

# 神奈川県における水稲の生育特性に関する研究(第3報)

## — 発育指数による幼穂形成期・出穂期の推定\* —

大嶋 保夫

### Studies on Growth Characteristics of Paddy Rice Cultivated in Kanagawa Prefecture (No.3) — Estimating a Initial Stage of Panicles Formation and a Heading Date by Using the Developmental Index —

Yasuo OSHIMA

#### 緒 言

水稲の栽培管理を適切かつ計画的に行うためには水稲の発育ステージを的確に把握し、さらにその後の推移を正確に予測する必要がある。たとえば穂肥はその施用時期を誤ると倒伏したりするので、幼穂形成始期あるいは出穂期を推定し、そこから穂肥の施用時期を決めることが望ましい<sup>1)</sup>。

従来から作物の発育を正確に評価する方法の開発と、気象要因からその後の生育ステージの推移を推定する試みがなされ、気温のみを要因とした生育モデル、すなわち積算気温あるいは有効積算気温などの概念を利用した推定法が開発されてきた<sup>2)3)</sup>。さらに近年になり、発育指数DVI (Developmental Index)の概念を導入した気温の要因と日長時間の要因から水稲の発育を表すモデル<sup>4)5)</sup>が発表され、従来のものに比べて推定精度が高まると報告された。

そこで、神奈川県における現在の主要品種であるアキニシキとこれからの主要品種と期待されるキヌヒカリについて、新たなモデルによる幼穂形成始期および出穂期の推定方法について検討した。さらにメッシュ気候値を活用することにより、幼穂形成始期と出穂期のメッシュ分布図を作成し、それらの県内地域較差について明らか

にしたので報告する。

なお本研究は、著者が農水省農業環境技術研究所気象科気象生態研究室において依頼研究員として行なったものであり、矢島正晴室長には研究手法など懇切丁寧な御指導を頂き、また川方俊和研究員にはコンピュータの利用法などについて御助言を頂いた。また依頼研究員であった長崎県総合農林試験場の船場 貢氏の御協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

#### 1. 発育モデルとその計算法

堀江らは水稲の発育段階を出芽時に0、出穂時に1となる連続変数の発育指数 (Developmental Index, DVI) で表した。そして出芽後  $n$  日目のDVIは、その日までの毎日の発育速度 (Developmental Rate, DVR) を積分して、次のように与えられる概念を提案した。

$$DVI = \sum_{i=1}^n DVR_i$$

さらに1日当たりの発育速度DVRと日平均気温T、日長(日照)時間Lとの関係は次式でよく表すことができると報告している<sup>4)5)</sup>。

$$DVR = \frac{1}{G} \cdot \frac{1 - \exp \{B(L - L_c)\}}{1 + \exp \{-A(T - T_h)\}}$$

ここでGは対象とする品種の出穂までの最少日数、Lcは発育の限界日長、Thは発育速度が最大値の1/2にな

\*本報告の一部は平成2年度日本作物学会関東支部大会において発表した。

るときの温度、そしてAとBはパラメータである。またこの式において日長の影響を与える分子は、DVIが日長感応発育ステージに至るまでを1とし、かつ $L \geq L_c$ のときには $DVR=0$ としている。

ここでは堀江らのモデルを用いて、稚苗の移植期にDVIを0、幼穂形成始期または出穂期にDVIを1とする水稻の発育モデルについて検討した。なお移植期から始まるモデルのために、ここでは日長感応発育ステージについて考慮しなかった。

パラメータを算出するために使用した気温のデータは、所内で測定(AMEDAS)した24時間平均の日平均気温を用いた。温度の範囲は、概ね15~30°Cであった。一方、日長時間としては、太陽が水平線から現れて没するまでの時間である可照時間を使用し、可照時間は緯度から算出した。したがって日長時間の範囲は、夏至の14.4時間から9月上旬の約12.7時間であった。

パラメータの値は農業環境技術研究所気象生態研究室のパソコン解析プログラム「SIMPLE 7」を使用して、シンプレックス法<sup>9)</sup>により推定した。

