

良食味米生産のための水稻簡易生育診断及び土壌窒素無機化予測を組み入れた水稻生育栄養診断システム

宮川英雄・児玉 徹・佐藤福男・村上 章・加納英子

The Simple Diagnosis of Growth in Rice Plants for Good Quality Rice Production and Nutritional Diagnosis System Combined with the Forecast of Soil Nitrogen Mineralization for Rice Cultivation

Hideo MIYAKAWA, Toru KODAMA, Fukuo SATO
Shou MURAKAMI and Eiko KANO

目 次

I 緒 言	1	1) 土壌窒素無機化予測式	11
II あきたこまちの簡易生育栄養診断	3	2) 施肥窒素の動態	14
1. 簡易生育栄養診断の考え方	3	4. 生育栄養診断プログラムによる栽培実証と地域別目標収量	15
2. 目標収量及び適正生育量	3	1) 栽培実証	15
3. 時期別の診断と技術対策	4	2) 実証栽培に基づく地域別目標収量	18
III 土壌窒素無機化予測を組み入れたあきたこまちの生育栄養診断	7	IV 生育予測技術	23
1. 生育栄養診断プログラム	7	1. 発育モデルと発育ステージ予測	23
1) 生育栄養診断プログラムの開発	7	1) 発育ステージ予測	23
2) 生育栄養診断プログラムの構造	7	2) 発育モデルの利用	27
2. 窒素吸収量の推定	9	2. 生育逐次予測	30
1) 窒素吸収パターン	9	V 摘 要	33
2) 窒素吸収量推定式	11	引用文献及び参考資料	33
3. 土壌窒素無機化予測と施肥窒素の動態	11	Summary	35

I 緒 言

近年、高品質・良食味米の安定供給が要望される中で、秋田県の代表品種として育成された「あきたこまち」を中心に、「ササニシキ」などの作付面積は急激に拡大されてきた¹⁾。しかし、これらの銘柄品種は耐倒伏性・耐病性・耐冷性等に難点があり安定生産が難

しく、近年の気象変動も影響して水稻の単収は停滞傾向を示している。そこで、本県稲作が今後とも揺るぎない地位を占めるには、個別の栽培技術の総点検と新技術の開発によって、作柄の安定と品質・食味の向上を図ることが急務である。うまい米の安定生産は地域

別に土壌条件と気象変動に対応しながら、目標収量に合わせた収量構成要素を確保することが最も重要である。このためには、稲の生育状況の実態、気象の推移、土壌条件などの的確な把握による生育予測と生育栄養診断、及びこれらの情報を活用できるシステムの開発が必要かつ重要な課題であると考えた。

生育栄養診断とは水稻の形態と栄養生理的な情報を把握し、生育状況を客観的に診断する技術である。診断結果に基づくきめ細かな技術対応が可能になり、生育を理想に近づけるようコントロールすることができる。水稻の生育、収量に関与する要因は気象、稲の栄養生理、土壌条件などが複雑にからみ合っているため、単一要因による生育予測や生育栄養診断は精度が不十分である。そこで、①草丈、茎数の生育量、②稲体の窒素栄養状態、③土壌窒素の発現量、④気象の4要因を組み合わせた生育栄養診断及び生育予測技術の確立と総合的なシステムの開発を行った。秋田県では1990年から良食味米の安定生産に主眼をおいた生育診断システムの開発事業を開始し、行政、普及、試験研究の各機関一体となったプロジェクト・チームを結成し、

研究開発に取り組んできた。1990年から1994年まで5年間実施した第1期水稻生育診断システム開発事業で得られた成果を中心に、現在までに確立された生育診断・予測技術とその実施方法及び利活用について報告する。

良質米の安定生産には栽培農家はもとより、各方面の農業関係者が毎年苦勞している事であり、本稿が参考になれば幸いである。

謝 辞

この報告を取りまとめるにあたり、1990年以前に栽培試験を担当していただいた稲作部水稻栽培科の先輩諸氏並びに、1990年から1994年まで水稻生育診断システム開発事業を推進していただいた農業技術開発課企画・情報担当(現農政課技術調整室)、農業技術開発課専門技術担当(現農業試験場専門技術担当)諸氏、さらには貴重なデータを提供していただいた各地域農業改良普及センター作物担当諸氏には、ここに記して厚く御礼申しあげる。

第1表 秋田県における水稻作付面積、作柄および良食味品種の作付動向

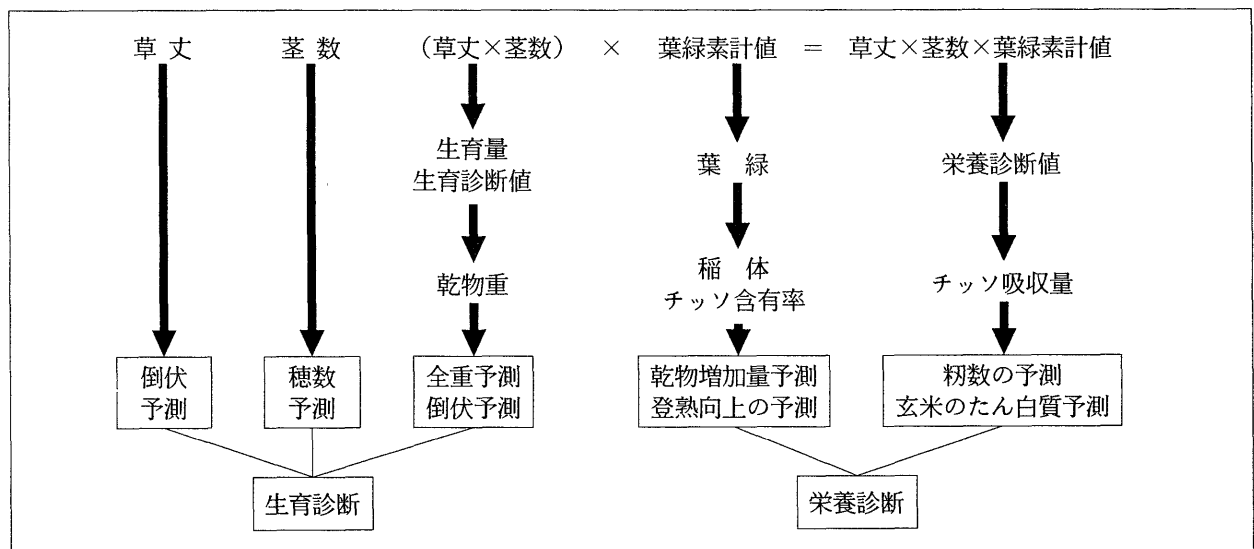
年次 (年)	水 稻 作付面積 (ha)	県平均 収 量 (kg/10a)	平 年 収 量 (kg/10a)	作 況 指 数	あきたこまち		ササニシキ		2 品 種 計	
					作付面積 (ha)	面積比率 (%)	作付面積 (ha)	面積比率 (%)	作付面積 (ha)	面積比率 (%)
1982	108,800	581	563	103	0	0	15,049	14.2	15,049	14.2
1983	110,100	572	569	101	0	0	16,727	15.6	16,727	15.6
1984	112,400	613	569	108	0	0	17,034	15.6	17,034	15.6
1985	115,100	602	573	105	2,877	2.6	17,050	15.2	19,927	17.8
1986	114,300	607	577	105	8,341	7.5	15,048	13.6	23,389	21.1
1987	106,700	597	581	103	17,177	16.6	14,287	13.8	31,464	30.4
1988	105,300	545	584	93	34,678	34.1	16,895	16.6	51,573	50.7
1989	106,500	564	584	97	42,840	42.0	22,932	22.6	65,772	64.6
1990	106,400	563	584	96	57,961	56.5	23,085	22.5	81,046	79.0
1991	106,100	526	584	90	70,853	69.1	17,792	17.3	88,645	86.4
1992	109,000	579	584	99	63,603	60.7	17,352	16.6	80,955	77.3
1993	111,600	480	575	83	64,653	60.6	15,644	14.7	80,297	75.3
1994	115,600	592	575	103	77,960	71.1	14,922	13.6	92,882	84.7

II あきたこまちの簡易生育栄養診断

1. 簡易生育栄養診断の考え方²⁾

簡易生育栄養診断は農家が迅速に、しかも出来るだけ簡単に正確に水稲の診断が実施できることを目的として開発した。生育診断は草丈と茎数を測定し、生育の多少を生育診断値(草丈×茎数)で示し、理想生育と比較して生育の過不足を診断する。また、草丈は稈長と倒伏の予測に、茎数は穂数の予測に、生育診断値

は倒伏や全重の予測に使用する。栄養診断はカラスケール板や葉緑素計等で葉色を測定することにより、稲体の窒素含有率を推定し、稲の栄養状態の診断や玄米のタンパク含有率を予測する。栄養診断値(草丈×茎数×葉緑素計値)は稲体の窒素吸収量を推定する値で、理想窒素吸収量との過不足から窒素追肥量を判断し、籾数をコントロールしようとするものである。



第1図 生育栄養診断の考え方

2. 目標収量と適正生育量³⁾

水稲の生育診断とは草丈・茎数など水稲の形態的な情報を把握し、客観的に診断する技術であり、そのためには目標収量の設定及び指標とする生育パターンのモデル化が不可欠である。そこで、これまでの栽培試験成績を使用して、あきたこまちの安定生産が可能な収量と収量構成要素、並びに時期別の適正生育量等の指標について検討した。

1) 材料及び方法

1985年から1991年まで秋田農試場内で実施したあきたこまちの栽培試験成績により解析した。対象は移植栽培で、施肥体系は速効性の化成肥料による「全層基肥+追肥」体系である。

2) 結果及び考察

これまでの試験成績を解析すると、あきたこまちの安定生産が可能な収量は600kg~630kg/10aの範囲にあり、これを目標収量として設定した。目標収量に対応した収量構成要素等の数値を第2表に示した。また、

時期別の適正生育量・生育診断値・栄養診断値等についての指標を第3表に示した。収量が600kg~630kg/10aの場合、収量構成要素は穂数が450本~480本/m²、1穂当たり籾数が70粒~75粒、m²当たり籾数が33千粒~36千粒、登熟歩合が85%~90%、玄米千粒重が21g~21.5gであった。

第2表 あきたこまちの目標収量と収量構成要素等

項目	目標数値の範囲
収量水準 (kg/10a)	600~630
最高茎数 (本/m ²)	600~680
幼穂形成期草丈 (cm)	55~65
成熟期の稈長 (cm)	78~80
有効茎歩合 (%)	70~80
穂数 (本/m ²)	430~480
1穂当り籾数 (粒)	70~75
m ² 当り全籾数 (千粒)	33~36
登熟歩合 (%)	85~90
玄米千粒重 (g)	21.0~21.5
栽植密度 (株/m ²)	23~25

第3表 あきたこまちの時期別理想生育量等の数値とその範囲

生育時期 項目 (月/日)	分げつ始期 (6/10)	分げつ盛期 (6/20)	有効茎決定期 (6/28)	最高分げつ期 (7/5)	幼穂形成期 (7/15)	減数分裂期 (7/25)	出穂期 (8/5)	出穂後20日 (8/25)
草丈 (cm)	理想	23	28	38	48	60	80	87
	下限	20	25	35	45	55	75	85
	上限	25	30	40	52	65	85	90
茎数 (本/m ²)	理想	120	250	430	650	600	450	450
	下限	100	200	400	600	550	430	430
	上限	150	300	450	680	640	480	480
葉数	6	7.5~8	8.5~9	10	11~11.5	12.5~13	—	—
葉緑素計値	理想	38	45	46	46	40	43	39
	下限	35	42	43	44	38	40	38
	上限	42	48	49	48	42	45	42
生育診断値 *	理想	0.3	0.7	1.6	3.2	3.6	—	—
	下限	0.2	0.5	1.4	2.7	3.0	—	—
	上限	0.4	0.9	1.8	3.5	4.2	—	—
栄養診断値 **	理想	—	0.3	0.7	1.5	1.6	—	—
	下限	—	0.2	0.6	1.2	1.1	—	—
	上限	—	0.4	0.9	1.7	1.8	—	—
窒素含有率 (%)	理想	3.4	3.6	3.2	2.4	1.6	—	—
	下限	3.0	3.2	3.0	2.2	1.4	—	—
	上限	3.8	4.0	3.4	2.6	1.8	—	—
窒素吸収量 (g/m ²)	理想	—	1	2	4	6	10	—
	下限	—	0.5	1	3	5	8	—
	上限	—	1.5	3	5	7	12	—

注1. 秋田農試成績(1985年~1991年)から作成した。
 2. 生育診断値*はその数値に10⁴を乗ずる。
 3. 栄養診断値**はその数値に10⁶を乗ずる。

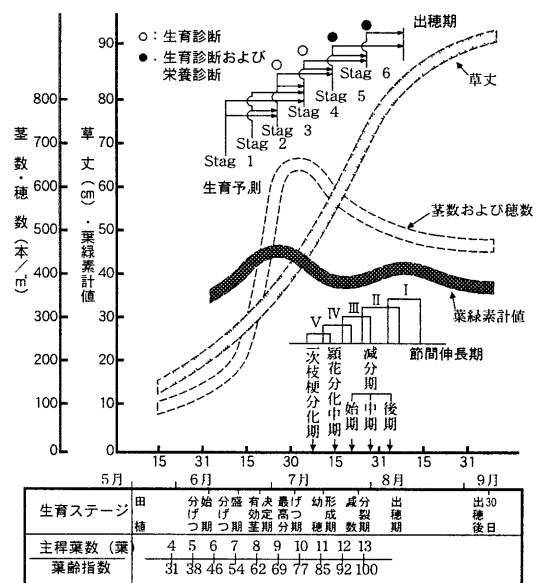
3. 時期別の生育栄養診断と技術対策²⁾

1) 生育栄養診断の診断時期

生育栄養診断の実施時期及びあきたこまちの目標生育パターンを第2図に示した。Stag 1 は分げつ始期、Stag 2 は分げつ盛期を示す。生育診断はStag 3 の有効茎数決定期から始め、Stag 4 の最高分げつ期、Stag 5 の幼穂形成期の各時期に実施する。栄養診断はStag 5 の幼穂形成期とStag 6 の減数分裂期に実施する。

各時期の生育診断図は茎数を横軸に、草丈を縦軸にとり、生育量から生育型を7区分した。生育型の区分はI型(生育不足)、II型(やや生育不足)、III型(理想生育)、IV型(やや生育過剰)、V-1型(草丈伸び過ぎ)、V-2型(茎数過剰)、VI型(生育過剰)で示した。栄養診断図は生育診断値(草丈×茎数)を横軸に、葉緑素計値を縦軸にとり、栄養型を7区分した。栄養診断に使う栄養型の区分はI型(栄養不足)、II型(やや栄養不足)、III型(理想)、IV型(やや栄養過多)、V-1型(葉色濃く栄養過多)、V-2型(生育多く栄養過多)、VI型(栄養過多)の7分類とした。同時に各診断時期における診断結果に対応する技術対策

を提示した。なお、これらは「目で見えるあきたこまちの生育栄養診断法」として広く普及を図り、既に定着している技術である。

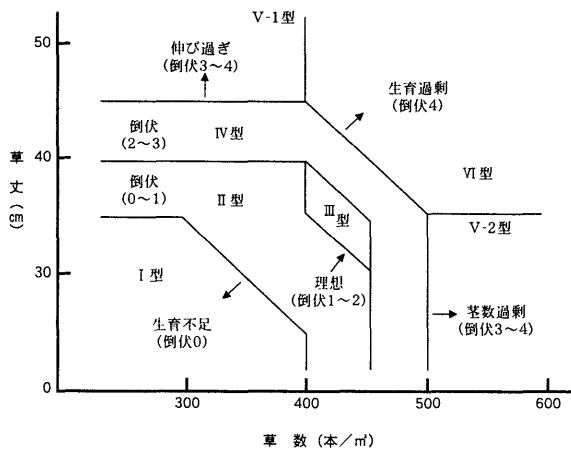


第2図 生育栄養診断の実施時期とあきたこまちの生育パターン

2) 時期別の診断と技術対策

(1) 有効茎数決定期の生育診断

有効茎数決定期は目標穂数に相当する茎数を確保する時期で、地域によって多少異なるが6月25日～28日頃である。9葉目が抽出する時期で、理想草丈は38cm、茎数は430本～450本/㎡、生育指数は 1.6×10^4 である。生育型をI型～VI型までに設定した生育診断図に基づき、生育診断を行う。具体的な技術対策としては中干しの時期と強さで生育をコントロールする。



第3図 有効茎数決定期頃の生育診断

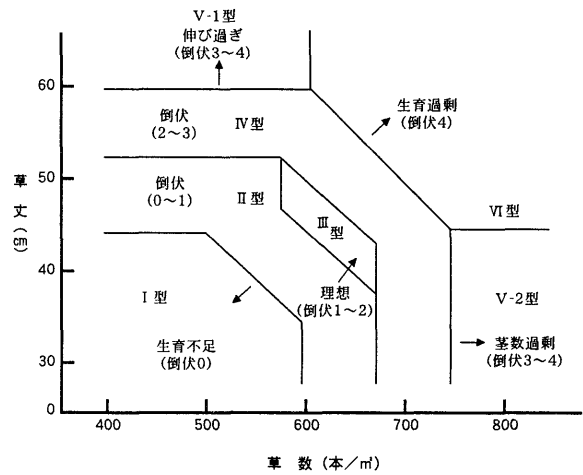
第4表 有効茎数決定期の生育診断結果に基づく水管理等の対策

生育型	水 管 理 等 の 対 策
I 型	生育促進、通常の間断かんがい
II 型	有効茎を確保してから中干し
III 型	通常の中干しを実施する
IV 型	直ちに中干しを実施する
V-1 型	直ちに強めの中干しを実施する
V-2 型	直ちに強めの中干しを実施する
VI 型	直ちに強めの中干しを実施する

(2) 最高分けつ期の生育診断

最高分けつ期は10葉目が抽出する時期で、地域によって多少異なるが7月1日～5日頃である。この時期の理想草丈は48cm、茎数は600本～650本/㎡、生育指数は 3.2×10^4 である。生育型をI型～VI型までに設定した生育診断図に基づき、生育診断を行う。具体的な技術対策として中干しと水管理により茎の充実を図る。生育過剰 (VI型) が予想される場合には、やむをえな

い手段として倒伏軽減剤などの生育調節剤を使用する。しかし、あきたこまちは根量が少ないので、各生育時期別の理想生育に近づけるような栽培管理に努め、強い中干しや倒伏軽減剤の使用は極力避けるようにしたい。



第4図 最高分けつ期頃の生育診断

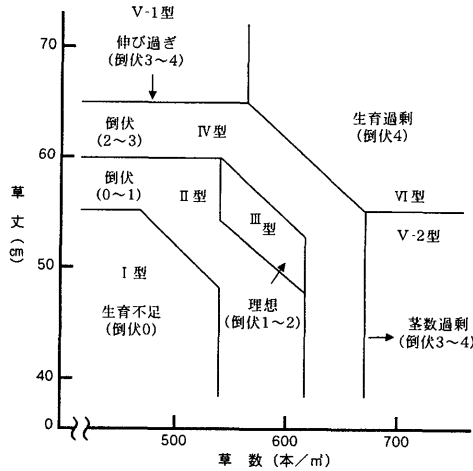
第5表 最高分けつ期の生育診断結果に基づく水管理等の対策

生育型	水 管 理 等 の 対 策
I 型	生育促進、通常の間断かんがい
II 型	通常の間断かんがい
III 型	通常の間断かんがい
IV 型	中干しを継続
V-1 型	強めの中干しを継続
V-2 型	強めの中干しを継続
VI 型	生育調節剤を考慮する

(3) 幼穂形成期の生育診断

幼穂形成期は幼穂長が1mm～2mm、11葉目が抽出する時期で、地域によって多少異なるが7月10日～15日頃である。この時期は茎数の減少や葉色の低下が生育の特徴として見られる。生育診断では倒伏の判断が最も重要であり、1穂数数の確保、出穂期以降の登熟度の向上等多くの要素を考慮しなければならず、生育期間中最も重要な時期にあたる。この時期の理想草丈は60cm、茎数は600本/㎡、生育指数は 3.6×10^4 である。生育過剰の場合には倒伏が懸念されるので、万全の対策が必要である。生育型をI型～VI型までに設定した生育診断図に基づき、生育診断を行う。具体的な技術

