

# アメダスデータを利用したDVI法による水稻の幼穂形成期予測

吉野裕一\*・太田和也・小山 豊・在原克之

キーワード：水稻，生育予測，DVI，幼穂形成期

## I 緒言

千葉県は、全国有数の早場米産地として高品質米を安定的に生産してきたが、温暖地における早期栽培の宿命として、減数分裂期に低温に遭遇し、障害型冷害が発生して減収することがある。実際に千葉県では昭和51年と55年に、障害型冷害が発生し不作となった。

そこで千葉県では、昭和58年から障害型冷害の回避を目的として、「作柄安定対策調査ほ設置事業」を開始した。この事業は、米生産者や関係機関に対して、水稻の生育状況、今後予想される気象、病害発生などの情報に加えて、障害型冷害の発生危険期（以下、冷害危険期）を周知させるとともに、被害の軽減を図る栽培管理情報を提供するものであり、現在に至っている。

この事業では、得られた生育情報と気象データから、幼穂形成期を日最高気温の積算値を説明変数とする一次式で予測（以下、「積算温度法」）し（第1表），その10日後から8日間を冷害危険期として情報提供し、水管理等による被害軽減対策の指標としている。

しかし近年、「コシヒカリ」において予測値が実測値よりも遅れるなど、予測精度の低下が問題となっている。さらに、予測式は、品種毎に固有であり、近年採用された奨励品種に対応していないという問題点も指摘されている。

積算温度法は、本来は非線形の関係にある水稻の生育速度と温度の関係を線形的関係と設定しており、ここに予測精度の低い原因があると推察される。

このような予測法に対して、堀江ら（1990）はWitら（1969）の発育速度の概念に基づき、水稻品種「日本晴」を用いて出穂期の気象的モデルを導いた。これは出芽後n日目の発育指数(DeVelopmental Index,DVI)を、その間の発育速度(DeVelopmental Rate,DVR)の積算として与えるものである。このモデルにおけるDVR曲線からは、発育の最低温度12~13℃、最適温度30~32℃が導かれ、本来の非線形な水稻の発育速度と温度の関係をよく説明している。こうした概念に基づき、竹澤ら（1988）はノンパラメトリック回帰を用いてDVRを決定する方法を提案し、

さらに竹澤（2003）は、これを「対話型ノンパラメトリックDVRプログラム」としてプログラム化した。このプログラムによって策定されたモデルを基本とした生育予測は各地で行われ、いずれも従来の積算温度法を超える高い予測精度が報告されている（石橋ら，1990；山口・福島1992）。

そこで、幼穂形成期を正確に予測するために、水稻の発育速度と温度の関係をよく説明し、かつ従来よりも予測精度が高いモデルを確立することを目的とし、千葉県農林総合研究センター生産技術部水田作研究室のは場において得られたデータに基づく新たな予測法（以下、「DVI予測法」とする）を策定し、その実用性を確認したので、ここに報告する。

なお、本研究を実施するに当たり、千葉県農林総合研究センター生産技術部水田作研究室員に栽培や調査においてご協力をいただいた。ここに記して感謝を申し上げる。

## II 試験方法

### 1. 生育ステージデータの収集

2003年から2006年の4年間、千葉県農業総合研究センター生産技術部水田作研究室の中粗粒強グライ土水田において水稻を栽培した。品種は、「ふさおとめ」、「ひとめぼれ」及び「コシヒカリ」を供試した。品種ごとの幼穂形成期のデータを収集するために、各品種とも、移植時期を4月10日、4月20日、5月1日及び5月10日の4水準設定した。

基肥は、高度化成822（8-22-12）と塩安を用い、代かき時に全面全層施用した。10a当たりの窒素成分量は、「ふさおとめ」で3.0kg、「ひとめぼれ」で4.0kg、「コシヒカリ」で2.0kgとした。リン酸と加里の10a当たりの成分量は各品種ともそれぞれ5.5kg、3.0kgとした。栽植密度は16.8~21.2株/m<sup>2</sup>とし、葉齢約2.4（不完全葉を含めず）の稚苗を1株当たり約4本ずつ機械移植した。穂肥は、幼穂長が1cmのときに10a当たり窒素成分量で3.0kgのNK化成C6号（17-0-17）を表層に施用した。水稻栽培中の雑草及び病虫害防除は慣行に準じて行った。

受理日 2009年9月30日

\*現東葛飾農林振興センター

幼穂長は、標準的な生育の5株を選定し、それぞれから最長茎を採取解体し、計測した。なお1mm以上の幼穂長の割合が80%以上となった日を幼穂形成期とした。

生育期間中の気温は、水田作研究室ほ場の百葉箱内に設置した温度センサー（サーモレコーダーRT-11,12, ESPEC社製）で計測した。毎正時24回の気温の平均値を日平均気温、最大値を日最高気温、最小値を日最低気温とした。

## 2. 品種ごとのDVRモデル曲線の策定

得られた生育ステージと気温データから、「対話型ノンパラメトリックDVRプログラム」を用いて、「DVI予測法」のためのDVRモデル曲線を算出した。算出にあたっては、移植日のDVIを0、幼穂形成期を1とした。

