

# 神奈川県における水稻出穂期の地域差とその変動要因

大嶋保夫

## Regional Differences in the Heading Time of Paddy Rice and the Variant Factors in Kanagawa Prefecture

Yasuo OSHIMA

### 摘 要

神奈川県内における水稻の出穂期の地域差を調査した。

1. 同一条件で育苗した‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’を移植した場合、水口から十分離れて冷い灌漑水による出穂遅延が生じない状態における出穂期の県内地域差は2～3日程度であり、先に気温と日長時間を変動要因として作成した発育モデルから算出した値と概ね一致した。しかし、地域によっては水口から水尻にかけて同一水田内でも10日以上の出穂遅延がみられ、冷水灌漑により出穂期が影響を受けていた。
2. 遮光処理（遮光率95%、7日間）による出穂遅延の程度は処理時期により異なり、出穂前20日までの処理により2～5日の出穂遅延が生じた。
3. 移植後～出穂前46日及び幼穂形成期である出穂前29～12日の期間は冷水灌漑による出穂遅延が生じ、その程度は灌漑水温と外気温との温度差に左右された。
4. ‘キヌヒカリ’を用いた16～20年間にわたる本田での調査から、近年、出穂期が早まる傾向が認められた。出穂期の早晩は移植後から出穂期までの全期間を通しての日平均気温が関与しており、生育期間を通しての高温が要因と考えられた。

キーワード：神奈川県，水稻，出穂期，キヌヒカリ，積算気温，出穂遅延

### Summary

Regional differences in the heading time of paddy rice in Kanagawa prefecture were investigated. When rice seedlings were raised under the same conditions and received no cold water irrigation after transplanting, the regional differences in heading time was within 2 - 3 days. However, if plants received cold water irrigation, the heading time was substantially delayed according to the regions. The shading treatment (about 95%-shade for 7 days) until 20 days before the heading time delayed subsequent heading by 2 -5 days. Cold water irrigation from transplanting to 46 days before heading time and also during the panicle initiation stage (29 - 12 days before heading), delayed the heading. The degree of delay was dependent on the differences between air temperature and water temperature and was more severe at larger temperature differences. Analyses of records over 16 - 20 years of heading time of 'Kinuhikari' indicated that it was gradually hastened. It was influenced by temperatures from the transplanting period to the heading time.

**Key words:** Kanagawa Prefecture, Paddy rice, Heading time, Kinuhikari, Cumulative temperature, Delayed heading

## 緒言

水稻の栽培管理を適切かつ計画的に行うためには、出穂期などの生育過程を的確に把握する必要がある。本研究では県内各地の水田に同一苗を植え付けて出穂期の県内地域差を実測し、筆者が先に気温と日長時間を要因として作成した発育モデル（大嶋 1992）から算出した地域差との比較を行った。さらに、遮光処理と冷水灌漑のモデル試験を行い、それらが出穂期に及ぼす影響を検討し、発育モデルでは説明ができない地域差の生じる要因として灌漑水温の影響が大きいことを認めた。また、本県の主要品種である‘キヌヒカリ’の20年間にわたる出穂期の年次推移と気象要因との関係を検討したので報告する。

### 試験1 県内水田における出穂期の実態調査

県内水田における出穂期を把握するため、所内で育苗した‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’のポット苗を県内主要水稻地帯の水田に移植し、出穂状況を調査した。

#### (1) 試験方法

1994年は5月19日に育苗箱に播種し、奨励品種決定調査に準じて育苗管理した稚苗を6月8日に直径7cmのビニル・ポットにポット当たり4本仮植し、ポット苗とした。県内10地点で植え付け後間もない水田の水口から5m以上離れた場所のイネ株を除去した跡に、6月10～14日（ただし、愛川町中津尾山は6月21

日）にポット苗各5株を移植し、その後は地域の慣行にしたがって管理した。水口の灌漑水温とポット苗を移植した地点の田面水温は8月12日、19日に赤液棒状温度計で調査した。

1995年は酒匂川水系を中心に、7地点で前年と同様に調査した。5月19日に播種し、6月8日にビニル・ポットに仮植し、6月13～15日にかけて水口から10m以上離れた水田中央部に移植した。なお、その他は前年に準じて実施し、水口の灌漑水温と出穂調査地点の田面水温は移植直後の6月13日及び8月14日、16日に調査した。

#### (2) 結果及び考察

1994年に実施した調査結果を表1に示した。平塚市寺田縄、平塚市大神、海老名市上郷、厚木市中依知、愛川町中津尾山、相模原市城山町葉山島の水田では、水口部と水田中央部の慣行栽培における出穂期の差はみられなかった。しかし、酒匂川水系の開成町吉田島、南足柄市竹松の水田では水口部の出穂が水田中央部より10日以上、秦野市三廻部では3～4日、伊勢原市上平間では2～3日遅い傾向が認められた。

ポット苗を移植した‘キヌヒカリ’の平塚市寺田縄の所内水田における出穂期は8月10日であったが、相模川水系の伊勢原市上平間、平塚市大神、厚木市中依知は1日後、海老名市上郷、城山町葉山島は2日後、愛川町中津尾山、酒匂川水系の南足柄市竹松では3日後、開成町吉田島は10日後、山間谷津田の秦野市三廻部は4日後であった（表1、図1）。また、‘アキニ

