

コンピュータ利用による生育診断予測法

谷 藤 雄 二

(山形県立農業試験場)

Diagnosis and Prediction of Rice Cultivation
by Computer Utilization

Yuji TANIFUJI

(Yamagata Prefectural Agricultural Experiment Station)

1 はじめに

1983年の山形県稲作は、5年ぶりに平年を上回る単収582 kg/10 aを記録した。しかしながら、過去4年間の不作が物語っているように、最近の異常気象の頻発によって、山形県稲作は不安定なものになっており、異常気象を克服する足腰の強い米づくり技術の総点検が必要になっている。

こうした状況をふまえ、山形県では1982年から生育診断予測の強化を図っている。すなわち、時々刻々と変化する気象推移からの確に生育を予測し、それに基づいて適切な対応技術を策定、情報化し、農家はこの情報を参考にしながら肥培管理をするシステムの強化である。

このようなシステムは別に新しいものでないが、従来と大きく異なるのは、経験と勘の分野にコンピュータ、情報伝達の分野にファクシミリといったエレクトロニクスの分野を持ち込んで、データの処理、加工、情報伝達のスピードアップを図った点にある。

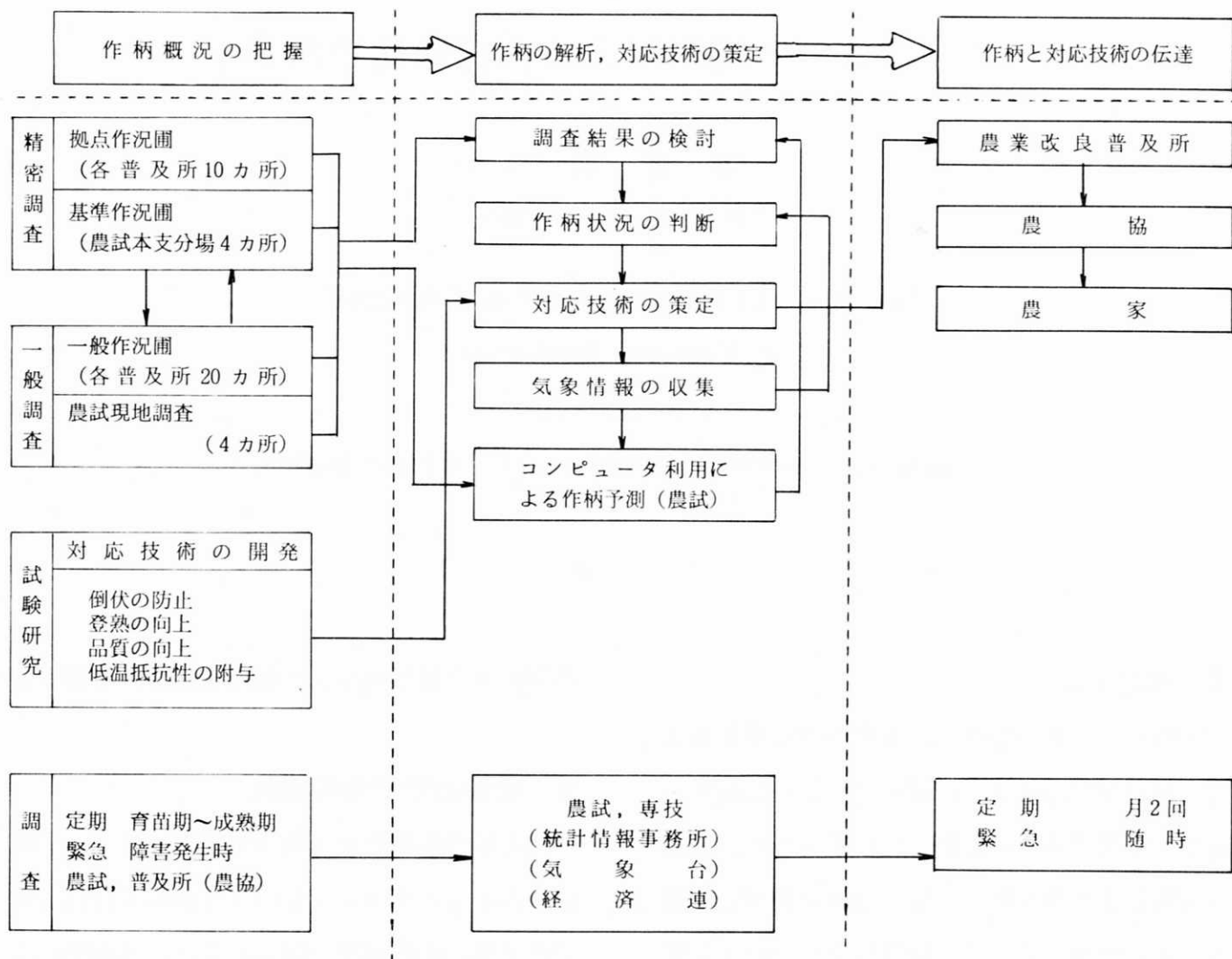
本報告ではコンピュータを利用した生育予測法を中心として、山形県における生育診断予測