「モデル」の算出には日平均気温、日最高気温及び日最低気温をそれぞれ用いた。また、DVRモデル曲線のなめらかさを調整する平滑化パラメータ（以下 $\alpha$ 値とする）を $10^4 \sim 10^6$ の間で $10^X$ （ $X$ は4から6までの整数）ごとに設定し、得られた幾つかのDVRモデル曲線の中から、温度と発育速度との関係に矛盾が無く、これを使った幼穂形成期の予測誤差が小さいモデルを品種ごとに1つ選択し、最適なDVRモデル曲線（以下、「モデル」とする）とした。

第1表 従来の積算温度法予測式

品種	式 <sup>注1</sup>	誤差 <sup>注2</sup>
ふさおとめ	$Y=1296.4-4.806 \times X$	1.5
ひとめぼれ	$Y=1412.8-5.139 \times X$	1.3
コシヒカリ	$Y=1565.8-8.240 \times X$	3.2

注1) Yは幼穂形成期予測のための積算温度。

Xは(移植日-4/30)の値。

注2) 誤差は「予測値-実測値」の平均を示す。

## 3. 「DVI予測法」と積算温度法との精度の比較

「モデル」に基づいて策定した「DVI予測法」による予測値と積算温度法による予測値の精度を比較した。積算温度法による予測式は、「ふさおとめ」は1996年から2004年、「ひとめぼれ」は2003年から2006年、「コシヒカリ」は1976年から1992年のデータから算出し組み立てた（第1表）。

また、予測の対象とした年次は、「モデル」算出のためのデータを収集した2003年から2006年を含む、1999年から2008年の10年間とし、幼穂形成期の実測値は、水田作研究室圃場において標準的な方法で栽培された各品種のデータを用いた。

予測精度は、予測値と実測値との誤差の絶対値の平均値及び最大値によって評価した。

## 4. 「DVI予測法」の県内各地域における適合性

策定した「DVI予測法」の適合性を検証するため、栽培方法の年次差が少なく調査年数が多い、育種研究所水稻育種研究室圃場(香取市佐原)及び、成東育成地圃場(山武市成東)、袖ヶ浦市現地圃場(袖ヶ浦市横田)及び君津市現地圃場(君津市末吉)の4地点において、幼穂形成期を予測し、実測値と比較した。予測に用いた気温は、第2表に示した地点の観測データを用いた（第2表）。

また、近隣の複数の地点において実測した気温の違いが、「DVI予測法」による予測値に及ぼす影響を確認するため、水田作研究室圃場、千葉県農業総合研究センター本場(千葉市緑区大膳野町)、及びアメダス観測値(千葉)の3地点における気温データを用いて、水田作研究室ほ場の「コシヒカリ」の幼穂形成期を予測し、これを実測値と比較した（第2表）。

第2表 気温、生育調査地点

生育調査地	緯度	経度	距離 (km)	気温測定値	緯度	経度
水田作研究室 (千葉市緑区刈田子)	35° 32' 37"	140° 09' 41"	7.9	アメダス千葉	35° 36' 06"	140° 06' 12"
			0.0	水田作研究室	35° 32' 37"	140° 09' 41"
			2.7	農林総合研究センター本場	35° 32' 44"	140° 11' 18"
水稻育種研究室 (香取市佐原)	35° 54' 43"	140° 29' 56"	0.0	水稻育種研究室	35° 54' 43"	140° 29' 56"
			0.0	メッシュ佐原	35° 54' 43"	140° 29' 56"
成東育成地 (横芝光町成東)	35° 35' 44"	140° 24' 32"	0.0	メッシュ成東	35° 35' 44"	140° 24' 32"
			9.3	アメダス横芝光	35° 39' 24"	140° 28' 12"
袖ヶ浦作柄ほ場 (袖ヶ浦市横田)	35° 23' 32"	140° 00' 47"	9.1	アメダス木更津	35° 21' 42"	139° 56' 24"
			1.7	袖ヶ浦市農業センター	35° 23' 26"	140° 02' 04"
君津作柄ほ場 (君津市末吉)	35° 19' 20"	140° 03' 40"	14.1	アメダス木更津	35° 21' 42"	139° 56' 24"
			8.0	袖ヶ浦市農業センター	35° 23' 26"	140° 02' 04"

注1)「メッシュ佐原」、「メッシュ成東」は、ウェザーニュース社によりアメダス地点のデータから展開されたメッシュデータより算出された、生育調査地点の気温データを示す。

注2) 距離(km)は、生育調査地と気温測定地の直線距離を示す。

### Ⅲ 結果

#### 1. 生育ステージデータを収集した年次の気象条件

2003年の7月、8月は低温で推移し、全般に寡照であった。2004年は5月が寡照であった他は、全般に高温多照で推移した。2005年の5月は低温、6月、8月は高温で推移し、全般に寡照であった。2006年の4月、6月は低温、5月、7月、8月は高温で推移し、全般に寡照であった(第1図)。

#### 2. DVRモデル曲線算出に用いた幼穂形成期のデータ

4年間で得られた各移植時期毎の各品種の幼穂形成期を見ると、「ふさおとめ」は6月14日から7月1日、「ひとめぼれ」は6月15日から7月5日、「コシヒカリ」は6月20日から7月10日であった(第3表)。気象と幼穂形成期の関係を見ると、幼穂形成期までの気温が全般に高く推移した2003年と2004年は、5月中旬に低温となった2005年や、