表1 出穂期の地域差調査水田の状況（1994年）

No.	調査地点	移植日 (月/日)	キヌヒカリ <sup>z</sup> 出穂期 (月/日)	アキニシキ <sup>z</sup> 出穂期 (月/日)	灌漑 水温 (°C)	田面 水温 (°C)	測定 時刻 (時)	水口部の 出穂遅延 <sup>y</sup> (日)	水口から の距離 <sup>y</sup> (m)
1	平塚市寺田縄	6/14	8/10	8/17	29.0	30.5	16	無	10<
2	伊勢原市上平間	6/13	8/11	8/21	26.5	27.5	12	2～3日	5
3	平塚市大神	6/10	8/11	8/19	30.0	30.0	15	無	10<
4	海老名市上郷	6/14	8/12	8/19	27.5	28.5	14	無	10
5	厚木市中依知	6/14	8/11	8/18	29.0	30.5	13	無	10<
6	愛川町中津尾山	6/21	8/13	8/21	26.5	30.0	11	無	10<
7	城山町葉山島	6/14	8/12	8/19	28.5	29.0	12	無	10<
8	秦野市三廻部	6/13	8/14	8/22	22.8	24.5	13	3～4日	8
9	開成町吉田島	6/13	8/20	8/28	21.4	22.2	12	約10日	8
10	南足柄市竹松	6/14	8/13	8/21	24.2	26.0	12	約10日	10<

注) z: ポット移植苗, y: 慣行栽培, 灌漑水温は水口, 田面水温はポット移植苗の出穂期調査地点で晴天日の8/12, 19に測定（ただし、秦野市三廻部は8/19）

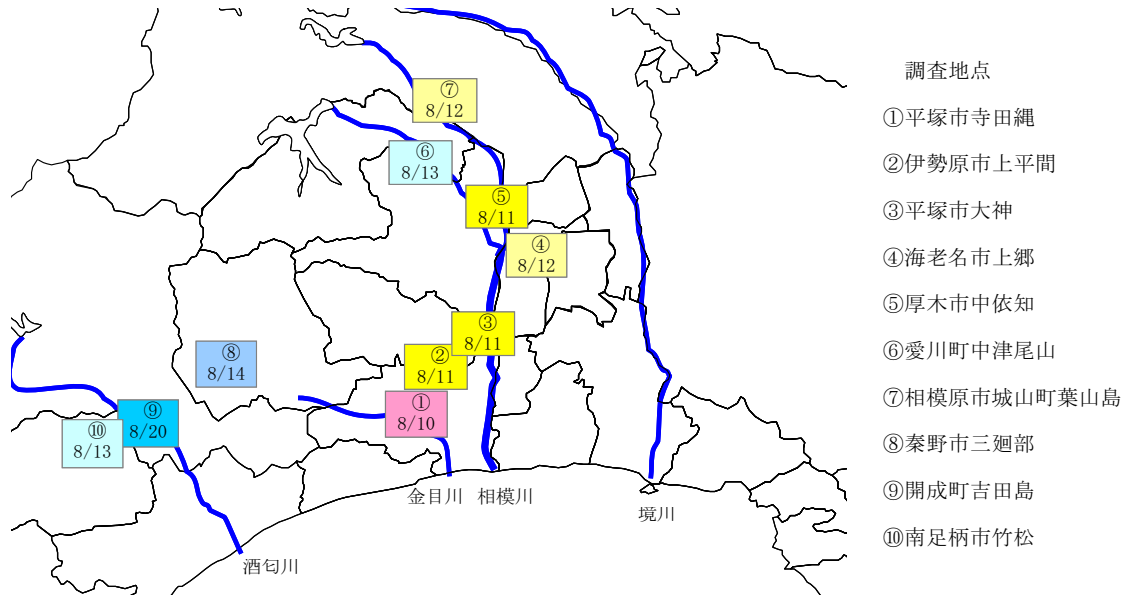


図1 ‘キヌヒカリ’の出穂期分布(1994年)

表2 出穂期の地域差調査水田の状況(1995年)

No.	調査地点	キヌヒカリ <sup>z</sup> 出穂期 (月/日)	アキニシ <sup>z</sup> 出穂期 (月/日)	6/13(曇)			8/16(快晴)			水口部の 出穂遅延 <sup>y</sup> (日)	水口から の距離 <sup>y</sup> (m)
				灌漑 水温 (°C)	田面 水温 (°C)	測定 時刻 (時)	灌漑 水温 (°C)	田面 水温 (°C)	測定 時刻 (時)		
1	平塚市寺田縄	8/15	8/23				30.0	31.0	13 <sup>w</sup>	無	30
2	伊勢原市上平間	8/16	8/23					32.0	16 <sup>w</sup>	無	40
3	小田原市中曾根	8/15	8/23-24	18.5	19.2	15	27.0	28.0	12 <sup>w</sup>	無	10
4	小田原市曾比	8/17	8/24	18.0	19.0	14	29.0	31.0	15	無	10
5	大井町西大井	8/17	8/24	18.8	22.5	14 <sup>x</sup>	26.5	28.0	12	7日以上	15
6	開成町吉田島	8/16-17	8/24-25	15.5	20.0	12	24.0	29.0	12	7日以上	35
7	山北町向原	8/17	8/24-25	18.0	19.0	11	26.0	31.0	11	7日以上	15

注) z: ポット移植苗, y: 慣行栽培, x: 6/14(曇)測定, w: 8/14(晴)測定.

灌漑水温は水口, 田面水温はポット移植苗の出穂期調査地点で測定.

