURatio)との関係
図中のデータ#は近似曲線には含まれない。

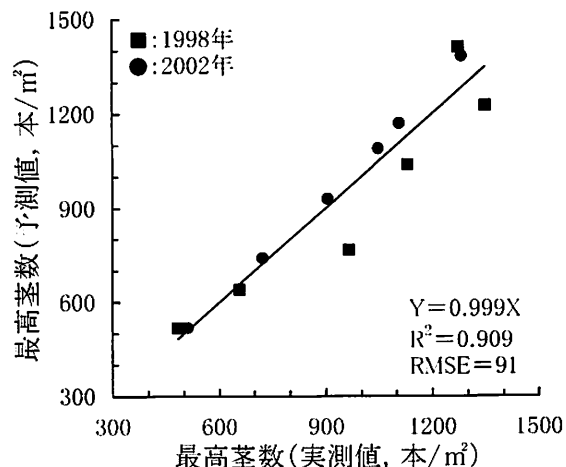


図5-4 最高茎数($\text{CN}_{\max}$)の予測値と実測値との関係

すようにRMSEは127本/m²にまで低下し、予測精度は大幅に向上した。このことは、最下1次分げつからは2次分げつは出現しないとした仮定が概ね正しいことを示唆する。ただし、水深を調査した1998年データを対象に排水側から畦畔から等距離にある各3地点について、水深から求めた田面の標高ならびに予測値/実測値の各3地点の平均値を排水側畦畔からの距離に対してプロットすると、田面が相対的に低い排水側では依然として茎数を過大に予測し、逆に給水側ではやや過小に予測する傾向が認められた(図5-6)。この結果は、式5に示す上記の仮定では、2次分げつや3次分げつの出現を依然として十分に説明できていないことを意味する。分げつ芽は、炭水化物や無機成分を母茎から継続的に供給されて発育するが、特に、分げつ芽が分げつになるか休眠するかは、体内の窒素と炭水化物の供給と密接に関係すると考えられている。しかし、1次分げつの生育とそれを母茎とする2次分げつの出現率との関係は、これまで十分に調査されているとは言えない。したがって、最高茎数の予測精度を更に向上させるためには、T2やT3といった低位節から出現する1次分げつの生育の良否が、それを母茎として出現する2次分げつの出現率やその生育に及ぼす影響を詳細に調査し、得られた知見を上記の予測式に反映させる必要がある。

1999年：1999年に大区画水田で栽培して得られた苗立密度の実測値から最高茎数を予測した(圃場内40地点)。まず、式2によって最高茎数を予測した結果、最高茎数が多い地点ほどやや過

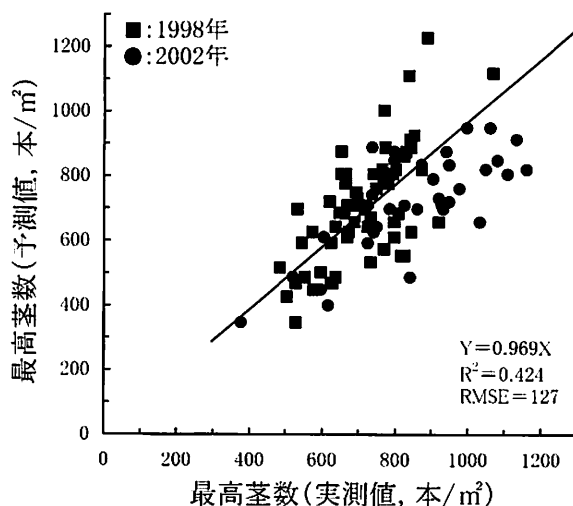


図5-5 大区画水田における最高茎数の予測値と実測値との関係

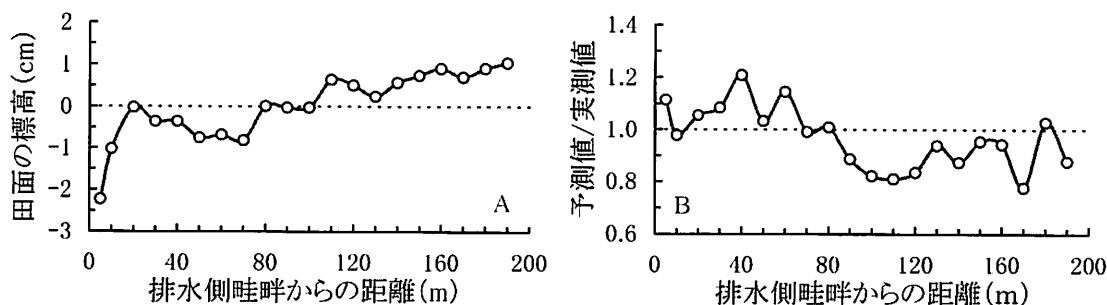


図5-6 大区画水田内の田面の高低(A)と最高茎数の予測精度(B)(1998年)

各プロットは、排水側畦畔から等距離にある3地点の平均値を示す。図Aに示す田面の標高は、標高の平均地点を0cmとした相対値で示した。

大に予測する傾向がうかがえたが、124～1312本/m²と広範囲な最高茎数をRMSEで173本/m²、決定係数 $R^2=0.654$ の精度で予測した(図5-7)。しかし、式5によって最高茎数を予測した場合には、ほとんどの地点で過小に予測し、RMSEは230本/m²にまで増加した(データ省略)。

このように、最高茎数の予測結果は式2と式5では大きく異なるが、最高茎数の予測に際し、いずれを適用するかを判断する明確な基準は今のところ見あたらない。しかし、圃場内の個々の地点における予測誤差が小さくなるように、式2と式5のいずれかを選択した場合には、1998年と2002年の場合にはRMSEが97本/m²($R^2=0.677$, $Y=1.062X$)、1999年の場合にはRMSEは94本/m²($R^2=0.865$, $Y=1.024X$)となり、予測精度が大幅に向上する可能性が示唆された。低位節から出現する1次分げつの出現率は、田面の高低や湛水深の影響を受け(表5-3)、1998年の大区画圃場での調査結果では、出現した1次分げつT2の相対葉齢差(後藤・星川 1988)は0(T21出現個体)ないし負の値(-0.2, T21非出現個体)を示し、出現した1次分げつ(T2)にも相対的な生育の遅れが認められた(佐々木ら 2002a)。このように、田面の高低や苗立ち期の湛水深は分げつの出現のみならず生育にも強く関与すると思われるので、予測精度を向上させるためには、やはり田面の高低や湛水深の情報を予測手法に取り入れる必要がある。そのためにも、再三述べてきたように低位節から出現する1次分げつの生育とそれを母茎として出現する2次分げつの生育との関係について詳細に調査し、式2や式5で示した様な単純な仮定ではなく、より現実に近い予測手法を検討する必要がある。また、分げつの発育は、気象条件のほかに肥料条件、特に窒素肥料の影響を受けることが知られている。実際、2002年の大区画水田の試験では基肥窒素量を2.0g/m²と4.0g/m²としたが、同程度の苗立密度で最高茎数を比較したところ、明らかに4.0g/m²の方が多い傾向にあった(データ省略)。本論文で提示した最高茎数の予測法では、個体全体の分げつ出現率を苗立密度の関数(式3)として固定的に扱ったが、年次間での気象条件や基肥窒素量の多少など考慮すべき点は他にもあり、更に研究を積み重ねていくことが必要である。

2) 葉面積指数を利用した茎数の推定法

植被率から散播直播水稲の茎数を推定するためには、葉面積指数と茎数との関係を整理し、葉面積指数から茎数を推定する方法を構築し、次に得られた結果を植被率から葉面積指数を算出する過程に取り入れる必要がある。まず、葉面積指数と茎数との関係を最初に述べる。図5-8は、2002年の場内試験における播種後26～41日目までのm²当たりの茎数と葉面積指数との関係を示す。m²当たりの茎数と葉面積指数とは、いずれの計測日においても高い正の相関関係($r=$

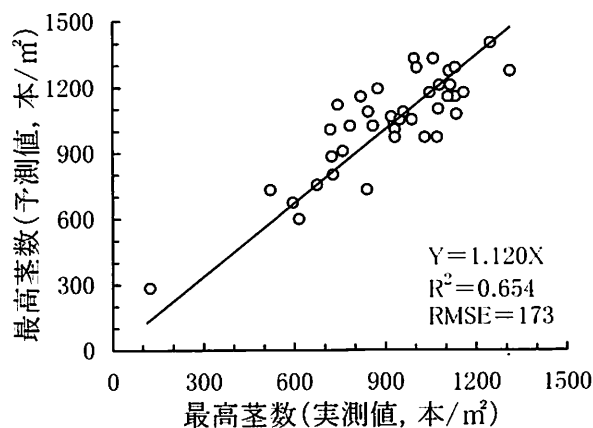


図5-7 大区画水田における最高茎数の実測値と予測値との関係(1999年)

0.984***～0.998***)を示し、茎数の増加に伴って葉面積指数は直線的に増加した。また、各回帰直線の回帰係数は、生育の経過とともに大きくなる傾向にあった。そこで、計測日毎の回帰直線における回帰係数ならびに回帰定数は、葉齢の増加とともに変化すると仮定し、葉齢*i*におけるm²当たりの茎数(CN)は、葉齢*i*とその時の葉面積指数LAI*i*とから、以下の式によって表すこととした。

$$CN = (Sa \times \exp(Sb \times i)) \times LAI_i \times 10^4 + (Ia \times \ln(i) + Ib) \quad (\text{式6})$$

ここで、*Sa*、*Sb*、*Ia*および*Ib*はパラメータであり、式6の(*Sa* × exp(*Sb* × *i*))は葉面積指数と茎数との回帰係数に相当し、(*Ia* × ln(*i*) + *Ib*)は回帰定数に相当する。これらのパラメータを推定するために、播種量を変えて生育量の異なる群落を作出した2000年から2002年の3ヶ年のデータを使用した(表5-1)。茎数と葉面積指数は、0.5 × 0.5mの調査枠内に生育するイネを根から掘り上げ、茎数を調査したのち葉身部を切除して葉面積を求め、これをm²あたりに換算した。また、葉齢は別途設けた調査枠内の数個体について調査したデータを用い、葉面積指数とともにモデルの入力変数とした。

これらのデータを用いて茎数の実測値と推定値の残差二乗和を最小にするパラメータを推定したところ、*Sa* = 2.4857、*Sb* = -0.4045、*Ia* = 88.1760、*Ib* = -135.6198が得られた。そして、ここに示した推定法によって、44～1276本/m²と広範囲な茎数がRMSEで45本/m²、決定係数R² = 0.977と極めて高い精度で説明することができた(図5-9)。

群落上部から撮影した画像を元に算出した植被率が、葉面積指数のみならず窒素吸収量を推定する手法として利用できることを著者らは報告してきたが(佐々木ら 2001、Sasaki et al 2002、柴田ら 2000、柴田ら 2002)、3章で述べたように、GIMSにより圃場内で連続的に画像を収集し、各地点における植被率を計測することができる。したがって、GIMSによって圃場内各所の葉面積指数を植被率から推定する際に、さらに式6の推定式を加えることにより、圃場内各所の茎数が推定できるものと推察される。その際、葉齢の情報も必要となるが、密度間で葉齢に顕著な差が生じ始めるのは播種後40日目頃以降であったので(データ省略)、それ以前であれば、圃場内の数カ所で調査した葉齢を用いることができる。また、移植水稻では、気温から葉齢を推定する手法が報告されている(中川・堀江 1991)ので、それを直播水稻に応用することによって気温から葉齢を推定することも可能と考えられる。

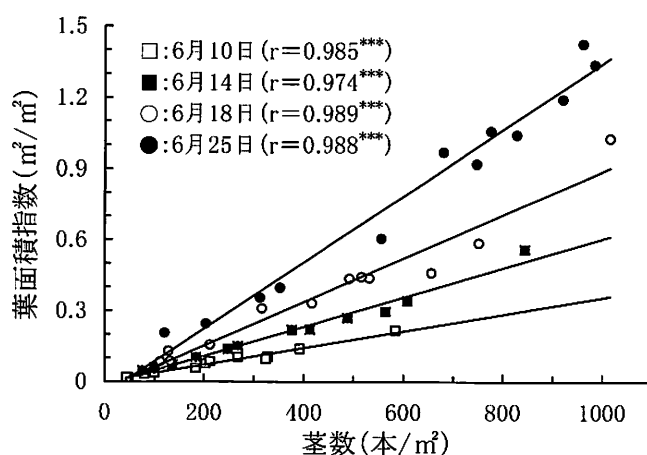


図5-8 茎数と葉面積指数との関係 (2002年)

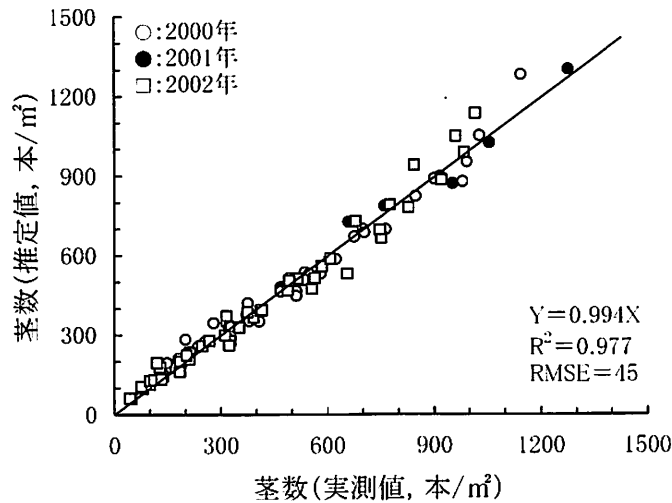


図5-9 葉面積指数と葉齢から推定した茎数と実測値との関係

3) 低苗立密度の群落に対する早期窒素追肥が最高茎数ならびに収量に及ぼす影響

イネを直播栽培した場合に同一圃場内でみられる苗立密度の変動は、播種作業にともなう播種量の多少と、種子近傍の土壤環境や田面の高低、さらには鳥害などによってもたらされる。したがって、同一圃場内での局所的な苗立密度の低下には、これらが密接に関連すると推測され、その関与の程度によって苗立ち期の生育も異なると推測される。このような苗立ち期の環境を実験的に再現することは難しく、本研究では少ない播種量で作出した低苗立密度の群落を対象として、窒素追肥が分げつや収量に及ぼす影響を調査した。

散播直播水稲では、苗立密度が低い場合ほど1次最終分げつの出現節位が上位となるとともに、分げつの最高次位も高まることにより、最大分げつ数の理論値は高まるが、最大分げつ数に占めるT2やT3といった低位節の分げつに由来する分げつ数の割合は高いとの報告(佐々木ら 1999)を踏まえ、1999年は低位節の分げつ出現を抑制するために苗立ち期に水深を深めに管理した。その結果、1999年はT2の出現率が8～31%、T3の出現率も52～83%と低位節の分げつ出現が抑制された(表5-4)。そして、初発分げつの出現節位は、2000年が平均2.2節であったのに対し、1999年は平均1節位上昇し平均3.2節となった(表5-5)。このように初期生育の異なる群落に対して窒素追肥を施した結果、1999年はT2に関しては3葉期と4葉期の硫安区および3葉期のLP区で若干出現率が高まる傾向を認めたが、T3を含む他の1次分げつには窒素追肥による出現率の向上は認められなかった(表5-4)。同様に2000年の分げつ出現率をみると、T2の出現率は53～100%の範囲にあったが、4～5葉期の硫安区や4葉期処理のLP区では無処理区より高い傾向にあった。一方、T3～T5は、窒素追肥処理の有無に関わらずほぼすべて出現し、処理の影響は明らかではなかった。このように、低位節の分げつ出現率に対する早期窒素追肥の効果については、T2に関しては同等ないし数十%程度高まる傾向を示し、さらに速効性肥料である硫安を使用した場合に出現率が高まる傾向がうかがえたが、追肥時期の差異については傾向は一樣ではなかった。

つぎに、図5-10A、Bに8～9葉期の個体当たりの茎数を示した。1999年は3葉期に窒素を追肥した場合に無処理区よりも茎数が約1本多かったが、追肥時期が遅くなるほど追肥による茎数増加の効果は不明瞭となり、5葉期の追肥では無処理区と有意な差は認められなかった(図5-10A)。一方、2000年は1999年と傾向が異なり、追肥時期が遅いほど茎数が増加する傾向にあり、4葉期

表5-4 早期窒素追肥が分げつ出現に及ぼす影響

栽培 年次	試験区	追肥時期 (葉期)	葉齢	分げつ出現率(%)						分げつ数(本/個体)		2次分げつ出現
				T2	T3	T4	T5	T6	1次	2次	個体割合(%)	
1999	無処理	—	9.3	11	71	88	89	86	3.5	1.0	47.8	
		硫安	3	9.4	31	76	87	91	91	4.0	1.5	68.9
		4	9.3	25	75	92	94	78	3.8	1.3	69.4	
		5	9.1	11	65	88	89	76	3.4	0.8	33.3	
	LP	3	9.2	28	83	92	86	83	3.9	1.6	76.7	
		4	9.1	9	52	67	76	76	2.8	0.5	26.7	
		5	9.2	8	58	82	86	65	3.0	0.8	45.8	
	LSD (0.05)			0.3	10	13	10	17	22	0.9	0.7	8.8
2000	無処理	—	8.4	67	100	100	100	67	4.3	1.2	80.0	
		硫安	3	8.6	80	100	93	100	93	4.7	1.8	80.0
		4	8.7	100	100	100	100	100	5.0	3.2	88.9	
		5	8.7	100	100	100	100	100	5.0	2.2	100.0	
	LP	3	8.5	53	93	100	100	80	4.3	1.0	73.3	
		4	8.7	93	100	100	100	93	4.9	3.0	100.0	
		5	8.6	87	100	100	100	87	4.7	2.6	80.0	
	LSD (0.05)			0.2	25	3	3	—	18	0.6	1.1	30.7

T2～T6は2～6号分げつを示す。T2～T6の分げつ出現率および2次分げつ出現個体割合は、逆正弦変換した値により最小有意差(LSD)を算出した。ただし、表中のLSDは百分率に再度変換して表示した。また、1999年は7号分げつ出現個体があったが表示を省略した。

表5-5 早期窒素追肥が初発分げつの出現節位に及ぼす影響

栽培年	無処理区	硫安区			LP区			平均	LSD (0.05)
		3	4	5	3	4	5		
1999年	3.2	3.0	3.0	3.3	2.8	3.5	3.3	3.2	0.5
2000年	2.3	2.2	2.0	2.0	2.5	2.1	2.1	2.2	0.4

ただし、6月29日(1999年)ないし7月1日(2000年)の調査時点で分げつの出現していない個体は除いた。

および5葉期の窒素追肥によって茎数増加が認められた(図5-10B)。ただし、両年とも速効性肥料を使用した硫安区の方が緩効性肥料であるLP区よりもわずかではあるが茎数が多い傾向を示した。このような傾向は7月中旬の個体当たりの茎数にも認められ、1999年は3葉期の追肥によって、2000年は4葉期と5葉期の追肥によって茎数が増加した(図5-10C、D)。この7月中旬の調査時期はほぼ最高分げつ期に相当したと思われるが、 m^2 当たりの茎数に対する低位節の分げつ出現率の影響をみると、T2やT3出現率と密接に関連し、これら低位節の分げつ出現率が高いほど茎数は多い傾向を示した(図5-11)。データとして示さなかったが、1次最終分げつの出現節位は窒素追肥によって影響を受けなかったことを考えあわせると、最高茎数を高めるためには低位節の1次分げつ出現率を高めることにより2次分げつを増加させる必要があることが再認された。

ただし、 m^2 当たりの穂数は、1999年は393本から483本の範囲にあったのに対し、2000年は80本程少なく323本から380本の範囲にあった(表5-6)。両年とも最高茎数を調査していないので有効茎歩合は算出できなかったが、1999年は播種後58日目の茎数は穂数と同程度であったことから、有効茎歩合はかなり高かったと推察された。一方、2000年は播種後56日目の茎数に対して穂数は26～43%低下しており、低い有効茎歩合により穂数の低下を招いたと推察される。また、

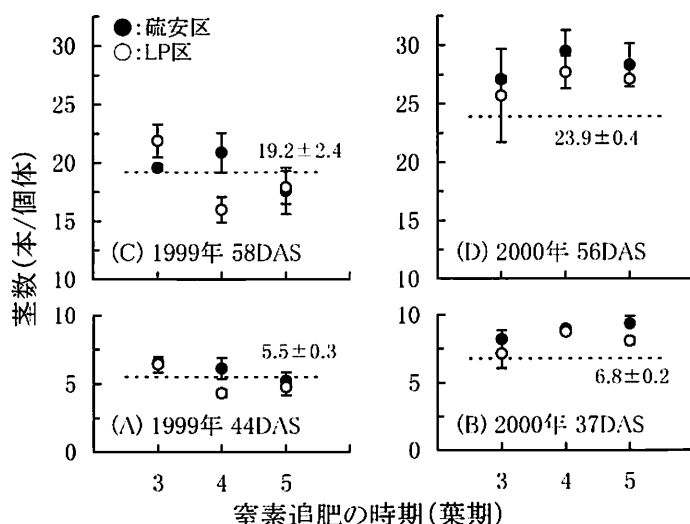


図5-10 早期窒素追肥が茎数に及ぼす影響

DASは播種後日数を示し、図中の点線は無処理区の平均値を示し、数字は平均値±標準誤差を示す。また、垂線は標準誤差 (n=3) を示す。

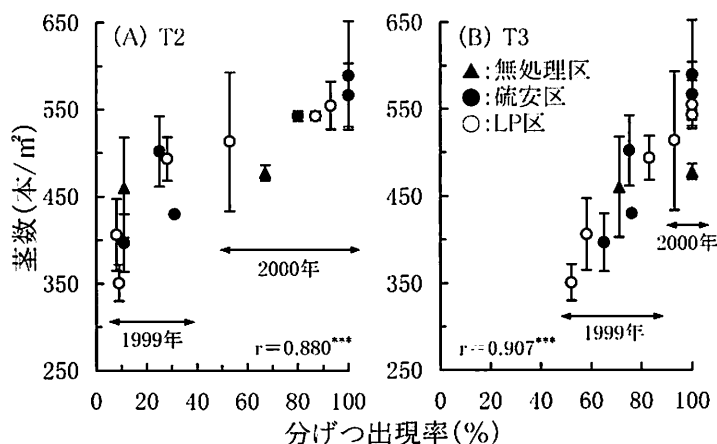


図5-11 低位節の分けつ出現率と最高分けつ期頃の茎数との関係

T2は2号分けつを、T3は3号分けつを示す。1999年は播種後58日目、2000年は播種後56日目の茎数である。相関係数は年次および処理を込みにして算出した (0.1%水準で有意)。垂線は標準誤差 (n=3) を示す。

1999年は1穂粒数が平均87.9粒であったのに対し、2000年は73.6粒であった (データ省略、表5-6参照) ことも影響し、m²当たりの総穂数は1999年が平均38.9千粒であったのに対し、2000年は26.4千粒前後にとどまった。小林・堀江 (1994) は、総穂数は穎花分化期の地上部窒素保有量とともに穂首分化期から穎花分化始期までの地上部窒素含有率の変化が関与すると報告している。既述のように1999年に比較して2000年は低位節の分けつ出現率が高く、最高分けつ期頃の茎数も1999年より25% (110本/m²) 多かったことから、生殖生長期の稲体窒素濃度の低下が2000年は顕著で、結果として総穂数の低下を招いたと推測される。2000年は総穂数が少なかったことから登熟歩合は高かったが、粗玄米重は2000年の方が総じて低かった (表5-6)。

表5-6 早期窒素追肥が収量に及ぼす影響

栽培年	試験区	追肥 (葉期)	穂数 (本/m ²)	総粒数 (千粒/m ²)	登熟歩合 (%)	粗玄米重 (g/m ²)
1999	無処理	—	393	33.1	72.0	530
		3	406	34.6	70.6	539
		4	485 *	43.1 *	68.7	643
	硫安	5	483 **	42.3 **	61.6	559
		3	455	40.4 *	67.7	601
		4	410	36.4	67.9	530
		5	461	42.4	65.1	595
	LP	3	380	30.3	77.3 ***	598
		4	361	25.2	71.6 *	511
2000	無処理	—	328	23.7	94.7	487
		3	364	28.1	91.2	569
		4	323	22.7	95.1	473
	硫安	5	377	27.3	92.9 *	541
		3	380	30.3	77.3 ***	598
		4	361	25.2	71.6 *	511
		5	377	27.7	93.0	567
	LP	3	361	28.4	83.3	508
		4	406	33.0	80.0	554
		5	407	33.7	73.8 *	567

*, **および***は、無処理区との間で5%, 1%および0.1%水準で有意差があることを示す。

両年とも窒素追肥により、穂数、総粒数および粗玄米重は無処理区と同等ないし増加する傾向が認められたが、一部の処理区を除いて無処理区と有意な差は認められなかった。青木ら（1988）は、適正な苗立ち数が得られなかった場合を想定し、苗立密度30本/m²における3葉期（本研究での4葉期に相当）の窒素追肥の影響について検討し、穂数や収量は追肥量が多いほど増加する傾向にあったと報告している。表5-6に示すように、窒素追肥の時期や年次を込みにした穂数や総粒数、粗玄米重は、硫安区とLP区のいずれも増加する傾向にあり、粗玄米重は無処理区より60g/m²程度の増収傾向にあった。原・鳥山（1997）は、水稻品種どんとこいの生育や収量に対する窒素施肥量（緩効性肥料により窒素成分で0～20g/m²施用）と栽植密度の影響を検討している。本報告と同程度の栽植密度である22株/m²における収穫期の精玄米重と窒素施肥量の報告から、施肥窒素当たりの精玄米重の増加量を算出すると17.5g/g（R²=0.91）となる。本研究のLP区では、3.0g/m²の窒素追肥によって平均59g/m²の粗玄米重の増加（19.7g/g）であったことから、窒素追肥による増収の程度は概ね妥当と考えられる。

したがって、低い苗立ち箇所に対する窒素追肥の効果については、施用量の差違とともに試験区内の生育のパラッキや適正な試験面積についても検討して定量的な評価をする必要があると考える。また、既述のように最高分げつ期頃の茎数と穂数の多少が年次間で逆転した本研究の結果は、苗立密度が低い箇所であっても低位節の分げつ出現状況に応じた施肥管理の必要性を示唆すると考える。今後は茎数の増加過程のみならず、生殖生長期の稲体窒素濃度に着目し、最高分げつ期以降の追肥時期や施肥量の組み合わせを含めて検討しなければならない。

最後に、窒素（硫安）追肥後に調査した田面水中窒素量の結果を図5-12に示した。図には追肥した窒素量（4.0g/m²）に占める割合として示した。田面水に溶出した窒素の割合は施肥直後から

高まり、16時間後にピークに達した。その後は急激に低下し、50時間後には施肥窒素量の3.5%相当量が田面水中に存在する程度にまで低下した。したがって、圃場内の局所に硫酸を追肥する場合には、散布後2～3日間は入水や落水など、田面水が移動するような水管理は避ける必要があると判断される。ただし、追肥後の窒素の挙動については、水深や減水深なども関与すると考えられるので、管理基準の策定に際してはさらに検討する必要がある。

4) 高苗立密度の群落に対する最高分げつ期頃の窒素追肥が有効茎歩合や収量に及ぼす影響

2次分げつや3次分げつの最終分げつの出現節位と1次最終分げつの出現節位との位置関係には規則性が認められており、八柳ら(1951)が仮定した考え方を松葉(松葉 1988)は実証している。したがって、1次分げつが出現を停止した時期には、それと規則的な位置関係にある次位の高い2次分げつや3次分げつも概ね停止時期にあると推測される。本研究では、1次最終分げつの出現時期は概ね最高分げつ期に相当すると考え、この時期を窒素追肥時期とした。そして、1次最終分げつの出現時期は、分げつの発育における規則性に基づいて、葉齢が1次最終分げつ出現節位+3に達した時期とした。また、1次最終分げつの出現節位は、1998年の場内試験で得られた苗立密度と1次最終分げつの出現節位との関係(図5-1)を用いて推定した。この様にして設定した追肥時期は、表5-2の括弧内に示した。実際の追肥は200本区の6月20日に始まり、24本区では7月8日であった。窒素追肥時の葉齢は設定値よりも200本区を除いてわずかに遅れたが、概ね設定した時期に行うことができた。なお、本試験では最高分げつ期を調査しなかったが、表5-2に示す窒素追肥時期から24本区と200本区では最高分げつ期に2週間以上の差が生じたと推測される。

窒素追肥時の茎数は、図5-13Aに示すように24本区(苗立密度24個体/m²)で最も少なく476～509本/m²であったが、苗立密度が高いほど茎数は増加し、140本区(苗立密度139～144個体/m²)では1048～1080本/m²にまで達した。その結果、これら試験区間での茎数の差は539～604本/m²にまで達した。しかし、図5-14に示す窒素追肥以降の茎数や8月19日の穂数、図5-13Bに示す収穫期の穂数をみると、生育の経過とともに密度間での茎数や穂数の差は縮小する傾向にあったことがわかる。苗立密度の低い試験区(24本区や48本区)では、窒素追肥時の茎数に対する穂数の比率が高く(図5-15)、したがって、有効茎歩合も高かったと推測されるが、そのことが密度間での茎数や穂数の差が縮小した主たる原因と考えられる。

つぎに、最高分げつ期頃の窒素追肥の茎数や穂数に対する影響をみると、7月12日の追肥区の茎数は、高苗立密度ほど無処理区よりも多く、140本区や200本区では追肥処理によって100～130

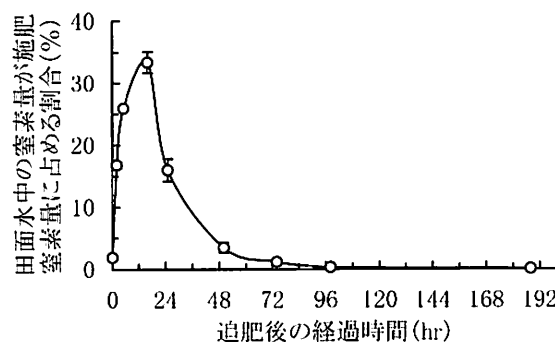


図5-12 田面水中の窒素量が施肥窒素量に占める割合の推移

2000年の4葉期(6月10日)に追肥した硫酸区の結果を示し、垂線は標準誤差(n=3)を示す。水深は平均4.3cmであった。

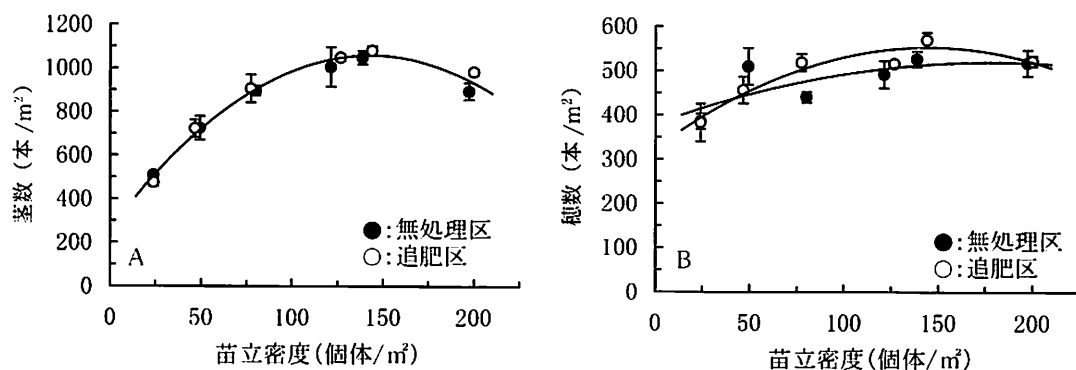


図5-13 苗立密度と窒素追肥時の茎数 (A) ならびに成熟期の穂数 (B) との関係
図中の垂線は標準誤差 (n=3) を示す。

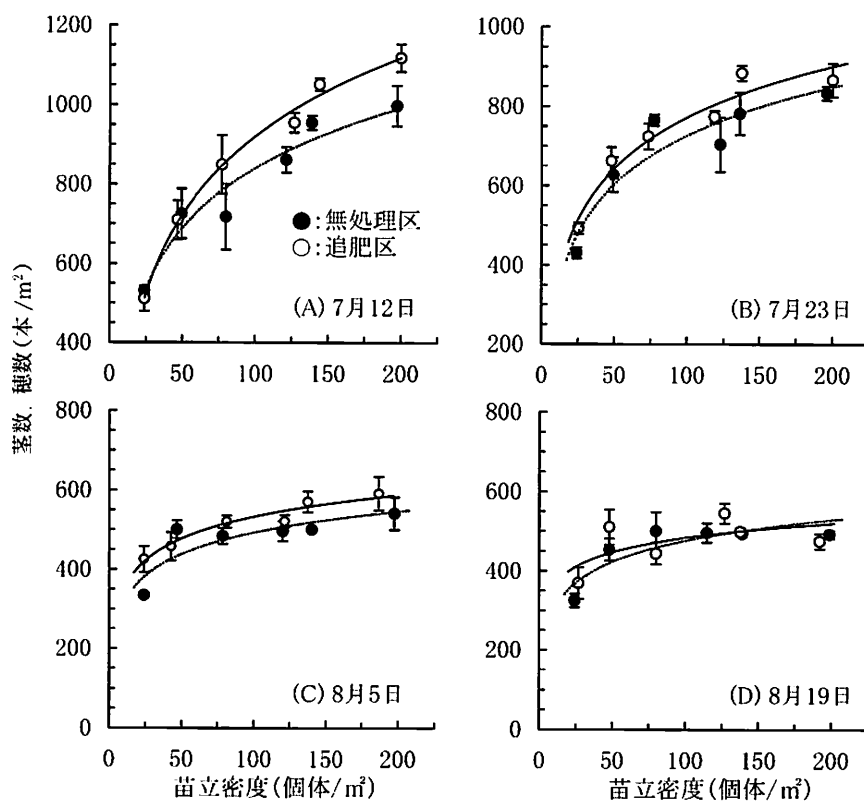


図5-14 窒素追肥が茎数および穂数に及ぼす影響 (2002年)

図Aは、図4-13に示した窒素追肥時の茎数ならびに収穫時に穂数を調査した調査枠と同一枠での調査結果を示し、図B～Dは別途設置した調査枠から抜き取って調査した結果を示す。図中の垂線は標準誤差 (n=3) を示す。出穂期は8月10～15日 (平均8月12日) であった。

本/m²程度の差が生じた (図5-14A)。しかし、生育の経過に伴って追肥区と無処理区との差は減じ、出穂後7日目頃に調査した8月19日の穂数には窒素追肥の影響はほとんど認められなかった (図5-14)。粗玄米収量は、無処理区の48本区でバラツキが大きかったが、それを除くと640～700g/m²の範囲内に収まり密度間差はほとんど認められなかった (図5-16)。一方、最高分げつ期頃に窒素追肥をした場合には、80本区や140本区で無処理区よりも増収傾向にあったが、120本区

では有意な差は認められなかった。

このように、本試験の結果からは、最高分げつ期頃の窒素追肥による有効茎歩合の向上効果は認められず、また収量に対する影響も明瞭ではなかった。鳥山ら（2003）は、本試験と同一品種であるどんとこいを供試し、高苗立密度（250個体/m²）の群落に対する8葉期の窒素追肥（2.0g/m²）によって精玄米重や穂数が10%程度増加したことを報告している。したがって、最高分げつ期頃の窒素追肥が収量や穂数、有効茎歩合の向上などに対する効果の有無をより明確にするためには、苗立密度の範囲を更に広げた試験を行うとともに、追肥窒素量についても検討する必要があると思われる。

5) 散播直播水稻における管理単位

最後に以上の結果ならびに既往の研究報告等を踏まえて、散播直播水稻の管理単位について若干触れたい。個体当たりの主茎を含む理論的な最大限の分げつ数（最大分げつ数）は、1次分げつの出現節位数によって算出されるが、この出現節位数は個体の密度によって強く影響され则认为ら

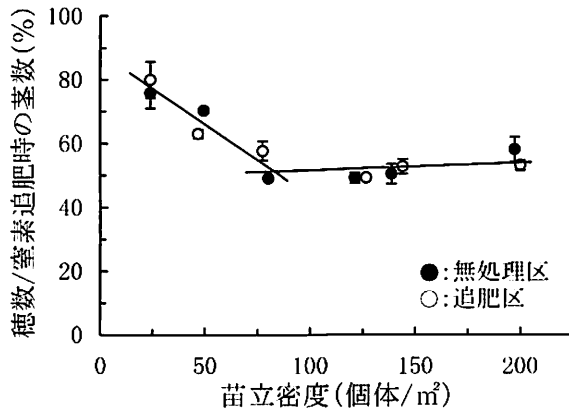


図5-15 苗立密度と窒素追肥時の茎数に対する穂数の割合との関係（2002年）

図中の垂線は標準誤差（n=3）を示す。

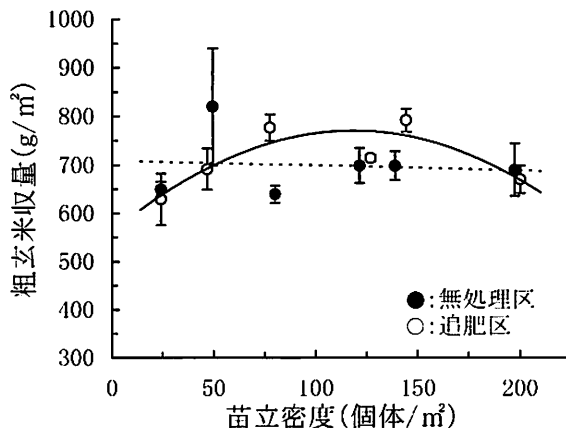


図5-16 苗立密度と粗玄米収量との関係に及ぼす最高分げつ期頃の窒素追肥の影響（2002年）

図中の垂線は標準誤差（n=3）を示す。

表5-7 散播直播水稻栽培における管理目標とその単位

	苗立密度(個体/m ²)			
	～27	27～57	57～122	122～260
1次分げつの 出現節位数(n)	$7 \leq n$	$6 \leq n < 7$	$5 \leq n < 6$	$4 \leq n < 5$
管理目標	管理継続の判断	分げつ促進	—	倒伏対策
管理単位	局所	局所	圃場	圃場
管理内容	追い播き/追肥/放棄	窒素追肥	一般管理	中干し+落水

1次分げつの出現節位数と苗立密度との関係については、本文式1により算出した。

れた。上記式1によって苗立密度と1次分げつの出現節位数との関係を整理すると、表5-7に示すように、広範な苗立密度は1次分げつの出現節位数によって大きく4つに区分することができる。

既往の報告では、寒冷地南部および暖地での苗立密度の下限は30～50本/m²と総括されていることから(姫田 1995)、苗立密度27個体/m²以下($n \geq 7$ 、 n は1次分げつ数)では減収は避けられないと考えられる。この密度領域での栽培管理としては、播種(追い播き)や窒素追肥などの局所管理が考えられるが、追い播きに関しては後述するように品質面での弊害も指摘されており、このような苗立密度では特別な栽培管理は施さないという選択肢もあるだろう。次に、苗立密度27～57個体/m²($6 \leq n < 7$)に関しては、苗立密度50個体/m²(長野 1980)や30個体/m²(青木ら 1988)などの群落への窒素追肥に関する知見や上述の早期窒素追肥の効果などから、窒素追肥により茎数や穂数の制御がある程度可能と判断した。つまり、この密度領域が局所施肥管理の対象となる。苗立密度57～122個体/m²($5 \leq n < 6$)は、一般的な栽培管理で十分対応することができるので局所管理は必要としない。また、苗立密度122～260個体/m²($4 \leq n < 5$)でも、茎数や穂数の不足を想定する必要はなく、更に最高分げつ期頃の窒素追肥が有効茎歩合に対して殆ど影響しなかったことから、局所施肥管理の対象とはならないと判断した。ただし、この高苗立密度の領域では倒伏を軽減する方策が必要であり、土壌表面硬度を高めるような数回の落水管理(谷口ら 1998)が重要となるだろう。以上の理由から、散播直播水稻の苗立密度を1次分げつの出現節位数から4つに区分したが、局所施肥管理による茎数や穂数の制御といった観点からは、苗立密度27～57個体/m²が対象となると考えられた。ただし、表5-7に示すような栽培管理を実際を選択する際には、各密度領域が圃場内にどの程度占めているのかという情報や、苗立密度27～57個体/m²の領域がどの程度連続しているかといった情報が必要となる(佐々木 2002)。前者に関しては、多数地点の苗立密度の情報から計算によって推定できるので、苗立密度の計測データは離散的であっても構わないが、後者に関しては連続的なデータでなければ追肥領域を特定することはできない。したがって、苗立密度27～57個体/m²の群落に対する局所施肥(窒素追肥)の最小管理単位(面積)は、苗立ち数の計測システムや可変施肥機(肥料散布機)の計測・散布能力等によって決まると考えられる。

4. 要約

- 1) 苗立密度から最高茎数を予測する手法を提示した。主稈の低位節からほぼ規則的に分げつが出現した場合(場内試験)は、提示した予測法によって高い精度で最高茎数を予測することが可能であった。しかし、大区画水田でしばしば起こる田面の高低や深い湛水深によって主稈低位節からの1次分げつが出現を抑制された場合には、予測精度が大幅に低下する事例が

あり、田面の高低など圃場の環境条件を考慮することが必要と考えられた。

- 2) 葉面積指数と葉齢の情報から莖数を推定する手法を提示した。44～1276本/m²の莖数を平均推定誤差53本/m²で推定することができた。画像マッピングシステムにより圃場内各所の葉面積指数を推定することができるので、このシステムに莖数の推定式を組み込むことにより圃場内各所の莖数の推定も可能と考えられた。
- 3) 低苗立密度の群落に対する3～5葉期の窒素追肥（硫酸を窒素成分で4.0g/m²、LP30を窒素成分で3.0g/m²施用）により、いずれの肥料でも60g/m²程度の増収が期待できることがわかった。しかし、最高分げつ期頃の窒素追肥は、苗立密度の多少に関わらず有効茎歩合には影響せず、増収効果はほとんど認められなかった。

5. 文献

- 1) 青木岳央・荒井忠夫・大和田輝昌・山口正篤（1988）湛水直播栽培における出芽苗立・播種期及び肥培管理法。栃木農試研報，35，9-20.
- 2) 赤松誠一（1965）水稻の散播に関する研究—第3報 栽培方式を異にする水稻の個体および群落の特性。岡大農学報，26，41-47.
- 3) 江原 宏・森田 脩・金子忠相・藤山暁然（1998）異なる苗立ち密度条件下における散播水稻個体の生育と収量の補償作用。日作紀，67，11-19.
- 4) 後藤雄佐・星川清親（1988）水稻の分げつ性に関する研究—第1報 主茎と分げつの生長の相互関係。日作紀，57，496-504.
- 5) 原 嘉隆・鳥山和伸（1997）窒素施肥量と栽植密度が水稻品種「どんとこい」の生育と収量に及ぼす影響。北陸農試報，40，78-85.
- 6) 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，東京，1-279.
- 7) 小林和広・堀江 武（1994）水稻の穎花ならびに枝梗分化に及ぼす生殖生長期の体内窒素の影響。日作紀，63，193-199.
- 8) 松葉捷也（1988）イネの茎葉生育の規則性に関する発育形態学的研究—第2報 分げつの出現停止の規則性と最大分げつ数。日作紀，57，599-607.
- 9) 三石昭三・森田 脩・中島敦司・服部 健（1990）水稻の湛水土壤中直播栽培における苗立ち密度が生育・収量に及ぼす影響。三重大学農場報告，8，1-10.
- 10) 中川博視・堀江 武（1991）イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究（10）葉齢増加と主稈総葉数の気象的予測モデル。日作紀，60（別1），272-273.
- 11) 佐々木良治・澤村宣志・齋藤仁藏（1998）イネの最大分げつ力に基づく散播直播水稻の最高莖数予測。日作紀，67（別2），86-87.
- 12) 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。日作紀，68，10-15.
- 13) 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和伸（2001）植被率を利用した水稻群落の生育量の評価。北陸農業研究成果情報，17，21-22.
- 14) 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和伸（2002a）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げつに及ぼす影響。日作紀，71，308-316.
- 15) 佐々木良治・鳥山和伸・柴田洋一（2002b）散播直播栽培した水稻品種どんとこいの低苗立ち

群落に対する早期窒素追肥が分けつおよび収量に及ぼす影響. 北陸作報, 37, 37-40.

- 16) 佐々木良治 (2002) 大区画水田における水稻の局所栽培管理に必要な情報と求められる精度. 農業および園芸, 77, 1219-1226.
- 17) Sasaki, R., Y. Shibata, K. Toriyama and M. Sugimoto (2002) Estimating nitrogen uptake by rice at panicle initiation stage using plant cover ratio. Proceedings (on CD-ROM) of the 6th International Conference on Precision Agriculture, Eds. P.C. Robert, R.H. Rust, W.E. Larson, Madison, Wisconsin, ASA/CSSA/SSSA.
- 18) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸・浅野 修・廣川 誠・荒木 幹 (2000) 画像マッピングシステムの開発 (速報). 農機誌, 62, 175-177.
- 19) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸・荒木 幹・浅野 修・廣川 誠 (2002) 水稻の局所栽培管理のための画像マッピングシステム. 農機誌, 64, 127-135.
- 20) 谷口岳志・中邑光太郎・萩原 均・寺島一男 (1998) 水稻湛水直播栽培における水管理条件が耐倒伏性と生育に及ぼす影響. 日作紀, 67 (別1), 254-255.
- 21) 鳥山和伸・山口弘道・大矢慎吾 (2004) 平坦水田地帯における大規模米生産システムの確立. 中央農研研究資料, 4号, 1-118.
- 22) 角田公正・刈屋国男・町田寛康 (1980) ばらまき条件下における小面積内の栽植のかたよりが水稻の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀, 49, 276-280.
- 23) 梅津敏彦・遠藤昌幸・結城和博・今野 周・米野 操・武田正宏 (1992) 散播による湛水土壤中直播栽培技術. 山形農試研報, 26, 77-102.
- 24) 渡部 隆・椎木信幸・石川哲也・寺島一男 (1994) 栽植密度の異なる散播水稻における生育特性について. 日作紀, 63 (別2), 33-34.
- 25) 八柳三郎・昆野昭晨・工藤 一 (1951) 水稻の分けつに関する研究—第1報 分けつ増加の体型. 日作紀 20:9-14.