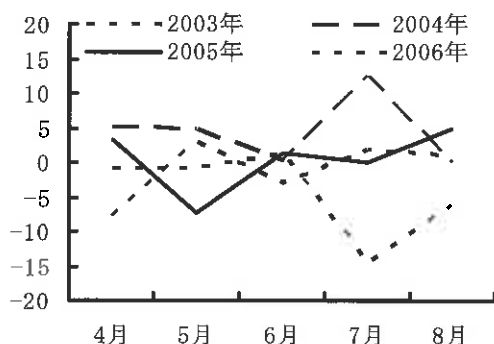
4月、6月に低温となった2006年に比べ、概ね幼穂形成期が早かった。

第3表 品種、年次、移植時期別幼穂形成期

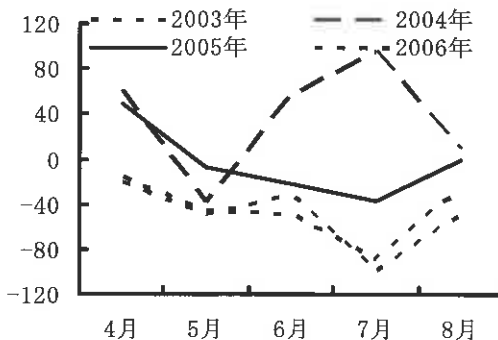
品種	年次	移植時期別幼穂形成期			
		4/10	4/20	5/1	5/10
ふさ おとめ	2003	6/15	6/19	6/22	6/28
	2004	6/14	6/19	6/24	6/26
	2005	6/18	6/22	6/26	7/1
	2006	6/19	6/22	6/24	6/28
ひとめ ぼれ	2003	6/17	6/22	6/26	7/5
	2004	6/15	6/23	6/29	7/4
	2005	6/19	6/24	7/3	7/4
	2006	6/21	6/24	6/28	7/3
コシ ヒカリ	2003	6/20	6/28	6/29	7/7
	2004	6/22	6/27	7/5	7/6
	2005	6/26	7/4	7/6	7/10
	2006	6/26	7/2	7/4	7/10

注) 移植時期別幼穂形成期は、(月/日)で示した。

積算気温(°C)

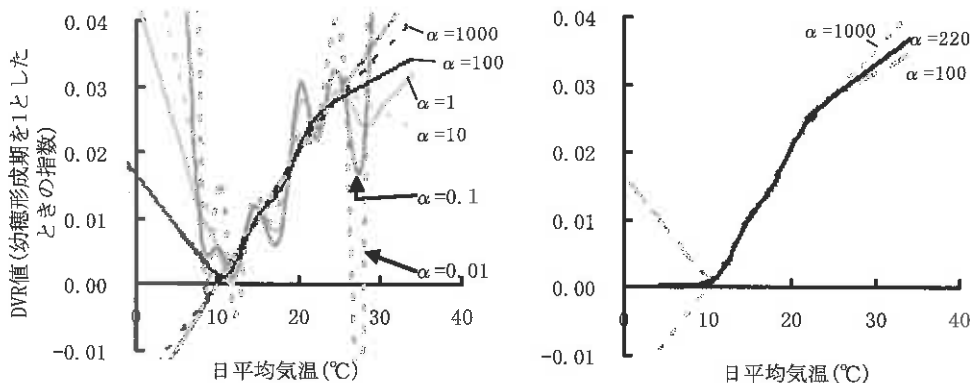


日照時間(hr)



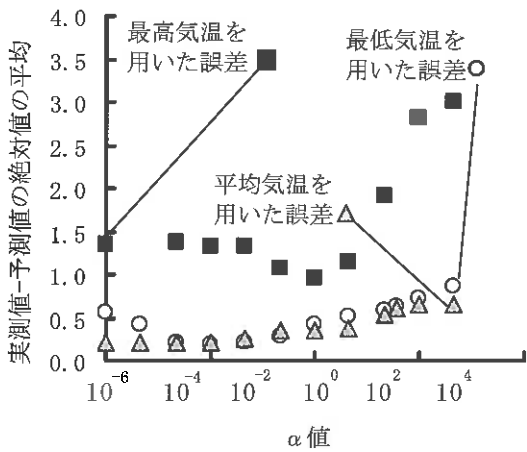
第1図 生育ステージデータを収集した年次の平年差の積算(左気温、右日照時間)

