

研究論文

気候統一シナリオによる宮崎県の水稲生育予測

竹下伸一・多炭雅博¹⁾・内嶋善兵衛²⁾・岩倉尚哉³⁾・山本泰嗣・平木永二⁴⁾

宮崎大学農学部森林緑地環境科学科¹⁾, お茶の水女子大学名誉教授²⁾,
メテオエム³⁾, 宮崎県総合農業試験場⁴⁾

(2010年12月27日 受理)

Prediction of Rice Growth on Miyazaki Prefecture using Japanese Standard Climate Scenario Provided by the JMA

Shinichi TAKESHITA, Masahiro TASUMI, Zenbei UCHIJIMA, Naoya IWAKURA,
Taishi YAMAMOTO, Eiji HIRAGI

Department of Forest and Environmental Sciences, Faculty of Agriculture, University of Miyazaki¹⁾,
A Professor Emeritus at the Ochanomizu University²⁾, METEOEM³⁾,
Miyazaki Agricultural Research Institute⁴⁾

Summary : This study evaluates the impact of global warming on rice cultivation in Miyazaki prefecture, focusing on the grain damage caused by high temperature during ripening of rice.

Evaluation was made by predicting air temperature after ear emergence for two typical rice cultivars (i.e. *Koshihikari* for early-season cultivation and *Hinohikari* for normal-season cultivation) in Miyazaki. The dates of ear emergence were estimated by employing a dynamic prediction model of rice development, after calibrating the parameters using actual observation data. Air temperature conditions of 50 and 100 years later were predicted by adopting the Japanese Standard Climate Scenario of Japan Meteorological Agency.

The result indicated that ear emergences earlier than present, for about 6 days in early-season cultivation and about 3 days in normal-season cultivation. Also, the air-temperature of ripening periods becomes higher than present, particularly in normal-season cultivation. It was suggested that shifting the transplanting date to later or earlier was an effective for avoiding grain damage caused by high temperature during ripening of rice.

Key words : Dynamic prediction model of rice development, Early-season cultivation, Global warming,
High-temperature stress

緒言

近年、各地で水稲の高温障害の発生が多数報告されている(農業環境技術研究所 2008; 寺島他 2001)。これは登熟期の高温が主な原因とされ(森田 2008; 農林水産省 2008)、宮崎県においても水稲の高温障害の発生は例外ではなく、主力品

種である「ヒノヒカリ」を中心に高温による白未熟粒の発生が報告されている(永吉 2009)。地球温暖化の進行(IPCC 2007)に伴い、高温障害の発生地域の拡大と症状の深刻化が懸念されるため、本県の特徴である早期水稲も含めた水稲栽培への影響をいち早く評価し、対策を講じるための研究

展開が求められている(黒木 2009; 内嶋 2009)。

そこで、本研究では気象庁の「気候統一シナリオ」による約50年後、約100年後の宮崎県域の温暖化予測気温を用いて、将来の気候条件下における早期水稲および普通期水稲の生育予測を行い、登熟期の気温および高温障害対策の一つとされる移植期の変更の効果について検討した。

資料および解析の概要

本研究では、気温と日長に感応して生育状況を予測することができる発育動態予測モデルに、温暖化予測値を入力することによって、将来の出穂日を予測しその結果について検討する。ここでは採用したモデルの概要、検証対象品種、パラメータ同定に使用したデータ、パラメータの同定方法、モデルを用いた予測内容について述べる。

1. モデルの説明

本研究では、将来の気候条件下における水稲の生育状況を予測するために、水稲の発育動態予測モデルを用いる。水稲の発育動態予測モデルは、作物の発育現象が気温もしくは日長と気温に主として支配されているという知見を基に開発され、日々の気温と日長の経過からイネの発育過程を動的に予測するモデルである(堀江・中川 1990)。対象とする発育過程や環境感応性によって数種類のモデルが提案されているが、本研究では対象発育過程を移植日から出穂日までを1相とし、気温と日長を入力値とする次式を採用した(中川・堀江 1995)。

$$DVI = \sum_{i=0}^n DVR_i \quad (1)$$

$$DVR_i = \frac{1}{G} \cdot \frac{1 - \exp\{B(L - L_c)\}}{1 + \exp\{-A(T - T_h)\}} \quad (2)$$