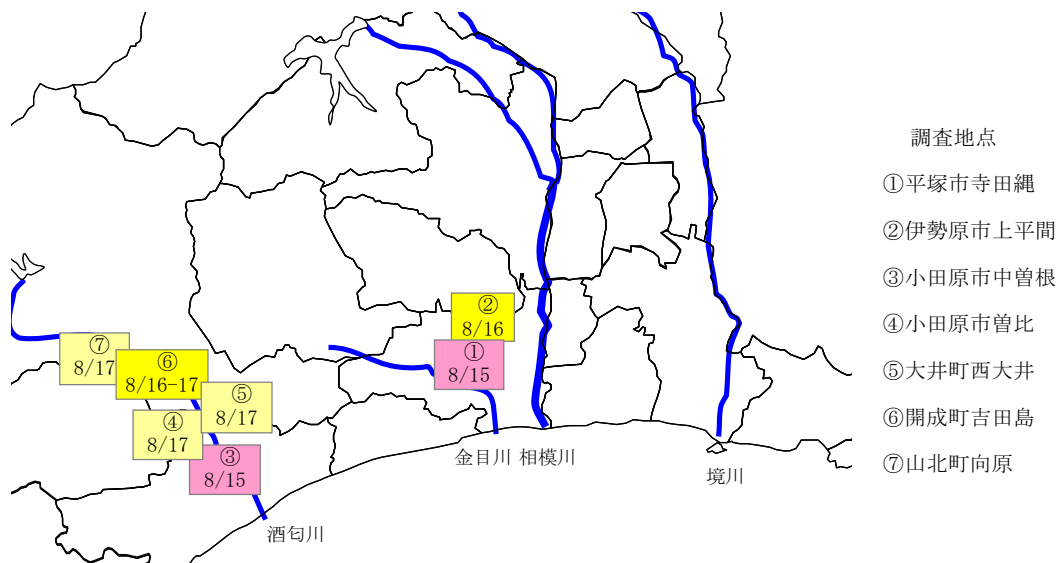


図2 ‘キヌヒカリ’の出穂期分布(1995年)

シキ’の平塚市寺田縄における出穂期は8月17日であったが、相模川水系の厚木市中依知は1日後、平塚市大神、海老名市上郷、城山町葉山島は2日後、伊勢原市上平間、愛川町中津尾山、酒匂川水系の南足柄市竹松は4日後、開成町吉田島では11日後、山間谷津田の秦野市三廻部は5日後であった(表1)。

晴天日に2回測定した日中の水口灌漑水温は、平塚市寺田縄、平塚市大神、厚木市中依知、城山町葉山島、海老名市上郷では27.5～30℃であったが、伊勢原市上平間、愛川町中津尾山は26.5℃、南足柄市竹松は24℃、開成町吉田島、秦野市三廻部は21～22℃と低かった。次に、出穂調査地点の田面水温をみると、平塚市寺田縄などでは30℃程度であったが、開成町吉田島、秦野市三廻部及び南足柄市竹松ではかなり低い傾向がみられた(表1)。

本試験では、所内水田において移植したポット苗と慣行の稚苗移植苗の出穂期が同時であったため、苗質や移植方法の違いによる出穂期への影響は無いものと考えられる。また開成町吉田島、秦野市三廻部及び伊勢原市上平間の‘アキニシキ’の出穂が、図1において隣接する調査地点より明らかに遅いのは、出穂調査地点が水口に近いため、低温灌漑水の影響によるものと推察された。なお、愛川町中津尾山は所内で他地域より7日以上長く育苗したため、出穂迄の日数が若干短縮されたと考えられる。

1995年の調査結果を表2に示した。酒匂川下流域に当たる小田原市中曾根における‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’のポット苗の出穂期は平塚市寺田縄とほぼ同時期であった。上流域に当たる大井町西大井、小田原市曾比、開成町吉田島、山北町向原における出穂期は平塚市寺田縄より1～2日程度遅れた(図2)。

なお、水口灌漑水温は下流域に比べて開成町吉田島、山北町向原で低い傾向が認められたが、出穂調査地点の田面水温は移植期の6月中旬、出穂期の8月中旬ともに地域差はほとんど無かった(表2)。

神奈川県主要品種の‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’を用い、同一条件で育苗した苗を移植した高温年の1994年、低温年の1995年と気象条件が異なる2か年の調査から、出穂期の県内地域差は2～3日程度と考えられた。これらは、筆者が先に気温と日長を変動

要因として作成した発育モデルから算出した値と概ね一致した(大嶋1992)。しかし、開成町吉田島や山間谷津田の秦野市三廻部では低水温の灌漑水によるものと考えられる水口から水尻にかけて出穂期が10日も差がある地域が認められた。したがって、発育モデルを適用する場合には、灌漑水温を考慮する必要がある。

## 試験2 遮光処理による出穂期の変動調査

遮光処理が出穂期に及ぼす影響を明らかにするため、水稲の初期生育における遮光処理が出穂期に及ぼす影響を調査した。

### (1) 試験方法

遮光は所内の野外に設置した面積1m<sup>2</sup>、高さ1.5m木枠の上から黒寒冷紗で覆った遮光率約95%の枠内に、ポット植の水稲を配置して処理した。

1993年は‘キヌヒカリ’を5月17日に通常の育苗箱に播種、慣行法で育苗管理し、6月8日に1/2000aワグネルポットに3株移植し、野外で栽培した。遮光処理は1回の処理期間を7日間とし、6月21日から8月16日まで8回行い、各2ポットを供試した。

1994年は‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’の2品種を供試した。前年同様5月18日に播種し、6月8日に1/2000aワグネルポットに各2株移植した。遮光処理は1回の処理期間を7日間とし、6月28日から8月30日まで9回行い、各4ポットを供試した。

### (2) 結果及び考察

1993年の気象は、7月上旬から8月中旬まで低温寡照で経過し、特に7月4～5半旬及び8月1～2半旬の平均気温は平年より約4℃低く、無処理区の‘キヌヒカリ’の出穂期は平年より7日間遅い、8月22日であった。1994年は、7月上旬から9月2半旬まで、8月5半旬を除くと平均気温は平年より2℃以上高く経過し、特に8月1～2半旬は平年より3～4℃高かった。そのため、無処理区の‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’の出穂期は平年より4～5日早まり、‘キヌヒカリ’は8月12日、‘アキニシキ’は8月18日であった(図3)。