注) 日平均気温・日照時間の実測値から平年値を減じた月ごとの積算値を示した。

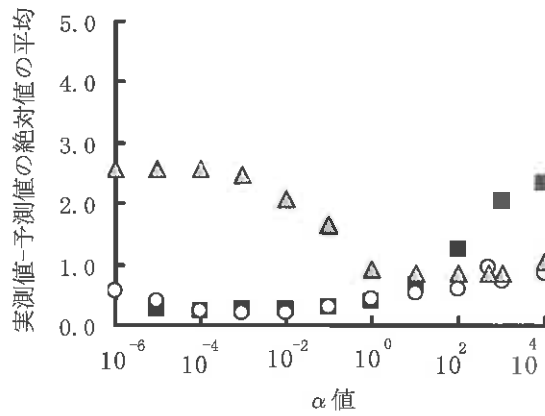


第2図 水田作研究室ほ場において算出した

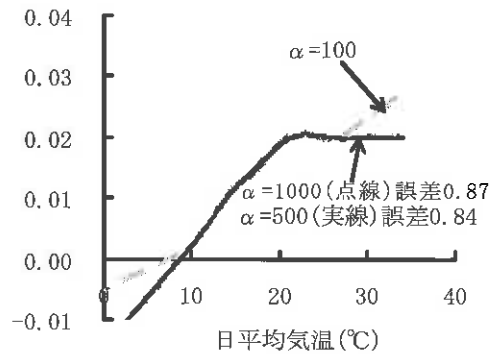
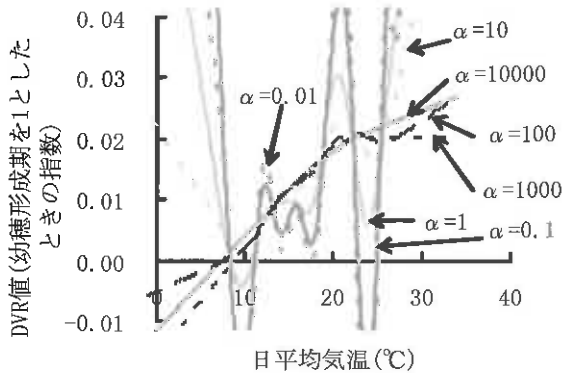
「ふさおとめ」の「モデル」。



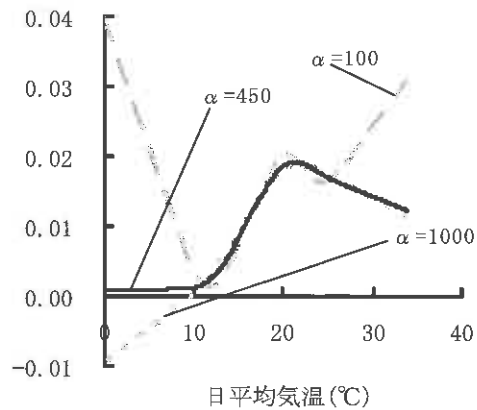
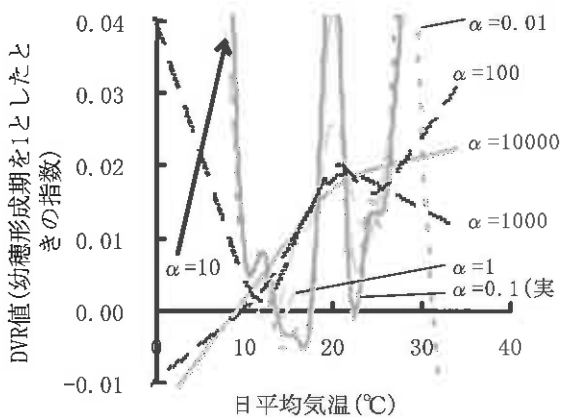
第3図 水田作研究室栽培の「ふさおとめ」における、DVR算出のための平滑化パラメーターと、実測値との誤差の関係



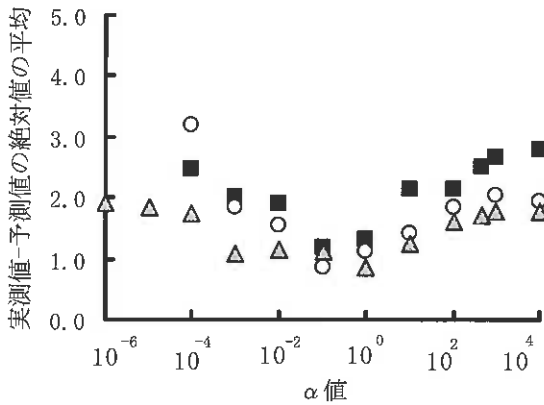
第5図 水田作研究室栽培の「ひとめぼれ」における、DVR算出のための平滑化パラメーターと、実測値との誤差の関係  
注) 凡例は第3図に準じる



第4図 水田作研究室ほ場において算出した「ひとめぼれ」の「モデル」



第6図 水田作研究室ほ場において算出した「コシヒカリ」の「モデル」



第7図 水田作研究室栽培の「コシヒカリ」における、DVR算出のための平滑化パラメーターと、実測値との誤差の関係  
注) 凡例は第3図に準じる。

### 3. DVRモデル曲線の策定

4年間の気温データと、各品種の移植日と幼穂形成期を用い、竹澤(2003)の「対話型ノンパラメトリックDVRプログラム」により、「モデル」の策定を試みた。

まず、温度と水稻の発育速度との関係に矛盾が無い「モデル」を算出するための $\alpha$ 値を探索した。

その結果、「ふさおとめ」では日平均気温を用いて $\alpha=100$ と $\alpha=1,000$ で算出された。さらに $\alpha$ 値を100から1,000の範囲で調整したところ、 $\alpha=220$ とすると気温が $30^{\circ}\text{C}$ 以上でもDVR値が増加し続けるが、 $10^{\circ}\text{C}$ 以下でDVR値がほぼ0となる「モデル」が算出できた。また、この $\alpha$ 値における予測誤差は0.5日程度であった(第2図、第3図)。

「ひとめぼれ」では、日平均気温を用いて $\alpha=1,000$ で、気温 $21^{\circ}\text{C}$ 以上でDVR値が増加しない「モデル」を算出できたが、 $10^{\circ}\text{C}$ 以下ではDVR値がマイナスとなった。 $\alpha=1,000$ 前後で $\alpha$ 値を調整すると、 $\alpha=500$ で、「モデル」を大きく崩すことなく、予測値と実測値との差がより小さくなった(第4図、第5図)。