の現状と今後に残された問題点について述べる。

2 生育診断予測の現状

山形県稲作の特徴は高い単収とササニシキ依存型にある。ササニシキの作付面積率は県全体で63.6%，庄内地域では実に95.8%（1984）に上る。ササニシキの作柄には、生育調節、追肥時期のようなその年々に応じた栽培管理の巧拙が大きく影響するため生育診断予測がとくに重要視される。

現在、山形県内のササニシキを対象とする作柄調査は農試、普及所で実施されており、これらに農業経済団体のものを加えると毎年400点は下らない調査点数が得られる。なかでも図1に示す「山形県作柄診断事業」はその中心をなすものである。本事業は大きくは作柄概況の把握、作柄の解析と対応技術の策定、情報伝達の3本柱から構成されている。農試、普及所が担当するそれぞれの作柄診断圃では移植後15～20日目から10日ごとに調査をくり返し、作柄を把握する。調査は草丈、茎数などの通常の生育調査以外に土壌中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、稲体N、農試で



図一 1 作柄診断事業の流れ図 (山形県)

は炭水化物の分析, 根の呼吸量を加えている。各普及所では調査データをファクシミリで調査当日には農試 (あるいは専門技術員) へ電送する。農試では直ちに調査数字に基づいて10～20日先の生育予測を行う。続いて, 予測結果から適切な対応技術を策定する。これらの情報は遅くとも調査翌日には各普及所へファクシミリで電送される。

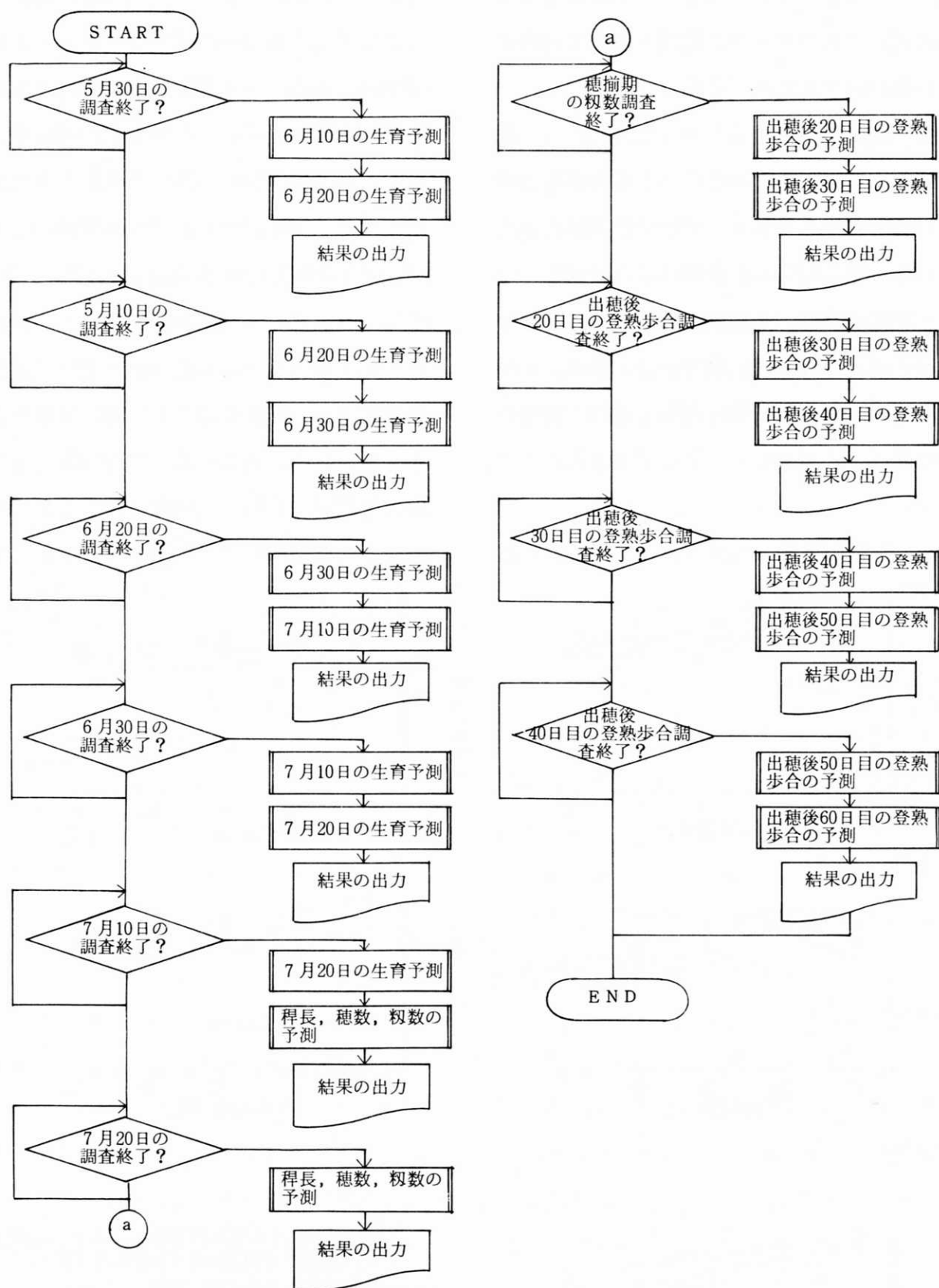
従来の作柄情報はともすれば次の調査が始まる頃に「何月何日の草丈, 茎数は～であった」式の過去形で伝達される場合が多かった。刻々と生長しているイネに求められている現場での技術対応は, 現在の, あるいはこれからたどるであろう生育状況から策定される必要がある。