(実施課題名: 直播水稻栽培における生育予測技術の開発と最小管理単位の策定 (1998~2002))

6章 直播水稻のいもち病に対する感受性の簡易診断法の開発

安田 伸子・荒井 治喜・藤田 佳克・○中島 敏彦

1. はじめに

肥培管理や少農薬によりいもち病の発生を抑制するには、追肥や気象条件によるイネ体の感受性の違いを的確に診断し、いもち病の発生を正確に予測して、的確に、効果的に防除する必要がある。いもち病に対する感受性はイネ体の窒素濃度や葉色と密接な関係にあることは知られていたが、近年、葉色を数値化できる技術が開発されたことから、移植栽培においてはこれらの技術によって簡便で非破壊的な感受性検定法の開発が試みられている。

直播栽培では、移植栽培に比べ、播種ムラや施肥ムラによるイネ体の感受性の差が大きい。そこで、本稿では、窒素濃度や葉色値の推移と感受性の変動との関係を明らかにし、窒素濃度や葉色値によって1～2週間後の感受性を推定し、防除要否判定基準の策定と省力的な防除体系の開発を図る。

2. 方法

1) 播種密度を因子とした試験

供試品種には「どんとこい」を用い、潤土直播をおこなった。試験区の1区面積は、1998年度試験は5または11 m²、1999年度は18 m²である。播種日は、1998年5月18日、1999年5月20日である。播種量は、1998年度は2, 4, 6, 8kg/10a、1999年度は1, 2, 6, 8, 10kg/10aである。基肥は、N, P₂O₅, K₂Oを、1998年度は4kg/10a、1999年度は3kg/10a施用し、追肥は、1998年度は施用せず、1999年度はN成分1.5kg/10aを8月10日に施用した。

2) 窒素追肥量を因子とした試験

供試品種には「どんとこい」を用い、湛水直播をおこなった。試験区の1区面積は、1998年度試験は9 m²、2000～2001年度は42.5 m²である。播種日は、1998年5月13日、2000年5月11日、2001年5月10日、2002年5月10日である。播種量は、1998年度、2000年度、2001年度は3kg/10a、2002年度は5kg/10aである。基肥は、N, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ3kg/10a施用し、追肥は、N成分で0, 2, 4, 6, 8kg/10aを、1998年6月24日または7月28日、2000年6月20日または7月21日、2001年7月20日、2002年7月26日に施用した。

3) 葉色値、窒素濃度の測定

葉色値の測定にはSPAD502（ミノルタ社製）、窒素濃度の測定にはアグリエキスパート（佐竹製作所社製）を用いた。測定個体数は1区当たり20個体で、測定部位はN-2葉（完全展開葉の下位葉）の葉の先端から2分の1の部分の葉脈を挟んだ左右2カ所を測定した。調査は、1998年の追肥試験では、葉いもち試験で6月24日、30日、7月2日、6日、8日の5回、穂いもち試験で7月28日、31日、8月5日、11日、14日の5回、播種密度試験では7月8日に行った。1999年は6月28日、7月6日、13日、21日、27日、8月2日、11日の7回、2000年は6月20日、25日、26日、29日、7月4日、7日、12日、21日、24日、27日、8月1日、7日の12回、2001年は7月17日、23日、25日、27日、30日、8月1日、3日の7回、2002年は7月25日、28日、31日、8月3日、8日の5回行った。群落葉色値は、群落葉色計測システム（中央農業総合研究センター北陸水田利用部作業技術研究室構築、3章参照）により、2000年度は6月20日、22日、25日、26日、29日、7月4日、7日、12日、23日、27日、8月7日の11回、2001年度は7月17日、23日、25日、27日、

30日、8月1日、3日の7回、2002年度は7月25日、28日、31日、8月3日、8日の5回測定し、SPAD502で測定した葉色値と比較した。

4) 接種試験

(1) 葉いもち：1998年度は、7月1日、7日または9日に、各区から6～20株ずつ、1999年度は、7月2日または13日に、各区から6～9株ずつ、2000年度は、7月5日または13日に、各区から8～29株ずつ株上げし、それぞれの翌日に接種した。接種にはいもち病菌菌株稲86-137（レース007）を用い、顕微鏡（150倍）1視野あたり50個に調整した胞子懸濁液を1株あたり20mlずつ噴霧した。接種5～7日後に上位3葉の病斑数を調査した。

(2) 穂いもち：1998年度は、8月14日に、各区から8個体ずつ、1999年度は、8月12日に各区から7～20個体ずつ、2000年度は、8月8日に、各区から20～39個体ずつ、2001年度は、8月9日に、各区から20～40個体ずつ、2002年度は、8月12日に、各区から20～40個体ずつを株上げし、出穂している穂を全て除去した。4日後、出穂していない穂を全て除去し、4日間に出現した全ての穂に、顕微鏡（150倍）1視野あたり100個に調整したいもち病菌菌株稲86-137（レース007）の胞子懸濁液を1株あたり50mlずつ噴霧した。1998年、1999年、2001年、2002年は接種14日後、2000年度は接種17日後に、首いもち、枝梗いもちの発病を調べた。穂いもち発病度は、以下の式（1）により算出した。

$$\text{穂いもち発病度} = (1 \times A + 2 \times B + 3 \times C + 4 \times D) \times 100 / \text{調査穂数} \times 4 \cdots \cdots (1)$$

A: 枝梗いもち1/3以下の穂数、B: 枝梗いもち1/3～2/3の穂数、

C: 枝梗いもち2/3以上の穂数、D: 穂首いもち（みご、節いもちを含む）の穂数

3. 結果

1) 播種密度を変えた場合の葉色値、窒素濃度といもち病感受性の関係

1998年度試験、1999年度試験とも、播種密度が高いと窒素濃度や葉色値は小さく、播種密度が低いと窒素濃度、葉色値ともに大きい傾向にあった。また、1999年度試験においては、窒素濃度、葉色値のいずれにおいても生育とともに徐々に減少し、播種密度が高いほどその程度が大きい傾向を示した（図6-1、6-2）。また、播種密度とイネ体いもち病感受性との関係は、播種量が多くなるほど、いもち病の発病が少なく、1999年度試験結果からは、葉いもち、穂いもちとも、葉色値と窒素濃度のいずれとも相関があり、葉色値や窒素濃度の値が大きいと発病度が高い傾向にあった（図6-3、6-4、6-5、6-6）。

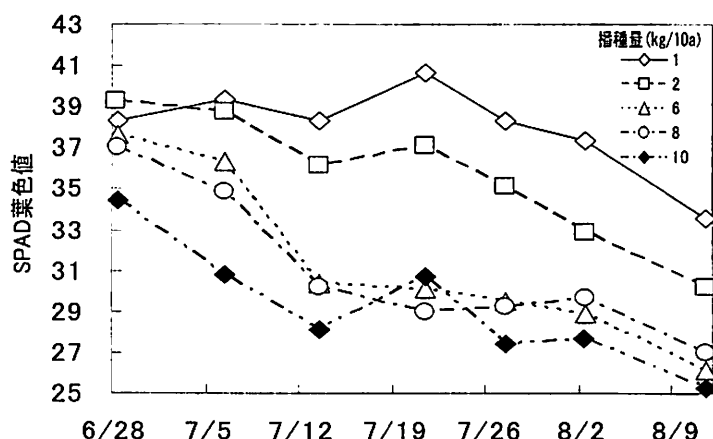


図6-1 異なる播種密度区における葉色値の推移（基肥のみ、1999年度試験）

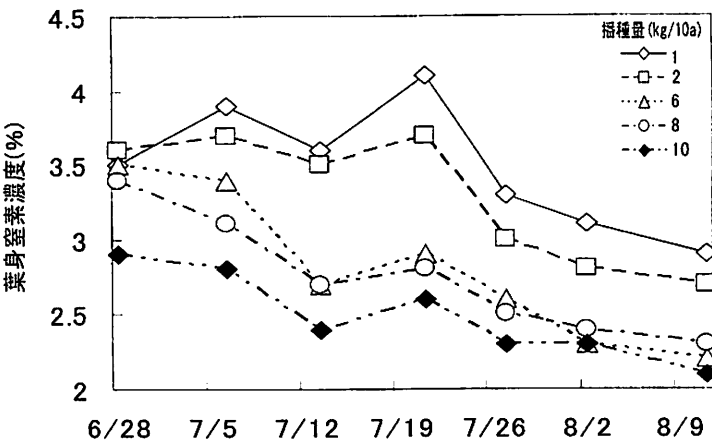


図6-2 異なる播種密度区における葉身窒素濃度の推移（基肥のみ、1999年度試験）

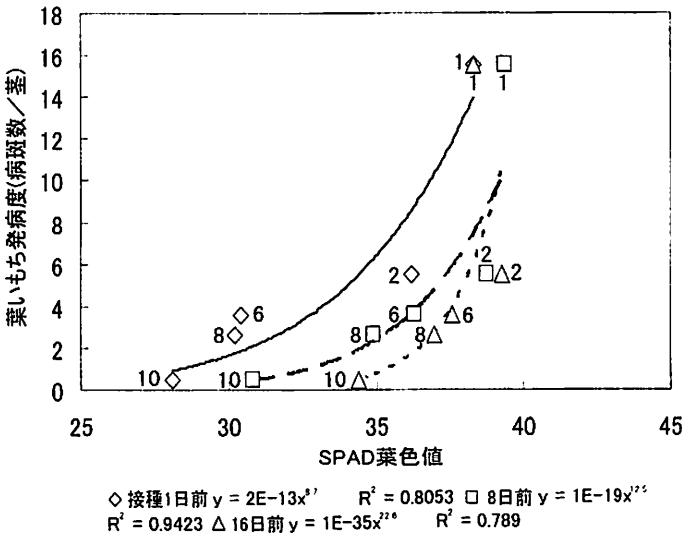


図6-3 播種密度、葉いもち発病度と接種前葉色値との関係
(図中の数値は播種密度: 1～10kg/10a, 1999年度試験)

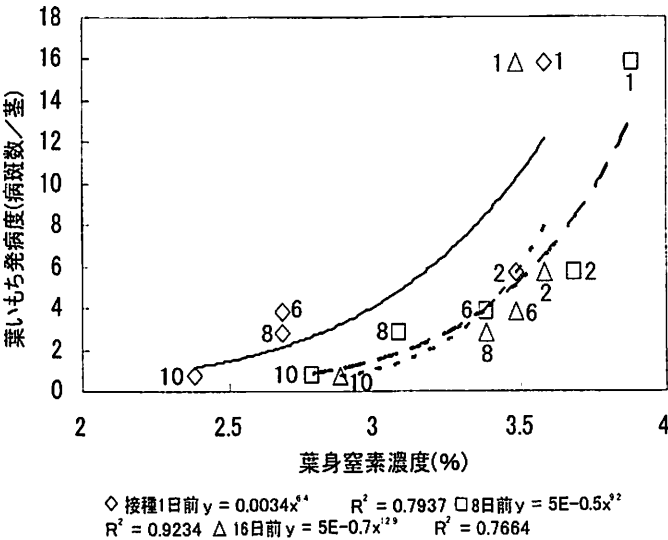


図6-4 播種密度、葉いもち発病度と接種前葉身窒素濃度との関係
(図中の数値は播種密度: 1～10kg/10a, 1999年度試験)

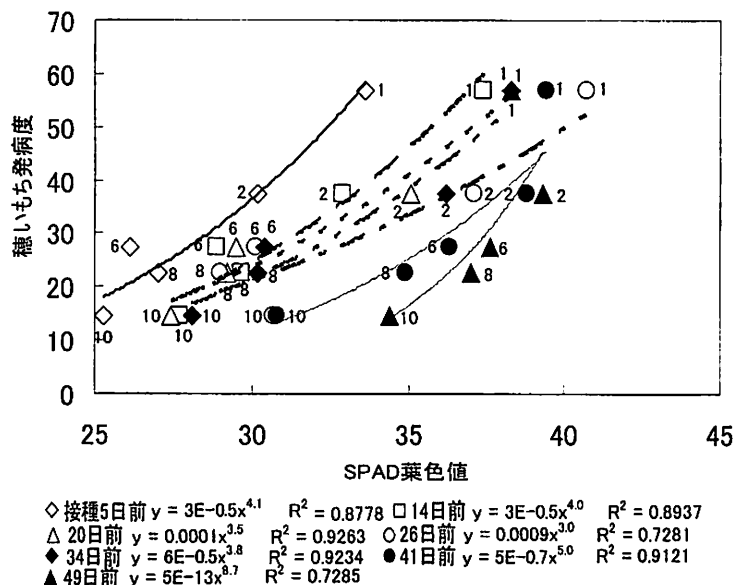


図6-5 播種密度、穂もち発病度と接種前葉色値との関係

(図中の数値は播種密度: 1～10kg/10a, 1999年度試験)

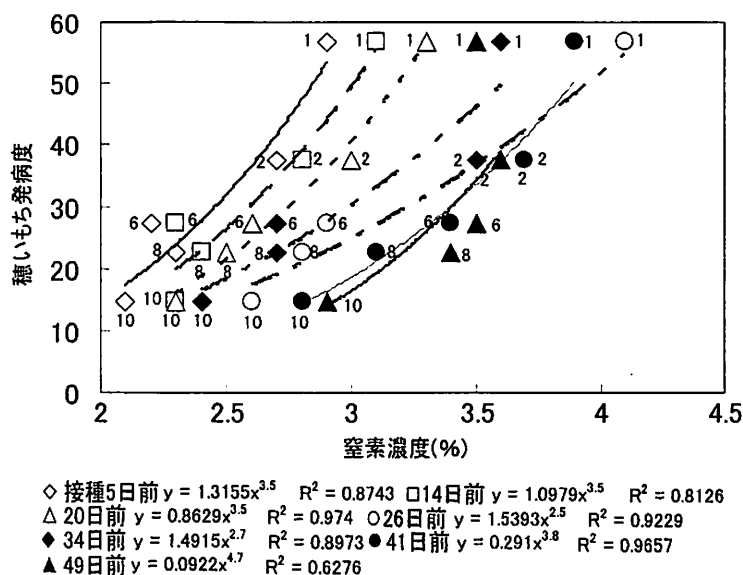


図6-6 播種密度、穂もち発病度と接種前窒素濃度との関係

(図中の数値は播種密度: 1～10kg/10a, 1999年度試験)

2) 追肥量を変えた場合の葉色値、窒素濃度といもち病感受性の関係

1998年度試験における追肥後の窒素濃度と葉色値の推移は、6月24日追肥区、7月28日追肥区のいずれにおいても追肥後1週間程度増加したが、その間の区間差は、葉色値より窒素濃度の方がより明確であった(図6-7, 6-8)。接種による葉いもちと穂いもちの発病度は、追肥後8～17日の間の葉色値と窒素濃度のいずれとも高い相関を示した(図6-9, 6-10, 6-11, 6-12)。2000年度試験において、追肥窒素量を変えた場合、追肥後のSPADによる葉色値の推移は各区ともほぼ同様で、追肥量の多い区では葉色値が大きく、追肥量の少ない区では葉色値が小さい傾向にあった(図6-13)。イネ体の葉いもち感受性は、接種10日前までのSPAD葉色値と相関があり、葉色値が大きいと発病度が高い傾向にあった。穂いもちの感受性は、追肥後6日目以降のSPAD葉色値と相関があった(図6-14)。2001年度試験におけるSPADによる葉色値は、穂肥後6日頃まで上昇し、

しばらく安定した後、追肥後12日頃から下降した（図6-15）。2002年度試験におけるSPADによる葉色値は、穂肥後8日頃まで上昇した（図6-16）。

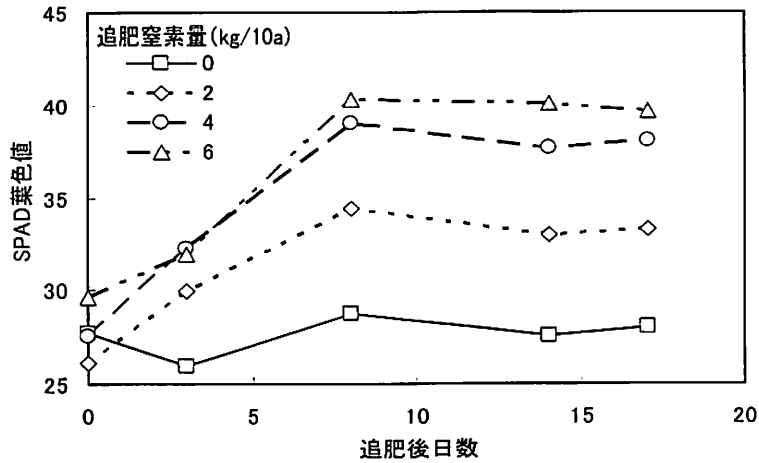


図6-7 穂いもち試験における追肥施用後の葉色値の推移（1998年7月28日追肥）

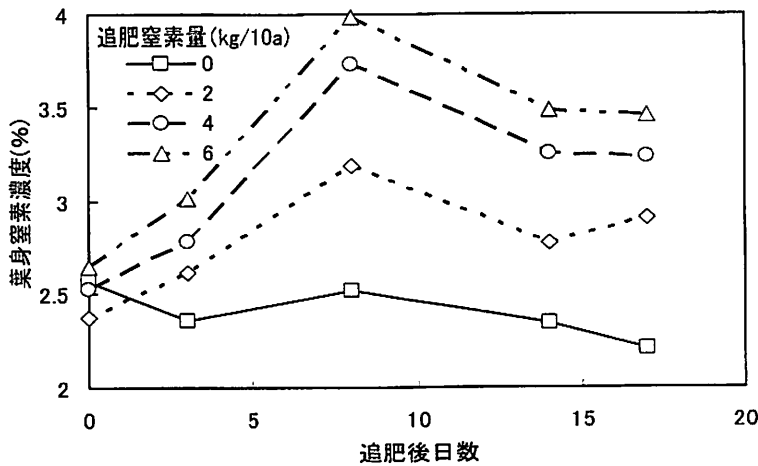
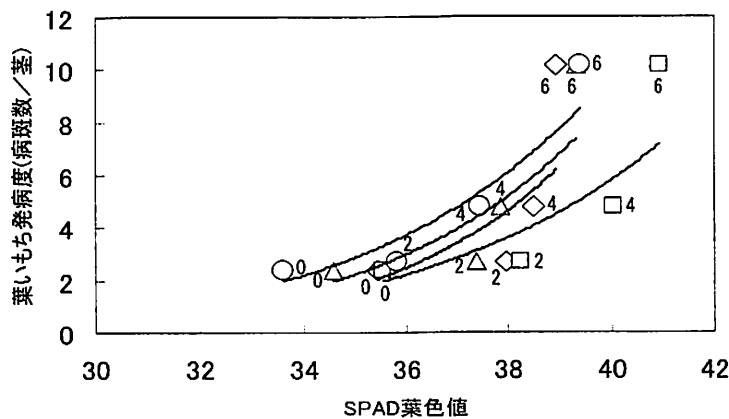


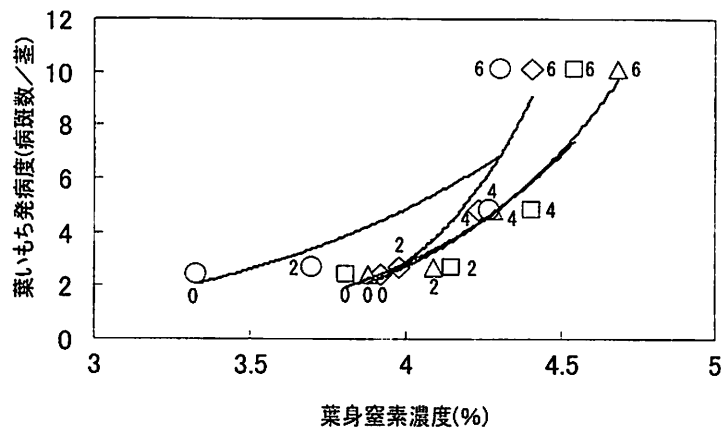
図6-8 穂いもち試験における追肥施用後の葉身窒素濃度の推移（1998年7月28日追肥）



◇ 6月30日(追肥6日後) $y = 8E-19x^{11.9}$ $R^2 = 0.5698$ □ 7月2日(追肥8日後)
 $y = 9E-15x^{9.2}$ $R^2 = 0.7487$ △ 7月6日(追肥12日後) $y = 2E-16x^{10.4}$ $R^2 = 0.7103$
 ○ 7月8日(追肥14日後) $y = 2E-14x^{9.2}$ $R^2 = 0.8793$

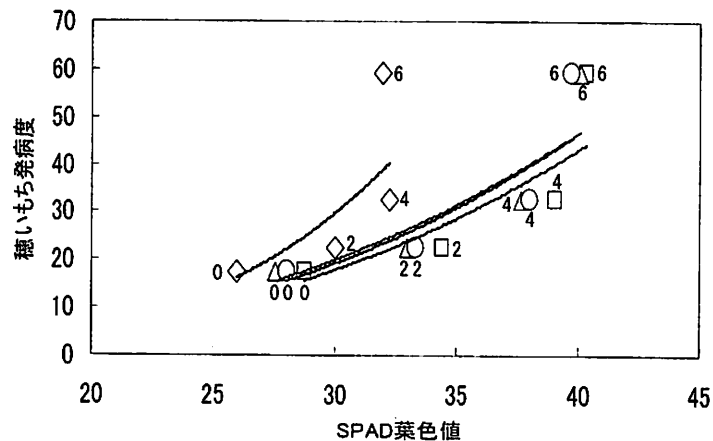
図6-9 窒素追肥量、葉いもち発病度と接種前葉色値との関係

(図中の数値は窒素追肥量: 0～10kg/10a, 1998年6月24日追肥, 7月10日接種)



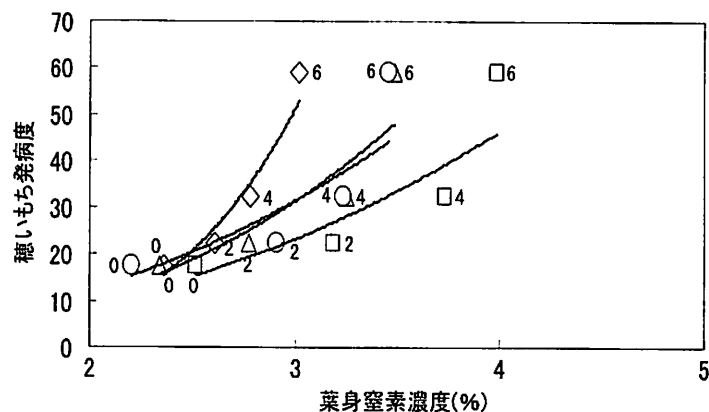
◇ 6月30日(追肥6日後) $y = 2E-0.7x^{11.8}$ $R^2 = 0.9654$ □ 7月2日(追肥8日後)
 $y = 8E-0.5x^{7.8}$ $R^2 = 0.7806$ △ 7月6日(追肥12日後) $y = 0.0078x^{4.6}$ $R^2 = 0.7529$
 ○ 7月8日(追肥14日後) $y = 0.0078x^{4.6}$ $R^2 = 0.7529$

図6-10 窒素追肥量、葉いもち発病度と接種前窒素濃度との関係との関係
 (図中の数値は窒素追肥量: 0～10kg/10a, 1998年6月24日追肥, 7月10日接種)



◇ 7月31日(追肥3日後) $y = 2E-0.5x^{4.2}$ $R^2 = 0.6334$ □ 8月5日(追肥8日後) $y = 0.0005x^{3.1}$
 $R^2 = 0.7911$ △ 8月11日(追肥14日後) $y = 0.0009x^{3.0}$ $R^2 = 0.8482$ ○ 8月14日(追肥17日後)
 $y = 0.0005x^{3.1}$ $R^2 = 0.8202$

図6-11 窒素追肥量、穂いもち発病度と接種前葉色値との関係
 (図中の数値は窒素追肥量: 0～10kg/10a, 1998年7月28日追肥, 8月18日接種)



◇ 7月31日(追肥3日後) $y = 0.215x^{5.0}$ $R^2 = 0.9392$ □ 8月5日(追肥8日後) $y = 1.7353x^{2.4}$
 $R^2 = 0.8236$ △ 8月11日(追肥14日後) $y = 1.4291x^{2.8}$ $R^2 = 0.8718$ ○ 8月14日(追肥17日後)
 $y = 2.3647x^{2.4}$ $R^2 = 0.7676$

図6-12 窒素追肥量、穂いもち発病度と接種前葉身窒素濃度との関係
 (図中の数値は窒素追肥量: 0～10kg/10a, 1998年8月18日接種)

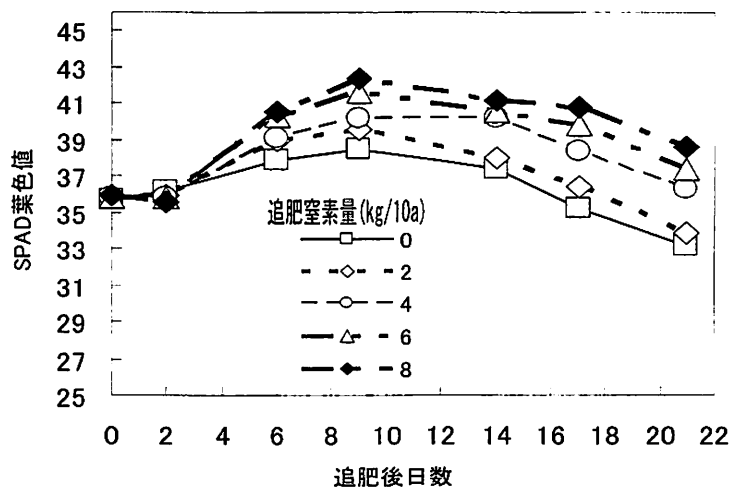
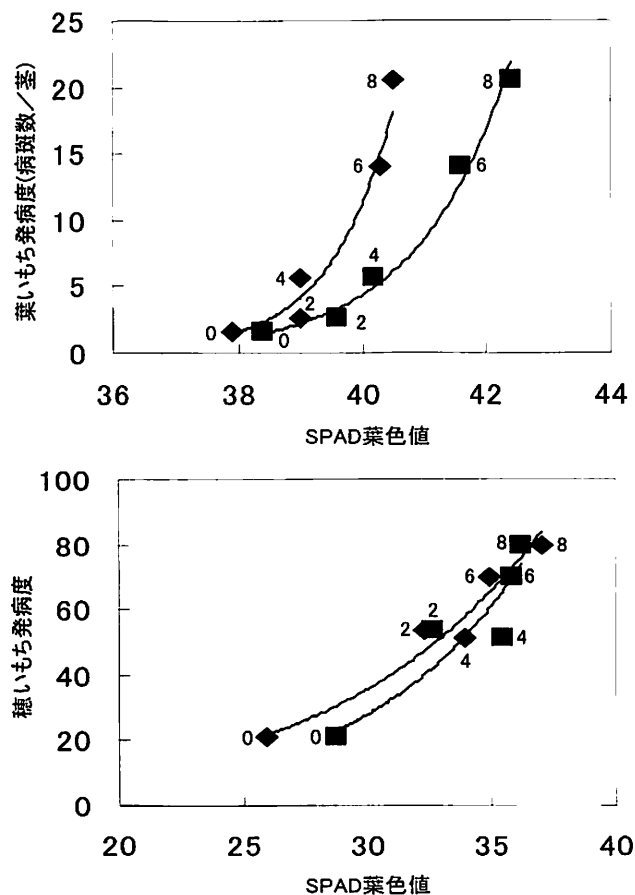


図6-13 葉いもち試験における窒素追肥後の葉色値の推移 (2000年6月20日追肥)



葉いもち: ◆ 6月26日(接種10日前) $y = 1E-16e^{0.972x}$ $R^2 = 0.9318$
 ■ 6月29日(接種7日前) $y = 8E-12e^{0.6755x}$ $R^2 = 0.983$
 穂いもち: ■ 7月27日(追肥後6日目) $y = 0.2676e^{0.1549x}$ $R^2 = 0.8816$
 ◆ 8月1日(追肥後11日目) $y = 0.9469e^{0.121x}$ $R^2 = 0.9639$

図6-14 いもち病発病程度と葉色値との関係

(図中の数値は追肥窒素量: 0～8kg/10a, 2000年度試験)

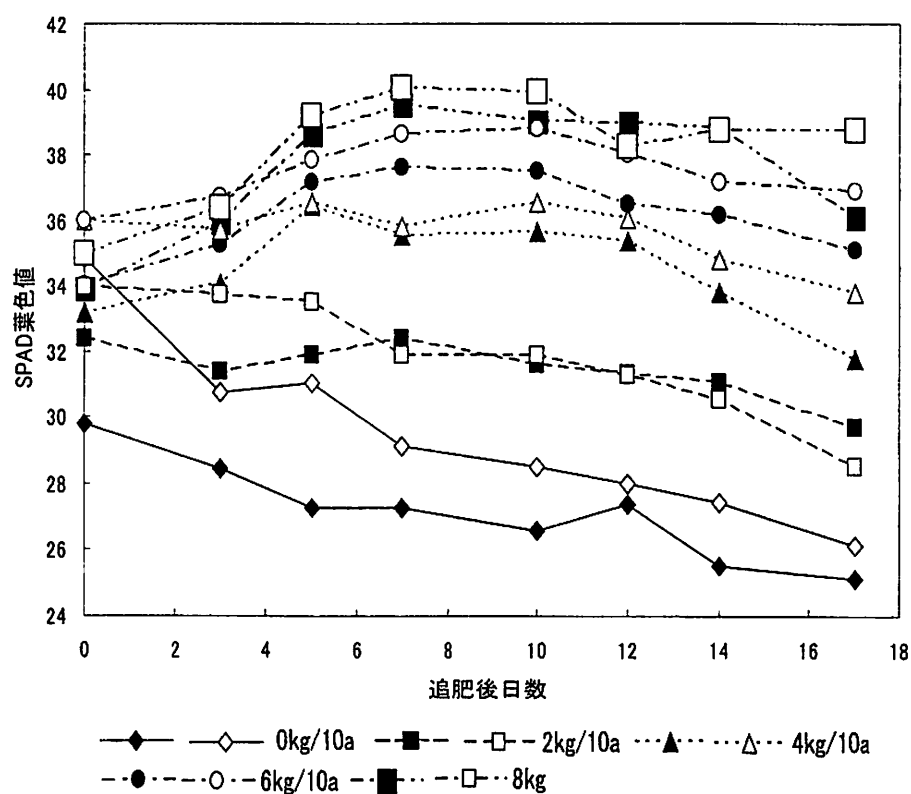


図6-15 穂肥窒素追肥後の葉色値の推移 (追肥窒素量: 0～10kg/10a, 2001年7月20日追肥)

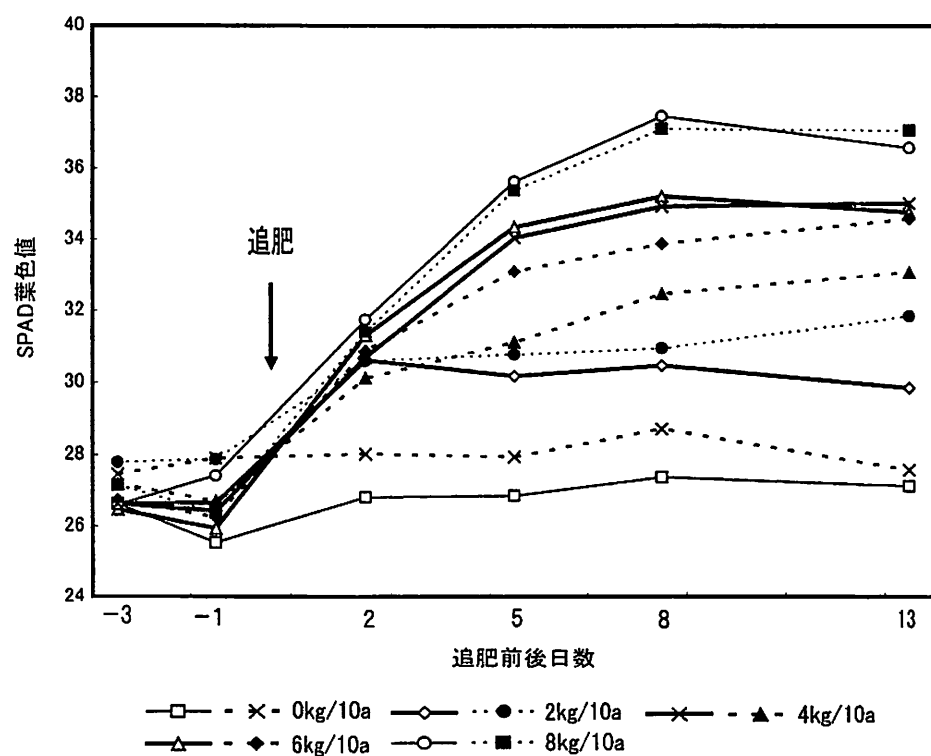


図6-16 穂肥窒素追肥前後の葉色値の推移 (追肥窒素量: 0～10kg/10a, 2002年7月26日追肥)

3) 群落葉色計と葉色値およびいもち病感受性の関係

群落葉色計によるイネ体感受性測定方法に関する試験の対照葉色値にはSPAD 葉色値を用いた。その理由として、追肥直後の感受性の検出精度は、SPAD502よりアグリエキスパートの方が高いと考えられたが、現在農業改良普及員や病害虫防除員さらには農協の営農指導員らがイネ体の生育情報に使用しているのはSPADで計測した葉色値であることによる。2000年度試験において、追肥量を変えた場合、追肥後の群落葉色計による葉色値の推移はほぼ同様で、追肥量の多い区では葉色値が大きく、追肥量の少ない区では葉色値が小さい傾向にあった(図6-17)。また、群落葉色値はSPAD 葉色値と高い相関が認められ(図3-24 (a))、葉いもち、穂いもちの発病度とも相関が認められた(図6-18)。2001年度試験においても、追肥後、葉色の安定する期間(追肥後5～13日後)の葉色値は、SPAD 葉色値(図6-19)と同様、群落葉色値でも穂いもち発病度との間に相関が認められた(図6-20)。すなわち、群落葉色値でも、SPAD 葉色値と同様に、葉色値が高くなるに伴い穂いもち発病度が増加した。2002年度試験においても2001年度と同様であった(図6-21、6-22)。

4) イネ体感受性の閾値

1999年の播種密度を変えた試験において、葉いもち、穂いもちともに、葉色値あるいは窒素濃度がある値を超えると発病程度が急激に上昇した(図6-3、6-4)。また、1998年度の追肥量を変えた試験においても、葉色値あるいは窒素濃度がある値を超えると、いもち病発病程度が急激に上昇した(図6-9、6-10、6-11、6-12)。さらには、2001年、2002年度試験においても、SPAD 葉色値と同様、群落葉色値でも葉色値が高くなるに伴い穂いもち発病度が増加し、穂いもち発病度が急激に増す葉色値(閾値)の存在が示唆された。この閾値の値は、SPAD 葉色値では34～37、群落葉色値では20～23にあると考えられた(図6-19、6-20、6-21、6-22)。

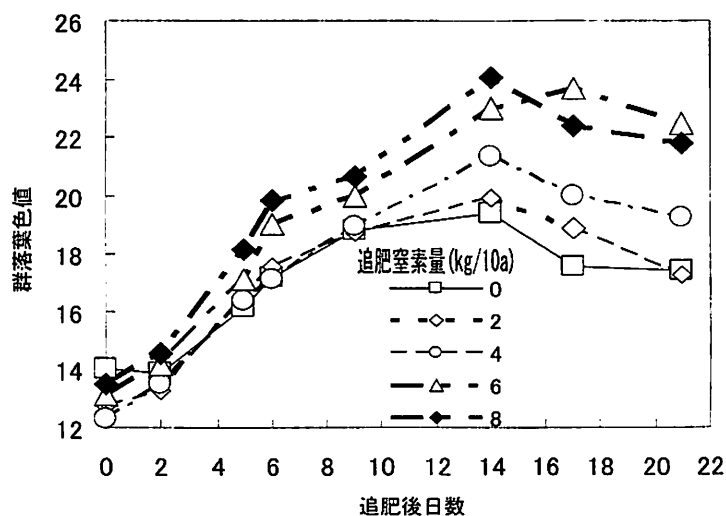
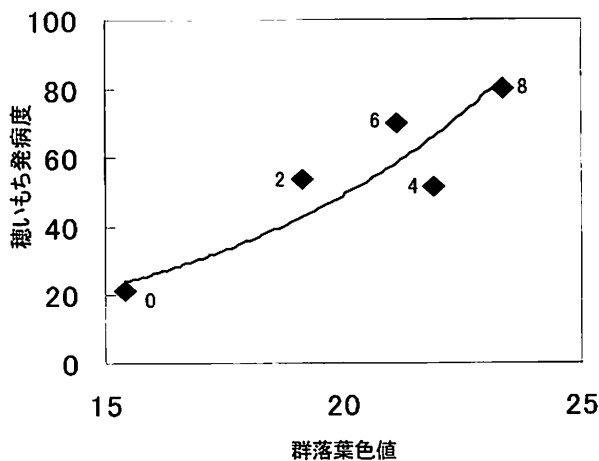
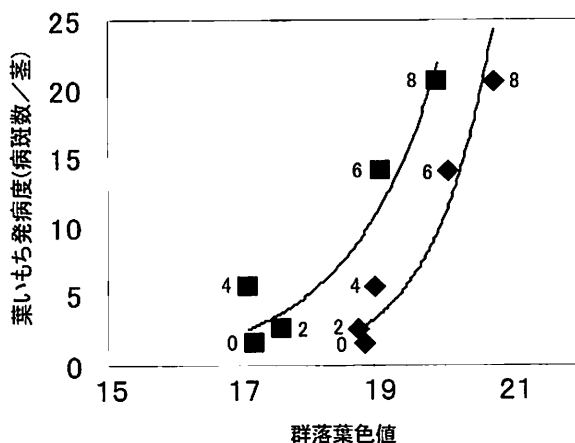


図6-17 葉いもち試験における窒素追肥後の群落葉色値の推移
(2000年6月20日追肥)



葉いもち: ■ 6月26日(接種10日前) 8kg/10a,
 $y = 2E-09e^{1.1326x}$ $R^2 = 0.8488$ ◆ 6月29日(接種7日前)
 $y = 6E-06e^{0.7598x}$ $R^2 = 0.7696$ 穂いもち: ◆ 7月27日(追肥後6日目)
 $y = 2.162e^{0.156x}$ $R^2 = 0.8491$

図6-18 群落葉色値といもち病発病程度との関係
(図中の数値は窒素追肥量: 0～8kg/10a, 2000年度試験)

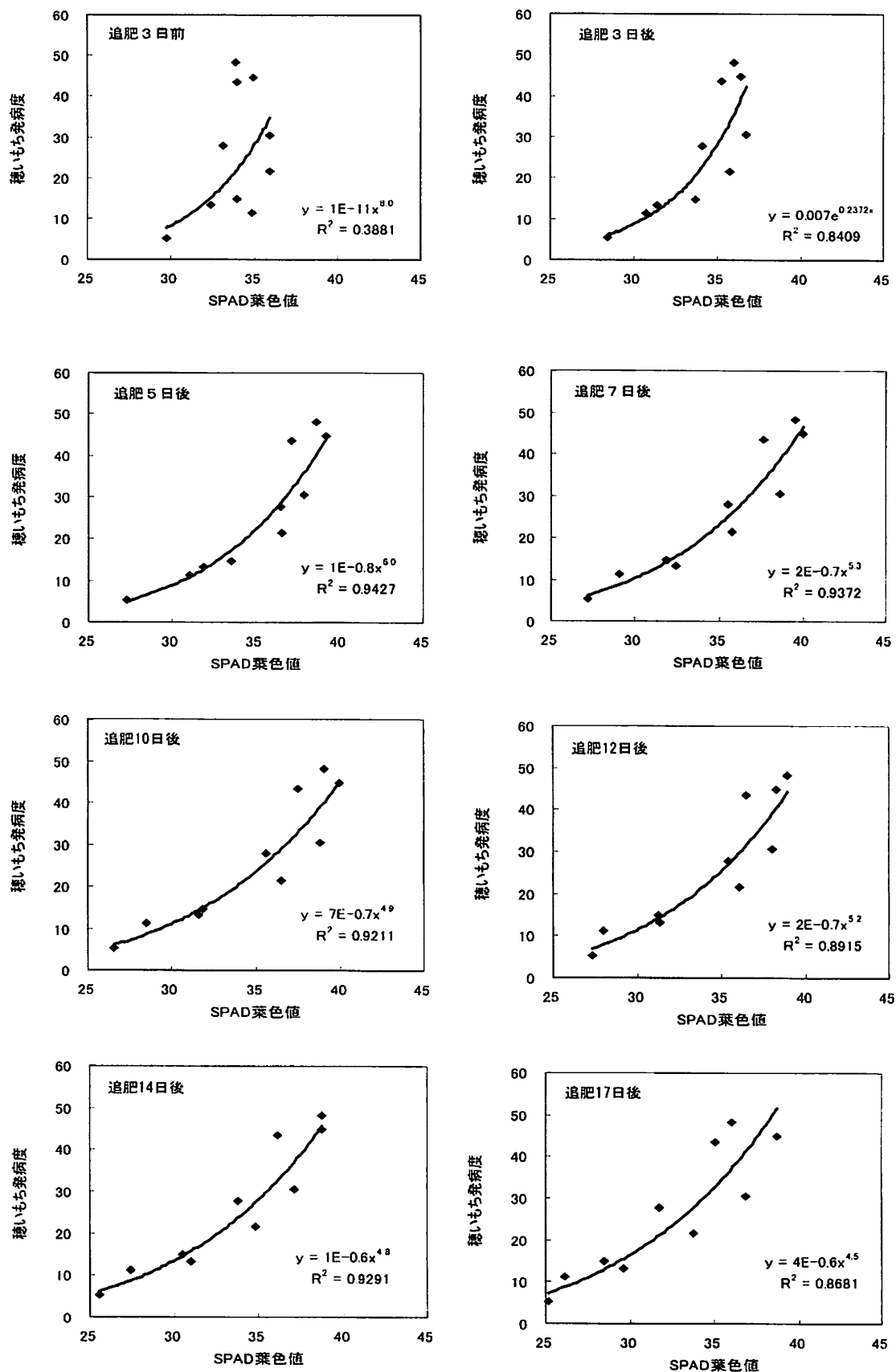


図6-19 葉色値と穂もち発病度との関係 (2001年度試験)

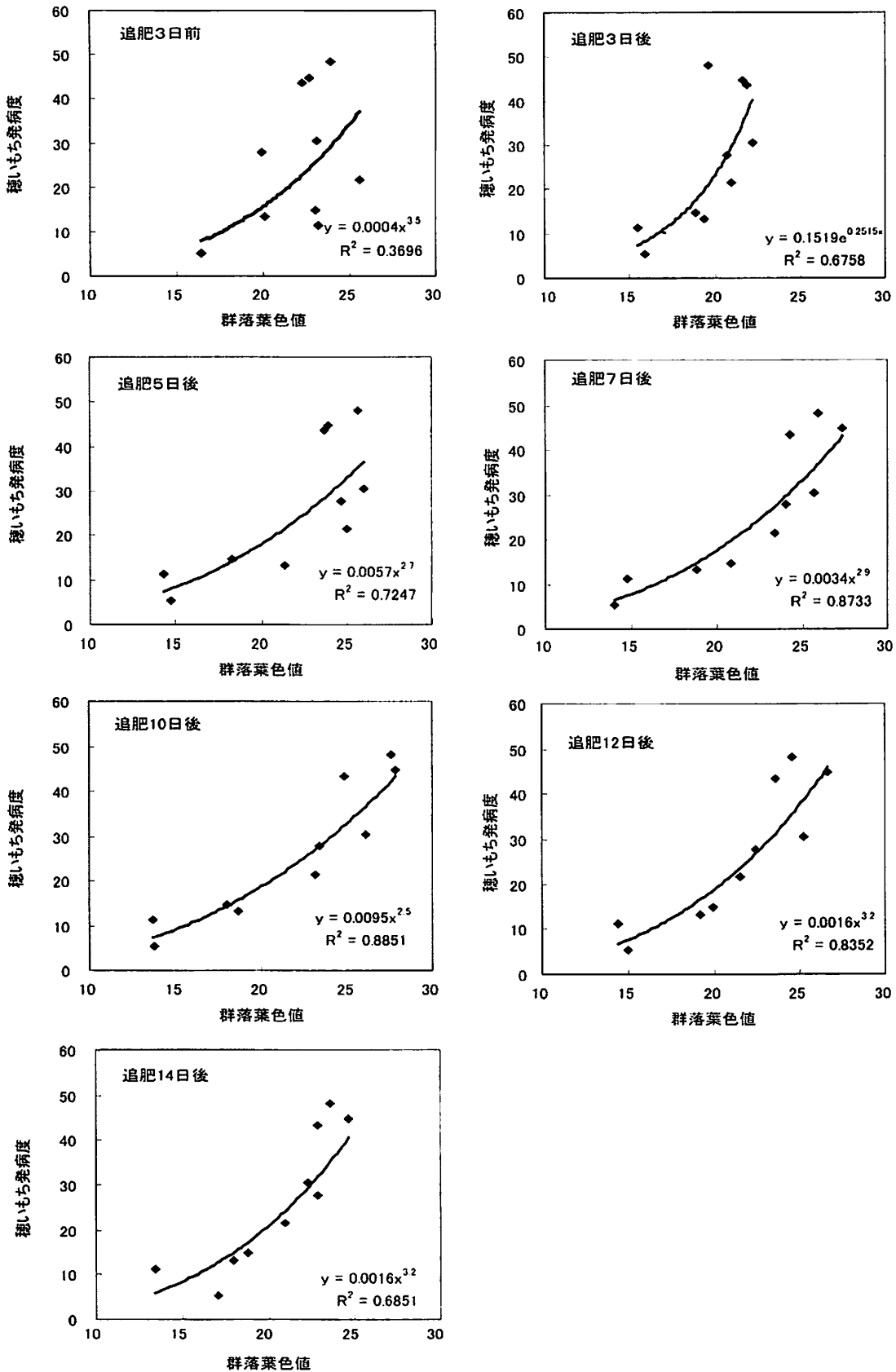


図6-20 群落葉色値と穂いもち発病度との関係 (2001年度試験)

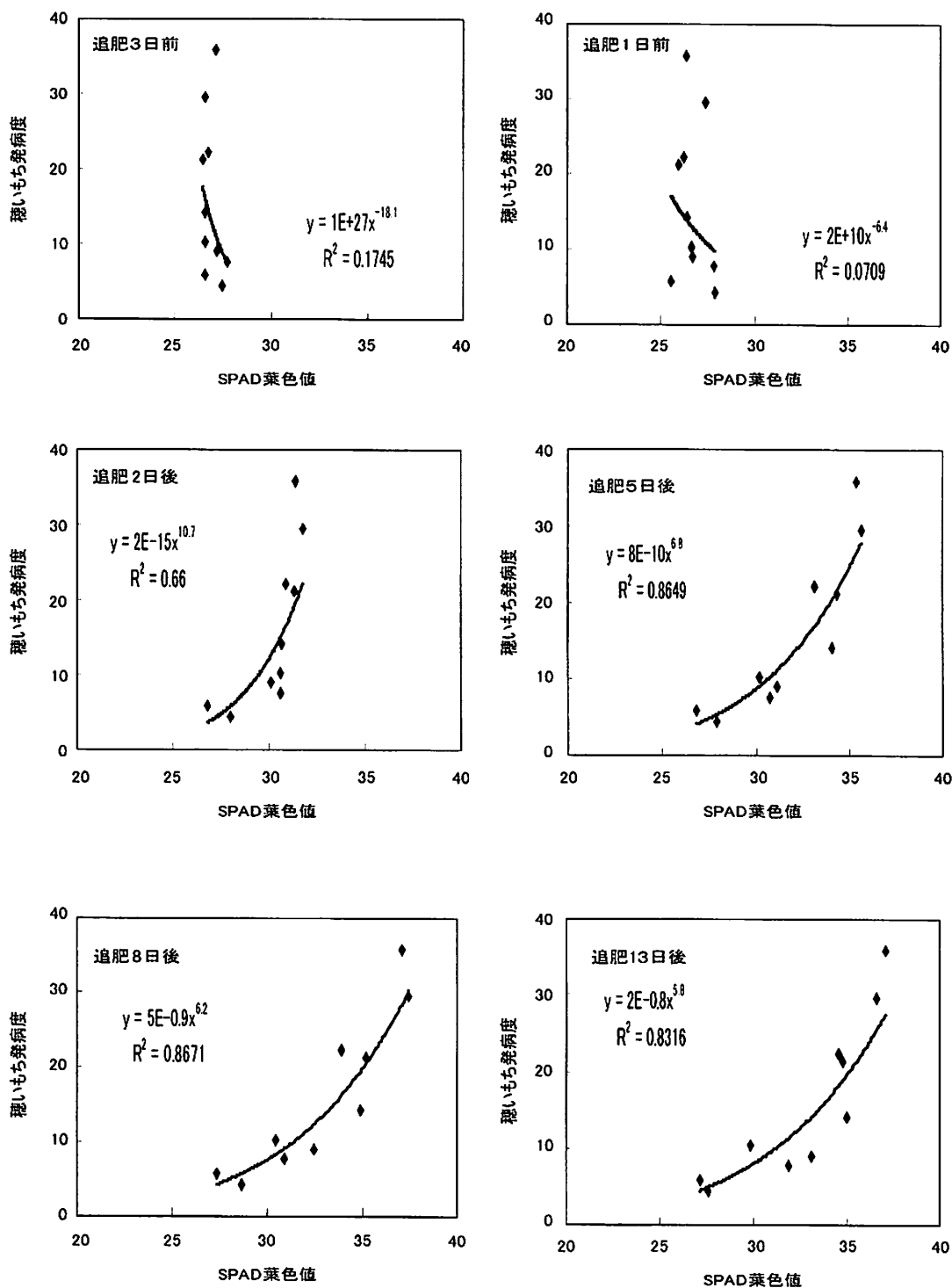


図6-21 葉色値と穂もち発病度との関係 (2002年度試験)

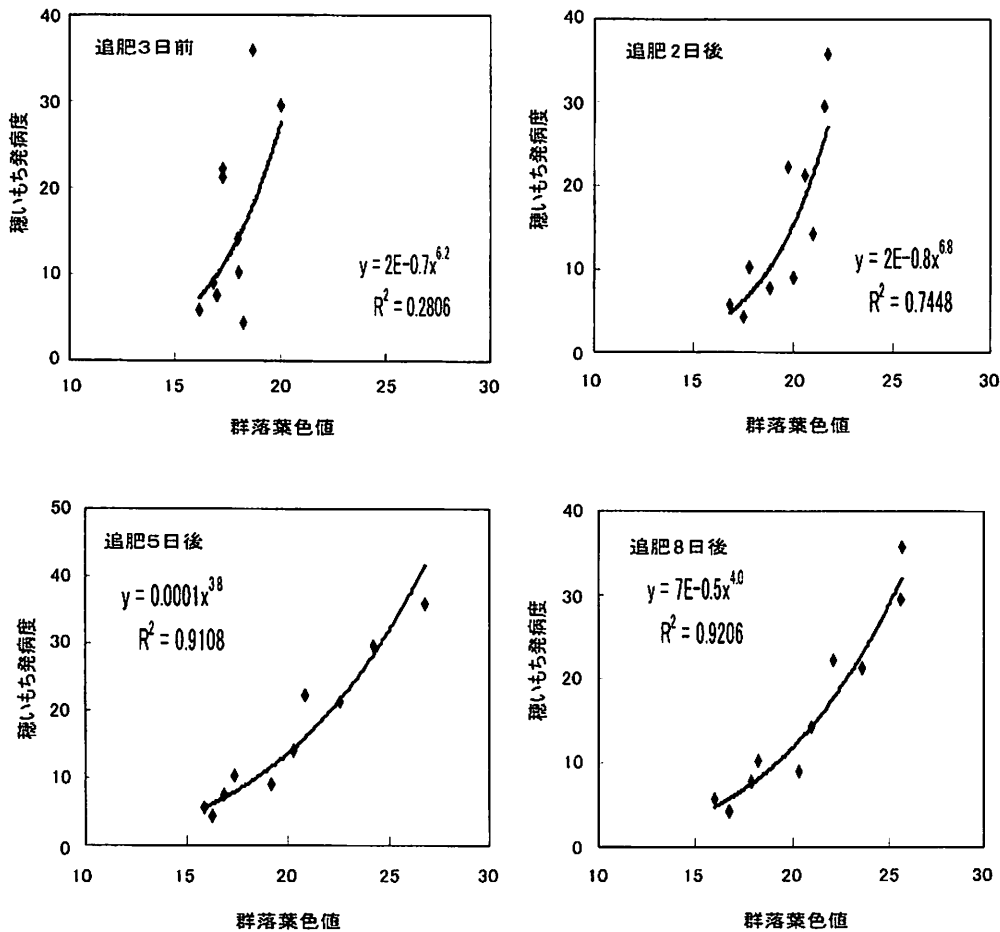


図6-22 群落葉色値と穂いもち発病度との関係 (2002年度試験)

4. 考察

本研究では、当初追肥の影響といもち病感受性変動との関係を明らかにすることができるならば、窒素濃度や葉色値によって1～2週間後の感受性を推定し、いもち病の早期防除に活用できると推察していた。しかし、本研究開始後3カ年(1998～2000年)の試験結果から、追肥と葉いもち感受性との一定の関係を見いだし的確な防除時期を推定することは困難と考えられた(図6-3, 6-4, 6-9, 6-10, 6-14, 6-18)ことから、研究後半は、穂いもち感受性との関係の研究を中心に実施した。また、省力的な防除法として、圃場の一部に発生した葉いもちを早期に発見し、その部分防除を行うことにより、結果として農薬少量施用防除を目指していたが、荒井・藤田(2001)の報告によると、部分防除による圃場全体あるいは地域全体のいもち病防除は不可能であることが判明した。一方、移植栽培ではいもち病防除には長期残効型箱粒剤の施用が急速に広まっており、それを受けて、直播における簡易いもち病防除法としてそれらの薬剤を含めた農薬種子粉衣による防除法の研究が行われている(荒井ら、2001)。しかし、この方法では予防薬剤を必ず施用することとなり、環境負荷を低減する農業の実践が求められている現在では推奨されえない。それゆえ、研究目標をイネ体感受性の早期・簡易測定法の開発とし、その結果に基づく高精度な発生予測により、効果的・効率的いもち病防除を実施することとした。

直播栽培では、移植栽培に比べ、播種ムラや施肥ムラによるイネ体の感受性の差が大きいことから、窒素濃度や葉色値の推移が異なり、イネ体いもち病感受性も移植栽培のものとは異なるのでは

ないかと推察されていた。しかし、1998～2002年の5カ年の圃場試験結果からは、散播直播のイネ体群落でも移植栽培のイネ体の感受性の反応・推移と差がないことが明らかとなった。移植栽培では出穂前の葉色値から穂いもち感受性の推定が可能ではないかと報告されていた（新潟農試病虫科1993～1996）ことから、直播栽培のイネでも、追肥量や栽培密度の違いによるイネ体の感受性をSPAD502による葉色値、アグリエキスパートによる窒素濃度、さらには群落葉色計による葉色値によって推定可能であると考えられる（安田ら、2000）。

群落葉色計を用いて直播圃場に入らずにイネ体感受性を測定する方法は、リモートセンシングによるいもち病感受性測定技術の一つとして今後の直播栽培精密管理の実践に十分活用が可能と考えられる。本試験で用いた群落葉色計の測定波長は550nmと800nmを用いているが、Kobayashi et al（2003）はリモートセンシング手法によるイネ体感受性測定法を開発し、550nm/675nmと570nm/657nmにより定量できると報告している。今後は群落葉色計測定値の精度検証をおこなうとともに、必要ならば、センサーを複数搭載し、フィルターを交換する等の改良が必要となろう。

環境に優しいいもち病防除法は、抵抗性品種の活用および高精度発生予察に基づく効果的・効率的防除法であると考えられる。前者については、全国の試験場の稲育種研究室において良食味でいもち病抵抗性強の品種育成が試みられており、今後、多くの良食味高度抵抗性品種が栽培されると考えられる。後者については、BLASTAMやBLASTL、PBLASTなどのいもち病発生シミュレーションプログラムが開発され、現在では、日本植物防疫協会が防除所職員を対象としてJPP-NETで利用できるまでになり、その予測結果に基づく防除指導がおこなわれている。BLASTAMは林・越水（1988）、越水（1988）によって提案された葉いもち感染時期予測システムであり、AMeDASの気象データのみで演算可能なことや感染好適日の7～10日後を防除適期としていることから、本邦で最も広く活用されているものである。しかし、BLASTAMは時間推移を予測できないという意味においていもち病発生予測シミュレーションとはいえないものである。BLASTLは1989年に橋本ら（1984）によって構築された葉いもち発生時期予測プログラムで、精度も高いが結露データが必要なことからあまり活用はされてこなかったが、JPP-NETで利用可能であることやAMeDAS気象データから結露を推定する研究がおこなわれていること等から近々多くの地域で利用されるであろう。PBLASTは1998年に石黒・橋本（1988、1990）によって報告された穂いもち発生予測プログラムであり、モンテカルロ法を利用したものである。BLASTLもPBLASTもイネ体感受性を暫定値で入れてあることから、本試験の結果から得られたイネ体感受性値を組み込むことにより、これまで以上に精度の高い発生予測シミュレーションが可能になると考えられる。

本試験開始時より、播種密度を変えた試験においてもあるいは追肥量を変えた試験においても、葉色値あるいは窒素濃度がある値を超えると、いもち病発病程度が急激に上昇する傾向が認められ、閾値の存在が示唆された。この閾値を越えた場合にどの程度の減収につながるのかについては今後の研究が必要であるが、本試験で得られたこの閾値（2001年度のSPAD葉色値35、群落葉色値23、2002年度のSPAD葉色値34、群落葉色値22）から逆算した穂いもち発病程度を勝部・越水（1970）の白穂（首いもち）率と登熟（粳数）歩合の関係式に組み込み穂いもち被害程度を推定すると20～30%の収量減となり、この閾値以上の葉色では深刻な被害を受けることになるかと推察される。高精度発生予察に基づいた効果的・効率的防除法を確立するには、今後も引き続きデータを集め解析を続ける必要があるが、それらのデータが十分蓄積できれば大規模直播圃場のいもち病の効果的な防除法の確立が達成されよう。

5. 要約

- 1) 直播栽培において、播種密度を変えた場合や異なる窒素量を追肥した場合の窒素濃度（アグリエキスパート値）と葉色値（SPAD 値）の推移は、移植栽培のものと同様の推移を示した。また、追肥直後の区間差は、葉色値より窒素濃度の方がより明瞭であった。
- 2) 直播栽培においても、播種密度が高いと窒素濃度や葉色値は小さく、播種密度が低いと窒素濃度、葉色値ともに大きい傾向にあった。
- 3) 播種量が多くなるほど、葉色値、窒素濃度とも低下し、葉いもち発病も少なくなった。
- 4) 接種による葉いもちと穂いもちの発病程度（いもち病感受性）は、葉色値と窒素濃度のいずれとも相関を示した。しかし、追肥後には葉色値との相関よりも窒素濃度との相関の方が高かった。
- 5) 群落葉色値はSPAD 値と高い相関があり、葉いもち、穂いもちの発病度とも相関が認められた。
- 6) SPAD 値も群落葉色値でも葉色値が高くなるに伴い、いもち病の発病度が増加するが、ある値を超えると発病度が急激に増す葉色値（閾値）の存在が示唆された。

6. 文献

- 1) 荒井治喜・藤田佳克（2001）大区画直播水田における薬剤局所散布がいもち病発生に及ぼす影響。北陸病虫研報，49，11-14.
- 2) 荒井治喜・藤田佳克・安田伸子・辻本雅子（2001）水稻直播栽培におけるカルプロパミド剤の種子処理によるイネいもち病防除。北陸病虫研報，49，7-10.
- 3) 橋本 晃・平野喜代人・松本和夫（1984）シミュレーションによる葉いもちの発生予察に関する研究。福島農試特別研報，2，1-104.
- 4) 林 孝・越水幸男（1988）葉いもち発生予察のコンピュータプログラム（BLASTAM）の開発。東北農試研報，29，123-138.
- 5) 石黒 潔・橋本 晃（1988）穂いもちシミュレーションモデルの開発-第1報 基本モデルの構造。福島農試研報，27，1-19.
- 6) 石黒 潔・橋本 晃（1990）穂いもちシミュレーションモデルの開発-第2報 モデルの検証と感度分析。福島農試研報，29，15-72.
- 7) 勝部利勝・越水幸男（1970）いもち病による水稻の被害機構に関する研究-第1報 穂いもちの罹病率と収量構成要素ならびに玄米品質との関係。東北農試研報，39，55-96.
- 8) 越水幸男（1988）アメダス資料による葉いもち発生予察法。東北農試研報，78，67-121.
- 9) Kobayashi et al (2003) Ratio of rice reflectance for estimating leaf blast severity with a multispectral radiation. J. Gen. Plant Pathol. 69, 17-22.
- 10) 新潟農試病虫科（1993, 1994, 1995, 1996）北陸農業試験研究成績計画概要集.
- 11) 安田伸子・荒井治喜・辻本雅子・原澤良栄・藤田佳克・中島敏彦（2000）水稻直播栽培におけるイネ体のいもち病感受性の簡易推定。第52回北陸病害虫研究会講演要旨集，p7.