出穂期を基準にした遮光処理開始時期と出穂遅延日数の関係を図4に示した。栄養成長期間である幼穂形成期までの遮光処理による出穂遅延程度は大きい、

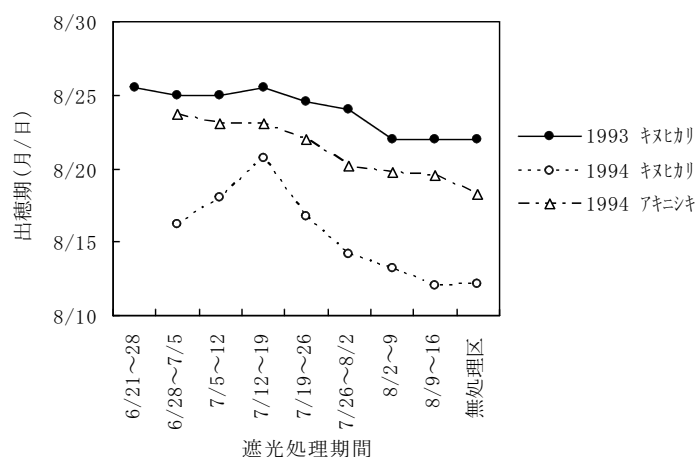


図3 遮光処理時期と出穂期の関係 (1993～1994年)

移植期：6月8日，95%遮光処理の期間：7日間

幼穂形成期以降の遮光処理では出穂遅延程度は小さかった。

水稻の生育を決める主な気候的要素は日長と気温であり，出穂期は基本栄養成長性の大きさと感光性の強さによって決まる(横尾 1990)。遮光処理に関しては，生育初期の遮光によって生育が停滞して遅播きの生育になり，出穂期が遅延する(中野 2000)，出穂前の遮光処理による出穂遅延も認められる(小谷・松村ら 2006)との報告がある。したがって，本試験での遮光処理(遮光率 95%)では，著しい日照不足により生育が停滞し，出穂が遅延したと考えられる。遮光枠内の気温等の微気象あるいは稲体の生理状態に及ぼす影響等については，さらに詳細を検討する必要がある。なお，2か年の遮光試験ではあるが，1993年の出穂遅延程度が小さかった。原因としては，1993年は初期生育期が低温寡照で，1994年と比べて7月から8月上旬の平均気温は5.5℃低く，日照時間は35%，日射量は56%であるため，同じ95%遮光処理でも出穂遅延に及ぼす影響が小さくなったと考えられる。

### 試験3 冷水処理による出穂期の変動調査

冷水処理が出穂期に及ぼす影響を明らかにするため，水稻の初期生育における冷水処理が出穂期に及ぼす影響を調査した。

#### (1) 試験方法

所内網室でポット栽培した‘キヌヒカリ’及び‘ア

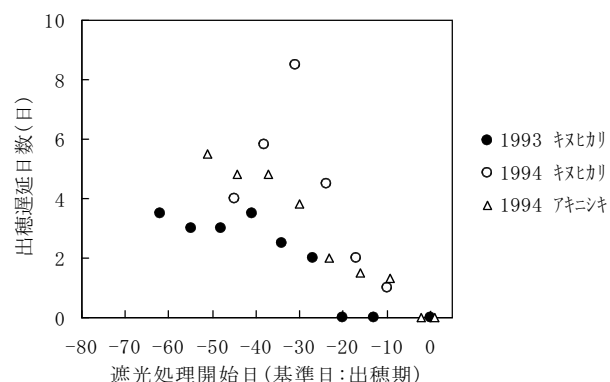


図4 遮光処理開始時期と出穂遅延日数の関係

(1993～1994年)

移植期：6月8日，95%遮光処理の期間：7日間

キニシキ’の2品種を供試し，1995年，1996年の2か年にわたり試験を実施した。冷水処理は，網室内で実施し，水温15℃と20℃の水槽に水稻を植え付けたワグネルポットを設置し，湛水深を5cm程度とした。

1995年は5月19日に播種し，6月8日に各品種3本植した1/5000aワグネルポット並びに各品種ごとに各2株移植した1/2000aワグネルポットを各区3ポット供試した。冷水処理は1回の処理期間を7日間とし，6月8日～7月13日までの6回は1/5000aワグネルポット，7月20日～8月10日までの4回は1/2000aワグネルポットを供試した。

1996年は5月17日に播種し，6月7日に各品種を3本植した1/5000aワグネルポットを各区3ポット供試した。冷水処理は1回の処理期間を7日間とし，6月10日から8月26日まで延べ11回行い，その他は前年に準じた。なお，葉数は主茎を調査し，不完全葉を第1葉とした。

#### (2) 結果及び考察

1995年の気象は6月から7月中旬まで低温，その後は高温で経過し，無処理区の出穂期は‘キヌヒカリ’が8月20日，‘アキニシキ’は平年並の8月23日であった。1996年は7月上旬がやや低温であった以外，生育期間を通してほぼ平年並の気温で経過し，無処理区の出穂期は‘キヌヒカリ’で8月16日，‘アキニシキ’は8月22日であった。

