

水稲の折衷直播における播種期から 出穂期までの発育と気温の関係

宮川英雄・児玉 徹・佐藤福男

はじめに

稲作のコスト低減のため、現行の「育病一施肥一耕起一代かき一移植」体系に代わる技術として直播栽培がある。筆者らは播種作業を乾田状態で行い、播種直後から湛水状態にして水稲を栽培する折衷直播栽培技術の開発を進めている。本県のように寒冷地気象条件下における直播栽培では特に、播種期から出穂期までの温度の影響が大きく、これらの解析が重要と考えられた。折衷直播栽培における播種期から出穂期までの発育と期間中の気温の関係について検討した結果、有効積算気温型発育モデル¹⁾の適用が可能であることを明らかにしたので、その概要を報告する。

1. 播種期と出穂期及び出穂期

1) 試験方法

① 試験年次：1992年、1993年、1994年。

② 試験場所：1992年及び1993年は秋田農試場内連作水田、1994年は秋田農試場内輪換1年目水田（前年に玉ねぎ、ねぎ、キャベツなどを作付け）。

③ 供試品種：1992年；渡育224号（ほのか24）、たかねみのり、あきたこまち、キヨニシキ、あきた39、ササニシキ、1993年；渡育224号（ほのか224）、たかねみのり、秋田51号、あきたこまち、キヨニシキ、たつこもち、1994年；秋田51号、あきたこまち。

④ 種子予措：乾籾重当たり0.5%相当量の

ヘルシード水和剤及びスターナ水和剤を粉衣した。消毒粉を十分に乾燥後、水を十分に吸水させ、浸漬籾を種子コーティング・マシンによりコーティングした。コーティング資材として、乾籾当たり3%相当量の4,3酸化鉄とタチガレエース粉剤及び150%相当量のカルパー粉粒剤16の3資材を用いた。

⑤ 播種方法：1992年及び1993年は「種まきごんべい」による条間30cmの条播、1994年は8条ドリルシーダによる条間27cmの条播。

⑥ 播種量（乾籾kg/a）：1992年及び1993年は0.4～0.5、1994年は0.6。

⑦ 播種時期：1992年；4月28日、5月20日、5月30日、1993年；4月16日、4月28日、1994年；4月27日。

⑧ 施肥量（kg/a）：1992年；N—0.84、P₂O₅—1.12、K₂O—0.84（肥料名；稲当番）、1993年；N—0.8（肥料名；LPコート70）、1994年；N—0.6（肥料名；LPコート70）。

⑨ 栽培法：折衷直播栽培、分類上は乾田直播の1つの形態で、播種作業を乾田状態で行い、播種後湛水で栽培する。なお、かん水は播種翌日からとした。

⑩ 気象データは、当該年の秋田地方気象台発表の秋田の観測値を用いた。

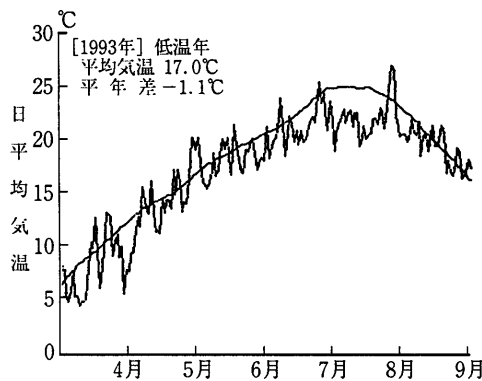
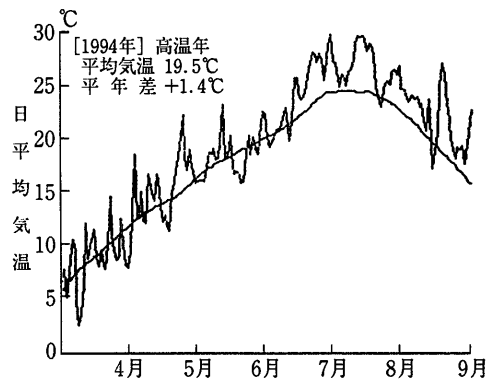
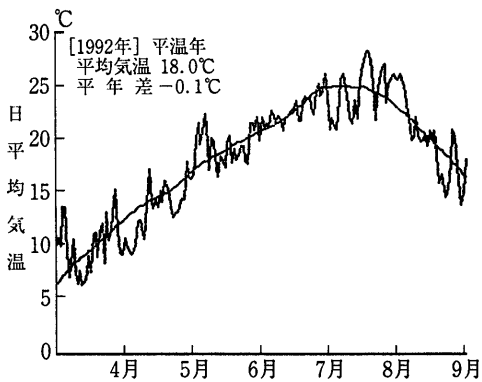
2) 結果及び考察