（実施課題名：直播水稻のいもち病に対する感受性の簡易診断法の開発（1998～2002））

7章 長距離移動性イネウンカ類の発生予察技術の精度の向上

高橋 明彦

1. はじめに

セジロウンカ、トビイロウンカは、日本では越冬できず、毎年梅雨期に海外から飛来侵入する長距離移動性の水稻害虫である。これらイネウンカ類の発生量や水稻における被害は、飛来時期・量に大きく左右されることから、的確な発生予察のためには、その長距離移動実態の解明が必要とされる。イネウンカ類の長距離移動は、梅雨前線の暖域に形成される下層ジェット気流と関連が深いことが明らかにされており、西南暖地を中心に飛来源の推定や飛来予測など、本害虫類の飛来現象について詳細な検討が行われている（寒川 1995；渡邉ら 1991）。しかし、北陸地域における飛来現象に関しては、これまでほとんど研究が行われていない。そこで、飛来予測のための基礎資料を得ることを目的として、北陸地域におけるイネウンカ類の飛来源・飛来経路について検討を行った。

2. 方法

1) 飛来波の抽出

1998～2000年の3年間にわたり、北陸研究センター内に設置した乾式予察灯（60W 白熱灯）によるイネウンカ類の日別誘殺数調査を行うとともに、北陸地域8カ所の予察灯資料を収集した。これら予察灯における誘殺消長からセジロウンカの主要な飛来波を抽出し、地上天気図および850hPa面の風向風速資料等に基づく気象条件の検討から、飛来日を特定した。

また、北陸研究センターの予察灯資料をもとに、1987年から1991年の5年間におけるセジロウンカの主要な飛来波を抽出し、同様に飛来日の特定を行った。

2) 流跡線解析

特定された各飛来波について、850hPa面の気流の流跡線から、飛来源および飛来経路の推定を行った。解析には、日本気象協会が開発した気象解析プログラム（日本気象協会 1987）をベースとして、解析地理範囲、入力観測点数、解析格子間隔等を改良したコンピュータプログラムを使用した。なお、解析には気象庁提供の高層気象観測資料を用いた。

3. 結果と考察

1) セジロウンカの飛来状況

北陸研究センター予察灯におけるセジロウンカの誘殺消長（1998～2000年）を図7-1に示した。

1998年

予察灯データから4つの飛来波を抽出した。飛来は梅雨前線が北上して日本海に達し、北陸地域が前線の暖域に入った時に起こっており、前線南側の下層ジェット気流による飛来現象と考えられた。飛来日は6月19、27日、7月4、9日と推定された。7月9日の飛来の際にややまとまった数の誘殺が認められたが、全体に誘殺数は少なく、飛来はいずれも小規模であった。

1999年

全国的にセジロウンカの少飛来・少発生年であり、梅雨期には明瞭な飛来波は認められなかった。気象状況から見て、6月16、24、27日、7月3日前後に飛来があった可能性があるが、予察灯には

これを裏付けるような誘殺は認められなかった。梅雨期以降、8月27日頃に飛来と見られる誘殺数の急増が認められたが、次世代の発生は観察されず、水田への定着・産卵はなかったものと考えられた。

2000年

セジロウシカの初飛来は、6月23日であり、その後6月28日、7月1、12、16、22日に断続的に飛来があったものと推定された。飛来規模はいずれも小さかった。

1987～1991年

1987年7月10、12、25日、1990年7月16日、1991年6月29日、7月8日の6つの主要な飛来波を抽出した。

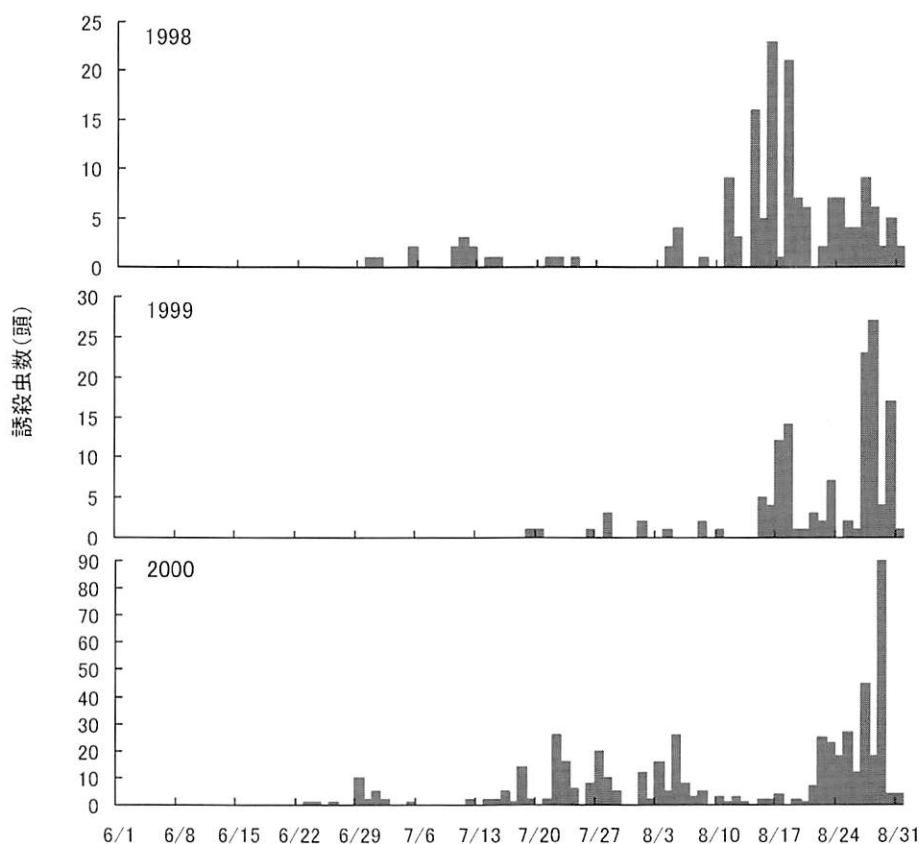


図7-1 北陸研究センター予察灯におけるセジロウシカ誘殺消長

2) 飛来源・飛来経路の推定

上記各飛来波について850hPa面の流跡線解析を行った結果、48時間後退流跡線は、揚子江下流域～大陸東南部沿岸付近に到達した(図7-2, 3, 4, 5)。西南暖地におけるイネウンカ類の飛来源は、華南の南東沿岸地域であるとされているが(寒川 1995)、北陸地域におけるセジロウシカの飛来源は、より北方の揚子江下流域が主体ではないかと考えられた。飛来経路は、対馬海峡を横断して日本海上を進むケースが大半を占め、北陸地域における飛来現象は、中国地方の日本海側における飛来と同一の風系に依存していることが示唆された。また、飛来時の気象状況について、地上天気図をもとに検討した結果、多くの場合、梅雨前線が日本海上まで北上し、前線上を低気圧が東進したときに飛来が起こっており、これが北陸におけるセジロウシカ飛来の典型的なパターンであると考えられた。

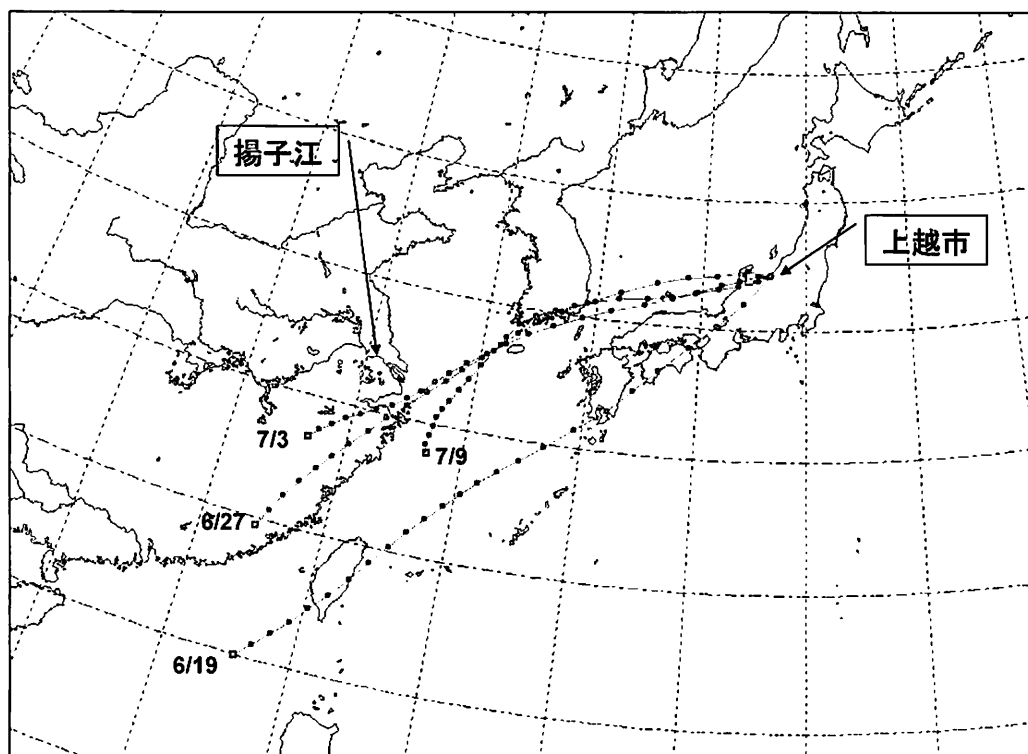


図7-2 上越市 (37.06N, 138.15E) を起点とした850hPa面の後退流跡線 (1998年)

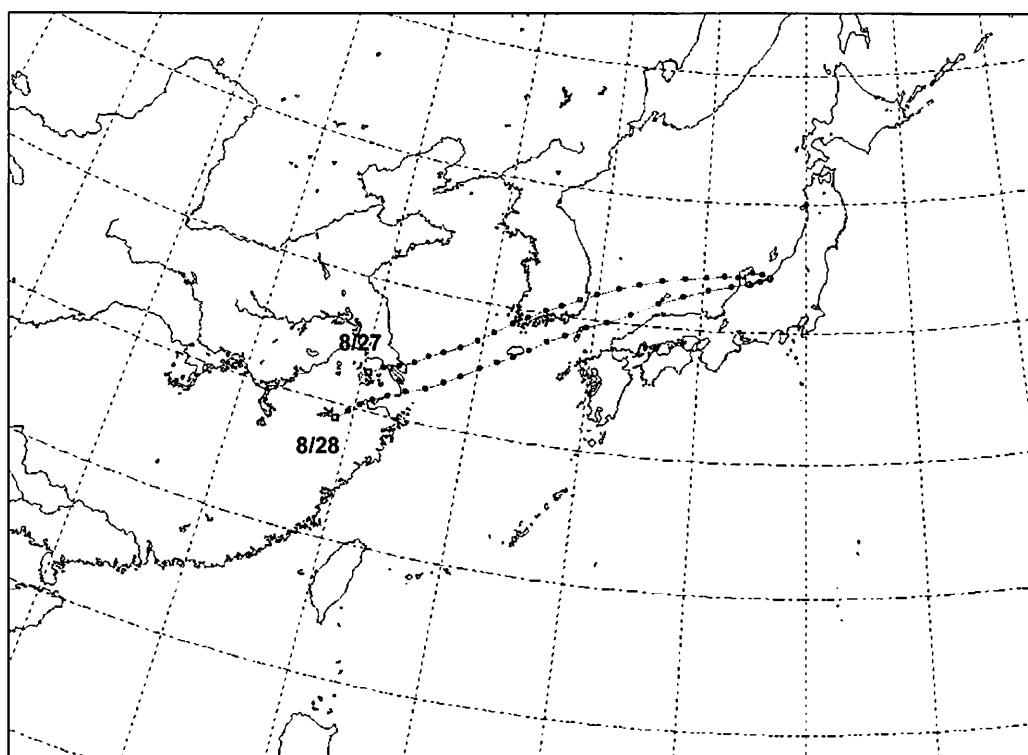


図7-3 上越市を起点とした850hPa面の後退流跡線 (1999年)

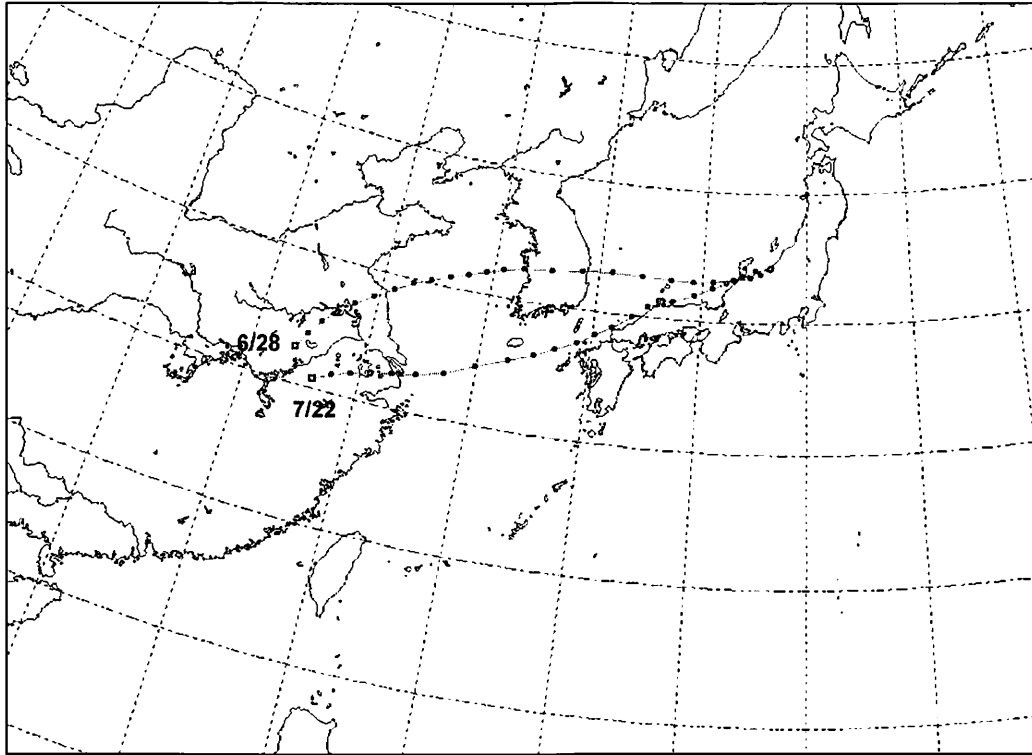


図7-4 上越市を起点とした850hPa面の後退流跡線（2000年）

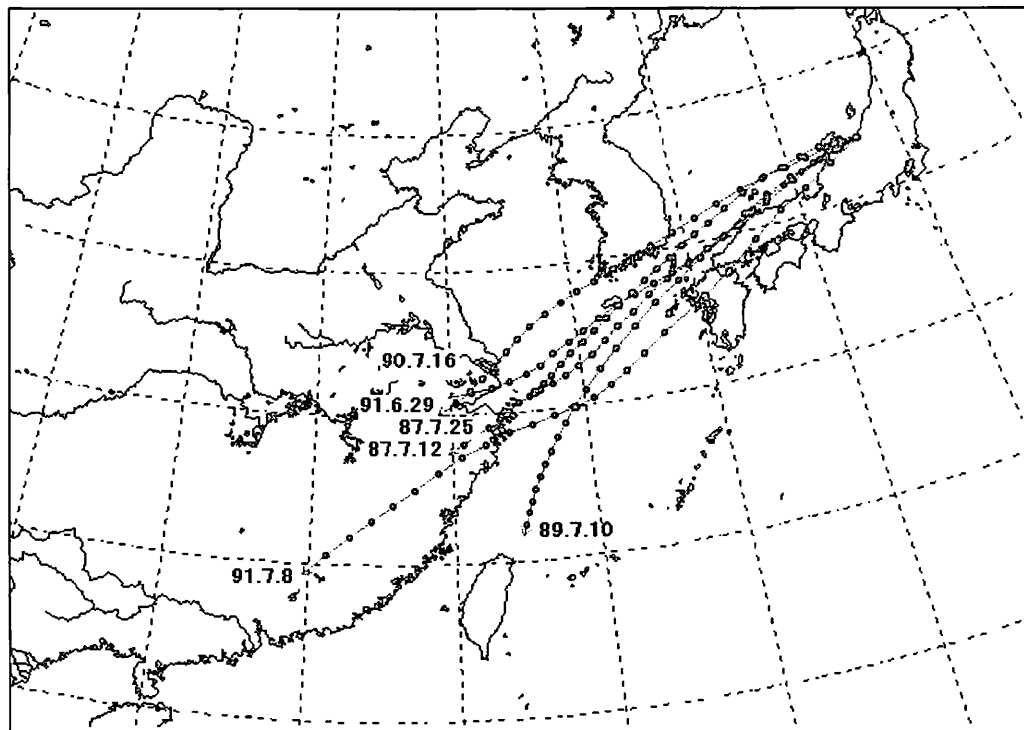


図7-5 上越市を起点とした850hPa面の後退流跡線（日付は各飛来波）

4. 要約

1987～1991年および1998～2000年の8年間について、北陸地域に飛来したセジロウンカの主要な飛来波を抽出し、飛来源および飛来経路の推定を行った。850hPa面の後退流跡線は、揚子江下流域付近に到達し、北陸地域におけるセジロウンカの飛来源は、西南暖地におけるイネウンカ類の飛来源と目されている大陸東南部沿岸地域よりも北寄りに位置すると推定された。

5. 文献

- 1) 日本気象協会（1987）移動性害虫移動予知モデル開発のための気象解析プログラム説明書，日本気象協会，pp. 80.
- 2) 寒川一成（1995）九州地域の季節推移と関連した風系によるイネウンカ類の移動分散，九州農業試験場報告，28，219-278.
- 3) 渡邊朋也・清野 豁・北村 實彬・平井剛夫（1990）高層天気図を利用した長距離移動性イネウンカ類飛来時期予測のためのコンピュータプログラム（LLJET），九州農業試験場報告，26，223-260.

（実施課題名：長距離移動性イネウンカ類の発生予察技術の精度の向上（1998～2000））

第4部 水稻の栽培様式別低投入型 生育制御技術の確立

8章 直播水稻の栽植条件に対応した生育制御技術の確立

○松村 修・八百板正則

1. 背景と目的

水稻の直播栽培は、移植栽培とは異なる生育・栽培特性や作業技術・経営的特徴を持った栽培様式であるが、北陸地域では近年、その特性や特徴を活かして直播を経営に導入する稲作経営体が増えてきている。とくに大規模な経営体では、育苗や移植作業が不要であることなどによる春作業の省力性や、同時期の移植栽培より成熟期が遅くなることによる収穫分散に着目し、水稻の作付負担面積をこなすための作期分散手段として活用されることが多い（斎藤ら 1999）。すなわち、移植栽培と直播栽培をうまく組み合わせることで作期を分散させ、繁忙な春・秋の農作業を平準化するのである。大規模経営といえども市場価格で有利な良食味品種に作付けが集中せざるを得ない現状では、直播栽培を導入することで得られる作期分散はとりわけ大きな経営的効果を持つ。同時に、成熟期の分散は適期収穫による米品質確保の面からも有効である。このことも、良食味品種作付比率が高く出穂・成熟期が集中しやすい北陸地域の大規模稲作では大きな意味を有する（松村・山口 2001）。移植と直播を組み合わせた栽培を行う場合、直播の作期は早生移植水稻とそれに続く中生移植水稻の収穫の間を縫って、あるいは中生水稻の後に成熟に至るよう設定される場合が多い。北陸地域の移植水稻は一般に4月末～5月半ばに移植されるが、大規模経営では5月末～6月初めまで続く場合がある。したがって、直播水稻の播種期間としては、理論的には低温による出芽抑制の心配が小さくなる5月上旬以降、約1ヵ月程度が期待される。実際には、収量・品質確保の面から播種晩限が存在すると考えられるが、北陸地域での水稻直播の播種期に関する既往の研究は、低温との関連など播種早限についてのものが多く晩限については見あたらないのが現状である。そこで、大規模稲作経営に直播を導入する上で有効な情報となる直播水稻の播種晩限とその栽培条件について検討した。

水稻の直播栽培では苗立の良否がその後の生育や収量、品質を大きく左右する（三石・井村 1982、川口ら 1998）。近年、直播水稻の苗立は初期落水管理や酸素供給剤の種子粉衣、圃場均平化技術の向上等により安定化を増したが、現場ではまだ苗立の失敗による播き直しや追播きなどが行われる場合もある。苗立の良否が明らかになるのは播種後早くても10日目以降であるが、播き直しは再度の代かきを要するので作業的に容易ではなく、このため、現場では追播きが実施されることが多い。しかし、追播きの収量補完効果については知見が無く、また群落内の生育ステージの幅を拡大することが予想されるので、とくに玄米品質へ影響が懸念される。そこで、本研究では追播きの収量補完効果の確認を行うと共に、玄米品質に及ぼす影響を検討し、追播きの技術的意義を

明らかにした。

2. 方法

1) 直播水稻の播種晩限の解明

品種どんとこいを供試し、1998～2000年の3年間、場内圃場（細粒強グライ土）で播種期と苗立密度が収量と玄米品質に及ぼす影響を検討した。播種栽培様式は潤土直播方式に基づき、酸素発生剤無粉衣の催芽粃を代かき後落水状態で播種し、苗立後に入水した。播種期は5月上旬、下旬及び5月末～6月上旬の3段階に設定し、1998年が5月11日、5月25日、6月8日、1999年が5月11日、5月20日、5月31日、2000年が5月11日、5月22日、5月31日であった（表8-1）。苗立密度は30～180本/㎡の範囲内で設定し、施肥N量は基肥4kg/10a、穂肥3kg/10a（2回分施）とした。その他の水管理や防除等は慣行に準じた。調査は出穂期地上部乾物重ならびに収量と収量構成要素、玄米品質を調査・分析した。玄米外観品質はKett製米粒判定機RN-500を用いて調査し、粒厚1.8mm以上の玄米のうち青未熟粒と乳白粒を未熟粒とした。

表8-1 各年次の播種期と出穂期、成熟期

年次	播種日	出穂期	成熟期
1998年	5月11日	8/5～13	9/12～17
	5月25日	8/17～20	9/20～25
	6月8日	8/23	10/7
1999年	5月11日	8/10～12	9/20
	5月20日	8/13～14	9/24
	5月31日	8/17	9/28
2000年	5月11日	8/8～11	9/19
	5月22日	8/12～13	9/22
	5月31日	8/16	9/25

注) 収穫期は籾水分25～26％程度の時期。
ばらつきは播種量の違いによる。

2) 追播きの収量補完効果の検討

品種どんとこいを供試し、同一試験区内に播種の早い個体（先播き）と遅い個体（追播き）の組み合わせで苗立数を調節・設定し、収量・外観品質、収穫期籾水分を調査した。先播き個体と追播き個体はそれぞれ識別できるよう個体にマーキングを施した。先播きは5月11日に固定し、追播きは1999年は播種後11日目の5月22日と同20日目の5月31日の2回行い、2000年は同じく同20日目の5月31日の1回のみ実施した。表8-2に各試験区先の先播き・追播き別の苗立数の構成内訳を示した。表中の試験区名は「先播きの苗立数/㎡」＋「追播きの苗立数/㎡」を示す。すなわち、1999年の「30＋0＋20」は5月11日の先播きで30本/㎡の苗立を確保し、5月31日の追播きでさらに20本/㎡の苗立を追加、合計苗立数を50本/㎡としたことを意味する。同様に、2000年の「10＋0」は先播きで10本/㎡を確保しその後は追播きしないことを、「0＋50」は先播きを行わず追播きのみ実施し50本/㎡の苗立を確保したことをそれぞれ示す。先播きと追播きの合計苗立数を50本/㎡としたのは、5月上旬播種の表面散播の湛水直播では概ねこの程度の苗立密度があれば収量が確保されることによる。

追播き時期の設定は、気象条件にもよるが、5月上旬の表面播きの直播水稻の出芽揃いが概ね播種後5、6日程度、苗立揃いが概ね2週間程度で目視確認できることに基づき、確認後に追播き種

表8-2 各試験区の苗立ちの先播き・追播き別構成 (本/㎡)

年次	試験区名	先播き	11日後追播き	20日後追播き
1999年	50+0+0	50	0	0
	30+20+0	30	20	0
	10+40+0	10	40	0
	30+0+20	30	0	20
	10+0+40	10	0	40
2000年	50+0	50	0	0
	30+0	30	0	0
	30+20	30	0	20
	10+0	10	0	0
	10+40	10	0	40
	0+50	0	0	50

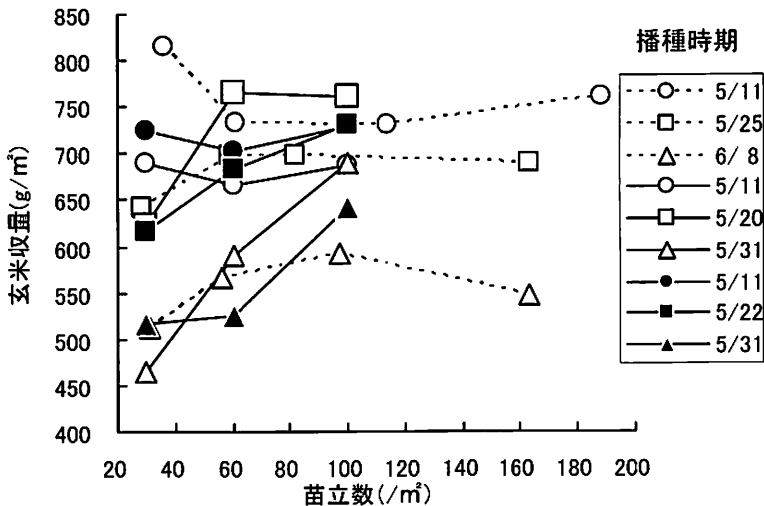


図8-1 播種時期および苗立数と収量
破線1998年、実線1999年、●■▲2000年

子の消毒・浸種・催芽を行うことを考慮して先播き後11日目と20日目とした。実際には出芽揃い確認の段階で追播きの決定を下すことは難しいと考えられるので、2000年は20日目の追播きのみ実施した。

播種栽培様式ならびに施肥管理等は(1)の「直播水稻の播種晩限の解明」と同じである。先播き・追播きともに種子は催芽粉を用いた。調査は先播き・追播き別に収量と玄米外観品質を調べた。玄米外観品質は(1)の試験と同じ手法で行った。

3. 結果および考察

1) 直播水稻の播種晩限の解明

試験年次を通じて、播種期が5月末～6月上旬まで遅延した場合に収量が大きく低下した。これらの作期遅延による減収は、苗立密度を高くすることによりある程度抑えられたが、5月末～6月上旬播種では、苗立密度が60本/㎡以上であっても早い播種期と同レベルの収量を確保できない場合が多かった。5月下旬播種では30本/㎡程度の少ない苗立密度下では減収したものの、60本/㎡では早い播種期と同水準となった。(図8-1)

直播水稻の収量は出穂期の地上部乾物重と相関が高く、出穂までの生育量が多く確保されるほど多収となる傾向を示した（図8-2）。一方で、出穂期地上部乾物重は播種～出穂までの積算平均気温が高いほど多くなったので（図8-3）、播種から出穂までの期間すなわち出穂前生長期が長くなる早い播種期のものほど生育量が確保しやすく、多収となったと考えられた。このように、出穂前生長期の長さで生育量確保の多少が作期の違いによる収量差に表れたが、播種から出穂までの積算平均気温を指標に用いた場合、安定した収量確保のためには1900℃以上が必要であると推察された。

単位面積当たり粒数と播種～出穂までの栄養成長期の積算平均気温の関係を見ると、やはり積算平均気温1900℃以下の場合粒数が顕著に減少しており、収量低下の大きな要因と考えられた（図8-4）。播種から出穂までの積算平均気温が少なくなってしまう遅い播種期においては、5月下旬までであれば苗立密度を増やすことにより粒数等個体生育量の不足が補われ、減収程度をある程度軽減できると考えられる。ただし、播種期が6月にずれ込んだ場合はこの効果は小さい。

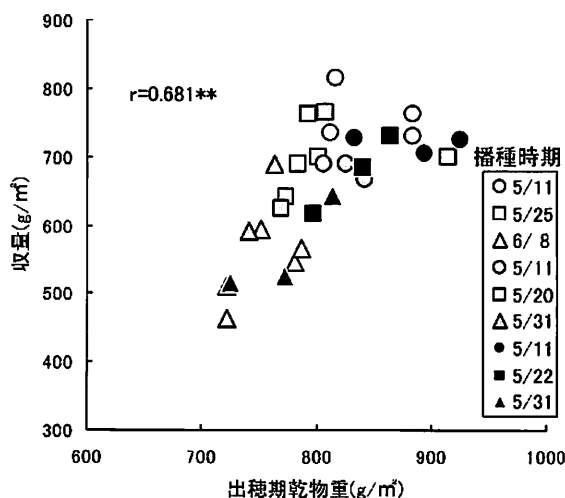


図8-2 出穂期の地上部乾物重と収量の関係
シンボルは白1998年、灰1999年、黒2000年

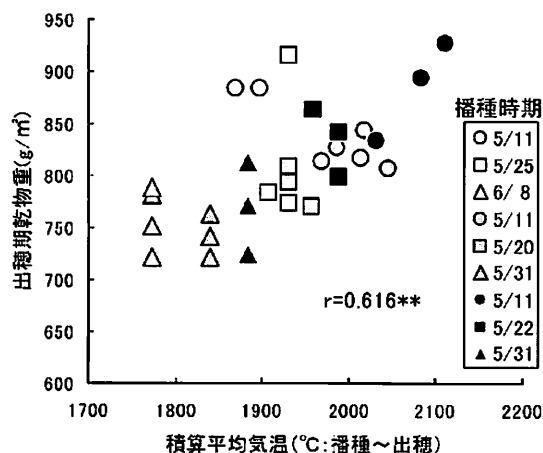


図8-3 積算気温と出穂期地上部乾物重の関係
シンボルは白1998年、灰1999年、黒2000年

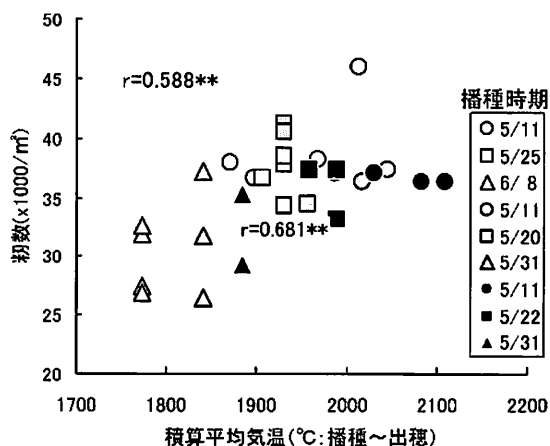


図8-4 積算気温と粒数の関係
シンボルは白1998年、灰1999年、黒2000年

北陸地方における水稻湛水直播の苗立密度と収量について検討した既往研究では、斎藤ら(1998)は播種量を10aあたり6kg、苗立密度を㎡あたり120本確保することによって、5月下旬の播種でも収量の減少を抑えられるとし、梶木・金(1991)は5月末の播種では㎡あたり90本の苗立密度においても、5月上旬の播種に比べて㎡あたり穎花数および登熟歩合が低下するため収量が減少するとした。遅い播種期での収量確保のための必要苗立密度について、これら既往研究の結果が少し異なるのは、年度ごとの気象条件により水稻の生育量が一定ではなく、また供試品種も異なるためであろう。しかし、いずれの試験でも5月下旬までは苗立密度の増加により減収の軽減は可能であるとしており、本研究の結果と一致する。

播種期が6月にずれ込んだ場合、乳白粒や青未熟粒等の未熟粒が増え玄米外観品質は低下した(図8-5)。これは、6月以降の播種では出穂期が大幅に遅延し登熟期が長くなるものの秋霖の時期に重なるため、気温が低下するとともに日射量も減少するなど登熟に不利な気象条件となるためと考えられた(表8-1)。例えば、1998年の5月11日播種区では登熟期間中の平均気温は23.3℃、平均日射量は13.6～14.1MJ/㎡/dayであったが、6月8日播種区では平均気温は22.0℃程度、平均日射量は12.0MJ/㎡/dayといずれも5月播種に比べ低い、少ない値となった。収量の面でも登熟期の日射量と収量の相関は高いことが示されており(図8-6)、6月に入ってから播種は登熟期の日射量不足が品質だけでなく収量にも影響が大きいことを示唆している。また、先述したように6月播種は苗立密度増による減収軽減効果も小さかった。北陸地域では成熟期が10月にずれ込む晩生品種や晩植水稻の栽培は生育期間が短かつ登熟期に秋霖の影響を受けて収量・品質の安定的維持が困難なため、現在ではほとんど普及していない。6月播種の直播水稻についても、成熟期(初水分26%を目安とする)が10月にずれ込む結果となっており、これら晩生品種や晩植水稻の栽培と同様に品質面で不安定であると言えよう。

以上、本試験での諸条件における直播水稻の播種晩限は、玄米外観品質確保の面からは5月末頃までであると判断された。収量的には、播種～出穂までの積算平均気温が1900℃以上確保される場合、苗立密度を60本以上確保することにより減収程度を小さくすることが可能と判断された。積算平均気温1900℃を基準として気象平年値から播種晩限を求めると、上越地方の平坦部においては、出穂日を8月20日とした場合は5月31日、出穂日を8月15日とした場合は5月24日であった。いずれにせよ結論として直播水稻の播種晩限は5月いっぱいであると言えよう。

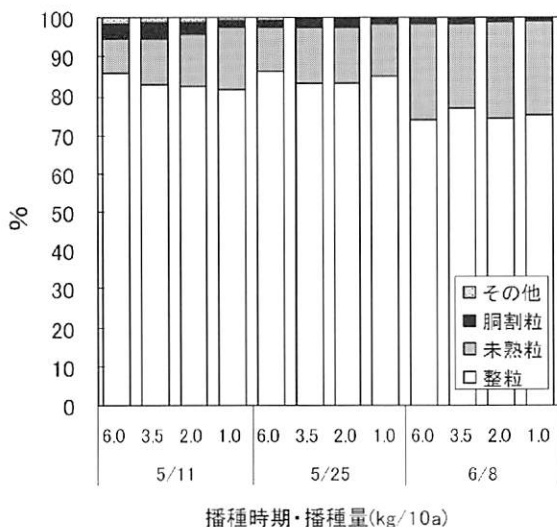


図8-5 播種期と玄米外観品質 (1998)

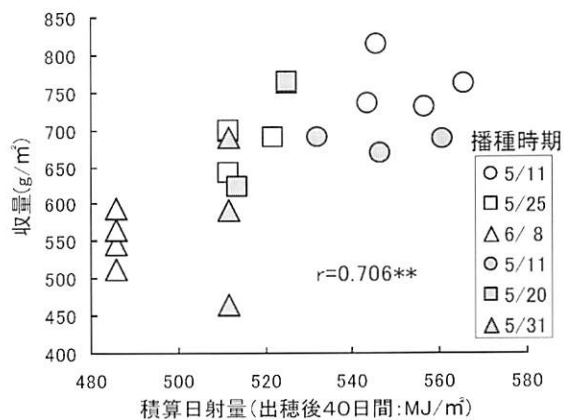


図8-6 登熟期の積算日射量と収量の関係
シンボルは白1998年、灰1999年

2) 追播きの収量補完効果の検討

1999年は追播きにより苗立数を確保した場合、収量は同じ苗立数の先播きとほぼ同水準となり、収量確保面での追播きの有効性が示唆された(図8-7)。ただし、対照として追播きによる苗立補完を行わない区を設定しなかったため、先播き苗立数が少ない場合の収量低下程度との比較を行うことができなかった。このため、2000年は追播きによる苗立補完を行わない区を設けた結果、先播き苗立数が減るにつれ収量が低下するものの、追播きを行うことにより減収程度を軽減することができた(図8-7)。この傾向はとくに先播き苗立数が10本/㎡と少ない場合顕著に示された。

2000年は先播きせず追播きのみ行った区(0+50)を設けたが、追播きにより苗立数を補完した区はいずれもこれより収量が多かった。このことから、表面散播の湛水直播で苗立数不足となった場合、追播きと同一日(5月31日)に播き直するよりも追播き実施の方が収量確保の可能性が高いと考えられた(図8-7)。

追播き個体の収量の全収量に占める割合は追播き日が遅れるにつれ低くなった(図8-7の1999年)。これは先播き個体と追播き個体との間に光競合などの競合が生じるが、播種間隔が開くほど追播き個体の生育が抑制されるためであろう。2000年の結果では先播き・追播き区である30+20、10+40区における先播きの収量は対照(先播きのみ)である30+0、10+0の収量とほぼ同程度であり、追播きの先播き個体への影響は小さかったが、1999年ではとくに追播きが早い場合に先播きの収量が少なくなり、追播き個体の影響を受けたことが示唆された。これについては1999年に対照に相当する区が無いため結論づけることはできないが、先播き個体と追播き個体との間で何らかの生育競合が生じたと推察される。

追播き個体は先播き個体よりも出穂が遅延し、例えば1999年の30+0+20、2000年の30+20では先播き個体に比べそれぞれ5日間遅くなった。このため追播き個体の籾に登熟の遅れが生じ、収穫期付近の籾水分の同日比較では、年次により違いがあるものの先播き個体の籾に対し3~8%の較差が生じた(図8-8、8-9)。また玄米の外観品質では、2000年の追播き個体で青未熟粒と乳白粒の割合が増え、1999年の追播き個体で胴割粒の割合が増える傾向が認められた(図8-10)。このことから、追播き個体を含む群落では全体の籾水分較差が広がるため、先播き個体では過熟による胴割粒の発生が、追播き個体では登熟不足による青未熟粒と乳白粒の発生がそれぞれ増える傾

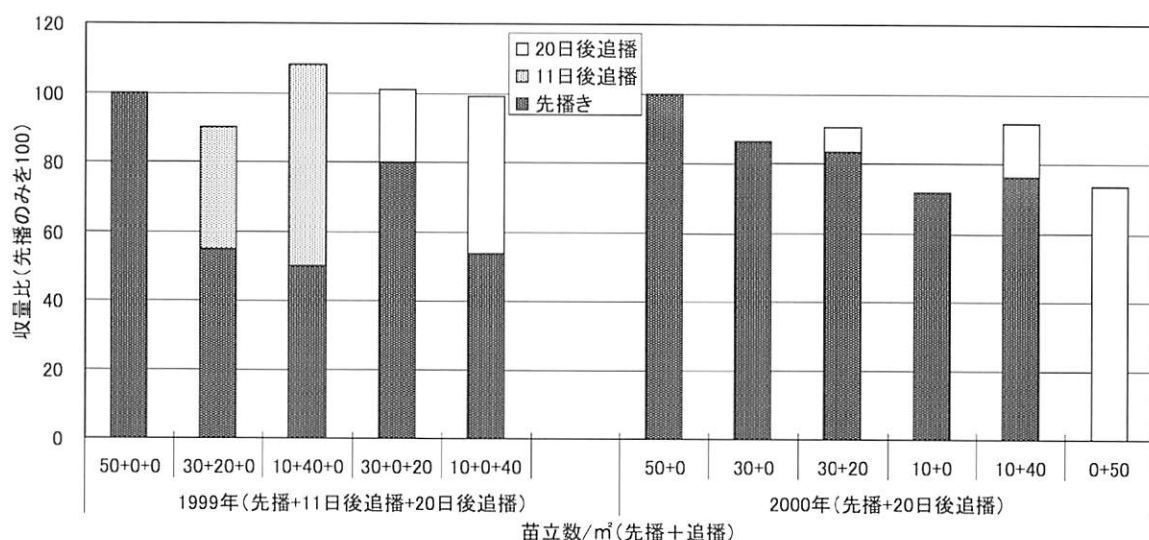


図8-7 追播きによる収量補完効果

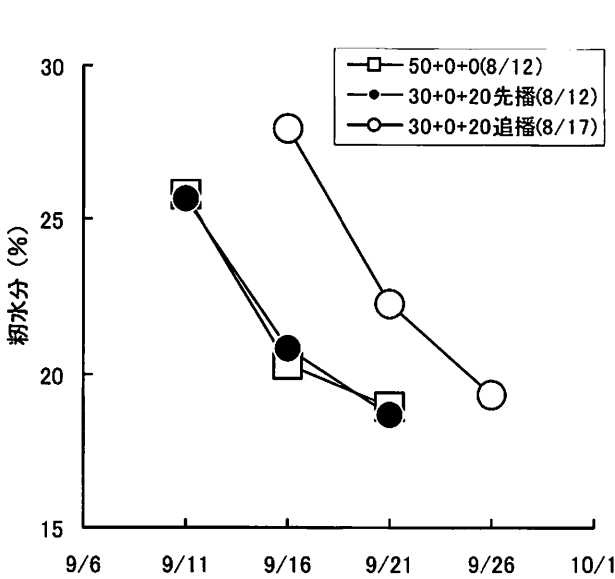


図8-8 籾水分の推移 (1999年)

凡例の () 内は出穂期

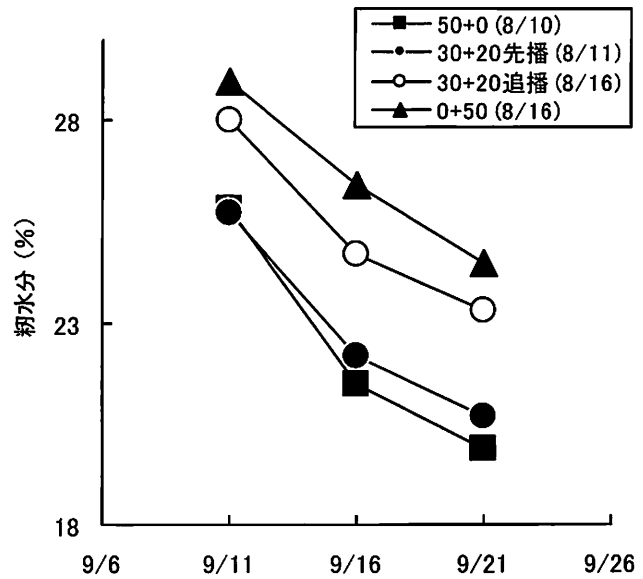


図8-9 籾水分の推移 (2000年)

凡例の () 内は出穂期

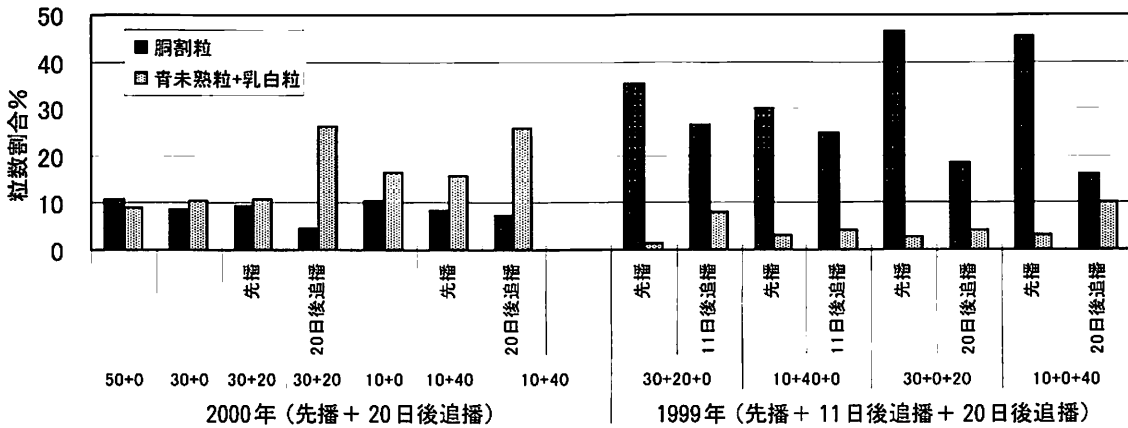


図8-10 玄米外観品質の比較

向があるものと推察された。

以上の結果から、本試験の供試品種や栽培様式の直播栽培において出芽・苗立の失敗により苗立本数に不足が生じた場合、播種後11～20日の追播きにより苗立不足による収量低下を軽減・回避することができるものと考えられ、この効果はとくに苗立数が10本/㎡程度と少ない場合に大きい。しかし、品質面では玄米外観品質を低下させる危険性があるので、食用米の直播栽培では実施しない方が良くと判断される。

現実には極端な苗立不足が生じた場合、その後の雑草管理が困難になるのでそのまま放置できないことが多い。このような場合、2000年の結果では先播きのみで苗立数が少ない10+0の収量と追播きのみで播き直しに相当する0+50の収量に大差はなかったので、品質の点から追播きを選択しないものとしてむしろ播き直しをした方が良くと考えられる。ただし、品質を問わない加工原料米や飼料イネの栽培では追播きが有効であろう。

なお、追播きは表面播きにならざるをえないが、土壌によっては表面がすでに硬くなった場合には種子根の伸長・定着が劣ることも予想される。本研究では播種後苗立ちまでを潤土状態に保ったが、特段の問題は生じなかった。

4. 要約

- 1) 北陸地域における直播水稻の収量・品質面からみた播種晩限を検討した。晩限は5月末まで、それ以降は乳白粒や青未熟粒等の未熟粒が増えて玄米外観品質が低下し、かつ収量も大幅に減った。
- 2) 播種期が遅れるほど減収したが、播種～出穂までの積算平均気温が1900℃以上ある場合、苗立密度を60本/㎡以上により単位面積当たり籾数を確保して減収程度を軽減できた。積算気温の確保が難しい6月播種では、苗立密度を増やしても籾数はあまり増えず減収を抑えることはできなかった。
- 3) 湛水散播の直播栽培において苗立不足が生じた場合、播種後11～20日に催雅籾を追播きすることで苗立不足による収量低下を軽減・回避できた。この効果は苗立数が10本/㎡程度の際に大きかった。
- 4) 追播きは減収軽減効果はあるものの、追播個体の籾の成熟が遅れるため、収穫時の籾水分較差が広がり玄米外観品質を低下させる傾向が認められた。
- 5) 食用米については、品質面からみて追播きは行わない方が良いと判断され、極端な苗立不足の場合はむしろ播き直しの方が妥当と推察された。飼料イネなど食用品質が問題とならない場合は収量確保の上で有効な技術であると考えられた。

5. 文献

- 1) 桃木伸幸・金 忠男 (1991) 水稻の高密度散播直播栽培における生育制御, 北陸農試研報, 33, 55-81.
- 2) 川口祐男・南山 恵・高橋 渉 (1998) 大区画圃場における水稻の表面散播栽培に関する研究 -第2報 苗立密度が玄米の外観品質に及ぼす影響, 北陸作物学会報, 33, 59-60.
- 3) 松村 修・山口弘道 (2001) 営農規模や圃場区画の大型化は出穂期の集中や拡大を通じて米品質に影響を及ぼす, 日作紀, 70 (別2), 49-50.
- 4) 三石昭三・井村光夫 (1982) 水稻の湛水直播における諸問題 -湛水土壤中直播法を中心にして-, 農及園, 57, 1265-1268.
- 5) 斎藤祐幸・有坂通展・市川岳史・佐藤 徹・水沢誠一 (1998) 無代かき作溝無コーティング湛水散播直播栽培技術の開発 第1報 播種期と収量について, 北陸作物学会報, 33, 66-68.
- 6) 斎藤仁藏・澤村宣志・佐々木良治・鳥山和伸・大矢慎吾・藤田佳克・山路良寛 (1999) 北陸地域における水稻湛水直播栽培の現状と生産者の評価, 北陸農業研究資料, 41, 1-36.