したがって, 情報は早いに越したことはないが, 現状ではスピードアップにはおのずと限度があり, とくに化学分析を伴う場合はなおさらである。

本事業のシステムが調査2～3日以内に10～20日先の生育予測, 対応技術の策定, 稲体のN分析の結果をも作柄情報として伝達できるようになったことは, 従来のものからみれば格段にスピードアップされたと言えよう。

3 生育の逐次予測

山形県の作柄診断事業では生育予測が重要な役割を果たしているが, これまでにもイネの生育予測は統計的手法による生育と気象との関係式^{1,3,4)}から多く試みられている。統計学的手法による

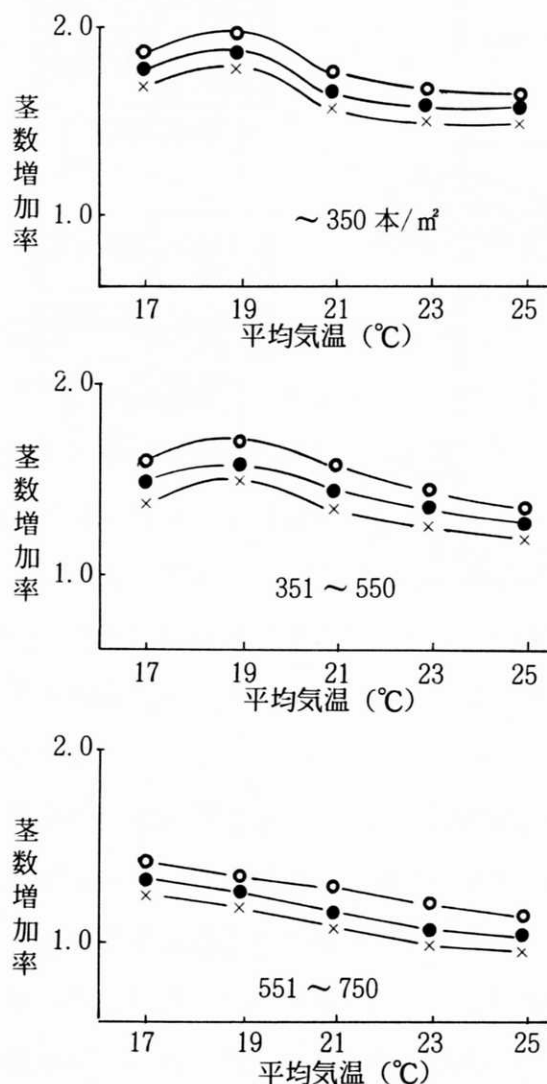


図一 2 生育の逐次予測の流れ

予測式の導出は比較的容易であり、これまでも数多く求められてきたにもかかわらず、実用に供されることが少なかった。これは式を導くために使用されたデータの範囲を超えて適用できない制約があるためと考えられる。

統計学的手法に対するこうした反省から、堀江²⁾は気象と作物の生育を生理、生態的過程と関連づけて解析するシステム生態学的手法を導入している。すなわち、作物個体群の微気象と光合成の関係や呼吸、光合成、作物の発育などの諸過程を連立微分方程式系で表わす動的モデルに組み込み、毎日の気象経過から作物の生育を動的に評価するダイナミックモデルを導いている。