2か年の冷水処理時期別出穂期の調査結果を図5，6

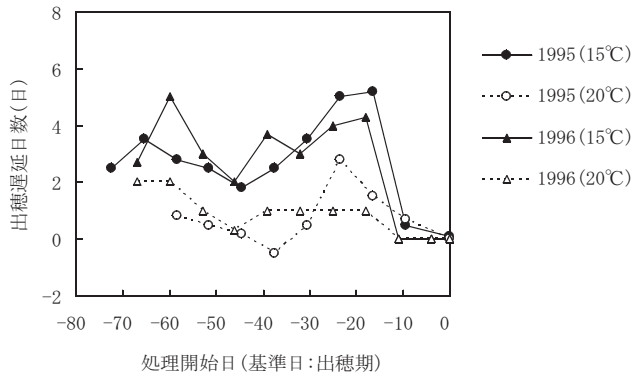


図5 ‘キノヒカリ’における冷水処理開始時期と出穂遅延日数の関係

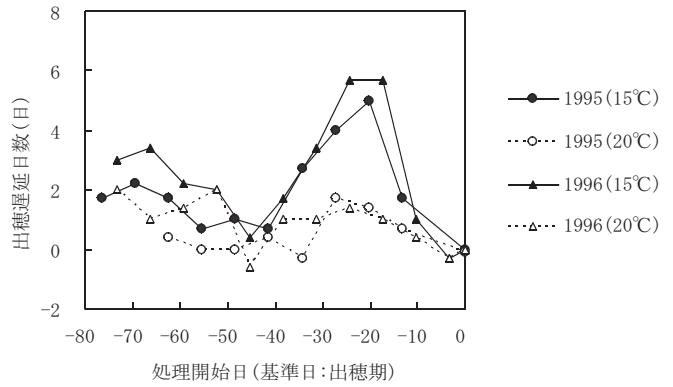


図6 ‘アキニシキ’における冷水処理開始時期と出穂遅延日数の関係

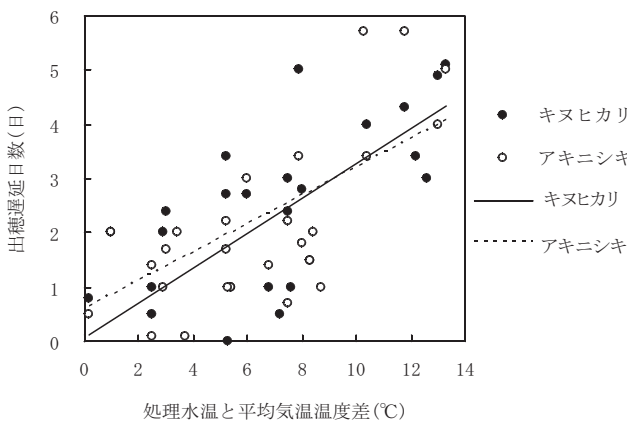


図7 水温と気温の温度差と出穂遅延日数の関係

キノヒカリ  $n=24$ ,  $r^2=0.434$  (出穂前 47 ~ 31 日及び出穂前 11 日以降からの処理は除く)  
 アキニシキ  $n=26$ ,  $r^2=0.434$  (出穂前 45 ~ 27 日及び出穂前 13 日以降からの処理は除く)

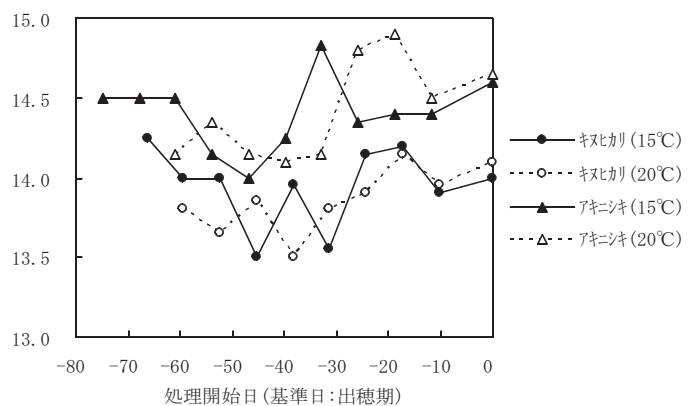


図8 冷水処理時期と出穂数の関係

葉数：不完全葉を第1葉

に示した。冷水処理開始時期と無処理区の出穂期を基準とした出穂遅延日数の関係は、両品種とも2か年ほぼ同様な傾向が認められた。活着期から出穂前14日頃までの7日間の冷水処理、特に15℃条件により出穂が遅延した。出穂遅延程度は、幼穂分化期～花粉母細胞減数分裂期に当たる出穂前30～15日頃の冷水処理が4～6日と最も大きかった。分けつ盛期に当たる出穂前50～30日頃の処理は1～3日程度と出穂遅延への影響が少なかった。活着期から分けつ期初期に当たる出穂前50日以前の処理は2～4日程度の出穂遅延と影響がやや大きかった。

図7には冷水処理水温と日平均気温の差と出穂遅延

日数の関係を示した。‘キノヒカリ’及び‘アキニシキ’とも出穂遅延の少ない出穂前46～29日及び出穂前14日頃以降からの冷水処理を除くと、冷水処理水温と日平均気温の温度差は出穂遅延日数とに正の相関を示した。このことは、移植後～分けつ盛期前頃及び幼穂分化期以降の花粉母細胞減数分裂期頃の期間は、灌漑用水の低温に起因する出穂遅延が生じ、その程度は灌漑水温と外気温との温度差に依存することを示唆している。なお、出穂前12日以降の冷水処理が出穂期に対して影響が少ないのは、下位節間が伸長し始め、幼穂が水面より上に出てしまうためと考えられる。