対策として窒素追肥の時期と量の判定基準を定めた。なお、減数分裂期における生育診断については、特に生育診断図を作成しなかったが、基本的には幼穂形成期の生育診断により追肥を実施する。



第5図 幼穂形成期頃の生育診断

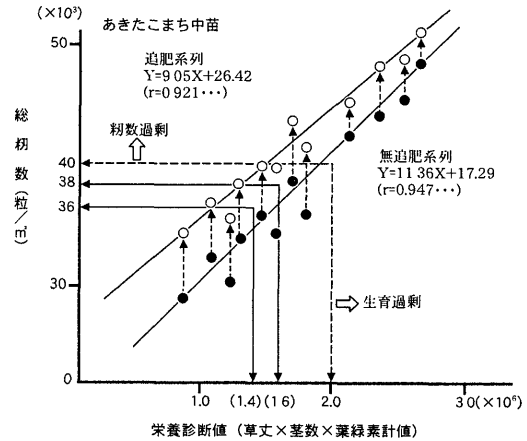
第6表 幼穂形成期の生育診断結果に基づく窒素追肥量の決定

生育型	窒素追肥 (kg/10 a)		
	穂首分化期	幼穂形成期	減数分裂期
I 型	ムラ直し	2 kg	2 kg
II 型	なし	2 kg	2 kg
III 型	なし	ムラ直し 1 kg	2 kg
IV 型	なし	なし	2 kg
V-1 型	なし	なし	ムラ直し 1 kg
V-2 型	なし	なし	ムラ直し 1 kg
VI 型	なし	なし	なし

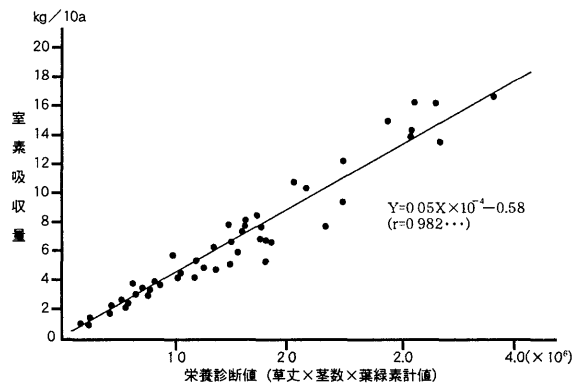
(4) 幼穂形成期の栄養診断

栄養診断では収量に最も影響する籾数の予測が重要である。予測の根拠は、①幼穂形成期の栄養診断値と総籾数の間に高い相関が認められること、②幼穂形成期の栄養診断値と窒素吸収量の間に高い相関が認められることによる。したがって、栄養診断値を基準にして追肥の要否判定を行うことにより、目標収量に見合った籾数の確保が可能になる。簡易栄養診断では、生育診断値と葉緑素計値（または葉色）から栄養状態別にI型～VI型に設定した栄養診断図を基に、診断を実施する。診断結果に基づき窒素追肥の時期と量を選択することができる。なお、減数分裂期における栄養診断については、特に栄養診断図を作成しなかったが、基本的には幼穂形成期の生育診断により追肥を実施する。

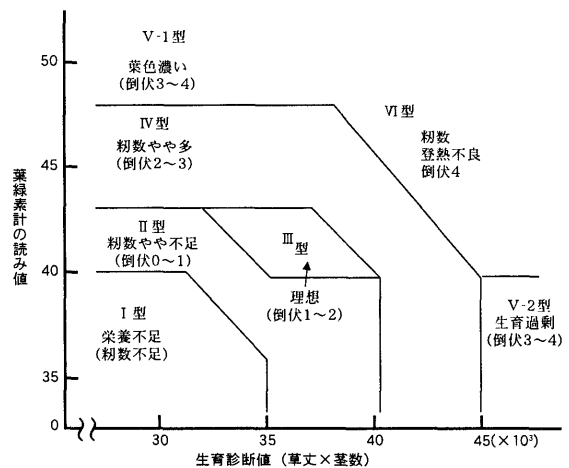
葉緑素計がない場合は従来から使用されたカラー・スケール板で葉色を測定し、葉緑素計の読み値に換算して栄養診断を実施してもよい。また、ミノルタ社葉緑素計SPAD501の測定値を現行機種種のSPAD502の値に換算する方法も併せて利用できる。



第6図 幼穂形成期の栄養診断値と籾数の関係



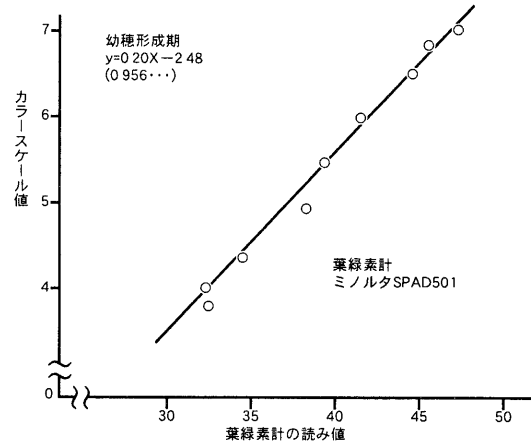
第7図 幼穂形成期頃の栄養診断値と窒素吸収量の関係



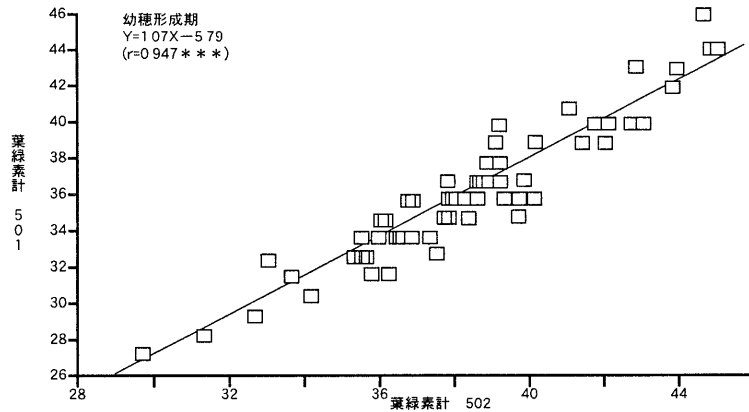
第8図 幼穂形成期頃の栄養診断

第7表 幼穂形成期の栄養診断結果に基づく窒素追肥量の決定

栄養型	窒素追肥 (kg/10 a)		
	穂首分化期	幼穂形成期	減数分裂期
I 型	ムラ直し	2 kg	2 kg
II 型	なし	2 kg	2 kg
III 型	なし	ムラ直し 1 kg	2 kg
IV 型	なし	なし	2 kg
V-1 型	なし	なし	ムラ直し 1 kg
V-2 型	なし	なし	ムラ直し 1 kg
VI 型	なし	なし	なし



第9図 葉緑素計値とカラスケール値の関係



第10図 葉緑素計SPAD502の値とSPAD501の値の関係

III 土壌窒素無機化予測を組み入れたあきたこまちの生育栄養診断

1. 生育栄養診断プログラム

1) 生育栄養診断プログラムの開発

水稲の生育・収量に關与する要因は気象・稲の生理生態・土壌などが複雑にからみ合っているため、単一要因による生育栄養診断は精度が十分でない。そこで、秋田県では水稲生育診断システム開発事業の中で、パーソナル・コンピュータがあれば、農家レベルでも簡単に正確に水稲の生育栄養診断が実施できるソフトウェアの開発を進めてきた。このソフトウェアは長野間ら¹⁶⁾が水稲の生育栄養診断と土壌窒素無機化量の予測を組み合わせて窒素追肥量を決定し、水稲の安定収量を得る目的で試作したものである。現行のソフトウェアは長野間らの試作版を参考にし、あきたこまちの良食味で安定生産を得るための生育栄養診断プログラムとして改良を図った。水稲生育診断システム開発事業

では、生育栄養診断プログラムによる実証試験を実施し、実証結果に基づくプログラムの改良により診断精度と汎用性の向上に努めてきた。1995年6月現在、生育栄養診断プログラムはVer 4.1に展開中であり、広く普及を図っている。

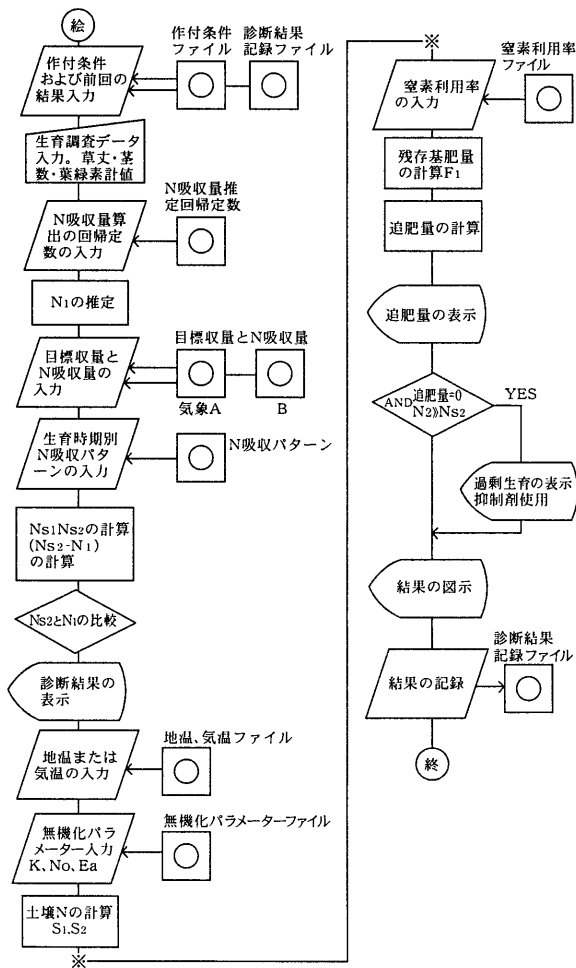
2) 生育栄養診断プログラムの構造

生育栄養診断プログラムの構造と窒素追肥量決定のフローチャートを第11図に示した。プログラムの使用者は第8表に示す所定のデータをあらかじめデータベースとして入力しておく。プログラムの実行時は診断する圃場1筆ごとに、使用者の作付条件を選択、あるいは入力し、データファイルを作成する。診断は有効茎数決定期、最高分けつ期、幼穂形成期、減数分裂期の4回の生育時期に行う。窒素追肥量の計算方法を第12図に示した。生育時期ごとに草丈、茎数、葉緑素計値

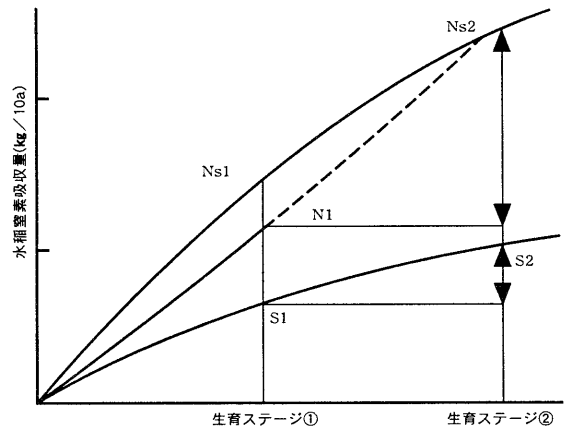
を用いて窒素吸収量 (N_1) を推定する。目標窒素吸収量と窒素吸収パターンから求めた窒素吸収量 (N_{s1}) との比較を行い、過不足の診断を行う。更に、次期生育ステージまでに吸収すべき窒素量 ($N_{s2} - N_1$) のうち、土壤窒素無機化量 ($S_2 - S_1$) だけでは不足する部分を追肥で補うことを前提にして、追肥量 (X) の計算結果を提示する。この際、基肥窒素の残存量 (F_1) を簡易に推定して、利用可能な窒素として加算する。生育栄養診断プログラムの使用例を第13図に示した。診断しようとする生育ステージごとに前ステージで予測した窒素吸収量と生育調査結果から求めた推定吸収量が目標値と共に示される。予測値と推定値が近似していればプログラムが充分機能していることを示す。また、目標の窒素吸収パターンに近ければ、生育栄養診断結果は望ましい状態にある。

第8表 生育栄養診断プログラムの実行に必要な基本データ・ファイルなど

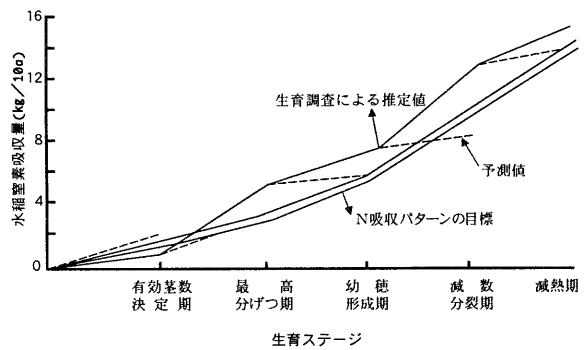
- ① 品種名、作付け条件ファイル (品種、作付け来歴、前作物、わら処理)
- ② 目標収量、窒素吸収量 (地域、土壤、気象条件、品種別)
- ③ 窒素吸収パターン (地域、生育時期別、気象条件、品種別)
- ④ 水稻窒素吸収量推定の回帰定数 (地域、土壤、品種別、時期別生育データ)
- ⑤ 土壤窒素無機化パラメータ (地域、土壤、作土・下層土別)
- ⑥ 施肥窒素・土壤無機化窒素利用率、損失率 (生育時期別)
- ⑦ 地温データ (作土、下層土：気温から推定)
- ⑧ 気温データ (アメダス気象データを受信)



第11図 生育栄養診断、窒素追肥量決定のフローチャート



第12図 窒素追肥量の計算方法



第13図 生育栄養診断プログラムの使用例

2. 窒素吸収量の推定

1) 窒素吸収パターン⁴⁾

水稻の収量は一定量までは窒素吸収量に対応して増加するが、その後は窒素吸収が増加しても収量はあまり増加せず、倒伏や病害等により減収する場合が多い。良質米を安定的に生産するためには、品種・地域・土壌条件に見合った成熟期の窒素吸収量とそれに至る時期別最適窒素吸収量（窒素吸収パターン）を策定する必要がある。これが最適値から不足側に外れる場合は生育量の不足により低収となり、過剰域の場合は上記の危険性が增大していずれの場合でも安定性の面で問題が生ずることになる。ここでは県内12の地域農業改良普及センター管内毎に代表的な土壌統の圃場を選定し、生育診断システム開発基準圃場（以後、システム基準圃場という）を設け、ここで得られた生育・収量データを解析し、目標収量に達した場合の時期別窒素吸収量と収穫時窒素吸収量を基に時期別目標窒素吸収パターンを策定した。これに基づき時期別窒素吸収量に過不足が生じないような技術対応策が実行されるための基礎資料を土壌肥料面から提供する。

(1) 材料及び方法

i. 試験年次：1990年～1994年

ii. システム基準圃場の設置場所：県内12地域農業改良普及センターのシステム基準圃場、設置場所は第9表及び第14図に示した。

iii. 品種：あきたこまち

iv. 試験区の構成：①無肥料区、②基肥無追肥区（以後、無追肥区という）、③幼形・減分診断追肥区（以後、診断区という）、④幼形・減分追肥区（以後、慣行追肥区という）

v. 栽培様式：基肥量は農家慣行量による移植栽培

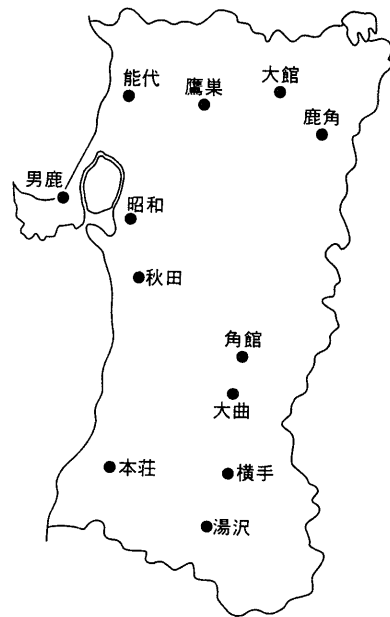
vi. 目標収量：600kg～630kg/10 a

vii. 調査方法：①収量調査データ等の点数：12地点、4区、5年で総数240点、②生育調査時期：6/25（有効茎決定期）、7/5（最高分けつ期）、幼穂形成期、減数分裂期、出穂期、収穫期の6回、③調査項目：草丈、茎数、葉緑素計値（SPAD502）、成熟期形態、収量及び収量構成要素等、④土壌採取時期：移植期、6月10日、6月25日、7月5日の4回、⑤試料の採取方法：作物体は採取時期毎に2～3株を採取、生育調査による茎数・穂数で補正し、㎡当たりの乾物重を算出した。⑥分析方法：土壌残存窒素量はコンウエーの微量拡散法による（単位NH₄-N mg/100 g 乾土）、稲

体窒素濃度はケルダール分解と蒸留法により測定、窒素吸収量は面積当たりの乾物重と窒素濃度から計算した。

第9表 地域農業改良普及センターシステム基準圃場の概要

センター名	基準圃場設置場所	圃場面積	土壌タイプ
鹿角	鹿角市花輪鏡田	10 a	久世田統
大館	大館市仁井田	20	金田統
鷹巣	鷹巣町小森坂下	30	金田統
能代	能代市田屋	10	竜北統
男鹿	若美町弘戸	12	琴浜統
昭和	飯田川町和妹川	10	幡野統
秋田	秋田市外旭川	10	野川統
本荘	由利町老方	30	幡野統
大曲	仙北町高梨	10	幡野統
角館	中仙町清水	10	浅津統
横手	平鹿町浅舞	20	幡野統
湯沢	湯沢市大島	20	幡野統



第14図 地域農業改良普及センターシステム基準圃場設置場所

(2) 結果及び考察

i. 収量レベル別の生育・収量

あきたこまちの時期別生育、窒素吸収量等の目標値は第10表に示したとおりである。5年間で600kg/10 a以上（以後、多収レベルという）の目標収量をクリアしたデータとして61点が得られ、収量が500kg～600kg/10 a（以後、低収レベルという）のデータとして97点得られた。第11表、第12表、第13表により多収レベルと低収レベルの差を比較する。多収レベルの平均

収量は638kg/10aで、低収レベルの平均収量は548kg/10aであった。多収レベルの収量構成要素を低収レベルのそれと比較すると、多収レベルでは穂数と一穂粒数が多くなり、全粒数が一割程度多くなっている。両者ともに登熟歩合、千粒重が同程度であることから両者の収量差は全粒数の差といえる。また、多収レベ

ルでは籾むら比が高く、生産効率が高いことが特徴としてあげられる。多収レベルと低収レベルにおける生育経過を茎数の推移で比較すると、有効茎数決定では同程度である、最高分けつ期に達する時期では多収レベルが低収レベルより早くなり、多収レベルの穂数が多くなった。

第10表 あきたこまちの時期別目標生育及び窒素吸収量等の範囲

項目	生育時期	有効茎数 決定期	最高分 げつ期	幼穂 形成期	減数 分裂期	出穂期	出穂後 20日	成熟期
草丈または稈長 (cm)		35~40	45~52	55~65	60~70	75~85	85~90	78~80
茎数または穂数 (/m ²)		400~450	600~680	550~640	500~550	450~480	450~480	450~480
葉緑素計値		43~49	44~48	38~42	35~40	40~45	38~42	38~42
生育診断値 (×10 ⁴)		1.4~1.8	2.7~3.5	3.0~4.2	3.0~3.8	—	—	—
栄養診断値 (×10 ⁶)		0.6~0.9	1.2~1.7	1.1~1.8	1.1~1.5	—	—	—
窒素吸収量		1~3	3~5	5~7	7~10	9~11	10~12	12~13
窒素吸収量理想 (g/m ²)		2.6	4.6	6.5	9.1	10.2	11.5	13