(実施課題名: 直播水稻の栽植条件に耐硫黄した生育制御技術の確立 (1998～2000))

9章 移植水稻の収穫分散のための生育制御技術の確立

○松村 修・八百板正則

1. 背景と目的

水稻作付け面積の多い大規模稲作農家では、収穫作業の競合が激しいため適期外収穫をせざるを得ず、米品質確保の点で問題となっている。収穫期を分散するには、品種や作期による出穂期・成熟期の拡大が有効であるが、市場におけるブランド性から作付品種はコシヒカリなどの良食味品種に限定され、作期も水利条件等による規制を受けるため拡大しにくいのが現状である。そこで、本研究では栽培的手段による作期分散の技術開発を目指し、栽植密度による収穫分散を試み、収穫期幅拡大や収量・品質に及ぼす影響を明らかにした。また、大規模農家における出穂期・収穫期の集中実態を調査した。

2. 方法

1998年：移植時期2水準（5/12、5/26）、栽植密度4水準（表9-1）でコシヒカリ、どんとこいの中苗を移植し、出穂・成熟期、生育・収量・品質の変動を検討した。試験面積は1区18.8㎡の2反復。窒素施用量は基肥、穂肥とも各3kg/10a（計6kg/10a）で穂肥は2回に分け分施した。他の栽培法は慣行に準ずる。外観品質はkett製品質判定機、穀粒水分は静岡精機製1粒水分計で計測した。出葉・出穂調査は各10株を追跡調査し、出穂日は50%出穂株が半数以上となった時点とした。

1999年：栽植密度4水準（表9-1）で1998年と同様の圃場試験を実施した。また、大規模稲作農家の出穂集中実態を明らかにするため、新潟県中頸城郡三和村の大規模稲作農家が同村内の北代、岡木、末野新田の3地区に12日間にわたってコシヒカリとキヌヒカリを移植した圃場33筆を抽出し、7/28～8/7に出穂調査を行った。

2000年：栽植密度7水準と窒素施用量2水準（表9-1）の組合せで前2ヵ年と同様の試験を実施した。

表9-1 試験区の設定

年次	処理区	栽植株数/㎡	1株苗数	個体数/㎡	条間×株間cm	移植時期	施肥窒素量kg/10a
1998年	密植	33.3	3	99.9	30×10	5/12、5/26	3+3
	標準	22.2	3	66.6	30×15	5/12、5/26	3+3
	疎植1	11.1	3	33.3	30×30	5/12、5/26	3+3
	疎植2	11.1	1	11.1	30×30	5/12、5/26	3+3
1999年	密植	33.3	3	99.9	30×10	5/14	3+3
	標準	22.2	3	66.6	30×15	5/14	3+3
	疎植1	11.1	3	33.3	30×30	5/14	3+3
	疎植2	11.1	1	11.1	30×30	5/14	3+3
2000年	密植1	33.3	6	199.8	30×10	5/15	0+0、3+2
	密植2	22.2	6	133.2	30×15	5/15	0+0、3+2
	標準	22.2	3	66.6	30×15	5/15	0+0、3+2
	疎植1	11.1	3	33.3	30×30	5/15	0+0、3+2
	疎植2	22.2	1	22.2	30×15	5/15	0+0、3+2
	疎植3	11.1	1	11.1	30×30	5/15	0+0、3+2
	疎植4	3.7	1	3.7	60×45	5/15	0+0、3+2

注) 施肥窒素量は基肥+穂肥

3. 結果および考察

1) 収量および外観品質

1998年：コシヒカリは遅い移植時期で収量が低下したが、どんとこいでは移植期による収量の差は判然としなかった（図9-1）。疎植で減収する傾向が認められたが、疎植1（33.3個体/㎡）までの差は小さく、栽植密度の最も低い疎植2（11.1個体/㎡）で減収程度が大きくなった。

玄米の整粒歩合は、各品種とも作期、栽植密度による一定の傾向はほとんど認められず、本試験の設定内ではこれら栽培要因の外観品質への影響は小さいと考えられた（図9-2）。成熟期の籾水分の変異にも処理間の違いは認められず、籾水分較差の点からも品質に影響が少ないことがうかがわれた。また、籾水分の変異は1穂内での差が最大で、穂間や株間の変異は極小さく、栽植密度に

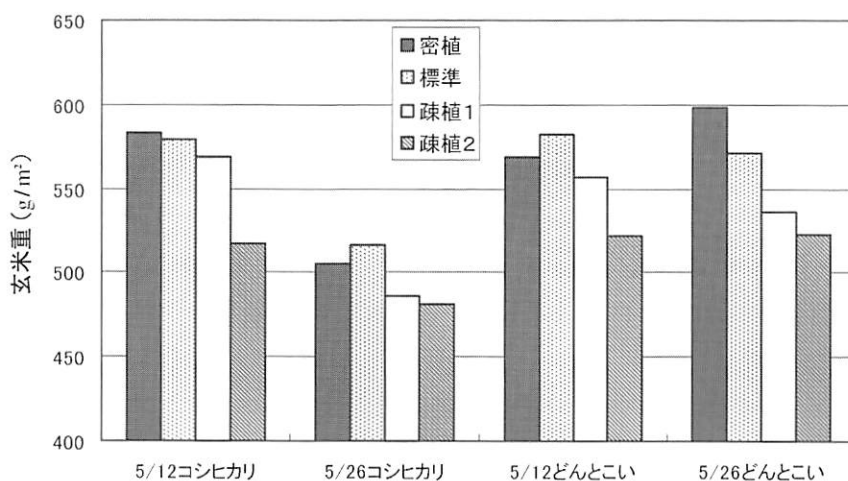


図9-1 移植時期・品種・栽植密度と収量（1998）

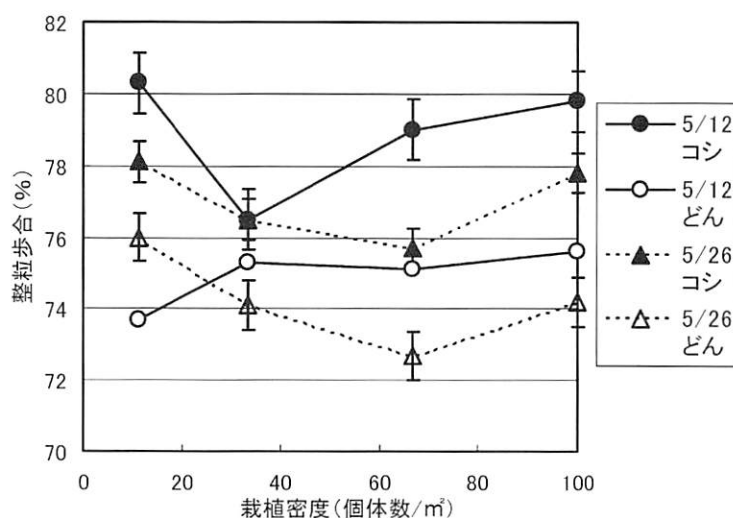


図9-2 栽植密度・移植時期と玄米整粒歩合

表9-2 籾水分とその全体、株間、穂間、穂内での変異（1998）

移植時期・品種	試験区	籾水分%	籾水分の標準偏差(%)			
			全体	株間	穂間	穂内
5/12コシヒカリ	密植	22.8	6.7	1.1	—	—
	標準	23.8	6.5	1.0	1.1	6.5
	疎植1	24.0	6.1	0.8	—	—
	疎植2	25.6	6.0	1.2	1.5	5.9
5/26コシヒカリ	密植	27.4	4.0	0.7	—	—
	標準	26.1	3.9	0.9	—	—
	疎植1	21.4	2.9	0.6	—	—
	疎植2	21.7	3.6	0.7	—	—
5/12どんとこい	密植	26.5	6.8	1.2	—	—
	標準	28.2	7.3	1.1	—	—
	疎植1	28.4	7.1	1.1	—	—
	疎植2	26.8	6.7	1.4	—	—
5/26どんとこい	密植	27.4	4.0	0.7	—	—
	標準	27.8	4.8	1.1	—	—
	疎植1	24.7	4.6	1.3	—	—
	疎植2	24.1	4.6	0.5	—	—

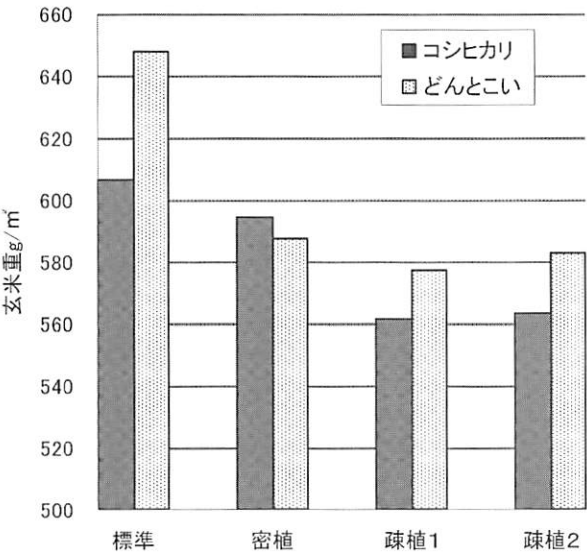


図9-3 玄米収量の比較（1999）

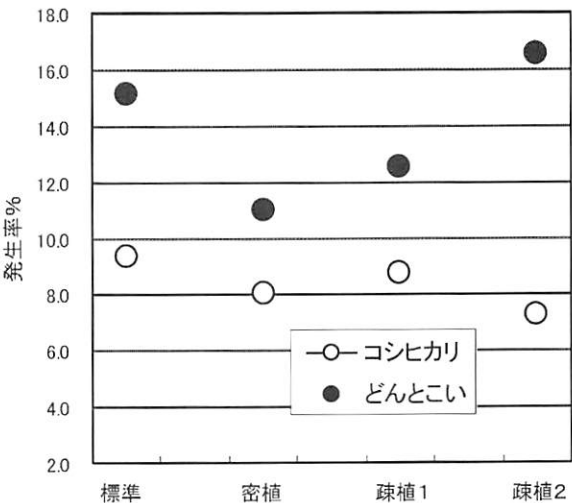


図9-4 乳白粒・未熟粒の発生率（1999）

かわらず穂内較差を調査することにより全体の水分変異を把握できると考えられた（表9-2）。

1999年：登熟期を中心とした好天により全体に収量が高くなったが、コシヒカリでは疎植で減収する傾向を示し、標準区が最も多収となった。密植では倒伏が生じたため減収した。どんとこいも同様の傾向を示したが、全般にコシヒカリに比べ収量は高く、密植～疎植間の収量差はほとんどなかった（図9-3）。疎植と標準区の収量差は主として刈数の違いによるものであり、疎植区では穂数が減少したため刈数が標準区ほど確保できず、それが制限要因となり収量が伸びなかったものと推察された。

1999年は高温登熟による乳白粒の発生が一般圃場で多くみられたが、本試験では各品種とも栽植密度によるこれら乳白粒発生の一定の傾向は認められなかった（図9-4）。どんとこいはコシヒカリに比べ乳白粒・未熟粒の発生率が比較的高かった。昨年と同様、本試験の設定内では栽植密度の外観品質への影響は小さいと考えられた。

2000年：好天により全体に収量が高かったが、コシヒカリ、どんとこいともに施肥窒素量の多少に関わらず栽植密度199.8～11.1個体/㎡までの間で収量差はさほど大きくなく、最も疎植の3.8本/㎡のみ収量低下程度が大きかった（図9-5、9-6、9-7、9-8）。

以上、3カ年の試験結果から概ね22.2～33.3個体/㎡以上の栽植密度であれば収量差は小さいと判断され、これ以下の栽植密度については気象条件による年次変動が大きいと推察された。玄米外観品質については、各品種とも栽植密度による一定の傾向は認められず、本試験の設定内では栽植密度の外観品質への影響は小さいと考えられた。

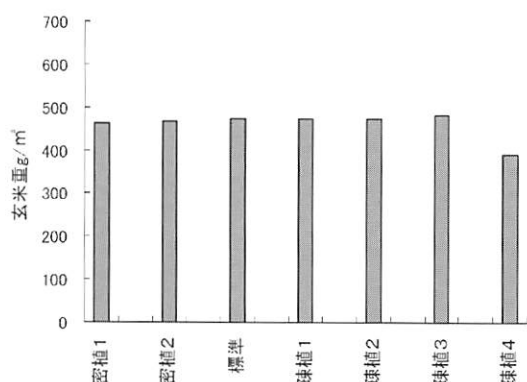


図9-5 コシヒカリ収量：窒素施用量0+0（2000）

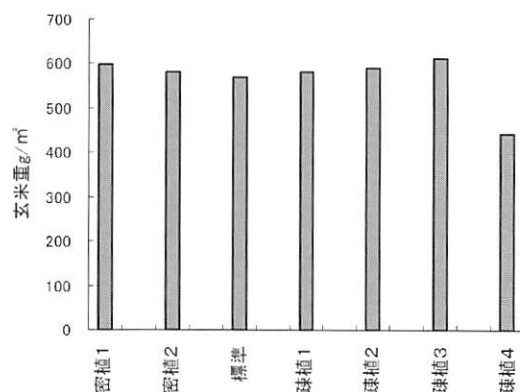


図9-6 コシヒカリ収量：窒素施用量3+2（2000）

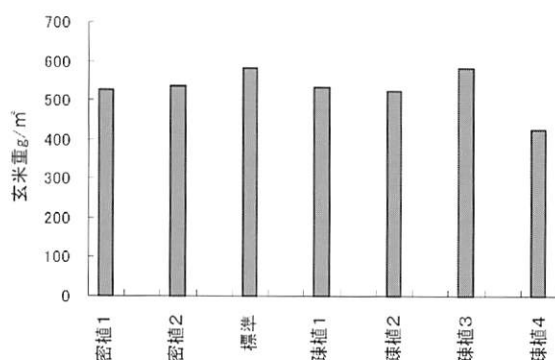


図9-7 どんとこい収量：窒素施用量0+0（2000）

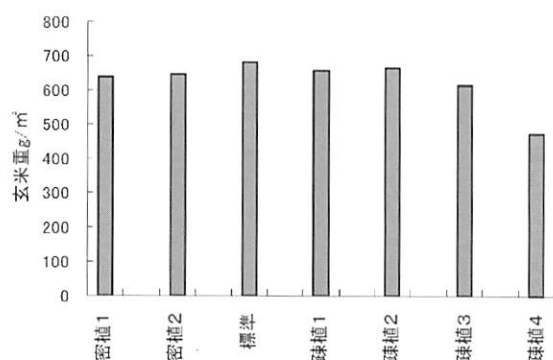


図9-8 どんとこい収量：窒素施用量3+2（2000）

2) 出穂期の変動

1998年：作期ならびに栽植密度は出穂期に大きく影響し、作期が遅いほど、栽植密度が低いほど出穂が遅れた（図9-9）。出穂期幅拡大効果としては移植時期が最も大きく、供試した2品種とも8～10日程度の出穂期拡大となった。栽植密度による効果は4～7日程度であった。両者の組み合わせにより、最大出穂較差はコシヒカリで14日、どんとこいで13日となった。密度による出穂変動は出葉数の増減によるものであるが、とくに栽植密度が低い場合に出穂遅延が顕著となった（図9-10）。また、幼穂形成期直前の葉身窒素濃度も出穂期と密接な関係があり、3.4～3.5%を閾値として、それ以上の窒素濃度の場合、高いほど出穂が遅延した（図9-11）。栽植密度は個体の窒素濃度に影響し、密植で低く疎植で高くなる傾向にあるが、出穂変動の密度依存性はこれら個体の窒素濃度の差によるものと考えられる。

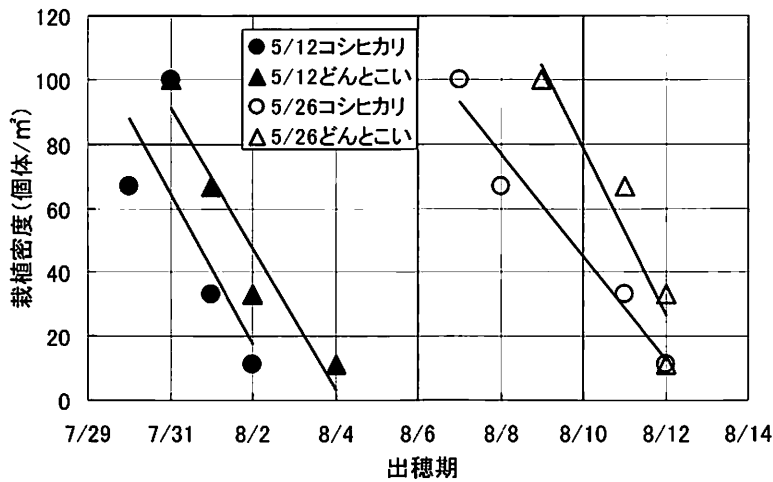


図9-9 移植時期・栽植密度と出穂期 (1998)

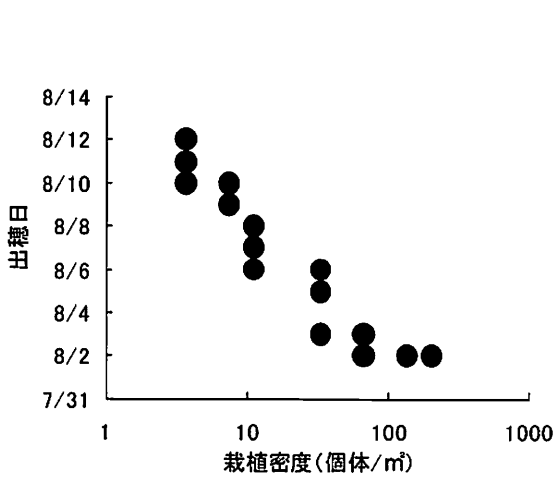


図9-10 栽植密度と出穂日 (1998)

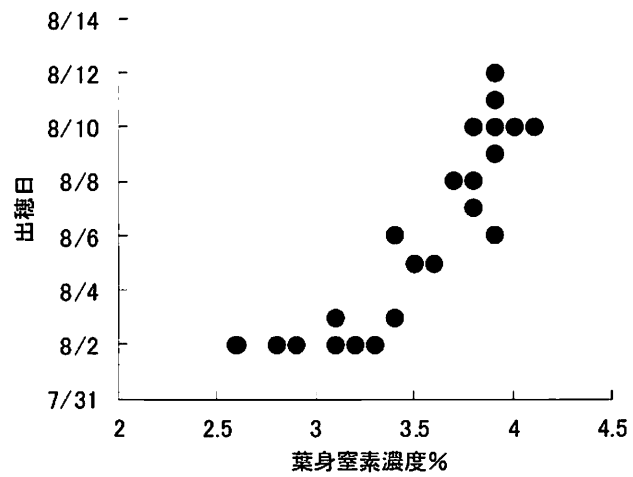


図9-11 幼穂形成前の葉身窒素濃度と出穂期 (1998)

1999年：栽植密度は出穂期に影響し、1998年同様に密度が低いほど出穂が遅くなった（図9-12、9-13）。出穂期の格差は3～4日程度と、1998年に比べ小さかったが、これは高温により出穂が全般に早まったためと考えられた。密度による出穂変動は葉数増減によるものであるが、止葉葉数と栽植密度の間に密接な関係があることが示された（図9-14）。

2000年：栽植密度と出穂期の間に高い負の相関が認められ、1999年までと同様に密度が低いほど出穂が遅延した（図9-15、9-16）。出穂期の較差はコシヒカリで9日、どんとこいで8日であったが、収量差の小さい11.1個体/㎡までではそれぞれ1日程度短くなった。

以上、3ヵ年の試験結果から、収量・品質への影響が小さい実用的栽植密度（22.2～33.3個体/㎡以上）による出穂期の拡大は、年次変動はあるものの4～7日程度で、成熟期としては5～10日程度の拡大が可能であった。これは、移植時期を2週間あけた場合の出穂期格差7～10日程度、成熟期格差10～14日程度には及ばないものの、営農的な収穫期分散として充分利用できると考えられる。

3) 現地農家圃場の出穂集中の実態調査

調査した3地区33筆での中生品種の出穂期は、7/31～8/6の1週間に及んだが、8/2～3の2日間に全体の約60%が集まっており、出穂期の集中が認められた（図9-17）。調査地区の移植日は北代（コシヒカリ）が5/3～4および5/8～9、岡木が5/9（コシヒカリ、キヌヒカリ）、末野新田

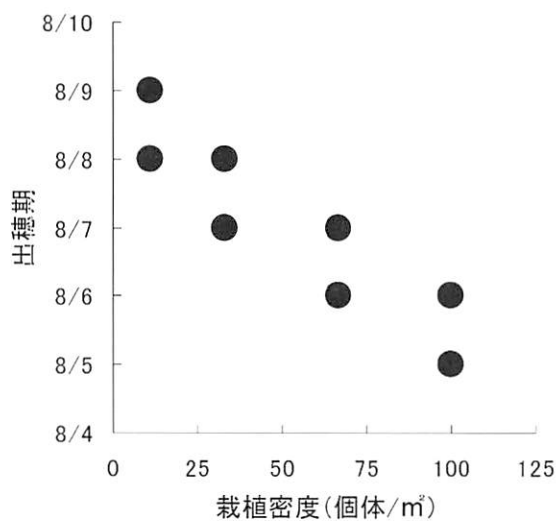


図9-12 栽培密度と出穂期（コシヒカリ、1999）

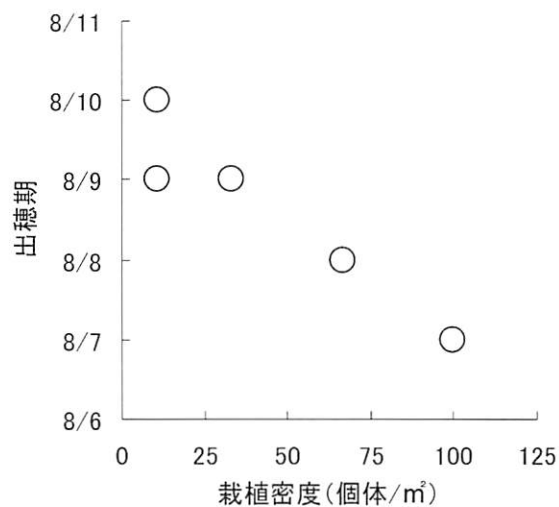


図9-13 栽培密度と出穂期（どんとこい、1999）

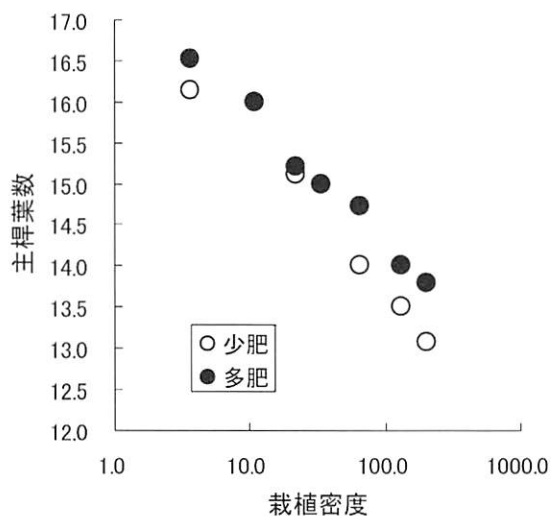


図9-14 栽培密度と主稈葉数（コシヒカリ、1999）

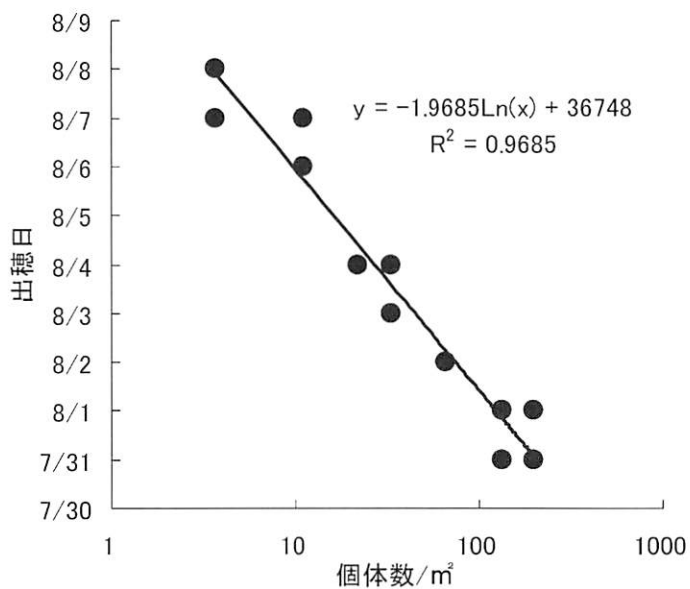


図9-15 栽培密度と出穂日（どんとこい、2000）

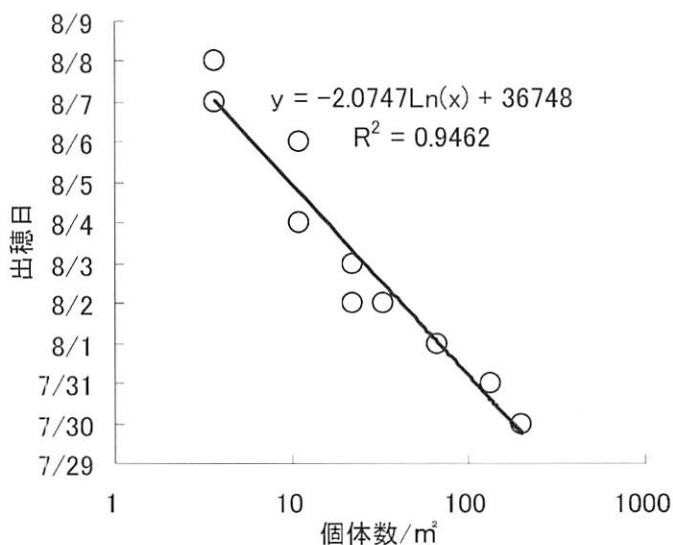


図9-16 栽培密度と出穂期（コシヒカリ、2000）

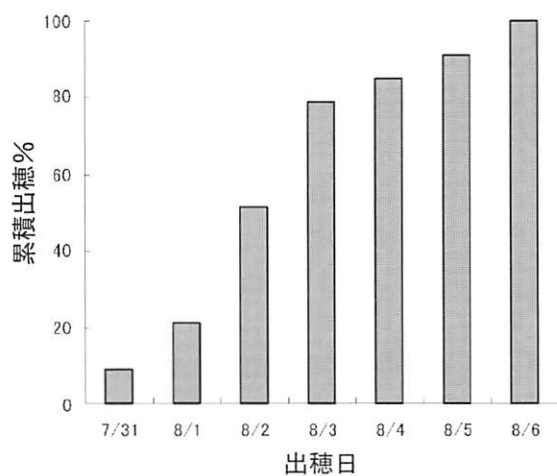


図9-17 現地圃場の出穂状況（2000）

表9-3 収穫遅延の外観品質への影響(%)

	整粒	未熟粒	胴割粒
適期収穫圃場	81.2	13.5	5.3
7日遅れ圃場	70.8	13.8	15.4

注) 品種コシヒカリ

が5/11～14(キヌヒカリ)であったが、遅い末野新田でも出穂は8/2～3に集中していた。本年は高温により全般に出穂が進み、移植日による出穂期の較差が小さくなったと思われる。調査圃場の中から出穂期が同じで成熟期もほぼ同程度と思われる圃場について、適期収穫を行った圃場とその圃場より1週間刈遅れた圃場の玄米外観品質を比較したところ、刈遅れ圃場では胴割米の発生割合が高く、収穫期の集中が品質に悪影響を及ぼしていることが示唆された(表9-3)。

稲作の大規模化が進められる中、品質を維持向上するためには収穫期の分散は不可欠な問題となっており、そのためには品種・作期の分散に加えて、本試験で示したような栽培的手法による出穂期幅拡大を取り入れる必要があることが、この調査結果からもうかがうことができよう。また、乳苗、稚苗、中苗など苗の種類によっても収穫期を拡大することが可能であり(新潟県農林水産部1992、岩手農試1990)、このような手法の併用も重要であろう。コシヒカリ作付率の高い北陸地域では、直播栽培で成熟期が遅れることを利用した移植コシヒカリと直播コシヒカリの組み合わせによる作期拡大も普及しつつあり(斎藤ら1999)、今後は多様な方法での作期拡大が望まれる。

4. 要約

- 1) 栽植密度を変えることによる水稻収穫期の分散について検討した。
- 2) 3ヵ年の試験から、22～33個体/㎡以上から199.8個体/㎡までの範囲の栽植密度であれば、栽植密度の収量や玄米外観品質への影響は小さかった。
- 3) 上記の栽植密度範囲で得られる出穂期の幅は、年次変動があるが5月中旬の移植栽培で4～7日程度で、成熟期の幅として5～10日程度であった。これは移植時期を5月中下旬で2週間程度ずらせた場合の出穂期幅7～10日、成熟期較差10～14日程度には及ばないものの、営農的収穫分散法として利用できると判断された。
- 4) 栽植密度と出穂期の間に高い負の相関を認めたが、これは栽植密度が出葉数の増減に影響するためであった。また、幼穂形成期直前の葉身窒素濃度も出穂期と密接な関係があることを認めた。
- 5) 大規模農家が栽培する33圃場における水稻の出穂期集中実態を調べたところ、60%の圃場が2日間に集中していた。このため、収穫期が競合して刈り遅れた圃場では胴割米の発生割合が高くなり、出穂期・収穫期集中が品質に悪影響を及ぼす可能性が示唆された。

5. 文献

- 1) 岩手県立農業試験場・技術部・水田作科(1990) 水稻の苗の種類の組合せによる作期拡大、平成2年度東北農業成果情報、5、33-34.
- 2) 新潟県農林水産部(1992) 水稻栽培指針、90.
- 3) 斎藤仁藏・澤村宣志・佐々木良治・鳥山和伸・大矢慎吾・藤田佳克・山路良寛(1999) 北陸地域における水稻湛水直播栽培の現状と生産者の評価、北陸農業研究資料、41、1-36.

(実施課題名：移植水稻の収穫分散のための生育制御技術の確立(1998～2000))

10章 水田地帯の排水の環境負荷特性の解明

○関矢 博幸・中島 秀治・亀川 健一

1. 目的

稲作を取り巻く厳しい状況から、直播栽培等による更なる生産コストの低減、水田の高度利用の推進、環境負荷の軽減を配慮した環境保全型農業への転換が求められている。ここでは、環境負荷の軽減に配慮した高品質米の生産システムの確立に向けて、低平地水田地帯における農耕地からの環境負荷の現状を把握することを目的に、新潟県上越市近郊の低平地水田地帯において、主要幹線用水路と水田排水路および排水集積河川の水質動向を調査した。また、低平地水田地帯において水田の高度利用の推進に伴い転換畑圃場面積が約30%まで増加していることから、水系に対する水稲作の影響を正確に評価するために、北陸研究センター内転換畑大豆圃場および現地農家転換畑大豆圃場団地で排水の水質調査を実施して水稲作以外の転換畑からの環境負荷要因を調査した。

2. 研究方法

1) 上越地域の低平地水田地帯における用排水の水質

1998年に新潟県上越市近郊の水田地帯の主要な3カ所の幹線用水路、排水路および排水が集積する河川について、代かき時期前から穂肥施用後までの期間に採水し、主に肥料成分を中心に水質調査を行った。A地区用水系では用水で3カ所、圃場排水路で3カ所、排水集積河川で2カ所、B地区用水系では用水で1カ所、圃場排水路で2カ所、C地区用水系では用水1カ所、圃場排水路1カ所から採水を行った。採水は、代かき前から水稲栽培期間中に概ね半月に一度の頻度で行った。水温、濁度、pH、EC および溶存酸素は、採水現場において水質チェッカー（堀場製作所製）を使用して測定した。全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、全リン酸、水溶性リン酸、K、Ca、Mg、およびSS は、「工業排水試験法 JIS K 0102」に準じて測定した。ケイ酸は、「土壤環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法」（農林水産省農蚕園芸局農産課編）に準じて測定した。

2) 北陸研究センター内転換畑大豆圃場の排水の水質

1998年に、北陸研究センター内の転換畑大豆圃場（細粒質斑鉄型グライ低地土強粘質、本暗渠施工、転換2年目、大麦刈り取り後、圃場の半分（20a）で大豆（施肥量2kgN/10a）、残りの圃場半分（20a）でキャベツ（施肥量10kgN/10a）を栽培）において、水稲栽培期間の表面流去水と暗渠排水の水質調査を行った。

3) 上越地域の転換畑大豆圃場の圃場排水路の水質

1998年に、上越市内の転換畑大豆圃場団地で、水稲栽培期間に圃場近傍の排水路の水質調査を行った。調査した大豆圃場団地は転換初年目で本暗渠施工されており、地域全体で大豆畑と水田約3：7の割合で混在していた。

3. 結果と考察

1) 上越地域の主要幹線用水の水質

表10-1に上越地域の主要な3カ所の幹線用水の水稲生育期間中の水質測定値を、図10-1に主要幹線用水の硝酸態窒素、全窒素濃度の推移を示した。A地区用水系は、妙高山麓の笹ヶ峰ダムを源

表10-1 上越地域の主要幹線用水路および近傍排水路の水質

採取地点		pH	EC	NH ₃ -N	NO ₃ -N	T-N	W-P	T-P	SiO ₂	K	Ca	Mg
		(μScm ⁻¹)			(mgL ⁻¹)							
A地区用水路	平均値	7.2	143	0.34	0.36	0.99	0.01	0.06	18.8	1.7	11.5	3.1
	最大値	8.5	211	1.58	0.62	2.66	0.02	0.14	25.7	2.7	17.5	4.6
	最小値	6.5	61	N.D.	0.11	0.20	0.00	0.02	9.6	0.8	4.9	1.3
圃場排水路	平均値	6.9	163	0.14	0.34	1.23	0.03	0.17	13.3	3.2	11.8	3.9
	最大値	8.0	682	0.44	1.05	2.81	0.11	0.64	27.6	9.1	41.9	21.0
	最小値	5.1	57	N.D.	0.03	0.28	0.00	0.03	5.2	1.3	3.6	1.1
排水集積河川	平均値	7.0	151	0.25	0.64	1.29	0.03	0.21	18.4	2.4	11.8	3.3
	最大値	8.0	682	0.14	1.05	2.81	0.11	0.64	27.6	9.1	41.9	21.0
	最小値	5.1	57	N.D.	0.03	0.28	0.00	0.03	5.2	1.3	3.6	1.1
B地区用水路	平均値	7.1	203	0.40	0.80	1.75	0.01	0.11	13.6	2.2	17.6	2.7
	最大値	7.6	385	0.97	1.60	3.22	0.03	0.28	22.2	4.0	34.6	4.5
	最小値	6.6	75	0.12	0.39	0.67	0.00	0.04	8.1	0.8	5.6	1.4
圃場排水路	平均値	6.8	188	0.21	0.89	1.54	0.02	0.10	12.7	2.9	15.6	3.1
	最大値	8.0	361	0.75	2.00	2.49	0.07	0.26	18.2	6.7	31.0	5.7
	最小値	5.7	92	0.03	0.07	0.57	0.00	0.04	7.4	1.1	6.7	1.6
C地区用水路	平均値	7.1	123	0.06	0.24	1.05	0.02	0.12	8.7	2.1	6.7	2.6
	最大値	8.4	161	0.35	0.41	2.72	0.08	0.21	13.2	2.7	9.9	3.8
	最小値	6.6	59	N.D.	0.09	0.32	0.00	0.03	4.4	0.6	1.9	1.1
圃場排水路	平均値	7.0	123	0.09	0.19	1.12	0.04	0.16	6.9	3.0	6.0	2.6
	最大値	9.0	166	0.32	0.76	2.91	0.13	0.28	13.0	9.4	10.5	3.9
	最小値	5.5	66	N.D.	0.03	0.18	0.01	0.05	2.2	0.9	2.4	1.3

注) A地区用水系は、妙高山系のダムより直接引水されている幹線用水路で、水稲作付け期間中の供給水量の変動が少ない。
B地区用水系は、A用水と源流を同じにするが、夏期は河川の渇水に伴い、供給水量が減少する。
C地区用水系は、大きな水源が無いため、ため池等を利用して効率的に水を使えるように整備した循環型の用水系である。
表には、4月15日から9月17日までの期間に約15日毎に採水した分析値の平均値、最大値、最小値を記載した。

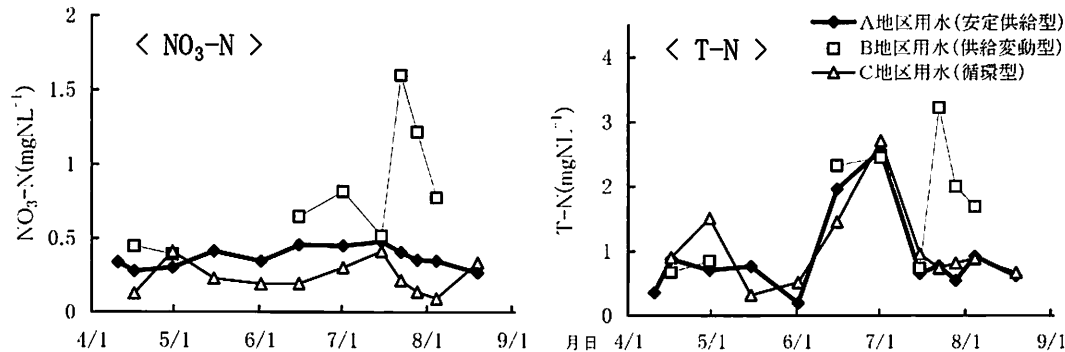


図10-1 上越地域の主要幹線用水中の硝酸態窒素および全窒素濃度の推移

流とする上越地域で最も供給範囲の大きい用水系で、水稲栽培期間を通じて安定的に用水が供給されている。B地区用水系は、A地区用水と同じ笹ヶ峰ダムを源流とする河川から取水しているが、河川流量の減少する7月下旬頃から用水供給量が減少し、養分濃度が高くなる傾向にある。このためこの用水の供給地域では、水稲の追肥を行わないなどの施肥対策が行われている。C地区用水系は、大きな水源が無い流域で降雨や小さい河川、ため池等を利用してきた地域において、基盤整備工事後に効率的な水利用を行っている循環灌漑型の用水である。供給安定型のA地区用水系は、期間を通して濁度が低く、硝酸態窒素濃度が採水期間中の平均値で0.36mg/Lと低く推移していた。これに対し、供給変動型のB地区用水系は、渇水期の7月後半より硝酸態窒素濃度が高くなり、汚濁程度も高くなっていた。循環型のC地区用水系は、A地区用水より硝酸態窒素濃度が低く推移していた。どの地区の用水も、降水量の多い梅雨の時期には全窒素濃度が高く、降雨により土壌懸濁粒子とともに相当量の有機物等が流されていたと推測された。A地区用水系およびC地区用水系は、7月後半から全窒素濃度が低く推移し、用水中の窒素成分が水稲の生育に与える影響は少ないと予

想された。しかしB地区用水系は、7月後半以降に全窒素濃度が高く推移しており、現地では穂肥の減肥が実施されている。用水をダムから供給しているA地区用水系は、ケイ酸濃度の平均値が18.8mg/Lと高かったのに対し、循環型のC地区用水系では8.7mg/Lと半分以上の濃度であった。上越地域は、妙高山系の火山灰土壌地帯の河川から農業用水を取水しているため、用水のケイ酸含量が高いことが知られているが、水源が異なるとC地区用水系のように用水中のケイ酸濃度が低かった。近年、ケイ酸資材は品質の高い米作りに重要であるとして再び注目されており、このように用水からのケイ酸供給が少ない地域では、ケイ酸資材の施用効果が期待される。

2) 上越地域の低平地水田地帯の排水の水質

表10-1に上越地域の水稲生育期間における排水の水質測定値を示した。どの地区においても、用水に対して排水の水質が大きく悪化しているケースは見られなかった。図10-2に供給安定型のA地区用水系の用水路、水田排水路、集積河川の硝酸態窒素、水溶性リン酸濃度の推移を示した。水田排水路では、概ね用水より硝酸態窒素濃度が低く推移したが、代かき時期や穂肥施用時期に濃度の高い場合が見られた。集積河川では、用水より常に硝酸態窒素濃度が高く推移し、家庭雑排水等の水田以外からの負荷が大きいと推測された。水溶性リン酸については、概ね用水より圃場排水、集積河川で濃度が高く、水田暗渠排水および水田以外からの負荷が大きいと推測された。特に春先に圃場排水路の水溶性リン酸濃度が高いケースが見られた。図10-3に循環型のC地区用水系について、用水路および水田排水路の硝酸態窒素、水溶性リン酸濃度の推移を示した。硝酸態窒素については、A地区と同様に概ね用水より圃場排水の濃度が低かった。水溶性リン酸については、春先以降、用水より僅かに水溶性リン酸濃度が高く推移し、暗渠排水の影響によると推測された。

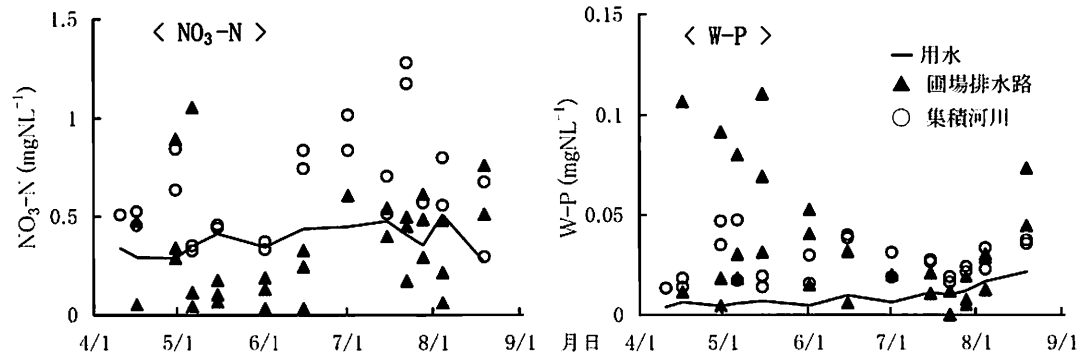


図10-2 安定供給型幹線用水（A地区）流域の用水・排水の硝酸態窒素、水溶性リン酸の濃度推移

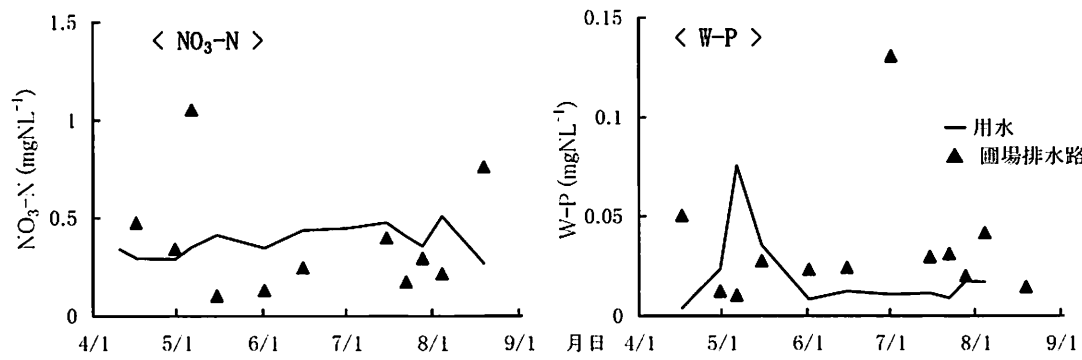


図10-3 循環型幹線用水（C地区）流域の用水・排水中の硝酸態窒素、水溶性リン酸の濃度推移

3) 北陸研究センター内転換畑大豆圃場の排水の水質

図10-4に北陸研究センター内転換畑大豆圃場の降雨量、表面流去水量、暗渠排水量（水田整備研究室による調査結果）の推移を示した。転換2年目の転換畑大豆圃場条件では、土壌が乾燥している状態で降雨の約60%が表面流去水として、土壌が湿っている状態で降雨の約80%以上が表面流去水として流出していた。暗渠からの排出量は、降雨の約15%で、降雨があった次の日に最も流出量が多かった。表10-2に北陸研究センター転換畑大豆圃場の雨水、表面流去水、暗渠排水の水質測定値を示した。表面流去水は窒素成分の濃度が高く、暗渠排水はリン酸成分、ケイ酸の濃度が高い傾向が示された。図10-5に表面流去水と暗渠排水中の窒素成分濃度の推移を示した。表面流去水は、耕起・基肥施用後の降雨時に窒素成分の濃度が非常に高くなった。8/13～8/19までの最も降水量の多かった期間に表面流去水および暗渠排水の採水ができなかったため、どれくらい窒素成分が表面流去水として系外に流出したかを計算することはできないが、施肥後の降水時に相当量の窒素成分が流出したと推測された。K、Ca、Mgについても同様の傾向が見られた。暗渠排水は、表面流去水に比較して窒素成分の濃度が低く推移し、表面流去水と同様に耕起・基肥施用後の降雨時に濃度が上昇した。今回の調査は大豆、キャベツを圃場の半分ずつに作付けし、別々の時期に施肥した圃場で調査しており、通常の圃場全体で均一の施肥を行っている場合は、施肥後の降雨時において表面流去水中の肥料成分の濃度がさらに高くなると予想される。このように表面流去水からの肥料成分の流出が大きかった要因として、試験に用いた転換2年目の重粘土水田圃場では、碎土性が低く肥料と土壌の混合が悪いこと、下層への亀裂が未発達な状態であったことから降雨時に畝から肥料成分が流れやすく、かつ地下に浸透しにくい条件にあったためと推測される。畑地化が進み、地下への浸透水量が増加していけば、表面流去水による肥料成分の流出は減少すると予測される。また、肥効調節型窒素肥料等の利用効率の高い肥料を用いることにより、系外への肥料成分の負荷量を減らせるものと考えられる。

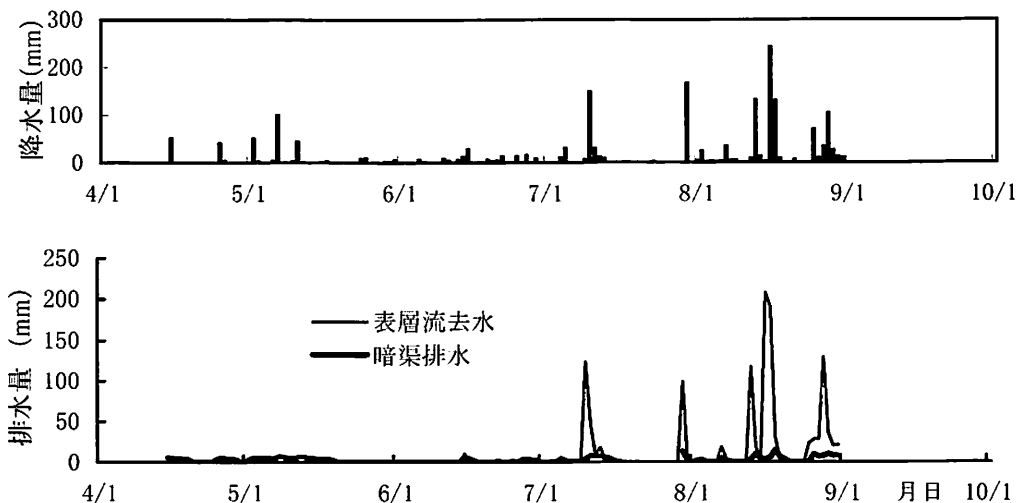


図10-4 北陸センター内転換畑圃場の降水量、表面流去水量、暗渠排水量

注) 測定は水田整備研究室による。降水量は4/15～8/31、表面流去水は6/15～8/31、暗渠排水は4/15～7/17、7/30～8/31の期間の測定値である。

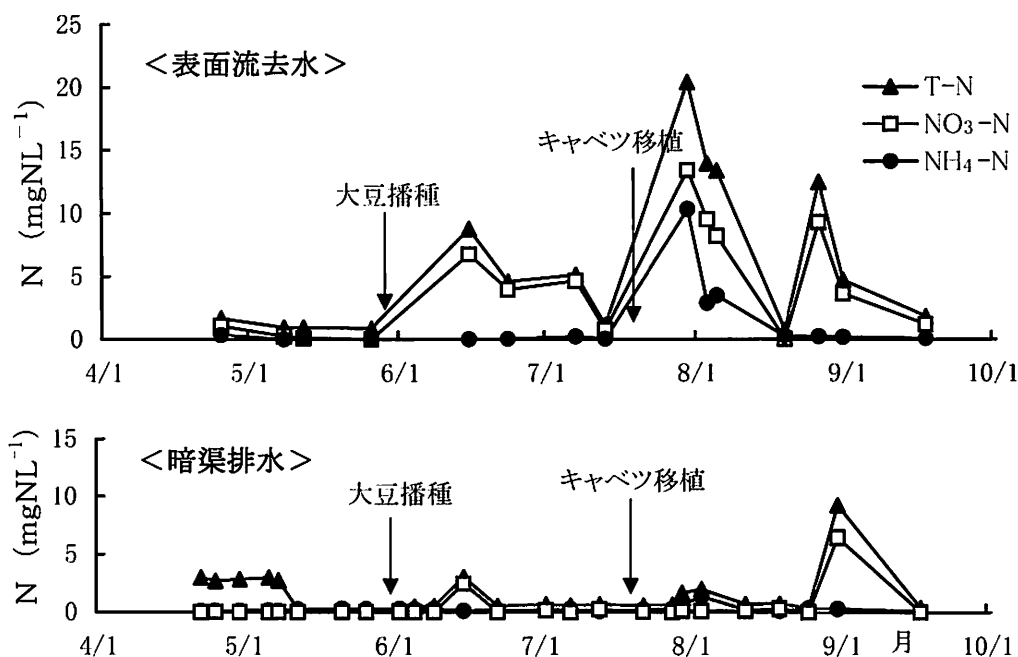


図10-5 北陸センター内転換畑圃場の排水中の窒素濃度の推移

注) 8/13～8/19までの降水期間の表面流去水および暗渠排水は採水分析していない。

表10-2 北陸センター転換畑圃場および上越地域の転換畑大豆圃場から排水の水質

採取地点			pH	EC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	T-N	W-P	T-P	SiO ₂	K	Ca	Mg
				(μScm ⁻¹)						(mgL ⁻¹)			
場内転換畑	雨水	平均値	6.2	31	0.55	0.81	—	0.05	—	0.3	0.3	0.8	0.1
		最大値	7.5	244	1.62	8.58	—	0.26	—	1.0	0.7	3.2	0.5
		最小値	4.9	3	N.D.	0.00	—	N.D.	—	N.D.	0.1	0.1	0.0
表面流去水		平均値	6.2	285	1.70	4.59	6.07	0.01	0.13	16.6	5.5	22.7	7.2
		最大値	7.1	826	10.27	13.34	20.37	0.03	0.93	56.2	17.0	66.5	21.2
		最小値	4.8	61	N.D.	0.01	0.71	0.01	N.D.	0.8	1.6	3.2	1.1
暗渠排水		平均値	6.3	378	0.30	0.49	1.56	0.04	0.89	46.0	3.6	22.6	7.9
		最大値	6.5	498	1.34	6.42	9.21	0.29	1.53	59.7	6.5	30.3	10.4
		最小値	5.3	212	0.08	N.D.	0.05	0.00	0.11	10.3	2.1	11.0	3.8
大豆団地	排水路	平均値	6.6	230	0.31	0.33	1.43	0.04	0.29	20.7	3.8	16.7	6.6
		最大値	7.4	419	1.41	2.03	3.29	0.25	0.88	36.2	11.7	30.0	15.0
		最小値	4.7	46	N.D.	0.02	0.43	N.D.	N.D.	4.0	2.3	2.0	0.5

注) 場内転換畑: 土壌条件は細粒質斑鉄型強粘質グラ(低地土、本暗渠施工済み、転換2年目である。大麦刈り取り後、圃場の半分(20a)で大豆(2kgN/10a施肥)を栽培、半分(20a)でキャベツ(10kgN/10a施肥)を栽培した(総合研究第2チーム試験)。表面流去水は、圃場内の表面排水が集積する水尻の堰から採水した。暗渠排水は、本暗渠の出口から採水した。
大豆団地: パイプライン、排水路が整備された1ha圃場地区で、本暗渠施工が施工されている。
圃場は転換初年目で、地区全体で水田と畑の比が約7:3。排水路は、水田・畑の暗渠排水・表面流去水が流入している。
採水は、4月中旬から9月中旬までの期間に、雨水、表面流去水は降雨時に、場内暗渠排水で約一週間毎に、大豆団地の圃場排水路では10日毎および降雨時に実施した。

4) 上越地域の営農現場における転換畑大豆圃場地帯の排水の水質

表10-2に上越地域の営農現場における転換畑大豆圃場団地の圃場排水路の水質測定値を示した。水田の用水はA地区用水系に属し、排水中の極端な肥料成分の濃度の増加は見られなかった。やや全窒素、リン酸成分の濃度が高く、暗渠排水の影響が反映されていたと考えられた。図10-6に圃場排水路近傍の排水中窒素濃度の推移を示した。硝酸態窒素は水田の基肥時期と大豆の播種後に濃度が高く、アンモニア態窒素は水田の基肥時期と穂肥時期にやや濃度が高く推移した。水田と畑の暗渠排水、表面流去水が混入している排水路で採水を行ったため、このように転換畑排水と水田排

