

営農現場における小麦収穫作業への発育モデルの適用性の検証

中園 江^{*1}・松尾和之^{*2}

目 次

I はしがき	9	2. 播種および収穫作業の実施状況	10
II 材料および方法	10	3. 発育モデルによる収穫期の推定と実測	11
1. 調査対象農家および栽培の概要	10	IV 摘要	14
2. 発育予測モデルの概要と適用方法	10	謝辞	14
III 結果と考察	10	引用文献	15
1. 対象期間の気象の推移	10	Summary	16

I はしがき

日本のコムギは、水稻と比較すると年次や産地による収量および品質の変動が大きく、その不安定性の克服が課題とされてきた。収量・品質の不安定さの要因は様々であるが、気象要素では降雨の影響が大きい。統計データの解析から、登熟期および収穫期間の降水量と1等比率には相関が見られることが示されている⁽⁶⁾。登熟期間中の降雨は日射の減少により登熟を阻害するだけでなく、登熟後半では粒の退色、倒伏等を引き起こし、さらに甚だしい場合は穂発芽の発生により、1等比率の大幅な低下を招く⁽²⁾。

収穫期における降雨による被害を回避するためには、早生品種や穂発芽耐性品種の開発などの育種的な対応策が必須であるが⁽¹⁰⁾、技術的な対策としては雨で濡れる時間が少なくなるように、収穫可能になった時点で速やかに刈り取ることが挙げられる。

農林水産省は2007年に品目横断的経営安定対策を導入し、経営規模の拡大をすすめている。このような経営体では、集積した農地を一括して管理・運営するため、複数のオペレータが多数の分散した圃場を対象に収穫作業を行うことになる。一日に行うことのできる作業の量は機械およびオペレータの数と能力により制約があるため、できるだけ効率的に

作業を行うことが必要になる。そのためには、播種期が異なる複数の圃場の登熟の状態から、収穫開始時期や収穫作業のピークを前もって把握し、降雨の予報情報も考慮して作業スケジュールを設定する技術が必要と考えられる。

このような背景のもと、所与の地域および播種期におけるコムギ栽培品種の発育を、気象条件にもとづいて予測するモデルの必要性が高まっている。水稻では発育速度（DVR Developmental Rate）と発育指数（DVI Developmental Index）の考え方に基づいたモデルが考案され、高い精度で出穂期等の予測が可能となっている⁽³⁾。

コムギでは、水稻に比較して研究例が少ないものの、作期移動試験により収集した発育データをもとに、出穂期、成熟期に加えて出芽期、茎立期、開花期を推定する発育予測モデルが作成されている⁽⁷⁾。本研究では、茨城県筑西市の農家における播種、収穫の作業記録に基づき、モデルによる収穫期の予測が実際の栽培現場に適用可能かどうかを検証したものである。

本研究は、農林水産省の「高生産性地域輪作システム確立のための技術開発」（平成17-19年）および「担い手の育成に資するIT等を活用した新しい

生産システムの開発」(平成19-23年)により行われた。

Ⅱ 材料および方法

1. 調査対象農家および栽培の概要

茨城県筑西市の田谷川土地改良区内にある大規模農家の協力を得て、2004-2005年(2005年産)、2005-2006年(2006年産)、および2007-2008年(2008年産)の3作期における圃場別のコムギの播種期、収穫期および面積のデータを収集した。2005、2006年産は農家Aを対象として、播種期は作業日誌から求め、収穫期は乾燥施設の受入日とした。2008年は、農家A、B、Cを対象に、GPSにより農業機械の軌跡を記録し作業実施の有無を判別することにより得られた播種期および収穫期のデータを使用した⁽⁴⁾。2008年の3農家のコムギ作付面積の合計は約64haであり、土地改良区全体の作付面積の約1/3に相当する。品種はいずれも農林61号である。