注1. 生育診断値は(草丈×茎数)である。

2. 栄養診断値は(草丈×茎数×葉緑素計値)である。

第11表 システム基準圃成績による収量水準別の収量構成要素

項目	収量	穂数	粒/穂	全粒数	登熟	千粒重	全重	葉重	籾/ワラ
収量水準	(kg/10a)	(/m ²)		(X1000)	(%)	(g)			
600kg<	638	460	74.5	34.2	86.1	21.5	1534	685	1.20
500-600	548	442	70.2	31.2	86.9	21.2	1433	682	1.06
比 (600kg/500kg)	116	104	106	110	99	101	107	100	113

第12表 システム基準圃成績による収量水準別の茎数と窒素吸収量

項目	茎数 (本/m ²)					窒素吸収量 (g/m ²)					
	6/25	7/5	幼形	減分	出穂	6/25	7/5	幼形	減分	出穂	成熟
600	424	552	542	498	461	2.35	4.61	6.67	8.75	10.2	11.9
500-600	420	528	532	489	448	2.38	4.58	5.95	7.71	9.2	11.1
比 (600/500)	101	105	102	102	103	99	101	112	113	111	107

第13表 システム基準圃成績による収量水準別の栄養診断値、窒素吸収量

月/日	栄養診断値 (×10 ³)		窒素吸収量 (kg/10a)		累計 (%)		間差 (%)	
	600kg<	500-600	600kg<	500-600	600kg<	500-600	600kg<	500-600
生育時期								
6/25	673	680	2.35	2.38	19.7	21.3	19.7	21.3
7/5	1,180	1,090	4.61	4.58	38.7	41.0	19.0	19.7
幼形	1,340	1,234	6.67	5.95	56.0	53.2	17.3	12.3
減分	1,433	1,305	8.75	7.71	73.5	69.0	17.5	15.7
出穂	—	—	10.23	9.20	85.9	82.3	12.4	13.3
成熟	—	—	11.91	11.1	100	100	14.1	17.7

ii. 窒素吸収パターン

有効茎決定期～最高分けつ期までは収量レベルが異なっても窒素吸収量は殆ど同じである。しかし、幼穂形成期には多収レベルが低収レベルより12%吸収量が多くなっており、以後はこの差を保ったまま収穫期まで至ることが特徴である。すなわち、多収レベルの窒素吸収パターンの特徴は低収レベルのそれに比べて最高分けつ期～幼穂形成期間の窒素吸収量が多いことが特徴と言える。この時期の窒素吸収量が多いことが一穂着粒数の増大や有効茎歩合の低下防止をもたらした要因と考えられた。

2) 窒素吸収量推定式⁴⁾

ここでは時期別窒素吸収量の推定方法について述べる。時期別窒素吸収量の推定式は、地区毎に4区、5

年間の試験により、時期毎に20の窒素吸収量のデータが得られ、これをもとに下に示す回帰式で窒素吸収量(Y)を求める。

$$Y = A \times X + B$$

この場合、Xは栄養診断値で草丈(cm)×茎数(本/m²)×葉緑素計値(SPAD502による)、A、Bは定数である。栄養診断では圃場で草丈、茎数、葉緑素計値を計測し、第14表から地域及び時期毎にパラメータを選択し、数値を代入することにより、窒素吸収量を推定することができる。これによって求めた推定窒素吸収量を第10表に定めた時期別窒素吸収量目標値と照合することにより、対象圃場の水稲窒素吸収量の過不足をその場で判断することができる。

第14表 栄養診断値による地域別の水稲窒素吸収量推定のためのパラメーターと相関係数

時期 地点	6/25			7/5			幼形			減分		
	A	B	r	A	B	r	A	B	r	A	B	r
鹿角	3.18	0.17	0.97**	3.54	0.25	0.93**	5.80	-0.99	0.90**	4.11	1.55	0.78**
大館	4.14	-0.31	0.92**	4.95	-1.16	0.84**	3.39	1.25	0.78**	4.72	0.55	0.86**
鷹巣	3.53	-0.05	0.96**	4.62	-0.78	0.89**	3.79	1.26	0.79**	4.04	2.59	0.68**
能代	3.73	0.26	0.92**	3.89	0.45	0.85**	3.03	2.88	0.80**	3.79	3.38	0.69**
男鹿	4.17	-0.47	0.87**	3.63	0.36	0.94**	1.90	2.73	0.45*	3.32	3.62	0.71**
昭和	4.10	-0.57	0.90**	3.82	0.60	0.85**	3.03	2.82	0.61**	5.01	0.77	0.82**
秋田	2.05	0.71	0.82**	3.04	0.72	0.95**	3.76	0.82	0.86**	6.11	-0.88	0.89**
本荘	2.94	0.39	0.88**	3.70	0.16	0.85**	4.15	0.72	0.86**	6.07	0.61	0.81**
大曲	3.61	0.00	0.91**	4.26	0.48	0.80**	2.69	2.60	0.71**	5.33	1.36	0.73**
角館	3.72	-0.08	0.96**	3.32	0.17	0.93**	4.45	0.13	0.92**	4.24	2.08	0.72**
横手	3.30	0.03	0.98**	3.50	0.39	0.88**	5.09	-0.42	0.93**	5.59	0.21	0.92**
湯沢	1.49	1.45	0.43	3.74	0.61	0.69**	6.32	-1.00	0.83**	7.94	-1.56	0.72**
全体	3.33	0.13	0.88	3.83	0.19	0.87	3.95	1.07	0.79	5.02	1.19	0.78

注1. システム基準圃の成績から求めた、各地点のデータ数は20である。

2. 各時期の水稲の窒素吸収量(Y)は次式により推定する。Y=A×X+B、Xは栄養診断値、A、Bはパラメーターである。

3. rは水稲の窒素吸収量と栄養診断値の相関係数、**は1%、*は5%の危険率で有意であることを表す。

3. 土壌窒素無機化予測と施肥窒素の動態

1) 土壌窒素無機化予測式⁴⁾

水稲は吸収窒素の内土壌由来の割合が多いことで知られている。水田状態で供給される土壌窒素は、土壌の乾燥によって無機化する部分と稲作期間中の積算温度(地温と同じ)に対応して無機化される部分に大別される。ここでは、システム基準圃の土壌を対象にし、積算温度により無機化する窒素量を室内培養法により測定し、その結果から土壌毎の窒素無機化式のパラメー

タを決定する。

(1) 材料及び方法

i. 土壌試料: 土壌はその地域で普遍的に分布する土壌統を代表させ、システム基準圃として選定した。県北では黒ボク土壌や灰色低地土壌が選定され、県南では主に排水不良土壌であるグライ土壌が選定された。地点別の土壌統とその土壌分析結果は第15表に示したとおりである。グライ土壌の場合は主に1層、他の土壌では2層まで採取した。土壌は生土のまま2mmの篩

いを通し、培養に供した。

ii. 培養方法：内径37mm、容量80mlのガラス瓶に生土を40g程度充填し、蒸留水を加えてよく攪拌後、空気に触れないようにして培養した。培養温度は20℃、25℃、30℃の3段階とし、恒温で培養した。培養期間は0、2、4、6、8、10、12、14、17、20週、培養終了後は定法に従い無機化した窒素を蒸留法で求めた。

iii. 土壌窒素無機化式の策定方法：温度別に恒温静置培養で得られた無機化窒素量を計測した。この値を金野⁹⁾が開発したプログラムを用い、土壌窒素発現量に関わるパラメータを算出した。窒素発現量に関わる基本的な式と内容を以下に示しておく。

$$Y = N \{1 - \text{EXP}(-K \times t)\} + B$$

ここに、Yは無機化窒素量 (mg/100g)、Nは可分解性有機態窒素量 (mg/100g)、Kは無機化速度定数 (/day)、tは温度による変換日数 (25℃換算積算日数)、Bは定数 (培養開始時に保有していた窒素量mg/100g)である。

(2) 結果及び考察

以上の操作により得られた各地域毎の生育診断システム開発圃場における窒素無機化パラメータが得られた。これらのパラメータは土壌無機化窒素量を計算し、窒素追肥量を算定する上で必要不可欠であり、水稻栄養診断プログラムの中核をなす部分である。

第15表 システム基準圃の土壌分析結果

地区名	土壌採取場所	土壌統	層位	土性	PH		me/100g				塩基飽和度 (%)
					H ₂ O	Kcl	CaO	MgO	K ₂ O	C.E.C	
1	鹿角鏡田	久世田	1	CL	5.4	4.7	10.2	2.0	0.7	21.0	61.4
2	大館四羽出	石本	1	CL	6.0	5.2	7.4	1.1	0.4	13.0	68.5
3	鷹巣小森	金田	1	CL	5.6	4.6	14.6	4.1	0.7	24.8	78.2
			2	CL	5.4	4.5	14.6	4.2	0.3	25.8	74.0
4	能代田屋	竜北	1	L	5.5	4.5	5.1	3.0	0.8	16.4	54.3
			2	SL	5.7	4.4	6.8	2.9	0.3	15.0	66.7
5	昭和和田	妹川八幡	1	LiC	5.3	4.0	13.2	6.6	1.3	27.4	77.0
			2	LiC	5.9	6.0	13.8	6.5	0.5	22.5	92.4
6	男鹿小深見	琴浜	1	CL	5.7	4.8	8.0	2.5	0.6	12.5	88.8
			2	L	5.6	4.9	8.3	2.4	0.5	12.4	90.3
7	秋田外旭川	田川	1	HC	4.8	3.7	6.4	4.8	0.3	22.8	50.4
			2	HC	4.6	3.6	8.6	6.1	0.1	25.0	59.2
8	本荘老方	幡野	1	LiC	5.6	4.6	19.9	6.9	0.4	36.7	75.2
			2	LiC	5.9	4.5	17.7	7.2	0.3	34.8	73.6
9	大曲高梨	幡野	1	LiC	5.3	4.3	8.2	2.8	0.5	23.2	50.9
10	横手浅舞	幡野	1	LiC	5.8	4.9	14.6	3.8	0.5	20.8	91.8
			2	LiC	5.7	4.7	13.0	4.2	0.4	19.8	90.4
11	角館清水	浅津	1	CL	5.5	4.5	10.6	2.7	0.4	22.6	61.5
			2	CL	5.5	4.7	11.5	2.6	0.3	23.1	63.6
12	湯沢大島	幡野	1	LiC	5.6	4.4	12.6	4.6	0.6	22.1	82.4
			2	LiC	5.8	4.4	14.2	5.8	0.3	23.8	87.4

地区名	土壌採取場所	土壌統	層位	土性	有効態 磷酸	磷酸 吸収係数	全炭素 T-C	全窒素 T-N	C/N	温度上 昇効果	乾土効果
1	鹿角鏡田	久世田	1	CL	44.0	1,043	5.50	0.43	12.8	23.9	30.2
2	大館四羽出	石本	1	CL	53.2	889	3.70	0.23	16.1	—	—
3	鷹巣小森	金田	1	CL	51.3	1,159	6.20	0.49	12.7	8.5	13.3
			2	CL	12.8	1,151	6.60	0.52	12.7	16.3	24.1
4	能代田屋	竜北	1	L	29.3	815	3.60	0.28	12.9	19.5	21.0
			2	SL	5.5	850	3.30	0.23	14.3	4.6	2.4
5	昭和和田	妹川八幡	1	LiC	16.5	1,141	3.20	0.25	12.8	11.4	22.4
			2	LiC		986	3.10	0.23	13.5	1.6	2.8
6	男鹿小深見	琴浜	1	CL	29.3	475	3.60	0.27	13.3	22.0	20.3
			2	L	18.3	480	3.40	0.27	12.6	6.7	3.9
7	秋田外旭川	田川	1	HC	3.7	1,142	3.60	0.29	12.4	8.7	7.5
			2	HC	tr	1,106	3.30	0.22	15.0	5.7	3.7
8	本荘老方	幡野	1	LiC	16.5	1,476	5.50	0.39	14.1	13.1	30.1
			2	LiC	1.8	1,575	5.60	0.35	16.0	1.3	17.0
9	大曲高梨	幡野	1	LiC	16.5	2,145	5.50	0.33	16.7	15.2	1.1
10	横手浅舞	幡野	1	LiC	33.0	888	3.70	0.25	14.7	11.9	21.4
			2	LiC	5.5	808	3.30	0.22	15.0	2.7	16.4
11	角館清水	浅津	1	CL	33.0	1,145	5.50	0.35	15.7	15.0	20.8
			2	CL	23.8	1,246	5.80	0.36	16.1	7.6	26.1
12	湯沢大島	幡野	1	LiC	14.7	933	3.00	0.21	14.1	3.6	19.7
			2	LiC	tr	967	3.40	0.23	14.6	3.4	8.4

第16表 システム基準圏における第1層の土壌窒素無機化パラメータ (25°C変換)

土壌	層位	N	K(25°C)	E a	B	AIC
鹿角	1	23.7	0.005	16438	2.08	92.9
大館	1	18.3	0.005	26750	1.31	103.7
鷹巣	1	31.9	0.00253	29066	1.53	83.6
鷹巣	1	20.5	0.005	30500	1.08	88.6
鷹巣	1	39.6	0.005	10188	3.29	103.1
能代	1	19.9	0.005	19719	1.50	45.0
能代	1	27.3	0.005	18781	2.29	98.1
男鹿	1	25.1	0.005	31750	1.93	148.0
昭和	1	32.2	0.005	24406	-0.09	152.9
秋田	1	21.0	0.00987	30962	1.67	98.0
秋田	1	47.0	0.005	15188	2.09	129.0
本荘	1	27.6	0.005	17219	0.71	123.7
大曲	1	22.8	0.005	34250	2.50	145.3
角館	1	19.3	0.005	23000	1.50	118.2
横手	1	26.8	0.00145	23063	1.55	82.0
横手	1	10.6	0.005	24250	1.24	83.9
湯沢	1	24.2	0.005	34250	2.50	129.5

注) K : 0.005は、固定計測。

第17表 システム基準圏における第2層の土壌窒素無機化パラメータ (25°C変換)

土壌	層位	N	K(25°C)	E a	B	AIC
昭和	2	25.1	0.005	12063	0.01	114.5
角館	2	4.6	0.005	21125	0.82	44.7
湯沢	2	9.2	0.005	21750	0.60	90.2

参) $Y = N \{ 1 - \text{EXP}(-k \times t) \} + B$
 Y : 無機化窒素量 (mgN/100g)
 N : 可分解性有機態窒素量 (mgN/100g)
 k : 無機化速度定数 (/day)
 E a : 見かけの活性化エネルギー (cal/mol)
 B : 定数
 t : 温度による変換日数 (day)
 AIC : Akaike's Information Criterion

2) 施肥窒素の動態⁴⁾

生育診断システムの開発に重要な基肥の利用率和地力窒素の吸収を重窒素を含む硫酸を基肥に用いて解明する。

(1) 材料及び方法

無底の木枠(30×30cm)を各地区のシステム基準圃に設けた無窒素区に設置し、基肥量は地区の慣行量になるように施用した。試料を収穫期に採取し、重窒素含量は定法に従いガス化し、分光法により存在比を測定し、基肥の利用率和地力由来窒素量を求めた。

(2) 結果及び考察

第18表には各地区の基肥窒素量と平均玄米収量を示した。基肥量は県北で多く、県南で少ない傾向が認められた。基肥施用区玄米収量から無肥料区玄米収量を引いた値は県北で高く、県南で低い傾向があった。吸

収窒素の玄米生産効率(玄米収量÷吸収窒素量)の値は地区を異にしても大差がないことから県北、特に鹿角・大館では施肥窒素依存度が高いと言える。このことは第19表に示した基肥区と無追肥区の窒素吸収量の差からも同様なことが言える。重窒素を用いた施肥窒素の利用率(吸収窒素×100/施用窒素)が最も高い地区は湯沢地区を除けば鹿角・大館・鷹巣であった。ともに排水良好な圃場で、地力窒素発現量が少なく基肥窒素量が地区間では最も多いことから施肥窒素依存度の高い地域とすることができる。逆に、施肥依存度の低い地区は県南に多い。ここは排水不良のグライ土の分布が広く、土壌由来窒素量も多いことから施肥依存度は低い。これらのことが試験から明らかになった。診断プログラム中の追肥量を算出する部分でこれらの結果が活用されることになる。

第18表 システム基準圃の玄米収量と玄米生産効率(5ヵ年平均)

場 所	基肥窒素 (kg/10a)	玄米収量 (kg/10 a)			玄米生産効率 (kg/10 a / N 1 kg)	
		無追肥区	無肥料区	①-②	無追肥区	無肥料区
		①	②		無追肥区	無肥料区
鹿角	8	479	352	127	52.8	57.4
大館	8	531	384	147	56.0	57.4
鷹巣	6	544	478	66	41.8	47.1
能代	7	448	382	66	45.3	55.2
男鹿	7.8	519	438	81	56.0	60.0
昭和	6	531	509	22	51.3	63.3
秋田	6	520	432	88	54.0	50.1
本荘	6	493	394	99	57.0	63.7
大曲	4.8	569	480	89	57.4	58.6
角館	5.5	501	416	85	60.3	56.9
横手	6	532	484	48	57.4	50.5
湯沢	4.8	510	494	16	52.9	53.4
平均	6.3	515	437	78	53.5	56.1

第19表 システム基準圃成績による水稻の窒素吸収量と基肥窒素利用率

場 所	基肥窒素 (kg/10a)	出穂期の窒素吸収量 (kg/10a)			収穫期の窒素吸収量 (kg/10a)			基肥窒素利用率 (%)		
		無追肥区	無肥料区	①-②	無追肥区	無肥料区	①-②	差引法		重窒素法
		①	②		①	②		出穂期	収穫期	
鹿角	8	8.87	5.72	3.15	8.48	6.00	2.48	39.4	31.0	41.0
大館	8	6.69	4.76	1.93	9.74	6.94	2.80	24.1	35.0	43.0
鷹巣	6	8.88	6.33	2.55	12.67	10.20	2.47	42.5	41.2	43.0
能代	7	7.52	5.72	1.80	10.08	7.12	2.96	25.7	42.3	26.7
男鹿	7.8	7.88	6.05	1.83	9.47	7.40	2.07	23.5	26.5	35.1
昭和	6	8.63	6.81	1.82	10.33	8.24	2.09	30.3	34.8	32.4
秋田	6	8.41	6.56	1.85	9.70	8.66	1.04	30.8	17.3	26.5
本荘	6	7.68	5.06	2.62	8.49	6.58	1.91	43.7	31.8	41.0
大曲	4.8	8.12	5.82	2.30	10.07	8.50	1.57	47.9	32.7	30.5
角館	5.5	7.67	6.14	1.53	8.61	7.46	1.15	27.8	20.9	26.0
横手	6	6.93	6.60	0.33	9.32	9.65	-	-	-	40.5
湯沢	4.8	8.81	8.15	0.66	10.91	9.58	1.33	13.8	27.7	53.4
平均	6.3	8.01	6.14	1.87	9.82	8.03	1.99	31.8	31.0	38.0

4. 生育栄養診断プログラムによる栽培実証と地域別目標収量の策定

1) 栽培実証¹⁾

1991年から1994年までの4年間、あきたこまちの目標収量を600kg～630kg/10aに置き、生育栄養診断プログラムによる安定栽培の実証を行ったので、その概要について報告する。

(1) 材料及び方法

- i. 試験年次：1991年～1994年
- ii. 試験場所：秋田農試、水稲連作圃場
- iii. 供試品種：あきたこまち
- iv. 試験区の構成と窒素追肥時期及び追肥量：無肥料区（追肥なし）、7kg慣行区（窒素基肥量7kg/10a、幼穂形成期と減数分裂期に窒素2kg/10aを追肥）、7kg診断区（窒素基肥量7kg/10a、4回の診断時期に生育栄養診断プログラムの指示にしたがって追肥）
- v. 目標収量、生育量及び窒素吸収量
あきたこまちの目標収量を600kg～630kg/10aとし

た場合の時期別生育量及び窒素吸収量は第10表に示したとおりである。生育栄養診断プログラムにはこれらの条件を組み込んでいる。

vi. 耕種概要：①中苗機械移植栽培、②栽植密度25.6株/m²、③移植時期5月10日、④有機物無施用、⑤耕深13cm

vii. 気象データは当該年の秋田のアメダス平均気温を用いた。

(2) 結果及び考察

1991年から1994年まで4年間の4月～9月の日平均気温の推移を第15図、17図、19図、21図に示した。診断区における4年間の時期別窒素吸収量の目標値、推定値、予測値及び実測値等を第16図、18図、20図、22図に示した。また、年次別の各試験区における生育、収量及び収量構成要素のデータを第20表に一覧した。