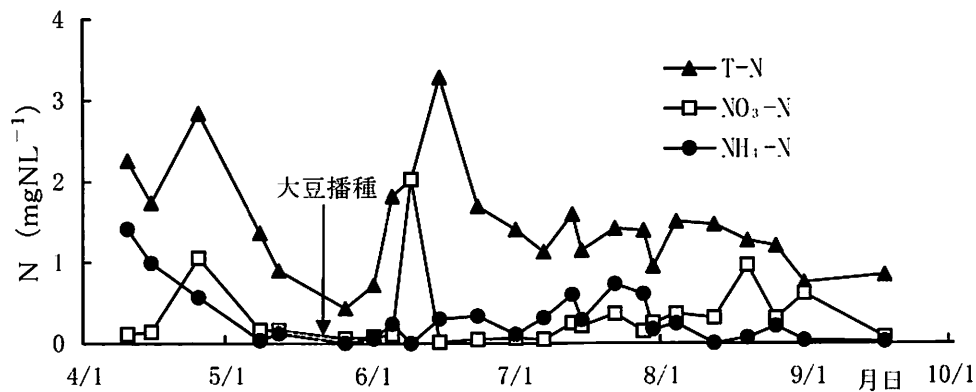


図10-6 上越地域の転換畑大豆圃場団地における排水路排水中の窒素濃度の推移

注) 水田：大豆畑=7：3（面積比）

水の両方の特徴が示す結果が得られたと推測された。なお、水田と転換畑の面積比率は約7：3であった。

以上、上越地域の低平地水田地帯における水質調査の結果、水稲作付け期間中の農業用水の水質は、水源によって水質変動の傾向が異なり、用水中のケイ酸濃度の面からは用水水質に基づいた資材施用が有効と考えられる地域も見られた。排水路から採取した水の分析結果から、農地の施肥管理の影響が原因と推測される水質変動が確認され、転換畑からは施肥後の降雨時に高濃度の肥料成分が流出する可能性も示された。しかし、これらの要因で著しく水質が悪化していると判断される事例は少なく、オーバーフローした用水の混入や排水路内での浄化作用など、様々な要因によって水質が変化しているものと考えられる。今後、転換畑で施肥量の多い作物の栽培面積が増加した場合には、環境負荷が大きくなることが予想される。適切な施肥管理や用水の循環利用等、環境への負荷量を低減させるための技術が必要である。

4. 要約

- 1) 1998年に新潟県上越市近郊の水田地帯の主要幹線用水路、排水路および排水が集積する河川、および地域内の転換畑に排水について、水稲作付け期間の水質調査を行った。
- 2) 農業用水の水質は、狭い地域においても、水源により水稲作付け期間中の水質変動の傾向が大きく異なることが確認された。
- 3) 排水水質の調査から、水田、転換畑への施肥管理の影響が原因と推測される水質変動が認められた。
- 4) 作付け期間全体では用水よりも排水中の肥料成分濃度が低下している傾向にあり、水田地帯が水質浄化型で機能していることが推測された。

（実施課題名：水田地帯の排水の環境負荷特性の解明（1998年））

第5部 生育適正管理のための乗用機械の 汎用利用技術の開発

11章 局所管理のための施用量可変型定幅散布技術の開発

○柴田 洋一・帖佐 直・大嶺 政朗・杉本 光穂・
鳥山 和伸・佐々木良治・小林 恭

1. はじめに

水稻の局所管理システムは、センシング技術、マッピング技術および導き出された管理計画を実行するコントロール技術で構成される（柴田 1999）。本研究はこのうちのコントロール技術に関して、土壌分析や植被率計測の結果を基に作成される施用マップに従って、種子や肥料・農薬等の粒状散布資材を局所ごとに所定の量を施用する技術を開発することを目的とする。

資材の可変型施用機は、精密農法を確立するための必須機材であるため、これまでに精密農法の先進国において、主として畑作を対象に研究が進められてきた。可変型施用機の種類としては、センサと可変施用機構が農作業機に同時搭載され、センシングの結果をリアルタイムで可変施用に反映させるセンサベース方式と、予め作成した施用マップに応じて可変施用を行うマップベース方式とがある。本研究で扱うマップベース方式については、GPSによる位置認識と可変施用機構がリンクされた高度な自動制御システムが研究され（帖佐ら 2003）、中には製品化（Boettinger 2002）されたものもあるが広範な普及には至っておらず、オペレータが手動操作により繰り出し量を調整する方式が一般的といわれる（野口 1999）。本研究においても、営農現場への定着を図るには、低コストで機構の単純な手動操作方式を端緒にすべきであると考えた。具体的には、開発の原型機を北陸農業試験場が開発したトラクタ搭載型多口パイプ噴口式散布機（大黒・澤村 1996）（以後、定幅散布機と記す）とし、これを発展させて施用量可変型定幅散布機を開発した（柴田ら 2002）。また、定幅散布機は、基本的にトラムライン上（澤村ら 2001）を走行することを前提としていたため、トラムラインを施工していない北陸の重粘土水田では、しばしば走行に支障を来した。そこで、重粘土水田内の走行を容易にし、散布精度を向上させるため、トラクタの走行部をホイール型からセミクローラ型に変え、その効果を調査した。さらに、トラクタ走行により生じる轍を均平化するローラを開発し、雑草防除効果、稲の生育への影響を調査した。現地圃場においては性能試験を実施し、施用量可変型定幅散布機の局所栽培管理のための要素技術としての有効性を実証した。

2. 機械開発の概要

1) 定幅散布機の特徴と問題点

原型機とした定幅散布機は、粒状散布資材を10mの幅で散布する空気搬送式の機械であり、大区

画圃場において資材を一様に、能率良く施用する目的で開発された。図11-1に資材散布の方式の概略を示す。本機は、PTO駆動の送風機、資材ホッパ、資材繰り出しロールおよび左右各5mのT字型多口パイプ噴口で構成されている。資材繰り出しロールは左右1個ずつ取り付けられ、これを1台のDCモータで駆動している（図上省略）。種や肥料、農薬は資材ホッパからパイプ噴口中を空気輸送され、パイプ内の衝突板によって噴口から下方に排出される。噴口数は片側11個である。衝突板は緩衝材を貼り付けた鉄板で、その高さや角度を変えることにより、資材の排出量を調整する。一つの衝突板を調整すると、他の噴口の排出量にも影響をあたえるので、全噴口の排出量を等しくするには熟練を要する。多口パイプ内の風量も一様ではなく、末端になるほど低下する。これらから、図11-2に示す定置試験結果（大黒・澤村 1996）のように、各噴口の排出量の変動係数は最良でも12%程度であり、排出量の最大値と最小値との比が2倍にも達する例があるなど、生育の均一化を目指す局所栽培管理に供するには十分な精度とは言えない。また、資材の種類や散布量の設定値を変えるごとに調整が必要となるため、1筆圃場内で可変散布を行うには適していない。

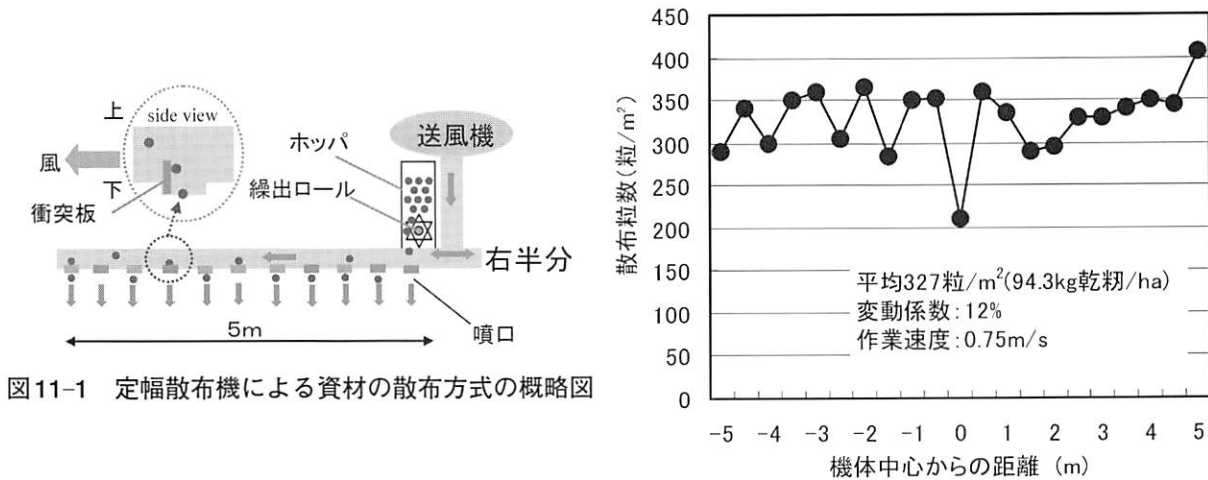


図11-1 定幅散布機による資材の散布方式の概略図

図11-2 従来の定幅散布機による催芽籾の散布分布

2) 施用量可変型定幅散布機の開発

定幅散布機の散布精度の向上を図り、所定の位置で散布量を変えられるように改善した施用量可変型定幅散布機を開発した。図11-3に散布方式の概略図を、図11-4に開発機による作業風景を示す。図11-3において、これまでは片側1系統であった空気輸送の多口パイプを4系統に分割し、1系統当たりの噴口数を2個とした。これにより、1系統における末端までの噴口数と距離は小さくなりかつ各系統の空気輸送条件はほぼ等しいので、全噴口間の吐出風量の差は小さくなる。

また、これまでは、図11-1の円内に示すように、通過する資材を噴口に導くために、衝突板により多口パイプを上下に分割していた。しかし、上下方向における資材の分布は、資材の比重や形状によって異なり、これが排出量の調整を困難にし高精度化を妨げている一因と考え、図11-3円内のように、多口パイプ断面を左右に分離する機構（初田工業(株)製）を採用し、上下方向の分布ムラの影響を除外した。

以上のように各噴口の排出量を等しくする条件を整え、散布量の調整を繰り出しロールの回転数調整のみで可能になるようにした。具体的には、左右5mずつの独立制御とし、片側4個の繰り出しロールを駆動するDCモータ（合計2台）の回転数を制御するため、市販の粒状物散布装置（初田工業(株)製）に用いられている散布量設定コントローラを取り付けた（図11-4）。本コントロ

ーラは、散布量を0 kg/10aから50kg/10aまで50段階に設定できる、作業中は非可変の設定装置であり、資材の比重と面積当たりの希望散布量を設定すると、マイコンによりDCモータの回転数が制御される。さらに、本コントローラに新たに試作したレバー式のトリマを接続し、設定値の-50%から+50%までをオペレータが左右別々に手元操作で可変できるようにした（図11-4）。また、トラクタ後輪車軸の回転数をパルスで検出し、作業速度の変化に対応して散布量を一定に保つ速度連動機構（初田工業(株)製）を加えた（図11-4）。主要諸元を表11-1に示す。

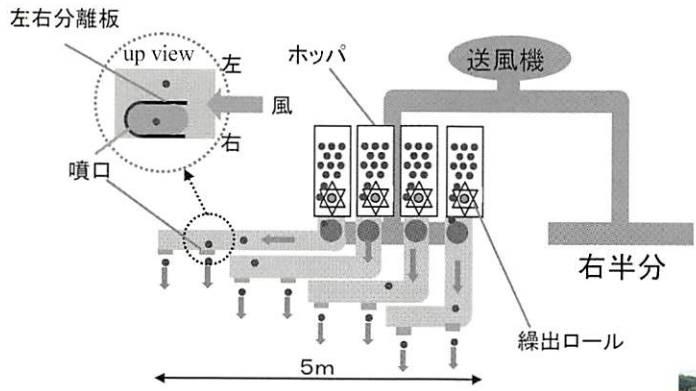


図 11-3 施用量可変型定幅散布機による資材の散布方式の概略図

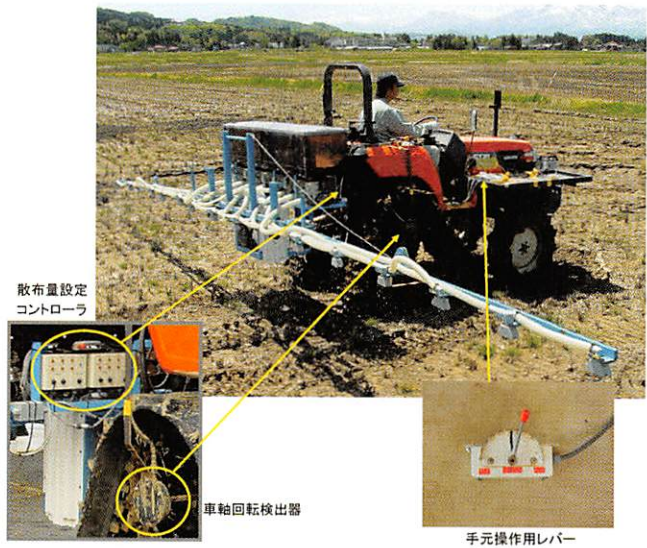


図11-4 開発した施用量可変型定幅散布機

表 11-1 施用量可変型定幅散布機の主要諸元

散布幅	10m	5m 独立制御可
繰出ロール	8個	
噴 口	16 個	
繰出モータ	2個	DC12V、70W
繰出量設定コントローラ	2台	繰出量 50 段階×比重5段階
繰出量手元操作レバー	2個	-50%～+50%、11 段階
速度連動機構	有	後輪車軸取り付回転計：270pulse/回転 後輪車軸1回転当たり進行距離 1.99m
ホッパ要領	大2個	93L/個：汎用
	小2個	15L/個：薬剤用
多口パイプ	4系統×2	3段折り
送風機	インペラ式	風量 12.6m ³ /min、PTO 駆動、5000rpm、2.6kw

3) トラクタ走行部のセミクローラ化

北陸の稲作地帯には難走行性の重粘土水田が多い。施用量可変型定幅散布機は速度連動機構を持つが、車軸回転数を検出する方式なのでトラクタのスリップにより生じる速度変動には対応できず、進行方向の散布ムラの原因となる。そこで、レンコン圃場用として普及しているK社製のセミクローラトラクタを参考に、水稻の管理作業に対応できるよう新試作した。両機の相違を表11-2に示す。試作に当たっては、接地圧の低減、稲の損傷防止に主眼を置き、出力を42%削減する等により質量を27%軽量化し、また最低地上高を62cmに高めた。ただし、輪距は120cmで変更できない。軽量化により、接地圧は10kPaから18kPa（クローラ幅18～33cm）となり、参考機と同等以下になった。すなわち、接地圧を増加させずにクローラ幅を狭めることができ、25cmのクローラの場合は、条間30cmに植えられた水稻を完全に踏みつぶすことなく低接地圧で走行できることになる。なお、ホイール型の接地圧は、同程度の出力をもつトラクタで通常約78kPaから147kPaといわれ（農業機械学会 1996）、セミクローラ化による接地圧の低減効果は明らかである。

4) 轍均平ローラの開発

トラクタが水田内を走行すると、走行際の土壌が起伏したり、あるいは、車輪の沈下により排除された土壌が轍周辺へ移動・堆積することにより、稲が倒伏または埋没する問題がある。また、起伏・堆積した土壌面が水面より上に出た場合は雑草が繁茂するなどの問題を生じる。そこで、走行時の轍を均平化するトラクタ牽引式の均平ローラを開発した（図11-5）。鎮圧ローラは、長さ2200mm、直径250mm、肉厚22mmの塩化ビニル製中空円筒で、トラクタのロアリンクから鉄製

表11-2 セミクローラトラクタの開発主眼

	参 考 機			開 発 機		
メーカー・型式	K社・GL367			K社・GT21PCR (北陸研究センター仕様)		
質量 Kg	1,640(1,830キロトン)			1,200(1,350キロトン)		
全長 mm	3,335			2,860		
全幅 mm	1,645			1,390		
出力 kW	26.5			15.4		
最低地上高 mm	385			620		
クローラ幅 mm	180	250	400	180	250	330
接地圧 kPa	26	19	12	18	13	10



図11-5 セミクローラトラクタに装着した轍均平ローラ

フレームを介して懸垂され、油圧により昇降する。フレームを含めた質量は86kgで、作業時にはトラクタの沈下量にもよるが50kg（フレーム仰角35°）前後が接地荷重となる。

3. 試験方法および材料

1) 散布性能試験

施用量可変型定幅散布機をセミクローラトラクタに装着した状態で静止させ、散布資材、散布量、作業速度を変えて散布総量および噴口ごとの排出量をみた。散布資材は、種子として、乾粃（含水率14.0%）、催芽粃（含水率27.6%）、農薬として、除草剤プッシュ粒剤、肥料として、PK08、塩安、被覆肥料のLPS100を供試した。また、全量基肥施肥栽培を想定して、塩安+LPS100の2種混合肥料および塩安+LPS100+LP30の3種混合肥料の散布時の分布割合および被覆肥料の損傷率を調査した。噴口から回収された混合肥料の種分けは、塩安と被覆肥料については、水中にて塩安を溶解して除去し前後の乾燥重の差から塩安重を求めた。被覆肥料のLPS100とLP30の識別は、予め一方に着色し、回収後、画像処理により粒数割合を計測した。資材の仮比重は表11-3の通りである。損傷率は、回収した被覆肥料を1週間浸水し、溶出した肥料の粒数割合とした。作業速度については、速度連動機構の車軸回転数検出器をトラクタ後輪からはずし、これを試作した電動の可変減速機の出力軸に取り付け、減速機の回転数を調整し設定作業速度に相応させた。1試験当たりの繰り出し時間は30秒とした。

また、現地試験圃場において、局所栽培管理体系に組み込まれた基肥散布、播種、除草剤散布、穂肥散布の各作業を実施し、散布精度および作業能率を調査した。調査法は、任意に選択した噴口の10m間の排出量計測およびホップの残量計測とした。基肥および穂肥散布においては、作成した施用マップに従って可変散布を実施した。

2) セミクローラトラクタの走行性能試験

開発したセミクローラトラクタのスリップ率、沈下量、轍部に生ずる土壌の起伏の程度、稲踏圧、収量への影響を調査した（小林ら 2001）。対照機としてホイールトラクタを供試した（表11-4）。供試圃場は北陸研究センター内の重粘土水田とし、代かき直後から中干し後までの種々の散布作業を想定して、圃場内の土壌流動性を段階的に変えた。スリップ率は、RTK-GPSで測定した1秒毎の位置情報データと、車軸に取り付けたセンサにより駆動輪の回転を測定して求めた見かけの速度とを比較して連続的に算出した。水稻は、条間30cm、播種量2.0kg/10aで打ち込み点播した。

表11-3 供試資材の仮比重

資材名	種類	仮比重	備考
種子	乾粃	0.640	含水率 14.06%
	催芽粃	0.685	含水率 27.6%
肥料	塩安	0.732	
	PK08	1.112	
	LP30	0.722	
	LPS100	0.728	
	塩化リン安	0.996	10-18-16
	塩化リン安	0.990	14-14-14
	硫安	0.732	
除草剤	プッシュ粒剤	1.020	3kg/10a 剤
	プッシュ粒剤	1.000	1kg/10a 剤

表11-4 比較トラクタの主要諸元

メーカー・型式	Y社・F-7HAN
質量 Kg	880
全長 mm	2,870
全幅 mm	1,180
出力 kW	13.5
最低地上高 mm	515
接地圧 kPa	157

3) 均平ローラの性能試験

移植後6日目の現地水稲圃場を均平ローラを装着したセミクローラトラクタで走行し、生じた轍の形状寸法、苗の倒伏・埋没程度、走行後の雑草量、収量を調査し均平ローラの効果を検討した。供試品種はコシヒカリとし、条間30cmで機械植えした。走行時の稲とセミクローラおよび均平ローラとの位置関係を図11-6に示す。本試験では、クローラ幅を33cmとし、左右1条ずつを踏圧しながら走行した。この理由は、造成間もない現地の重粘土水田において走行不能に陥らないための最善の策を選択したためである。試験区は、1行程20mの均平ローラ処理部と非処理部をそれぞれ設け、この中に1区2mの調査地点を5箇所設定した。反復数は2とした。走行時および走行後14日目までは、平坦部の地表面は常に水面下にあった。

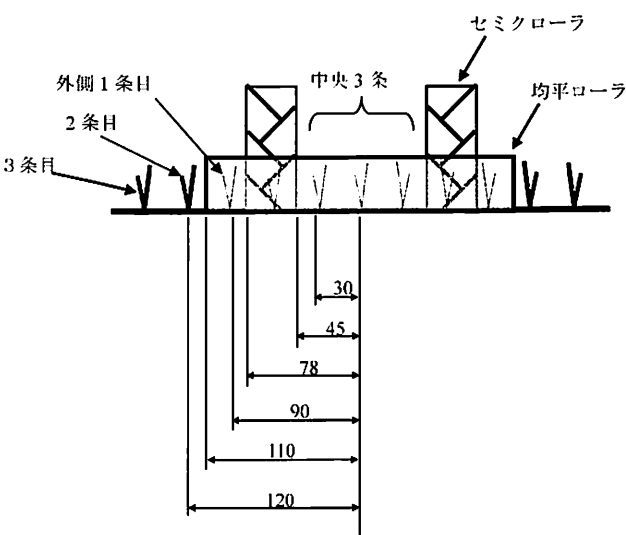


図11-6 均平作業時の稲と機械の位置関係 (単位 cm)

4. 結果および考察

1) 散布性能

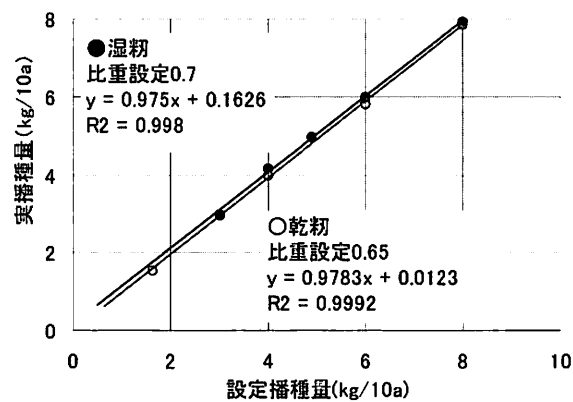
(1) 定置試験結果

図11-7aから図11-7cに、定置試験による資材別の散布精度を示す。縦軸は、全噴口からの散布量の総計である。図は全て、供試トラクタの速度段数に合わせて作業速度0.56m/sを想定している。機械の設定比重は、実測値に最も近い値とした。乾粃、湿粃、および除草剤については、設定散布量通り精度良く散布できた (図11-7a、b)。肥料については、設定散布量と一致しないが、資材毎の直線性は高いので、特性を予め知ることにより高精度散布は可能である (図11-7c)。表11-5に示した平均変動係数は、除草剤以外は8%以下となり、従来の定幅散布機に比べ4%以上低下し、横方向の散布精度は向上した。また、各資材とも、系別の変動係数はさらに小さいことから、

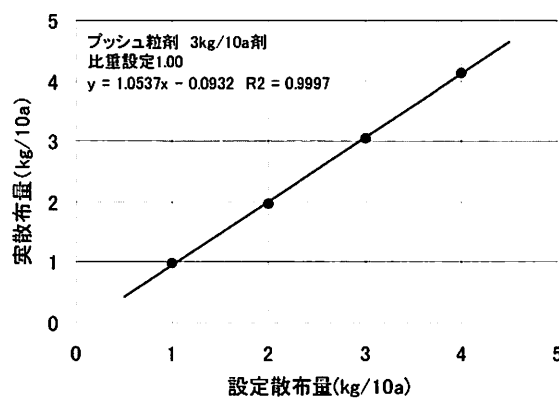
表11-5 散布量の変動係数

散布資材	種 類	試験における設定散布量	平均変動係数(%)	
			噴口別	系別
種子	催芽粃	3~8kg/10a 5段階	6.4	3.2
	乾粃	3~8kg/10a 5段階	7.8	3.1
除草剤	プッシュ粒剤	1~4kg/10a 4段階	9.0	4.4
肥料	塩安	3~40kg/10a 14段階	8.5	5.1
	LP100	3~40kg/10a 12段階	6.1	2.6
	PK08	10~40kg/10a 7段階	6.8	4.0
	2種混合	3~40kg/10a 14段階	6.3	3.1
	3種混合	3~40kg/10a 14段階	7.7	2.8

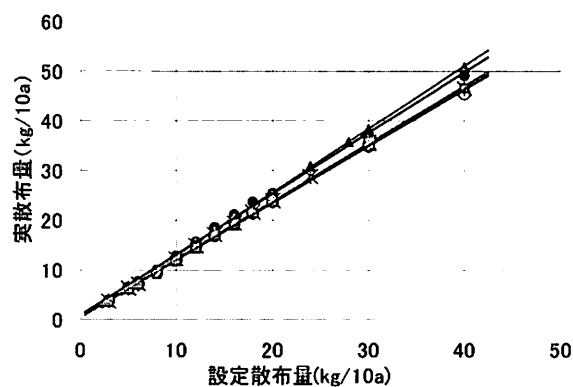
注1) 平均変動係数は設定散布量ごとの全変動係数の平均値を示す。
2) 噴口別変動係数は全16噴口、系別変動係数は全8系統の値。
3) 除草剤は3kg/10a剤。



a 粉の散布特性



b 除草剤の散布特性



c 肥料の散布特性

●塩安 仮比重設定0.7 $y = 1.2295x + 0.6993$ $R^2 = 0.998$
 ■LPS100 仮比重設定0.7 $y = 1.1653x + 0.1731$ $R^2 = 0.9998$
 ▲PK08 仮比重設定1.10 $y = 1.2713x + 0.1277$ $R^2 = 0.9999$
 ○2種混合 塩安+LPS100 仮比重設定0.7 $y = 1.1396x + 0.6591$ $R^2 = 0.999$
 ×3種混合 塩安+LPS100+LP30(12:7.5:2.5) 仮比重設定0.7 $y = 1.1655x + 0.5934$

図11-7 a～c 施用量可変型定幅散布機の散布精度

1系統に2個ある噴口の排出量比を調整すれば、さらに高精度化が可能である。

図11-8に、塩安、LPS100およびLP30の3種混合肥料の噴口ごとの排出比率を示す。仮比重が各々0.732、0.728、0.722とほぼ等しいため、各噴口からの排出比率は散布前の初期混合比率と変わらないことが確認された。なお、初期混合は人力で行ったが、必ずしも均一に混合されたもので

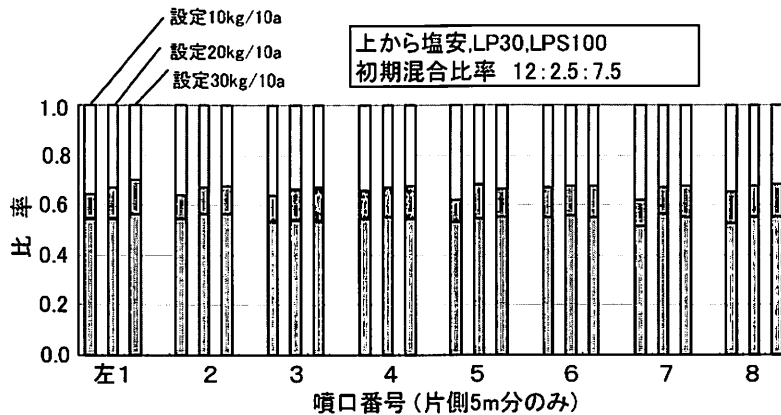


図11-8 3種混合肥料の噴口ごとの散布比率

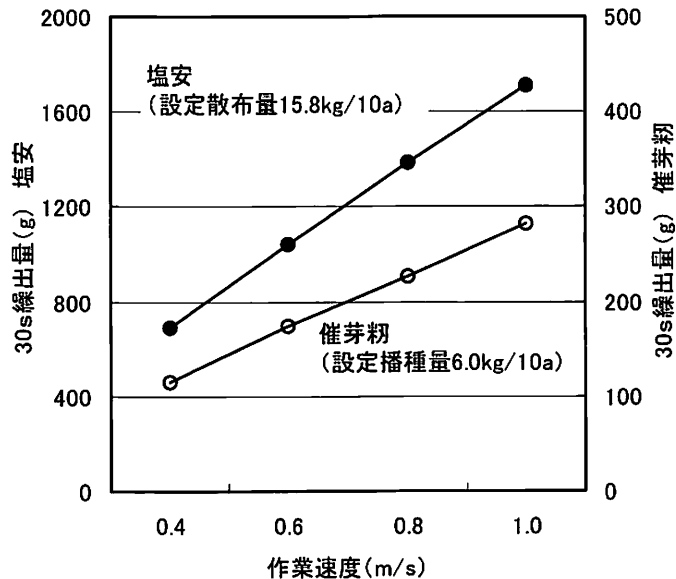


図11-9 作業速度と繰り出し精度

はない。図11-8における被覆肥料の損傷率はLP30で0.6%、LPS100で0.4%と低く、実用上問題ないと判断された。作業速度を変えた場合の散布総量も図11-9の例のように高精度であり、速度連動機構の良好な動作が確認された。

(2) 圃場試験結果

表11-6に、圃場試験における散布精度の概要を示す。表中の可変散布区における計画および実施量は、各設定区画の計画散布量の総和を示している。表から、計画値に対する実散布値は、96～114%の範囲内であり、実用上十分な精度と評価した。殆どの作業において計画値より多くの資材が散布されたが、この原因は、速度連動機構が車軸回転検出方式のため、スリップの影響を受け、散布量が増加したことによる。対策として、作業開始時にスリップ率を簡易測定し散布量を修正する、もしくは、速度連動機構をGPS仕様としスリップの影響を受けない方式とする、等が考えられる。なお、異種混合肥料の散布については定置試験と同様に良好な結果が得られ、肥効調節型肥料を活用した全量基肥栽培への適用の可能性が示された。

以上の圃場試験は全て、後述するセミクローラトラクタに装着して行った。表11-7に、耕耘前

表11-6 圃場試験における散布精度

作業日	散布作業の種類	散布資材の種類	圃場名	計画 (kg)	実施/計画*100
01.05.07	基肥(可変散布)	LP100	明治	36.4	98.7
01.05.07	基肥(可変散布)	塩安	明治	125.1	107.8
01.05.07	基肥(可変散布)	3種混合(全量基肥)	明治	52.0	101.7
01.05.09	基肥(一様散布)	PK08	三和	381.0	102.9
01.05.09	基肥(可変散布)	LP100	三和	12.8	103.9
01.05.09	基肥(可変散布)	塩安	三和	97.4	102.1
01.05.09	基肥(可変散布)	3種混合(全量基肥)	三和	66.5	103.3
01.05.17	播種(一様散布)	湿粕	東	3.5	108.0
01.05.21	播種(一様散布)	湿粕	明治	1.4	96.0
01.05.23	除草剤(一様散布)	プッシュユ3kg 粒剤	三和	26.2	101.1
01.07.16	穂肥(可変散布)	塩安	三和	77.9	114.2
01.07.16	穂肥(可変散布)	塩安	明治	75.2	105.0
01.07.18	穂肥(可変散布)	塩安	明治	37.6	102.8
01.07.16	穂肥(可変散布)	塩安	三和	78.1	108.4
01.08.02	穂肥(可変散布)	塩安	明治	35.3	103.7
02.04.22	基肥(可変散布)	塩加リン安	岡田	128.6	103.3
02.04.22	基肥(可変散布)	LP100	岡田	23.8	103.3
02.05.01	基肥(可変散布)	LP100	明治	10.08	108.8
02.05.01	基肥(可変散布)	PK08	明治	332.5	102.7

注意: 圃場面積: 三和、明治、岡田は1ha、東は10a 可変散布の1区画は5m×10m

表11-7 作業能率

セミクローラトラクタ装着施用可変定幅散布機		性能
圃場サイズ	1ha(125m*80m)	
L: 散布面積	0.92ha(115 * 80)	
作業法	往復一連接, 逆 U 字	
行程長	120m	
V: 作業速度	0.59m/s	
D: 作業幅	10m	
S: 1行程散布時間	203s/行程	
P: 行程数	8	
W: 実散布時間合計	S*P=1628s	
Q: 平均旋回時間	40s/回	
R: 旋回数	7	
X: 旋回時間合計	Q*R=273s	
T: 平均肥料補給時間	246s/回	
U: 補給回数	3	
Y: 補給時間合計	T*U=679s	
Z: 作業時間合計	W+X+Y=2580s	
C: 圃場作業量	L/Z*60*60	1.28ha/h
Ct: 理論作業量	V*D*3600/10000	2.12ha/h
Ce: 作業効率	(C/Ct)*100	60.40%
散布資材	PK08	
A: 設定散布量	38.1kg/10a	
B: 実散布量(残量法)	39.2kg/10a	
散布量誤差	(B-A)/A*100	2.9%

(9May'01 三和村現地試験圃場)

の圃場で肥料を一様散布した作業能率を示す。圃場作業量は、7回の圃場内旋回、3回の補給を含め約1.3ha/h、作業効率は60%と高く、水稲作に用いるブロードキャスタとほぼ同等である(岡村 1991)。本機は、10 m 間隔に直進走行する作業を基本としている。従って、スリップがなければ、穂肥等他の散布作業においても同等の作業能率が得られると考えられ、能率面から見た実用性

は十分である。但し、本研究では、コストを考慮して繰出し量の調節を手動操作とし、また、施肥量の変更位置を操縦者の目視確認によった。しかし、施肥マップが複雑な場合は操縦者への負担が大きく、誤りも犯しやすいので、低コスト自動化技術の確立が重要である。

2) セミクローラトラクタの走行性能

図11-10に、スリップ率の測定結果を示す。クローラ幅25cmにおけるセミクローラトラクタのスリップ率は、代かき直後2.8%、中干し後4.6%から6.5%と、ホイールトラクタ（代かき直後16.6%、中干し後24.6～34.5%）に比べ改善された（小林ら 2001）。ホイールでは走行の度にスリップ率が大きくなっていく重粘土水田においても、セミクローラでは沈下量が17cm程度でとどまり（図11-11）、安定走行を可能にしたことが伺える。前項で述べたように、現地試験においても、ほぼ設定量通りの散布が可能であったことから、セミクローラ化により作業速度が一定に保たれ進行方向の散布精度の向上につながったことがわかる。クローラ幅を25cmにすることで、移植苗の条間（30cm）を走行することは可能であったが、株元の土壌の起伏などにより稲が倒伏する場合があった。土壌面の起伏量は、凡そ5cm以上となり、これらが長時間水没しない場合は、雑草が繁茂する問題が認められた。

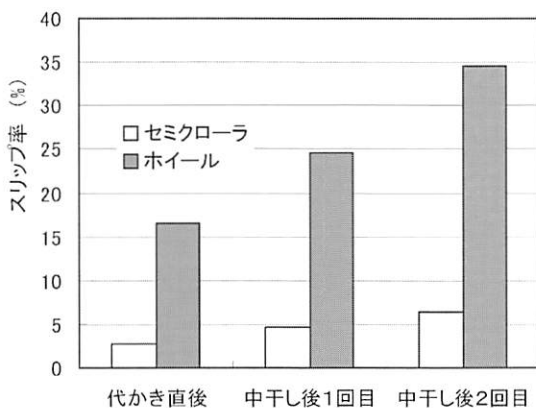


図11-10 セミクローラ化によるスリップ率の低減効果

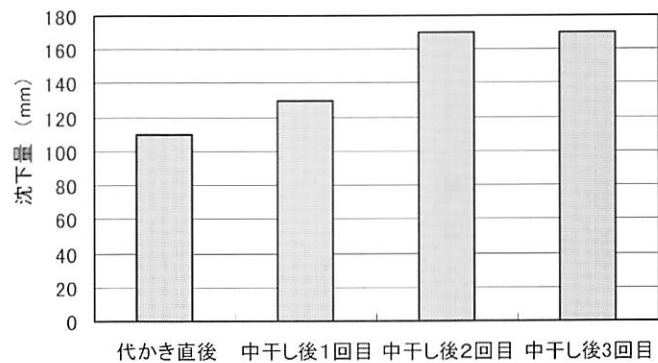


図11-11 セミクローラトラクタの沈下量の推移

3) 均平ローラの効果

図11-12に轍部の高低差をレーザー測量した結果を示す。図11-13には走行後の状態を示す。図11-12において、轍の中央部Eを基準とすると、ローラ無処理区の土壌面は40から60mm上昇する。この結果は、前項のセミクローラ走行性試験により得られた結果とほぼ等しい。ローラ処理区では、車輪踏圧部の溝C、Gを含め、轍はほぼ平坦になる。本試験では両区とも雑草の発生が少なく、差は明らかでなかったが、ローラ処理によりトラクタの走行しない他の平坦部と同様の水条件となるため除草剤の効果は均一になると考えられる。

図11-14に、苗の倒伏、埋没率の推移を示す。図11-13からも認められるように、ローラ処理により、轍の土壌起伏部を均平化すると、苗の倒伏、埋没が生じるが、10日後までにはほぼ回復する。無処理区は、水面より上に起伏した土壌が、乾燥・硬化するため、その中に埋没した苗は再起できない場合があり、回復率は劣った。これらから、本方式による轍対策は有効である。

しかし、図11-15に示すように、ローラ処理により収量損失は認められないが、走行轍の近辺では、他に比べて明らかに収量の違いがある。これは、走行部に稲がないことによる補償作用による

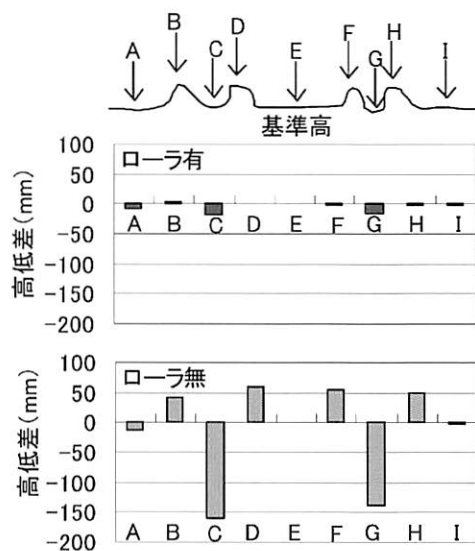


図11-12 轍部の高低差



ローラ処理

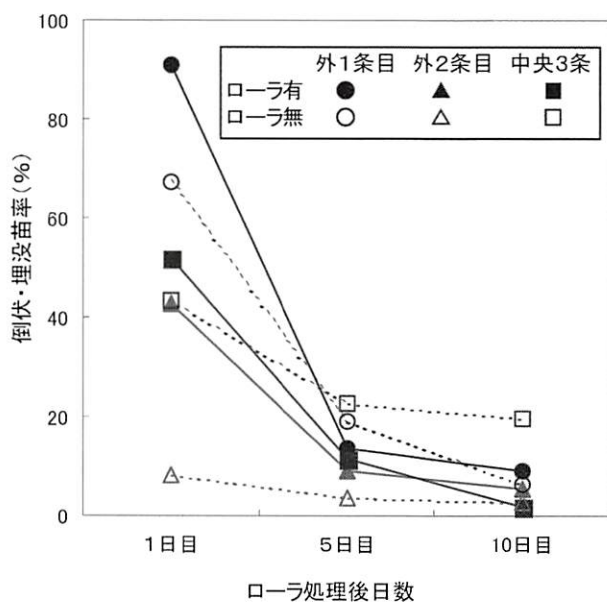


図11-14 苗の倒伏、埋没率の推移



無処理

図11-13 苗の倒伏、埋没率の推移

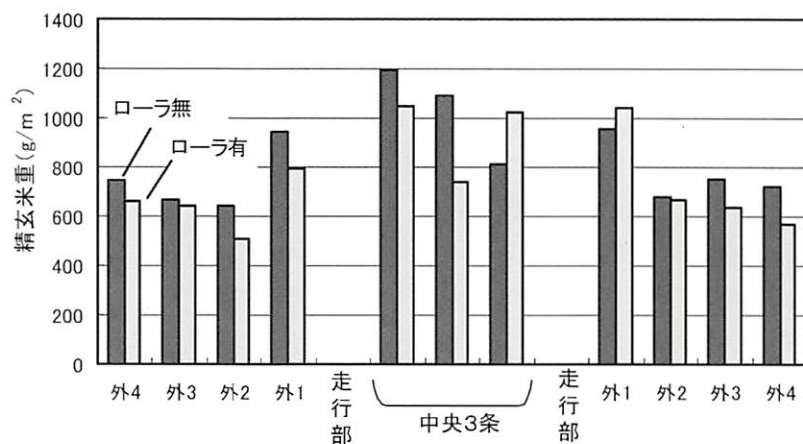


図11-15 轍部周辺の収量

ところが大きいと考えられるが、今後は、本試験のように1条分を踏圧することの影響も含め、機械走行が生育に及ぼす要因を解明し、轍近辺の施肥量を適正化する手法を確立して可変散布に反映させる必要がある。

5. 要約

- 1) 局所栽培管理の要素技術として、土壌分析や生育情報分析を基に作成される圃場管理マップに従って、種子や肥料・農薬（散布資材）を局所ごとに量を変えながら散布する作業幅10mの施用量可変型定幅散布機を開発した。
- 2) 開発機は、肥料、農薬、種子の全てにおいて高い散布精度を示し、噴口別散布量の変動係数も8%と実用の範囲内であった。また、肥料については異種混合散布も可能であり、被覆肥料の損傷も無いことから、全量基肥可変散布も可能である点に今後の広範な普及性がある。
- 3) 重粘土水田用に開発したセミクローラトラクタは、スリップ率が3%から7%であり、ホイールトラクタの17%から35%に比べて改良された。このトラクタに施用量可変型定幅散布機を装着すると、施用マップにほぼ従った散布が可能であった。
- 4) セミクローラトラクタの走行轍には上が盛り上がり雑草が生えやすい欠点があったが、散布作業と同時に均平ローラを引く作業で轍跡が均平化され、雑草対策上有効と判断された。
- 5) 以上から、難走行性の重粘土水田であっても精度の高い局所管理作業を可能とする施用量可変型定幅散布技術が確立された。

6. 文献

- 1) 柴田洋一（1999）大区画圃場における水稻の局所管理．農機誌，61（4），14-19.
- 2) Boettinger, S. (2002) Precision farming in Europe-experiences, benefits and future trends. シンポジウム「精密農業は儲かるか」講演要旨集，28-31.
- 3) 野口伸（1999）米国穀倉地帯におけるプレシジョンアグリカルチャ．農機誌，61（1），12-16.
- 4) 大黒正道・澤村宣志（1996）定幅散布機による水稻の潤土表面散播栽培作業体系．北陸農業の新技术，9，57-62.
- 5) 帖佐 直・柴田洋一・大嶺政朗・小林 恭・鳥山和伸・佐々木良治（2003）粒状物散布機のマップベース可変制御システム．農機誌，65（3）印刷中
- 6) 澤村宣志・大黒正道・佐々木豊（2002）水稻直播散播栽培のためのトラムライン走行作業方式の開発．農機誌，63（6），90-94.
- 7) 小林 恭・柴田洋一・帖佐 直・大嶺政朗・鳥山和伸（2001）重粘土水田におけるセミクローラトラクタの走行性．農作業研究，36巻別号1，35-36.
- 8) 柴田洋一・帖佐 直・大嶺政朗・杉本光穂・鳥山和伸・佐々木良治（2002）広幅散布機の改造と局所栽培管理への適用．農機学会関東支部第38回年次大会講要，42-43.
- 9) 農業機械学会（1996）生物生産機械ハンドブック，354
- 10) 岡村俊民（1991）農業機械化の基礎．北大図書刊行会，352

（実施課題名：定幅散布機の肥料等資材の高精度散布技術の開発（1998～2000）
および圃場・作物情報に基づく高精度作業技術の開発（2000～2002））

第6部 低投入型大規模高品質米生産 システムの確立

12章 水稻局所管理技術のシステム化と実証

○鳥山 和伸・柴田 洋一・佐々木良治・杉本 光穂・小林 恭・
長坂 克彦・上野 直也

1. 研究の背景と目的

大区画水田において、地力ムラに対応した水稻の局所管理を行うためには、個々の技術を現地圃場に一連の作業体系として投入し、効果と問題点について検討する必要がある。そこで、本課題では、各個別課題で解明された知見および開発された機械、計測技術をシステム化し実証することを目的とし、主として施肥制御技術の面から水稻の局所管理システムの確立を目指した。

2. 方法

1) 試験圃場

実証圃場として、1998～2001年は沖柳圃場および明治圃場、2002年には沖柳圃場、明治圃場、岡田圃場を使用した。沖柳圃場は、新潟県中頸城郡三和村沖柳の平坦地に所在し、80m×125mの1ha圃場（細粒強グライ土）で、8枚の12a圃場と1本の農道が1995年に区画整理によって大区画化された。本試験の期間は大区画工事後3作目～7作目に相当した。なお、暗渠については、3作目終了後の1998年度に柵殻暗渠が東西畦から8m間隔で9本施工された。明治圃場は、新潟県中頸城郡頸城村の平坦地に所在し、52m×200mの約1ha圃場（細粒グライ土）で、約20枚の5a圃場と旧排水路が1990年に1筆となり、同時に暗渠も敷設された。岡田圃場は三和村岡田の扇状地に所在し、80m×125mの1ha圃場（細粒グライ土）で、12枚の8a圃場が2000年に大区画化されたが、2002年の試験の時点では暗渠は施工されていなかった。

2) 土壌調査方法

沖柳圃場では、試験開始時の1998年4月には検土杖で1カ所2点ずつ採取した。検土杖に採取された土壌を強く押し、崩れ易い部分までを作土（深さは12cm前後）とした。また下層土については作土の混入を防ぐため深さ20～40cmの部分の採取した。なお、1999年4月以降の土壌採取においては、第3章記載の内径5cmのコアサンプラーを使用し、油圧式土壌サンプリング装置で深さ25～30cmまでの土壌コアを採取し、0～12cmまでを作土、12cm以下を下層土とした。明治圃場と岡田圃場も同様に採取した。

3) 水稻生育調査、抜き取り、収量調査方法

移植後に調査列を決め、最高分けつ期、幼穂形成期等に草丈、茎数、葉色（SPAD502）、最終程

長を計測した。1カ所10株で72～108カ所を調査した。抜き取りは、調査後平均茎数に近い株を調査区近傍から3株抜き取った。収穫期の坪刈りは、調査列（10株）を含む3列の計30株を地際刈りし、風乾後に調査区の全株を脱穀し、玄米重、粳数、登熟歩合等を常法で計測した。坪刈り位置は暗渠工事（1998）等のために5カ年の試験期間中に若干の位置の違いはあったが、毎年実施された72～108カ所に及ぶ坪刈り位置は、ほぼ圃場全体を網羅していた。

4) 水稻窒素吸収量および玄米窒素濃度の測定方法

抜き取り水稻は70℃で乾燥粉碎後、500mgをケルダール分解法で分解し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ はTRACCS-800（ブランルーベ社製）で定量した。収穫期窒素吸収量は、坪刈り水稻の脱穀後のワラ（各区10本前後）と粳を70℃で乾燥後、別々にケルダール分解し抜き取り水稻と同様に分析し乾物重を乗じてワラと粳の窒素吸収量を求め、それらの合計を収穫期窒素吸収量とした。玄米は、精玄米を粉碎せずに約1g秤量し、ケルダール法で分解後、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を同様に定量し、得られた窒素濃度に6.25を乗じ、さらに別途測定した玄米水分で、15%水分ベースで玄米タンパク含量を求めた。

5) 土壌窒素吸収量（Nupsoil）の推定方法

施肥窒素量（Nf）に肥料利用率（Rf）（基肥窒素利用率30%、穂肥窒素利用率60%）を乗じたものを、坪刈り水稻の窒素吸収量（Nup）から差し引いて、土壌窒素吸収量（Nupsoil）求めた。

6) 土壌窒素無機化量の測定方法

作土および下層土を2mmふるいに通した後、湿潤土あるいは風乾土の湛水密栓培養（30℃×4週間および10週間）を行った。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は、前述のTRAACCS-800で定量した。下層土については、不攪乱土壌を培養する場合もあった。また、水稻の単位面積あたり窒素吸収量と比較するため採取土の乾燥密度を用いて面積当たりの土壌窒素無機化量を推定した。

7) 各圃場における実証試験の概要

各年次の試験区のねらい、試験区構成、耕種概要、使用肥料および肥料散布機械についての概略を表12-1～12-4に整理した。以下では、各圃場毎に上記の表を補足する事項を中心に各年次の概要を示す。

8) 沖柳圃場での実証試験の詳細

1998年（1年目）

圃場の特徴を把握するため、均一施肥での地力ムラ、生育・収量ムラを調べた。なお、基肥と穂

表12-1 圃場毎の各年次における試験のねらい

	試験年次	ねらい	施肥量計算の基礎に用いた地力マップ
沖柳	1998	均一栽培条件下での生育・収量ムラの検討	なし（農家慣行で施肥量を計算）
	1999	基肥可変施肥効果の検討	99年4月に採取した作土地力マップ
	2000	基肥と穂肥の可変施肥効果の比較	99年水稻窒素吸収量と施肥量および湿潤土培養窒素量から計算した地力マップ（99地力マップ）
	2001	基肥と穂肥の可変施肥効果の比較	同上
	2002	局所管理システム ¹⁾ の実証	同上
明治	2001	緩効性窒素肥料を利用した局所管理効果の実証（1年目）	近赤外法根域全窒素マップ
	2002	緩効性窒素肥料を利用した局所管理効果の実証（2年目）	同上
岡田	2002	局所管理システム ²⁾ の実証	化学分析法根域全窒素マップ

注1) このシステムでは、施肥量無段階可変型定幅散布機、植被率計測システム、施肥量計算ソフトを一部で利用

2) このシステムでは、施肥量可変型定幅散布機、植被率計測システム、施肥量計算ソフトを一部で利用

3) 2002年の実証試験に利用した施肥量計算ソフトはRiceNiSMo（佐々木ら、未発表）

表12-2 圃場毎の各年次における試験区の構成

圃場	年次	試験区の構成
沖柳	1998	分施肥均一区のみ
	1999	基肥均一区(2反復)、基肥可変区(2反復)
	2000	分施肥均一区(3反復)、基肥可変区(2反復)、他肥可変区(2反復)、分施肥可変区(2反復)
	2001	分施肥均一区(6反復)、分施肥可変区(3反復)、緩効可変+分施肥均一区(3反復)、全量基肥区(2反復)、緩効可変+全量基肥(2反復)
	2002	緩効可変+分施肥可変区(圃場全体で実証し、対照区は1998年の分施肥均一区とした)
明治	2001	分施肥均一区、分施肥可変区、緩効可変+分施肥均一区、緩効可変+全量基肥の計4区を移植および直播で単連実施
	2002	前年度と試験区の場所を入れ替え、分施肥均一と緩効可変+分施肥均一について目標窒素吸収量を2水準設け、移植および直播で単連実施
岡田	2002	農試管理区と農家管理区を設けた。農試管理区では、緩効可変+分施肥可変(定幅散布機で可変施肥)、農家管理区では分施肥可変(農家が昨年の生育ムラを考慮し、農家の判断により動噴で速効性肥料を可変施肥)

注1) 沖柳圃場における1999年～2001年の試験区形状は、圃場長辺方向の長さ125mの走行路をに沿った細長い区画で、1試験区は10m毎の計12メッシュから構成された。試験区の幅は、1999年と2000年は8m、2001年は5mであった。なお、1998年と2002年は圃場一枚を1試験区として扱った

2) 明治圃場における2001年～2002年の試験区形状は、圃場長辺方向の長さ200mの走行路に沿った細長い区画で、それを20m毎に区切った計10メッシュから構成された。なお、試験区の幅は2001年、2002年とも5mであった

表12-3 圃場毎の各年次における耕種概要

圃場	年次	品種	栽培法	基肥散布	耕起	代かき	移植/播種	穂肥1	穂肥2	出穂	坪刈り
沖柳	1998	キヌヒカリ	移植 ¹⁾	4.29	4.29	5.10	5.14	7.20	無施用	8.07	9.14
	1999	"	"	5.06	5.07	5.14	5.19	無施用	無施用	8.08	9.16
	2000	"	"	5.10	5.11	5.17～18	5.21	7.07	7.26	8.07	9.16
	2001	"	"	5.09	5.15	5.16～18	5.22	7.16	7.30	8.08	9.13
	2002	コシヒカリ	"	5.01	5.02	5.12	5.17	7.24	無施用	8.07	9.12
明治	2001	キヌヒカリ	移植	5.07	5.08	5.16	5.21	7.18	7.27	8.13	9.17
	"	どんとこい	直播 ²⁾	5.07	5.08	5.16	5.21	7.18	8.02	記録なし	9.26
	2002	キヌヒカリ	移植	5.1&5.7 ³⁾	5.07	5.09	5.13	7.23	7.31	記録なし	9.19
	"	どんとこい	直播	5.1&5.7 ³⁾	5.07	5.09	5.13	7.23	7.31	記録なし	9.22
岡田	2002	コシヒカリ	移植	4.22	4.29	5.11	5.17	無施用	無施用	8.06	9.13