「コシヒカリ」では、日平均気温を用いて $\alpha=100$ と $\alpha=1,000$ でほぼ妥当な「モデル」が算出され、さらに $\alpha$ 値を100から1,000の範囲で調整したところ、 $\alpha=450$ とすると気温 $21^{\circ}\text{C}$ 以上でDVR値が低下し、 $10^{\circ}\text{C}$ 以下でDVR値がほぼ0となる「モデル」を算出できた。予測誤差も1.5日程度と小さかった(第6図、第7図)。

### 4. 「DVI予測法」による予測値の精度

$\alpha$ 値を、「ふさおとめ」で220、「ひとめぼれ」で500、「コシヒカリ」で450とした場合の「モデル」に基づく予測値と実測値との誤差の平均は、「ふさおとめ」では1.7日、「ひと

めぼれ」では0.8日、「コシヒカリ」では1.7日で、誤差の最大は、「ふさおとめ」では3日、「ひとめぼれ」では3日、「コシヒカリ」では4日であった(第4表、第5表、第6表)。気象条件が予測値と実測値との誤差に及ぼす影響は、「ふさおとめ」と「ひとめぼれ」では明確ではなかった。「コシヒカリ」では4月から6月が比較的温暖であった2000年、2003年、2004年で予測値が遅れ誤差が大きくなった。

第4表 「積算温度法」と「DVI予測法」による

「ふさおとめ」の幼穂形成期予測の精度比較

年度	移植日 (月/日)	実測幼穂 形成期 (月/日)	積算温度 法予測値 (月/日)	実測値 との誤差 (日)	DVI 予測値 (月/日)	実測値 との誤差 (日)
1999	4/20	6/15	6/14	1	6/12	3
2000	4/21	6/14	6/18	-4	6/16	-2
2001	4/20	6/19	6/19	0	6/17	2
2002	4/19	6/17	6/16	1	6/18	-1
2003	4/21	6/17	6/18	-1	6/19	-2
2004	4/20	6/19	6/17	2	6/18	1
2005	4/19	6/19	6/19	0	6/22	-3
2006	4/19	6/20	6/21	-1	6/21	-1
2007	4/20	6/15	6/17	-2	6/15	0
2008	4/18	6/22	6/20	2	6/20	2
誤差の絶対値の平均				1.4		1.7
誤差の絶対値の最大				4.0		3.0

第5表 「積算温度法」と「DVI予測法」による

「ひとめぼれ」の幼穂形成期予測の精度比較

年度	移植日 (月/日)	実測幼穂 形成期 (月/日)	積算温度 法予測値 (月/日)	実測値 との誤差 (日)	DVI 予測値 (月/日)	実測値 との誤差 (日)
2003	4/10	6/17	6/18	1	6/17	0
	4/22	6/22	6/24	2	6/23	1
	4/30	6/26	6/29	3	6/27	1
	5/09	7/05	7/05	0	7/04	-1
2004	4/09	6/15	6/16	1	6/15	0
	4/19	6/23	6/22	-1	6/21	-2
	4/30	6/29	6/28	-1	6/28	-1
	5/10	7/04	7/03	-1	7/04	0
2005	4/11	6/19	6/20	1	6/20	1
	4/20	6/24	6/24	0	6/24	0
	5/02	7/03	7/01	-2	7/02	-1
	5/10	7/04	7/06	2	7/07	3
2006	4/10	6/21	6/20	-1	6/20	-1
	4/21	6/24	6/25	1	6/24	0
	5/01	6/28	6/30	2	6/28	0
	5/09	7/03	7/04	1	7/04	1
誤差の絶対値の平均				1.3		0.8
誤差の絶対値の最大				3.0		3.0

第6表 「積算温度法」と「DVI予測法」による

「コシヒカリ」の幼穂形成期予測の精度比較

年度	移植日 (月/日)	実測幼穂 形成期 (月/日)	積算温度 法予測値 (月/日)	実測値 との誤差 (日)	DVI 予測値 (月/日)	実測値 との誤差 (日)
1999	4/30	6/29	6/25	4	6/29	0
2000	5/01	6/29	7/05	-6	7/02	-3
2001	5/02	6/30	7/03	-3	6/30	0
2002	5/01	7/05	7/01	4	7/04	1
2003	5/01	6/29	7/04	-5	7/03	-4
2004	4/30	7/01	7/03	-2	7/04	-3
2005	5/02	7/06	7/09	-3	7/08	-2
2006	5/01	7/02	7/03	-1	7/02	0
2007	5/01	6/30	7/02	-2	6/28	2
2008	5/01	7/05	7/07	-2	7/03	2
誤差の絶対値の平均				3.2		1.7
誤差の絶対値の最大				6.0		4.0

### 5. 「DVI予測法」と「積算温度法」との精度の比較

「DVI予測法」と「積算温度法」の、実測値との誤差の平均を比較すると、「ふさおとめ」では、「積算温度法」の方が0.3日小さかった。「ひとめぼれ」と「コシヒカリ」では「DVI予測法」の方がそれぞれ0.5, 1.5日小さかった。誤差の最大を比較すると、「ふさおとめ」では「DVI予測法」の方が1日小さく、「ひとめぼれ」では同じであり、「コシヒカリ」では「DVI予測法」の方が2日小さかった(第4表, 第5表, 第6表)。