ここでDVI: 発育指数, DVR_i: 起算日(移植日)後*n*日目目の発育速度(day⁻¹), G: ある品種の出穂までの最小日数(day), T: 日平均気温(°C), T_h: ある日長条件下で発育速度が最大値の1/2になる温度(°C), L: 日長(hour), L_c: 限界日長(hour), A: 温度係数, B: 日長係数である。

(2)式における5つのパラメータG, T_h, L_c, A, Bを同定した後、移植日を起算日とした*n*日後の

発育速度(DVR)から発育指数(DVI)を計算し、出穂日(DVI=1)となる日を求める。

2. 検証対象品種

予測を行う水稲品種は、宮崎県における作付け面積が広く、代表的な品種とされる早期コシヒカリ、普通期ヒノヒカリの2品種とした。

3. パラメータ同定に使用したデータ

発育動態予測モデルにはG, T_h, L_c, A, Bの5つのパラメータがある。これらのパラメータを同定するためには、早期コシヒカリおよび普通期ヒノヒカリそれぞれの移植日、出穂日、生育期間中の日々の平均気温および日長のデータが必要となる。

本研究では、宮崎県総合農業試験場作物部より奨励品種決定調査現地試験成績の提供を受け、これに記録されている平成16年から平成20年までの県内各地の移植日、および出穂日を用いた。早期コシヒカリについては日南市、新富町、旧・国富町、旧・南郷村における移植日3月19日から4月4日の幅を持つ20のデータ、普通期ヒノヒカリについては高千穂町、延岡市、都城市、えびの市における移植日5月19日から6月26日の幅をもつ20のデータを用いた。

平均気温については試験地から最も近いアメダスにて記録されている値を、日長は試験地の緯度より求めた値を用いた。

4. パラメータの同定方法

パラメータの同定にはシンプレックス法を用い、各データに対する相対誤差(SE)が最も小さくなるパラメータセットを決定した。精度の判定は、決定したパラメータセットを用いて推定した生育日数と実際の生育日数の相関係数(R)および平均絶対誤差(AE)を用いた。

5. モデルを用いた予測内容

早期コシヒカリおよび普通期ヒノヒカリのそれぞれについてパラメータ同定された水稲の発育動態予測モデルを用いて、任意の移植日から出穂日を予測する。予測は任意地点における日々の日長と、後述する約50年後および約100年後の日平均気温を入力し、出穂日を算出した。さらに予測出

穂日から後20日間の平均気温を算出した。出穂後20日間の平均気温は、高温障害発生と関連性が深いとされている指標の一つであり、気温が24℃以上になると外観品質が低下し(森田他 2002)、さらに27℃以上になると白未熟米の発生率が高まるとされている(稲葉 2007)。

6. 温暖化予測値

本研究の予測に際して入力する日平均気温は、気象庁/気象研究所により提供されている温暖化予測値「気候統一シナリオ」の第2版(JMA 2005)である。これは気候予測モデルであるAOGCM2(Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Models)に、IPCCによって設定されている4つのシナリオ(SRES: Special Report on Emission Scenarios)のうち、A2シナリオに準拠して実施された温暖化予測実験の出力値である。A2シナリオは「多元化社会シナリオ」とよばれ、世界の各地域が固有の文化を重んじ、多様な社会構造や政治構造を構築していくことによって、世界の経済や政治がブロック化していくことを想定している。このため、アジアなど石炭の豊富な地域では石炭依存度が低下せず、温暖化ガス排出も高水準なままとされている(環境省地球環境局, 2001)。温暖化予測結果は、地域気候モデル(RCM20)を用いて日本周辺を計算領域としたネスティングによって水平解像度20 kmのデータに出力されている。本研究では、この水平解像度20 kmの出力結果を農業環境技術研究所によって第2次メッシュに調整されたもの(Nishimori *et al.* 2005)を用いた。