注1) 移植には稚苗を使用

2) 潤土直播とし、代かき後播種当日に落水し播種後10～14日間落水状態で管理

3) 明治圃場の2002年の基肥散布は5月1日にLP100とリン酸カリを散布、しかし作業中に雨天となったため塩安は5月7日に施用

4) 1998年収穫後に暗渠工事、2001年には沖柳圃場、明治圃場ともにイネツトムシが大発生

表12-4 圃場毎の各年次における窒素含有肥料および施肥機の概要

圃場	年次	窒素肥料の種類(商品名)と窒素含量							散布手段				可変施肥メッシュサイズ	
		基肥(速効性)	N(%)	他肥(速効性)	N(%)	緩効性肥料	N(%)	全量基肥肥料	N(%)	基肥散布	散布幅	總肥散布		散布幅
沖柳	1998	尿素特50号	15	尿素特50号	15	なし		なし		トラクタ装着ソー	1.8m	徒歩動噴		
	1999	塩加リン安086	10	なし		なし		なし		定幅散布機1号 ²⁾	8m	施用せず [*]	8m×10m	
	2000	塩安	25	塩安	25	なし		なし		定幅散布機1号 ²⁾	8m	手散布(一部定幅散布機1号)	8m×10m	
	2001	塩安	25	塩安	25	LP100	42	特製肥料 ¹⁾	34	定幅散布機2号 ³⁾	10m	定幅散布機2号	8m	5m×10m
	2002	塩加リン安046	10	塩安	25	LP100	42	なし		定幅散布機3号 ¹⁾	10m	定幅散布機2号	10m	2.5m×10m
明治	2001	塩安	25	塩安	25	LP100	42	特製肥料	34	定幅散布機2号	10m	定幅散布機2号	10m	5m×20m
	2002	塩安	25	塩安	25	LP100	42	同上	34	定幅散布機2号	10m	定幅散布機2号	10m	5m×20m
岡田	2002農試	塩加リン安444	14	LP100	42	なし		なし		定幅散布機2号	10m	定幅散布機2号	10m	10m×10m
	2002農家	尿素45号	15	なし		いさいほ他肥	15	なし		徒歩動噴		徒歩動噴		10m×10m

注1) 特製肥料(窒素含量33.5%)は、塩安を42%、LP30を15%、LPS100を43%(いずれも肥料全体に占める窒素比率)で調合

2) 定幅散布機1号は散布量を走行中に可変できないので、同一メッシュを複数回走行し、重ね撒きで可変施肥

3) 定幅散布機2号は施用量可変型で左右ブームの施用量を独立に可変散布、可変位置を畦から指示し、トラクタ乗員が操作

4) 定幅散布機3号は施用量無段階可変型で散布幅10mで2.5m毎の可変散布可能、入力した地力マップデータに基づき自動可変散布(経労化プロ成果)

5) 1999年～2002年のリン酸カリの施肥は、PK08を使用

肥は農家の慣行施肥量を均一に施用した（図12-1、表12-5）。ただし基肥はトラクタに装着した肥料散布機で耕起と同時に施用し、穂肥は動力散粒機で圃場内を歩行して施用した。地力ムラ調査のための土壌採取は耕起前に実施した。

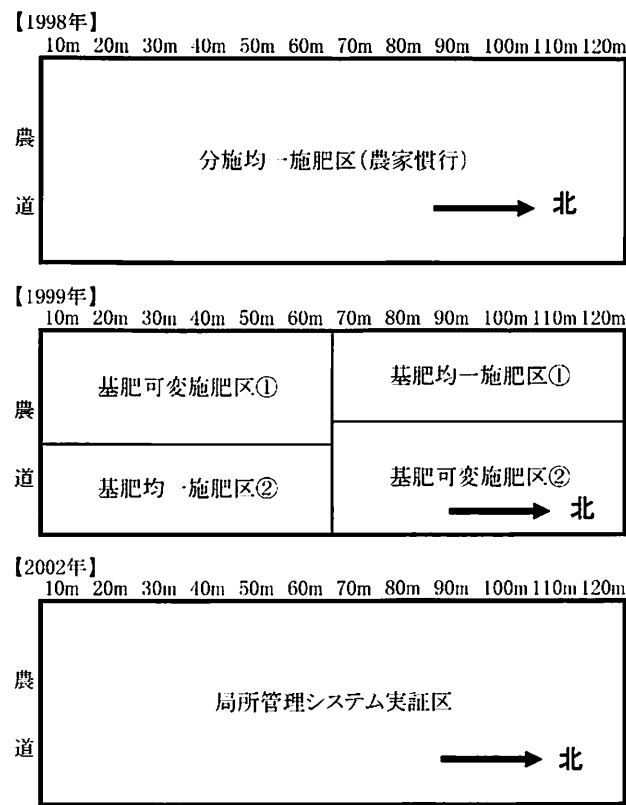


図12-1 沖柳圃場における試験区の配置図（1998年、1999年、2002年）

表12-5 沖柳圃場における各年次の窒素施肥の概要

(単位:kgN/10a)

年次	試験区	目標N 吸収量	基肥		穂肥①		穂肥②	
			肥料	施肥量2)	肥料	施肥量	肥料	施肥量
1998	均一分施	慣行	尿素特50号	2.25	尿素特50号	1.5	なし	
1999	基肥均一		塩加リン安086	2	なし		なし	
	基肥可変		塩加リン安086	0～6	なし		なし	
2000	分施均一	10	塩安	2	塩安	2	塩安	2
	基肥可変	10	塩安	0～6	塩安	2	塩安	2
	穂肥可変	10	塩安	2	塩安	0～6	塩安	0～6
	基肥&穂肥可変	10	塩安	0～6	塩安	0～6	塩安	0～6
2001	分施均一	11	塩安	4	塩安	3	塩安	3
	分施可変	11	塩安	1～4	塩安	3	塩安	3
	緩効可変+分施均一	11	塩安	4	塩安	2	塩安	2
	全量基肥	11	LPI00	0～4.6	なし	0	なし	0
	緩効可変+全量基肥	11	特製肥料1)	10.4	なし	0	なし	0
		11	特製肥料	8.5	なし	0	なし	0
2002	緩効可変+分施可変	8.2	塩加リン安046	0～2.8	塩安	1 ³⁾	なし	0
			LPI00	0～5.0				

注1) 塩安(42%)、LP30(15%)、LPS100(43%)を()内の窒素量比率で混合した肥料(N:33.5%)

2) 可変施肥の施肥量は、収穫期の水稲窒素吸収量が目標窒素吸収量になるように施用

3) 西畦から10mまでの高肥沃度部位を除外すれば、塩安1kgN/10aを均一に施用

1999年（2年目）

基肥窒素可変区（基肥可変区）と基肥窒素均一施用区（基肥均一区）を設け、追肥は施用せず、基肥窒素可変施用が生育収量に及ぼす影響を調べた（図12-1）。その施肥量は表12-5に示した。基肥窒素施用量（Nfb）の設定方法は次のように行った。まず1999年度春に採取した作土の土壤培養窒素量（Nsoil）から土壤窒素供給量を推定した。次に、圃場内で平均値±1kg/10aのメッシュ（10m×10m）を標準肥沃度メッシュとし標準基肥窒素量（1998年農家慣行レベルの2kg/10a）を散布した。標準肥沃度より低地力のメッシュには4kgないし6kg/10a、標準肥沃度より高地力のメッシュには窒素を施用しなかった。基肥窒素量の可変段階が整数倍になっているのは、1999年の時点では定幅散布機に可変機構が無く、重ね撒きで散布量を変えたためである。

2000年（3年目）

試験区は、3回の施肥時期（基肥、穂首分化期、減数分裂期）に、各々均一施肥と可変施肥を組み合わせて表12-5あるいは図12-2のように設定した。目標窒素吸収量を10kg/10aとし、可変施肥区では1999年度の土壤窒素吸収量（Nupsoil）をもとに、図12-3に基づき施肥量を設計した。施肥設計にあたり、一作期間の土壤窒素吸収量（Nupsoil）を土壤窒素無機化パターンに基づき生育前半と後半に比例配分し、基肥および穂肥の可変施肥量を計算した。比例配分の比率としては、

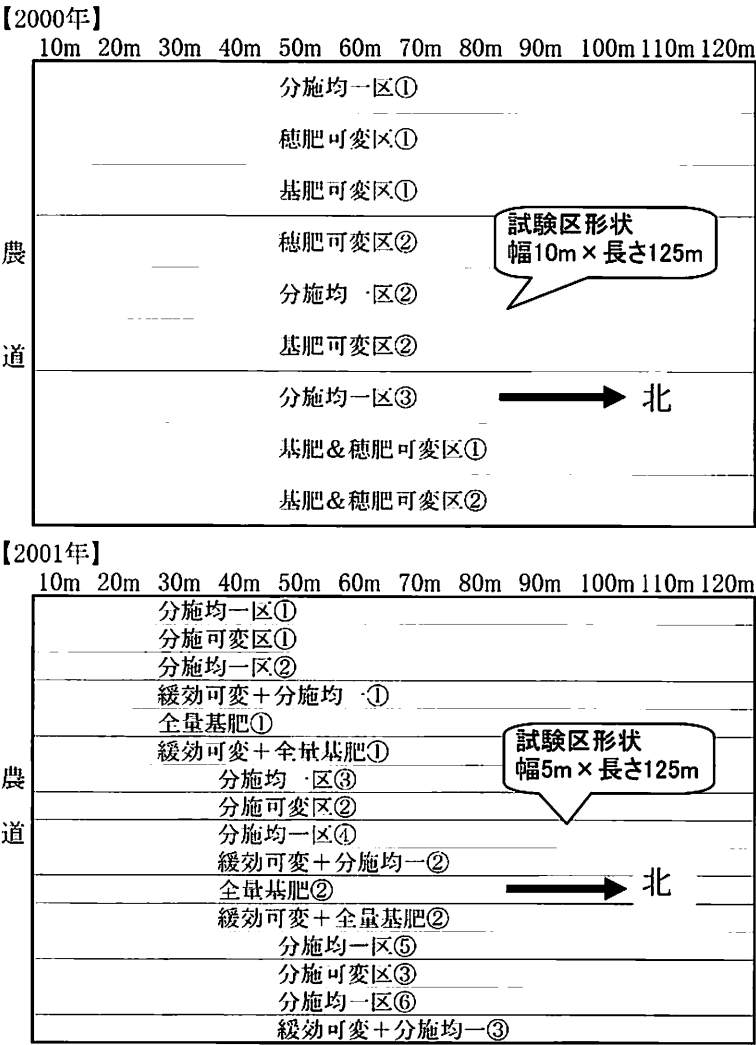


図12-2 沖柳圃場における試験区の配置図（2000年、2001年）

施肥設計の手順

1. 湿潤土壌を作土上層(a)(0～6cm)、作土下層(b)(6～12cm)、下層上(c)(12～18cm)に分けて密栓湛水培養(30℃)。(30℃で4週培養は、幼穂分化期頃までの積算地温に、10週培養は収穫期までの積算地温に相当する。)
2. 幼穂分化期までは、0～18cmまでの土壌から窒素が供給され、水稻の利用率は40%と仮定する。
3. 幼穂分化期から収穫期までは、0～18cmおよび18～30cmの土壌から窒素が供給され、その利用率は、0～18cmまでは60%、18～30cmは100%と仮定した。
また、18cm～30cmまでの下層上は12cm～18cmまでの下層上と同等と仮定した。
4. 土壌の乾燥密度は作土上層0.95、作土下層1.1、下層上1.15と仮定した。
5. 幼穂分化期までをⅠ期、それ以降をⅡ期とすると、各時期における窒素吸収量の推定値は式1と式2で計算できる。
6.
$$\text{Ⅰ期N(g/m}^2\text{)} = (A \times 0.95 + B \times 1.1 + C \times 1.15) \times 0.6 \times 0.4 \quad (\text{式1})$$
$$\text{Ⅱ期N(g/m}^2\text{)} = ((D - A) \times 0.95 + (E - B) \times 1.1) \times 0.6 \times 0.6 - (F - C) \times 1.15 \times 0.6 \times 0.6 + F \times 1.15 \times 0.6 \times 2 \quad (\text{式2})$$

但し、A=作土上層4週培養値、B=作土下層4週培養値、C=下層上4週培養値
D=作土上層10週培養値、E=作土下層10週培養値、F=下層上10週培養値(いずれもmg/100g乾土)
7. 各メッシュについて計算を実施し、Ⅰ期窒素吸収量推定値、Ⅱ期窒素吸収量推定値、および両者の比率を求める。
8. 各メッシュにおける1999年の坪刈り水稻窒素吸収量から基肥窒素由来を差し引いて土壌窒素吸収量(N₉₉)を推定する。
9. N₉₉を各メッシュの土壌窒素吸収量とし、Ⅰ期とⅡ期の窒素吸収量推定値比率でN₉₉をⅠ期とⅡ期に比例配分する。
10. Ⅰ期の窒素吸収量目標値(3.5g/m²)から、各メッシュのⅠ期窒素吸収量推定値を差し引き、その差をΔN₁とする。
11. 基肥窒素の利用率をK₁とすると、施肥量はΔN₁÷(K₁/100)で算定される。(下記事例では、K₁=40%)
12. Ⅱ期の窒素吸収量目標値は、収穫期目標値が10g/m²の場合、6.5g/10a。
13. 穂肥を2回施用する場合、2回目(減数分裂期)の穂肥2は慣行の2g/m²とする。穂肥2の利用率は60%と仮定する。
14. 6.5g/m²から各メッシュのⅡ期窒素吸収量と穂肥2の吸収分を差し引いた窒素量をΔN₂とする。
15. 1回目の穂肥1の利用率をK₂とすると、穂肥施肥量はΔN₂÷(K₂/100)で算定される。(下記事例ではK₂=60%)

【2000年の沖柳園場試験の施肥設計の計算事例】

A			B			C			D			E			F			N ₉₉ (1999年坪刈の水 稻の土壌N吸収 量)	土壌窒素吸収量		施肥窒素施用量		
4週			4週			4週			10週			10週			10週				Ⅰ期	Ⅱ期	基肥窒素 施用量	穂肥1 施用量	穂肥2 施用量
1層			2層			3層			1層			2層			3層								
mgN/100g乾土															gN/m ²			gN/m ²			gN/m ²		
7.8 6.0 1.6 15.5 9.6 2.7															3.8 8.6 12.4			6.3			2.2 4.1 3.3 2.0 2.0		

注1) A～Cは湿潤土湛水4週30℃培養アンモニア生成量、D～Fは同10週培養値。
注2) 数字は、沖柳園場の108カ所の平均値を示した。この施肥設計をもとに2000年試験区の変換施肥区の窒素施肥を行った。

図12-3 局所可変施肥効果試験(2000年～2001年)における局所管理マップ作成手順

30℃における土壌培養データの0～4週目までと4～10週目までの比率を用いた。ただし、試験開始直後、基肥施用後の入水時に排水口から誤って水を流出させたため、基肥効果を正確に調べるために移植直後の作土中アンモニア態窒素残存量を測定し、それを基に基肥可変施肥効果について検討した。また、穂首分化期追肥作業中には、トラクタのスリップにより機械散布作業を途中で中止し、追肥施用を手作業に切り換えた。減数分裂期追肥も同様に手散布とした。

2001年(4年目)

新たに地力足正用に緩効性肥料を可変施肥することとし、速効性肥料による可変施肥区と比較する試験構成とした(表12-5、図12-2)。緩効性肥料は地力窒素とほぼ同様な溶出を示すLP100を使用した。また、全量基肥方式への対応のため、緩効性肥料を含む全量基肥とLP100の可変施肥を組み合わせた試験区も設けた。収穫期の目標窒素吸収量は11kg/10aに設定し、施肥量の計算は図12-3に従って行った。この年は出穂直後にイネツトムシの大発生で一部の試験区では上位葉に甚大な食害を受け登熟歩合が激減した。このため、処理効果の解析は初数の比較に留めた。

2002年(5年目)

最終年なので4年間に開発された要素技術を投入し、圃場1枚を1試験区として1998年の均一施

肥条件の収量や玄米タンパク質濃度と比較した（図12-1、図12-4）。施肥設計の基礎となる収穫期の目標窒素吸収量の値については、北陸各県農試の過去数年のコシヒカリに関する施肥試験データから収量と窒素吸収量の関係式を求め、目標収量（粗玄米重505kg/10a）に相当する窒素吸収量8.2kgN/10aを求めた。施肥設計の手順は図12-5に示した。まず、穂肥から決め、次に1999年の土壌窒素吸収量マップをもとに目標窒素吸収量に合うように緩効性肥料（LP100）を配分し、その次に目標収量に必要な粒数確保のシミュレーションを施肥管理ソフト“RiceNiSMo”（図12-6：佐々木ら、未発表）で行い、基肥に必要な速効性窒素の施用量を算定し施肥マップを作成

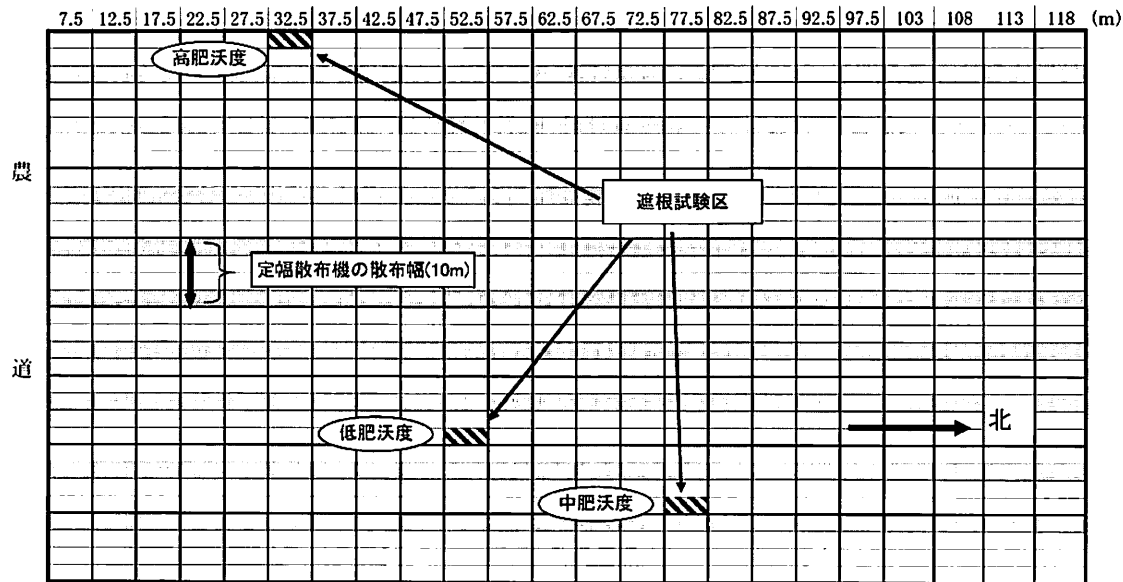


図12-4 沖柳圃場における2002年度の変態施肥区の詳細と遮根区的位置

- 注1) 灰色メッシュでは、1999年の坪刈り位置に対応して可変施肥を実施し、同じ位置で坪刈り調査を実施した
2) 白色メッシュでは、1998年と1999年の各土壌窒素吸収量の平均値を用いて地点間を平滑化した地力マップを作成し、それに対応して可変施肥を実施し、収量コンバインで収量を計測した
3) 散布に使用した機械は、散布幅10mの定幅散布機で長辺方向に走行し幅2.5m毎に可変施肥を行った

計算準備

1. グリッドごとの坪刈り水稲窒素吸収量をもとに地理統計学的ソフト(GS)で平滑化して土壌窒素吸収量(SNup)マップを作成。
具体的には、98年(乾土効果あり)と99年(乾土効果なし)の平滑化地力マップの平均値から標準年を想定した土壌窒素吸収量マップを作成。
2. コシヒカリの粗玄米重と窒素吸収量の回帰式(北陸4県の施肥試験データ数年分)を作成
3. 目標精玄米重を480kg/10aと設定。95%精玄米歩合として505kg/10aの粗玄米重(SNup:8.3kgN)が目標窒素吸収量

施肥設計手順

1. 目標N吸収量(8.3kgN/10a)から土壌窒素吸収量(SNup)を差し引いて、肥料窒素吸収量FNupを計算する。(FNup=8.3-SNup)
2. 穂肥由来窒素量(TopN)+SNup>8.3kgNのメッシュには穂肥は施用せず、それ以外は全て穂肥量1kgN/10aと暫定的に決める。
この穂肥は、乾土効果等の要因で幼穂分化期の窒素吸収量が3.5kgN/10aを超えた場合には施用しない。
3. 基肥にLP100のみを使用した場合に粒数25000/m²の確保が可能かどうかをRiceNiSMoでシミュレートした結果、
低地力(5kgN/10a)地点において基肥に速効性肥料を施用しなくてもLP100を施用すれば25000粒確保は可能と判断された
4. 穂肥を1kgN/10aに仮置きし、LP100では正可能な窒素吸収量(LP100)を計算させる。
 $LP100 = 8.3 - 1 \times 0.6$
5. LP100の利用効率を60%と仮定してLP100窒素施用量:LPN=LP100/0.6およびLP100現物施用量(LP100/0.42)を各メッシュ毎に計算。
6. 現物施用量2.6kg以下では、散布機のモーターに過負荷がかかるので散布量ゼロとしたが、それ以外は計算値を施用量として確定(図8)。
7. 最後に、 $(8.3 - (SNup + LPN \times 0.6 + TopN \times 0.6)) / 0.3$ で基肥速効性窒素の施用量(BaseN)を計算
8. 基肥速効性窒素も散布機性能の関係で、2.6kg現物/10a以下のメッシュでは無施用とし、それ以外は計算値を施用量として確定
9. 以上の基肥速効性窒素(BaseN)、基肥LP100窒素(LP100)、穂肥窒素(TopN)に土壌由来窒素(SNup)を加算して8.3kgN/10aになることを確認

図12-5 2002年沖柳圃場実証試験における局所管理マップの作成手順

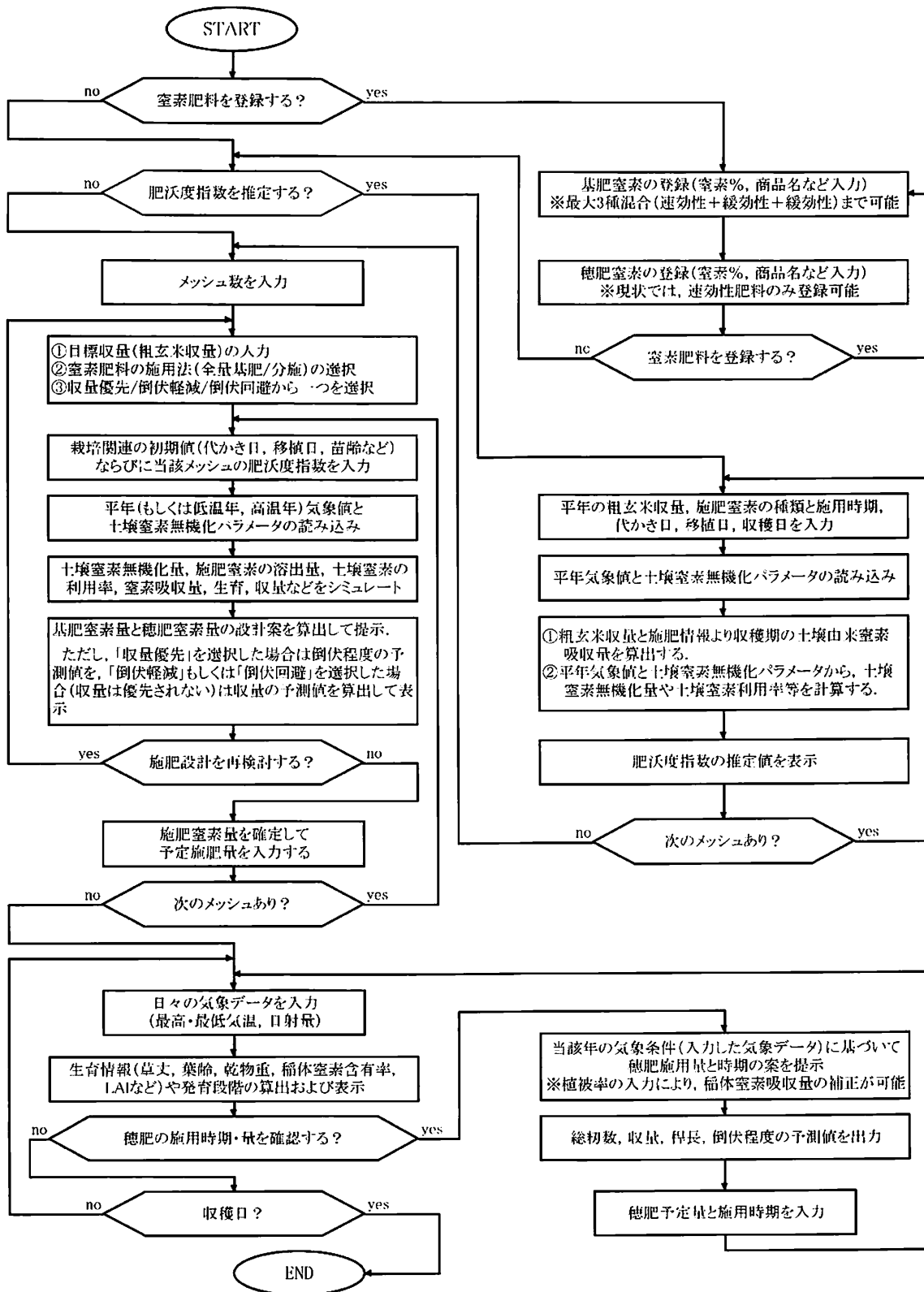


図12-6 水稻局所施肥管理ソフト(RiceNiSMo)の処理の流れ(佐々木ら 未発表)

し、無段階可変施肥の可能な定幅散布機で散布した。穂肥については、穂首分化期頃（7月4日）に植被率を計測し窒素吸収量を推定して、想定した窒素吸収量（3.5kg/10a）を超えていないことを確認し、その後当初計画通りに肥沃度の高い西畦付近以外は1kgN/10aを均一施用した。

さらに、水稻窒素吸収量に対する下層土の寄与を定量的に知るための遮根試験を実施した（図12-4）。遮根シートとして透水性のある東洋紡製防根シートを使用し、1株栽植単位（18cm×30cm×深さ12cm）の布製の袋を作成した。移植後2週目の圃場で、下層土地力の高い場所（地力高区）と中程度の場所（地力中区）、下層土地力の低い場所（地力低区）を選び、各区に次の2処理を行った。まず有底処理区では栽植面積単位の広さの鉄棒（18cm×30cm×深さ20cm）を挿入し水稻株と根域土壌を手で鉄棒内から取り去り、遮根シートを入れた後、その中に土壌をつけたまま水稻株を戻した後、鉄棒を抜いた。次に、無底処理区では同サイズの布製袋の底部を抜き、根が下層土に自由に伸張できるようにしたものを同様な手順で設置した。施肥は各試験区近傍の可変施肥区と同様に行った。施肥量等は表12-14に示した。

9) 明治圃場での実証試験

2001年と2002年に緩効性肥料を利用した可変施肥効果を速効性肥料の可変施肥管理と比較するための試験を実施した。試験区構成、耕種概要、肥料、施肥量、施肥機については表12-2～12-4に、試験区配置を図12-7（2001、2002年）に、施肥量を表12-6に示した。可変施肥の施肥量計算の基礎とした地力マップは、近赤外法と収量データを併用する方法で作成した。すなわち、1998年の均一施肥条件で栽培した水稻の低収地点と高収地点の収量から推定した水稻窒素吸収量と近赤外法で測定した根域全窒素濃度をもとに4章の図4-18に示す方法で作成した。

10) 岡田圃場での実証試験

大区画化工事の施工図を利用して旧圃場と新圃場の位置や標高の関係を把握し（4章図4-13）、それをもとに大幅に土壤採取点数を削減して作成した地力マップ（4章図4-14）による局所管理シ

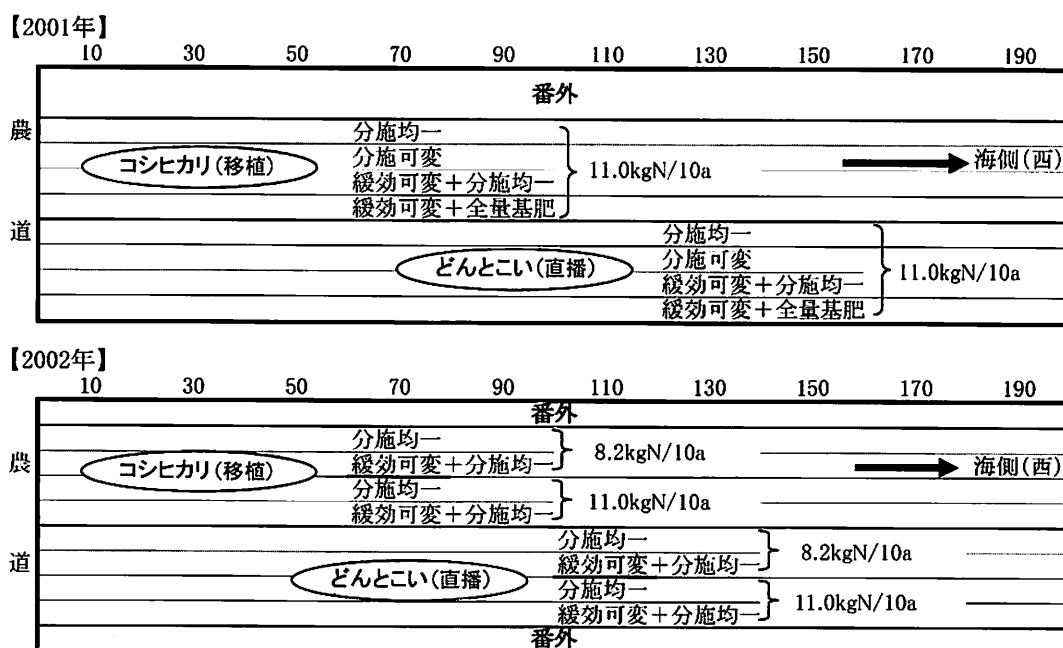


図12-7 明治圃場における局所管理効果に関する試験区の配置図

注1) 散布幅10mで左右5mずつを可変散布、圃場内の数字は目標窒素吸収量 (kgN/10a)

2) 上辺の数字は農道からの距離 (m)

表12-6 明治園場における各年次の施肥概要

(単位:kgN/10a)

年次	品種および栽培法	目標N 吸収量	試験区	基肥		基肥		追肥①		追肥②	
				肥料	施肥量	肥料	施肥量	肥料	施肥量	肥料	施肥量
2001	キヌヒカリ(移植) どんとこい(直播)	10	分施均一	なし		塩安	4	塩安	3	塩安	3
			分施可変	なし		塩安	2~6	塩安	2~4	塩安	3
			緩効可変+分施均一	緩効 ¹⁾	0~7.6	塩安	4	塩安	3	塩安	1
			緩効可変+全量基肥	緩効	0~7.6	特製 ²⁾	10	なし		なし	
2002	コシヒカリ(移植)	8.3	分施均一	なし		塩安	4	塩安	2	塩安	2
			緩効可変+分施均一	緩効	0~5	塩安	4	塩安	2	塩安	2
		11	分施均一	なし		塩安	4	塩安	3	塩安	3
			緩効可変+分施均一	緩効	0~6.8	塩安	4	塩安	3	塩安	3
	どんとこい(直播)	8.3	分施均一	なし		塩安	4	塩安	2	塩安	2
			緩効可変+分施均一	緩効	0~2.9	塩安	4	塩安	2	塩安	2
		11	分施均一	なし		塩安	4	塩安	3	塩安	3
			緩効可変+分施均一	緩効	0~6.8	塩安	4	塩安	3	塩安	3

注1) LPI100を地力は正用の緩効性肥料として使用
2) 全量基肥肥料は、次の組成のものを作成し使用:塩安(42%)+L.P30(15%)+L.PS100(43%) ()内は窒素量比率
3) 緩効性肥料の施肥量は、地力マップの土壤窒素吸収量に従って決めた

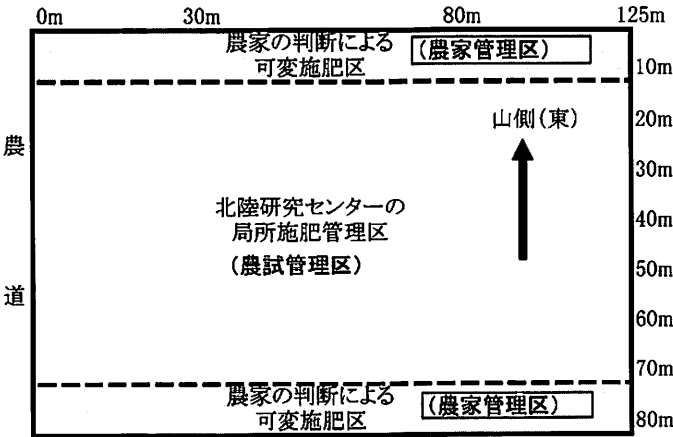


図12-8 岡田園場における試験区の配置図 (2002年)

ステムの実証試験を実施した。試験区の構成は、図12-8に示すように農家管理区と農試管理区を設け、農家管理区では農家が前年の施肥量や収量から地力ムラを判断して、化成肥料を動噴で可変散布した。また、農試管理区では、根域土壤全窒素濃度（化学分析値を使用）と収量データを組み合わせ、図4-18の方法で地力マップを作成し、その地力マップをもとにした施肥量の算定は図12-5に従って行った。穂肥窒素は、当初1.5kg/10a施用する予定で設計したが、穂首分化期（7月5日）に植被率を計測した結果、ほぼ全区で目標窒素吸収量を超えていたために、穂肥施用は行わなかった。坪刈りは、概ね10mメッシュで行った。収量調査は沖柳園場と同様に行った。

3. 結果

1) 沖柳園場試験

大区画水田の地力ムラの経年変化

坪刈り水稻の窒素吸収量から推定した土壤窒素吸収量の地点毎の5カ年の変動を図12-9に、また園場全体の平均値とバラツキの経年変化を表12-7に示した。対象園場の土壤窒素吸収量の平均値は、1998年は8.1kgN/10aであったが、1999年以降は5.8kgN/10a±0.5kgN/10aの範囲で増減した。1998年の土壤窒素吸収量がそれ以降の4カ年より高かったのは耕起後に土壤が非常に乾

表12-7 沖柳圃場における大区画化工事後の経過年数と地力窒素¹⁾のバラツキの推移

経過年数(西暦)		3年(1998)	4年(1999)	5年(2000)	6年(2001)	7年(2002)	5年平均値
平均値	kgN/10a	8.1	6.4	5.3	6.0	5.3	6.2
範囲	kgN/10a	7.0	5.3	5.7	9.9	9.5	7.5
標準偏差	kgN/10a	1.7	1.1	1.0	1.7	1.4	1.4
変動係数	%	21	17	19	29	27	22.6
平均値±1kg/10a を超える割合	%	45	36	34	46	52	42.6

注1) 坪刈り水稻の窒素吸収量から施肥窒素由来窒素量(施肥量に推定利用率を乗じたもの)を差し引いた値

2) 施肥窒素の利用率として、基肥窒素は30%、穂肥窒素は60%を仮定した

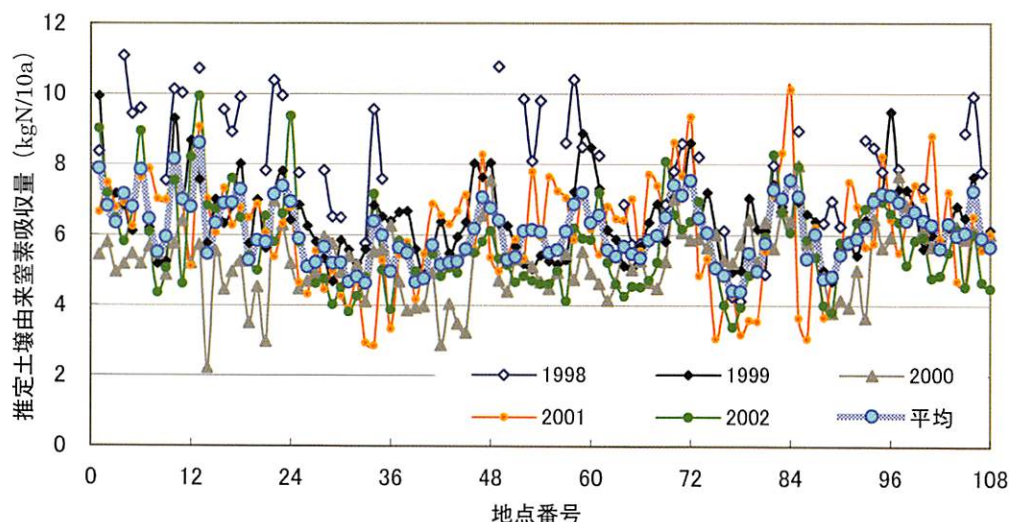


図12-9 沖柳圃場における土壌窒素吸収量の地点間のバラツキの年次間比較

注1) 土壌由来窒素吸収量の推定方法：坪刈り水稻の窒素吸収量から施肥窒素に利用率を乗じたものを差し引き推定した

2) 1998年は耕起後土壌が乾燥し、乾土効果が大きかったと推定されたが、他の年次は乾土効果は少ないと推定される

3) 地点番号の付し方：圃場西端の第1レーン（走行路）の農道側から排水路側に向かって1～12、隣の第2レーンでは13～24と付し、同様にして、第3レーンから第9レーンまで番号を付した。各レーン間の間隔は概ね8m～10mである

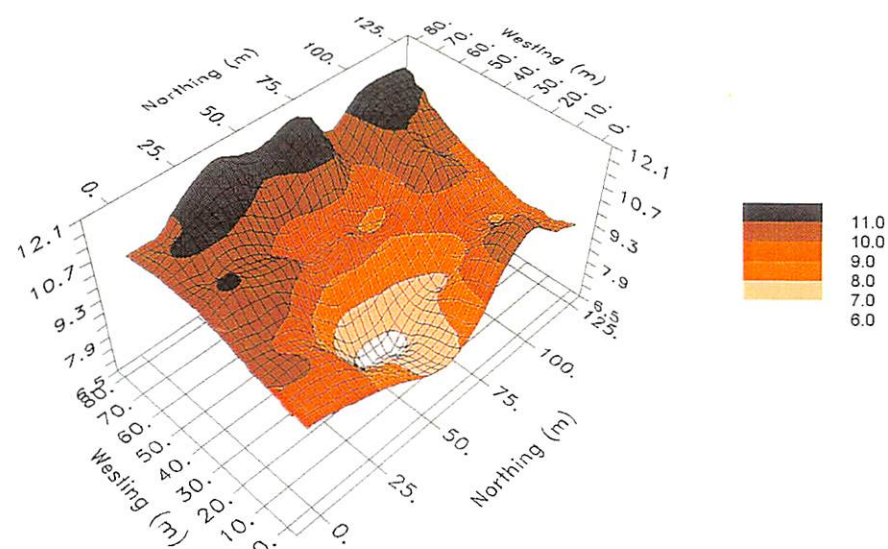


図12-10 推定土壌窒素吸収量の空間変異（1998）

注) 均一施肥条件における坪刈り水稻の窒素吸収量から施肥窒素吸収量（基肥窒素利用率：30%、穂肥窒素利用率：60%を仮定）を差し引き、坪刈り地点の位置情報とともに地図化ソフト（GS⁺, Gamma Design Software）で3次元化した

燥して乾土効果が発現したためと推定される。また土壌窒素吸収量が、各年の圃場平均値の上下1kgN/10aの範囲から逸脱した面積が1ha圃場に占める割合は5カ年を通じて50～60%の範囲で、増加あるいは減少の傾向を示さなかった。土壌窒素吸収量の空間変異を平滑化し地図化すると、圃場西畦から約10mまで、および北側排水路から約30mまで、および農道から約10mまでは高肥沃度、圃場中央からやや東に寄った部位は低肥沃度であった（図12-10）。この傾向は1998年と2002年とでほぼ同様であり、地力ムラの位置関係については試験期間の5カ年間で大きな変化はなかった。

1998年の結果

1998年の均一栽培では収量および窒素吸収量のムラが認められ（図12-11）、収穫期には西畦から10m前後までと排水路から30m前後までは稈長が長く倒伏が顕著であった。また、精玄米収量は窒素吸収量が10kgN/10a前後までは吸収量に比例して増加したが、それ以上では倒伏によるくず米の増加等で収量はバラツキ、頭打ちとなった（図12-12）。作土の窒素肥沃度指標（培養窒素量、全窒素濃度等）と生育収量との相関について検討したところ、作土深を考慮すると相関が高まった。また穂肥前の草丈との相関が高かった（表12-8）。

1999年の結果

基肥の可変施肥を1999年4月に採取した作土の地力マップに基づき行った結果、地力の低い場所における幼穂形成期の草丈・茎数には可変施肥効果が認められたが（データ省略）、追肥を全面無施用としたために地力の低い場所では生育後期に葉色は低下し、収穫期の窒素吸収量のバラツキは基肥の局所管理によっても減少せず（表12-9）、基肥窒素の可変施肥だけでは不十分であった。

2000年の結果

2000年の試験では、局所施肥の時期を基肥、穂首分化期追肥、両時期の組み合わせの三種類と

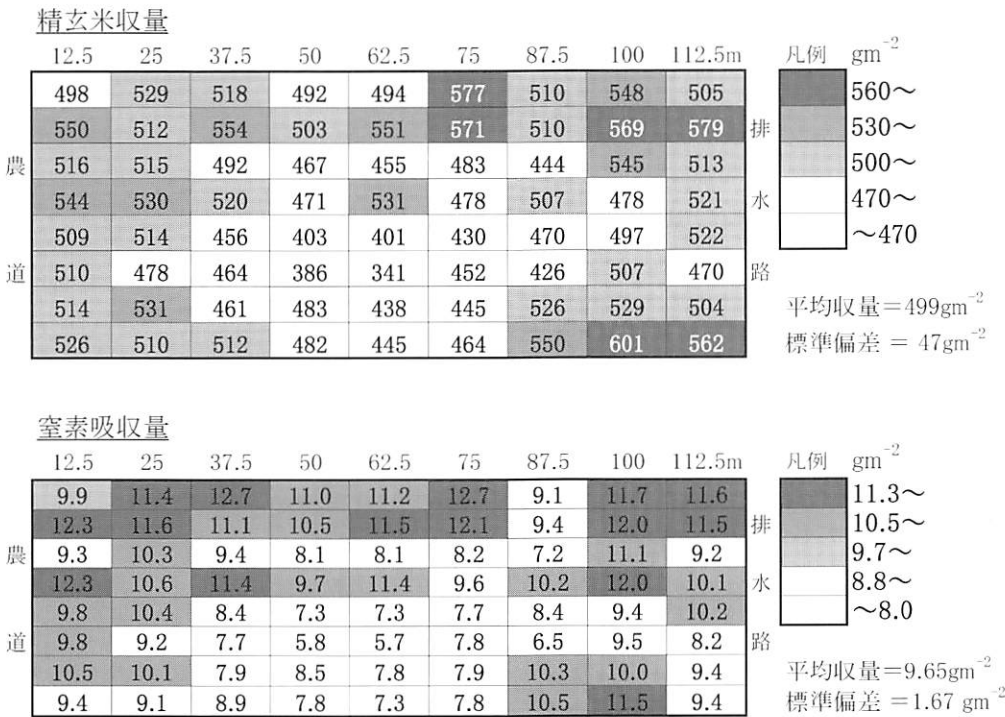


図12-11 均一栽培条件での収量・窒素吸収量の空間変異（沖柳圃場；1998年）

注1) メッシュの大きさは10m×12.5m、各メッシュで30株を刈りした
2) 窒素施肥量は、基肥 2.25gm²、穂肥 1.5gm²であった

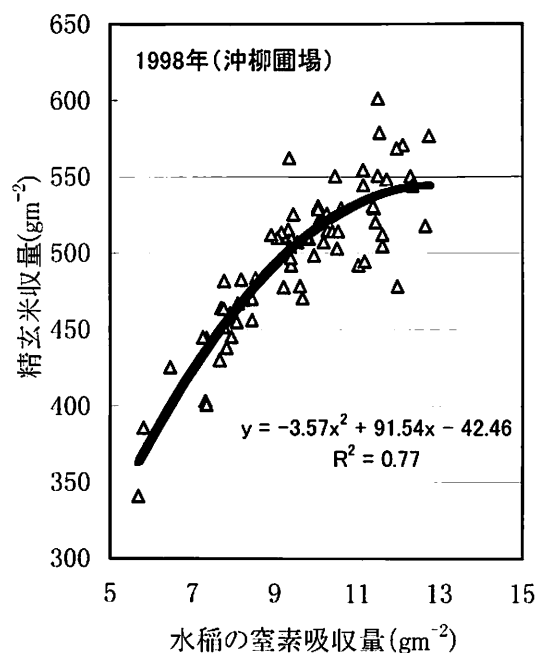


図12-12 均一施肥条件における窒素吸収量と収量との関係

表12-8 均一施肥条件における水稻生育・収量と土壤窒素肥沃度特性値との単相関係数（沖柳圃場；1998年）

	葉色(6/30)	葉色(7/29)	草丈(7/29)	粗玄米重	精玄米重	穂数	モミ数	稈長	穂長
全窒素	0.315	0.432*	0.510*	0.519*	0.449*	0.394	0.549*	0.557*	0.306
湿潤土10週培養値	0.234	0.354	0.407	0.422*	0.345	0.088	0.390	0.460*	0.215
風乾土4週培養値	0.420*	0.538*	0.638*	0.598*	0.501*	0.240	0.620**	0.642**	0.465*

注) 各地力指標には土壌分析値に作土深を乗じた値(作土深補正值)を使用した。*は1%水準で、**は0.1%水準で有意

表12-9 基肥窒素の可変施肥が収量等のバラツキに及ぼす影響（沖柳圃場；1999年）

		分施均一区		基肥可変区	
		平均値	変動係数 (%)	平均値	変動係数 (%)
全重	g/m²	1190	9	1175	11
粗玄米重	g/m²	452	14	457	15
精玄米重	g/m²	440	15	446	15
穂数	本/m²	369	10	346	11
m²当たりモミ数	/m²	22647	13	22686	13
登熟歩合	%	88.9	4	88.3	4
千粒重	g	21.4	4	21.5	3
稈長	cm	74.6	6	73.9	5
N吸収量	gN/m²	6.4	15	6.4	16
土壌N吸収量	gN/m²	5.6	17	5.9	18
平均N施用量	gN/m²	2.0		1.2	

注) 土壌窒素吸収量 = 水稻窒素吸収量 - 基肥窒素施用量 × 0.4

して局所管理効果の違いを検討した。窒素吸収量は目標値（10kgN/10a）より1.7～3.5kgN/10a 少なかった。粗玄米重および窒素吸収量の変動係数をみると、分施均一の方が局所管理を行った試験区よりも変動が小さかった（表12-10）。

2001年の結果

2001年の試験では、緩効性肥料を導入した可変施肥を行った。窒素吸収量については、全量基肥区および全量基肥に緩効性肥料を上乗せした区では目標吸収量より1.2～1.4kgN/10a 少なかったが、分施肥区や分施肥区に緩効性肥料を上乗せした区では目標値の±0.5kgN/10a に収まった（表12-11）。わら重および籾重のバラツキに及ぼす可変施肥の影響をみると、表12-11に示すように分施肥に緩効性肥料を上乗せした場合も、全量基肥に緩効性肥料を上乗せした場合も変動係数の減少が認められた。作業面からみると、緩効性肥料の可変散布と分施肥均一散布を組み合わせた区では基肥散布時だけ可変施肥を行えばよく、追肥は従来通りの均一散布が可能で作業上は、分施肥可変区より容易であった。さらに緩効性肥料の可変施肥と全量基肥を組み合わせた場合は、追肥のために圃場に入る必要が無いため極めて省力的であった。なお、2001年夏期は高温で7月下旬～8月上旬にイネツトムシによる大きな食害があった。被害が集中したのは、7月中旬～下旬にかけて葉色が濃かった分施肥可変区の多量穂肥施用メッシュ、全量基肥区、全量基肥に緩効性肥料の上乗せを行った区であった。しかし、分施肥均一に緩効性肥料を上乗せした区では葉色が極端に濃くならず、イネツトムシの被害は少なかった。

2002年の結果

最終年の2002年には4カ年の圃場試験をふまえ、緩効性肥料の可変施肥を圃場全面に導入し1998年における圃場全面均一管理と比較した。図12-13に示すように窒素吸収量の平均値（7.5kgN/10a）は目標値（8.2kgN/10a）の約92%でほぼ目標値を達成し、標準偏差は1998年の1.7kgN/10a から1.0kgN/10a に減少した。窒素吸収量の空間変異を窒素吸収量マップで比較すると、圃場中央付近の窒素肥沃度が低い場所においても、肥沃度の高い場所においても圃場平均値レベルの吸収量となった。収量ムラについては、平均精玄米収量±30kg/10aに入る圃場の面積割合が1998年に79%であったものが93%に増加し収量の平準化が達成された（図12-14）。また、玄

表12-10 速効性窒素肥料の可変施肥が収量、窒素吸収量のバラツキに及ぼす影響（沖柳圃場；2000年）

試験区	メッシュ数	粗玄米重			窒素吸収量		
		平均値 (kg/10a)	標準偏差 (kg/10a)	変動係 数(%)	平均値 (kg/10a)	標準偏差 (kg/10a)	変動係 数(%)
分施肥均一	36	509	25.8	5.1	7.0	0.6	8.6
基肥可変	24	523	48.9	9.4	7.0	0.8	12.0
穂肥可変	24	516	39.8	7.7	6.5	0.7	11.5
基肥&穂肥可変	24	574	31.1	5.4	8.3	0.7	8.2

注) 各試験区は8m×10mのメッシュから構成される

表12-11 緩効性肥料を導入した局所施肥管理の効果（沖柳圃場；2001年）

試験区	メッシュ数	わら重			もみ重			窒素吸収量			目標N吸収 量に対する 比率(%)
		平均値 (kg/10a)	差 (kg/10a)	変動係 数(%)	平均値 (kg/10a)	差 (kg/10a)	変動係 数(%)	平均値 (kg/10a)	差 (kg/10a)	変動係 数(%)	
分施肥均一	72	800	83.0	10.4	731	54.0	7.4	11.5	1.7	14.8	105
分施肥可変	36	756	68.0	9.0	715	44.0	6.2	11.1	1.2	10.8	101
緩効可変-分施肥均一	36	756	58.0	7.7	727	38.0	5.2	10.8	1.7	15.7	98
全量基肥	24	751	71.0	9.5	706	52.0	7.4	9.8	1.7	17.3	89
緩効可変-全量基肥	24	749	46.0	6.1	699	46.0	6.6	9.6	1.3	13.5	87