2. 発育予測モデルの概要と適用方法

使用した発育モデルは、DVR(発育速度)とその積算値であるDVI(発育指数)を用いた方法により、播種期を起点に日平均気温と日長より出芽、茎立、出穂、開花および成熟期を推定するものである⁽⁷⁾。発育相別にDVR式を選定し、パラメータはつくば市で行われた10月下旬から2月上旬までの作期移動試験により収集した発育データをもとに決定されている(表1)。モデルの上では子実含水率が30%以下になった最初の日、すなわちコンバイン収穫が可能となる日を成熟期としており、本研究ではこれを

収穫期とした。なお、このモデルにより、全国で行われた栽培試験の成熟期を誤差4.87日で推定できることが示されている⁽⁷⁾。

栽培記録より得られた播種期毎に収穫期を推定し、実際に収穫が行われた日と作業面積を比較した。

作業計画の策定に利用することを想定し、収穫期よりも前の生理的成熟期時点での予測値を計算した。生理的成熟期は粒重が最大となる時期であり⁽¹⁾、このときの子実含水率は約40%である⁽⁵⁾。生理的成熟期は開花期からの日平均気温を用いて表1に示す式により推定した⁽⁵⁾。生理的成熟期までは日平均気温の実測値を使用し、それ以降は平年値を使用して収穫期を予測した。

さらに、播種期を変えた場合の収穫期の変動と降雨回避効果を検討するために、播種期を10月20日から12月10日まで変えた場合の収穫期を推定し、収穫期から7日間を収穫期間として期間中の積算降水量を算定した。この算定は2001年から2013年の13年分の気温実測値を用いて行った。

気象データは田谷川土地改良区内に位置するアメダス下館(北緯36.282, 東経139.988)の日平均気温、日別降水量および日平均気温の平年値を使用し、日長は緯度と暦日から算出される可照時間を使用した。

Ⅲ 結果と考察

1. 対象期間の気象の推移

図1に3カ年の日平均気温の推移と、日平均気温の月平均値を平年値と共に示した。2004-2005年は播種期間の気温は高く推移したものの、その後低温傾向となり、春季の気温は大きく変動した。2005-2006年は冬季の低温が顕著であり、特に12月の平均気温は平年値よりも3℃以上低かった。2007-2008年は3月から4月にかけての高温および登熟期間にあたる5月の気温の変動の大きさが特徴であった。11月から6月の平均気温は平年値の10.1℃に対して

2004-2005年は9.9℃、2005-2006年は9.1℃、2007-2008年は9.8℃であった。

2. 播種および収穫作業の実施状況

A農家では、2005年産は2004年12月4日から12月23日までの15日間、2006年産は2005年11月21日から12月8日までの12日間にわたって播種が実施された(図2左)。1日あたりの播種面積の最大値は4.3ha、収穫面積の最大値は6.9haであった。

2008年産では、農家A、B、Cを合わせて2007年

表1 発育相の区切り方と発育相別のDVR式およびパラメータ(品種:農林61号)
生理的成熟期は開花期を起点に計算される。

発育段階	播種	出芽	茎立	出穂	開花	成熟
	0	1	2	3	4	5
		①	②	③	④	⑤
						↑ 生理的成熟期
発育相	式	パラメータ				
①	1	TU	T _b			
		107.53	0.46			
②	3	G ₂	A ₂	T _{h2}	B	L _c
		27.43	0.42	6.38	0.29	7.06
③	1	TU	T _b			
		234.79	5.22			
④	1	TU	T _b			
		66.23	7.08			
⑤	2	G ₁	A ₁	T _{h1}		
		24.56	0.16	15.66		
生理的成熟期	1	TU	T _b			
		571.40	2.55			

$$\text{式1} \quad \text{DVR} = \frac{1}{\text{TU}} \times (T - T_b)$$

$$\text{式2} \quad \text{DVR} = \frac{1}{G_1} \times \frac{1}{1 + \exp\{-A_1(T - T_{h1})\}}$$

$$\text{式3} \quad \text{DVR} = \frac{1}{G_2} \times \frac{1 - \exp\{-B(L - L_c)\}}{1 + \exp\{-A_2(T - T_{h2})\}}$$