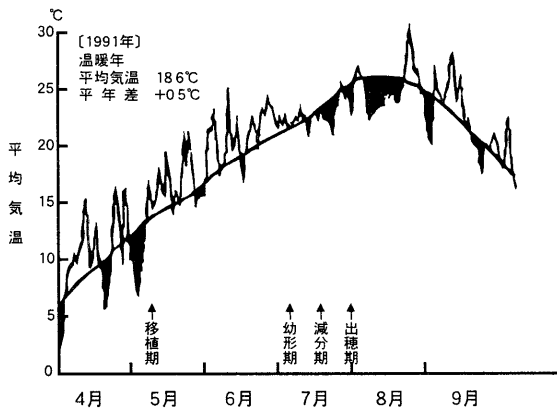
第20表 生育栄養診断プログラムによる栽培実証結果の概要

試験年次	試験区名	基肥窒素 kg/10a	時期別窒素追肥				幼穂形成期	減数分裂期	出穂期	倒伏程度	成熟期における			平均1穂粒数	m ² 当り全粒数	登熟歩合 %	玄米重 g/kg/10a	同左比率 %	玄米品質	
			①	②	③	④					稈長 cm	穂長 cm	穂数 /m ²							
1991	無肥料区	0	0	0	0	0			0.0	78.2	16.1	335	68.9	23.1	95.5	20.9	477	83	1中	
	7kg慣行区	7	0	0	2	2	7/6	7/19	7/30	2.0	92.6	17.4	481	74.1	35.7	81.9	19.3	576	100	1下
	7kg診断区	7	0	0	1	2				1.0	79.6	17.0	406	74.6	30.3	93.4	21.0	595	103	1下
1992	無肥料区	0	0	0	0	0			0.0	63.6	15.5	276	59.8	16.5	94.6	21.1	330	63	1下	
	7kg慣行区	7	0	0	2	2	7/12	7/24	7/31	0.5	73.7	17.0	394	69.6	27.4	91.7	22.5	527	100	1下
	7kg診断区	7	0	0	3.3	5				0.5	71.1	17.1	388	67.1	26.0	91.4	22.2	571	108	1下
1993	無肥料区	0	0	0	0	0			0.0	62.2	15.9	276	69.1	19.1	90.6	21.7	396	70	1下	
	7kg慣行区	7	0	0	2	2	7/15	8/3	8/14	0.0	74.7	17.7	402	75.4	30.3	86.2	21.6	567	100	1下
	7kg診断区	7	2.8	0	1	3.8				0.5	80.5	17.8	475	74.9	35.6	81.5	21.6	638	112	1下
1994	無肥料区	0	0	0	0	0			0.0	70.1	18.3	299	75.4	22.5	92.9	22.2	448	76	1下	
	7kg慣行区	7	0	0	2	2	7/10	7/22	7/29	0.0	81.0	18.4	378	80.8	30.5	88.6	22.4	587	100	1下
	7kg診断区	7	0	2.4	0	4.0				0.0	80.6	18.3	374	79.5	29.8	91.3	21.9	604	103	1中

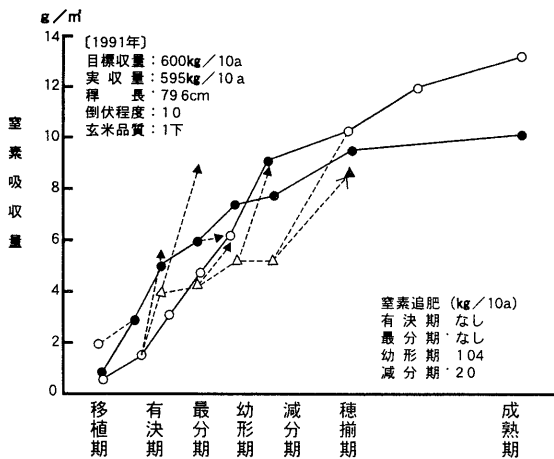
注1. 時期別窒素追肥：①は有効茎数決定期、②は最高分けつ期、③は幼穂形成期、④は減数分裂期を表す。
 2. 倒伏程度は0（無）～4（基）の5段階評価である。
 3. 玄米品質は秋田食糧事務所の検査により、9段階評価で示した。

i. 1991年の結果

4月～9月の平均気温が18.6℃（平年差+0.5℃）の温暖年であった。診断区はプログラムの指示に従い、幼穂形成期に1.0kg/10a、減数分裂期に2.0kg/10aの窒素追肥をした。その結果、診断区で595kg/10aの収量が得られ、慣行区より3%（21kg/10a）増収した。増収の要因は1穂粒数の確保と、稈長を倒伏限界の80cm以下にした結果、倒伏が少なかったことによる。



第15図 1991年の稲作期間の日平均気温と平年比較（秋田）



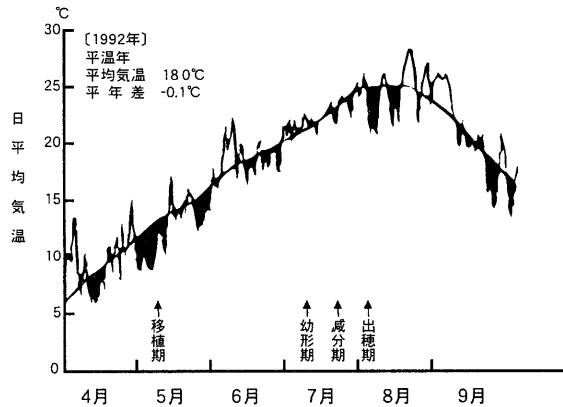
第16図 1991年の窒素吸収量の推定値、予測値及び実測値と実証結果

△-△：推定値（草丈×茎数×葉緑素計値より窒素吸収量を推定）
 -→▲：予測値（残存窒素量と土壌無機化窒素量を考慮して予測）
 ●-●：実測値（ケルダール分析により窒素吸収量を求めた）
 ○-○：目標窒素吸収量

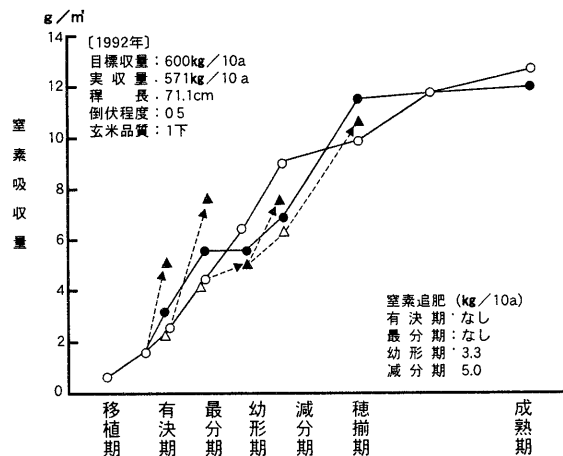
ii. 1992年の結果

4月～9月の平均気温が18℃（平年差-0.1℃）の平温年であった。診断区はプログラムの指示に従い、幼穂形成期に3.3kg/10a、減数分裂期に5.0kg/10a

の窒素追肥をした。診断区の収量は571kg/10aで目標収量は得られなかったが、慣行区より8%（44kg/10a）増収した。増収の要因は適正穂数の確保と1穂粒数の増加にあった。また稈長が短く、倒伏はほとんどみられなかった。



第17図 1992年の稲作期間の日平均気温と平年比較（秋田）



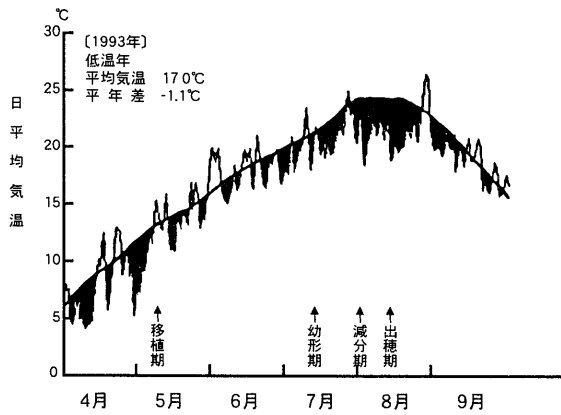
第18図 1992年の窒素吸収量の推定値、予測値及び実測値と実証結果

△-△：推定値（草丈×茎数×葉緑素計値より窒素吸収量を推定）
 -→▲：予測値（残存窒素量と土壌無機化窒素量を考慮して予測）
 ●-●：実測値（ケルダール分析により窒素吸収量を求めた）
 ○-○：目標窒素吸収量

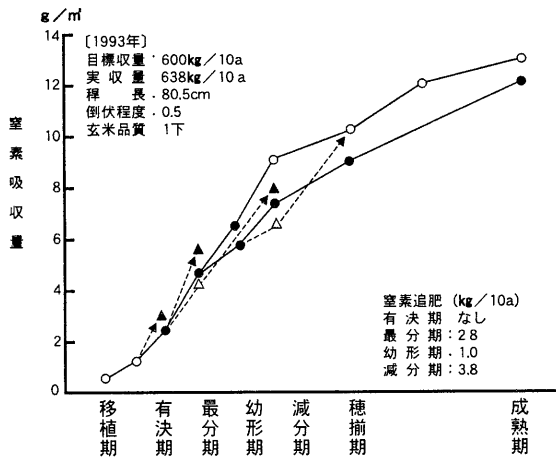
iii. 1993年の結果

4月～9月の平均気温が16.7℃（平年差-1.1℃）の低温年であった。診断区はプログラムの指示に従い、最高分けつ期に2.8kg/10a、幼穂形成期に1.0kg/10a、減数分裂期に3.8kg/10aの窒素追肥をした。その結果、診断区で638kg/10aの収量が得られ、慣行区より12%（71kg/10a）増収した。増収の要因は適正穂数の確保と1穂粒数の増加にあった。稈長は倒伏

限界の80cmをわずかに超えたが、倒伏はほとんどみられなかった。



第19図 1993年の稲作期間の日平均気温と平年比較（秋田）



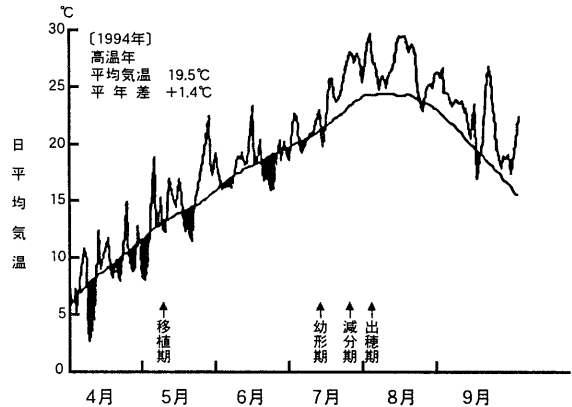
第20図 1993年の窒素吸収量の推定値、予測値及び実測値と実証結果

△-△：推定値（草丈×茎数×葉緑素計値より窒素吸収量を推定）
 →▲：予測値（残存窒素量と土壌無機化窒素量を考慮して予測）
 ●-●：実測値（ケルダール分析により窒素吸収量を求めた）
 ○-○：目標窒素吸収量

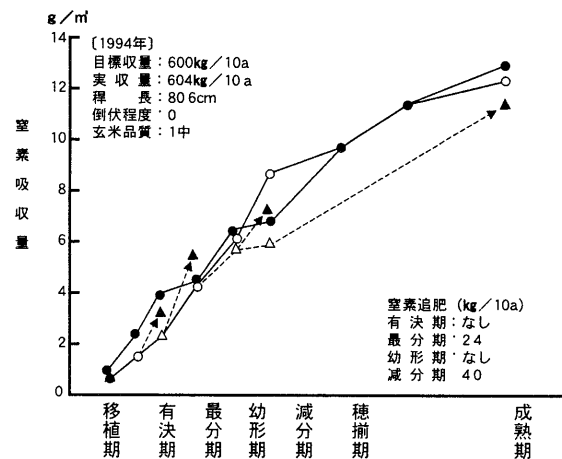
iv. 1994年の結果

4月～9月の平均気温が19.5°C（平年差 +1.4°C）の高温年であった。最高分けつ期に 2.4kg/10 a の窒素追肥をした。幼穂形成期の診断では次ステージの窒素吸収量が少ないと予測され、2.4kg/10 a の窒素追肥がプログラムにより指示された。しかし、高温により生育が急速に促進していること、草丈がかなり長いことを考慮し、あえて窒素追肥を控えた。減数分裂期の診断では窒素吸収量の推定値が少なく、次ステージの窒素吸収量も少ないと予測され、5.3kg/10 a の窒素追肥が指示された。しかし、稈長の伸び過ぎによる倒

伏が懸念されたことから窒素追肥量を 4.0kg/10 a に減じた。その結果、診断区で 604kg/10 a の収量が得られ、慣行区より3%（17kg/10 a）増収した。目標穂数は確保できなかったが、目標収量を確保した。稈長は倒伏限界の80cmをわずかに越えたが倒伏は見られなかった。



第21図 1994年の稲作期間の日平均気温と平年比較（秋田）



第22図 1994年の窒素吸収量の推定値、予測値及び実測値と実証結果

△-△：推定値（草丈×茎数×葉緑素計値より窒素吸収量を推定）
 →▲：予測値（残存窒素量と土壌無機化窒素量を考慮して予測）
 ●-●：実測値（ケルダール分析により窒素吸収量を求めた）
 ○-○：目標窒素吸収量

以上、温暖年（1991年）、平温年（1992年）、冷温年（1993年）、高温年（1994年）の異なった気象条件の中で実施した4年間の実証試験結果から、生育栄養診断プログラムを使用した診断区が慣行区に比較して、目標収量の確保が容易で倒伏軽減上有利であることが確認できた。特に、1993年の冷温年においても栄養診断プログラムによる水稻の安定栽培が実証されたことは

意義深いと思われた。しかし、1994年の高温年では、①生育の促進が著しく、生育ステージ間の短縮に伴う診断スケール間の日数短縮、②異常に草丈が伸長した場合の窒素吸収量の評価、③土壌窒素無機化量予測の評価など、高温条件下における生育栄養診断上の問題点が指摘できた。今後はこれらの問題点を反映させ、生育栄養診断プログラムの改良を図ることが重要である。

2) 実証栽培に基づく地域別目標収量¹⁵⁾

1990年から1994年までの5年間、県内の12地域農業改良普及センターにシステム基準圃を設置し、生育栄養診断プログラムによるあきたこまちの栽培実証を行った。目標収量を600kg~630kg/10aに設定し、各システム基準圃には、生育栄養診断プログラムの指示どおりに窒素追肥を行う診断区を設け、生育と収量性の評価を毎年行った。その結果から生育栄養診断プログラムの操作・使用面並びに普及上における問題点を抽出し、生育栄養診断プログラムの改良方向を明らかにする。次に、あきたこまちの目標収量を600kg~630kg/10aに設定した場合の収量構成要素及び時期別目標生育量についての指標は作成済である。しかし、地域によっては収量水準が異なり、地域別に目標収量を見直す必要があると考えられる。そこで、システム基準圃から得られた5年間の生育、収量のデータを基に、目標収量を地域別に設定し、目標収量達成のための収量構成要素と時期別生育量を明らかにする。

(1) 材料及び方法

システム基準圃から得られた5年間の生育、収量データを使用した。システム基準圃の試験方法等は「Ⅲ-2.」の項で示したとおりである。

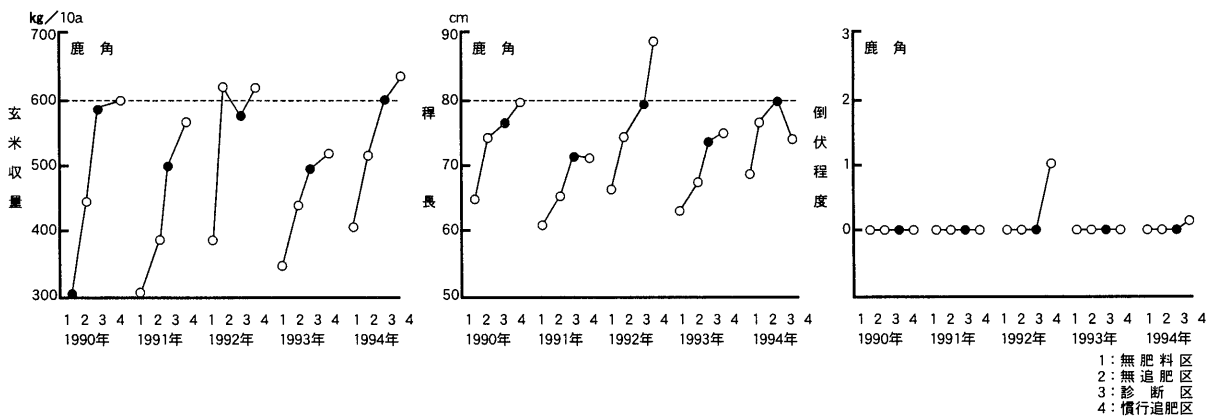
(2) 結果及び考察

i. 栽培実証結果

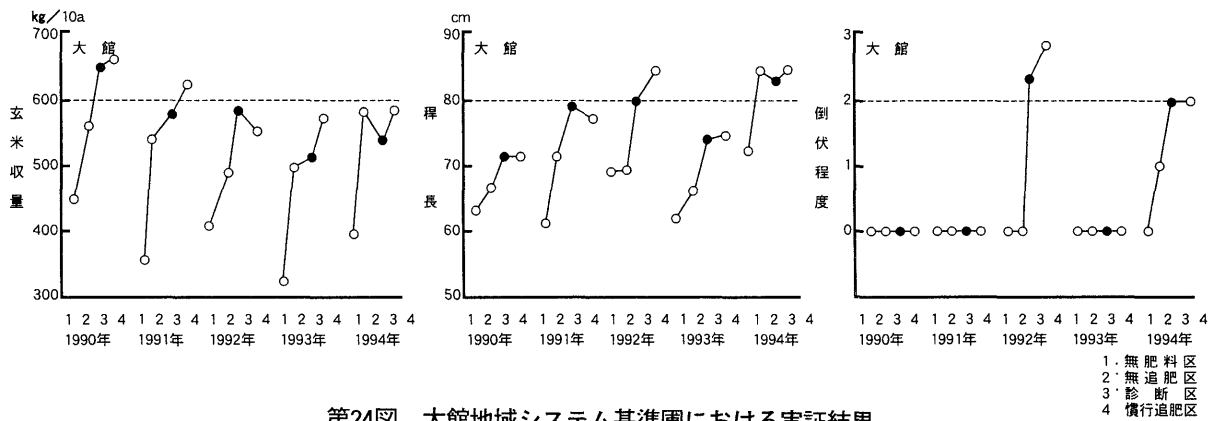
1990年から1994年までの全60例のデータについて解析し、生育栄養診断プログラムの適用性を生育、収量の面から検討した。地域別、年次別に全試験区における収量、稈長及び倒伏程度について比較した結果を第23図から第34図まで一括して示した。全60例のうち診断区の収量が目標の±30kg (660kg/10a以上の場合も含む)の範囲になった例は33例であった。年次別に見ると、冷害年の1993年が4例と最も少なく、次いで収穫前に台風19号の被害を受けた1991年が6例と少なく、他の年次は7~8例であった。地域別に見ると、大曲が5例で最も多く、次いで横手の4例であり、逆に少ない地点は能代の0、本荘、角館、湯沢の2例であった。

全60例のうち診断区の稈長が80cmを超えた例は22例あったが、そのうち10例は基肥無追肥区でも80cmを超えていた。一方、慣行追肥区では37例が80cmを超えた。地域別に見ると横手、湯沢で稈長が80cmを超える例が多く、地域差が認められた。倒伏程度は0から4までの5段階評価をしたが、一般的に倒伏が2を超えると減収と言われる。2を超えた例数は慣行追肥区では6例と多かったが、診断区では2例と少なかった。