注) 各試験区は5m×10mのメッシュから構成される

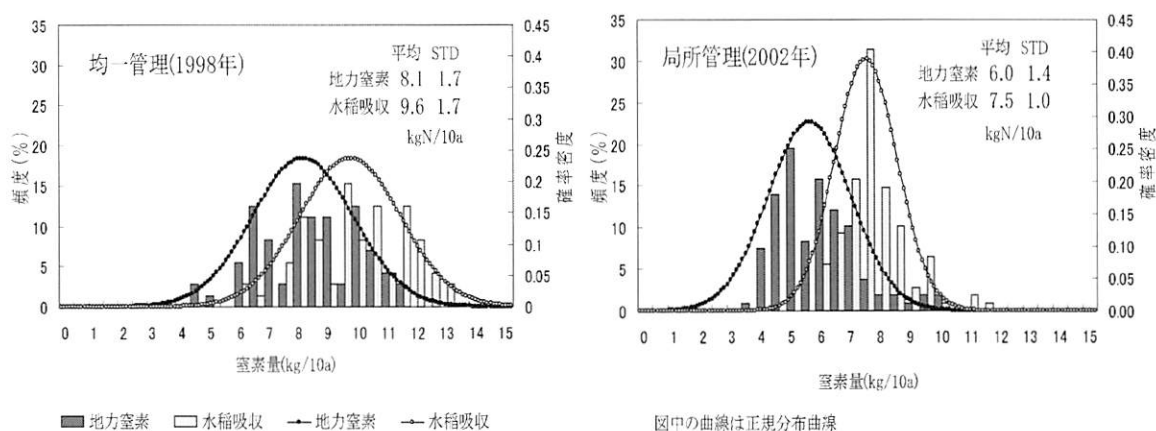


図12-13 局所管理による収穫期水稻の窒素吸収量の均一化

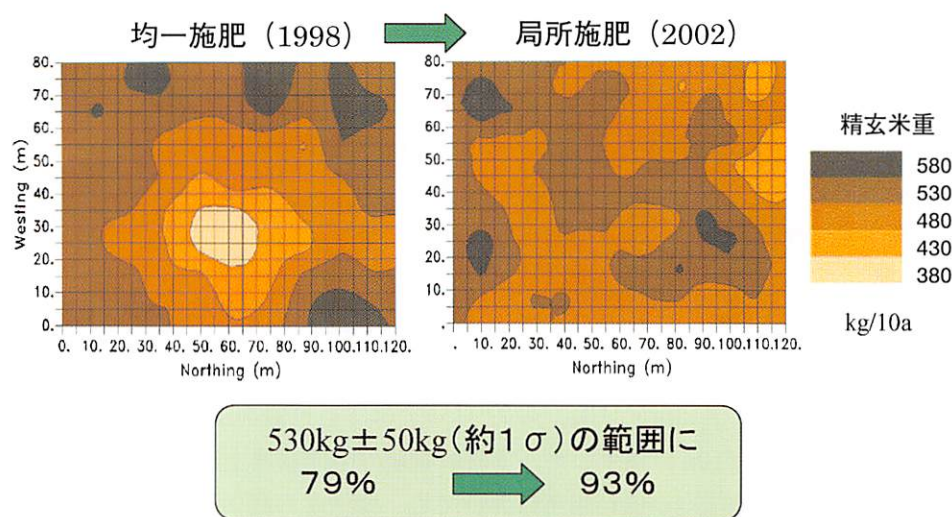


図12-14 局所管理による収量の平準化（精玄米重の比較）

表12-12 局所管理の導入によって改善された玄米タンパク質含量（沖柳圃場）

処理	玄米タンパク質濃度(%)		玄米タンパク質濃度(%)の階級				
			～5.0	～5.5	～6.0	～6.5	～7.0
	平均値	標準偏差	1ha圃場内での分布面積割合(%)				
対照区(1998)	6.19	0.53	1.4	12.5	22.2	31.9	25.0
局所管理(2002)	5.06	0.29	48.1	43.5	8.3	0	0

注)新潟県の品質目標は6.0%、他の北陸3県も6～6.5%を目標としている

米タンパク質含量は、1998年には平均6.2%で新潟県の目標値（6%）を超えたものが64%であったが、2002年には平均値5.1%で全て目標値をクリアし、品質面の改善と平準化が達成された（表12-12）。

2) 沖柳圃場の局所管理効果の解析

沖柳圃場では、水稻の土壌窒素吸収量マップ（図12-15）と採取した土壌の深さ別の培養窒素量のマップ（図12-16）との対応関係および水稻生育と作土および下層土の窒素肥沃度との相関（表12-13）から、下層土の地力窒素の変異が水稻の窒素吸収量や生育・収量の変異の主な原因と考えられる。また、水稻根域が耕起土層以下の下層土からの窒素供給にどの程度依存しているかを定量的に知るために、2002年には遮根試験を実施した。防根シートによる遮根試験の結果、土壌から

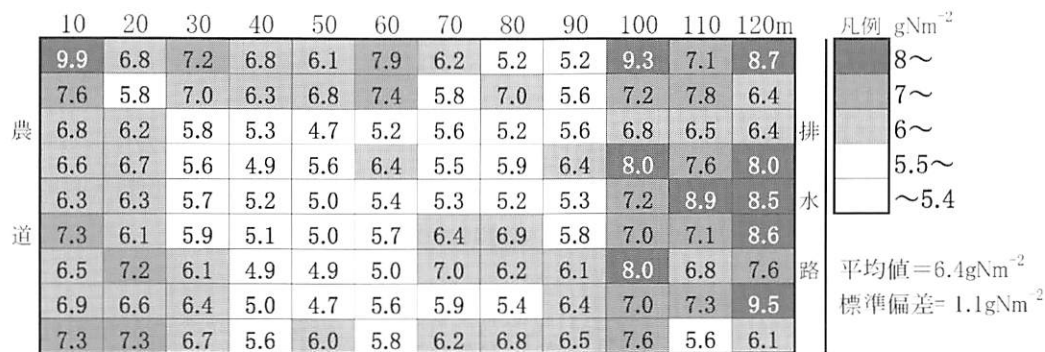


図12-15 水稻の土壌窒素吸収量マップ（沖柳圃場；1999年）

注）各グリッドは8m×10m、基肥窒素利用率を30％と仮定して坪割り
水稻の窒素吸収量から基肥窒素由来分を差し引いて推定した

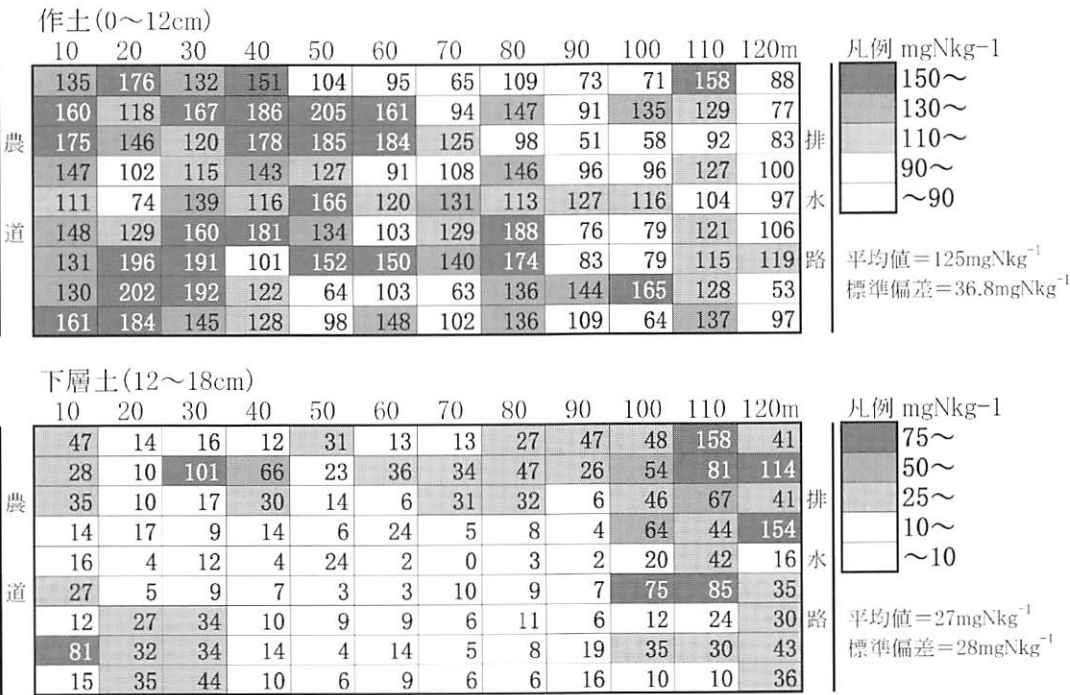


図12-16 作土と下層土の土壌窒素無機化量マップ（沖柳圃場；1999年）

注）湿润土30℃・10週湛水密栓培養で生成したアンモニア態窒素量

表12-13 水稻の生育収量と作土および下層土の窒素無機化量との相関（沖柳圃場；1999年）

土壌層位	幼形期草丈	稈長	N吸収量	精玄米重	㎡モミ数	登熟歩合	千粒重
作土(0~12cm)	-0.17	-0.19	-0.09	-0.25	-0.11	-0.19	-0.52
下層土(12~18cm)	0.24**	0.64**	0.50**	0.53**	0.49**	0.11	0.50**
根域土壌(0~24cm)	0.06**	0.34**	0.31**	0.22	0.29*	-0.04	0.02

注1) 各メッシュの大きさは8m×10mで、計算に用いたメッシュ数は基肥施肥量(2g N m⁻²)の等しい68カ所
地力窒素値として、湿润土30℃10週湛水培養におけるアンモニア態窒素生成量(g N m⁻²)を使用
2) 作土および根域土壌の地力窒素値は、6cm毎の層位別培養値を加算
3) **は1%水準で有意、*は5%水準で有意

吸収した窒素量のうち低～中肥沃度地点では31～36％が、また高肥沃度地点では48％が下層土由来であった（表12-14）。

3) 明治園場における試験

明治園場では、図4-18の方法に従って近赤外法と収量データを併用して地力マップを作成し、それを基礎にした可変施肥の有効性を検定した。緩効性肥料の可変施肥による低肥沃度地点の地力正効果について、収数に対する局所管理効果（2001年）を図12-17に示した。

4) 岡田園場における試験

岡田園場でも明治園場と同様な方法で地力マップを作成して可変施肥を行った結果、農道から30mまでの切り土部はほぼ目標の窒素吸収量（8.3kgN/10a）に制御できたが、それ以南の盛り土部では無肥料としたものの目標値を大幅に超える窒素吸収量を示す地点を生じた（図12-18）。また、収穫期土壌窒素吸収量の実測値は、施肥設計時の土壌窒素吸収量予測値と相関はあるものの、切り土部も盛り土部も推定値が実測値を大きく下回った。一方、大区画化工事の際の切り土・盛り土の厚さと土壌窒素吸収量との関係は図12-19に示すように正の相関があった。岡田園場におけるもう一つの目的である農家の判断による局所管理区（農家管理区）と農試管理区を比較した結果、表12-15に示すように収量の平均値、バラツキはほぼ同等であった。

表12-14 水稻窒素吸収量に占める下層土由来窒素量の推定（沖柳園場；2002年）

圃場内の地点 ¹⁾	単位: gNm ⁻²								
	収穫期窒素吸収量			肥料由来窒素吸収量 ²⁾	土壌由来の窒素吸収量			土壌窒素吸収量に占める下層土由来の比率(%)	
	無処理区	無底区	有底区		下層土	作土	作土+下層土		
									A
高肥沃度	平均値	10.2	9.1	4.7	0	4.4	4.7	9.1	48.4
	標準偏差	0.5	0.1	0.6					
中肥沃度	平均値	8.6	6.6	5.1	1.7	1.5	3.4	4.9	30.6
	標準偏差	1.3	0.5	0.9					
低肥沃度	平均値	10.6	8.9	7	3.6	1.9	3.4	5.3	35.8
	標準偏差	0.7	1.5	1.4					

注1) 高肥沃度地点は無施肥、中肥沃度地点はLP100を1.8gN/m²、穂肥塩安を1gN/m²施用、低肥沃度地点はLP100を5.0gN/m²、穂肥塩安を1gN/m²施用。窒素の利用率は全て60%とした
2) 基肥窒素は主にLP100、穂肥は塩安であった。施肥窒素利用率は基肥、穂肥とも60%と仮定した

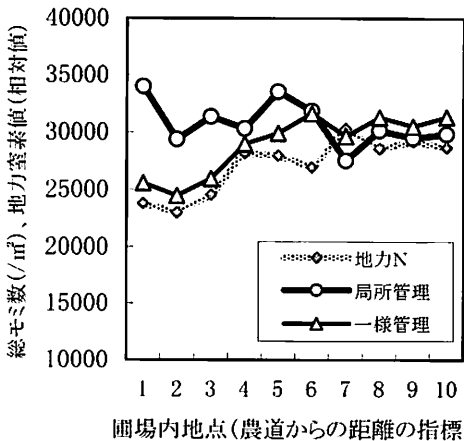


図12-17 収数に対する窒素肥料の局所管理効果（2001年：明治園場）

注）地力窒素値は土壌全窒素濃度の根域積算値に係数を乗じて収数と比較しやすいようにした

農家管理区			農試管理区					農家管理区		
←	→		←	→	←	→	←	→		
10.0	8.3	6.9	8.0	10.7	13.2	15.1	15.9	平均		
0.3	0.8	0.1	0.6	0.6	0.9	2.1	0.7	標準偏差		
2.8	9.1	2.1	8.0	5.5	6.6	13.8	4.7	変動係数		
8.8	7.1	6.3	6.2	7.3	10.7	13.0	11.3	平均		
0.9	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8	2.0	0.8	標準偏差		
9.8	8.8	9.1	11.9	8.2	7.5	15.7	7.0	変動係数		
8.9	9.0	10.2	8.8	9.4	8.8	8.5	8.1	平均		
1.7	0.3	2.2	0.5	0.1	1.5	0.4	0.4	標準偏差		
19.4	3.2	21.7	5.7	1.3	17.0	5.1	5.3	変動係数		

山側(東)

←

農道

→

西

図12-18 岡田圃場におけるメッシュ毎の窒素吸収量
注) 各メッシュの東西方向の幅は10m

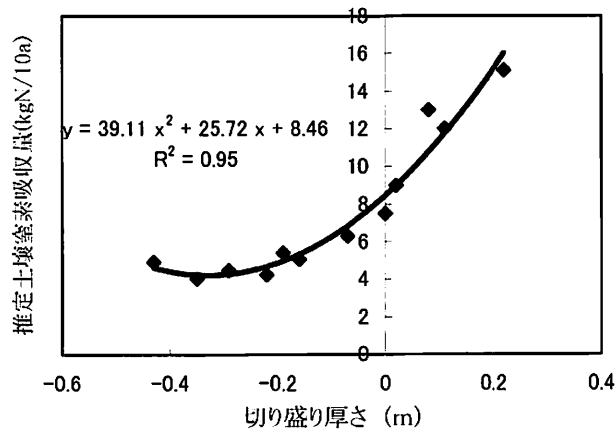


図12-19 大区画水田の切り盛り厚さと水稻の土壌由来窒素吸収量との関係（岡田圃場、2002年）

表12-15 農家管理区と農試管理区との比較

	水稻N吸収 kgN/10a	整粒歩合 %	精玄米重 kg/10a	くず米重 kg/10a	千粒重 g	登熟歩合 %	モミ数
農家管理区	10.7	88.5	632.1	34.8	22.4	83.0	31738
標準偏差	2.8	4.4	43.4	16.4	0.5	7.3	3262
変動係数	26.3	5.0	6.9	47.3	2.2	8.8	10.3
農試管理区	10.3	87.9	623.4	33.6	22.3	82.5	32132
標準偏差	3.3	4.8	58.8	19.2	0.5	10.2	3184
変動係数	31.9	5.4	9.4	57.0	2.4	12.4	9.9

注) 岡田圃場(2002年)

4. 考察

1) 大区画水田における地力ムラの持続性

大区画水田では、工事方法や土壌・栽培条件の違いがあるために、地力ムラが何年程度持続するのについて一定の見解は得られていない。沖柳圃場では、表12-7に示すように工事後3年目～7年目に至る4カ年間に土壌窒素吸収量の圃場内変異が同様であったことから、実証試験開始時と実証試験終了時の間に地力ムラはほとんど変わらなかったと推定される。

2) 地力マップの作成

地力ムラに対応した施肥管理を行うには、地力マップが必要である。地力マップの作成方法には、土壌の調査・分析をもとに組み立てる方法と、収量から換算する方法、あるいは両者の併用が考えられる。土壌を採取して、その窒素無機化量から水稻の窒素吸収量を予測するには、水稻による無

機化窒素の利用率を知る必要があるが、利用率は、代かき程度や耕起深の違い、根張り等が複合的に関与しているため、それら素過程の積み上げから土壌窒素吸収量を推定することは一般に困難である。そこで、2000～2002年の沖柳圃場の試験では坪刈り水稻の窒素吸収量データを地力マップとして使用した。すなわち、可変施肥量の計算基礎とした地力マップは1998年あるいは1999年の収穫期坪刈り水稻の窒素吸収量から施肥窒素量に一定利用率を乗じて差し引いたものを利用した。

3) 土壌由来窒素の推定における下層土の重要性

営農現場での地力マップ作成には、上記のような坪刈り水稻の窒素吸収量を利用する方法は労力・コスト的に困難である。そこで、近赤外法と収量データを併用した地力マップ作成法を考案した(図4-18)。この方法を適用した明治圃場では、図12-17に示すように地力ムラの相対的な傾向は把握できたが定量性からみると不十分であった。この原因の一つとして、下層土は不耕起条件なので作土と同じ全窒素濃度であった場合、窒素無機化量が少なくなることを考慮する必要があったと考えられる。一方、岡田圃場では施工図を利用して旧圃場の境界、標高を新圃場と比較することにより、地力マップ作成時間の削減が図られ、また施工図を利用した盛り土厚の推定は土壌窒素吸収量の推定精度を大幅に向上させた(図4-17)。

土壌採取によって地力マップを作成する場合、地力ムラに対する作土とそれ以下の土壌の寄与を定量的に明らかにしておくことは重要なことである。そこで1999年10月の採取土について作土と下層土に分けて土壌からの窒素無機化量を調べ、収穫期の窒素吸収量や収量、収量構成要素との相関を検討した結果、生育収量ムラの要因として作土よりも下層土の寄与が大きいことが明らかになった(表12-13)。また、2002年度の遮根試験の結果によれば、水稻窒素吸収量の30～50%の窒素は下層土由来であった(表12-14)。これは、基盤整備を行っていない水田における報告例における下層土由来窒素割合(20～30%)よりも大きい。作土移動を伴うような大区画水田の地力マップ作成では下層土の肥沃度評価が重要であることを示している。また、岡田圃場において盛り土厚を考慮することによって土壌窒素吸収量の予測値と実測値との相関が著しく向上したことも、下層土の窒素肥沃度を考慮することの重要性を示唆している。一連の圃場試験で実施した土壌採取に基づく地力マップ作成は、地力ムラの様子を作土と下層土に分けて可視化できるというメリットがあり、生育後期の窒素供給を推定して施肥設計に反映させることが可能である。

4) 局所管理システムにおける施肥管理マップ作成

地力マップが得られたとして、どのように施肥設計を行うかは最も重要な問題である。局所管理マップを作成するには土壌養分の利用率、施肥窒素の利用率、養分吸収の作物生育・収量への反映を総合的にシミュレートして最適解を提案できる施肥管理モデルの作成が必要である。2002年の沖柳圃場および岡田圃場の実証試験では、北陸研究センターで開発したRiceNiSMo(図12-6：佐々木ら、未発表)を一部使用して施肥設計を行った。

局所施肥管理では、収穫期の窒素吸収量を目標値近傍に定量的に制御することが先ず求められる。しかし、水稻の生育を均一にさせるには、最終的な窒素吸収量を目標値に合わせるとともに、栄養生長期の終わり頃の生育(草丈、茎数、葉色)に第1関門を設ける必要がある。上記RiceNiSMoでは、目標収量を確保するために必要な幼穂分化期の窒素吸収量や葉面積指数の範囲を定めてあるので、基肥の速効性窒素肥料と緩効性窒素肥料の割合をシミュレートして適切な基肥設計を行うことができる。具体的には、2002年の施肥設計においては、粗玄米重で505kg/10aの収量を目標に設定したが、収穫期窒素吸収量(8.2kg/10a)とともに幼穂分化期の窒素吸収量にも目標収数(25000粒/m²)を達成するのに必要な目標値(3.5kg/10a)が設定された。そして岡田圃場の実証

試験において幼穂分化期の植被率計測結果から推定した葉面積および窒素吸収量は、第1関門の目標値(3.5kgN/10a)を大きく上回っていた。したがって、追肥を行えば確実に倒伏すると想定されたため、農試管理区では穂肥散布を中止した。施肥管理モデルを使用した結果、このような判断を生育期間中に行うことができたが、農家管理区では、動噴による穂肥散布が行われ、結果として倒伏がやや助長されたものと考えられる。このように生育途中で生育指標や窒素吸収量に関する関門を設けて、穂肥の時期や量を生育の年次変動に応じて調節することが倒伏を回避したり、食味向上維持にとって極めて重要であろうと考えられる。

5) 局所施肥管理に使用する肥料

地力ムラを是正するためには、肥料あるいは堆肥等の資材施用量を地力に応じて場所ごとに調節する方法が考えられるが、本研究では、資材の性質が明瞭でかつ可変散布機で散布可能なことを条件としたので、窒素肥料の局所施用による窒素吸収量の制御効果について検討した。沖柳圃場の1999年～2001年の局所管理試験結果からは、次のことが言える。まず、速効性肥料の分施を前提にした可変施肥で大きな地力ムラに対応すると、基肥、穂肥ともに標準施肥量の2倍を超える施肥量が必要になる。このため1999年のように基肥のみで対応した場合には、地力の低い場所では、幼穂形成期以降に生育が停滞して収量増に結びつきにくいことや、2000年あるいは2001年のように穂肥に大量の窒素を投入した場合には葉色が非常に濃くなり、病虫害被害を受けやすくなった。このように、速効性肥料による局所管理は効果が少なくリスクを大きくする可能性があった。また穂肥時期には土壌がぬかるむため、定幅散布機で可変散布を行う場合にスリップによる散布精度の悪化や作業上の障害が懸念される。

以上の速効性肥料の分施可変散布に対して、新潟農総研の高橋・土田は土壌窒素の無機化パターンと類似の溶出を示す緩効性肥料の基肥可変散布により地力ムラの是正が可能であろうと考えた。この考え方は、施肥設計上でも作業上でも合理的なもので、仮に地力マップの精度が悪くてもメッシュ間で水稻に極端な窒素吸収の差を生じる基肥がない点でリスクの少ない方法と考えられた。2001年に緩効性肥料を導入し、明治圃場で基肥緩効性肥料の可変施肥区と分施可変施肥区の収数平準化効果を比較した結果、緩効性肥料の可変施肥による地力是正効果を認めた(図12-17)。また、表12-11に示すように沖柳圃場の2001年収穫期のわら重ともみ重について、緩効性肥料による局所管理効果を認めた。イネツトムシ被害の甚大であった同年に、両圃場とも緩効性肥料によって地力を是正した区は多量の穂肥を散布した分施肥区よりも被害程度が少なかった。これは、葉色が極端に濃くなる時期が無かったためと考えられる。ただし、緩効性肥料全量基肥区では、葉色が低下せず、イネツトムシの被害が多かった。

6) 局所施肥管理の手段として緩効性肥料を使用する意義

緩効性肥料による地力是正は、収量・食味品質のみならず、施肥作業面でも優位である。すなわち、第一に緩効性肥料を基肥として可変散布した場合、散布作業後に降雨があっても流出や硝化・流亡の心配がないこと、第二に基肥で可変散布が終わっているので追肥は均一散布で対応できること、第三に葉色の急激な増加による病虫害への懸念が少ないこと等をあげることができ、緩効性肥料の使用は取り組み易かつリスクが低い方法であると考えられる。また、2002年の沖柳圃場試験では、施用量を無段階に可変できる定幅散布機を基肥散布に使用したことにより、施肥量に段階を設ける必要がなく地力変化に追従した滑らかな可変施肥ができるようになり、肥料溶出の緩やかさと相まってメッシュ間の葉色の差がほとんど認められなかった。さらに、オペレータが施肥マップを全く意識せずに走行に集中できたため作業負担を大幅に軽減でき、可変施肥のための合図補助

員が不要となった。このように、緩効性肥料と施用量無段階可変型定幅散布機を使用する局所管理システムは、営農現場に導入可能なレベルに到達したと考えられる。

7) 地力マップ作成における収量計測コンバインと土壌分析の関係

2002年度の試験では後述の14章図14-4に示すように、土壌分析を基本とした局所管理方式のA方式を実証したわけであるが、今後の普及を考えた場合、収量計測コンバインによる収量マップ取得を基本にしたB方式の可能性も大きいと考えられる。すなわち、収量計測コンバインが利用できる場合には、初年目にはやや窒素施用量を低めにした均一施肥条件で倒伏させないように栽培し、収穫期に収量計測コンバインによって収量マップを作成し、それを窒素吸収量マップに読み替え地力マップを作成する方法が考えられる。この方法には、倒伏した場合に収量が低くなるので土壌肥沃度が過小評価されること、収量を窒素吸収量に変換する式の気象条件による変動幅、施肥窒素の利用率の推定値の仮定など、いくつかの誤差要因がある。しかし、土壌採取・分析を伴う地力マップ作成には調査者が必要であるが、収穫作業は生産者が必ず行う作業なので、作業と同時にデータが収集できるというメリットは大きい。また、生産者が保有するコンバインを収量計測コンバインに改造する費用は5～6条刈りコンバイン本体価格の数分の一から十分の一程度と見込まれる。したがって、土壌採取・分析を必須とする地力マップ作成法よりも普及の可能性は大きい。ただし、収量計測コンバインの精度が不十分な場合には、土壌採取に基づく地力マップ作成手法で補完する必要がある、岡田圃場で実施したような簡略化を図れば実用的な意義は十分あると思われる。

8) 局所管理効果の評価方法

局所管理効果を実証する際の評価方法として、従来は局所管理区で収量等のバラツキが小さくなることで効果を判定していた。例えば、欧米の大区画圃場における局所管理効果の実証試験では、隣接する走行路で均一施肥区と比較し、変動係数が低くなることで局所管理効果を示す方法が一般的である。このような方法をとれるのは地力ムラの程度が局所管理区と均一管理区とではほぼ等しいことを前提としている。しかし、このような前提は地力ムラに比べて試験区の広さが相対的に狭い場合に成り立つ方法であり、常に成り立つものではない。実際に沖柳圃場での試験では、均一施肥区が地力ムラの大きくない場所に配置されたために均一施肥区の収量変動係数が可変施肥区よりも小さくなる場合もあった。そこで、地力ムラが異なる場合でも局所管理効果を実証できる方法を考えた。その考え方を以下に示す。

圃場に均一な施肥管理を行った場合には、収穫期の窒素吸収量は土壌窒素肥沃度と正の相関を持つことが期待される。したがって、肥沃度の違いを相殺するような局所管理を行うと収穫期の水稲窒素吸収量は土壌窒素肥沃度との相関が著しく低くなると考えられる。そこで、沖柳圃場各メッシュ位置の土壌窒素吸収量推定値（1998～2002年の平均値）と各年度・各試験区の水稲窒素吸収量との単相関を計算した結果、表12-16に示すように局所管理を行った場合に相関係数が低下し、窒素吸収量が土壌窒素供給量の変動に影響されなくなったことを示すことができた。

一方、圃場全体で局所管理を実施し、均一施肥を行った年次（1998年）と生育・収量のバラツキを比較する試験を2002年に実施した。この場合、4カ年の間に地力ムラの程度が大きく変化していないことが前提条件となるが、それは表12-7に示すように満たされていた。2002年の沖柳圃場の結果から、緩効性肥料を基肥として地力に応じて可変散布することにより収量の均一化が達成され、食味に関連する玄米タンパク質含量も平準化されることが実証された（表12-17）。このように、地力ムラの年次間変動が少ないと考えられる場合には、圃場1枚単位の試験によって局所管理効果を明確に証明することが可能である。

表12-16 沖柳圃場内の地点ごとの土壌窒素吸収量と収穫期の水稻窒素吸収量との相関

試験区	年次	傾き	相関係数	備考
均一施肥	1998	0.92	0.49	基肥均一、穂肥均一
	1999	0.77	0.67	基肥均一、穂肥無施用
	2000	0.21	0.50	基肥均一、穂肥均一
	2001	0.19	0.17	基肥均一、穂肥均一
	2001	0.97	0.68	緩効性肥料全量均一・基肥
局所可変施肥	1999	0.54	0.47	基肥可変、穂肥無施用
	2000	0.17	0.06	基肥可変+穂肥可変
	2001	-0.07	0.04	緩効性肥料可変+分施均一
	2002	0.09	0.08	緩効性肥料可変+分施均一

注) 地点毎の土壌窒素吸収量は収穫期窒素吸収量から施肥量に利用率を乗じて差し引いて求めた

表12-17 均一施肥と局所可変施肥による収量、籾数等への影響（沖柳圃場）

年次	精玄米重			総モミ数			窒素吸収量			精玄米整粒歩合		
	(kg/10a)			(/m ²)			(kgN/10a)			(%)		
	平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
1998	499	47	10	26640	4366	16	10	2	17	83	5	6
2002	534	52	10	27208	2527	9	7	1	14	90	2	2

注) 栽培品種：1998年はキヌヒカリ、2002年はコシヒカリ。

5. 要約

以上のように、各章で開発されたセンシング、マッピング、コントロールの各サブシステムを統合して3カ所で現地試験を行った。これらを整理すると、次のように要約できる。

- 1) 大区画水田（沖柳圃場）の基盤整備後3年日から7年目の地力ムラを調査した結果、年次の経過とともに地力ムラが解消していく傾向は認められなかった。
- 2) 実証試験では、坪刈り水稻窒素吸収量の実測値から導いた地力マップ（沖柳圃場）あるいは近赤外法による土壌全窒素分析値と収量データの併用により作成した地力マップ（明治圃場、岡田圃場）のいずれを使用した場合も局所施肥管理によって窒素吸収量や収量の平準化に対する効果が認められた。
- 3) 局所施肥管理マップ作成の手順（図12-5）を確立し、2002年の沖柳圃場および岡田圃場での試験で実証した。
- 4) 新規に開発した局所施肥管理ソフト（RiceNiSMo）（図12-6）により、目標収量を定めて局所施肥管理を行うことが可能になった。また、幼穂分化期頃の窒素吸収量にも目標値を設けたので、幼穂分化期頃の生育を植被率で把握し、それに応じた穂肥調整が可能となり、倒伏回避や玄米品質向上に対する効果が期待できる。
- 5) 局所可変施肥に使用する肥料としては、窒素吸収量の制御、省力性、病虫害の被害を助長しないこと等から速効性肥料よりも緩効性肥料が適していた。また、2002年に行った実証試験では、緩効性肥料による可変施肥によって窒素吸収量をほぼ目標値付近に制御でき、収量の平準化、玄米タンパク含量の低位安定化等が実証された。
- 6) 地力マップ作成に収量コンバインを利用することの有利性と可能性について考察した。
- 7) 局所管理効果を実証する方法論として、従来の変動係数による評価は地力ムラの異なるエリア同士での比較が困難であったので、地力ムラの異なる試験区同士でも局所管理効果を比較できる新たな方法を提案した。

（実施課題名：高品質米の低投入型大規模生産技術のシステム化（1998～2002））

13章 水稲局所管理システムの導入条件

齋藤 仁藏

1. 背景と目的

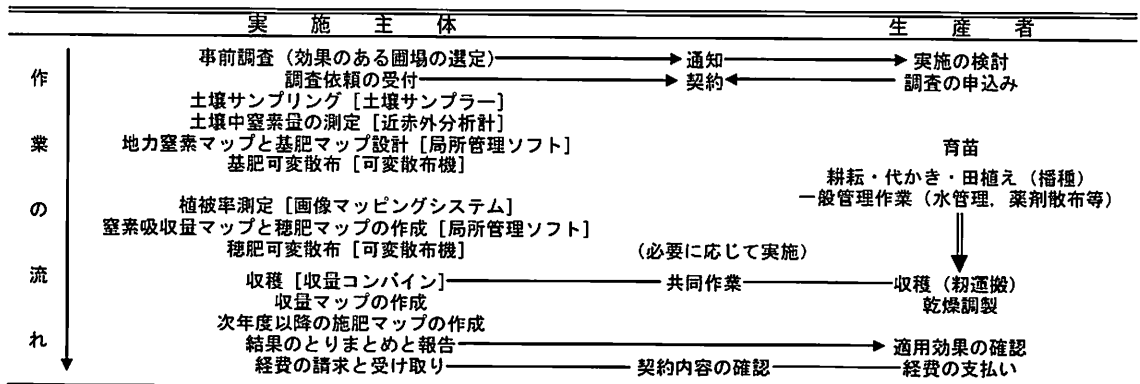
基盤整備による圃場区画の大型化に伴い、地力ムラによる減収や品質低下などの影響が懸念されているが、米の安定的生産のためには、地力ムラを制御するための水稲局所栽培管理技術の開発と普及が必要である。そこで、本章では北陸総合研究部総合研究第1チームが中心となって開発した水稲局所管理システム（以下、単に「システム」と略記）の導入条件として、その実施主体や採算性を明らかにする。

2. システムの導入方向

このシステムに含まれている主要な技術的要素としては、土壌サンプルの採取と近赤外分析計による土壌中窒素量の測定、地力窒素マップと基肥マップの作成、肥料の可変散布、植被率の測定、収量コンバインによる収穫と収量マップの作成などがある。システムの装備や技術的な面を考慮した場合、生産者が実施主体となることは考えられない。したがって、JA等の関係機関がシステムの実施主体となり、生産者との役割分担を行う体制を構築することが必要である。

ところで、技術的な面からは、システムを繰り返し利用することによって、管理の精度が向上することが期待されている。しかし、何回繰り返しせば適切なのかということについて、確かな知見は得られていない。そこで、経営的評価のためにシステムの利用を1回に制約したものをプロトタイプとして、コストなどを推定する。この場合、実施主体と生産者の関係は図13-1のようになり、生産に関わる大部分の作業を生産者が実施する。

システムは、全ての生産者や圃場にとって有効な成果をもたらすとは限らない。システムの運営には相当の資本装備と労力を要する以上、地力ムラが著しく、システムの適用効果が十分に期待できる圃場でなければ採算性を確保することは難しいだろう。したがって、事前調査などによってシステムの適用効果が期待できる圃場を選定し、生産者との関係を構築する必要がある。さらに、システムの利用に当たり、費用の負担、栽培方法などについて両者間に契約が結ばれる必要がある。最終的に、適用効果が著しい場合は問題ないが、効果がほとんどない場合については、経費の支払いをどうするかなどについて、あらかじめ合意しておく必要がある。



注1) 2年目以降は、実施主体は調査を実施しない。生産者は、報告書に基づいて自ら施肥を実施するか、実施主体に基肥散布作業を委託することができる。

図13-1 水稲局所管理システムの実施主体と生産者の関係と役割分担

2年目以降については、基本的には、生産者自らが施肥マップに基づいて可変散布を実施することになるが、散布作業が複雑な場合には、実施主体に基肥の可変散布のみ作業委託できるものとする。

3. 実施主体

1) 想定される実施主体

システムを運営するためには、相当の装備とそれを稼働するための人員が必要となる。結論から言えば、実施主体として想定されるのはJAである。その理由として、次の3点が指摘される。まず、適用範囲の問題である。システムには相当の装備が必要とされることから、適用面積を確保するとともに、これを継続的に利用するだけのキャパシティーが必要となる。近年、JAの広域合併が進み、このようなJAでは、広い面積を対象にシステムを効率的に利用することが可能であろう。2点目は、人員の問題であり、システムを稼働するだけの能力や生産者からの信用が必要とされることである。この点を考慮すれば、JAの営農指導員ならば適当であろう。時には、農業改良普及センターなどの支援も必要とされる。3点目として、このシステムが農家の利益に直結するサービスであり、系統出荷を前提とすればJAの利益にもつながることがあげられる。

そこで以下では、米の品質向上のために、JAが栽培技術や品質に関する情報を生産者に提供している新潟県の2つの先進事例から、それらの取り組みの効果や問題点を明らかにし、システムの有用性を考察する。なお、2事例の取り組み概要は表13-1に示した。

2) 生産者への情報提供と指導を実施しているJAの取り組み事例

(1) J農協J地区

J農協のJ地区では、平成7年産米から「食味マップ」等の作成によって米の食味向上を図る取り組みが行われている。「食味マップ」の作成に当たっては、365集落から農家組合長を通して10～20haに1点程度の割合で収穫物のサンプルを提供してもらっている。このサンプルをJAの職員

表13-1 調査対象の取り組みの概要

項 目	J農協J地区	S農協K地区
土壌分析	過去に調査済み（詳細は不明）	3haに1点の割合でサンプルを採取。Z A-Ⅱで分析し、7段階に分類。
食味分析	各集落（365集落）から、10～20haに1点の割合でサンプルを提供してもらう。S社の食味計を利用。	スーパーコシヒカリ、酒造好適米については、ほとんどの圃場のサンプル約2,000点を分析する。S社の食味計を利用。
人員・分析時間	食味分析に3～4人で1.5カ月	土壌サンプル採取に4人で10日、土壌分析には3人で2.5カ月、食味分析には2人で1カ月
予算措置	食味調査対策として計上	土壌分析の経費は、「健康な土づくり運動事業」のなかで良質米生産研究費として計上
指導体制	集落座談会での、食味値等の分析結果の説明と指導	集落座談会での概要説明と一筆一筆の圃場へのカードによる施肥設計の指導
普及センターとの連携	食味分析の結果を生産者にフィードバックする際にアドバイスを受けた	土壌分析などの技術的指導を受けた
品質面での効果	穂肥の抑制による食味値の向上	食味値の底上げとばらつきの解消
販売面での効果	量販店との取引においてプレミアム価格を獲得	ほぼ全量相対取引で、スーパーコシヒカリ、酒造好適米は一般米より高価格。
その他		農地利活用システム（FARMS）の導入による一筆管理

が、3～4人で1カ月半かけて分析する。

「食味マップ」には、食味に関するデータとしてタンパク質含量、アミロース含量、食味値、玄米白度が地域ごとに示され、マップで色分けされている。また、土づくりや施肥などの栽培上のポイント項目とその達成度、土壌改良材や施肥などに関する栽培管理上の改善ポイントが示されている。

これらのポイント項目は、農業改良普及センターからアドバイスを受けて作成された。各地域の改善ポイントは、それぞれの地域の担当営農指導員が作成している。

J地区では、夏場にフェーン現象等によって水稻の高温障害が続発している。「食味マップ」が作成されるようになった後でも、平成10、11年には、高温障害によって食味が著しく低下した。しかし、平成12年は同様に高温であったにもかかわらず、食味値が回復した（図13-2）。その原因は、「食味マップ」等に表示されている過去の成績を受け、JAが穂肥の投入を押さえるよう指導したことにあると考えられる。この効果は、「食味マップ」の作成を継続して取り組んできた成果といえよう。これらのデータは、取引先にも提示しており、量販店とプレミアム価格での取引を実現させている。

(2) S農協K地区

S農協のK地区では、土づくりを基本として取り組みを進めており、全戸から承諾書を取り付けて土壌改良材や堆肥の散布を実施している。これに加え、土づくりを効果的に進め、米の品質と食味を統一する目的で土壌調査を実施している。土壌サンプルは、100地区の350カ所から採取する。これは、3haに1カ所の割合である。採取した土壌サンプルは、全農のZ A-Ⅱで分析され、その結果に基づいて地力マップが作成される。さらに、周辺とは異なる性格を持つ圃場や地力差が認められる境界などに関する情報を取り入れるため、担当者がそれぞれの地域の代表者と相談し、地力マップを修正する。これによって、7段階の地力マップが作成されている。

コシヒカリの特殊な品目である「スーパーコシヒカリ」と酒造好適米を生産する場合は、それぞれの土壌条件、地力、転作跡の是非などによって施肥設計が定められている。具体的施肥設計の内容等は、これらを生産する各生産者にカードで配布され、指導が行われる（図13-3）。なお、このカードは圃場に掲示される。

収穫前には、さらに荷受け用のカードが生産者に配布され、CEへ生産物を搬入する際にカードを提示してもらい、品質のチェックが行われる。カメムシ斑点米の多いものや、倒伏して汚れているものは別のサイロに搬入され、別途選別されるため、選別ではじかれた分だけ生産者の収入は減ることになる。特に、倒伏したものについては、指導した施肥設計を守らずに高単収となったことが原因であると考えられている。このため、生産者も指導を守る必要性を感じており、結果として倒伏するものは減少している。JAは、これら2品目を生産する圃場全てから生産物のサンプルを収集し、食味値を計測し、検討の材料としている。

また、農地利活用システム（FARMS）の導入が、一筆一筆の圃場に対してきめ細やかな指導を効率的に実施することを可能としている。販売面では、ほぼ全量が相対によって取引されている。

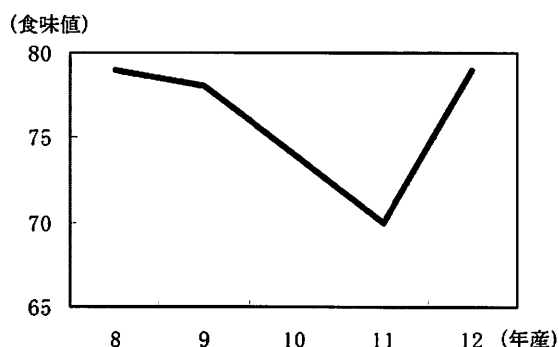


図13-2 J農協J地域の食味値（平均）の推移

注1) 用いている食味計は、S社のもの。

2) 平成11年産米については、登熟期の高温等によって一等米比率も著しく低下した。



図13-3 S農協K地区が施肥等の指導に用いているカード

注) このカードには、使用する肥料、薬剤名および使用量などが明記されており、圃場に掲示される。

特に、「スーパーコシヒカリ」と酒造好適米は、プレミアム価格が実現している。

3) 取り組みから期待される効果

このような取り組みを進めるためには、施肥設計、食味値等の具体的な数値に基づいた指導が行われること、生産物のチェックが行われること、市場からの評価と価格の向上につなげること、地域的な取り組みとすることが必要であろう。JAがシステムを導入する場合にも、これらの要素が必要となるだろうが、施肥設計については詳細なデータに基づいた指導が実現されるだろう。一方、システム導入の効果を活かすためにも、特に品質の向上に基づいたマーケティング戦略につなげることが重要であろう。

また、これらの事例からは、データ分析とそれに基づいた指導が、生産面では食味向上に対する生産者の意識改革効果、販売面では販売先に対する品質保証効果をあげていることがわかる。生産者は地域全体としての品質向上を目指すようになるため、彼らの意識は集落範囲で穂肥の過剰施用などに対する生産者どうしの相互チェック機能を働かせることに発展している。販売面では、取り組みに関するデータを実需者側に提示することによって、実需者側も納得して購入することができるのである。

取り組みを進めるに当たっては、農業改良普及センターからの技術的なサポート、調査や指導に当たる人員の確保、分析機器の整備および生産者からの理解を得ることも不可欠である。しかし、いずれの事例も費用対効果の分析はなされていないのが現状である。

4. 水稲局所管理システムの採算性

1) 水稲局所管理システムのコスト

システムの主な作業内容は、図13-1に示したが、土壌サンプリング作業や施肥作業には、組作業の関係から最低2名の人員が必要である。以下、システムの運営については最小ユニットである2名体制を想定し、作業の実行可能性や経費を検討する。

まず、それぞれの作業に関して、作業適期、作業能率、降雨などから年間に実施可能な面積を最も制約する作業を明らかにする必要がある。ただし、作業可能面積をできるだけ拡大するために、

品種の選定や配置はできるだけ考慮されるものとする。制約を受ける可能性が高い作業は、①植被率の測定—画像マッピング—穂肥マップの作成、②穂肥散布、③収穫の3つである。

①の作業は、水稻の穂首分化期に実施することが最も望ましいが、作業適期が短いこと、梅雨時期であること、コンピュータでの画像展開に多くの時間を費やすことが制約となっていた。しかし、作業適期を前後にやや拡大しても問題がないことや、撮影画像数を減らすことで制約を大幅に緩和することができている。植被率測定の作業適期は、おおよそ6月末から7月上旬の15～18日間程度とみられている。この作業は、多少の降雨でも実施可能であるため、作業可能日数は12～13日程度としてよいだろう。作業能率は1.5hr/haで、2人の組作業であるため、1日8時間労働とすれば年間おおよそ60～70haの作業が可能である。なお、取得した画像データの分析、すなわち画像マッピングの作業は、コンピュータに夜間実行させておけば翌日までに自動的に行われるので、労力はほとんど必要ないとみられる。

②の穂肥散布作業については、①と同様に作業適期や梅雨の影響による制約がある。作業適期は、7/12～30までの19日間と想定されている（注1）。作業可能日数率を7割程度（注2）とみると、作業能率が1.5hr/haで、2人の組作業であるため、年間おおよそ70haの作業が可能である。穂肥については、①の作業を受けて実施するため、その分析結果によっては実施する必要のない圃場が発生する。実際、現地試験でも①の分析結果から穂肥を実施する必要性がないものもあった。したがって、②の作業は①の作業よりも制約は少ないとみられる。

③の収穫作業については、品種を早生から晩生までバランスよく配置することによって、9月上旬～9月下旬の25日間程度の作業適期を設定することができる（注3）。収穫作業は、降雨の影響を受けるため、作業可能日数率は7割程度とみられるが（注4）、気象変動や安全性を考慮し、それを6割と想定する。コンバインによる刈取の作業能率を4hr/haとすれば、作業可能面積は30haである（注5）。収穫作業において、籾運搬作業を生産者に負担させるとすれば、システムに配置された2名はそれぞれコンバイン作業を担当することが可能となる。したがって、2台のコンバインを配備すれば、60haの作業が可能となる。

これらから、2名の配置を前提としたシステムの年間最大稼働面積は、収穫作業によって制約され、60haと想定される。他の作業についてもタイム・スタディを実施し、作業能率を算定した結果、システムが年間60haを実施する場合に必要とされる作業時間は、約3,400時間となる（表13-2）。1人当たり年間就業時間を1,800時間とすると、システムの運営にはほぼ2名分の労力が必要であることもわかる。なお、土壌サンプリングに関する作業については、システムの基本である10m×10mメッシュに1点で1ha当たり100点実施するものとしているが、基盤整備に伴う切り土、盛り土などの状況が明らかであれば、サンプル数を少なくすることも可能であろう。

システムの運営に必要な装備や労力を新たに導入すると仮定した場合、年間の全体経費のうち推定可能なものだけでも2千5百万円程度になる（表13-3）。装備のなかには市販されていないものもあるため、その導入価格は開発担当者からの聞き取り調査に基づいた。また、人件費については、先の労働時間の推定から2名の専従担当者を配置するものとして評価することが適当である。すなわち、JAにはこの業務に割く余力がなく、新たに増員するということである。配置される2名のうち、1名は専門的知識を有することが望ましいことや、業務のリーダーシップをとり、生産者に対して説明を行うという理由から、大卒で40～45歳程度の年齢を想定した。また、もう1名は作業機の操作ができる助手として位置づけ、高～短大卒で30～35歳程度の年齢を想定した。第53回労働統計年報（平成12年）から推定した賃金に基づいて、前者は8百万円、後者は6百万円の人件

表13-2 水稲局所管理システムの圃場調査等に要する年間作業時間

作業項目	作業，試算の内容等	組作業 [A] (人)	作業能率 [B] (hr/ha)	1 ha当たり 作業時間 [C=A*B] (hr/ha)	年間 作業時間 [D=C*60] (hr/y)
土壌サンプリング 作業	1 サンプルの採取に約1.5分， ボールの設置・回収等の作業を含 む	2	3	6	360
土壌サンプルの前 処理およびサンプ ラの洗浄	1 サンプル当たりサンブラからの 抜き取りに1.33分，サンプルの分 割に0.82分，サンブラの洗浄に 1.62分	1	6.3	6.3	378
土壌中窒素の測定	近赤外線分析機による分析，1点 につき1.5分，機器の準備，デー タの保存等の作業を含む	1	3	3	180
基肥の散布	L P 肥料と化成肥料の2回散布， ボールの設置作業を含む	2	1.5	3	180
葉色検出	水稲を上方からカメラによって撮 影	2	1.5	3	180
画像マッピング作 業	「葉色検出」の作業で得たデータ の分析	1	0.5	0.5	30
穂肥散布	植被率に応じて必要の認められる 圃場に散布，ボールの設置作業を 含む	2	1.5	3	180
収量コンバインに よる収穫作業	オペレータ（職員）1人，当該圃 場の生産者が補助員として参加 （初運搬等）	1	4	4	240
データの整理・分 析，報告書の作成 および当該生産者 への説明	1件につき約2日	— — —		16	960
作業機器の点検・ 整備	1日1時間，1ヶ月20日として 試算	— — —		— — —	240
打ち合わせ等	1日30分×2人，1ヶ月20日 として試算	— — —		— — —	240
一般管理（予算管 理，施設管理，人 事管理等）	1日1時間，1ヶ月20日として 試算	— — —		— — —	240
合 計					3,408

注1) 圃場作業には，移動時間は含まれていない。また，その他の雑務はパート労働者で補う。
2) 圃場区画は，1haとして算出した。
3) 収穫作業における補助員の労働時間は算入しない。
4) 1ha当たり作業時間については，「土壌サンプリング」関連作業は100点のサンプルを取り扱う
ものとした。また，年間作業時間は60haを実施するものとしたが，穂肥散布については必要な
圃場にのみ実施するため，ここに示した時間より少なくなる。

表13-3 水稲局所管理システムにおいて圃場調査に要する施設、機械、機材、要員等およびその経費

費 目	数 量	価 格 (円)	耐用年数 (年)	年間経費 (円)	備 考
建物	1	20,000,000	20	900,000	農機具格納，作業所
トラクタ	1	2,300,000	8	258,750	セミクローラ(26ps)
可変散布機	1	1,600,000	5	288,000	アタッチメント
土壌サンブラ	1	570,000	5	102,600	アタッチメント
画像マッピングシステム	1	2,000,000	5	360,000	アタッチメント，ソフトウェア
収量コンバイン	2	11,000,000	5	3,960,000	6条日脱型コンバイン+改造費
C P S + 関連機器	1	800,000	5	144,000	
軽トラック	1	800,000	4	180,000	
採土用円筒	500	6,200	5	558,000	
近赤外分析計	1	16,000,000	10	1,440,000	
O A 機器		2,000,000	4	450,000	パソコン2台，プリンタ等
事務用品等諸経費				1,000,000	
職員A	1	8,000,000		8,000,000	専門的知識を有する
職員B	1	6,000,000		6,000,000	助手
パート	1	1,500,000		1,500,000	
合 計				25,141,350	

注) 経費の推定において，電気・ガス・燃料等の光熱費，水道料，土地購入費もしくは借地料，施設・機械の修繕費，乗用車
等の保険料，通信費，利子，各種税金等は含まれていない。

費を必要とするものとした（注6）。

前述のように、ここでは生産者がシステムを利用できるのは、初年目の1回として仮定しているが、基肥散布作業だけは生産者が要請した場合、2年目以降も実施主体が作業を受託する体制としている。なぜならば、肥料の散布量が多いところと少ないところが複雑に配置されている場合には、生産者自身がその作業を実施することが困難であると想定されるからである。したがって、初年目についても基肥の散布作業については実施主体が作業受託し、生産者から作業料金を受け取るという方式とする。

肥料散布の作業料金は、農業委員会が定めているような一般の作業料金の中には見あたらない。そこで、システムではトラクタを用いて肥料散布を行うことから、水稻作業料金のうちトラクタ作業である耕耘・代かきの作業料金に基づくことにした。全国農業会議所の調査によれば、耕耘から代かきまでの作業料金は、約16,000円/10aである（注7）。平成12年産「米及び麦類の生産費」から、作業を受託する立場にある大規模農家の10a当たり耕耘・代かき作業時間を見たところ、約2時間であった。これらから、トラクタを用いる作業の1時間当たり作業料金を8,000円と評価した。肥料散布の作業能率は1.5hr/haであり、10a当たりでは9分となることから、トラクタ作業に関する料金は1,200円/10aと評価した。また、基肥散布には、肥料を運搬したり散布量を指示する補助作業員も必要である。先と同様に、水稻作における男子機械作業補助者の1日あたり支払額は、約8,000円である（注7）ことから、1日8時間労働とみれば、同様に10a当たり150円とみることができる。両者をあわせると1,350円/10aとなるが、移動の時間などは考慮されていないため、端数を切り上げ、基肥散布の作業料金を1,500円/10aとした。