L: 日長時間 (h), T: 日平均気温 (°C)
T_b: 限界温度 (°C)
TU: ある発育相に要する積算温度 (°C・日)
G_i: ある発育相の最小日数 (日)
T_{hi}: 発育速度が最大値の1/2になるときの気温 (°C)
L_c: 限界日長 (h)
A_i: 温度係数 (°C⁻¹)
B: 日長係数 (h⁻¹)

11月20日から12月12日の間に21日間にわたって播種が実施された。2004年12月5日に25mmの降雨があったが、それ以外は5mm以下の降雨であり、播種作業の大きな障害とはならなかったものと推察される。茨城県の播種最盛期の平年値は11月16日(2005年時点)であり⁽⁸⁾、本研究の対象農家の播種は県の平均的な播種期よりもやや遅い時期に実施された。

収穫作業は、2005年産は6月18日から27日までの9日間、2006年産は6月21日から27日までの7日間に実施された。2006年産の播種開始日は2005年産に比べて約2週間早かったものの、収穫期間は同時期となった。田谷川の3農家では、収穫は2008年6月16日から25日の間に9日間実施された(図2

右)。2006年産は収穫期間中の降雨は少なかったが、2005年産および2008年産は収穫期間中に10mm以上の降雨があり、その日の収穫は行われなかった。

3. 発育モデルによる収穫期の推定と実測

モデルにより推定した生理的成熟期は、収穫期の4から7日前であった。この時点で予測された収穫期は、2005年産は6月23日から26日の4日間、2006年産は6月20日から24日の5日間、2008年産は6月16日から21日の6日間となった(図2)。2006年産は2005年産よりも播種期は2週間程度早いにもかかわらず、収穫期間はほぼ同時期になった。これは、2006年産では冬季の気温が非常に低かったことが原因と推察される。3カ年ともに推定した収穫期間

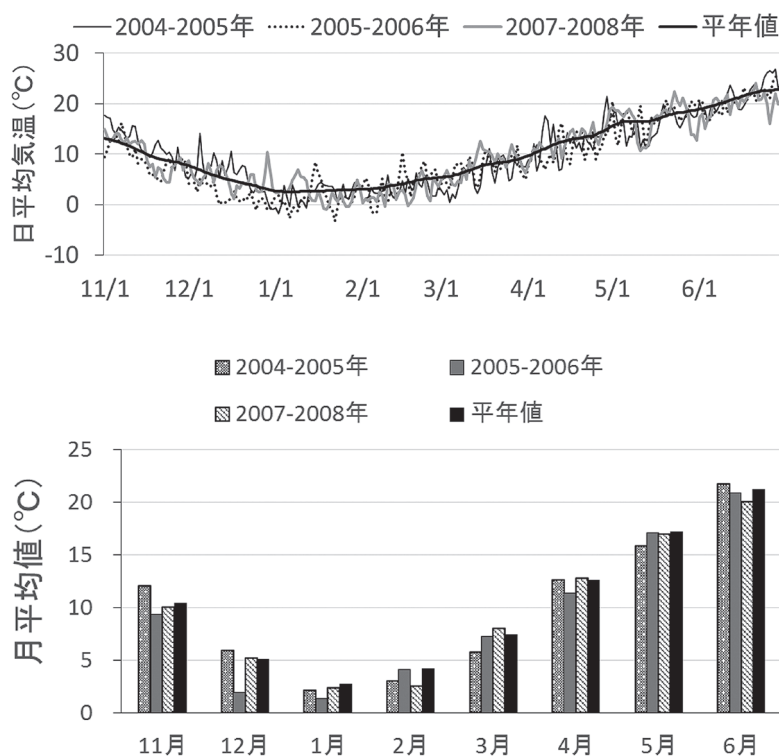


図1 調査期間の日平均気温の推移（上）と日平均気温の月平均値（下）

は実際の収穫期間よりも短く、1日の収穫面積は実際の収穫面積よりも大きくなった。収穫開始日を実測値と推定値で比較すると、2005年産は6月18日に対して6月23日と5日遅く、2006年産は6月21日に対して6月20日と1日早く、2008年産は実測と同日の6月16日となり実測値と推定値が一致した。