神奈川県における発育ステージのメッシュ分布図は、気象庁のメッシュ気候値を発育モデルに代入して、各メッシュのDVIが1になる日を算出して、それを作図した。

## 2. 生育データ

パラメータの算出には、平塚市寺田繩の所内水田で行なった作期移動試験から得た水稻の生育データを使用した。アキニシキについては、1983年~1991年の9カ年にわたり調査を実施した。播種後20日で本葉が約2.2葉になった苗を5月中旬~6月下旬に移植し、出穂期については30データ、幼穂形成始期は26データを得た。一方キヌヒカリについては、1984年と1988~1991年に調査を行なった。4月下旬~6月下旬に移植し、出穂期については17データ、幼穂形成始期は11データを得た。なお幼穂形成始期は生育良好な茎の幼穂長が1mmになった日とし、出穂期は全穂数の約50%が出穂した日とした(第1表)。

## 3. 結果

シンプレックス法により求めたそれぞれの生育モデルにおけるパラメータの値を第2表に示した。アキニシキの出穂期モデルの場合、基本栄養生長性を表す移植から出穂までの最小日数は約33日、限界日長は約15.0時間、そして発育速度が最大値の1/2になるときの気温は約17.8°Cと推定された。

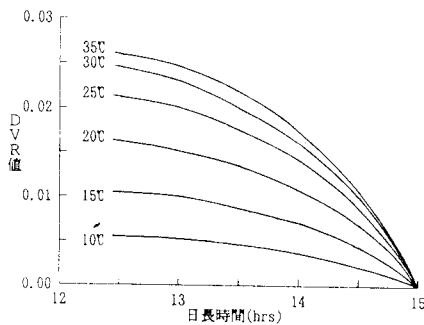
第1表 生育モデルのパラメータを推定するために用いた生育データ

調査年	品種	移植期	幼穂形成始期	出穂期
1983	アキニシキ	6/7	8/1(55)	8/24(78)
		6/27	8/12(46)	9/3(68)
1984	アキニシキ	6/7	7/30(53)	8/21(75)
		6/18	8/6(49)	8/26(69)
1985	アキニシキ	6/27	8/10(44)	8/31(65)
		6/7	-	8/13(67)
	キヌヒカリ	6/7	-	8/13(67)
		6/18	8/2(56)	8/24(78)
1986	アキニシキ	6/18	8/6(49)	8/28(71)
		6/27	8/9(43)	8/31(65)
		6/6	8/1(56)	8/25(80)
1987	アキニシキ	6/17	8/5(49)	8/28(72)
		6/26	8/9(44)	9/1(67)
		6/6	7/31(55)	8/23(78)
1988	アキニシキ	6/16	8/5(50)	8/28(73)
		6/26	8/9(44)	9/1(67)
		6/7	8/3(57)	8/26(80)
		6/17	8/8(52)	8/29(73)
1989	アキニシキ	6/28	8/11(44)	9/1(65)
		6/7	-	8/18(72)
	キヌヒカリ	5/27	7/26(60)	8/20(85)
		6/6	7/31(55)	8/23(78)
		6/16	8/5(50)	8/27(72)
		6/27	8/13(47)	9/3(68)
1990	アキニシキ	6/6	7/26(50)	8/18(73)
		6/16	7/30(44)	8/22(67)
	キヌヒカリ	6/27	8/6(40)	8/29(63)
		5/28	-	8/16(80)
		6/7	-	8/21(75)
		6/18	-	8/24(67)
1991	アキニシキ	6/27	-	8/29(63)
		5/28	-	8/23(57)
	キヌヒカリ	5/17	7/18(62)	8/10(85)
		5/28	7/23(57)	8/16(80)
		6/7	7/28(51)	8/21(75)
		6/18	8/3(46)	8/25(68)
アキニシキ	6/27	8/6(40)	8/29(63)	
	4/26	6/26(61)	7/21(86)	
	5/8	7/1(54)	7/27(80)	
	5/17	7/10(54)	8/1(76)	
キヌヒカリ	5/28	7/16(49)	8/7(71)	
	6/7	7/22(45)	8/13(67)	
	6/18	7/28(40)	8/21(64)	
	6/27	8/1(35)	8/25(59)	