4月から9月までの平均気温は、1992年が18℃（平年差—0.1℃）の平温年、1993年が16.7℃（同差—1.1℃）の低温年、1994年が19.5℃

Hideo MIYAKAWA · Tooru KODAMA · Fukuo SATO

(同差+1.4℃)の高温年であり、3年間の試験はそれぞれ異なった気象条件で実施された。品種別、年次別の全発育データを第1表に示した。あきたこまちの播種期から出芽期までの日数は1992年が24日、1993年が25日と長く、1994年は高温に推移し19日と短かく、年次変動が大きかった。同一年次でみると、播種時期を移動させた場合、播種期から出芽期までの日数には、供試した品種間では違いがほとんど見られなかった。あきたこまちの出芽期から出穂期までの

日数は、1992年が113日、1993年が118日と長く、1994年は103日と大幅に短く、年次変動が大きかった。また、出芽期から出穂期までの日数は早生品種ほど短くなった。以上のことから、播種期から出芽期までの発育と気温の関係を解析するには、供試した品種でみる限り品種間差を無視できるものと推察された。また、出芽期から出穂期までの発育と気温については品種毎に解析が必要であると考えられた。



第1図 4月から9月までの日平均気温の推移(平滑線は平年値を示す)

第1表 品種別、年次別発育データ

品 種 名	年 次	播 種 期 ①	出 芽 期 ②	出 穂 期 ③	①～② 日 数	②～③ 日 数	備 考 1	備 考 2
渡 育 2 2 4 号 (参1)	1992	4/28	5/22	8/ 6	24	76	*	
	1992	5/20	6/ 6	8/15	17	70	*	
	1992	5/30	6/ 6	8/19	10	71	*	
	1992	4/27	5/19	8/ 7	22	80	*	
	1993	4/16	5/22	8/10	36	80		
	1993	4/28	5/23	8/10	25	79	*	
たかねみのり (参1)	1992	4/28	5/22	8/17	24	87	*	
	1992	5/20	6/ 6	8/25	17	80	*	
	1992	5/30	6/ 9	8/26	10	78	*	
	1992	4/27	5/19	8/14	22	87	*	
	1993	4/16	5/22	8/23	36	93		
	1993	4/28	5/23	8/24	25	93	*	
秋 田 5 1 号	1993	4/16	5/21	8/22	35	93		
	1993	4/28	5/23	8/22	25	91		
	1994	4/27	5/16	8/ 4	19	80		
たつこもち	1993	4/16	5/22	8/20	36	90		
	1993	4/28	5/23	8/21	25	90		
あきたこまち (参1) (参2)	1992	4/28	5/22	8/19	24	89	*	**
	1992	5/20	6/ 6	8/28	17	83	*	
	1992	5/30	6/ 9	8/30	10	82	*	
	1992	4/27	5/19	8/17	22	90	*	
	1992	4/24	5/19	8/16	25	89	*	
	1993	4/16	5/21	8/25	35	96		
	1993	4/28	5/23	8/25	25	94	*	**
	1994	4/27	5/16	8/ 8	19	84		**
キヨニシキ (参1)	1992	4/28	5/22	8/21	24	91	*	
	1992	5/20	6/ 6	8/30	17	85	*	
	1992	5/30	6/ 9	9/ 1	10	84	*	
	1992	4/27	5/19	8/19	22	92	*	
	1993	4/16	5/21	8/24	35	95		
	1993	4/28	5/23	8/25	25	94	*	
ササニシキ (参1)	1992	4/28	5/22	8/24	24	94	*	
	1992	5/20	6/ 6	9/ 3	17	89	*	
	1992	5/30	6/ 9	9/ 5	10	88	*	
	1992	4/27	5/19	8/23	22	96	*	
	1993	4/28	5/23	8/25	25	94	*	
あきた39 (参1)	1992	4/28	5/22	8/24	24	94	*	
	1992	5/20	6/ 6	9/ 2	17	88	*	
	1992	5/30	6/ 9	9/ 4	10	87	*	
	1992	4/27	5/19	8/23	22	96	*	