2005年産の推定収穫期は実測よりも5日遅くなった。この誤差が生じた理由としては、収穫期以前の出穂あるいは茎立の推定日が実際よりも遅かった可能性が考えられる。モデルは推定した発育段階を起点に次の発育段階を推定しているため、初期の推定誤差が収穫期の推定に影響する。その他の理由として、2005年は6月22日に11mmの降雨があり、このため早めに収穫が行われた可能性も挙げられる。

以上のことから、モデルにより農家および地域で実施される収穫作業の開始時期を、機械等の準備期間を考慮した時期におおよそ予測可能であることが示された。一方で、現場に適用するためには、出穂や開花期などの実測値を取り入れて予測を修正し、予測精度を向上させることが必要であることも示唆された。

生理的成熟期から収穫期までの日数は短いことから、この間の気温が平年と大きく異なることによる予測への影響は小さい。しかし、さらに早い時期に予測が必要となる場合、予測日以降の気温が平年と大きく異なると予測精度が低下することが考えられる。例えば開花から成熟期までの気温が17℃から1℃上昇すると、表1の式およびパラメータから成熟期は3日早まると算出される。また最寄りのアメダスデータを用いて予測を行う場合には、アメダス地点と圃場の位置や立地に大きな差異があれば、気象データの差による予測誤差が生じる可能性がある。近年、観測値や数値予報、平年値を組み合わせる1年分のデータセットとし、それを日々更新する全国1kmメッシュ農業気象データシステムが開発されている⁽⁹⁾。このシステムを活用して上記の誤差を縮小し、より精度の高い予測情報を提供することが今後の課題である。

予測された収穫期は実際の収穫期よりも短期間に集中していた。一日の収穫可能面積は、農業機械の性能や人員等により上限があり、農家の営農事情により異なる。発育モデルから得られる収穫期間はこ