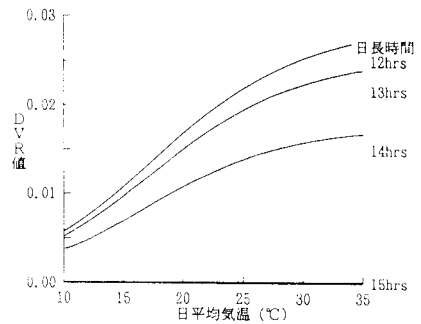
注) ( )内の数字は移植期からの日数

第2表 アキニシキおよびキヌヒカリにおいて推定された生育モデルのパラメータ値

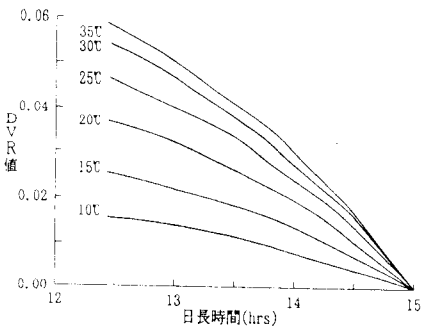
品 種	生育ステージ	A	Lc (hrs)	B	Th (°C)	G (days)
アキニシキ	幼穂形成始期	0.3769	15.02	0.1441	17.69	9.70
”	出穂期	0.8894	15.00	0.1721	17.80	32.62
キヌヒカリ	出穂期	1.0394	15.25	0.1404	21.98	27.45