水稲の生育予測を行うためには、月別値で与えられる気温予測値を日別値へ変換し時間解像度を高くする必要がある。そこで、本研究では当該月の前後1ヶ月の値を参考に比例配分することによって日別値へ変換した。

温暖化予測値は1981年～2000年までの現在の

状況を計算した現在気候値と、2031年～2050年、2081～2100年の約50年後、約100年後の状況を予測した将来気候値の3つがあり、本研究においてもこれらを用いた。

結果および考察

1. モデルの妥当性

モデルの妥当性を検討するために早期コシヒカリ、普通期ヒノヒカリのそれぞれについて同定されたモデルパラメータと同定の際に判定根拠となった相対誤差(SE)、生育日数推定値の相関係数(R)および平均絶対誤差(AE)を表1に示す。

相関係数は、早期コシヒカリが0.83、普通期ヒノヒカリが0.97であることから推定精度は十分と考えられる。平均絶対誤差は両品種共に1.85日であるため、水稲の発育動態予測モデルによって宮崎県内の任意地点における移植日から±2日弱の推定誤差で出穂日を予測できることがわかった。

2. モデルによる出穂予測日

1981～2000年の現在気候条件と2031～2050年(約50年後)、2081～2100年(約100年後)の将来予測気候条件において、早期コシヒカリについて移植日を2月中旬から4月中旬まで旬毎に設定した場合のそれぞれの出穂予測日を表2に、普通期ヒノヒカリについて移植日を5月中旬から7月中旬に設定した場合の出穂予測日を表3に示した。

それぞれの結果は代表地区ごとにまとめている。さらに表2あるいは表3にまとめられた地区ごと、移植日ごとの予測出穂日から20日間の平均気温を算出し、表2あるいは表3と同様の形式で早期コシヒカリを表4に、普通期ヒノヒカリを表5に示した。

それぞれの結果について、現在気候条件と将来予測気候条件に分け、特に宮崎地区を中心に検証する。

表1. 同定された発育動態予測モデルのパラメータと推定精度.

	A	T _h	B	L _c	G	SE	R	AE
早期コシヒカリ	0.072	17.9	0.499	29.3	46.1	2.71	0.83	1.85
普通期ヒノヒカリ	0.431	19.6	0.088	40.8	55.7	2.32	0.97	1.85

表2. 早期コシヒカリの温暖化条件下の予測出穂日.

予測年	地区		串間		宮崎		西都		延岡	
	移植日	予測出穂日	生育日数	予測出穂日	生育日数	予測出穂日	生育日数	予測出穂日	生育日数	
1981~2000	2月15日	5月31日	105	5月30日	104	5月31日	105	6月2日	107	
	2月25日	6月6日	101	6月5日	100	6月6日	101	6月7日	102	
	3月5日	6月11日	98	6月10日	97	6月11日	98	6月12日	99	
	3月15日	6月18日	95	6月16日	93	6月18日	95	6月19日	96	
	3月25日	6月24日	91	6月23日	90	6月24日	91	6月25日	92	
	4月5日	7月2日	88	7月1日	87	7月2日	88	7月3日	89	
	4月15日	7月9日	85	7月8日	84	7月9日	85	7月10日	86	
2031~2050	2月15日	5月24日	98	5月22日	96	5月24日	98	5月25日	99	
	2月25日	5月31日	95	5月29日	93	5月30日	94	5月31日	95	
	3月5日	6月5日	92	6月3日	90	6月4日	91	6月6日	93	
	3月15日	6月12日	89	6月10日	87	6月11日	88	6月12日	89	
	3月25日	6月19日	86	6月17日	84	6月18日	85	6月19日	86	
	4月5日	6月27日	83	6月25日	81	6月26日	82	6月27日	83	
	4月15日	7月5日	81	7月3日	79	7月4日	80	7月5日	81	
2081~2100	2月15日	5月23日	97	5月21日	95	5月22日	96	5月24日	98	
	2月25日	5月29日	93	5月28日	92	5月29日	93	5月30日	94	
	3月5日	6月4日	91	6月2日	89	6月3日	90	6月4日	91	
	3月15日	6月11日	88	6月9日	86	6月10日	87	6月11日	88	
	3月25日	6月18日	85	6月16日	83	6月17日	84	6月18日	85	
	4月5日	6月26日	82	6月24日	80	6月25日	81	6月26日	82	
	4月15日	7月3日	79	7月2日	78	7月3日	79	7月4日	80	