生育、収量の予測は堀江が述べているように、



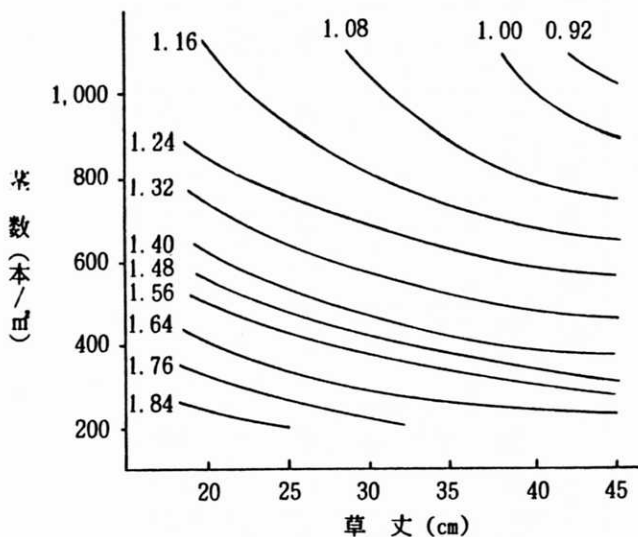
作物の機能に立脚し、時間と共に変化するダイナミックモデルによることが理想であると考えられるが、現状ではモデルの構築は容易でない。そこで考えられたのが図-2に示す生育の逐次予測法である。全生育期間を制御可能な何段階かの短期間に区分し、その短期間内の生育を予測し、引き続き次の期間内の生育を予測する方法である。実際には5月30日（移植後15~20日目）から10日間隔で、出穂後40日目（9月20日頃）までくり返す。逐次予測は10日あるいは20日先の予測であること、調査当日~翌日には予測結果を電送し、作柄情報として現場で活用することを考えれば、調査や分析に長時間を要する要因は予測式には組み込めない。したがって、対象とする要因は簡易に調査できる草丈、茎数、

茎数増加率：(6月30日茎数) / (6月20日茎数)
 平均気温：6月21~30日の平均気温
 図中の数字：6月20日 茎数 (本/㎡)
 ○—○ 6月20日 草丈 29.0 cm以下
 ●—● " 29.1 ~ 37.0 cm
 ×—× " 37.1 cm以上

図-3 生育の前歴別気温と茎数増加率との関係

収量構成要素それに気温などに限られる。前者程度のデータならば前述したように毎年かなりの量が蓄積されている。気温ならアメダスのデータを利用できる。

そこで、農試作況成績をはじめ、庄内、置賜、村山の各地域で経済連、農協が主催するササニシキ共励会（仮称）の資料を収集し、それらの中から1,200点を選定した。これらデータを一点一点解析しながら描いた一例が図－3である。



図－4 気温別茎数増加率の反応曲線
(気温21℃)

注．図中の数字は茎数増加率（6月30日茎数 / 6月20日茎数）。

草丈、茎数は6月20日。

気温は6月21～30日の平均気温。

図－3は6月21～30日の10日間の平均気温と、この間の茎数増加率との関係が生育前歴量（6月20日の草丈、茎数）が異なる15のタイプ別でどのような関係を表わすかを示している。次いで、この関係式を求め、さらにこの関係式で算出された増加率は図－4に示す反応曲面で修正される。6月30日の茎数は修正された茎数増加率と6月20日の茎数との積から求められる。

以上の計算過程はおよそ460本の関数と反応曲面を求める関数から成るが、これら関数は全

てプログラムに組み込まれ、平年気温もファイルされているので、ユーザーは場所名と草丈、茎数の実測値のみを入力するだけで後述する予測結果の出力が可能である。

さて、本方法による予測精度であるが、過年次における14カ所の作柄診断圃に適用し、精度の検証を行った結果が表－1である。1982年6月20日の草丈、茎数の予測精度が低かった以外はいずれの形質も比較的高い精度を示している。個々の診断圃では精度がかなり低い事例もみられているが、地域別平均あるいは県平均として表わすと比較的高い精度が得られている。したがって、生育予測を地域、県レベルのような大まかな見方をする場合には本方法の実用性は高いと判断された。

4 生育予測の実施例

表－2は本県ササニシキの本場である酒田市大多新田の1984年7月10日の生育調査から、7月20日及び穂揃期の生育を予測した事例である。表中の④は7月10日の生育調査の結果で、⑤は④から予測した結果である。この場合、7月11～20日間の気温経過は不明であるため、予め診断圃の平年気温（酒田測候所のデータ）を与えておき、プログラムの中で平年偏差値－3～0～＋3℃の範囲を1℃きざみとする7段階の平均気温を設定し、気温別の反応曲面から求めた増加率（減少率）から予測値を得た。実際には7段階を縮小して3段階別の気温条件下での生育を出力するようになっている。この例では7月20日の草丈は気温が低目で経過すれば67.1 cm、高目では71.8 cmになり、いずれの気温の場合でも平年比106～113%と平年よりはやや長く、茎数は平年比99～97%と平年をやや下廻ること

表一 1 逐次予測の精度

年次	項目	6 月 10 日						6 月 20 日						6 月 30 日					
		6 月 20 日草丈 (cm)			6 月 20 日茎数 (本/㎡)			6 月 30 日草丈 (cm)			6 月 30 日茎数 (本/㎡)			7 月 10 日草丈 (cm)			7 月 10 日茎数 (本/㎡)		
		実測	予測	精度	実測	予測	精度	実測	予測	精度	実測	予測	精度	実測	予測	精度	実測	予測	精度
53		37.2	32.0	86	546	566	96	53.1	52.8	100	626	628	100	67.0	65.6	98	624	666	93
56		28.9	28.8	100	285	378	67	35.7	36.6	97	515	476	92	47.6	48.1	99	667	658	99
57		28.1	31.2	89	543	549	100	37.0	37.3	100	809	749	93	45.8	44.7	98	900	895	100
58		28.4	29.4	96	597	600	100	35.8	37.5	95	808	795	98	45.6	45.8	100	892	844	95
59		34.8	32.9	95	688	608	88	44.8	44.4	99	770	818	94	57.3	56.6	99	772	785	98