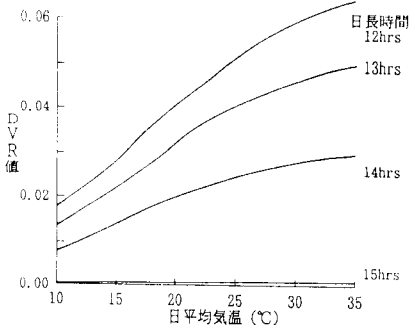
第1図 アキニシキの出穂期におけるDVR関数値と日長時間の関係



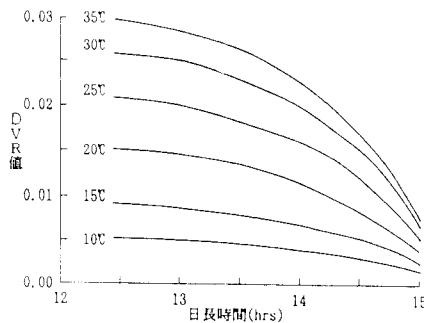
第2図 アキニシキの出穂期におけるDVR関数値と日平均気温の関係



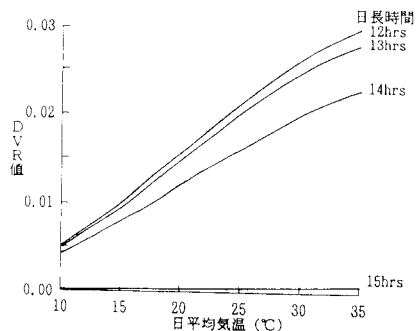
第3図 アキニシキの幼穂形成始期におけるDVR関数値と日長時間の関係



第4図 アキニシキの幼穂形成始期におけるDVR関数値と日平均気温の関係

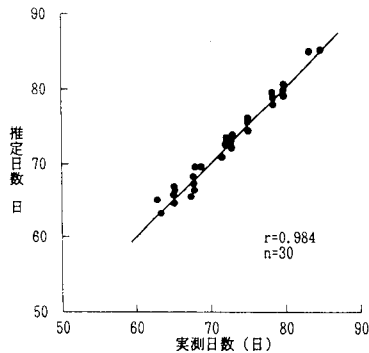


第5図 キヌヒカリの出穂期におけるDVR関数値と日長時間の関係

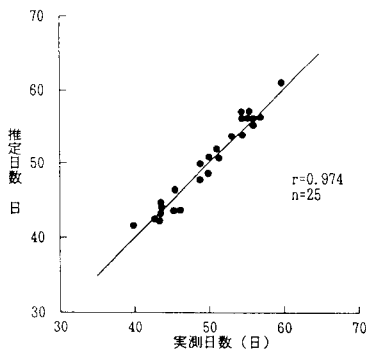


第6図 キヌヒカリの出穂期におけるDVR関数値と日平均気温の関係

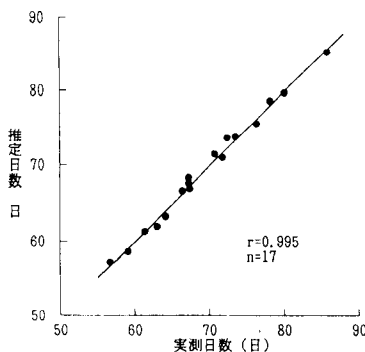
このパラメータの値における気温および日長と一日当たりの发育速度DVRの関係を、第1図から第6図に示した。そこでアキニシキとキヌヒカリの品種間差をみると、アキニシキの出穂期および幼穂形成始期における



第7図 アキニシキにおける移植期から出穂期までの推定日数と実測日数の関係



第8図 アキニシキにおける移植期から幼穂形成始期までの推定日数と実測日数の関係



第9図 キヌヒカリにおける移植期から出穂期までの推定日数と実測日数の関係

DVR関数値は、日長時間が長くなると小さくなり、短くなると大きくなる傾向が顕著に認められ、その程度は幼穂形成始期で著しかった。一方、気温との関係を見ると、キヌヒカリの出穂期におけるDVR関数値は、高温条件になるとアキニシキより大きな値になっていた。

得られた生育モデルの式から算出した推定日数と実測日数の関係を、第7図から第9図に示した。アキニシキの場合、移植期から出穂期までの推定日数と実測日数の標準誤差は1.3日、最大誤差は1.9日であり、相関係数 $r=0.984$ の精度で、よく適合していることが明らかになった。移植期から幼穂形成始期までの日数についてみると、標準誤差は1.8日、最大誤差は3.5日、相関係数 $r=0.974$ であり、出穂期の場合より適合は僅かに劣った。一方キヌヒカリの場合、移植期から出穂期までの推定日数と実測日数の標準誤差は1.1日、最大誤差は1.8日であり、相関係数 $r=0.995$ の精度で、よく適合していた。なお幼穂形成始期のモデルに関するパラメータの推定は、生育データが少なかったので実施しなかった。

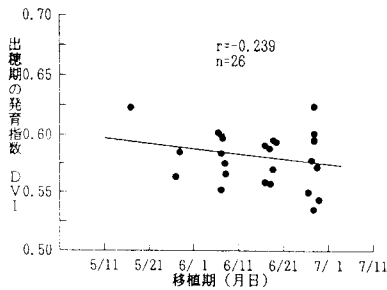
そこで出穂期モデルにより幼穂形成始期を推定するため、幼穂形成始期と出穂期の发育指数DVIの関係を検討した。その結果、アキニシキの幼穂形成始期は出穂期のDVIとして0.54~0.60であった(第10図)。一方キヌヒカリの場合、幼穂形成始期は出穂期のDVIとしては0.54~0.65にあたり、移植時期が早いとDVIは大きくなる負の相関関係が認められた(第11図)。

平年の気象条件において、県内一斉に移植した場合の幼穂形成始期と出穂期の県内分布図を作成した。それによるとアキニシキを6月上旬に移植したと仮定すると、湘南・足柄・横須賀三浦地域においては同じ日に幼穂形成始期および出穂期となり、県央・川崎地域では1日遅れ、津久井地域あるいは丹沢山麓地域ではさらに1~2日遅れていた。6月下旬に移植した場合、幼穂形成始期の地域差は縮まるが、出穂期は足柄地域や横須賀三浦地域が湘南・県央地域より1日早かった(第12図)。