表3. 普通期ヒノヒカリの温暖化条件下の予測出穂日.

予測年	地区		都城		串間		宮崎		えびの		西都		延岡		高千穂	
	移植日	予測出穂日	生育日数													
1981~2000	5月15日	8月4日	81	8月2日	79	7月30日	76	8月11日	88	8月2日	79	8月6日	83	8月22日	99	
	5月25日	8月9日	76	8月7日	74	8月5日	72	8月14日	81	8月8日	75	8月11日	78	8月24日	91	
	6月5日	8月15日	71	8月13日	69	8月12日	68	8月20日	76	8月14日	70	8月17日	73	8月29日	85	
	6月15日	8月22日	68	8月21日	67	8月20日	66	8月26日	72	8月22日	68	8月24日	70	9月4日	81	
	6月25日	8月31日	67	8月29日	65	8月28日	64	9月3日	70	8月30日	66	9月1日	68	9月12日	79	
	7月5日	9月9日	66	9月8日	65	9月7日	64	9月13日	70	9月9日	66	9月10日	67	9月23日	80	
	7月15日	9月20日	67	9月18日	65	9月17日	64	9月26日	73	9月19日	66	9月20日	67			
2031~2050	5月15日	7月26日	72	7月25日	71	7月23日	69	7月31日	77	7月25日	71	7月27日	73	8月6日	83	
	5月25日	8月1日	68	7月31日	67	7月30日	66	8月5日	72	8月1日	68	8月3日	70	8月11日	78	
	6月5日	8月10日	66	8月9日	65	8月8日	64	8月13日	69	8月10日	66	8月12日	68	8月18日	74	
	6月15日	8月19日	65	8月18日	64	8月17日	63	8月21日	67	8月19日	65	8月21日	67	8月26日	72	
	6月25日	8月28日	64	8月27日	63	8月27日	63	8月31日	67	8月28日	64	8月30日	66	9月4日	71	
	7月5日	9月7日	64	9月6日	63	9月6日	63	9月10日	67	9月7日	64	9月8日	65	9月15日	72	
	7月15日	9月18日	65	9月17日	64	9月16日	63	9月20日	67	9月17日	64	9月18日	65	9月26日	73	
2081~2100	5月15日	7月24日	70	7月23日	69	7月21日	67	7月28日	74	7月23日	69	7月26日	72	8月4日	81	
	5月25日	7月31日	67	7月30日	66	7月29日	65	8月4日	71	7月31日	67	8月2日	69	8月10日	77	
	6月5日	8月9日	65	8月8日	64	8月8日	64	8月12日	68	8月9日	65	8月11日	67	8月17日	73	
	6月15日	8月18日	64	8月17日	63	8月17日	63	8月20日	66	8月18日	64	8月20日	66	8月25日	71	
	6月25日	8月27日	63	8月26日	62	8月26日	62	8月29日	65	8月27日	63	8月29日	65	9月3日	70	
	7月5日	9月6日	63	9月5日	62	9月5日	62	9月8日	65	9月6日	63	9月7日	64	9月13日	70	
	7月15日	9月16日	63	9月16日	63	9月15日	62	9月19日	66	9月16日	63	9月17日	64	9月24日	71	