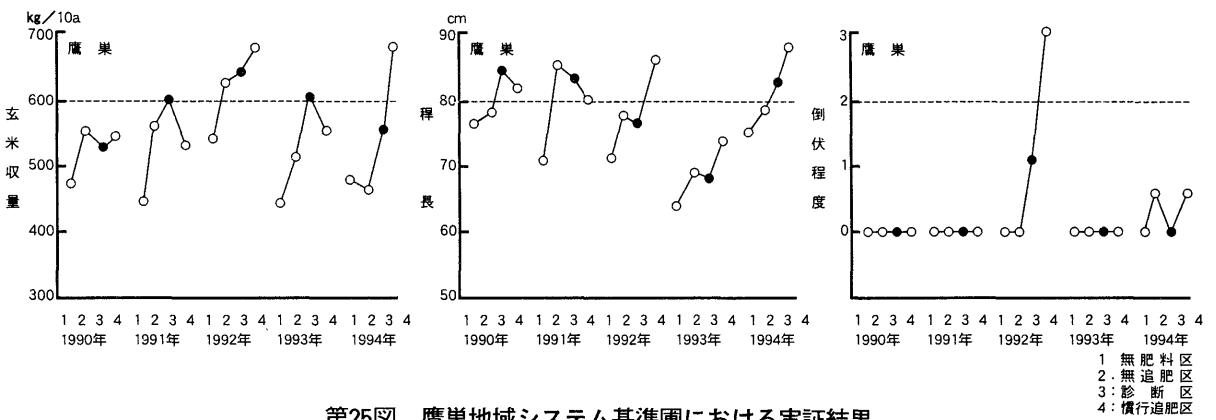
診断区の収量水準は慣行追肥区に劣る地域も見られたが、適正な稈長の保持と倒伏の軽減など安定生産性を考慮すると、栄養診断プログラムの効果は十分な評価ができると考えられた。しかし、収量水準は地域により異なることから、地域毎に収量水準の見直しが必要である。



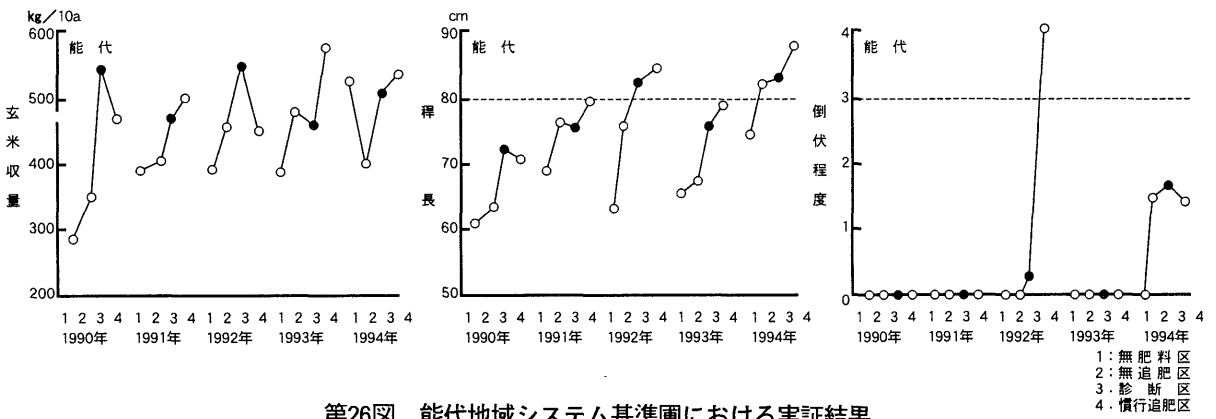
第23図 鹿角地域システム基準圃における実証結果



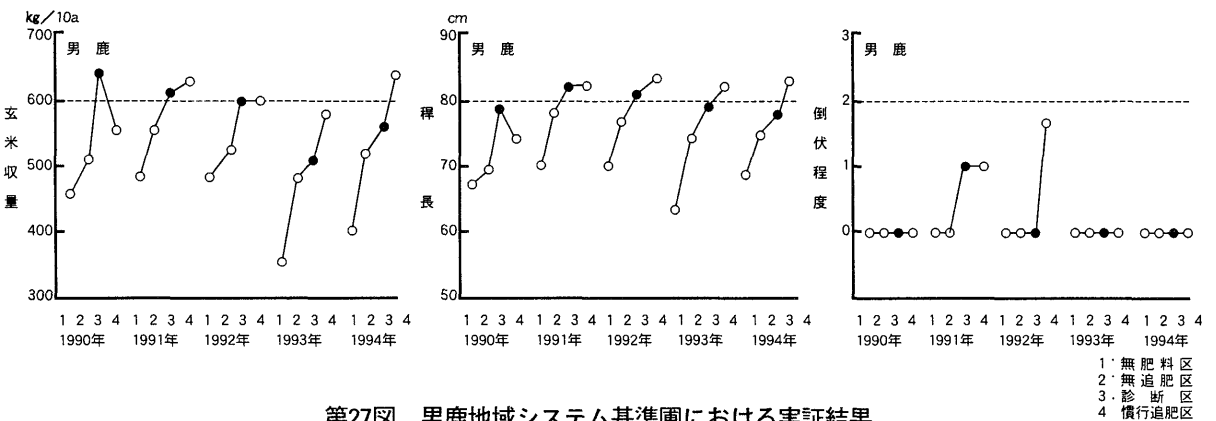
第24図 大館地域システム基準圏における実証結果



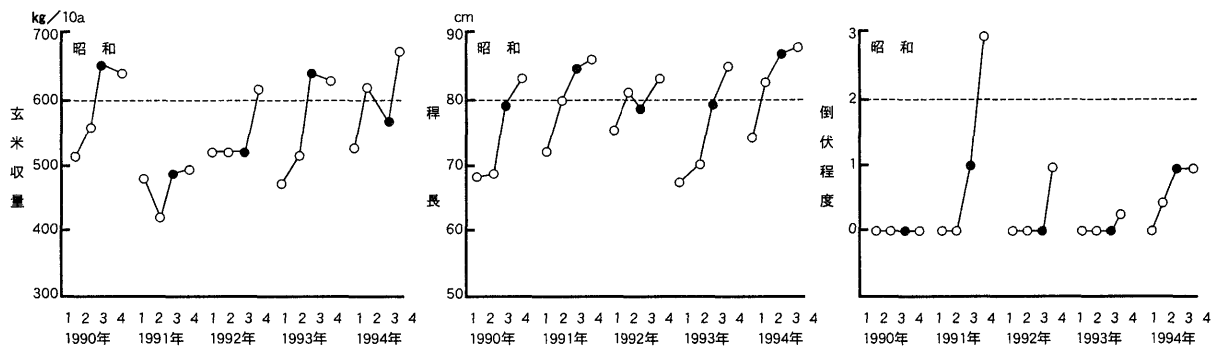
第25図 鷹巣地域システム基準圏における実証結果



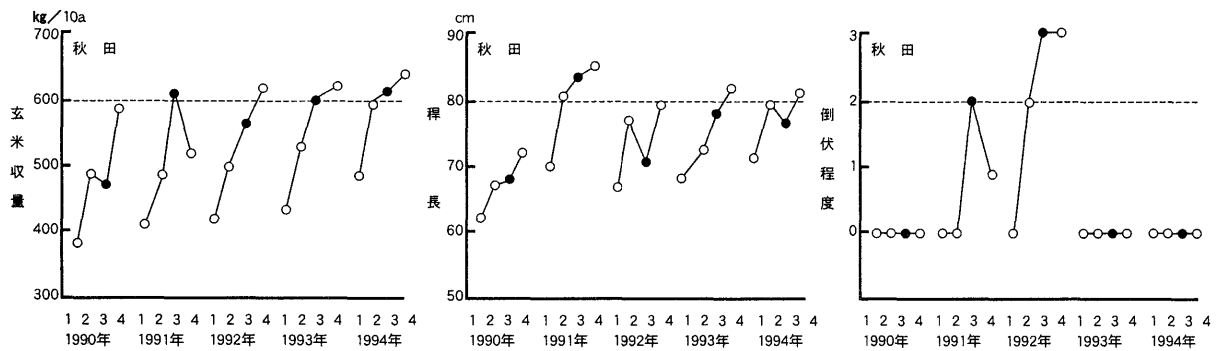
第26図 能代地域システム基準圏における実証結果



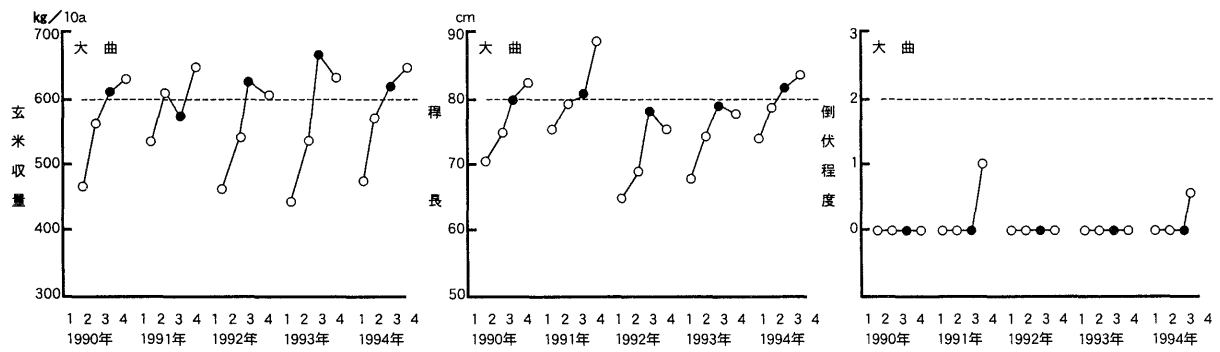
第27図 男鹿地域システム基準圏における実証結果



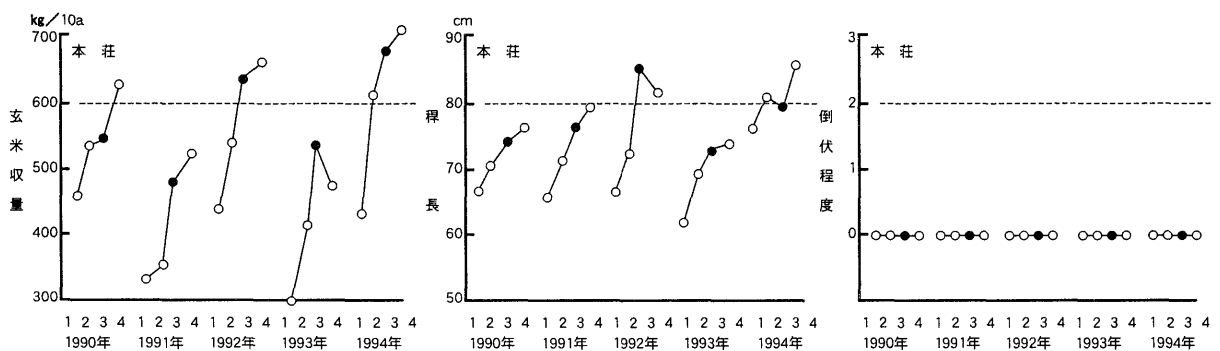
第28図 昭和地域システム基準圏における実証結果



第29図 秋田地域システム基準圏における実証結果



第30図 本荘地域システム基準圏における実証結果



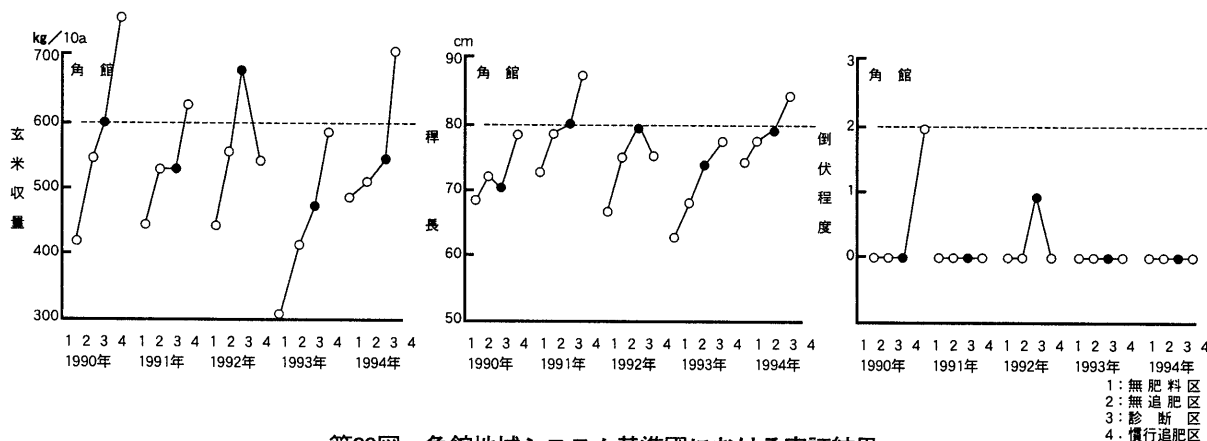
第31図 大曲地域システム基準圏における実証結果

1. 無肥料区
2. 無追肥区
3. 診断区
4. 慣行追肥区

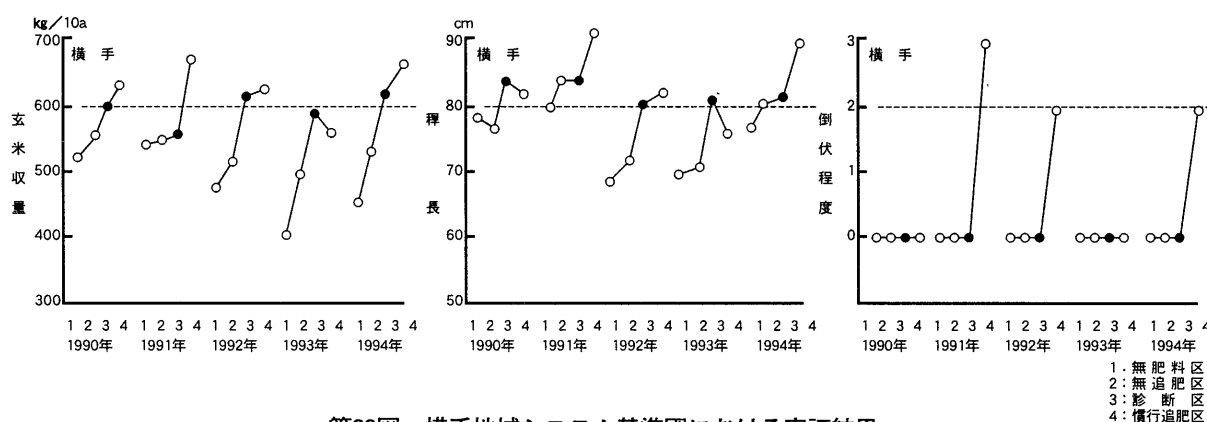
1. 無肥料区
2. 無追肥区
3. 診断区
4. 慣行追肥区

1. 無肥料区
2. 無追肥区
3. 診断区
4. 慣行追肥区

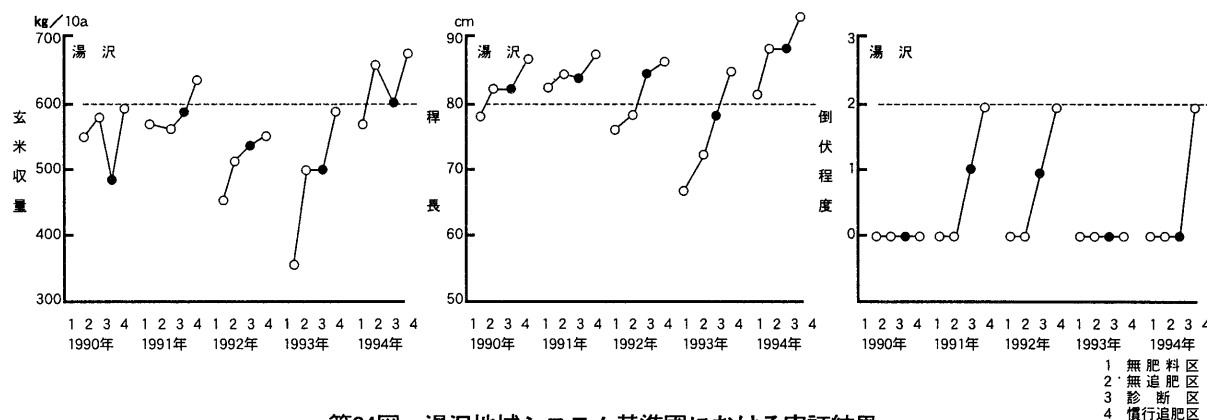
1. 無肥料区
2. 無追肥区
3. 診断区
4. 慣行追肥区



第32図 角館地域システム基準圏における実証結果



第33図 横手地域システム基準圏における実証結果



第34図 湯沢地域システム基準圏における実証結果

ii. 地域別目標収量

収量水準は倒伏程度が2以下で、収量上位のものから8例を選び、各地域ごとに目標収量水準を設定した。ただし、能代は収量上位のものから4例とした。次に、それらの例から収量構成要素および時期別の生育の平均値と標準偏差を求め、目標値の指標とした。目標収量達成のための収量構成要素の指標を第21表に取りまとめた。目標収量水準は地域により±30kg/10a程度の差があり、個々の収量構成要素にも地域間差がみられたが、12地域の各収量構成要素の平均値は秋田農試

暫定案の数値にはほぼ近似する結果となった。地域別の目標収量と収量構成要素を達成するための、時期別の生育指標を第22表及び23表に示した。各地域ごとの時期別生育指標には地域間差がみられたが、12地域の生育の平均値は秋田農試暫定案に近い数値を示した。今後はこれらの生育指標を基に、各地域ごとに生育診断の目標値を設定し、時期別の生育栄養診断に活用すれば、きめ細かな技術対応が可能になると考えられる。また、地域によっては解析例数が少ないので、これに生育定点調査データなどを加えることにより、さらに

地域に適用する生育指標を得ることが可能になる。

第21表 システム基準圃成績から地域別に策定したあきたこまちの目標収量と収量構成要素の指標

地域名	目標収量 (kg/10a)	データ 例数	項目	栽植密度 (株/m ²)	玄米重 (kg/10a)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒/穂)	m ² 当り 全粒数 (千粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
鹿角	570~600	8	平均	22.5	599	456	70.4	32.1	87.6	21.4
			標準偏差	0.8	21	75	5.6	5.5	3.8	1.0
大館	600~630	8	平均	23.3	601	467	72.9	34.1	83.5	21.6
			標準偏差	0.4	37	43	10.1	6.7	6.6	0.9
鷹巣	600~630	8	平均	20.6	604	498	73.3	36.5	85.1	20.7
			標準偏差	2.0	43	33	11.7	6.0	5.5	0.7
能代	570~600	4	平均	22.5	558	489	70.6	34.5	82.5	20.8
			標準偏差	2.0	15	31	8.8	3.3	8.7	1.1
男鹿	600~630	8	平均	22.7	608	470	73.7	34.6	85.2	21.2
			標準偏差	3.0	24	83	8.7	3.9	5.0	1.1
昭和	600~630	8	平均	22.8	633	462	78.1	36.1	82.8	21.1
			標準偏差	0.7	26	36	6.5	1.5	4.8	0.3
秋田	600~630	8	平均	23.6	602	488	70.5	34.4	84.8	20.6
			標準偏差	1.3	20	36	6.0	2.0	3.4	0.4
本荘	600~630	8	平均	21.3	629	435	77.7	33.8	86.5	22.2
			標準偏差	0.6	57	72	9.5	5.3	3.8	0.4
大曲	600~630	8	平均	21.4	638	441	73.2	32.3	88.2	21.8
			標準偏差	1.6	17	27	7.7	3.5	2.8	0.9
角館	600~630	8	平均	21.1	627	428	76.1	32.6	89.3	21.8
			標準偏差	0.6	74	40	6.3	3.1	2.9	0.5
横手	600~630	8	平均	21.6	615	438	74.4	32.6	86.3	22.3
			標準偏差	1.5	29	13	5.4	3.1	4.2	0.4
湯沢	600~630	8	平均	19.6	610	428	78.2	33.5	83.8	21.5
			標準偏差	0.9	33	30	5.3	2.6	4.6	0.5
12地域平均				21.9	610	458	74.1	33.9	85.5	21.4
秋田農試作成案 600~630				23~25	600~630	450~480	70~75	33~36	85~90	21~21.5