### 6. DVI予測法の県内各地域における適合性

水田作研究室圃場以外の地域で栽培した「ふさおとめ」と「コシヒカリ」について、「DVI予測法」の予測値と実測値との誤差の平均を比較すると、水稻育種研究室圃場で

は両品種ともに平均で1.8日、最大で4日であった。成東育成地圃場では「コシヒカリ」の誤差が平均で3.0日、最大で9日であった。袖ヶ浦市現地圃場では「ふさおとめ」の誤差が平均で2.2日、最大で8日であった。君津市現地圃場では「コシヒカリ」の誤差は平均で2.5日、最大で6日であった(第7表, 第8表)。

アメダス千葉、水田作研究室、農業総合研究センター本場で計測した2007年の気温データを用い「DVI予測」を行うと、水田作研究室の気温データでは、「ふさおとめ」は6月15日、「ひとめぼれ」は6月19日、「コシヒカリ」は6月23日と予測された。これに対し、いずれの品種においても、アメダス千葉の気温データを用いた場合の予測値は2日早く、農業総合研究センター本場の気温データの場合には予測値は約2日遅かった(第9表)。

## IV 考察

### 1. 品種ごとの「モデル」の算出

算出した「モデル」は、温度と水稻の発育速度に、概ね矛盾が見られなかった。しかし、「ふさおとめ」の場合、日平均気温が30℃以上でも、DVR値が増加し続けた。これは、「モデル」の算出に当たり、「ふさおとめ」は概ね6月までに幼穂が形成され、7月以降の高温時のデータが反映されなかったためと推測された。今後、「ふさおとめ」ではより高温条件下での栽培時のデータを追加することで、温度と水稻の発育速度により矛盾の小さい「モデル」が算出できると考えられた。

「ふさおとめ」は、通常4月20日から5月1日の間に移植すると6月末までに幼穂が形成される。6月第6半旬の日平均気温平年値は23.3℃であることから、「ふさおとめ」が幼穂形成期に達するまでの期間で日平均気温が30℃以上となる確率は極めて低く、実用上は問題無いと考えられた。

「ひとめぼれ」は、23.0℃の時にDVR値がピークを示して、高温時の温度と水稻の発育速度との関係に矛盾は無いと考えられた。しかし、概ね10℃を下回る温度ではDVR値が負となった。この要因については明らかではなかったが、より低温条件下での栽培時のデータを追加することで、温度と水稻の発育速度により矛盾の小さい「モデル」が算

第7表 水田作研究室ほ場データから策定した「DVI予測法」による、県下他地域の「ふさおとめ」における予測精度

栽培ほ場	気温測定地	年	移植日	幼穂形成期		誤差
				予測値	実測値	
水稻育種研究室 作柄ほ場	香取市	2003	4/21	6/22	6/24	-2
		2004	4/20	6/22	6/26	-4
	佐原	2005	4/20	6/27	6/27	0
		2006	4/20	6/23	6/25	-2
		2007	4/20	6/18	6/19	-1
2008	4/20	6/28	6/30	-2		
誤差の絶対値の平均						1.8
誤差の絶対値の最大						4.0
袖ヶ浦市 作柄ほ場	アメダス	2003	4/15	6/13	6/14	-1
		2004	4/19	6/13	6/21	-8
	袖ヶ浦市	2005	4/16	6/19	6/20	-1
		農業	2006	4/17	6/19	6/22
	センター	2007	4/16	6/19	6/19	0
		2008	4/15	6/20	6/20	0
			誤差の絶対値の平均			
誤差の絶対値の最大						8.0

第8表 水田作研究室ほ場データから策定した「DVI予測法」による、県下他地域の「コシヒカリ」における予測精度

栽培ほ場	気温測定地	年	移植日	幼穂形成期		誤差	
				予測値	実測値		
水稻育種研究室 作柄ほ場	香取市	2003	4/25	7/02	6/30	2	
		2004	4/26	7/05	7/06	-1	
	佐原	2005	4/25	7/07	7/05	2	
		2006	4/25	7/01	7/04	-3	
		2007	4/25	6/27	6/30	-3	
		2008	4/25	7/07	7/07	0	
誤差の絶対値の平均						1.8	
誤差の絶対値の最大						3.0	
成東 育成地 作柄ほ場	メッシュ	2003	5/01	7/03	6/30	3	
		2004	4/30	7/04	7/01	3	
	アメダス	2005	5/02	7/10	7/01	9	
		横芝	2006	5/01	7/02	7/02	0
	2007	5/01	6/29	6/28	1		
		2008	5/01	7/05	7/03	2	
			誤差の絶対値の平均				
誤差の絶対値の最大						9.0	
君津市 作柄ほ場	アメダス	2003	4/11	6/18	6/23	-5	
		2004	4/14	6/19	6/25	-6	
	木更津	2005	4/17	6/27	6/27	0	
		袖ヶ浦市	2006	4/20	6/27	6/29	-2
			農業	2007	4/16	6/26	6/25
	センター	2008	4/21	6/29	6/28	1	
	誤差の絶対値の平均						2.5
誤差の絶対値の最大						6.0	

第9表 2007年の気象下における、「DVI予測法」による予測値

	アメダス 千葉	水田作 研究室	農総研 本場
ふさおとめ	6/13	6/15	6/18
ひとめぼれ	6/17	6/19	6/21
コシヒカリ	6/21	6/23	6/25