結果の評価：現在気温条件

宮崎地区における早期コシヒカリの一般的な移植日である3月中旬（3月15日）に着目すると、表2より生育日数93日±2日を経て6月16日に収穫していると算出された。このとき、表4に示された出穂後20日間の平均気温は23.9℃であった。表2によると移植日を早くすると生育日数は長くなり、移植日を遅くすると生育日数は短くなる。また表4によると、移植日を早くすると出穂後20日間の平均気温は低くなり、反対に移植日を遅くすると出穂後20日間の平均気温は高くなる。この移植日による生育日数と出穂後20日間の平均気温の変化は、他の地区でも同様であることを確認できる。

普通期ヒノヒカリについては、一般的な6月中旬（6月15日）の移植日では、表3より66日±2日後の8月20日に収穫していると算出された。このとき、表5に示された出穂後20日間の平均気温は25.8℃であった。表3からは早期コシヒカリの結果と同様に、普通期ヒノヒカリも移植日を早くすると生育日数が長くなり、反対に移植日を遅く

すると生育日数が短くなることが確認できる。しかし、表5に示された普通期ヒノヒカリの出穂後20日間の平均気温は、移植日を早くすると平均気温が高くなり、一方移植日を遅くすると平均気温が低くなっており、早期コシヒカリとは反対の傾向を示している。このような傾向は他の地区でも同様に確認することができる。

結果の評価：将来予測気温条件

2031年～2050年、2081～2100年の約50年後、約100年後の将来予測気温条件における早期コシヒカリと普通期ヒノヒカリの出穂日および出穂後20日間の平均気温について検証する。

まず早期コシヒカリについて、約50年後、約100年後も現在と同じく3月中旬（3月15日）に移植するとした場合、それぞれの予測出穂日は表2よりそれぞれ6月10日、6月9日となった。現在気温条件の出穂予測日6月16日に比べて約50年後は6日、約100年後は7日早くなっている。串間地区でも同様に早くなっているが、西都・延岡

表4. 早期コシヒカリの予測出穂日から20日間の推定平均気温.

予測年	地区 移植日	串間 平均気温(℃)	宮崎 平均気温(℃)	西都 平均気温(℃)	延岡 平均気温(℃)
1981～2000	2月15日	21.4	21.8	21.4	21.3
	2月25日	22.0	22.5	22.1	21.8
	3月5日	22.6	23.1	22.6	22.3
	3月15日	23.5	23.9	23.5	23.2
	3月25日	24.2	24.8	24.2	23.9
	4月5日	25.1	25.8	25.1	24.8
	4月15日	25.7	26.4	25.7	25.0
2031～2050	2月15日	22.6	23.1	22.9	22.6
	2月25日	23.5	24.0	23.6	23.3
	3月5日	24.2	24.7	24.2	23.9
	3月15日	24.9	25.4	24.9	24.5
	3月25日	26.0	26.1	25.5	25.1
	4月5日	26.2	26.8	26.2	25.8
	4月15日	26.8	27.4	26.7	26.4
2081～2100	2月15日	23.0	23.5	23.1	22.9
	2月25日	23.6	24.2	23.7	23.4
	3月5日	24.2	24.7	24.2	23.9
	3月15日	24.9	25.4	24.9	24.6
	3月25日	25.6	26.1	25.6	25.3
	4月5日	26.4	26.9	26.4	26.1
	4月15日	27.1	27.8	27.2	26.8

表 5. 普通期ヒノヒカリの予測出穂日から20日間の推定平均気温.