第22表 システム基準圃成績から地域別に策定したあきたこまちの時期別草丈、茎数等の指標

地域名	項目	時期別草丈 (cm)								時期別茎数 (本/m ²)							
		6/10	6/25	7/5	幼穂 形成期	減数 分裂期	稈長 (cm)	穂長 (cm)	倒伏 程度 (0-4)	6/10	6/25	7/5	幼穂 形成期	減数 分裂期	出穂 期	穂数	
鹿角	平均	24.3	34.4	44.8	58.5	68.1	78.1	17.3	0.1	159	411	561	580	544	471	457	
	標準偏差	2.7	5.8	6.1	2.7	5.3	5.0	0.7	0.3	43	57	135	124	128	66	81	
大館	平均	26.3	37.4	49.6	61.3	72.2	75.6	17.6	0.4	232	515	545	539	515	476	467	
	標準偏差	1.7	4.6	4.5	5.2	5.2	5.9	0.5	0.7	42	70	62	92	57	47	43	
鷹巣	平均	26.3	35.6	48.5	60.7	71.4	80.9	17.3	0.2	165	473	612	620	552	514	508	
	標準偏差	3.5	4.9	9.3	7.4	6.8	4.3	0.9	0.3	46	100	86	65	46	39	33	
能代	平均	24.7	35.3	47.5	57.9	70.8	79.8	17.3	0.4	170	431	612	613	533	496	499	
	標準偏差	1.2	3.0	2.9	5.5	5.6	5.6	1.0	0.6	48	81	121	103	89	33	31	
男鹿	平均	25.4	35.3	47.0	57.3	71.0	81.2	17.6	0.5	176	456	585	571	531	490	470	
	標準偏差	2.0	2.8	4.1	4.8	3.3	1.9	0.9	0.7	41	102	161	140	118	97	83	
昭和	平均	27.0	38.6	50.3	61.8	73.0	83.5	17.6	0.5	197	460	575	578	489	464	462	
	標準偏差	4.4	4.0	5.7	6.5	5.7	3.2	0.9	0.4	24	53	89	83	44	37	36	
秋田	平均	27.4	36.3	51.7	61.0	69.4	77.9	17.1	0.6	161	462	608	607	540	486	488	
	標準偏差	0.9	4.1	6.1	7.2	7.4	4.1	0.6	1.1	64	125	91	75	60	28	36	
本荘	平均	26.2	33.7	47.2	58.7	74.0	78.5	18.1	0.0	121	349	485	478	463	444	435	
	標準偏差	1.9	5.4	6.9	3.1	3.4	4.3	0.9	0.0	15	13	73	79	83	70	72	
大曲	平均	26.3	38.5	50.6	60.3	71.4	80.8	17.7	0.2	153	438	562	531	494	444	441	
	標準偏差	1.8	4.6	3.8	6.0	5.1	3.4	1.1	0.4	21	41	73	87	60	26	27	
角館	平均	24.5	34.1	46.4	58.0	72.1	76.7	17.5	0.4	124	356	477	493	465	427	427	
	標準偏差	2.3	4.3	6.9	4.7	4.4	5.5	1.1	0.7	32	49	42	36	48	35	40	
横手	平均	24.0	33.7	46.1	60.9	73.4	81.8	17.8	0.5	129	368	495	483	458	428	438	
	標準偏差	1.6	6.2	7.6	5.0	3.4	3.4	0.9	0.9	44	78	42	43	30	26	13	
湯沢	平均	25.6	37.1	51.9	64.1	75.8	86.1	18.5	0.6	134	364	474	462	431	424	424	
	標準偏差	2.1	1.9	5.0	6.1	4.9	3.3	0.7	0.9	41	88	62	63	54	28	30	
12地域平均		25.7	35.8	48.5	60.0	71.9	80.1	17.6	0.4	160	424	549	546	501	464	460	
秋田農試作成案		20 ~25	35 ~40	45 ~52	55 ~65	60 ~70	78 ~80	0 ~1		100 ~150	400 ~450	600 ~680	550 ~640	500 ~550	450 ~480	450 ~480	

第23表 システム基準圃成績から地域別に策定したあきたこまちの時期別葉数、葉緑素計値及び乾物重の指標

地域名	項目	時期別葉数(数)						時期別葉緑素計値				時期別乾物重 (g/m ²)					
		6/10	6/25	7/5	幼穂形成期	減数分裂期	出穂期	6/25	7/5	幼穂形成期	減数分裂期	6/25	7/5	幼穂形成期	減数分裂期	出穂期	成熟期
鹿角	Avg.	6.5	8.5	9.9	10.9	11.9	12.7	41.6	43.1	39.2	39.1	72	171	366	556	912	1,360
	S.D.	0.3	0.6	0.3	0.3	0.5	0.2	1.4	3.0	3.2	2.2	17	26	48	117	114	82
大館	Avg.	6.6	8.7	9.8	10.9	12.1	12.2	42.9	42.1	38.7	38.9	116	222	362	538	794	1,395
	S.D.	0.7	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	2.0	2.3	5.2	2.1	36	90	111	78	72	72
鷹巣	Avg.	6.2	8.5	9.9	10.9	12.3	12.5	42.6	42.2	39.4	40.6	82	197	368	534	819	1,481
	S.D.	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.3	1.9	2.1	2.8	3.5	32	70	61	61	134	169
能代	Avg.	6.4	8.6	9.8	10.9	12.1	12.9	44.0	44.3	37.9	39.0	74	216	422	613	889	1,419
	S.D.	0.4	0.3	0.2	0.2	0.7	0.6	1.6	4.1	6.8	1.4	26	56	98	89	81	192
男鹿	Avg.	6.5	8.7	10.0	10.8	12.3	12.8	45.5	44.3	41.9	41.0	88	197	336	548	861	1,451
	S.D.	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.4	2.6	2.5	2.0	3.4	26	62	98	63	133	91
昭和	Avg.	6.9	9.0	10.1	11.0	12.4	12.8	47.5	44.8	41.4	38.8	92	206	389	514	958	1,517
	S.D.	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	1.6	2.9	4.0	3.8	18	18	73	88	101	90
秋田	Avg.	6.7	8.6	9.9	10.9	12.2	12.8	45.1	46.6	43.9	39.4	81	191	342	535	795	1,338
	S.D.	0.5	0.3	0.5	0.6	1.0	0.6	2.1	2.7	6.4	1.7	33	48	79	105	109	163
本荘	Avg.	6.3	8.4	9.8	10.8	12.4	12.8	43.8	45.1	42.2	39.7	63	158	314	663	777	1,245
	S.D.	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	3.6	0.9	2.5	3.3	13	24	23	96	71	184
大曲	Avg.	6.0	8.6	10.0	10.9	12.3	13.0	42.6	42.6	39.4	39.1	82	215	310	516	851	1,426
	S.D.	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.1	1.4	2.5	4.0	2.4	25	48	44	60	125	226
角館	Avg.	5.9	8.5	9.8	10.8	12.3	12.7	42.6	41.7	40.5	38.7	60	140	291	486	837	1,369
	S.D.	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	3.1	2.5	2.6	3.2	18	38	41	78	116	126
横手	Avg.	6.0	8.4	9.8	11.0	12.4	12.7	42.4	44.4	40.5	39.2	61	162	344	509	805	1,402
	S.D.	0.3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	2.9	1.4	2.2	2.0	22	46	58	48	116	107
湯沢	Avg.	6.1	8.4	9.9	10.7	12.3	12.6	44.0	46.2	42.9	39.8	73	165	383	483	856	1,473
	S.D.	0.7	0.8	0.5	0.6	0.3	0.5	2.3	2.6	1.6	2.5	17	52	87	55	128	173
地域平均		6.3	8.6	9.9	10.9	12.2	12.7	43.7	43.9	40.6	39.4	79	187	352	550	846	1,406
秋田農試作成案		8.5 ~9.0	8.5 ~9.0	10.0	11 ~11.5	12.5 ~13	13.0	43 ~49	44 ~48	38 ~42	35 ~40	70 ~90	180 ~220	360 ~440	540 ~660	800 ~900	1,300 1,500

注1. 葉緑素計値はミノルタ社のSPAD502による測定値。
 2. Avgは平均値、S.D.は標準偏差を示す。

VI 生育予測技術

1. 発育モデルと発育ステージ予測

1) 発育指数による発育ステージ予測⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾

水稲の栽培管理を適切かつ計画的に行うには、時々刻々と変化する気象環境条件のなかで、水稲の発育ステージを的確に把握し、その後の推移を正確に予測する必要がある。特に本県は気象環境の制約を受け、水稲の作期が限られることから、幼穂形成期あるいは出穂期の予測が重要と考えられた。そこで堀江⁶⁾が提唱した発育指数 (Developmental Index、以後、DVI という) を導入したモデルを用いて、主要品種の発育ステージをパラメトリックに予測する発育モデルについて検討したので、その概要を報告する。

(1) 材料及び方法

i. 発育指数と発育速度

発育指数とは出芽後 n 日目の DVI はその間の発育速度 (DeVelopment Rate、以後、DVR という) を積算したものと与える。さらに、出芽時の DVI

を 0、そして任意の発育ステージのそれを 1 と定めることによって、出芽からその発育ステージに至る発育過程を $DVI = 0 \sim 1$ の間の連続的な数値として表現することができる。ここでは、発育指数が移植時に 0、幼穂形成期または出穂期に 1 となるモデルに置き換えた。すなわち移植日から DVR を日々積算し、1 に達した日を幼穂形成期または出穂期とするモデルである。移植日から t 日目の発育指数は、次式のように表すことができる。

$$DVI(t) = \sum_{i=1}^t DVR(i)$$

DVR(i) は移植日から i 日目の 1 日当たりの発育速度である。日々の発育速度は、その日の日平均気温と日長時間の関数と仮定し、次の 4 つの式について検討した。

$$DVR = a(T-b) \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

$$DVR = aT + bL + c \dots\dots\dots (2)式$$

$$DVR = a(T - b)(L - c) \dots\dots\dots (3)式$$

$$DVR = \frac{1}{e} \cdot \frac{1 - \exp\{a(L - b)\}}{1 + \exp\{-c(T - d)\}} \dots\dots (4)式$$

ここに、Tは日平均気温(°C)、Lは日長時間(hr)で太陽の中心が東の地平線上に現れてから西の地平線に没するまでの可照時間である。a、b、c、d、eはそれぞれパラメータである。なおいずれの式もDVRの計算値が負となる条件では、DVR=0とした。

(1)式は気温のみの関数で堀江⁵⁾、川方⁸⁾が報告している。(2)、(3)、(4)式は気温と日長時間の関数で、川方⁸⁾が報告している。(4)式は堀江⁶⁾が提唱している。

各式のパラメータの計算にはシンプレックス法をサブルーチンとする農業環境技術研究所気象生態研究室のパソコン用解析プログラム「水稻発育ステージ予測モデルとそのパラメータ決定プログラム」を使用した。

ii. 解析に用いたデータ

DVR関数型の検討とその発育モデルによる推定精度の検証に用いたデータは、1983年から1990年までの秋田農試における水稻作況解析試験成績で、その概要は第24表に示した。あきたこまちの苗の種類別に、DVR関数のパラメータ決定に用いたデータは第25表に示した。また、品種別にDVR関数のパラメータを決定するため、1983年から1993年までの水稻作況解析試験データ及び1991年に実施した品種別の作期移動試験データを使用した。気象データは当該年の秋田地方気象台発表による秋田の日平均気温を使用した。

第24表 発育モデルの検討並びに推定精度検証に共試した生育データ

品 種 名	苗の種類	試験年次	データ組数	移植期① (月/日)	出穂期② (月/日)	①から② までの日数
あきたこまち	中 苗	1985~1990	14	5/10~5/30	7/31~8/13	75~87
あきたこまち	稚 苗	1985~1990	8	5/11~5/30	8/8~8/16	78~91
キヨニシキ	中 苗	1983~1990	25	5/10~5/30	7/31~8/17	70~94
キヨニシキ	稚 苗	1983~1990	20	5/10~5/30	8/1~8/18	70~95

第25表 あきたこまちの発育モデルのパラメータ決定に供試した苗形質と生育データ

苗の種類	試験年次	データ組数	播種量 (乾籾)	育苗日数	移植時の葉齢	移 植 時 ①	出 穂 期 ②	①から② までの日数
	年		g/箱	日	葉	月/日	月/日	日
中 苗	1985~1991	20	100~120	35	2.3~4.0	5/10~6/6	7/29~8/17	72~87
稚 苗	1985~1991	14	180~200	20	2.0~2.8	5/10~6/6	8/4~8/23	78~91
乳 苗	1991	5	220~240	7~8	1.5~1.8	5/10~6/6	8/7~8/25	80~89

(2) 結果及び考察

i. 発育モデルの適用

作況解析試験から得られた移植期から出穂期までの日数と、モデルから得られた日数の残差2乗和が最小になるようにして、前述の4つの式のパラメータを求めた。各式、各品種ごとのパラメータを第26表に示した。移植期から出穂期までの実測日数と、モデルから推定した予測日数を各式ごとに比較し、第35図に示した。移植期から出穂期までの実測日数と推定日数の残差2乗和をデータの組数で割った平方根を標準誤差とし、各式の推定精度を比較した結果を第27表に示した。標準誤差は品種、苗の種類により差が見られ、データ組数が少ない稚苗あきたこまちで小さく、データ組数が多いキヨニシキでやや大きくなった。DVRの式別

に標準誤差を平均すると、気温のみの関数である(1)式が1.8日、気温と日長時間の関数である(2)、(3)、(4)式ではいずれも1.6日で大きな差が認められなかった。実測値と推定値の最大誤差は(1)式で3.8日、(2)式で3.5日、(3)式で3.6日、(4)式で3.6日でありいずれも差がなかった。

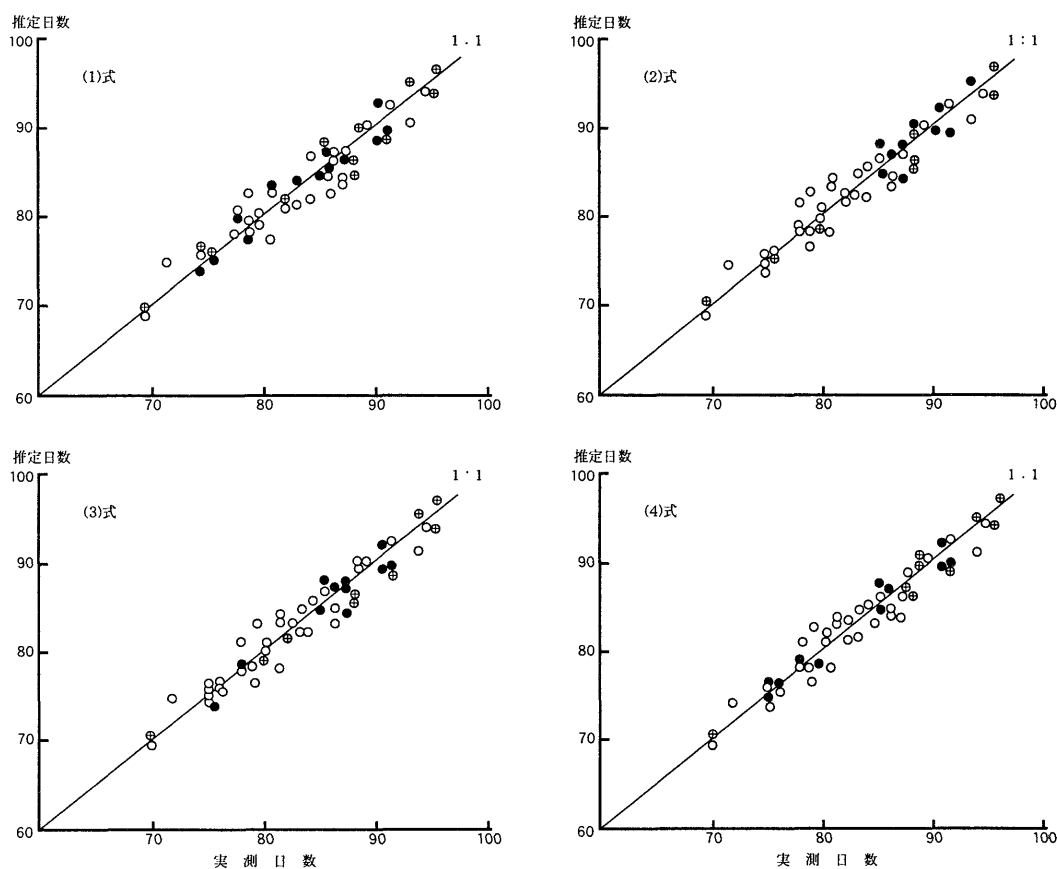
つぎに中苗あきたこまちのうち、幼穂形成期が明記された11組のデータを用いて移植期から幼穂形成期までのモデルについて検討した。DVR関数は出穂期の場合と同様に(1)~(4)式を用いた。計算により求めた各式のパラメータ、並びに移植期から幼穂形成期までの実測日数とモデルから求めた推定日数との標準誤差を第28表に示した。標準誤差はいずれのモデルでも1.4日で差がなかった。

移植期から出穂期までのモデルについて気温のみの関数である(1)式、及び日長時間を考慮した(2)、(3)、(4)式から計算した、あきたこまちの1日あたりDVRを比較した結果を第36図に示した。栽培試験期間中の移植日から出穂期までの日平均気温は概ね10℃から30℃の範囲にあり、その平均値は20.4℃であった。また日長時間は13.3hrから14.8hrの間にあった。この範囲内でDVRはいずれの式でも温度の上昇とともに増加する傾向が認められた。気温と日長時間の関数である(2)、(3)、(4)式では日長が短いほどDVRが大きくなる傾向が認められ、川方ら⁸⁾の報告と一致した。

以上の結果から、4つのうちのどのモデルを選んでも標準誤差2日以内で幼穂形成期あるいは出穂日が推定できる。また、今回解析したような温度範囲内では、発育速度は日平均気温に対してほぼ直線的に増加し、幼穂形成期、出穂期のみならず他の発育ステージ予測にも適用できると思われる。発育速度の推定式では平均気温のみを関数とする(1)式が、パラメータ2個と少なく、取扱い上簡便でありもっとも実用性があると考えられた。

第26表 移植翌日から出穂期まで4種類のDVR関数に対応したパラメーター

DVR関数型	パラメーター記号	あきたこまち		キヨニシキ	
		中苗	稚苗	中苗	稚苗
(1)式	a	0.000568	0.000650	0.000888	0.000930
	b	-1.47	2.49	6.40	7.50
(2)式	a	0.000558	0.000674	0.000975	0.001006
	b	-0.00219	-0.01147	-0.00558	-0.00423
	c	0.0328	0.1641	0.0736	0.0529
(3)式	a	-0.0000666	-0.0003392	-0.0002224	-0.0001474
	b	-2.65	-1.31	6.74	7.76
	c	22.62	16.05	18.58	20.90
(4)式	a	1.194	0.974	1.105	0.771
	b	15.52	15.20	15.78	16.31
	c	0.2414	0.0988	0.2429	0.2032
	d	13.78	20.97	17.50	19.45
	e	43.48	20.43	38.78	33.98