注1. (参1)は水稻育種担当のデータ、(参2)は作業機械担当のデータ。

2. *は発育モデルの解析に使用したデータ。

3. **は発育モデルの適用性の解析に使用したデータ。

2. 発育モデルによる発育ステージ予測

1) 試験方法

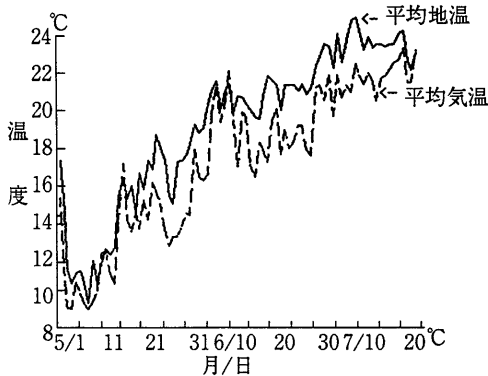
(1) 水田地温と気温の関係

- ① 試験年次：1992年、1993年。
- ② 試験場所：秋田農試験場内輪換1年目水田（前年に玉ねぎ、ねぎ、キャベツなどを作付け）。
- ③ 土壌条件：灰色低地土（鴨島統）。
- ④ 気温の測定は秋田のアメダス観測値による。

⑤ 地温の測定はデータロガー（商品名：録すけ）による。観測期間は1992年が4月28日～9月26日、1993年が5月28日～10月10日である。測定部位は1992年が地表面から5cm、1993年が地表面から5cm及び12cmの深さとした。

(2) 発育モデルのパラメータ決定

- ① 試験方法は概ね前期試験、1. 播種期と出芽期及び出穂期のそれと同様である。
- ② 発育モデルは堀江ら²⁾の発育指数（以後、DVIという）の概念に基づいた。DVIとは任意期間の発育程度を表現する指数で、一般には出芽期を0、出穂期を1とする発育ステージのスケールで、1日当たりの発育速度（以後、DVRという）を積算して得られる。すなわち、日々のDVRを積算（ $DVI = \sum DVR$ ）し、DVIが1に達した日をもって出穂期とするモデルである。ここでは、播種期から出穂期までに至る発育過



第2図 日平均気温と地温の推移(1992年)

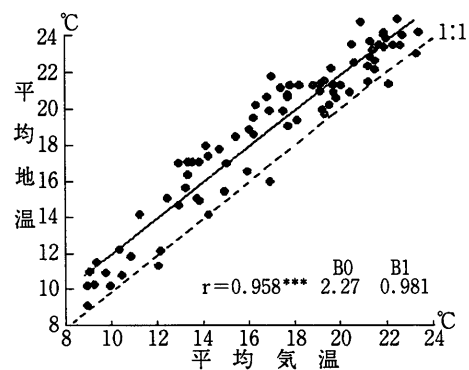
程にDVIの概念を当てはめた。

③ 発育モデルの解析に用いる生育データはデータ組数を増やすため、場内で実施された他の担当の試験データを一部加えて検討した。なお、発育モデルの適用性については品種を「あきたこまち」のみにしぼり検討した。