予測年	地区 移植日	都城 平均気温(°C)	串間 平均気温(°C)	宮崎 平均気温(°C)	えびの 平均気温(°C)	西都 平均気温(°C)	延岡 平均気温(°C)	高千穂 平均気温(°C)
1981~2000	5月15日	25.5	26.1	26.9	24.4	26.2	26.0	22.3
	5月25日	25.3	25.9	26.8	24.1	26.0	25.8	22.1
	6月5日	24.9	25.6	26.4	23.5	25.6	25.4	21.5
	6月15日	24.3	24.9	25.8	22.9	24.9	24.8	20.9
	6月25日	23.5	24.2	25.0	22.2	24.2	24.2	19.7
	7月5日	22.5	21.8	24.0	20.8	23.1	23.1	17.8
	7月15日	20.8	21.8	22.6	18.6	21.7	21.6	
2031~2050	5月15日	26.2	26.7	27.6	25.3	26.7	26.6	24.2
	5月25日	25.9	26.5	27.4	25.0	26.5	26.4	24.0
	6月5日	25.6	26.2	27.0	24.7	26.2	26.2	23.7
	6月15日	25.3	25.8	26.6	24.3	25.8	25.9	23.3
	6月25日	24.9	25.5	26.1	23.9	25.5	25.5	22.9
	7月5日	24.3	24.9	25.5	23.0	24.9	24.9	21.4
	7月15日	22.9	23.5	24.3	21.4	23.6	23.6	19.5
2081~2100	5月15日	27.1	27.6	28.4	26.1	27.7	27.5	25.1
	5月25日	27.0	27.5	28.4	26.0	27.6	27.5	24.9
	6月5日	26.7	27.3	28.1	25.6	27.3	27.3	24.4
	6月15日	26.2	26.9	27.6	25.2	26.9	26.9	23.8
	6月25日	25.7	26.3	27.1	24.6	26.4	26.4	23.2
	7月5日	25.0	25.7	26.4	23.8	25.7	25.7	22.0
	7月15日	23.9	24.5	25.3	22.3	24.6	24.5	20.3

地区ではそれぞれ7日、8日と宮崎・串間地区より値が大きい。宮崎地区にて約50年後、約100年後ともに移植日を早くすると生育日数が短くなり、移植日を遅くすると生育日数が長くなる。この傾向は他の地区でも確認できる。

表4より出穂後20日間の平均気温を確認すると、3月15日に移植したとき約50年後、約100年後共に25.4°Cであり、現在気温条件より1.5°C上昇すると予想された。表4から、同じ移植日における宮崎地区の気温は、他の地区に比べて高いことが確認できる。また、移植日が早いほど気温が低く、移植日が遅いほど気温が高くなっているが、現在気温条件からの上昇幅は移植日が早いほど大きく、移植日が遅いほど小さい。

普通期ヒノヒカリについては、宮崎地区にて現在気温条件と同じく6月15日に移植すると予測出穂日は約50年後、約100年後共に8月17日(生育日数63日±2日)となり、3日早くなっている。他の地区では約50年後よりも約100年後の方がより早くなる傾向を示している。また、表3からは

えびの地区と高千穂地区の生育日数がそれぞれ約50年後で5日、9日、約100年後で6日、10日と非常に早くなっていることを確認できる。現在気温条件の場合と同じく、将来予測気温条件においても移植日を早くすると生育日数が長くなり、移植日を遅くすると生育日数が短くなる。

出穂後20日間の平均気温を表5より確認すると、6月15日に移植したとき約50年後は26.6°C、約100年後は27.6°Cと現在気温条件よりもそれぞれ0.8°C、1.8°C高くなっている。特に約100年後の気温上昇幅は大きく、出穂後20日間の平均気温が白未熟粒の発生確率が高まるとされる27°Cを超えている。さらに表5は移植日を早くすると平均気温が高くなり、移植日を遅くすると平均気温が低くなることを示している。特に約100年後については移植日を早くすることで出穂後20日間の平均気温が27°Cを超える地区が多くなっている。宮崎地区は特に顕著で28°Cを超えており、白未熟粒の発生確率すなわち水稻の高温障害の発生リスクが高まることが予想される。