注) 移植日は4月20日

出できると考えられた。従って、千葉県における「ひとめぼれ」の通常の栽培期間では、日平均気温が10℃以下となる確率は極めて低いことから、実用上は問題無いと考えられた。

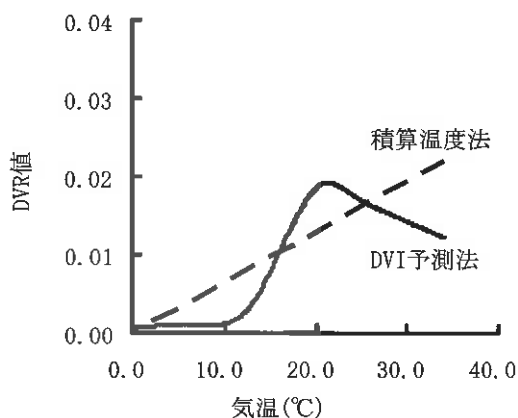
「コシヒカリ」の「モデル」については、温度と水稻の発育速度との関係に概ね矛盾が見られなかった。これは、「ふさおとめ」及び「ひとめぼれ」と比較して、「コシヒカリ」は晩生品種であり、移植日から幼穂形成期までの期間が長く、「モデル」の算出に用いた気温の幅が広いと推測された。

「モデル」に基づく予測値と実測値との誤差の平均は、「ふさおとめ」で1.7日、「ひとめぼれ」で0.8日、「コシヒカリ」で1.7日であった。誤差の最大は、「ふさおとめ」で4日、「ひとめぼれ」で3日、「コシヒカリ」で4日であった(第4表, 第5表, 第6表)。堀江ら(1986)が導いた気象的モデルによる生育予測の精度について、石橋ら(1990)は2~3日、土居ら(1990)は4.1日と報告している。

以上のことから、予測誤差の許容を3日とした場合、「ふさおとめ」、「ひとめぼれ」及び「コシヒカリ」ともに、策定した「モデル」は実用的な予測精度を持ち、また、通常の栽培条件においては、温度と水稻の発育速度との関係に矛盾は生じないと判断できる。

## 2. 「DVI予測法」と「積算温度法」との精度の比較

「DVI予測法」は、「積算温度法」に比べ17~26℃の範囲ではDVR値が高い傾向が見られ、これはすなわち生育が早まったと評価される(第8図)。このことから、「DVI予測法」によって「コシヒカリ」の幼穂形成期の予測精度が高まった理由としては、気温が高温化し、「積算温度法」では過小評価されていた発育速度が、「DVI予測法」によって適性に評価されるようになったためと推察される。



第8図 「コシヒカリ」における、「DVI予測法」と「積算温度法」の「モデル」比較  
注) 「積算温度法」は、5月1日移植とした。

## 3. 「DVI予測法」の県内各地域における適合性

各地域の「DVI予測法」における実測値との誤差は、水稻育種研究室圃場、成東育成地圃場、袖ヶ浦市現地圃場、君津市現地圃場ともに、平均で3日以下であり、実用的であると考えられた。

また、現在、作柄安定対策調査ほ設置事業において運用されている「コシヒカリ」の幼穂形成期の積算温度法による予測は、県北部地域、九十九里地域、県南部地域では、一次式により算出された予測値に対して補正式による補正が行われ、予測値が算出されている(株式会社ウェザーニューズ1998)。これに対して、「DVI予測法」による予測値は、地域による補正の必要は無く、広域に適用できる方法として積算温度法より優れている。

しかし、袖ヶ浦市現地圃場の2004年「ふさおとめ」、成東育成地圃場の2005年「コシヒカリ」では、7日以上の大きな誤差が生じた。いずれも圃場と気温の測定地点との距離が、袖ヶ浦市現地圃場とアメダス木更津で9.1km、成東育成地とアメダス横芝光で9.3kmと離れていたためと考えられた(第2表)。また、水田作研究室圃場の予測については、水田作研究室、アメダス千葉、農業総合研究センター本場でそれぞれ測定した2007年の気温データを基に「DVI予測法」による予測を行うと、予測値が最大で4~5日異なった(第9表)。これらのことから、圃場と気温測定地点が離れている場合、距離が10km以内でも正確な予測が困難になる場合があると推察される。

## 4. 「DVI予測法」の実用化

DVI予測法による「ふさおとめ」、「ひとめぼれ」及び「コシヒカリ」の幼穂形成期の予測は、実測値との誤差が概ね3日以内であった。先に述べたとおり、冷害危険期は、減数分裂期に当たる幼穂形成期の10日後から8日間であり、予測の誤差である3日に比べて幅が広いと、策定した「DVI予測法」による予測は、冷害危険回避の対策を施すうえで十分対応でき、実用可能と判断された。

また、品種ごとの穂肥の施用時期は、「ふさおとめ」は出穂期の25~18日前、「コシヒカリ」は18~10日前が適期であると報告されているが(吉野ら, 2006)、本予測精度の誤差の3日は、この穂肥の好適な施用時期の幅と比較しても小さいことから、高品質米の安定生産のための精度の高い栽培管理を行う上でも、策定した「DVI予測法」は実用的であると考えられる。

さらに、策定した「DVI予測法」ではこれまでの積算温度法による予測において必要であった地域による補正が、必要無く、県内で同一の「モデル」が適用できる。高精度な予測を図るためには、圃場の近隣で気温を測定する必要があるが、本県は、水田が分布する地域の標高差が小さく、