2) 結果及び考察

(1) 地温と気温の関係

播種後の温度条件は出芽・苗立ちに大きな影響を及ぼす。特に播種から出芽までの期間は水田地温と密接な関係があり³⁾、このため水田地温と気温との関係を明らかにする必要がある。そこで、播種後湛水状態にして、以後栽培期間中の水田地温と気温との関係について解析した。5月1日から7月20日までの地温と気温の関係は、1992年と1993年の両年ともに正の相関が認められた。さらに、1993年には地表面から5cmと12cmの深さで地温と気温の関係を調べた。その結果、5cmの深さでは12cmよりやや地温が高い傾向となったが、地温と気温の関係を表す回帰式には差が認められなかった。1992年の地温と気温の日別変化を見ると、気温の推移に地温が多少のタイムラグをもって追従する。日平均地温と日平均気温の回帰式から推定される地温は気温より2～3℃高く、日平均気温から水田の地温を推定することが可能であると考えられた。



第3図 日平均地温と日平均気温の関係(1992年)

第2表 直播水田の地温と気温の関係

年次	地温相関 計測深係	地温と気温の 関係回帰式	積算(5/1~7/20)	
			地温	気温
	cm		℃	℃
1992	5	0.96*** Y=0.98X+2.20	1,556	1,400
1993	5	0.90*** Y=0.92X+3.18	1,512	1,365
1993	12	0.92*** Y=0.93X+2.69	1,489	1,365

注1. 地温はデータロガーによる12回/日計測値、気温はアメダスデータ。

2. Yは日平均地温、Xは日平均気温を表す。

(2) 発育モデル

DVIの概念に基づき、1992年と1993年に播種期から出穂期に至るDVRを表すモデルについて検討した。ここでは発育ステージのスケールを播種期0～出芽期1、出芽期0～出穂期1、播種期0～出穂期1とする3とおりの場合について検討し、それぞれに対応するDVRモデルのパラメータを求めた。ただし、播種期から出芽期までの日数には品種間差がほとんど見られないことから、播種期0～出芽期1の場合は品種をあきたこまちで代表した。播種期から出芽期までのDVRは出芽期までの水田地温に依存するが、日平均気温が水田地温に代用可能と考え、関数型としてつぎの2式を考えた。

$$\text{モデル A: DVR} = a \times 10^{-3} \times (T - b)$$

$$\text{モデル B: DVR} = [1 - \exp\{-a \times 10^{-5} \times (T - b)\}] / (c \times 10^{-3})$$

ここに、a、b、cはそれぞれパラメータ、Tは日平均気温または日最高気温とする。また、出芽期から出穂期まで及び播種期から出穂期までのDVRを表すモデルとして、気象要因変数Tを日平均気温で与えるモデルAが最も単純で適当であり⁴⁾、これを使用した。これらのモデル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「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。このパソコン用プログラムにより、3とおりの発育ステージのスケールに対応したそれぞれのDVRモデルのパラメータを決定し、第3表に一覧した。

発育ステージのスケールを播種期0、出芽期1とした発育モデルは、モデルA、Bの違いや気象要因変数Tを日平均気温あるいは日最高気温で与える場合のいずれの条件でも、標準誤差は1.1日～1.3日の範囲にあった。このことは、第4図に示した日平均気温と日最高気温がほぼ平行に推移していることから明らかなように、気象要因変数Tを日平均気温あるいは日最高気温のどちらを用いても差がないことを示唆している。6組のあきたこまちの生育データにより決定した、播種期から出芽期までのDVRモデルの標準誤差は1.1日で比較的小さかった。発育ステージのスケールを出芽期0、出穂期1とした発育モデルの標準誤差は早生品種ほど大きくなる傾向が見られ、極早生品種の渡育224号が1.5日、たかねみのりが1日、あきたこまち0.5日、キヨニシキが0.4日であった。しかし、ササニシキとあきた39については誤差が大きく、パラメータを決定出来なかった。次に、播種期から出穂期までを一つの発育スケールと考えた発育モデルの標準誤差は品種により多少の差がみられたが、概ね1日程度であり、十分に実用性があると考えられた。