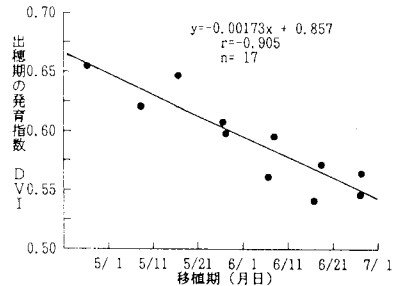
次にキヌヒカリの出穂期をみると、アキニシキのそれよりも県内の地域差が大きかった。すなわち足柄地域、湘南・横須賀三浦地域、県央の厚木・相模原地域、県央愛川地域および津久井地域・丹沢山麓地域の順に、出穂期が1日ずつ遅くなることが認められた。

#### 4. 考 察

得られた生育モデルの推定精度について、実測日数と推定日数の残差2乗和を自由度で割った値の平方根であ



第10図 アキニシキにおける幼穂形成始期と出穂期の発育指数 (DVI) の関係



第11図 キヌヒカリにおける幼穂形成始期と出穂期の発育指数 (DVI) の関係

標準誤差により検討する方法がある。この方法で比較すると、今回得られたアキニシキにおける出穂期モデルの標準誤差1.3日は、堀江ら<sup>5)</sup>の日本晴における標準誤差3.6日に比べて、かなり小さい。出穂期の測定誤差が1日あることを考慮すると、本研究で得られた推定値の精度はかなり高いといえる。その理由としては、堀江らはかなり広範にわたる移植時期のデータを用いているのに比べ、ここでは実際に栽培されている比較的狭い移植時期のデータを使ったためと考えられる。したがってモデルのパラメータの意味する内容、すなわち出穂までの最小日数や発育限界日長などの数値は、参考程度にみるべきであろう。しかしながら扱ったデータの移植時期の範囲においては、この生育モデルによりかなり正確に出穂期を推定することができるので、逐次予測をする場合などに利用が可能である。なお、ここではDVIの積算を移植期から始めていることも、標準誤差を小さくした理由ではないかと考えられる。

一方、アキニシキにおける幼穂形成始期モデルの標準誤差は1.8日であり、出穂期のそれより推定精度が劣っていた。幼穂形成始期の測定は難しく、測定誤差として2日程度が見込まれる。したがってこの標準誤差の拡大はモデルに原因があるとするよりも、むしろ測定誤差に起因しているほうが大きいのではないかと考えられる。

キヌヒカリにおける出穂期モデルのパラメータの推定にあたっては、用いたデータが少なく、かつ移植時期がやや偏っている傾向がみられる。しかしながら標準誤差は1.1日と推定精度がかなり高かったので、さらに精度の検証をすることにより、このモデルによるキヌヒカリの出穂期を推定することが可能であると思われる。

幼穂形成始期と出穂期の発育指数DVIの関係を見る

と、キヌヒカリでは一定の関係が認められた。したがってキヌヒカリの場合には、移植期を考慮することにより、幼穂形成始期は出穂期モデルを使って推定することができる。一方、アキニシキの場合、幼穂形成始期は出穂期のDVIが0.54～0.60の範囲である。DVIの0.06は2～3日にあたるので、その分推定精度がやや劣ると考えられる。次に出穂期モデルにおけるDVR関数値をみると、アキニシキはキヌヒカリに比べて日長時間の長短に影響されやすかった。一方、気温との関係を見ると、キヌヒカリは高温条件でDVR関数値が高かった。このことはアキニシキは感光性が強く、日長時間が短くなると急速に発育ステージが進むことを示しており、キヌヒカリは感温性が強く、高温が続くと急速に出穂が早まることを意味している。