年次	項目	7 月 10 日						7 月 20 日											
		7 月 20 日草丈 (cm)			7 月 20 日茎数 (本/㎡)			稈 長 (cm)			穂 数 (本/㎡)			一 穂 粒 数			㎡当粒数 (×10 ³)		
		実測	予測	精度	実測	予測	精度	実測	予測	精度	実測	予測	精度	実測	予測	精度	実測	予測	精度
53		76.0	78.1	97	579	579	100	85.4	84.2	99	538	492	91	73.2	75.2	97	39.2	36.8	94
56		66.4	65.5	99	646	639	99	81.9	82.4	100	511	547	93	72.9	70.6	97	37.3	38.6	97
57		55.1	55.8	99	830	834	100	77.5	74.9	97	650	663	98	61.9	62.8	99	39.9	41.5	96
58		55.8	55.5	100	817	829	98	78.0	77.6	100	629	637	99	65.0	63.4	98	40.9	40.4	98
59		69.8	70.1	100	701	704	100	81.3	82.6	98	580	578	100	69.3	69.1	100	40.2	39.9	99

注. 精度 = $100 - \{ | \text{実測} - \text{予測} | / \text{実測} \times 100 \}$

実測, 予測値は作柄診断圃14カ所の平均値。

が予測される。なお、7月20日の実測値は草丈
68.5 cm (平年比 108) 茎数 715 本 / m² (平年比
101 %) であった。㉔は㉓の予測結果に基づく
穂揃期の生育の予測結果である。㉓の草丈、茎
数並びに㉓と同様の方法で設定された平均気温
別に稈長、穂数、もみ数が予測されている。㉔

によれば、稈長はいずれの場合でも平年より長
く、穂数は少ない生育経過をたどることがわか
られる。穂揃期の実測値は稈長 82.8 cm (平年
比 102), 穂数 571 本 / m² (平年比 93), 一穂もみ
数 62.9 (平年比 99) であった。

この予測表は 14 カ所の作柄診断圃ごとに作成

表-2 生育の予測結果の出力例

7カマ20ニチ、ネソロイキ / セイイヨソク (7カマシ オモシシヤン) *****

A 7カマ10ニチ / チョウツクツカ

7カマ7 (シバツツク) ----- 58.5 センチメートル
7カマ7 (シバツツク) ----- 757 セン / ハイネメートル

B 7カマ20ニチ / セイイヨソク

ハイネンキヤン / スイイ (7/11 --- 7/20)

7カマ7 (CM)	ハンイ ハイネン	ヒツメ (--- 21.6 °C) 66.0 --- 68.1	ハイネンキ (21.7 --- 23.6) 67.5 --- 69.7	7カマ (23.7 °C ---) 70.4 --- 73.1
	ハイネンヒ	67.1 106	68.6 108	71.8 113
7カマ7 (セン/M)	ハンイ ハイネン	687 --- 717 702	677 --- 708 693	674 --- 706 690
	ハイネンヒ	99	98	97

7カマ7 (ハイネン) ----- 63.4 センチメートル
7カマ7 (ハイネン) ----- 709 セン / ハイネメートル

C ネソロイキ / セイイヨソク

ハイネンキヤン / スイイ (7/21 --- 8/10)

7カマ20ニチ / セイイ (ヨソク)	ネソロイキ / セイイ	ヒツメ (--- 23.3 °C)	ハイネンキ (23.4 --- 25.3)	7カマ (25.4 °C ---)
7カマ7 (CM)	7カマ7 (セン/M)	カンチヨウ (CM)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	79.7 --- 82.8 81.3 100
67.1	702			81.6 --- 84.7 83.1 103
		ネソウ (セン/M)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	567 --- 616 592 97
				564 --- 613 589 96
		1スイモミズ (リュウ)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	59.8 --- 65.8 62.8 99
				59.0 --- 65.0 62.0 98
		モミズ (1000リュウ/M)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	34.0 --- 34.0 37.2 96
				33.3 --- 33.3 36.5 94
68.6	693	カンチヨウ (CM)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	80.6 --- 83.6 82.1 101
				82.3 --- 85.4 83.8 104
		ネソウ (セン/M)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	561 --- 609 585 96
				558 --- 607 583 95
		1スイモミズ (リュウ)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	60.5 --- 66.5 63.5 100
				59.7 --- 65.7 62.7 99
		モミズ (1000リュウ/M)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	34.0 --- 34.0 37.2 96
				33.4 --- 33.4 36.6 95
71.8	690	カンチヨウ (CM)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	82.4 --- 85.2 83.8 104
				83.9 --- 86.9 85.4 106
		ネソウ (セン/M)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	557 --- 605 581 95
				557 --- 606 582 95
		1スイモミズ (リュウ)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	61.4 --- 67.4 64.4 101
				60.7 --- 66.7 63.7 100
		モミズ (1000リュウ/M)	ハンイ ハイネン ハイネンヒ	34.2 --- 34.2 37.4 97
				33.8 --- 33.8 37.1 96