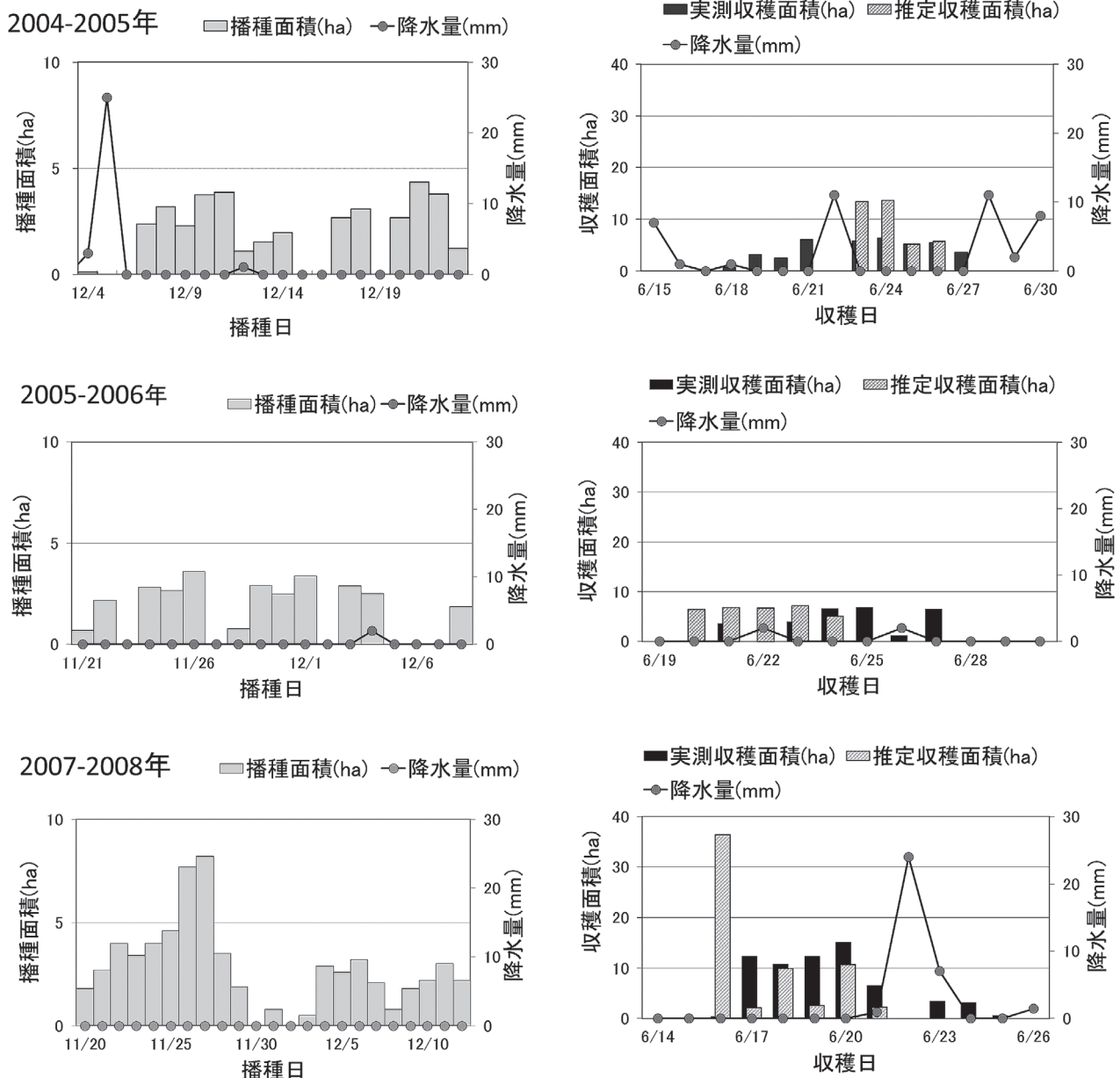


図2 3カ年における播種・収穫作業の実施状況とモデルにより推定した収穫期毎の収穫面積
(左:播種,右:収穫)

これらの要因を反映していないため、収穫可能時期の予測だけでなく作業性を考慮することで、現場で役立つ収穫スケジュール策定方法の開発に発展させることが必要である。また、共同乾燥調整施設の稼働時期決定を支援し、施設の効率的な運用を行うなど、地域営農にも貢献できると考えられる。

田谷川における3カ年の播種開始日の平均は11月25日であり、この日を起点にして2001年から13年間の気象条件からモデルにより推定した収穫開始日の平均値は6月17日となった(図3)。播種期を1ヶ

月前進させ、10月25日とした場合の収穫開始日の推定値は6月11日となった。関東甲信の梅雨入り平年値は6月8日頃であることから、現状よりも1ヶ月早く播種したとしても、梅雨入り前の収穫は困難であると推察される。

各県のコムギ産地の降雨の解析から、群馬、愛知、滋賀などでは、収穫期が前進するほど収穫期間中の降雨量が減少することが示されているが、入梅前後の降雨のパターンには地域差がみられ、収穫期の前進が降水量の減少を伴わない県もあった⁽⁶⁾。田谷川

