

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：11601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K18775

研究課題名(和文)高解像度アンサンブル気象予測に基づく水稲障害に対する確率予測システムの構築

研究課題名(英文) Probabilistic forecasting of rice growth condition by synthesizing ensemble meteorological forecast and crop model

研究代表者

吉田 龍平 (Yoshida, Ryuhei)

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号：70701308

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：アンサンブル気象予測を用い、東北の過去の夏(2000-2009年)における冷害の予測実験を行った。摂動を用いない単独予測は過去の観測値のみから構成される気候値予測に対して誤差が低い状態を5日間維持し、アンサンブルを用いることで気候値予測に対する優位性が2日延長された。しきい値を下回った気温の積算から得られる冷却量は、単独予測とアンサンブル予測いずれも14日の予測期間を通して気候値予測よりも優れていた。水稲の冷害予測には、気温変動の幅の絶対値だけでなく、日々の変動パターンが再現できていることが重要であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化の進行が懸念される今後において、気温の上昇のためヤマセは深刻な問題にはならないと期待される。しかし、多くの先行研究でヤマセは今後も継続して発生すると指摘されている。さらに、温暖化に伴いリスクが高まると推定される高温不稔率は低温不稔率よりも依然として低く、東北地方は引き続き低温に対する警戒が求められる。本研究は、これまで定性的な表現にとどまっていた冷害予測に対して定量的な予測実験を行い、数値予測に基づく冷害予測の有用性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Summer cold damage for rice crop was simulated by using meteorological ensemble forecast and rice growth model. Taking Tohoku as an example, three types of forecasts were applied; climatological forecast that composed from historical observations, single deterministic meteorological forecast, and ensemble forecast with nine members. For surface temperature, the single forecast performed better than the climatological forecast for five days, and the ensemble forecast prolonged the period by two days. The cooling-degree days, accumulated temperature from the threshold, was simulated better in both single and ensemble forecasts throughout the 14-days of forecast period. The amplitude of daily temperature was comparable among the three forecasts, but the temporal pattern in the climatological forecast was quite differ from the observation, which deteriorated its performance. Reproducibility of temporal pattern was essential to improve forecasting skill in cold damage estimation.

研究分野：気象学

キーワード：確率予測 気象予測 水稲生育モデル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

コメの収量や品質は、生長期の気温と病害発生の有無に大きく左右される。2010年に発生した猛暑では九州の多くの県で一等米比率が50%を切るだけでなく(Okada et al. 2011, ERL), 収量にも深刻な影響が生じて北海道においても減収となった。1993年にはヤマセによる低温により、太平洋側では作況指数が30以下となった地域が多く発生した。さらに、低温・低日射のときにはカビが原因であるいもち病も起こり、大きな減収が引き起こされる。

こうした気温や病害による障害は、事前に対策を講じることが可能である。たとえば、高温障害や冷害に対しては水管理によって被害を軽減できるほか、いもち病には防除剤の散布が効果的である。対策を講じるかどうかの判断には障害リスクの予測情報が不可欠であり、もし10日程度先までの情報が利用できれば、現場の農家は前述の対策を取ることで被害を低減・回避できる可能性がある。

障害リスクの推定には気象予測データが必要となる。大気の振る舞いにはカオス性があることから、気象予測の結果は初期値のわずかな違いで大きく変わってしまい、一意には決まらない。そこで、少しずつ違う多数の初期値で計算された気象予測(各々の計算結果をメンバーと呼ぶ)を利用し、各メンバーから推定される障害リスクのばらつきを予測確率として表現することで、個々の予測そのもののほか、予測のばらつきが情報となる新しい水稻障害予測が可能になると考えられる。

### 2. 研究の目的

こうした背景に基づき、本研究「高解像度アンサンブル予測に基づく水稻障害に対する確率予測システムの構築」を立案するに至った。多数のメンバーからなる気象予測データを用いて、低温の発生リスクを予測するシステムを開発する。従来の方法である決定論による障害予測(1つの気象予測のみ用いる)と比較し、水稻障害におけるアンサンブル予測の利点と課題を明らかにする。気象分野ではアンサンブルの概念は広く認識され、現業の気象予測でも用いられているが、農業分野ではまだ十分ではない。本課題は、冷害を対象に気象予測で用いられているアンサンブル手法を農業へ導入し、気象の変化に強い安定したコメ生産に貢献する。