次に、2か年を平均した冷水処理と出穂数の関係を

図8に示した。調査個体が少ないためにデータの振れが大きいが、無処理区の主稈出葉は‘キヌヒカリ’で14枚、‘アキニシキ’で14～15枚であった。出穂前45～27日頃の冷水処理により主稈葉数の減少する傾向がみられた。出穂前12日以降の冷水処理を除く全処理時期を対象に、出穂遅延日数を目的変数、冷水温と外気温との温度差と減少主稈葉数を説明変数として重回帰分析を適用した。その結果、‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’の両品種ともに重相関係数は0.7程度であり、冷水温と外気温との温度差が大きいほど出穂遅延は大きくなるが、主稈葉数が減ることにより出穂遅延が小さくなる傾向が認められた。なお、活着期から出穂前12日までの期間における7日間の冷水処理により生じる出穂遅延日数を求めるための重回帰式は、‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’それぞれについては、以下のとおりである。

$$[\text{キヌヒカリ}] y = 0.27 x_1 - 1.24 x_2 + 0.51 \quad (1)$$

データ数  $n = 32$ , 重相関係数  $R = 0.738$ , 決定係数  $R^2 = 0.545$

$$[\text{アキニシキ}] y = 0.27 x_1 - 0.69 x_2 + 0.59 \quad (2)$$

データ数  $n = 34$ , 重相関係数  $R = 0.685$ , 決定係数  $R^2 = 0.470$

$y$  : 出穂遅延日数,  $x_1$  : 灌漑水温と外気温との温度差,  
 $x_2$  : 減少葉数

以上のことから出穂前45～27日頃の低温処理は、主稈葉数が減少するために、出穂遅延があまり生じなかったものと推察される。水稻の低温灌漑・冷害の研究は昔から行われており(寺尾ら1942, 西山1990), 低水温により出穂の遅延は活着の当初から生じ、分けつ初期及び盛期の低水温により主稈葉数が減るとする角田(1964)の報告と一致している。

#### 試験4 ‘キヌヒカリ’における出穂期の年次推移と積算気温の関係

‘キヌヒカリ’における出穂期の年次推移と積算気温の関係を明らかにするため、平塚市寺田縄の所内水田で栽培した‘キヌヒカリ’の出穂期を、5月下旬・6月上・中旬の3作期について調査した。

##### (1) 試験方法

調査期間は5月下旬植(5月26～29日)は1988

～2006年の18年間、6月上旬植(6月6～11日)は1984年及び1988～2006年の20年間、6月中旬植(6月16～19日)は1988～2002年及び2005～2006年の16年間である。移植は20日苗を手植し、栽培管理は奨励品種決定調査基準に準じた。気温データは1995年以降は平塚市上吉沢の当所代表地点のデータ、1994年以前は平塚市寺田縄の観測値を代表地点のデータに換算して用いた。換算方法は、継続して測定している気象庁の海老名観測地点の観測値と平塚市寺田縄及び当所代表地点の測定値との差異を旬別に算出し、それに基づいて行った。

##### (2) 結果及び考察

平塚市寺田縄の当所水田における‘キヌヒカリ’の16～20年間にわたる移植期別の生育・収量調査結果を表3に示した。移植期から出穂期までの日数(出穂日数)は、移植期が遅くなるほど短縮し、その程度は移植期の遅れ1日に対し、出穂期の遅れは1/2日程度であった。調査年度により移植日が多少異なるため、移植期と出穂日数の関係に基づき、移植期を5月下旬植は5月28日、6月上旬植は6月8日及び6月中旬植は6月18日に揃え、移植期別の出穂期を修正した。その結果、いずれの移植期とも出穂期が年々早まる傾向がみられ、その程度は最近の15年間で約4日であった(図9)。

出穂日数と移植期から出穂期までの期間の日平均気温の平均値との関係を見ると、6月上旬植では移植期が遅い1998年と1999年を除くと、出穂期までの日数とその期間の平均温度の間に高い相関が認められ、その程度は平均温度が1℃高まるごとに出穂期は3.7日早まっており、6月中旬植でもほぼ同様な傾向がみられた。一方、5月下旬植では出穂期までの日数が増加し、その期間の平均温度が低い事例が多くなり、相関はやや低下した(図10)。

水稻の生育時期別に出穂期に及ぼす気温の影響を検討するため、積算する時期及び日数を変えた日平均気温積算温度と出穂日数の相関係数を算出した。積算日数が同じ場合、いずれの移植期でも出穂期を基準とした期間の積算温度よりも、一定時期の積算温度のほうが相関は高い傾向がみられた。一方、積算日数との相関をみると、6月上旬植、6月中旬植ともに一定時期

表3 神奈川県における‘キヌヒカリ’の20年間の移植期別生育状況

試験区	調査年数 (n)	移植期 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	玄米重 (kg/a)	出穂まで日数 (日)	登熟期間 (日)
5/下植	18	5/28(0.8)	8/9(3.9)	9/17(5.8)	50.7(6.4)	73.1	39.5
6/上植	20	6/8(1.3)	8/14(3.3)	9/23(5.2)	51.2(4.0)	67.2	40.4
6/中植	16	6/18(0.9)	8/20(3.2)	10/3(5.3)	45.4(7.7)	62.9	44.4

注) 調査地点：平塚市寺田縄（当所水田），稚苗移植栽培，（）内数字は標準偏差

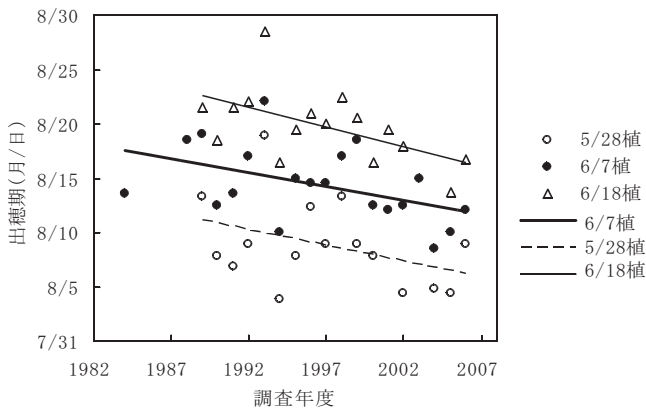


図9 ‘キヌヒカリ’における出穂期の年次推移と年次間の相関関係

調査場所：平塚市寺田縄（所内水田），栽培法：稚苗移植栽培  
移植期：5月28日，6月8日，6月18日，

5月28日植：n=18, r=0.396, y=-0.29x+A (x：調査年度, y：出穂日, A：定数)