第35図 移植期から出穂期までの実測日数と各式により計算した推定日数の比較

第27表 4種類のDVR式と発育モデルにより推定した出穂期の標準誤差

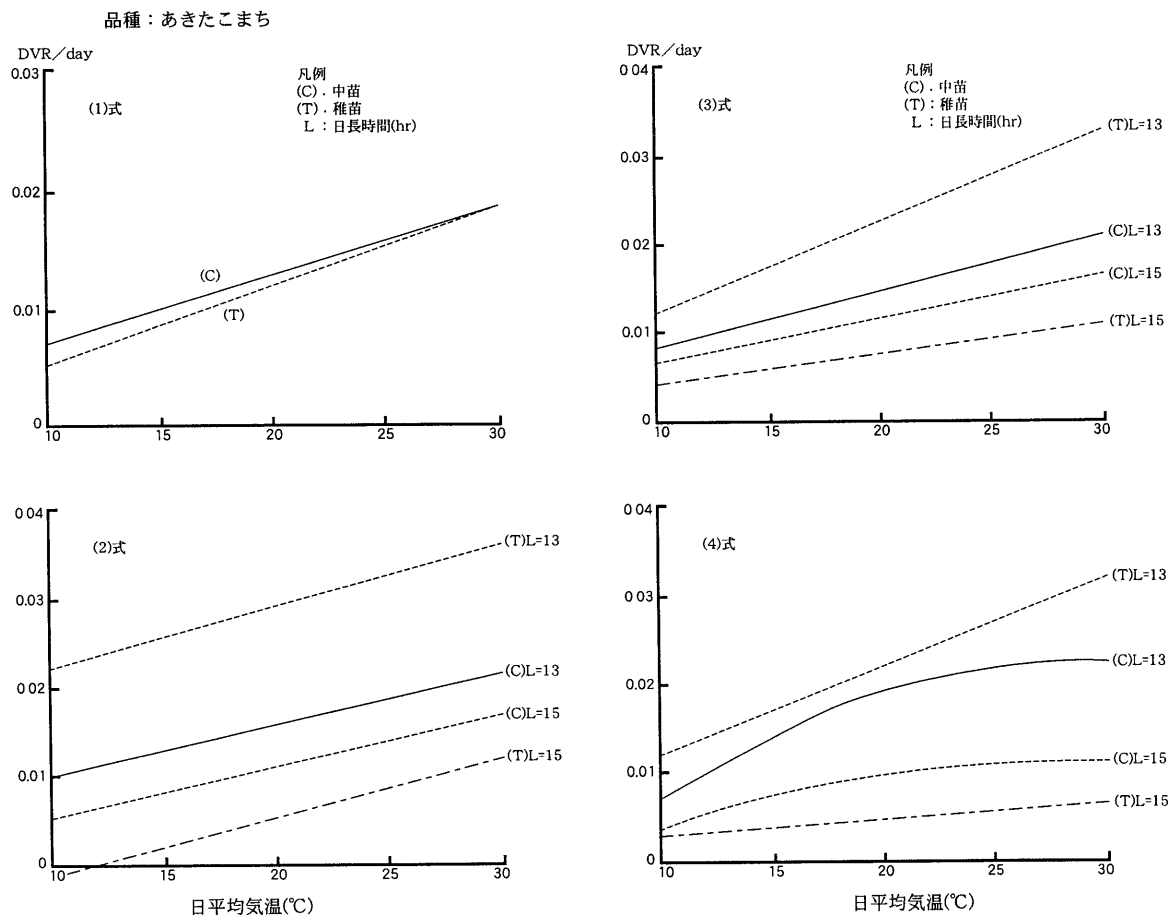
苗の種類	品 種 名	データ組数n	DVR関数型と標準誤差(日)			
			(1) 式	(2) 式	(3) 式	(4) 式
中苗	あきたこまち	14	1.6	1.6	1.6	1.5
稚苗	あきたこまち	8	1.7	1.4	1.3	1.3
中苗	キヨニシキ	25	1.9	1.8	1.8	1.7
稚苗	キヨニシキ	20	1.9	1.8	1.8	1.7
		平均	1.8	1.6	1.6	1.6

注1. 標準誤差は出穂期の実測日と発育モデルから計算した推定出穂期の残差2乗和をデータ数nで割った平方根である。

第28表 移植期翌日から幼穂形成期までの4種類のDVR式のパラメータ及び発育モデルにより推定した幼穂形成期の標準誤差(中苗あきたこまち)

DVR関数型	データ組数n	パラメータの記号とその値					標準誤差(日)
		a	b	c	d	e	
(1) 式	11	0.000879	-0.9386				1.4
(2) 式	11	0.000991	-0.00344	0.0491			1.4
(3) 式	11	-0.0000469	0.1869	34.54			1.4
(4) 式	11	0.2346	24,51	0.09939	20.828	23.43	1.4

注1. 標準誤差は幼穂形成期の実測日と発育モデルから求めた幼穂形成期の推定日の残差2乗和をデータ数nで割った平方根である。



第36図 日平均気温、日長時間に対応した移植期から出穂期までのDVRの変化

ii. 品種別DVR関数のパラメータ

DVR関数のパラメータは品種、苗の種類にそれぞれ固有のものと考え、DVR関数を前記試験の(1)式とし品種別、苗の種類別にパラメータを決定し、第29表に一覧した。移植翌日からの日平均気温が既知であれば、ここに示した発育モデルにより、品種別、苗別に幼穂形成期あるいは出穂期を予測することが可能である。幼穂形成期の予測は主に穂肥の適期を把握する場合に使用するので、実用上±2日以内の予測精度が望まれる。あきたこまちの中苗及び稚苗は概ねこの範囲

に入るが、乳苗では誤差がやや大きかった。出穂期の予測は主に品種別、苗の種類別に栽培適地の策定に利用するが、実用上±3日以内の予測精度が望まれる。品種あるいは苗の種類によっては誤差がやや大きいものもみられ、今後データの蓄積によるDVR関数パラメータの見直しが必要であると考えられた。発育モデルはメッシュ気候値と組み合わせた生育診断、予測あるいは栽培品種の適地区分の策定など幅広い活用法も期待される。また、直播などの発育ステージ予測にも適用可能と考えられる。

第29表 品種別、苗の種類別に決定したDVR関数のパラメータ及び発育モデルにより計算した幼穂形成期、出穂期の推定日の標準誤差

発育指数のスケール	項目	あきたこまち			キヨニシキ		たかねみのり(中苗)	あきた39(中苗)	ササニシキ(中苗)
		中苗	稚苗	乳苗	中苗	稚苗			
移植期0 ～ 幼穂形成期1	データ組数n	29	14	7	16	6	3	5	5
	パラメータa	1.386	0.989	0.963	1.408	1.284	1.336	1.601	1.677
	パラメータb	6.17	2.38	2.98	6.86	6.62	4.70	8.05	9.03
	標準誤差(日)	1.55	1.60	1.85	1.47	1.79	0.07	1.59	0.47
移植時0 ～ 出穂期1	データ組数n	32	17	7	34	23	3	5	5
	パラメータa	0.842	0.719	0.617	0.962	0.971	0.658	1.344	1.193
	パラメータb	5.3	3.82	1.82	7.4	8.03	0.204	10.97	10.08
	標準誤差(日)	2.33	2.79	1.66	1.98	1.93	0.38	2.01	1.24

注1. DVR関数型は(1)式、 $DVR = a / 1000 \times (T - b)$ である。ただし、a、bはパラメータ、Tは日平均気温である。
 2. 標準誤差は実測日と幼穂形成期あるいは出穂期の発育モデルから求めた推定日の残差2乗和をデータ組数nで割った平方根である。

2) 発育モデルの利用

(1) メッシュ気候値を利用した作期策定²⁾

水稲の発育ステージを日々の気象要因からの的確に予測するモデルの適用性については先に述べたとおりである。ここでは、移植期から出穂期までの発育モデルとメッシュ気候値を利用し、移植期と出穂期の関係について検討した。その結果、あきたこまちの苗の種類別に移植適期を明らかにしたので、その概要について報告する。

i. 材料及び方法

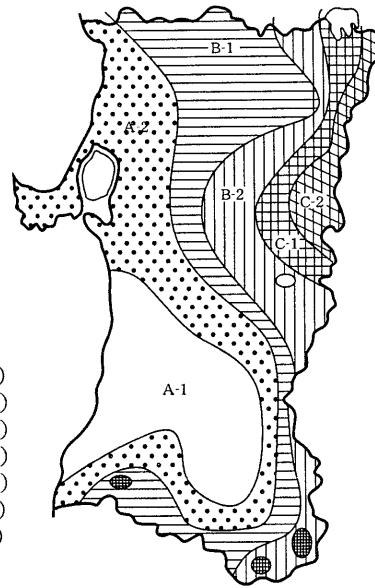
農林水産省試験計算センターの国土数値情報及び気象データベース(3次メッシュ気候値、一般には1km²区画のメッシュで区分された気象平年値)から秋田県月平均気温データを取り出し、気象データファイルとして利用した。これを日平均気温に変換し、あきたこまちの苗別にメッシュごとにDVRを計算し、出穂期を推定した。

ii. 結果及び考察

秋田県の水稲の移植適期は日平均気温が15℃前後となる時期であり、秋田県内では概ね5月10日過ぎとなる。ここでは、計算のための移植期の早限を5月10日に固定し、その後5日毎に移植期を移動させ5月30日までの移植期と出穂期のデータファイルを作成した。次に苗の種類別に移植期ごとの推定出穂期分布図を作成し、あきたこまちの作期策定の資料とした。

秋田県ではすでに稲作地域ごとに標高別水田面積を整理し、緯度と標高をもとに冷害に対する安全程度により、第37図のとおりA₁～C₂の6区分に仕分けし¹⁾、各区分の稲作期間(4月～10月)の平均気温に対応した作付品種を配置している。また、地域別水稲作付品種ガイドラインのなかで、あきたこまちをA₁、A₂、B₁の地域で作付けを指導しているため、この3地帯区分のなかで苗の種類別に移植期と出穂期の関係について検討した結果を第30表に取りまとめた。

安全出穂期からみた中苗の移植適期はA₁地帯が5月10日～30日、A₂地帯が5月10日～25日、B₁地帯が5月10日～20日と推定された。稚苗の移植適期の晩限は中苗より5日程度早く、乳苗は稚苗よりさらに5日程度晩限を早める必要がある。したがって、乳苗の移植適期の晩限はA₁地帯で5月20日、A₂地帯で5月15日となる。またB₁地帯での乳苗の栽培は不可能に近いことが判明した。



- A₁ 秋田市以南の沿岸及び内陸平地 17.3℃以上 (面積比率35.2%)
 - A₂ 県北沿岸及び県南中山間地 17.0～17.3℃ (" 44.2%)
 - B₁ 県北内陸平坦及び県南山間部 16.5～17.0℃ (" 16.7%)
 - B₂ 県北中山間及び県南高冷地 15.8～16.5℃ (" 3.1%)
 - C₁ 県北高冷地及び県南極高冷地 15.0～15.8℃ (" 0.7%)
 - C₂ 県北極高冷地 15.0℃未満 (同 0.1%)
- (気温は4月～10月の平均気温)

第37図 秋田県稲作地帯区分図

第30表 移植期と推定出穂期の関係及び安全出穂期から策定したあきたこまちの作期幅

稲作地帯区分	安全出穂期	出穂晩限	中 苗		稚 苗		乳 苗		安全出穂期からみた移植適期幅		
			移植期	推定出穂期	移植期	推定出穂期	移植期	推定出穂期	中 苗	稚 苗	乳 苗
A ₁ 地帯 (面積比率35.2%)	7/29 ↓ 8/20	8/29	5/10	7/26～ 8/10	5/10	8/1～ 8/15	5/10	8/6～ 8/15	5/10 ↓ 5/30	5/10 ↓ 5/25	5/10 ↓ 5/20
			5/20	8/1～ 8/15	5/20	8/6～ 8/20	5/20	8/6～ 8/20			
			5/25	8/6～ 8/15	5/25	8/11～ 8/20	5/25	8/11～ 8/20			
			5/30	8/11～ 8/20	5/30	8/16～ 8/21以降	5/30	8/11～ 8/21以降			
A ₂ 地帯 (面積比率44.2%)	7/29 ↓ 8/18	8/27	5/10	8/1～ 8/10	5/10	8/6～ 8/15	5/10	8/6～ 8/20	5/10 ↓ 5/25	5/10 ↓ 5/20	5/10 ↓ 5/15
			5/20	8/6～ 8/15	5/20	8/11～ 8/20	5/20	8/11～ 8/20			
			5/25	8/11～ 8/15	5/25	8/11～ 8/21以降	5/25	8/11～ 8/21以降			
			5/30	8/11～ 8/21以降	5/30	8/16～ 8/21以降	5/30	8/16～ 8/21以降			
B ₁ 地帯 (面積比率16.7%)	8/2 ↓ 8/16	8/24	5/10	8/1～ 8/15	5/10	8/6～ 8/20	5/10	8/11～ 8/21以降	5/10 ↓ 5/20	5/10 ↓ 5/15	—
			5/20	8/6～ 8/20	5/20	8/11～ 8/21以降	5/20	8/11～ 8/21以降			
			5/25	8/11～ 8/21以降	5/25	8/16～ 8/21以降	5/25	8/16～ 8/21以降			
			5/30	8/16～ 8/21以降	5/30	8/21以降	5/30	8/21以降			

注1. 安全出穂期は最低17℃以下の出現頻度が20%以下になる日の12日目から、出穂後40日間の平均気温が21℃になる出穂日までとした。

2. 出穂晩限は出穂翌日から40日間の平均気温が20℃以下となる日とした。

(2) 1993年の水稲不稔発生と不稔歩合推定モデル²⁾

低温による水稲の不稔発生は水稲の安定生産上の大きな阻害要因となっている。1993年は希に見る冷夏となり、秋田県においても障害不稔が多発したことから、不稔発生を予測あるいは推定する手法の開発が望まれていた。そこで、1993年に得られた水稲の不稔歩合のデータと日平均気温を基に、不稔歩合推定モデルによる不稔発生の推定法について検討した。

i. 材料及び方法

使用した不稔データは1993年に大館と秋田で実施した作況解析試験から得られた。第31表は出穂日別の不稔歩合を調べたデータで、品種はあきたこまちであるが、大館では一部、たかねみのりのデータを併用した。気象データはアメダス平均気温を用いた。不稔は透視法により判定した。

第31表 1993年の出穂日別採取穂数と不稔歩合

出穂 月日	大 館		秋 田	
	調査穂数	不稔歩合	調査穂数	不稔歩合
月/日		%		%
8/6	2	27.0*	—	—
8/7	2	32.8*	—	—
8/8	1	22.2*	3	23.4
8/9	3	31.8	7	10.8
8/10	7	21.1*	2	9.8
8/11	7	20.9*	17	7.7
8/12	9	11.7*	2	7.5
8/13	6	17.3*	10	7.9
8/14	18	18.8*	10	5.9
8/15	10	15.0	14	7.4
8/16	17	17.3*	14	7.0
8/17	11	15.6*	15	6.3
8/18	10	25.1*	24	10.2
8/19	14	32.1*	14	5.8
8/20	16	28.2*	6	7.9
8/21	23	31.1	14	10.3
8/22	1	37.6	—	—
8/23	17	30.0	5	13.5
8/24	6	18.6	—	—
8/25	2	42.6	—	—
8/26	1	20.5	—	—
8/27	2	52.5	—	—
合 計	185	23.7	157	8.4

注1. *はあきたこまちの他たかねみのりのデータを含む。

DVIは移植日を0、出穂日を1とする发育ステージのスケールとし、中苗あきたこまちの发育モデルにより、出穂期からDVIを逆算した。ただし、出穂期以後は1に日々のDVRを加算することにより、便宜

的にDVIを計算した。

矢島ら⁷⁾が提唱した不稔歩合推定モデル、及びシンプレックス法をサブルーチンとするパソコン用解析プログラムを使用して低温感受性のパラメータを決定する。不稔歩合推定モデルは(1)式により示される。

$$UF = \sum_{DVI=j}^k \{(T_o - T_i) \times W(DVI)\} \dots\dots(1)式$$

ここに、UFは不稔歩合で DVI=j~kまでの期間を積算する、W(DVI)は不稔発生に関する低温感受性でDVIの関数、T_oは低温不稔の基準温度を示すパラメータ、T_iは日平均気温、ただし、T_o ≥ T_iの場合にUFを計算する。

ii. 結果及び考察

作況解析試験における中苗あきたこまちのDVIと生育の対応は年次によって変動がみられたが、おおよその目安として第32表に示した。中苗あきたこまちの发育モデルと1993年のアメダス平均気温により、大館と秋田における幼穂長2mm頃から出穂後15日頃までのDVIを、出穂期から起算して日別に推定した。つぎに、DVIを0.6から1.3の範囲内で±0.2刻みで任意に変化させ、DVIと不稔低温感受性との関係を(1)式により計算した結果を第38図に示した。その結果、DVIが0.76で不稔低温感受性の最初のピークがみられ、DVIが1.07(開花期頃)になると不稔低温感受性が最大値を示した。また、DVIが0.6から1.3の範囲内で不稔低温感受性の基準温度(T_o)は19.1~19.4℃の範囲にあり、以後はT_oを19.2℃に固定して解析した。

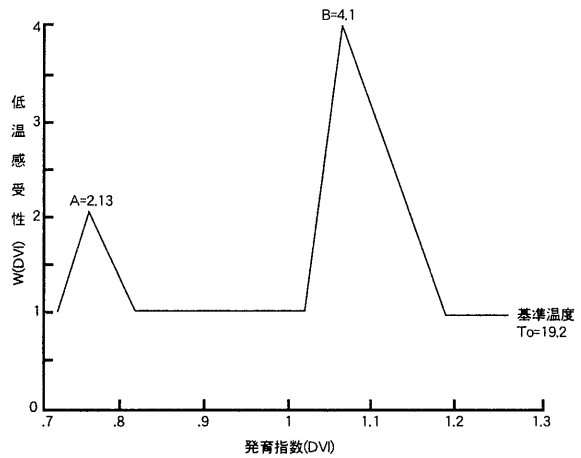
DVIが0.76及び1.07で不稔低温感受性がピークになるようなモデルを想定し、障害不稔歩合UFと低温感受性W(DVI)との関係を表す(1)式のDVIの適応範囲、及びDVIに依存するパラメータW(DVI)を求めた。決定した不稔歩合推定モデルは不稔歩合を計算するDVIの範囲が0.72から1.3であり、不稔低温感受性の基準温度を19.2℃とした。したがって、低温による不稔歩合はDVIが0.72から1.3の範囲で日々積算されるが、日平均気温が基準温度を上回る日は不稔歩合の計算をしない。DVIと低温感受性W(DVI)との関係をモデル化した例を第39図に示した。このモデルに1993年のDVIと日平均気温データをあてはめて計算した不稔歩合の推定値は実測値と近似し、第40図に示したとおり比較的良い精度で不稔歩合の推定が可能であった。このモデルでは従来から障害不稔発生に影響が大きいとされる、減数分裂期(葉耳間長±0cm期、

DVIが0.81~0.9)頃の低温感受性が小さく評価されている。このことが1993年の低温の特徴に起因する

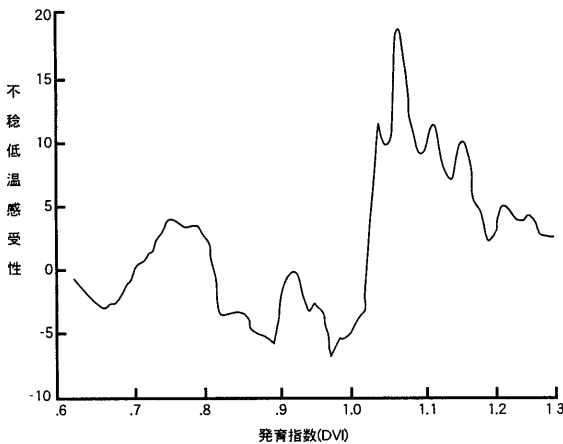
ものか、あるいは品種特性などによるものか、今後検討する必要がある。

第32表 あきたこまちの発育指数(DVI)と生育の対応

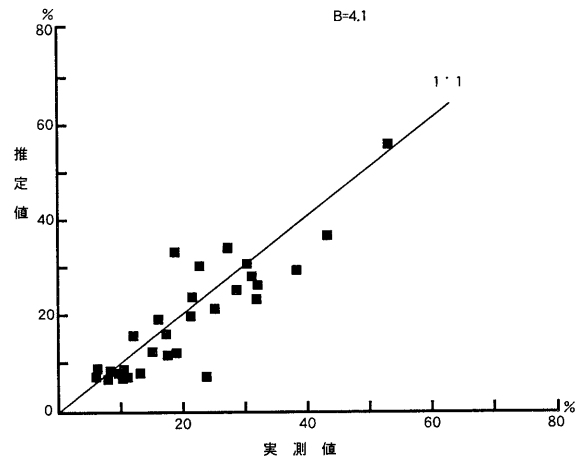
DVI	生育の目安
0	田植日
0.65 (0.61~0.69)	幼穂長 2 mm
0.70	〃 3~7 mm
0.72	〃 5~15mm
0.76	〃 7~20mm
0.82	〃 15~75mm
0.85 (0.81~0.90)	〃 40~穂長、葉耳間長 ± 0 mm
0.90	〃 140~穂長
1	出穂期
1.03	出穂期の2日後
1.07	出穂期の4~5日後
1.20	出穂期の11~14日後