### 3. 研究の方法

気象予測と水稻生育予測を組み合わせるアンサンブル予測システムを構築した。気象予測には Fukui et al. (2014, JMSJ)で作成された東北地方を5kmメッシュでカバーするアンサンブルデータを利用した。アンサンブル数は9で、このうち摂動を用いないメンバーを単独予報とした。予報期間は2000-2009年の7月10日、7月20日、7月31日、8月10日、8月20日を初期値とする14日間(述べ140日)とした。検証には同期間のAMeDAS観測値を用いた。単独予報、アンサンブル予報の有効性を検証するため、過去(1980-2009年)のAMeDAS観測値のみを用いた予報を行い、気候値予報とした。単独およびアンサンブル予報はこの気候値予報よりも誤差が小さいことが求められる。

水稻生育モデルには Hasegawa/Horie (Yoshida et al. 2015, CR)を用いた。H/Hモデルは日長や気温に対する日々の成長を品種ごとに算出することが可能で、本研究では東北地方各県で栽培面積が最大となる品種を設定した。単独予報、アンサンブル予報、気候値予報から得られる気象データをH/Hモデルに入力し、生育予測実験を行った。穂ばらみ期の日平均気温が22℃を下回った量を積算した値を冷却量と定義し、3種類の予報がAMeDAS観測値をH/Hモデルに入力して得られた値を再現できるかを検証した。

### 4. 研究成果

14日間の予報期間を1-5日予報、6-10日予報、11-14日予報の3段階に分け、アンサンブル予報から算出される冷却量の二乗平均平方根誤差(RMSE)とスプレッド(アンサンブルメンバー間の標準偏差)の対応を調べた(図1)。1-5日予報では東北全体を通してRMSEは2以下、スプレッドは1以下であり、明瞭な地域間差は見られなかった。6-10日予報では東北北部および標高の

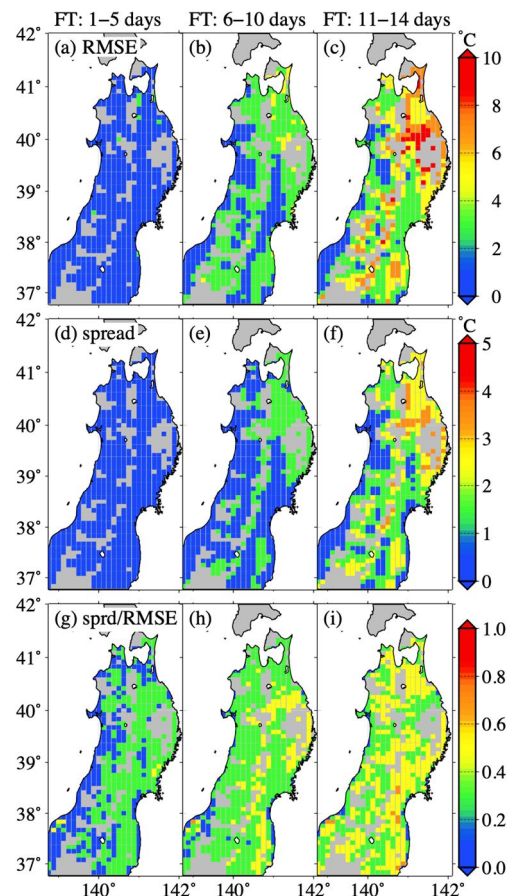


図 1. 冷却量のアンサンブル予報に対する(a-c)RMSE, (d-f)スプレッド, (g-i)スプレッド/RMSE 比の分布。灰色の部分は10kmメッシュ内の水田の面積率が1%以下の地点を表す。