この生育モデルにおいては、水温などの要素は考慮されていない。そのため灌漑水の冷たい山間谷津田あるいは河川上流地域の水田では、幼穂形成始期あるいは出穂期が推定値より遅れると予想される<sup>7)</sup>。したがってそれらの水田を除けば、ここで作成した幼穂形成始期あるいは出穂期のメッシュ分布図は、県内の地域差をかなり反映しているものと考えられる。

そこで県内における出穂期の地域差をみると、アキニシキおよびキヌヒカリともに県の南より北に行くほど、出穂の遅れる傾向がみられる。その原因は、北のほうが気温の低い地域が多いこと、また日長時間が若干短いためと考えられる。なお足柄地域の出穂が他よりも早くなっているのは、足柄地域が他の地域より若干高温であるためである。しかし酒匂川上流地域の水田は、灌漑水が冷たいので、地域内における出穂期の分布など、さらに検討する必要がある。一方、キヌヒカリはアキニシキよ

り地域差が大きかった。これはキヌヒカリは感温性が強く、気温の高い地域では生育が早まることに起因していると推察される。このように県内の地域差が明らかになった結果、県内のある地点で測定された水稲生育情報について、県下全域での有効利用が可能になるものと期待される。

### 摘 要

発育指数の概念を用いて、栽培特性の異なる2種類の水稲品種について、出穂期および幼穂形成始期を推定する方法について検討した。

1. 日平均気温と日長時間の関数である堀江らの生育モデルを用いて、平塚で得たデータにより関数のパラメータを求めた。その結果、アキニシキとキヌヒカリの幼穂形成始期および出穂期を高い精度で推定することができた。

2. アキニシキの生育ステージは日長時間が短くなると急速に進み、キヌヒカリは高温条件において出穂が早まることが認められた。

3. 生育モデル式とメッシュ気候値から、アキニシキとキヌヒカリの幼穂形成始期および出穂期について、神奈

川県における分布図を作成した。

4. 出穂期の県内地域差は、アキニシキよりキヌヒカリの方が大きく、移植期が同時でもキヌヒカリの出穂期は、地域により約5日間ほどの差があると認められた。

### 引用文献

- 1) 大嶋保夫 (1986) 関東・東海地域農業の新技术 3, 農業研究センター: 60~63.
- 2) 大嶋保夫・増山幸三 (1986) 神奈川農総研報., 128: 57~66.
- 3) 羽生寿郎・内島一郎 (1962) 農業気象, 18: 109~117.
- 4) 堀江 武・中川博視・吉良智彦 (1986) 日作紀., 55 (別1): 214~215
- 5) 堀江 武・中川博視 (1990) 日作紀., 59 (4): 687~695.
- 6) 川方俊和・岡田益巳 (1989) 農業気象, 45 (3): 137~142
- 7) 姉崎洋生 (1981) 東北大農研報., 32: 81~92.
- 8) 小林和彦 (1981) 農林水産研究センター報告, A17: 51~71

### SUMMARY

Estimating a initial stage of panicle formation and a heading date of two rice plants (Akinishiki and Kinuhikari) by using Developmental Index (DVI) were investigated.

The results obtained were as follows.

(1) On the model for simulating developmental process, as a functions of daily mean air temperature and a day length, parameters was determined from data sets on rice phenology data and the environments obtained in Hiratuka city. It explained effectively initial stage of panicle formation and heading date of Akinishiki and Kinuhikari.

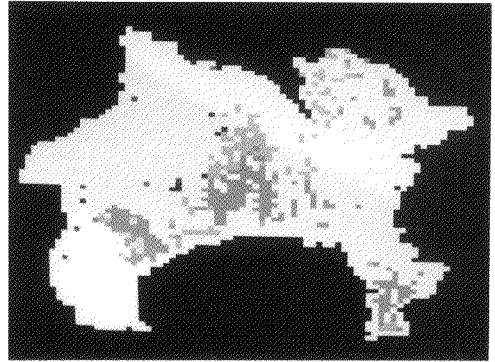
(2) Developmental stages of Akinishiki were made rapid progress by a short day length. And a heading date of Kinuhikari was made rapid progress by the daily mean high sir temperature.