3. 高温障害の発生リスク抑制策の検討

普通期ヒノヒカリに関する出穂日予測と出穂後20日間の平均気温の予測によって、約100年後は高温障害の発生リスクが高くなることが予想された。特に宮崎地区はその傾向が顕著であった。そこで、宮崎地区について、約100年後の気象環境の元で発生リスクを下げるための対策を考察する。ここでは、近年水稲の高温障害回避策として各地で実施・奨励されている移植日の変更を検討した。温暖化後の予測気温より、出穂後20日間の平均気温が27.0℃を超える期間を算出したところ、6月25日から8月27日の期間であることが分かった。したがって、高温障害の発生リスクを下げるためには、少なくとも6月25日から8月27日の期間に出穂しないように予め移植日を変更する対策が考えられる。

そこで、先に用いた普通期ヒノヒカリの発育動態予測モデルを用いて、2通りの移植日の変更を検討した。1つ目は6月24日以前に出穂するような移植日の変更（早期化）、2つ目は8月28日以降に出穂するような移植日の変更（晩期化）である。

まず1つ目の6月24日以前に出穂するような移植日を算出したところ、現在より9日早い3月24日以前にする必要があることが分かった。これは早期コシヒカリと同等の移植日である。ヒノヒカリ品種が早期栽培体系に適合可能であるかを別途検討する必要があるが、今後高温障害の発生リスクを抑える対策の一つとして、普通期栽培から早期栽培へ変更することが有効であることが示された。

同様に、2つ目の8月28日以降に出穂するような移植日を算出したところ、現在より12日遅い6月27日以降に移植することにより出穂日が遅くなり、出穂後20日間の平均気温が27.0℃以下になることが分かった。したがって、早期化と同じく晩期化についても高温障害の発生リスクを抑える対策として有効であることが示された。

まとめ

本研究では、近年各地で報告されている登熟期の高温が主な原因とされる水稲の高温障害に着目し、地球温暖化の進行に伴って宮崎県の特徴である早期水稲も含めた水稲栽培への影響を評価する

ため、気象庁の「気候統一シナリオ」による約50年後、約100年後の温暖化予測気温を用いて、将来の気候条件下における登熟期の気温および高温障害対策の一つとされる移植日の変更の効果について検討した。

水稲の生育モデルには発育動態予測モデルを採用し、宮崎県の主要品種である早期コシヒカリと普通期ヒノヒカリの2品種について実測値を用いてパラメータ同定を行った。モデルの妥当性を確認したのちに約50年後、約100年後の出穂日を推定し、出穂後20日間の平均気温を算出した。

その結果、早期コシヒカリでは現在同様3月中旬に田植えを行うと6～7日±2日出穂日が早くなり、出穂後20日間の平均気温が1.5℃高くなると予想された。また移植日を早くするほど生育日数が短くなり、出穂後20日間の平均気温が高くなることがわかった。

普通期ヒノヒカリでは、現在同様6月中旬に田植えをすると3日±2日出穂日が早くなり、出穂後20日間の平均気温が0.8～1.8℃高くなっていた。その結果、約100年後については高温障害の発生リスクが高まると予想された。特に、移植日を早くするほどそのリスクが高くなることが示されていた。また移植日を早くするほど生育期間が短くなる傾向が、えびの・高千穂地区では顕著であった。

普通期ヒノヒカリの結果を踏まえて、高温障害の発生リスクを抑える対策として移植日変更の効果を宮崎地区を対象に検討した。その結果、移植日を現在より9日早くする早期化と、現在より12日遅くする晩期化によって高温障害の発生リスクを抑えうることが示された。