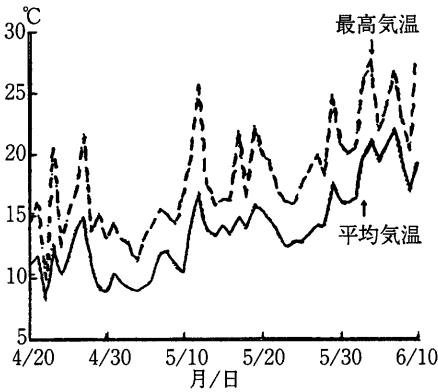
以上の結果から、発育ステージのスケールを播種期0～出芽期1、出芽期0～出穂期1あるいは播種期0～出穂期1とするいずれの場合においても、DVIを計算するための発育モデルは有効積算気温型モデルAが簡便で、気象要因変数Tを日平均気温で与えるモデルが実用的であると考えられた。

第3表 発育ステージのスケールと DVR モデル及びそのパラメータ

発育ステージ のスケール	DVR モデル	気象要因変数 (T)	品 種 名	試験年次	データ組数 (n)	パ ラ メ ー タ			標準誤差 (日)
						a	b	c	
播種期 0 ～ 出芽期 1	A	平均気温	あきたこまち	'92～'93	6	7.59	6.5		1.1
	A	最高気温	あきたこまち	'92	5	6.57	9.8		1.3
	B	平均気温	あきたこまち	'92	5	0.0163	6.5	0.0209	1.1
	B	最高気温	あきたこまち	'92	5	0.0132	9.6	0.0201	1.3
出芽期 0 ～ 出穂期 1	A	平均気温	渡育224号	'92～'93	5	0.694	1.1		1.5
	A	平均気温	たかねみのり	'92～'93	5	0.821	6.5		1.0
	A	平均気温	あきたこまち	'92～'93	6	0.560	0.4		0.5
	A	平均気温	キヨニシキ	'92～'93	5	0.515	-0.8		0.4
	A	平均気温	ササニシキ	'92	4	-	-		
	A	平均気温	あきた39	'92	4	-	-		
播種期 0 ～ 出穂期 1	A	平均気温	渡育224号	'92～'93	5	0.696	3.7	3.7	0.9
	A	平均気温	たかねみのり	'92～'93	5	0.731	6.3	6.3	1.4
	A	平均気温	あきたこまち	'92～'93	6	0.587	3.6	3.6	1.0
	A	平均気温	キヨニシキ	'92～'93	5	0.567	3.4	3.4	1.1

注1. モデル A : $DVR = a/1000 \times (T - b)$ 、モデル B : $DVR = [1 - \exp\{-a/100000 \times (T - b)\}] / (c/1000)$ 。

2. 標準誤差は実測日数とモデルからの推定日数の残差2乗和をデータ組数 n で割った平方根である。



第4図 4月20日から6月10日までの
気温の推移 (1992年)

(3) 発育と気温及び発育モデルの適用性

1992年から1993年のあきたこまちの折衷直播栽培における発育と気温のデータを解析し、発育モデルを導いた。これらの発育モデルとして有効積算気温型モデル A : $DVR = a \times 10^{-3} \times (T - b)$ を用いて DVI を計算する。ここに、パラメータ a は変換係数を、パラメータ b は有効気温を表し、日平均気温 T が b より小さい条件では $DVR = 0$ として計算する。発育モデルにより明らかとなった播種期から出芽期までの有効気温は6.5℃、有効積算気温は135℃であった。出芽期から出穂期までの有効気温は0.5℃であり、有効積算気温は1,790℃、播種期から出穂期までの期間を通してみると、有効気温は3.6

℃であり、有効積算気温は1,710℃であった。

1992年から1994年に実施した、あきたこまちの折衷直播栽培における、播種期から出穂期までの発育と発育期間中の気温を第4表に示した。観察による実測値と発育モデルからの推定値は、出芽期、出穂期ともに近似した。このことから、有効積算気温型発育モデルによる出芽期あるいは出穂期の推定が可能である。ただし、出芽は土壌タイプ、土壌水分、施肥方法、種子コーティングの有無を含めた種子予措の方法など、多様な条件により変動するものと考えられる。本報では、酸素供給資材の種子コーティングと折衷直播栽培を前提条件として検討したので適用範囲はこの域に留まるが、土壌条件や栽培様式