カンチヨウ (ハイネン) ----- 80.9 センチメートル
ネソウ (ハイネン) ----- 611 セン / メートル
1スイモミズ (ハイネン) ----- 63.5 リュウ
モミズ (ハイネン) ----- 38.7 (1000) リュウ / ハイネメートル

されるが、図-5に示すようにグラフで出力できるようになっている。本図はXYプロットで作図したものであり、実物は三色でカラフルに作図される。点線は平年の草丈(稈長)、茎数(穂数)の推移を示す。実線は7月10日までは実測値による推移曲線、それ以降は斜線の範囲内で推移するであろう予測幅を示している。実際には表よりグラフの方が見やすく、また現場での説明資料として利用しやすいであろう。

一方、行政側からは、作柄診断圃個々の実測値よりも、地域、県全体の作柄を巨視的に把握

したい場合が多いだろう。それには平年との対比表が便利であろうと考えて作成したのが表-3である。

これらの図表はユーザーの指定によって、目的のものが得られるようになっている。

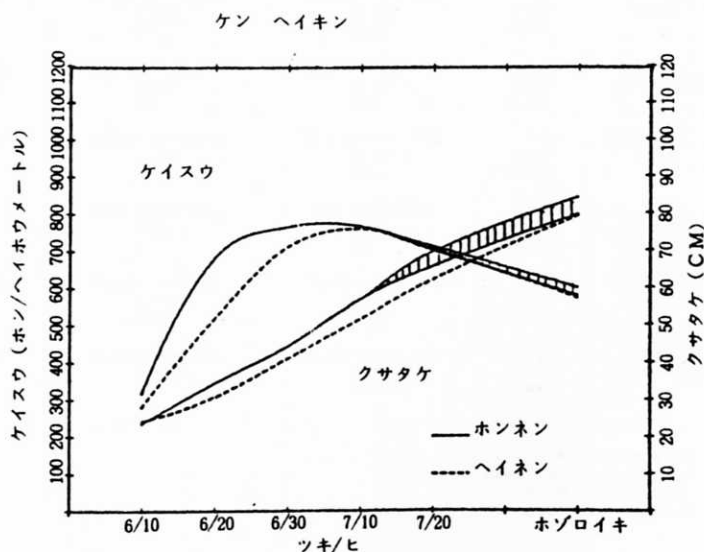
前述したように生育の予測図表は直ちに専技、各普及所へファクシミリで電送され、普及所ではこの図表に検討を加えたうえで現場の活用に使われている。