高い地域で RMSE およびスプレッドの増加が見られた。11-14 日予報は東北部の太平洋側での RMSE の増加が顕著で 10 前後となり、スプレッドは 3 前後であった。なお、予報期間全体を通して日本海側平野部で RMSE およびスプレッドがほぼ 0 の地域が見られた。これは、予報システムの精度が高いためではなく、観測値と予測値の冷却量がいずれもほぼ 0 であることが原因であった。ここで、理想的なアンサンブルシステムでは RMSE とスプレッドの比は 1 になることが知られている。本研究でスプレッド/RMSE の値を算出すると、1-5 日予報で 0.3、6-10 日予報で 0.4、11-14 日予報で 0.5 となり、予報期間後半ではスプレッドがある程度確保されているものの、前半では十分表現されていなかった。

構築したシステムは 10 日ずつ初期値をずらした 14 日間予報のため、ある予報の 11-14 日目は次の予報の 1-4 日目と重なっている。そのため、両者の冷却量の RMSE を比較して予報を更新することの有効性を検討した(図 2)。季節の進行とともに 1-4 日予報にアップデートすることの効果が大きくなり、11-14 日予報に対する 1-4 日の予報の改善率(1 に近づくほど改善)は、重複期間のはじめである 6 月 21 日-24 日では 0.3、8 月 21-24 日では 0.8 であった。6 月下旬では 1-4 日予報と 11-14 日予報のどちらを用いても冷却量予測の精度の差は小さいが、8 月下旬に対しては最新の予報を用いることが特に重要であることが明らかになった。

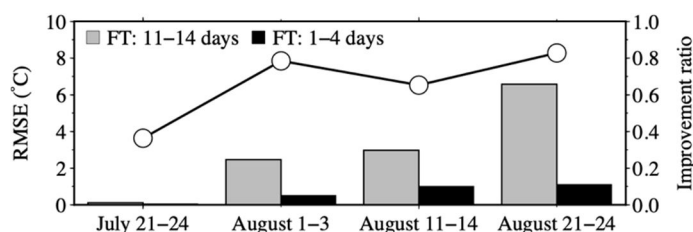


図 2. アンサンブル予報による RMSE の季節変化。灰色が 11-14 日予報、黒色が 1-4 日予報の RMSE を表す。白丸は 11-14 日予報と 1-4 日予報の RMSE の差を 1-4 日予報の RMSE で割った値。

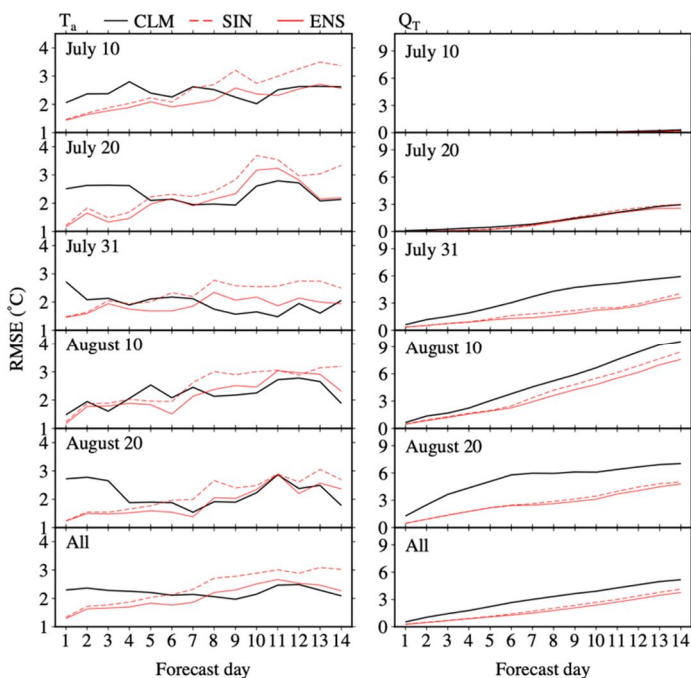


図 3. (左) 気温および(右)冷却量予測の RMSE の時間発展。黒線は気候値予報、赤点線は単独予報、赤実線はアンサンブル予報を表す。各図左上の日付は初期条件の日を表し、All は 5 つのケースの平均値。