が変わった場合にも、発育モデルの適用は可能であると考えられる。

1992年、1993年及び1994年における播種期から出芽期に至る DVI の推移を第5図に、出芽期から出穂期に至る DVI の推移を第6図に示した。このように発育モデルを使用し、発育期間中の気温を変数として、DVR、DVI を計算することにより発育過程のモニタリングやシミュレーションが可能である。

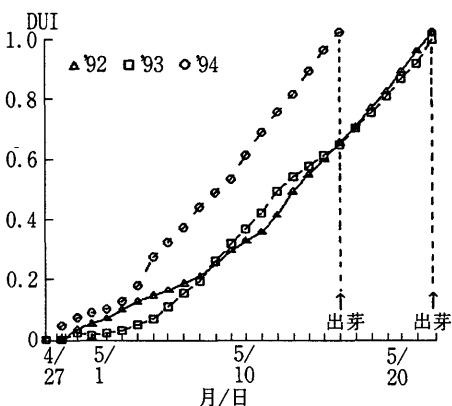
仮に目標の出芽期を5月20日に設定した場合、発育モデルにより秋田の平年気温から播種日を逆算すると、5月1日となる。これから播種適期はおおよそ4月6半旬頃から5月1半旬頃までと考えられた。

第4表 年次別の播種時期と発育ステージ及び発育期間中の気温

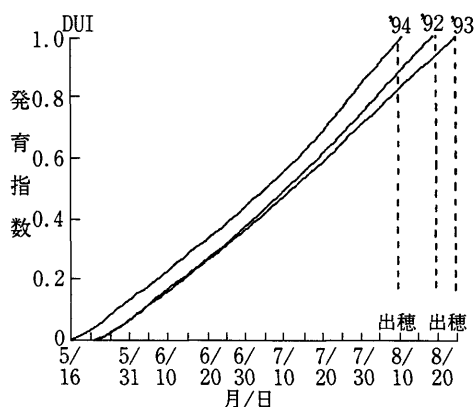
年次	播種期 ① 月/日	区分	出芽期	出穂期	①~②	②~③	①~③	①~②	①~②	②~③	①~③
			② 月/日	③ 月/日	日数	日数	日数	有効積算気温 ℃	積算気温 ℃	積算気温 ℃	積算気温 ℃
1992	4/28	実測値	5/22	8/19	24	89	113	135.5	291.5	1,849	2,140
		推定値	5/22	8/20	24	88	112	135.5	291.5	1,874	2,165
1993	4/28	実測値	5/23	8/24	25	93	118	141.5	302.9	1,935	2,238
		推定値	5/22	8/24	24	93	117	133.4	288.3	1,949	2,238
1994	4/27	実測値	5/16	8/8	19	84	103	135.5	259.0	1,781	2,040
		推定値	5/16	8/10	19	86	105	135.5	259.0	1,838	2,097

注1. 品種はあきたこまち。

2. 推定値は発育予測モデルにより求めた値。



第5図 播種期から出芽期までの発育指数の推移



第6図 出芽期から出穂期までの発育指数の推移

3. ま と め

あきたこまちの折衷直播栽培試験データを使用し、播種期から出穂期に至る発育と気温の関係を DVI の概念に基づく発育予測モデルにより明らかにした。播種期から出芽期までの有効気温は6.5℃であり、有効積算気温は135℃であった。有効積算気温型発育モデルから計算した推定出芽期及び推定出穂期は実測値とよく一致し、発育モデルによる出芽期あるいは出穂期の推定が可能であった。また、発育モデルを使用し、発育期間中の気温を変数として DVR、DVI を計算することにより発育過程のモニタリングやシミュレーションができる。したがって、これらの発育モデルは折衷直播の作期策定や気象条件を考慮した折衷直播栽培導入可能地帯の策定などに活用できると考えられた。

引用及び参考文献

- 1) 川方俊和・岡田益巳 1989. 発育指数を用いた水稻の幼穂形成始期と出穂期の推定. 農業気象 45(3):137—142。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 宮川英雄・児玉 徹・矢島正晴 1991. 良質米生産のための水稻の生育診断と予測技術. 第1報 発育指数による水稻の発育ステージ予測. 東北農業研究 44:33—34。
- 5) 秋田農試試験研究概要 1992, 1993, 1994。