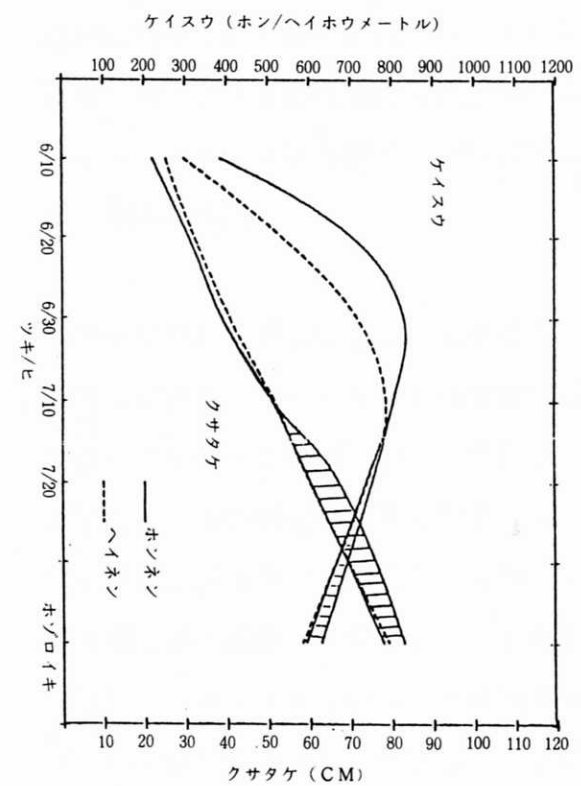
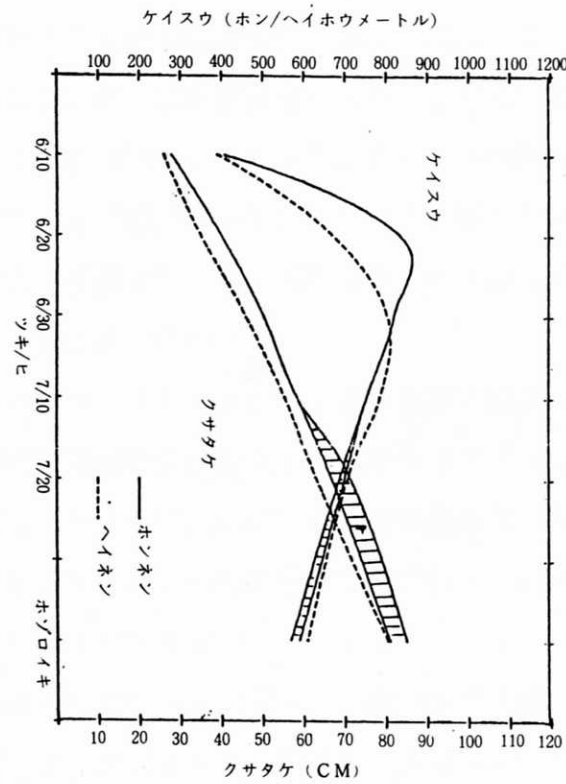
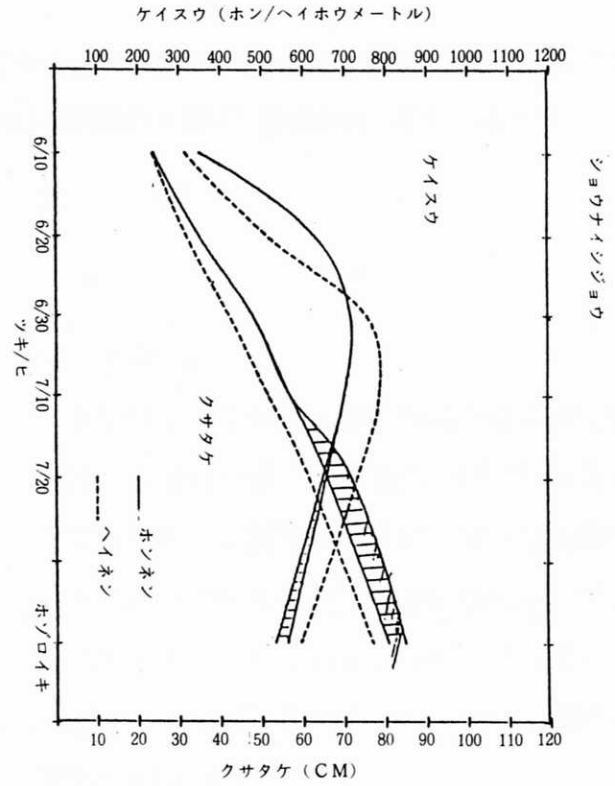
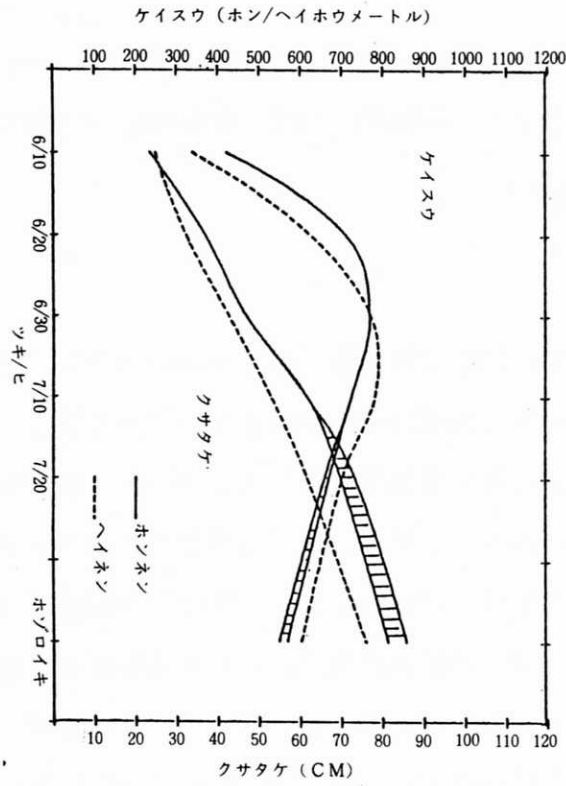
以上の生育予測以外に、登熟歩合、葉数の推移予測も同様の方法で行われている。