単独予報、アンサンブル予報、気候値予報それぞれの誤差の時間発展を調べた(図 3)。単独予報が気候値予報より低い RMSE を維持するのは 5 日目までで、以降は予測値を用いない気候値予報の方が RMSE は低くなった。アンサンブル予報は 7 日目まで RMSE が気候値予報より低く、アンサンブル予報を用いることで予測可能性が 2 日延長された。また、冷却量は 14 日間の予報期間全体を通して単独予報およびアンサンブル予報は気候値予報より RMSE が小さかった。アンサンブル予報は単独予報よりも RMSE は小さいものの、両者の差は 1 未満であった。気温と冷却量に予測可能性の差が見られた要因を検討すると、気温の日々の変動幅はいずれの予報においても 2 前後で同程度で観測値と整合的であったが、変動パターン(相関係数)は単独予報とアンサンブル予報は 0.5 程度、気候値予報は 0.1 と大きく異なった。これは気候値予報は日々の気温の上下をほぼ再現できていないことを示している。そのため、冷害予測は気温の変動幅も重要であるものの、日々の変動パターン

の再現性がより求められることが明らかになった。

本研究により、東北地方の夏の気温の予測可能性は 5 日で、アンサンブル予報を導入することで 2 日延長できることが明らかになった。また、冷却量については 14 日間の予報期間全体を通して単独予報およびアンサンブル予報は気候値予報よりも精度が高かった。本研究での課題として、予報初期のスプレッド/RMSE 比が小さいことが挙げられる。アンサンブル数を増加させる方法として、本研究で扱った初期値の他、使用するモデルを複数にするマルチモデルアンサンブルが挙げられる。複数要素のアンサンブルを導入することにより、予報初期のスプレッドの不足を解消することが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ryuhei Yoshida, Shin Fukui, Shin Fukui, and Takeshi Yamazaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Applicability of meteorological ensemble forecasting to predict summer cold damage in rice growth	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Meteorology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 吉田龍平, 飯泉仁之直
2. 発表標題 農業気象災害は過去の気候変動でどう変化してきたか？
3. 学会等名 日本農業気象学会2019年全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西原是良, 高橋大輔, 福井眞, 吉田龍平, 玉城絵美
2. 発表標題 気候変動が米生産にあたる質と量の変化の評価
3. 学会等名 2019年度日本農業経済学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuhei Yoshida, Masashi Okada, Masayuki Yokozawa
2. 発表標題 Assessment of future global crop failure for maize and soybeans based on the DSSAT simulation
3. 学会等名 AGU 2018 fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田龍平, 横沢正幸
2. 発表標題 気候の不安定化が世界の食料安全保障に与える影響の評価
3. 学会等名 日本気象学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukinaga Nishihara, Daisuke Takahashi, Shin Fukui, Ryuhei Yoshida, Emi Tamaki
2. 発表標題 valuation of the Economic Effect of Climate Change on Rice Production in Japan: The Case of Koshihikari
3. 学会等名 30th international conference of agricultural economists (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田龍平, 福井眞
2. 発表標題 気候変動を背景としたコメ収量変動の将来変化と適応策の立案
3. 学会等名 日本農業気象学会2018年度全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田龍平
2. 発表標題 気候変動に伴うコメ収量の安定性の評価
3. 学会等名 第14回ヤマセ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田龍平, 福井眞
2. 発表標題 大規模アンサンブル水稲生育シミュレーションによる気候変動に伴うコメ生産の安定性の評価
3. 学会等名 気象学会東北支部研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田龍平, 福井眞
2. 発表標題 気候変動に伴うコメの安定生産に向けた適応策の検討
3. 学会等名 日本気象学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田龍平, 福井眞, 福井眞
2. 発表標題 高解像度アンサンブル気象データを用いた冷害の発生予測
3. 学会等名 日本気象学会2016年度秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 吉田龍平, 福井眞, 福井眞
2. 発表標題 品種別シミュレーションに基づく冷害の予測可能性
3. 学会等名 日本農業気象学会2017年全国大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----