本研究で用いた温暖化予測気温および水稲の発育動態予測モデルの結果は、あくまでも平均的な気温、生育状況、出穂日を表しているに過ぎない。これらは当然のことながら毎年変動するため、たとえば平均気温を中心にして高温の年、低温の年が出現することを考慮したうえで結果を吟味する必要がある。

要約

本研究は、水稻栽培について登熟期の高温障害に関して、地球温暖化条件下での宮崎県の水稲栽培に与える影響を検討した。宮崎県の特徴である早期水稲と普通期水稲の2品種について検討することとし、気象庁による気候統一シナリオによる約50年後、約100年後の温暖化予測気温を用い、実測値によりパラメータ同定を行った水稲の発育動態予測モデルを用いて出穂期を推定し、出穂後の平均気温について検討した。

その結果、早期栽培では約6日、普通期栽培では約3日出穂日が早まり、出穂後の気温が高くなること、とくに普通期水稲の登熟期が高くなることが予想された。そこで登熟期の高温回避策として移植日の変更についてその効果を検討したところ、移植日の早期化および晩期化が有効であることが確認された。

キーワード：発育動態予測モデル、早期化、晩期化、温暖化、高温障害

謝辞

本研究は宮崎県による委託事業「宮崎県農業に関する地球温暖化の影響調査」（代表：有限会社メテオエム）の一環として、宮崎気象利用研究会の協力の下で実施されたものである。また研究で使用した温暖化予測値（日本域2次メッシュ気候シナリオ Ver. 2）は農業環境技術研究所の西森基貴氏より提供されたものである。ここに記して関係者に謝意を表す。

引用文献

- 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推定法および出穂予測への適用。日作紀 59, 687-695.
- 稲葉健五（2007）高温障害に強いイネ, 日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編, 養賢堂, 東京, 37-42.
- IPCC（2007）IPCC Fourth Assessment Report, <http://www.ipcc.ch/>. (参照：2010/8/25)
- Japan Meteorological Agency (JMA) (2005) Report for global warming Vol. 6. JMA, Tokyo, pp. 58.
- 環境省地球環境局（2001）4つの社会・経済シナリオについて —「温室効果ガス排出量削減シナリオ策定調査報告書」—, <http://www.env.go.jp/earth/report/h13-01/index.html> (参照：2010/8/25)
- 黒木正理（2009）宮崎県における温暖化の影響評価と対策の組織化. 九州の農業気象 18, 125-128.
- 森田敏・白土宏之・高梨純一・藤田耕之輔（2002）高温が水稲の登熟に及ぼす影響 —高夜温と高昼温の影響の違いの解析—. 日作紀 71, 102-109.
- 森田敏（2008）イネの高温登熟障害の克服に向けて. 日作紀 77, 1-12.
- 永吉嘉文（2009）宮崎県における高温登熟耐性稲作技術の開発 —高温耐性の品種育成を中心に—. 九州の農業気象 18, 129-132.
- 中川博視・堀江武（1995）イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究 第2報 幼穂の分化・発達過程の気象的予測モデル. 日作紀 64, 33-42.
- Nishimori, M., Ishigooka, Y., Yokozawa, M., and Toritani, H., (2005) Future climate change scenario in Asian region by using the output from the latest GCM experiments. Proceedings of the Joint Meeting of Environmental Engineering in Agriculture 2005, 448.
- 農業環境技術研究所（2008）2007年夏季異常高温が水稲生産に及ぼした影響を検証する, 気象環境研究会, 1-4.
- 農林水産省（2008）平成19年夏季高温障害対策レポート, <http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/engei/pdf/080418-02.pdf> (参照：2010/8/25)
- 寺島一男・斎藤祐幸・酒井長雄・渡部富雄・尾形武文・秋田重誠（2001）1999年の夏期高温が水稲の登熟と米品質に及ぼした影響. 日作紀 70, 449-458.
- 内嶋善兵衛（2009）農業気候資源への温暖化の影響 —九州・宮崎県を中心に—. 九州の農業気象 18, 117-124.