ある一定の地域であれば気象条件や水稻の生育ステージに大きな差は無いため、ほぼ同一な地形にある地域単位で生育の基準となる地点を定め、その近隣で気温を正確に測定することにより、該当地域の水稻の生育ステージの正確な予測が可能になると考えられる。また、気象会社より提供される気温のメッシュ展開データを活用し、予測地点の気温を正確に推定できれば、「DVI予測法」による県内全域の幼穂形成期予測が可能となる。

## V 摘要

千葉県的水稻早期栽培において、幼穂形成期の予測精度を改善するため、従来の積算温度法に代わるより高精度なDVI予測法を策定し、その実用性を確認した。

- 1.千葉県市緑区刈田子町水田作研究室で収集した気温、生育ステージデータから、対話型ノンパラメトリックDVRプログラムを用いて、「ふさおとめ」、「ひとめぼれ」、「コシヒカリ」の「モデル」を算出し、「DVI予測法」を策定した。
- 2.水田作研究室における「DVI予測法」の実測値との誤差は、いずれの品種も、3日以内であり、実用的であった。また、従来の積算温度法と比べて予測精度は向上した。
- 3.香取市佐原、山武市成東、袖ヶ浦市横田、君津市末吉のほ場における「DVI予測法」の実測値との誤差は、平均で3日以内であり、本予測法の千葉県全域での適合性が確認できた。

## VI 引用文献

土居 健一・田村 良文・竹澤 邦夫 (1990) 西南暖地における水稻の出穂期の予測：ノンパラメトリック法の適用例。日本作物学会九州支部会報。57：28-303。  
堀江 武・中川 博視 (1986) 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予測への適用。日作紀。59：687-695。

石橋 英二・桐山 隆・田村 良文・金野 隆光・小野 祐幸 (1990) ノンパラメトリック回帰を用いた温度影響評価による水稻の生育期予測。日作紀。59：443-449。  
株式会社ウェザーニューズ (1998) 農林業情報システム 農林気象メッシュ表示システム演算仕様書。pp.3-4。  
太田 和也・小山 豊 (2003) 2002年千葉県における水稻「コシヒカリ」の外観品質低下要因。日本作物学会関東支部会報。18：56-57。  
佐藤 庚 (1972) 環境に対する水稻の生育反応：第1報 栄養生長期の生育に及ぼす気温の影響。日作紀。41：388-393。  
竹澤 邦夫・田村 良文 (1988) 生育ステージのノンパラメトリック推定。昭和63年度日本農業気象学会講演要旨。pp.150-151。  
竹澤 邦夫 (2003) B-スプラインを用いたノンパラメトリックDVR法。システム農学。19：121-129。  
角田 公正・松島 省三 (1962) 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究：LXII. 水深を異にした場合の水温の高低が水稻の生育・収量ならびに収量構成要素に及ぼす影響。日作紀。31：19-22。  
若松 謙一・佐々木 修・上菌 一郎・田中 明男 (2007) 暖地水稻の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響。日作紀。76：71-78。  
Wit,C.T.de,R.Brouwer and F.W.T Penning de Vries (1970) The simulation of photosynthetic systems. In: *Proceedings of the International Biological Program /Production Process,Technical Meeting: Trebon 1969.* pp.47-70。  
山口 正篤・福島 敏和(1992) 幼穂分化期の判定による水稻の出穂期予測。日本作物学会関東支部会報。7：29-30  
吉野 裕一・太田 和也・在原 克之・小山 豊 (2006) 水稻品種「ふさおとめ」と「コシヒカリ」における玄米品質及び粗タンパク質含有率に及ぼす穂肥の影響の差異。日作紀。75 (別2)：102-103。



## Using Automated Meteorological Data Acquisition Service Data to Predict the Timing of Rice Panicle Formation by Developmental Index

Yuichi YOSHINO <sup>a)</sup>, Kazuya OTA, Yutaka KOYAMA <sup>b)</sup> and Katsuyuki ARIHARA <sup>b)</sup>

Keywords : paddy rice, growth forecast, DVI, young panicle formation stage

### Summary

To improve the accuracy of predicting the panicle formation stage in early season rice culture, a highly accurate DVI prediction method that could substitute for the conventional temperature summation method was developed and its practicality was tested in Chiba Prefecture.

1. Based on the temperature and development-stage data collected by the Paddy Farming Laboratory, the Chiba Prefectural Agricultural and Forestry Research Center (Karitago-cho, Midori-ku, Chiba City), models were calculated for 'Fusaotome', 'Hitomebore' and 'Koshihikari' rice varieties using the interactive nonparametric DVR program to develop the DVI prediction method.

2. The differences between the values predicted using the DVI prediction method and the actual values at the Paddy Farming Laboratory were all less than three days for all of the rice varieties, confirming the practicality of the method. Also, the prediction accuracy was improved compared with the conventional temperature summation method.

3. The average difference between the values predicted using the DVI prediction method and the actual values obtained from fields in Sawara (Katori City), Naruto (Sanmu City), Yokota (Sodegaura City) and Sueyoshi (Kimitsu City) was less than three days, confirming the applicability of the prediction method to the entire Chiba Prefecture.

<sup>a)</sup> Higashikatsushika Agriculture and Forestry Promotion Center

<sup>b)</sup> Chiba Prefectural Agriculture Research Center