6月8日植：n=20, r=0.453, y=-0.25x+A, 6月18日植：n=16, r=0.551, y=-0.36x+A

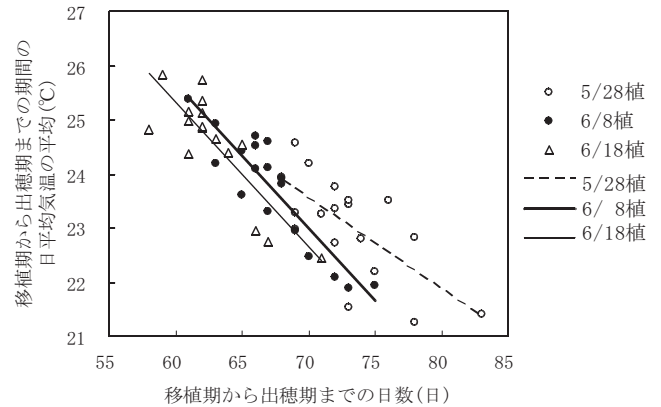


図10 出穂日数と日平均気温の平均温度の関係

5月下旬植；n=18, r=0.699, 6月上旬植；n=18 (1998年は6月10日植, 1999年は6月11日植のため除いた), r=0.904, 6月中旬植；n=16, r=0.844

表4 時期別積算気温と出穂日数の相関係数(r)

積算時期・期間	5月下植	6月上植	6月中植
出穂前40日間	0.73	0.72	0.66
出穂前50日間	0.58	0.82	0.74
出穂前60日間	0.56	0.86	0.80
出穂前65日間	0.56	0.86	0.81
7/1-7/30の30日間	0.80	0.80	0.73
6/21-7/30の40日間	0.76	0.87	0.82
6/21-8/9の50日間	0.80	0.89	0.88
6/11-8/9の60日間	0.77	0.91	0.86
6/6-8/9の65日間	0.80	0.92	0.85
6/6-8/14の70日間	0.81	0.92	0.86

5月下旬植 n=18, 6月上旬植 n=18, 6月中旬植 n=16

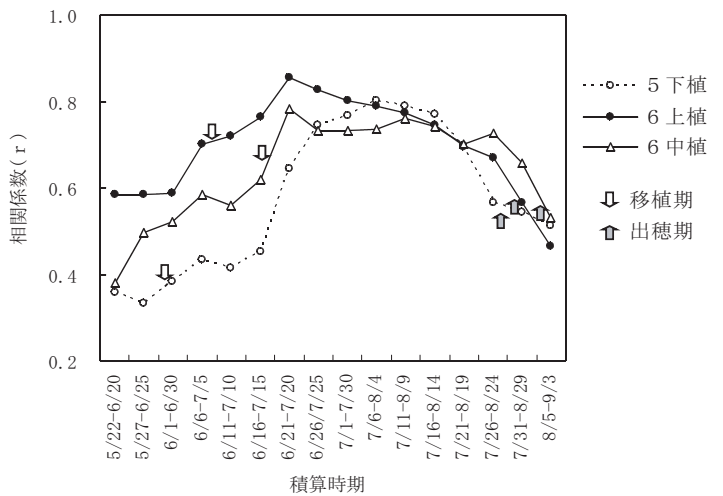


図11 出穂日数と時期別30日間積算温度との間の相関係数の積算時期別変化



で積算期間が長くなるほど相関係数が高まる傾向がみられ、40 日以上の積算温度と出穂日数には、相関係数 0.8 以上の高い相関が認められた (表 4)。

移植期から出穂後まで 5 日間隔に 30 日間の日平均気温積算温度を算出し、出穂日数との相関を検討した。6 月上旬植は移植期の 6 月 6 日からの 30 日間の積算温度より徐々に相関が高くなり、8 月 14 日の出穂期を過ぎると徐々に相関が低くなる傾向がみられ、6 月中旬植もほぼ同様な傾向が認められた。一方、5 月下旬植は移植後から 20 日間は気温と出穂日数との相関が低かったが、6 月 21 日から高くなり、その後は他の移植期同様に、出穂期を過ぎると徐々に低下する傾向がみられた (図 11)。

ある時期の積算温度と出穂日数の相関が高い時期は、その時期の気温が出穂に及ぼす影響の大きい可能性を示唆している。6 月上～中旬植において、移植期から出穂期までの任意の 30 日間の日平均気温積算温度と出穂日数の相関が高かったのは、移植期から出穂期まで全期間の気温が出穂に影響を及ぼしていたと考えられる。このことは、出穂日数が移植後から出穂期までの 50～70 日の日平均気温積算温度と最も相関が高いことから推察される。5 月下旬植では移植直後から 1 か月間の相関係数が低かったため、データを蓄積するなどして、さらに検討する必要がある。水稻の発育現象が気温と日長に主として支配され (横尾 1990)、出穂日数は出葉速度により、出葉速度は積算温度に支配されることが大きい (朝隈 1958)。そのため、主稈葉数と有効積算温度との関係を導入することにより生育期間を推定することができる (江幡 1990)。また、出芽後から出穂期までの発育速度を積算した発育モデルが報告 (堀江・中川 1990, 大嶋 1992) されているが、「出穂期の早晩は移植後から出穂期までの全期間を通しての日平均気温が関与している」という本報告と一致している。16～20 年間にわたる本田の‘キヌヒカリ’の移植別生育調査結果から、近年‘キヌヒカリ’の出穂期が早まる傾向にあり、その要因としては移植後から出穂期までの生育期間を通しての高温が考えられる。