表-3 予測値の平年比表の出力例

ヘイネンヒ/ヨシワ(シゲンチ、チイサ、ケンハイケン)ヒヨウ

シゲンチイ	7カマツ20ニチノ セイイフ						ネンボロイキ / セイイフ											
	キズンヒクメ			キズンナメ			キズンヒクメ			キズンナメ			キズンヒクメ			キズンナメ		
	ウササキ	キズワ	ウササキ	キズワ	ウササキ	キズワ	カン	メートル	キズワ	カン	メートル	キズワ	カン	メートル	キズワ	カン	メートル	キズワ
トマカマシ ノワシ	106	115	107	115	102	113	106	115	96	112	107	115	97	113	102	113	95	109
ナントウシ ノノメ	98	108	99	109	95	106	98	108	97	105	99	109	97	105	95	106	95	101
ワカハシ ニシメ	97	104	100	103	100	100	97	104	110	117	100	103	110	116	100	100	108	111
ヒカハシナシ ナカトロ	97	111	100	110	99	108	97	111	100	111	100	110	99	110	99	108	98	106
ムラトマサキ	100	110	102	109	99	107	100	110	101	111	102	109	101	111	99	107	99	107
ヌキサマ フンシメ	101	107	104	107	104	106	101	107	102	109	104	107	103	110	104	106	101	107
ヨネサマシ カワイ	106	97	109	97	107	96	106	97	112	108	109	97	112	109	107	96	111	106
イサマサマ ツバサ	101	102	104	102	103	100	101	102	102	104	104	102	102	104	103	100	101	101
ヌキサマサマ	103	102	106	102	105	101	103	102	105	107	106	102	106	108	105	101	104	105
タイネク シシメ	104	100	107	99	106	98	104	100	111	111	107	99	111	111	106	98	110	108
ヌキサマサマ トヨサ	98	104	101	104	103	101	98	104	115	119	101	104	115	119	103	101	114	115
シシメシメ ツバサ	101	126	104	126	105	122	101	126	117	148	104	126	117	147	105	122	116	142
タイネクサマ	101	110	104	110	105	107	101	110	114	126	104	110	114	126	105	107	113	122
シシメシメ	107	94	108	93	105	90	107	94	111	104	108	93	108	101	105	90	102	92
アサメサマ オノカマ	100	106	102	105	102	102	100	106	104	111	102	105	103	107	102	102	96	97
ツルネカシ アンヤン	110	93	111	93	107	91	110	93	116	109	111	93	114	106	107	91	107	98
ワカサシ ヌササシナシ	101	96	104	95	101	94	101	96	100	96	104	95	99	95	101	94	93	88
シシメサマ	105	97	106	97	104	94	105	97	108	105	106	97	106	102	104	94	100	94
ケンハイケン	102	105	104	104	103	102	102	105	107	112	104	104	106	111	103	102	103	106





図—5 草丈, 茎数の推移グラフの出力例 (庄内地域)

5 生育予測上の問題点

生育予測の目的は、予測結果に基づいて適時、適切な栽培管理などの技術的対応を可能とし、安定生産に寄与することにある。ところが、対応策は水管理、追肥などのごく限られた手段しかないのが現状である。ケミカルコントロールなどを含めた新しい視点からの対応技術の開発が緊要である。と同時に、それらの開発技術が多様な生育環境条件の下で生育をどう変化させるのかをシミュレートし、予測と対応を結びつけなければならない。

現在、構築されている逐次予測モデルは草丈、茎数など手と物指しがあればいつでも誰でも計測できる形質のみを対象としており、稲体質に関与するN量、炭水化物量などの体内成分、根の活力はモデルには組み込まれていない。これら栄養生理に関与する要素が予測モデルに組み込まれるならば予測精度の一層の向上が期待される。残念ながら、栄養生理面のデータは草丈、茎数などの形態的データほど豊富に蓄積されていない。体内成分のデータを多様に、しかも定期的に多く蓄積するには、現在のような化学分析のみに頼っていたのではどうしても不十分である。葉色からN含有率の推定が可能になったように、炭水化物や根の活力を簡易に測定でき

る方法やセンサーの開発が必要である。

以上の他に、作柄関連のデータベース化は生育予測の有力な情報源になると考えられる。現在、山形県内のササニシキ共励会（仮称）のデータ、アメダスデータのファイルがなされ、生育予測や作柄解析上に必要なデータ検索システムをもつプログラムが開発されているが、さらに大量データの蓄積が必要である。データベース化によるデータ検索、加工、それら情報伝達の迅速化などニューメディアの積極的活用は稲作分野においても今後ますます重要となろう。

6 おわりに

ササニシキの逐次予測モデルは農試データ以外に、県内各地の農家圃場で長期にわたって定期的に調査された膨大な量のデータ一点一点の解析から構築された。こうしたデータの蓄積の意義は大きい。

現在までに構築されている生育の予測モデルは過去のデータをよりどころにしているにすぎず不十分なものである。さらに改良を加えて予測精度の向上を図るとともに、簡易診断法、対応技術の開発がなされる必要がある。3者がセットされてこそ診断予測の研究が確立されたと言えよう。

引用文献

- 1) 広崎昭太, 御子紫穆. 1973. 重回帰モデルによる水稻生育制御の一方法. 農技研報 A20; 17—60.
- 2) 堀江 武. 1981. 気象と作物の光合成, 蒸散そして生長に関するシステム生態学的研究. 農技研報 A28; 1—181.
- 3) 小野 充, 山口邦夫, 本谷耕一. 1975. 水稻生育の計数化とコンピュータ調節. 農業技術 30; 300—303.
- 4) 谷藤雄二, 吉田 浩, 斎藤孝一. 1976. 水稻生育および収量予測と制御に関する研究. 山形農試研報 10; 1—20.