第39図 発育指数と不稔低温感受性の関係をモデル化した例 (A、Bは低温感受性のピークを示すパラメータ)



第38図 発育指数を変化させた場合のDVIと不稔低温感受性の関係



第40図 不稔歩合の実測値と障害不稔推定モデルから計算した推定値の比較

2. あきたこまちの生育逐次予測¹³⁾

水稻の栽培管理を適切かつ計画的に行うには、時々刻々と変化する気象環境条件のなかで、水稻の生育を把握し、その後の生育を的確に予測する必要がある。生育の予測方法として、重回帰分析による生育逐次予測が実用性が高いと考え、主に草丈、茎数の予測式の作成に取り組んできた。ここでは生育逐次予測の考え方、生育診断との係わり、さらには生育の逐次予測の利用場面等について述べる。

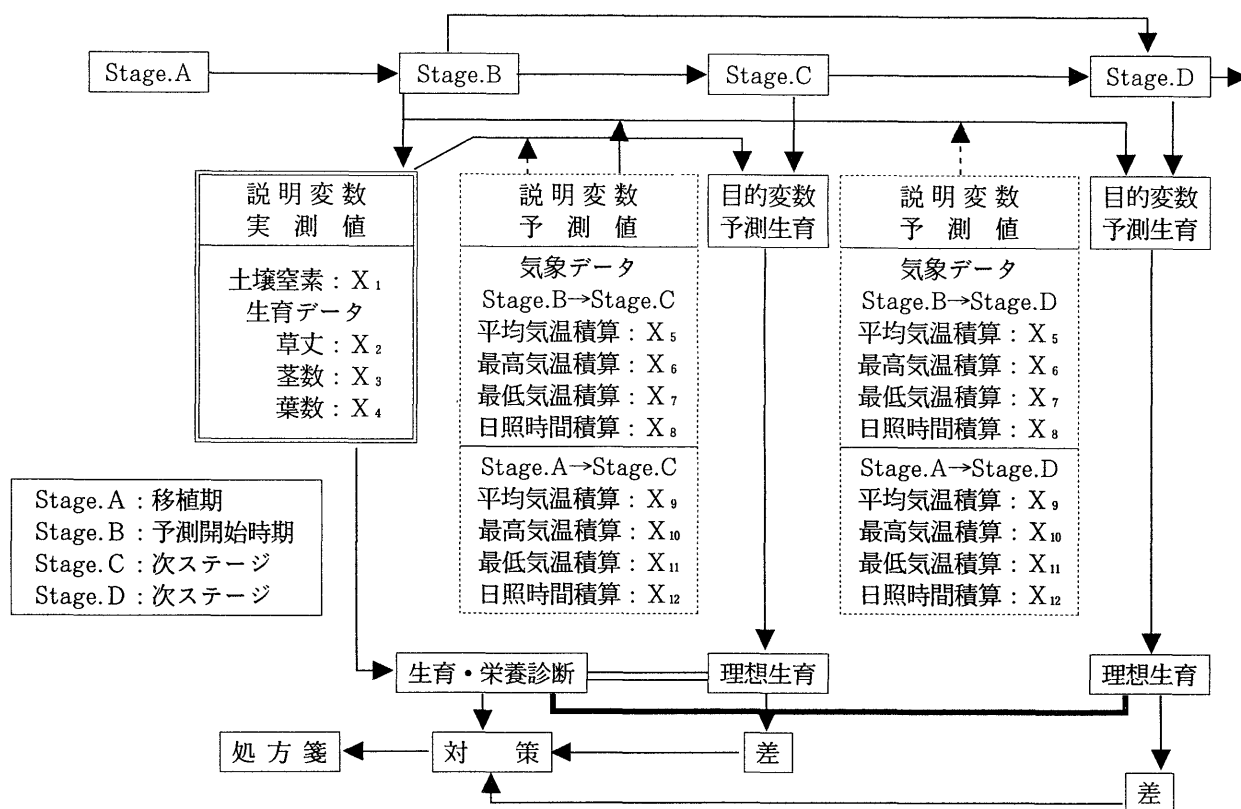
1) 生育逐次予測の考え方

想定する生育の逐次予測の模式図を第41図に示した。

逐次予測とは現時点における生育データと気象予報等を基に、生育予測式により次期ステージの生育を予測するものである。たとえば、移植時期をStage A、逐次予測の開始時期をStage Bとした場合、予測式の目的変数は次ステージStage Cの生育、またはStage Cの次のStage Dの生育である。説明変数にはStage Bにおける土壌残窒素量 (X₁)、草丈 (X₂)、茎数 (X₃)、葉数 (X₄) を実測値として与え、Stage BからStage C (またはStage D) までの気象要素の合計、あるいはStage AからStage C (またはStage D) までの気象要素の合計を推定値として与える。ただし、Stage Aか

らStage Bまでの期間は既知の気象観測値を用いることはいうまでもない。予測開始時期は6月10日（分けつ始期頃）、6月18日（分けつ中期頃）、6月25日（有効茎数決定期頃）及び7月5日（最高分けつ期頃）で

ある。また、予測しようとする生育時期は6月25日、7月5日、7月15日（幼穂形成期頃）、8月5日（出穂期頃）及び成熟期頃とする。



第41図 生育逐次予測の模式図

2) 材料及び方法

生育予測式の作成には1985年から1991年までの、中苗あきたこまちの作況解析試験データと当該年の秋田の気象データ（平均気温、最高気温、最低気温、日照時間）を用いた。目的変数は6月25日、7月5日、7月15日の生育を予測する場合には草丈、茎数及び葉数とした。出穂期頃の生育あるいは成熟期頃の生育を予測する場合には、目的変数を総葉数、稈長、穂数、1穂粒数とした。さらには予測時点の草丈から成熟期頃の稈長に達するまでの伸長量を予測項目として取り上げ、倒伏の予測に利用できる。これらの項目を目的変数として、重回帰分析法により予測式を決定した。解析ソフトウェアはN88BASIC、MS-DOS版の多変量解析プログラムを利用し、重回帰分析ステップワイズ法によった。生育予測式の適用性及び予測精度の検証は1992年の作況解析試験の中で実施した。

3) 結果及び考察

重回帰分析法により決定した生育時期別の逐次予測式の例と、その予測式により1992年に実際に予測した結果を第33表に一覧した。ここでは、簡便に予測値を対実測値比率で表した数字を用いて予測精度の評価を行った。予測項目により予測精度の評価は一律ではないが、概ね予測値の実測値に対する比率の差が±5%の範囲にあれば、予測精度が良いと考えられる。大半の項目は±5%の範囲にあり、実用的な予測が可能と考えられた。しかし、葉数の予測の場合などのように、特定時期における予測に関して、予測値と実測値の差が大きくなる場合が見られた。

生育の逐次予測とは現在の生育状況から、一つ先のステージあるいは2つ先のステージの生育を事前に予測することである。したがって、生育の逐次予測と生育診断とを組み合わせることにより、時期別の理想生

育と予測される生育の差を前もって情報として得ることができるので、水管理あるいは肥培管理など適切な技術対策を講ずることが可能になる。

問題点としては、生育予測式は秋田農試内（秋田市仁井田）で栽培した中苗あきたこまちのデータから作成したので、適用は秋田市近辺にとどまり、この予測式で全県を網羅することは困難であると考えられる。現場で利用する場合には地域性を考慮した予測式の作成が必要となる。そのためには、各地域農業改良普及

センターで実施している生育診断システム基準圏のデータや水稻生育定点調査データを活用し、予測式のパラメータを変更することが必要である。また、逐次予測は定期調査時の草丈、茎数などのデータを実測値として与え、気象データを推定値として、以後の生育の予測を行う結果、生育が大幅に進んだ場合や、逆に大幅に遅れた場合には予測精度が低下することが考えられる。今後はこれらの問題点を解決する必要がある。

第33表 あきたこまちの時期別生育逐次予測式の例と1992年の予測実施結果

予測開始時期	予測目的時期	予測項目と予測式の例	重相関係数	予測値	実測値	予測値/実測値
6月10日 分けつ 始期	6月25日 有効茎 決定期	草丈： $Y=0.6516X_2+0.2296X_5-45.41$	0.977**	35.3	35.4	100%
		茎数： $Y=1.08X_3-2.959X_6+1291.1$	0.972**	479	476	101
		葉数： $Y=0.2422X_1+3.278\times 10^{-3}X_3+7.458$	0.933*	9.2	8.9	103
	7月5日 最高分 げつ期	草丈： $Y=2.478X_1+0.2765X_5-99.78$	0.943*	44.0	47.3	93
		茎数： $Y=X_3-1.825X_{11}+1691.8$	0.958**	622	595	105
		葉数： $Y=0.3247X_1+0.7742X_2-0.01912X_3-7.625$	0.983*	11.4	10.1	130
6月18日 分けつ 中期	6月25日 有効茎 決定期	草丈： $Y=-1.583X_1+0.4929X_2+0.3287X_7-6.629$	0.999**	36.6	35.4	103
		茎数： $Y=1.064X_3+1.667X_8+40.52$	0.973**	453	476	95
		葉数： $Y=0.5938X_1-1.625\times 10^{-3}X_3+1.142X_4-2.257$	0.990**	8.8	8.9	99
	7月5日 最高分 げつ期	草丈： $Y=-3.442X_1-3.859X_2+0.1374X_3+0.5168X_7-14.98$	0.996*	31.8	47.3	-
		茎数： $Y=29.66X_2+X_3-3.942X_9+2920.6$	0.995**	665	595	112
		葉数： $Y=5.944\times 10^{-3}X_3+0.02935X_7+0.02113X_9-2.074$	0.922	-	10.1	-
6月25日 有効茎 決定期	7月5日 最高分 げつ期	草丈： $Y=1.29X_2+0.1035X_8-4.805$	0.975**	49.3	47.3	104
		茎数： $Y=X_3-1.605X_9+1567.9$	0.965**	612	595	103
		葉数： $Y=-0.2268X_1+3.019\times 10^{-3}X_3-0.5283\times 10^{-3}X_9+14.85$	0.956*	-	10.1	-
	7月15日 幼穂 形成期	草丈： $Y=2.231X_1+1.013X_2+5.449X_4-39.09$	0.997**	52.3	54.2	96
		茎数： $Y=-15.64X_2+142.4X_4-1.078X_8-52.81$	0.998**	476	585	81
		葉数： $Y=5.048\times 10^{-3}X_3-0.03088X_5+0.01112X_6+16.58$	0.949	11.6	10.7	108
7月5日 最高分 げつ期	7月15日 幼穂 形成期	草丈： $Y=0.4158X_2+0.2953X_7-14.09$	0.977**	58.6	54.2	108
		茎数： $Y=26.39X_1+0.9384X_3-2.165X_7+390.2$	0.995**	585	585	100
		葉数： $Y=0.8635X_4+2.573$	0.923**	11.3	10.7	106
	出穂期	主穂総葉数： $Y=3.483\times 10^{-3}X_3-4.785\times 10^{-3}X_{11}+17.69$	0.977**	13.6	12.4	110
		稈長： $Y=0.1987X_2+0.09513X_7+7.848$	0.973**	74.9	78.6	95
		稈の伸長量： $Y=7.536X_1+9.552X_4-85.59$	0.958**	34.8	31.3	111
成熟期	穂数： $Y=1.431X_2+0.3116X_3+0.4521X_7-339$	0.994**	43.6	422	103	
	1穂粒数： $Y=-0.1545X_3+30.1X_4+0.17X_5-0.1609X_{11}-63.92$	0.993*	78.3	73.5	107	
7月15日	成熟期	稈の伸長量： $Y=-0.5766X_2+0.09188X_7+10.93$	0.995*	18.9	24.4	77

- 注1. 過去7年間の豊凶考照試験の中苗あきたこまちの生育データと当該年の秋田市気象データをもとに作成した。
 2. 成熟期の稈長および稈長の伸長量は8月4日までの気象で予測、穂数および1穂粒数は8月29日までの気象で予測した。
 3. *, **はそれぞれ5%、1%水準で有意であることを示す。

V 摘 要

1. うまい米の安定生産は土壌条件と気象変動に対応しながら、目標収量に合った収量構成要素を確保することが最も重要である。このためには、稲の生育状況、気象の推移などを的確に把握する生育予測と生育栄養診断、及びこれらの情報を利活用できるシステムの開発が重要な課題であると考えた。
2. 筆者らは水稲の草丈と茎数など形態的な情報、及び葉緑素計を利用した窒素栄養情報の把握による、簡易生育栄養診断法を確立した。対象品種は「あきたこまち」で収量目標は600kg~630kg/10aとし、安定生産を可能にする。生育診断では時期別の草丈と茎数により区分した生育診断図を、栄養診断では草丈・茎数に加えて葉緑素計値を加味した栄養診断図を作成した。これらの診断図に基づき診断を実施し、診断結果に対応した適切な技術対策を講じることができる。簡易生育栄養診断法は既に普及され、定着している技術である。
3. パーソナル・コンピュータがあれば、農家レベルでも簡単に使用可能で、出来るだけ正確に水稲の生育栄養診断が実施できるソフトウェアとして、生育栄養診断プログラムを開発した。これは「あきたこまち」の良質・安定収量を目的とし、生育栄養診断と土壌窒素無機化量の予測を組み合わせることにより、最適な窒素追肥量を決定する。筆者らは草丈・茎数・葉緑素計値を変数とする窒素吸収量推定式の作成や土壌窒素無機化予測式のパラメータを決定するなど、生育栄養診断プログラムの細部の改良を図った。
4. 1991年から1994年までの4年間、あきたこま치의目標収量を600kg~630kg/10aに置き、生育栄養診断プログラムによる安定栽培の実証を行った。その結果、生育栄養診断プログラムを使用した診断区が慣行区に比較して、目標収量の確保が容易で倒伏軽減上有利であることが確認できた。特に、1993年の冷温年においても栄養診断プログラムによる水稲の安定栽培が実証されたことは意義深いと考えられた。
5. 水稲の栽培管理を適切かつ計画的に行うには、時々刻々と変化する気象環境条件のなかで、水稲の発育ステージを的確に把握し、その後の推移を正確に予測する必要がある。筆者らは発育指数に基づく発育モデルを用いて、幼穂形成期あるいは出穂期の発育ステージ予測手法を確立した。発育モデルの利用は①幼穂形成期の予測に基づく窒素追肥時期の的確な指導、②メッシュ気候値と出穂期予測による作期策定及び栽培計画、③発育指数に基づく不稔歩合推定モデルによる低温不稔発生の予測など多岐にわたり、今後とも新しい利用場面が想定される。生育予測では重回帰式による生育逐次予測法が簡便であり、筆者らは主に時期別の草丈、茎数の予測式を作成し、実用的な予測に利用している。

引用文献及び参考資料

- 1) 秋田県農政部. 稲作指導指針
- 2) 秋田県農政部. 水稲生育診断システム利用マニュアル 1995.
- 3) 秋田農試. 水稲栽培に関する試験成績書 1985~1995.
- 4) 秋田農試. 試験研究成果概要 1991~1995.
- 5) 堀江武 1984. イネの生産の気象的評価・予測法に関する研究 (3). 発育モデル並びに主要品種の発育パラメータ. 昭和59年度日本農業気象学会全国大会講演要旨. 5-6
- 6) 堀江武, 中川博視 1990. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究. 第1報 モデルの基本構造とパラメータの推定法および出穂期予測への適用. 日作紀 59(4): 687-695.
- 7) 鎌田金英治, 福田兼四郎 1983. 農業気象的にみた秋田県における水稲の地帯区分と冷害危険度、安全出穂期. 秋田農試研報 25: 33-57.
- 8) 川方俊和, 岡田益己 1989. 発育指数を用いた水稲の幼穂形成穂始期と出穂期の推定. 農業気象 45(3): 137-142.
- 9) 金野隆光 1988. 土壌窒素無機化の特性評価と窒素供給量予測プログラム(ENMS)関東東海地域農業関係機関開発ソフトウェア一覽(農研センター版)

- 10) 宮川英雄、児玉徹、矢島正晴 1991. 良質米生産のための水稲の生育診断と予測技術. 第1報 発育指数による水稲の発育ステージ予測. 東北農業研究 44 : 33-34.
- 11) 宮川英雄、児玉徹 1992. 発育指数による水稲の発育ステージ予測. 秋田農試研究時報 29 : 38-42.
- 12) 宮川英雄、児玉徹、矢島正晴 1992. 良質米生産のための水稲の生育診断と予測技術. 第2報 発育ステージ予測による「あきたこまち」の作期策定. 東北農業研究 45 : 49-50.
- 13) 宮川英雄、児玉徹 1994. 良質米生産のための水稲の生育診断と予測技術. 東北の農業気象 39 : 42-48.
- 14) 宮川英雄、児玉徹 1995. 良質米生産のための水稲の生育診断と予測技術. 第3報 生育・栄養診断プログラムによる栽培実証とその評価. 東北農業研究 47 : 33-34.
- 15) 宮川英雄、児玉徹 1995. 良質米生産のための水稲の生育診断と予測技術. 第4報 地域別目標収量及び生育モデルの策定. 東北農業研究 47 : 33-34.
- 16) 長野間宏、金田吉弘、児玉徹 1989. 輪換水田における土壌窒素の無機化予測を組み入れた水稲栄養診断システム. 第1報 診断プログラムの開発. 東北農業研究 42 : 87-88.
- 17) 矢島正晴、川方俊和、日塔明弘、清野裕 1989. 発育モデルを用いた水稲不稔歩合推定法. 昭和55年東北地方冷害への適用. 日作紀58, 別2 : 121-122.

Summary

The Simple Diagnosis of Growth in Rice Plants for Good Quality Rice Production and Nutritional Diagnosis System Combined with the Forecast of Soil Nitrogen Mineralization for Rice Cultivation

Hideo MIYAKAWA、Toru KODAMA、Fukuo SATO
Shou MURAKAMI and Eiko KANO

1. To get the optimum yield component of rice plants is most important for the palatable high quality rice production, considering to the paddy soil conditions and the weather variations. So establishing the technique of diagnosis and forecast of growth in rice plants, and constructing a total system by using those techniques was important problem to solve.
2. We developed the simple method for diagnosis of growth and nutrient disorder using by several informations of rice plants such as plant length, number of tillers and leaf chlorophyll meter index. The target yield for a high eating quality rice varieties "Akitakomachi" was settled 600kg/10 a ~ 630kg/10. We practiced of the growth and nutrient disorder by seven divided growth types or nutrient types. We can make a diagnosis of growth on the basis of those figures and find optimum technical counterplan. Those method are promoted the spread extensively and used now.
3. The programme for diagnosis of growth and nutrient disorder were constructed using by several informations such as plant length, number of tillers, leaf chlorophyll meter index, amount of nitrogen derived from soil and meteorological factor. This programme was a software for the personal computer for deciding the amount of nitrogen fertilizers to be applied. The nitrogen absorption of rice plant was suggested by straight line regression formula by means of plant height \times number of tillers \times chlorophyll meter index. The formula of soil nitrogen mineralization of the typical paddy in Akita prefecture was established by submerged incubation. Amount of nitrogen derived from soil and fertilizer was estimated by N15 tracer technique. We have been made this programme better and promoted the spread extensively in Akita prefecture.
4. We demonstrated the cultivation for high quality and palatable rice production by this programme from 1991 to 1994. As the result an experimental plot using by this programme was better than a control plot to get the target yield and to reduce a lodging of rice plants.
5. It was important that we grasp the development stage of a rice accurately and we forecast undergoing a transition to practice timely and as planned the cultivation management. We developed the method for prediction of a initial stage of panicle formation and a heading date of rice plants by using the developmental index from environmental conditions. We extended the method of developmental model for the direction of the fertilizers to applied on a initial stage of panicle formation, classification of suitable areas for paddy rice cultivars using mesh climate data, estimation of damage by cool weather concerned with the percentage of sterile grains using the developmental index. Simple method for forecast of growth in rice plants was to use the multiple regression analysis, and took effect practically forecast.