## 総合考察

同一条件で育苗した苗を移植して本県主要水稻栽培地域における出穂期を調査したところ、出穂期は大嶋 (1992) の発育モデルから算出した値と概ね一致した。しかし、酒匂川水系における実測出穂期は、発育モデルでは早い値を示すものの、相模川水系と同等か遅い傾向が認められた。さらに、現地における観察結果から、上流域では水口周辺で大幅な出穂遅延が認められた。これらのことから、水稻の生育を決める主な気候的要素は日長と気温である (横尾 1990) が、遮光処理や冷水灌漑によっても、出穂遅延が生じることが明らかになった。実際、県下の主要品種である‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’を用いて、活着期から出穂前 12 日までの期間における 7 日間の冷水処理により、出穂遅延と主稈葉数が減少することを確認した。さらに灌漑用水取水口付近の河川水温データをみると (神奈川県環境農政部水質保全課 1996)、開成町吉田島地域の用水取水口である酒匂川文明用水放流点や秦野市三廻部地域の用水である四十八瀬川では夏場の日中でも水温は 20℃前後であり、水田水口での水温と同じ傾向を示した。特に、開成町吉田島の調査水田は用水幹線に近いこと、冷水灌漑による出穂遅延が著しかったと考えられる。また、伊勢原市上平間の調査水田における‘アキニシキ’の出穂が遅くなったことは、西部用水の幹線が近かったためと考えられる。

以上のように、本県における同一作期の出穂期は発育モデルにより予測ができ、緯度や高度を考慮すると概ね 2 日程度の差があることを実地調査により明らかにした。しかし、発育モデルでは説明ができない地域もあり、その地域差の生じる要因としては、灌漑水温の影響が大きいことが認められた。特に、用水幹線付近の水田や山間・谷津田等における水口付近の出穂遅延は移植期から出穂前 12 日 (減数分裂期) の低温灌漑により、影響を受けると考えられる。しかし、出穂遅延の程度は灌漑方法や灌漑水量にも左右されるため、低温灌漑水による出穂遅延を回避するには、掛け流し灌漑を止め、畦畔等を整備して漏水防止に努め、灌漑水量を減じることが有効であると考えられる。また、夜間灌水・昼間止め水、昇温パイプ等による水温

上昇も有効である（神奈川県 2001）。6月上旬植の普通期栽培が大半を占める本県において、灌漑水温の低い上流地域ほど移植期が早い傾向にある。このため各地域における実際の移植時期、品種、苗質など栽培条件と出穂期との関係については、別に調査する必要がある。

近年は気象変動が大きく、また地球温暖化が取り沙汰されており、高温登熟条件下では、転流・登熟関連酵素活性の低下、同化産物の呼吸消耗、水分バランス障害、穎花のシンク機能の早期低下などの生理的要因により登熟の進行が妨げられると考えられている（松村 2005）。概ね同一条件下で栽培された、‘キヌヒカリ’を対象とする16～20年間にわたる調査から、出穂期が徐々に早まる傾向が認められ、しかも移植後から出穂期にわたる全期間の気温に影響を受けていることが示唆された。近年、‘キヌヒカリ’は充実不足、白未熟粒などにより玄米品質が低下している（大嶋 2009）要因の一つは、出穂期が8月中旬から高温期の8月上旬に前進することによるものと考えられる。

## 謝 辞

本報告を作成するにあたり、明治大学農学部教授今井勝博士にご校閲の労をとっていただいた。ここに記して感謝の意を表する。

## 引用文献

朝隈純隆. 1958. 水稲の出穂に関する生態的研究. 第2報. 日本稲の基本栄養生育性, 感光性, 感温性に就いて. 日本作物学会紀事. 27 : 61-66

江幡守衛. 1990. 有効積算温度とイネの生長. 第1報. 有効下限温度の実験的算出法とイネの栄養生長への応用. 日本作物学会紀事. 59(2) : 225-232

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及び出穂予測への適用.

日本作物学会紀事. 59(4) : 687-695

神奈川県環境部水質保全課. 1996. 平成6年度神奈川県水質調査年表

神奈川県環境農政部農業振興課. 2001. 農業災害の技術対策マニュアル

小谷俊之・松村洋一・黒田晃. 2006. 出穂前後の遮光処理が水稲品種「ゆめみずほ」の収量及び品質に及ぼす影響. 石川県農業総合研究センター研究報告. 27 : 1-9

松村 修. 2005. 高温登熟による米の品質被害—その背景と対策—. 農業技術. 60. 10 : 437-441

中野尚夫. 2000. 生育初期の遮光が水稲の生育及び収量構成要素に及ぼす影響. 日本作物学会紀事. 69(2) : 182-188

西山岩男. 1990. 冷害の要因と機作. 稲学大成. 第2巻. 生理編. 冷害・高温障害. p.612-617. 農文協. 東京

大嶋保夫. 1992. 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. 神奈川県農業総合研究所研究報告. 134 : 41-47

大嶋保夫. 2009. 玄米品質に及ぼす登熟中期の寡照, 登熟初期の高温及び成熟期の高温乾燥の影響. 神奈川県農業技術センター研究報告. 151 : 39-50

寺尾博・大谷義雄・土井彌太郎・泉清一. 1941. 水稲冷害の生理学的研究 (予報). VIII 挿秧より出穂に至る各期よりの各種低温の幼穂分化・出穂・稔実に及ぼす影響. 日本作物学会紀事. 13 : 317-336

角田公正. 1964. 水温と稲の生育・収量との関係に関する実験的研究. 農業技術研究所報告. A 11 : 75-174

横尾政雄. 1990. 出穂期の早晩と作期. 農業技術体系. 作物編. 第1巻. イネの品種生態と品種選択. p.309-314. 農文協. 東京