(3) Mesh maps for the prediction of the developmental stages (initial stage of panicle formation and heading date) were constructed by daily mean air temperature and day length in a grid mesh and developmental rate obtained by the analysis, expressing the difference dates of the developmental stages in Kanagawa prefecture.

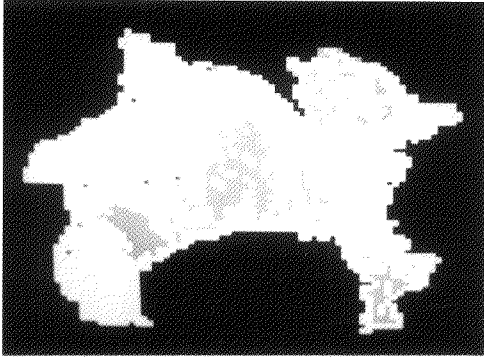
(4) Difference of a heading date in Kanagawa prefecture for Kinuhikari rice was longer than for Akinishiki rice. In case of same time transplanting for Kinuhikari, it was about 5 days.



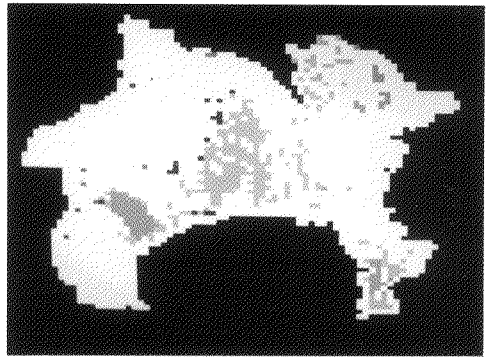
「アキニシキ」幼穂形成始期の分布（6月7日移植）  
黄-7/31 緑-8/1 水色-8/2 青-8/3 紫-8/4  
赤-8/5



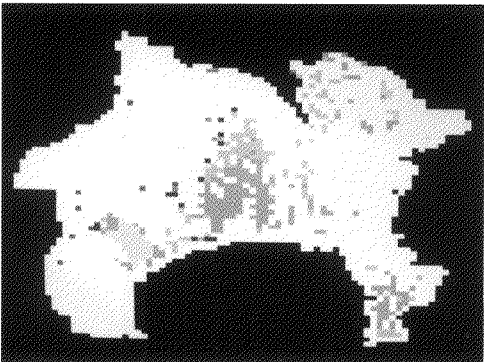
「アキニシキ」出穂期の分布（6月7日移植）  
黄-8/23 緑-8/24 水色-8/25 青-8/26 紫-8/27  
赤-8/28



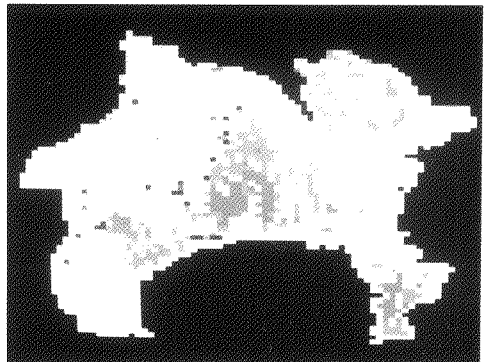
「アキニシキ」幼穂形成始期の分布（6月27日移植）  
緑-8/10 水色-8/11 青-8/12 紫-8/13 赤-8/14



「アキニシキ」出穂期の分布（6月27日移植）  
緑-8/31 水色-9/1 青-9/2 紫-9/3 赤-9/4



「キヌヒカリ」出穂期の分布（5月28日移植）  
黄-8/9 緑-8/10 水色-8/11 青-8/12 紫-8/13  
赤-8/14



「キヌヒカリ」出穂期の分布（6月7日移植）  
黄-8/14 緑-8/15 水色-8/16 青-8/17 紫-8/18  
赤-8/19

第12図 アキニシキおよびキヌヒカリを同時期に移植したと仮定した場合の  
幼穂形成始期・出穂期の県内分布