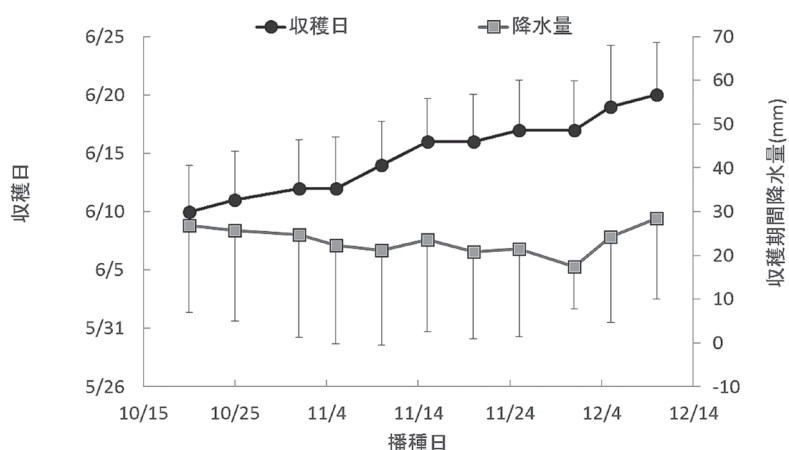


図3 田谷川地区における播種期から推定した収穫期および収穫期間の積算降水量

2001-2013年の各播種期から推定した13年分の収穫期を平均した。エラーバーは13年間の標準偏差を示す。収穫期間は推定した収穫期の翌日から7日間とした。

においても播種期の前進による収穫期間の積算降水量の減少が認められなかったことから、収穫期の雨による品質の低下を避けるためには、早生品種の導

入や早期播種による収穫期の前進だけではなく、降雨の合間に効率的に収穫・乾燥を行う技術の開発も重視すべきと考えられる。

IV 摘要

茨城県筑西市の大規模農家における3カ年の播種、収穫の作業記録に基づき、発育モデルによる収穫期の予測値と実際の栽培現場で行われた収穫作業の適合性を検証した。

(1) 発育モデルにより播種期から推定した収穫期間は、実際の収穫期間よりも短期間に集中したが、収穫の開始時期はおおむね一致しており、生理的成

熟期時点で収穫の開始時期を予測可能であることが示された。

(2) 播種期を前進させた場合の収穫期の変化を、年次変動を含めてシミュレートした結果、早期播種による収穫期間の降雨の回避効果は認められなかった。

謝 辞

本研究の実施にあたり、茨城県筑西市田谷川地区の有限会社山善農園代表杉山善司氏、古沢諭氏、町

田協業代表広瀬達夫氏および川田誠一氏の協力を得た。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- Clarke, J.M. (1983) Time of physiological maturity and post-physiological maturity drying rates in wheat. *Crop Sci.*, 23 : 1203-1205.
- 平野寿助 (1971) 小麦登熟期の遭雨による品質低下とその機作に関する研究. 中国農業試験場報告 A, 20, 27-78.
- 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予測への適用. 日作紀, 59, 687-695.
- 松尾和之・濱口秀生・渡邊和洋・渡邊好昭 (2011) 携帯型GPSによる農作業履歴の記録と履歴情報の

- 利用. 日作紀, 80, 346-353.
5. 中園江・井上君夫・脇山恭行・大原源二 (2006) コムギの登熟過程の温度反応に基づく生理的成熟期と子実含水率の推定法. 日作紀, 75, 526-534.
6. 中園江・井上君夫・大野宏之・大原源二 (2009) 小麦収穫期の前進による降雨回避効果. 日作紀, 78 (別1), 74-75.
7. 中園江・大野宏之・吉田ひろえ・佐々木華織・中川博視 (2014) コムギの発育段階の推定モデル. 日作紀, 83, 249-259.
8. 農林水産省 (2005) 「4 麦の作柄及び被害状況」
9. 大野宏之 (2014) メッシュ農業気象データ利用マニュアル. 中央農研研究資料, 9, 1-77.
10. 柳澤朗 (2004) 穂発芽耐性評価と穂発芽性極難系統の育成. 冬作物研究, 4, 13-20.

Application of the wheat developmental model for the prediction of harvest date in farmers' fields in Japan

Kou Nakazono^{*1} and Kazuyuki Matsuo^{*2}

Summary

In Japan, the quality of wheat grain is strongly influenced by rainfall during the harvest time. Therefore, it is important to avoid rain during harvest. Thus, prediction of harvest time is effective for the efficient scheduling of harvest. We previously developed a model that can simulate the phenological development of wheat by using meteorological data. In the present study, we evaluated the potential of application of this model to predict harvest time at large-scale farms in Ibaraki Prefecture.

Although the predicted harvest periods were shorter than that of the actual harvest periods, the model achieved a good fit for the earliest harvest dates in two thirds of the cropping seasons. The simulation results also showed that the advancement of the harvest period by early sowing did not reduce the risk of rainfall. Therefore, further research on prediction of harvest dates is required for effective harvest during the rainy season.

*1 NARO Agricultural Research Center

*2 Japan International Research Center for Agricultural Sciences