表13-3に示されている金額には、電気・ガス・燃料等の光熱費、水道料、土地購入費もしくは借地料、施設・機械の修繕費、乗用車等の保険料、通信費、利子、各種税金等は含まれていない。また、前述したように基肥の可変散布作業は作業を受託する方式なので、その作業料金収入を見込むことができる。以上から、年間の全体経費は大まかには2千6百万円程度と想定される。1年当たり実施面積は60haなので、その10a当たり負担は43,333円となる。システムの実質的ユーザーである生産者が、この金額を負担できなければ、その採算性は確保されない。したがって、生産者はこの金額を上回るメリットを享受できるものでなければならない。

以上のように、システムを利用することによって生産者が実施主体に対して負担するのは、初年目の圃場調査費43,333円/10aと基肥散布（可変）の作業料金1,500円/10aとした。また、以下のモデル・ケースでは、生産者は2年目以降も基肥散布作業を実施主体に委託するものとした。

2) 水稻局所管理システムの導入効果

システムの利用によって、生産者が負担する物材費のうち肥料費と光熱動力費が影響を受ける。まず、システムでは基肥に緩効性肥料を用いることや可変散布をするため、肥料費に変化が生じる。現地圃場（沖柳）において、システムの適用前（1998年）と適用後（2002年）の使用した肥料の種類と量の比較をしたものが表13-4であるが、10a当たり肥料費は1,337.3円増加した。

光熱動力費については、肥料散布とコンバイン収穫に関する燃料費等が節約できる。平成12年産「米及び麦類の生産費」における「北陸平均」に基づく、動力を使用する作業時間のうち基肥散布作業とコンバイン収穫作業（収穫作業には初運搬作業も含まれているため、コンバイン作業時間はその時間の半分とした）の占める割合は約16%であった。光熱動力費には、電気代なども含まれていることも考慮し、その節約効果を大まかに15%、428.6円とした。以上から、システムの導入によって、生産者が負担する物材費は909円/10a増加するとした。

表13-4 投入肥料の変化 (1998－2002)

年	散布方法	施肥時期	肥料名	単価 (円/kg)	10a 当たり	
					施肥量 (kg/10a)	コスト (円/10a)
1998	均一散布	基肥	尿素特50合	93.5	15.0	1,403
		穂肥	尿素特50合	93.5	10.0	935
		計				2,338
2002	可変散布		LP100	190.0	2.7	521
		基肥	PK08	85.0	31.4	2,668
			塩加燐安086	87.0	3.9	341
		穂肥	塩安	41.5	3.5	145
		計				3,675

表13-5 水稲局所管理システムの適用による増収および増益効果

現地圃場（沖柳）の単収 (kg/10a)			水稲局所管理システムの適用による 増収および増益効果		
	適用前 (1998)	適用後 (2002)		増収効果 (円/10a)	増益効果 (円/10a)
精玄米重	499	534	ケースA	10,100	7,691
			ケースB	8,933	6,525
くず米重	35	30	ケースC	8,350	5,941

注1) 全て一等米と想定し、「ケースA」では60kg当たり一等米価格を18,000円、「ケースB」では16,000円、「ケースC」では15,000円、くず米価格を1kg当たり80円として「増収効果」を算出した。

2) 「増益効果」は、「増収効果」から物材費の増加分(909円/10a)と基肥散布の作業料金(1,500円/10a)を差し引いたものである。

一方、システムの適用によって生産者が得られる増収効果を現地圃場（沖柳）における適用前（1998年）と適用後（2002年）の比較からみると、精玄米重は499 kg/10aから534 kg/10aへと35 kg/10a増加した（表13-5）。また、屑米は35 kg/10aから30 kg/10aに減少している。ただし、沖柳圃場における増収からは、作柄による影響が排除されていない。新潟県における1998年と2002年の作況指数は、それぞれ97、104であった。また、1998年は「キヌヒカリ」を、2002年は「コシヒカリ」を用いており、品種の違いによる影響も排除されていない。すなわち、増収についてはシステムだけの適用効果が確認されているわけではない。しかし、本章ではこれ以上の検討は不可能なので、この数値をもとに評価を行うことにする。

以上から、米の60 kg当たりの価格が18,000円、16,000円、15,000円の3ケースを想定すれば、増収効果から物材費の増加分と基肥散布の作業料金を除いたものは、それぞれ7,691円、6,525円、5,941円となる（表13-5）。

3) 水稲局所管理システムの採算性

費用負担と効果を単純に比較すれば、前者の方が相当大きいことは明らかである。しかし、システムの技術的特性として、増益効果が何年間か持続することが期待される。土壌肥料分野の研究成果にも、圃場の地力ムラはなかなか解消されないということが示されている（注8）。ただし、システムの適用効果がどれくらいで、何年持続するかは検証されていない。

ここでは、システムの適用によって、生産者が同額の増益効果を継続的に享受できるものと仮定する。このような仮定をおくことによって、その効果が何年持続すればシステムの利用に対する費用負担を相殺できるか推定できるようになる。システムの導入から得られる効果が持続する期間と、生産者が圃場の調査に負担できる金額との関係は、資本回収期間法（注9）によって図13-4のよ

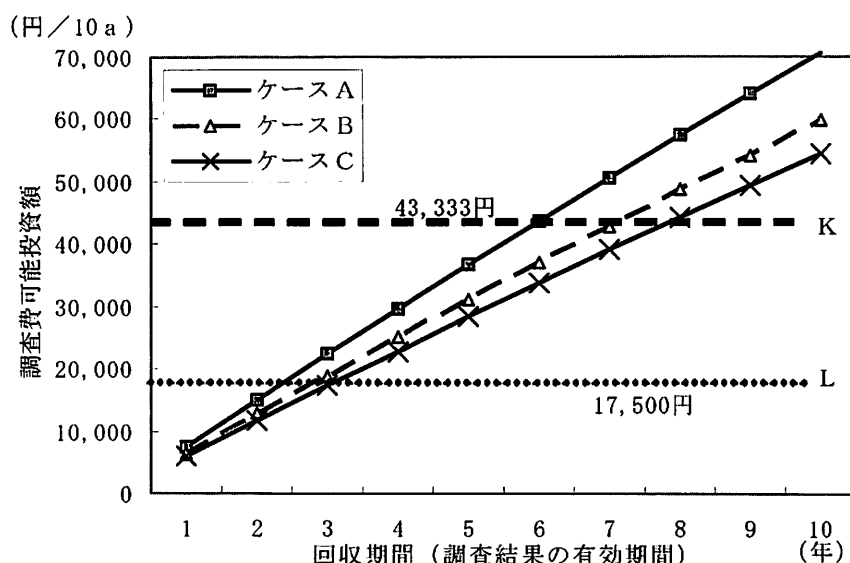


図13-4 水稻局所管理システムの適用効果に基づいた10a当たり調査費可能投資額の上限

- 注1) ケースA～Cは、60kg当たり米価がそれぞれ18,000円、16,000円、15,000円の場合である。
 2) Kは全費用の10a当たり負担とされる43,333円を、Lはそこから労働費を除いた費用17,500円を示している。
 3) 利息は、農業近代化資金の利息を参考に年1.6%とした。

うに示すことができる。先述の3ケースを想定すれば、生産者が調査費として43,333円（図13-4のK）を負担するためには、システムによる局所施肥管理の効果が6～8年間持続する必要があると推測される。

ただし、次のような場合は、調査費用の回収期間をさらに短縮できる。まず、得られる効果は圃場によって異なるため、本試験以上の増収が得られた場合があげられる。システムの適用試験を実施した圃場では、適用前においても単収が約500kg/10aもあったことや、試験における目標単収を高く設定していなかったことなどから、増収効果がほとんど得られなかったとみられている。そのため、地力ムラが著しく、単収が低いような圃場ならば、本試験結果以上の効果が得られることが期待される。

次に、2年目以降の基肥の可変散布作業を生産者が自ら実施した場合である。この場合は、施肥マップの状態が生産者でも可変散布を容易にできるものである必要がある。基肥の可変散布を生産者が実施することによって、その作業料金が節約されるため、図13-4の線の傾きが大きくなり、回収期間は短縮される。しかし、施肥量を多くする場所と少なくする場所が複雑に配置されているような場合は、実施主体に作業を委託する方が望ましいだろう。

システムの年間経費のうち約6割が人件費であるが、これが節約された場合にも生産者への負担を軽減させることが可能である。システムの運営には、年間でほぼ2名分の労働時間が必要であるため、経費を推定するうえで2名分の人件費を計上したが、実際にはJAの職員が交替しながら担当し、効率的に実施していくことが現実的な運営方式となるだろう。したがって、専任担当者を配置する必要がなければ、まるまる2名分の人件費を計上する必要がなくなるため、経費の節減につながる可能性がある。

労力削減の可能性としては、次の3点が考えられる。1点目は、土壌の採取数を削減することである。例えば、基盤整備において切り土部、盛り土部の状況が明らかで、それぞれのカ所が同様な特性を持っているならば、土壌サンプル数を少なくすることができる。これは、現地圃場（岡田）

でも実施された。2点目は、追肥作業が不要となることである。基肥で全施肥量を投入することが可能であれば、この作業は不要となる。植被率の測定の結果、そのような判定が下されるものもありうる。この点についても、現地圃場（岡田）における実施例があった。3点目は、報告書の作成などが、パターン化、オートメーション化されることによって、この労働時間を削減する余地が残されていることである。

このような労力の削減によって人件費を減らすことは、図13-4において採算ラインが線Kから線Lへ向かって低下することを意味する。極端な話では、実施主体の人件費を考慮しなければ、生産者は3年で経費を回収できることがわかる。しかし、そのようなことはありえない。システム運営の担当者がJA職員とすれば、人件費は固定費として考えなくてはならない。そのため、その年間の人件費を他の仕事との関係に基づいて分配し、システムに要する人件費を算定する必要がある。システムの運営には相当の労力が必要であり、投入した労力を詳細に把握し、その採算性を検証していくことが実施主体には求められる。

一方、システムを年間60haに適用できなければ、採算性は悪化する。さらに、適用する圃場は毎年更新されなければならない。システムの採算性を検討する際には、適用する必要性が認められる圃場はどのくらい存在するか、そしてそれが継続的に発生するかどうか確認する必要がある。また、適用する圃場が分散した状態になり、多大な移動時間を必要とするならば、作業能率が悪化し、60haを達成することができなくなるだろう。これらの点を考慮した場合、基盤整備事業の進捗にあわせて、まとまった面積が確保されることが望ましいといえよう。

その他、ここでは評価できなかった生産者側のメリットとして、倒伏の軽減をあげることができる。倒伏は、生産物の品質低下、収穫ロスの増加、収穫作業能率の低下などの悪影響を与えるため、これを避けることができれば、生産者は相応の効果を得ることができよう。

5. 終わりに～残された問題点～

このシステムは、地力ムラを制御するという点では優れた技術であると考えられるが、一方では次のような問題が残されている。

まず、地力ムラを制御するためには、システムを繰り返し利用することが有効であるとされているが、その場合、生産者への費用負担がさらに増加する懸念がある。例えば、収量コンバインを2年続けて利用するとすれば、適用面積を半分にするか、コンバインの台数を倍増し、臨時のオペレータを確保しなければならないのである。ケース・バイ・ケースで、システムを圃場に適用する方法を変えることも考えられるが、どのような適用のあり方が望ましいのかが確立した時点で、コストの試算をやり直す必要がある。

また、システムを適用した例が少なく、どのような圃場にどれだけの効果を期待できるのかは、まだ明らかになっていない。今回の現地試験に基づいた評価では、増収効果は30 kg程度にとどまったが、さらに単収を向上させられる可能性が残されていると推察される。なぜならば、システムのねらいは増収よりもむしろ、品質の向上に重点がおかれているからである。それ故、システムの導入効果については、増収に加え、品質の向上も同時に評価される必要がある。

品質の向上という点では、玄米タンパク含量の減少が確認されている（表12-12）。しかし、これを価格に反映させ、評価するだけの市場データは無い。むしろ、JAがこのようなデータに基づいたマーケティング戦略を展開し、米の単価を向上させていく取り組みが求められる。この点は、先の事例分析でも指摘されているところである。なお、システムを適用することによって、米の

60 kg当たり単価が500円向上すると仮定した場合、先の資本回収期間法を用いた分析では、回収期間が4年程度に短縮できるという結果が導かれた。

さらに、事前に効果がある圃場を選定する技術がないことも問題である。生産者に費用負担を強いるとすれば、生産者側にはそれ以上のメリットが約束されなければならない。したがって、地力ムラがどの程度であれば、システムの適用効果が十分に発揮できるのかについて、何らかのガイドラインが必要とされるだろう。

以上のように、システムの運営に関して推定不可能な経費があったり、導入効果についてもなお不確実なところもあり、また適用回数なども確立していないため、採算性に関する評価はかなり大まかなものとなった。しかし、今回は採算性の評価に関するフレームを示すことができたため、今後具体的なデータを明らかにすることができれば、再び試算することは十分可能といえよう。

注

- 1) 開発担当者からの聞き取り調査による。
- 2) 八巻ら（1993）によれば、7月中下旬の追肥作業の作業可能日数率は7割程度と推定されている。
- 3) 八巻ら（1993）によれば、早生と中生の組み合わせで作業適期が9/1～21の21日間と想定されている。これに晩生を組みあわせることによって、作業適期を25日程度と想定した。
- 4) 八巻ら（1993）によれば、収穫作業の作業可能日数率は7割程度と推定されている。
- 5) 八巻ら（1993）によれば、5条自脱コンバインで3.6hr/haの作業が可能であるとされている。システムでは、6条刈りのコンバインを想定しており、測定機器の調整作業なども考慮し、作業能率を4.0hr/haとし、1日2haの収穫作業を実施することは可能であると判断した。
- 6) 人件費には、賃金その他、社会保障費、退職金、厚生関連費など雇用するためのあらゆる経費が含まれる。
- 7) 全国農業会議所（2001）参照。
- 8) 大森（1977）、上田ら（1967）、久津那ら（1972）参照。
- 9) 大石（1995）参照。

6. 文献

- 1) 八巻正他（1993）北陸地域における水田農業のコスト戦略と営農モデル．北陸農業研究資料，31，109.
- 2) 全国農業会議所（2001）農作業料金・農業労賃に関する調査結果（平成11年）．調査研究資料，299，131.
- 3) 大森信章（1977）圃場整備水田における排水法と地力差解消に関する研究．近畿中国農業研究，53，10-13.
- 4) 上田弘美・有田昌雄（1967）基盤整備に伴う土壌環境条件に関する研究（第11報）．中国農業研究 36，20-22.
- 5) 久津那浩三・飯田周治・新村善男・上森 晃・瀬川篤忠（1972）水田の基盤整備に関する研究（第1報）．日本土壌肥料学雑誌，43（5），165-171.
- 6) 大石 亘（1995）資本回収期間法，農業技術の経営評価マニュアル．農業研究センター，28-29.
（実施課題名：新技術システムの経営的評価と定着条件の解明（1999～2002））

14章 総合考察—特に水稻局所管理システムの利用と課題について

鳥山 和伸

1. はじめに

本プロジェクト研究は、北陸地域で増加しつつある大規模稲作経営、消費者の良食味米指向の増大、そして住民の環境保全意識を背景に立案され、大規模稲作経営における資材低投入による良食味米の効率的生産を目標として実施された。具体的な研究目的として、分散圃場において移植と直播を導入して作期分散を図る等の合理的管理を可能にすること、大区画圃場において地力ムラを克服した良食味生産を可能にすることを設定した。そして、本プロジェクト研究は、研究内容としては上記の目的達成に必要な手段として生育情報収集処理技術、特に大区画水田における局所管理システムの開発を中心課題として、多くの分野が関与して進められた。

本報告書では、すでに個別課題について1章から13章までに詳細な報告がなされているが、それらは、大きく分けて3つの部分から成る。すなわち、第1に地域農業の動向解析、第2に分散圃場の情報管理と栽培管理、そして第3に大区画水田の局所管理システムの開発と実証、そして評価である。この章では、地域農業の動向解析（1章）および分散圃場の情報管理と栽培管理（2、8、9章）について個別に考察を付け加えることはしないが、大区画水田の局所管理システムについては総括的に考察することとした。それは、システムとして開発されているために個別課題を横断する考察が必要だからである。

そこで、以下の5項目に整理して述べることにしたい。第1に局所管理システム開発の前提である大区画水田の地力ムラの深刻さとその継続性について考察する。第2に水稻の局所管理システムの開発過程について新技術システム開発の視点から整理する。第3に開発された水稻局所管理システムについて、その利用上の留意点を述べ、今後の研究課題を整理する。第4に精密農業（Precision Agriculture）という研究領域における本研究の新規性や意義について述べ、最後に本プロジェクト研究全体の残された課題について述べる。

2. 大区画水田基盤整備と地力ムラ

地力ムラは、圃場の大区画化によって生じることが多いので、先ず基盤整備工事について概観する。水田基盤整備は長い歴史を持ち、明治時代から農道整備や区画整理等が実施されてきた。当初は地主が事業主体であったが、農地解放後は土地改良法に基づき土地改良区を設立して行われてきた。地力ムラが認識されるようになったのは、1965年以降、機械の大型化に伴って30a区画、1ha区画へと区画の拡大が行われるようになってからである。もちろん、工事の計画段階では、区画拡大後に種々の障害が出ないように原地形の傾斜、有効土層の深さ、表土の厚さ等を考慮して適正区画を策定することになっているが、予算的な制約や生産者の負担する工事費があるために、地力ムラの問題よりも工事コストにより工法が選択される傾向にある。例えば、本研究の2002年度実証試験を行った岡田圃場（図14-1）では、原地形の傾斜は1/200程度であるため（図4-13）、旧圃場をまとめて80m×125mの1ha水田を造成するには数10cmの切り盛り工事が不可欠となる。このような場合に表土扱い工法を実施すれば、地力ムラは軽減される。しかし、工事コストが高くなるために表土扱い工法が不完全に実施される場合も多く、そのような場合には深刻な地力ムラを生じる場合がある。岡田圃場の例では、1枚の圃場内での地力ムラは最大で10kgN/10aの土壤窒素



図14-1 基盤整備工事に由来する大区画水田の地力ムラの事例

注) 写真の上から下に向かって約1/200で傾斜している。

三和村岡田圃場 (2002.8.27)

吸収量の差に相当し、もし圃場全体に均一施肥を行えば、土壌窒素肥沃度が高い場所では窒素吸収過剰で倒伏や玄米窒素含量の増加による食味品質の劣化を招くと考えられる。岡田圃場の地力差の原因は、切り土部では表土扱いを行っているにもかかわらず、盛り土部では旧圃場作土を剥がないで、その上にさらに表土を盛っていることに起因すると考えられる (4章)。過去の多くの研究から水稻の窒素吸収量の20～30%が下層土に由来するとされ (鳥山; 2001)、基盤整備後の下層土地力が高くならないように配慮した工事を行う必要があり、そのような工事によって地力ムラはかなり軽減できると推定される。しかし、コスト等の理由で今後とも下層土肥沃度ムラについて考慮しなければ、将来とも水田の大区画化に伴う地力ムラは避けられないであろう。

なお、地力ムラの継続期間については土壌や工法の違いにより様々である (久津那ら; 1972、北川ら; 1988、上田; 1981、大森; 1977)。しかし、少なくとも本プロジェクト研究で使用した沖柳圃場、明治圃場、岡田圃場のいずれの圃場においても、下層土地力の差異が地力ムラの主な原因となっている (4章)。このような場合には、下層土の地力窒素の給源となる有機物が消耗するまでの長期にわたり、下層土地力の差による地力ムラが継続すると予想される。実際、実証圃場として使用した沖柳圃場では、基盤整備後7年目 (2002年) においても、土壌窒素供給量の変動係数が27%であり、通常の水田が数% (久津那; 1972) とされているのに比較して、なお相当の地力ムラを残していた (表12-7)。

以上から、大区画水田の地力ムラは表土扱い工法を実施しなければ、今後とも長期にわたり問題化すると言えよう。しかし、現実には基盤整備コストを抑制せざるをえないという実状がある。したがって、表土扱い工法の低コスト化 (例えば藤森ら; 2001) が重要な課題であり、基盤整備工事方法の改良なくしては、地力ムラは将来とも水稻栽培において無視できない問題として残ると考えられる。

3. 水稻局所管理システムの開発過程と開発の進め方に関する教訓

水稻局所管理システムは、様々な要素技術から成り立つ。そこで、本プロジェクト初年目に開発

構想図が図14-2のように整理された（柴田；1999）。この図によって、局所管理システムが、センシング、マッピング、コントロールの3つのサブシステムの開発を相互に関係させながら完成させていく道筋が明らかにされた。センシング・サブシステムでは圃場の地力、生育状況、収量等を把握し、マッピング・サブシステムではセンシング技術と密接に結びついて、センシング結果を地図化する。さらにコントロール・サブシステムでは、前段で得られた地力や生育・収量等のマップから管理マップを作成し、その管理マップに基づき肥料等の資材を場所毎に可変散布する。

システム開発で重要なのは、各個別技術やサブシステムの精度が最終的な局所管理の精度にどの程度反映されるか検討を行い、必要な精度目標を明らかにしておくことである。本プロジェクトでは、精度目標を定量的に示すことは出来なかったが、図14-2の開発概念図を指針にして研究資源（人、予算）の重点化を図りつつ、5カ年で目標とした「水稻局所管理システム」（図14-3）をほぼ完成させた。

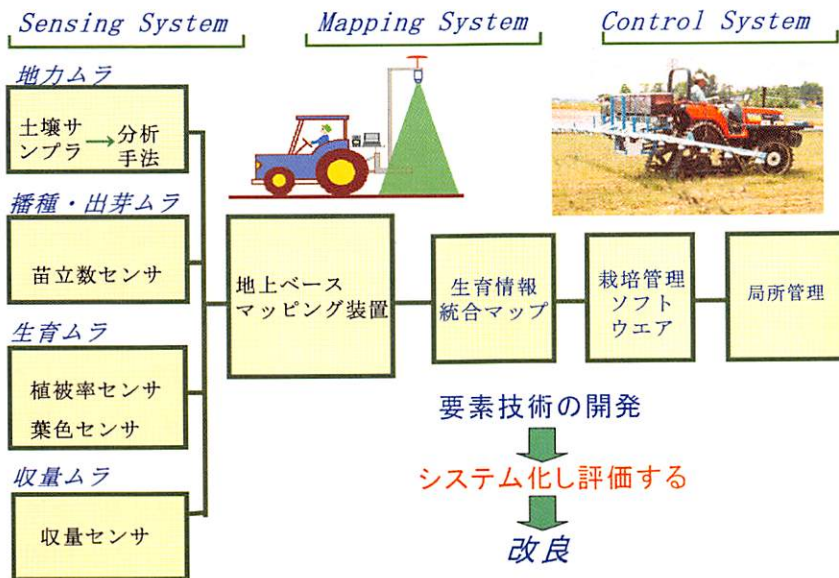


図14-2 水稻局所管理システムの開発構想図
(柴田(1999)を改変)

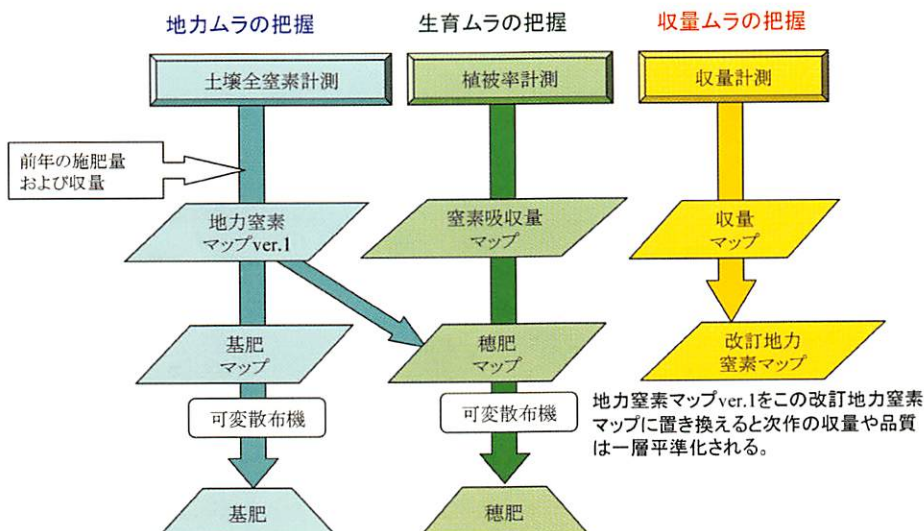


図14-3 水稻局所管理システムの概要

この開発過程では、多くの個別技術の開発があった。大別するとハードウェア技術とソフトウェア技術になる。ハードウェアの開発では、土壌サンプラー、群落葉色システム、地上ベース撮影装置、施用量可変型定幅散布機、ハイクリアランス型セミクローラトラクタ、収量計測コンバインが挙げられる。また、ソフトウェアの開発では、地上ベース画像マッピングシステム（GIMS）、近赤外バンドパスフィルターを装着したCCDカメラによる水稻群落撮影手法、植被率計測用の画像解析手法、植被率から窒素吸収量を推定する手法、土壌全窒素を近赤外分析器で計測し地力窒素に変換する手法、水稻局所施肥管理モデル（RiceNiSMo）等をあげることができる。

開発にあたっての教訓を3点述べたい。まず、植被率から窒素吸収量を推定するというような分野間にまたがる開発については、開発工程を整理して確認する作業、データの共有、および頻繁な議論が必要である。

次に、システム内のパーツの精度とシステム全体の精度との関連である。開発した水稻局所管理システムの中で、肥料散布精度は極めて高く（柴田ら；2002）、全体の精度に影響を与えることは少ないと考えられる。とりわけ2002年度の実証試験（基肥散布）で使用した「施用量を無段階に変えられる定幅散布機」（図14-4、Chosaら；2002）を使用すると、ステップ式制御で生じ得る「可変施肥に由来する生育ムラ」が減少すると考えられる。また、地盤の劣悪な追肥時の散布精度の問題は、走行系にクローラを採用し車輪回転と散布量を連動させたことで、かなり解消された。むしろ、局所管理精度に影響の大きいのは、地力ムラの推定方法および植被率による窒素吸収量の推定の部分であろう。この部分は、センシング手法の精度だけでなく測定値から窒素吸収量への変換式の精度が関与するので、その精度の検討と改善は今後の課題となろう。以上に関しては、「大区画水田における水稻の局所栽培管理に必要な情報と求められる精度」と題した論考に詳しい（佐々木；2002）。プロジェクト開始後の早い時期に精度に関する検討を行い、開発の指針を得ておくことは重要なことである。

最後に、ハードやソフトの開発だけでなく、使用する農業資材の選択が開発全体の成否に関わる場合がある。本研究では、当初、地力ムラの是正に速効性肥料を使用したのが、短期間に窒素を吸収するので葉色や草丈への反映が著しく、かえって生育ムラを引き起こし病虫害を助長する可能性を否定できなかった。このため、新潟農総研のアイデアに基づき、緩効性窒素肥料を基肥で可変施肥

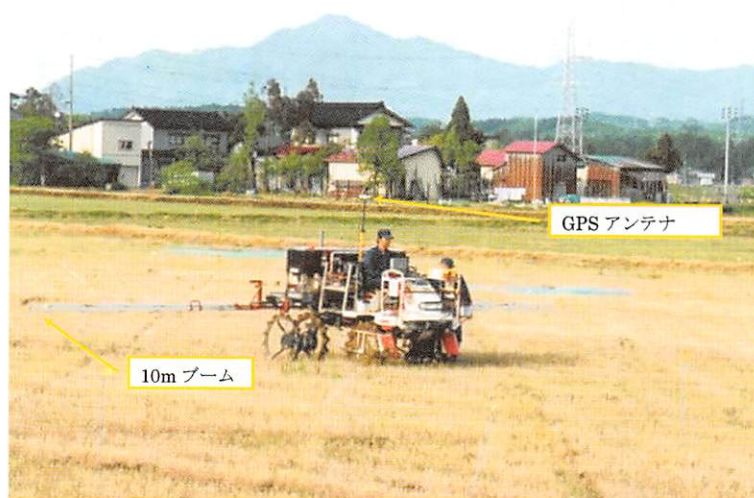


図14-4 施用量を無段階に変えられる定幅散布機

することとした（新潟県作物研究センター；2001）。実証試験の範囲では、窒素吸収量、初数、収量の平準化等の効果は、速効性肥料よりも確実であり（12章）、水稻局所管理システムで使用する局所管理用の肥料は、基本的には緩効性肥料が効果的であり、リスクが少ないと考えられた。資材の特性を良く理解して利用すれば、システムの機能を格段に向上させることができると思われる。その意味では、堆肥等の局所施用も今後の課題である。

4. 水稻局所管理システムの利用上の留意点

開発した局所管理システムの概要は、図14-3に示したが（Toriyamaら；2003）、その利用にあたって留意すべき点を2点述べたい。

第1に留意すべき点は地力ムラの推定方法である。水稻が稲作期間に吸収する窒素の20～30%が下層土由来であると指摘されるように、作土の地力データだけでは地力ムラを把握するには不十分である。特に基盤整備済み圃場では、むしろ下層土の地力ムラの影響が作土のそれよりも大きいと考えられる。したがって、土壌分析の際には、下層土を含めた地力マップを作成する必要がある、それによって相対的な地力ムラの把握は可能になる。ただし、地力窒素マップから定量的に水稻の土壌窒素吸収量を予測するには、未だに困難な面が多い。その理由として最も大きいのは、土壌から無機化した窒素の水稻による利用率を仮定する（柴原；2000）必要があるからである。したがって、4章の図4-18で示したように土壌窒素分析値は相対的指標として扱い、水稻収量を媒介にして土壌窒素吸収量に換算するのが、今のところ現場で行う地力窒素の推定法としては、最も信頼性が高いと考えられる。

第2に留意したい点は、幼穂分化期の窒素吸収量の推定方法である。植被率から窒素吸収量を推定するには、植被率と窒素吸収量との関係を整理した計算式が必要であり、予め試験研究機関等で品種毎に作成しておく必要がある。また植被率の計測方法の標準化も重要である。さらに、幼穂分化期頃は水稻の葉面積が急激に増加する時期なので、測定時期が生育ステージのどこにあたるかを必ず把握することが大切である。この推定は気温データが入手できれば生育モデル（例えばRiceNiSMo等）で計算可能である。

5. 開発した水稻局所管理システムの精密農業研究における意義

精密農業研究が米国で開始されて20数年が経過しようとしている。その到達段階と比較しつつ、その中で本研究成果の意義について考察する。

2002年に開催された精密農業に関する国際研究集会（6th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management in Minnesota, Proceedings;2003）では、センサー、収量コンバイン等のハードウェア、およびリモセン、管理マップ等のソフトウェアに関する研究発表はもとより、収益性や教育等の普及関係の研究発表も多く、関連産業の展示等から見ても、精密農業が着実に農業現場に浸透しつつあることが読み取れた。

アメリカにおける2003年の精密農法普及率は、土壌採取（GPS付）が19%、収量コンバインが22%、単肥の変換施肥が11%、農薬が5%であると報告されており、引き続き増加傾向にある（Whipkerら；2003）。とはいえ、精密農法の導入は生産者にとって大きな挑戦である。それは、初期投資額の高さと管理マップ作成ソフトが不十分であること、局所管理効果の大きさへの疑問等によるものと思われる。この点は、英国でも同様であり、小麦生産における精密農業普及のためのパンフレットが作成され、その中には生産者自身の初期投資の意思決定を支援するため、地力ムラ

の概略、経営面積、目標収量を組み合わせて、適切な初期投資の意思決定を支援する早見表がある他、生産者自身が、圃場を歩いて得た観察結果などの非定量的な情報が管理マップ作成する際の助けになること、小麦においても水稻と同様にデリケートな追肥量策定が倒伏を回避しつつ収量やタンパク含量を上げるために必要であること等が示されている (Home-Grown Cereals Authority;2002)。

欧米においても、施肥管理マップ作成のアルゴリズムに関する研究はハード技術に比較して遅れていると思われる。GPSによる位置把握技術やセンサー技術が実用的水準に達した現在、次の研究ターゲットとして局所管理マップの作成方法等のソフト技術が重要である。その意味では、本研究において開発されたソフトウェア (GIMS、画像解析ソフト、RiceNiSMo等) は、国際的にも少なからぬ意義があると思われる。

上記の国際研究集会では、当方の研究成果に対していくつかのコメントを得ることができた。海外の研究者が本研究に注目したのは、先ず地上ベースで生育途中の情報を得ている点である。これは、生育情報を得る際に人工衛星あるいは航空機画像が主流である欧米との大きな違いであった。特に植被率については、衛星や航空機からでは作物の形状情報の利用は困難なので、地上ベースの情報取得の利点であるとして関心が高かった。次に、植被率から窒素吸収量を推定し追肥に反映させ得るとの考え方が注目された。生育途中の情報から追肥量を調節して収穫までの生育を制御するには、土壌と作物に関する定量的モデルを必要としており、作物センシングデータと生育シュミレーションを組合せた本研究の考え方には強い関心が寄せられた (鳥山; 2000)。

6. 今後に残された課題

本プロジェクトで開発した水稻の局所管理システムは、ほぼ実用段階に達していると考えられるが、今後生産者の利用に供するには、種々の土壌・気象条件を持つ地域で実証試験を積み重ねる必要がある。以下、残された課題を整理した。

最も重要な課題は、土壌分析を基点としたシステムに向かうか、それとも収量計測コンバインを中心に置く局所管理システムの方向に進むかという問題である (図14-5)。土壌全窒素分析値をベースにした局所管理方法を利用すると、圃場の窒素肥沃度を可視化でき、地力ムラの原因が作土にあるのか下層土にあるのかが分かり、可変施肥で使用する肥料の選択等に有用である。しかし、土壌採取装置や近赤外分析器の導入に関わる初期投資が大きいこと、根域土壌の窒素肥沃度を積算する際に作土と下層土の重み付けをどのようにするかという問題がある。一方、収量計測コンバインを利用する地力ムラの推定方法では、肥沃度が高すぎて倒伏が回避できない場合や病虫害に遭った場合には、肥沃度が高い割に収量が低くなるため肥沃度を過小評価する危険性がある。したがって、初年目に均一施肥を行い、収穫期に収量マップを作成すれば、かなり確度の高い地力マップを得ることができると考えられる。また、土壌分析に比べると初期投資が少なく、農作業と同時にマップ作成のためのデータが得られるなどのメリットがある。また土壌分析を基本に置くシステムであっても、収量データを媒介にして土壌肥沃度を推定することが避けられないということもあり、収量計測コンバインを中心に置く水稻局所管理システムの開発が、今後極めて重要になると考えられる。

以下、上記の開発の方向性に関する論議とは別に、本プロジェクト研究の局所管理システムに関する個別課題について、想定される今後の問題を5つに整理した。

第1に、近赤外分析法による土壌全窒素分析法の改良の可能性である。図4-9のように近赤外法を利用すると深さ方向の全窒素濃度プロファイルが把握できるので、肥沃な土壌がどの程度の深さにまで広がっているか等も含め、地力ムラの把握をより正確かつ簡便にできる可能性がある。

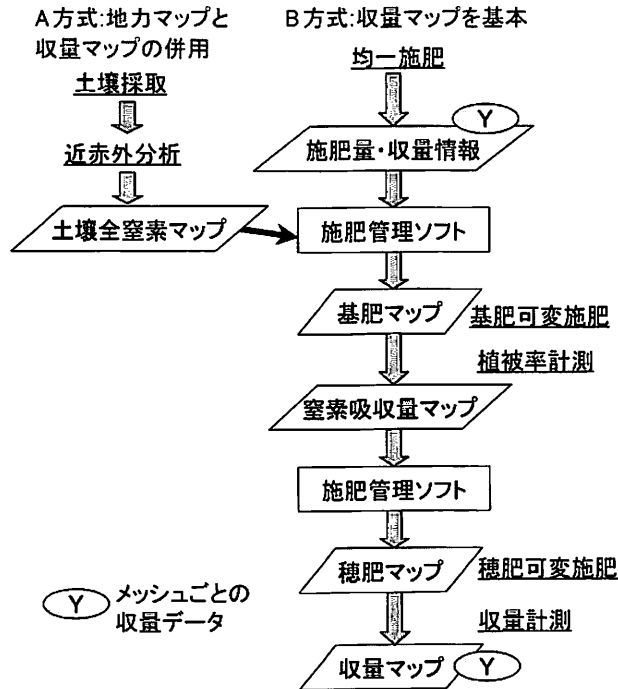


図14-5 水稲局所管理システムの選択肢

第2に、植被率から水稲の窒素吸収量を推定するサブシステムの改良である。このサブシステムは結果が出るまでに関与する段階が多い。すなわち、水稲群落の撮影から始まり、画像解析、植被率と窒素吸収量との関係式による推定のいずれもが最終結果に大きな影響を及ぼす。そこで、さらに種々の条件下で実証試験を行い、追肥に必要な精度を確保するためには、どの段階の精度を最も重視する必要があるかを明らかにしておく必要がある。また、従来の窒素吸収量推定の重要な手段であった葉色値については、群落葉色計の利用について、単独で窒素吸収量の推定が可能なのか、植被率との併用が必要なのか等を検討し、窒素吸収量の推定精度の向上や効率化について検討する必要がある。

第3は、施肥管理ソフト（RiceNiSMo）（図12-6）の検証と改良である。このソフトでは、土壌窒素利用率に関する仮定の検証等が必要であり、このソフトに必要な基礎データを施肥試験等から整理しデータベース化することや、実証試験を通じてソフトウェアの改良等を行う必要がある。

第4に、緩効性肥料を利用した全量基肥による局所管理方法の検討である。その理由は、本研究で提案した局所管理システムでは追肥前の植被率計測、追肥作業が大規模経営にとって労働時間の負担や精神的負担となるからである。精神的負担とは、植被率計測を所定の期間中に実施しなければならないこと、地盤の軟弱な重粘土水田ではセミクローラトラクタを導入したとしても追肥期の走行には不安が残る点を指す。このような問題に対しては、トラクタの走行性の改善という方向性も選択肢と考えられるが、全量基肥を導入して生産者の労働負担や精神的負担を軽減する方向性も追求すべきであろう。

第5は、本節の最初に指摘したように、収量計測コンバインを基本にした局所管理システムの実証である。収量計測コンバイン（図14-6）については、別のプロジェクト（軽労化プロ）で研究が実施されたために、本報告書では関連データを紹介していないが、試作機は光学式センサーと重量式センサーの併用方式で、実用段階に近い（帖佐ら；2002、帖佐；2002、帖佐ら；2003）。

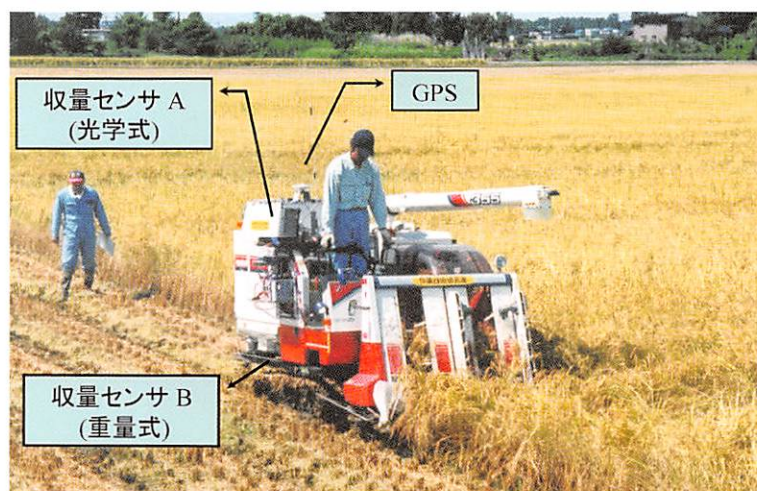


図14-6 収量計測コンバイン

収量計測コンバインが実用化すれば、当該年度の収量マップから次年度の施肥量を計算し、次年度の収穫期に再び収量計測コンバインで収量マップを作成し、予測収量から大きく外れたメッシュの施肥量を修正するという一連の作業を実施することが可能になる（図14-3）。しかも収量マップ作成に必要なデータ採取作業は収穫作業中に同時に行うことができるので、生産者にとって調査作業が負担にならないこと、土壌分析と併用する際も土壌採取点数を大幅に削減できる等、局所管理システムの普及促進効果が大きい。収量計測コンバインを作製するには、通常のコバインにGPS、センサー、パソコンを取り付ける改造を施す必要があるが、その価格は数十万円（材料費のみ）と想定されているので、大規模農家であれば十分負担可能であろう。今後は、収量計測コンバイン自体の改良研究とともに、収量マップをベースとした局所管理システムについて複数年にわたる運用試験を行い、収量計測コンバインに必要な精度の検討や、施肥管理ソフトへのフィードバックの検討が必要である。

最後に、本研究プロジェクトのもう一つの柱である分散圃場管理への水稻局所管理システムの適用について述べたい。水稻局所管理システムの中で重要な位置を占める施肥管理ソフトウェア“RiceNiSMo”は、管理単位が圃場内の各メッシュとなっているが、各メッシュを分散圃場に対応させることによって、分散圃場の品質や収量の均一化のための施肥量計算を支援することが可能である。したがって、2章で検討されたGIS（地理情報システム）とともに分散圃場管理の有力なツールとなり得る。また、“RiceNiSMo”には平年気象条件下で生育ステージを予測する機能があるので、圃場毎の出穂期分散計画を立てる際にも利用が可能である。9章で検討された栽植密度と出穂期との関係を考慮すれば、収穫期の分散をより計画的に行うこともできるであろう。

大規模稲作経営が分散圃場と大区画水田の両者にまたがって拡大している現状では、生産者の栽培管理上の苦労は非常に大きいと想像される。現在の従事者はもちろん、若手の後継者の中からも、本プロジェクト研究で開発した「水稻局所管理システム」に興味を持ち、実際に地域の稲作農業の中で展開していくことを強く期待したい。

7. 要約

- 1) 大区画水田基盤整備による地力ムラの発生について考察し、表土扱い工法の低コスト化が進まないと、地力ムラは今後とも問題となる可能性を指摘した。

- 2) 水稲局所管理システムの開発過程を振り返り、異分野間でのデータ共有と議論が必要なこと、特に個別技術の開発にあたり、システム全体の精度との関連で必要な精度を導き、それをガイドラインとして開発すること、使用する農業資材の選択も重要であることを教訓として学んだ。
- 3) 地力マップの作成に際して、水稲による土壌窒素利用率の不確実性のため地力ムラの推定は土壌窒素データのみでは不十分であり、水稲収量データを介する必要がある。
- 4) 幼穂分化期の植被率から窒素吸収量を推定する際の留意点として、検量線を使用して葉面積・窒素吸収量を推定する方法なので計測方法の標準化と計測時期の正確な把握が必要である。
- 5) 精密農業研究の国際的な動向の中で、本研究で開発した水稲局所管理システムを位置づけた。
- 6) 今後の課題として、収量コンバインの利用による普及促進、施肥管理ソフト（RiceNiSMo）のさらなる実証と改良などが必要である。

8. 文献

- 1) 帖佐 直・小林 恭・大黒正道・柴田洋一・大嶺政朗（2002）自脱コンバイン用収量計測システムに関する研究（第1報）光学式センサと重量式センサの収量モニタへの適用．農機誌，64（6），145～153.
- 2) 帖佐 直（2002）収量計測コンバインの開発研究．米麦改良，2002年5月号，16～27.
- 3) 帖佐 直・柴田洋一・大嶺政朗・鳥山和伸・荒木 幹（2004）自脱コンバイン用収量計測システムに関する研究（第3報）—情報収集、解析、マップ作成の体系化—．農機誌，66（2），137～144
- 4) Chosa,T., Shibata,Y., Omine,M. (2002) Variable-rate technology for Japanese paddies. Proc. of the 6 th Int. Conf. on Precision Agriculture (on CD-ROM),Madison, Wisconsin, ASA/CSSA/SSSA.
- 5) 藤森新作・守屋 明（2001）大区画圃場整備に適した新しい整地均平工法．農業及び園芸，76，678～684.
- 6) Godwin,R.J., Earl,R., Tayler,J.C., Wood,G.A., Bradly,R.I., Welsh,J.P., Richards,T., Blackmore,B.S., Carver,M.J., Knight,S. and Welti,B.(2002) 'Precision farming' of cereal crops: A five-year experiment to develop management guidelines. Project Report No.267.
- 7) Home-Grown Cereals Authority (2002) Precision farming of cereals, practical guidelines and crop nutrition, Home-Grown Cereals Authority, London.
- 8) 久津那浩三・飯田周治・新村善男・上森 晃・瀬川篤忠（1972）水田の基盤整備に関する研究（第1報）土壌の理化学的性質の変動とこれが水稲の生育に及ぼす影響．土肥誌，43，165～171.
- 9) 北川靖夫・新村善男・岡山清司・廣川智子・久津那浩三・吉野 喬（1988）れき質灰色低地土水田における基盤整備工法の違いによる土壌理化学的性の経年変化の差異．山県農技セ研報，3，1～8.
- 10) 新潟県作物研究センター（2001）地域基幹農業技術体系化促進研究「生育診断技術を基幹とした水稲の低投入型安定栽培技術」．平成12年度研究成果検討会資料，15～16.
- 11) 大森信章（1977）圃場整備水田における排水法と地力差解消に関する研究．近畿中国農研，53，

10～13.

- 12) Robert, P. C. ed. (2002) Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture (on CD-ROM), Madison, Wisconsin, ASA/CSSA/SSSA
- 13) 佐々木良治 (2002) 大区画水田における水稻の局所栽培管理に必要な情報と求められる精度. 農業及び園芸, 77, 1219～1226.
- 14) 柴原藤善・武久邦彦・長谷川清善 (2000) 水稻窒素吸収量の簡易予測モデルと施肥診断システムの開発. 土肥誌, 71 (6), 898～902.
- 15) 柴田洋一 (1999) 大区画水田における水稻の局所管理. 農機誌, 61, 14～19.
- 16) 柴田洋一 (2001) 局所栽培管理のための画像マッピングシステム. 農業及び園芸, 76, 475～481.
- 17) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸・荒木 幹・浅野 修・廣川 誠 (2002) 水稻の局所栽培管理のための画像マッピングシステム. 農機誌, 64, 127～135.
- 18) 柴田洋一・帖佐 直・大嶺政朗・杉本光穂・鳥山和伸・佐々木良治 (2002) 広幅散布機の改造と局所栽培管理への適用. 農機学会関東支部第38回年次大会講要, 42-43.
- 19) 鳥山和伸 (2000) 精密農業等に関する第6回国際研究集会の概要. 土肥誌, 73, 839.
- 20) 鳥山和伸 (2001) フィールドから展開される土壤肥料学1. 大区画水田における地力窒素ムラと水稻生育. 土肥誌, 72, 453～458.
- 21) 鳥山和伸・柴田洋一・佐々木良治・杉本光穂・小林 恭・帖佐 直・大嶺政朗・斉藤仁蔵 (2003) 大区画水田を対象とした水稻局所管理システム. 関東東海北陸研究成果情報, 平成14年度Ⅳ, 4-5.
- 22) Toriyama, K., Sasaki, R., Shibata, Y., Sugimoto, M., Chosa, T., Omine, M. and Saito J. (2003) Development of a site-specific nitrogen management system for paddy rice. JARQ, 37 (4) 213-218.
- 23) 上田弘美 (1981) 基盤整備水田の土壤変化と改良に関する研究. 鳥取県農業試験場特別報告, 4, 1～140.
- 24) Whipker, L.D. & J.T. Akridge (2003) Precision Agricultural Services Dealership Survey Results Staff Paper No.3-10, pp43. (PDF ファイルで <http://www.croplife.com> で閲覧可能)

総説誌「ファーマーミングシステム研究」について

1. 趣旨：多数分野の専門的成果を最大限に活用した新しい農業技術の総合的な展開に関連した内容を持ち、中央農業総合研究センターおよび農業関係試験研究機関の研究活動に基づくもので、総合研究の推進に有益と認められるものを収録する総説誌として刊行する。
2. 内容：総合研究に関連した、総説、シンポジウム論文、技術解説、海外事情、書評、その他編集委員会が認めたもの（技術原稿の他に編集委員会が依頼する原稿もある）。共通基盤試験研究推進会議の各部会における重要研究問題の検討結果などのように共通の認識として共有しておいた方がよいと判断される内容も含む。
3. 他の出版物との関係：総合研究の中で推進された研究成果の中で、専門の学会に発表できる個別の成果は、できる限り専門分野の学会誌に投稿する。中央農業総合研究センターおよび農業関係試験研究機関における総合研究の研究成果について、一般に活用しやすく集大成した論文となったものについては、これまでと同様に「総合農業研究叢書」として刊行する（従来どおり、複数の著者の論文を編集した特集論文も可とする）。

所 長 高屋武彦 Takehiko Takaya (Director General)

編 集 委 員 会 *Editorial committee*

委員長 高屋武彦 Takehiko Takaya (Editor-in chief)
副委員長 富樫辰志 Tatsushi Togashi (Deputy Editor-in chief)

編集委員 *Editor*

松葉捷也	Katsuya Matsuba	西尾 隆	Takashi Nishio
梅川 学	Manabu Umekawa	宇杉富雄	Tomio Usugi
平野信之	Nobuyuki Hirano	矢野栄二	Eiji Yano
山本博道	Hiromichi Yamamoto	小林 恭	Kyo Kobayashi
高柳 繁	Shigeru Takayanagi	佐藤和憲	Kazunori Sato

事務局 *Editorial Secretariat*

前田栄一 Eiichi Maeda

ファーマーミングシステム研究 No. 6

平成16年3月30日 発行

発行：独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構

中央農業総合研究センター

所長 高屋 武彦

住所：〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1

電話：029-838-8981（情報資料課）

印刷：東日本印刷株式会社

本誌に掲載された著作物を転載・複製・翻訳される場合は、中央農業総合研究センターの許可を得てください。

1. 關於本會之組織及職權範圍，業經本會第一次會員大會通過，並經呈請主管機關備案在案。茲為適應業務需要，特擬具本會組織規程，呈請核奪。其要點如下：

一、本會定名為「中華民國醫學會」，簡稱「醫學會」。

二、本會之宗旨：以研究醫學、推廣醫療、服務社會為目的。

三、本會之組織：由會員大會、理事會、監事會及秘書處組成。

四、本會之職權：包括研究學術、舉辦醫療、服務社會、代表醫界對外聯繫等。

五、本會之經費：由會員會費、社會捐助及政府補助等項充實。

中華民國醫學會組織規程

- 第一章 總則
- 第一條 本會定名為「中華民國醫學會」，簡稱「醫學會」。
- 第二條 本會之宗旨：以研究醫學、推廣醫療、服務社會為目的。
- 第三條 本會之組織：由會員大會、理事會、監事會及秘書處組成。
- 第四條 本會之職權：包括研究學術、舉辦醫療、服務社會、代表醫界對外聯繫等。
- 第五條 本會之經費：由會員會費、社會捐助及政府補助等項充實。

第二章 會員

第六條 凡具有中華民國國籍，具有醫學專業背景，並經本會認可者，均可申請加入本會。

第七條 會員分為正會員、榮譽會員及贊助會員三種。

第八條 正會員之資格：須具有醫學博士學位，或具有相當之醫學專業背景，並經本會認可。

第九條 榮譽會員之資格：由本會理事會推薦，經會員大會通過，並經主管機關備案。

第十條 贊助會員之資格：由本會理事會推薦，經會員大會通過，並經主管機關備案。

第三章 會員大會

- 第十一條 會員大會為本會之最高權力機關，由全體會員組成。
- 第十二條 會員大會之職權：包括修改章程、選舉及罷免理事、監事、審計報告、預算決算之通過、其他重要事項之決議等。
- 第十三條 會員大會每年召開一次，由秘書處負責召集。
- 第十四條 會員大會之決議，須經出席會員三分之二以上之同意。

第四章 理事會

- 第十五條 理事會為本會之執行機關，由理事組成。
- 第十六條 理事會之職權：包括執行會員大會之決議、管理本會事務、代表本會對外聯繫等。
- 第十七條 理事會每年召開一次，由秘書處負責召集。
- 第十八條 理事會之決議，須經出席理事三分之二以上之同意。

