

## アンサンブルハインドキャスト実験結果を用いた イネ葉いもち感染確率予報の精度検証

紺野 祥平\*1・大久保 さゆり\*2・菅野 洋光\*3・福井 真\*4  
吉田 龍平\*5・岩崎 俊樹\*4・小林 隆\*6

### 要 旨

東北地方を対象とした過去10年間(2000年~2009年)のアンサンブルハインドキャスト実験結果(以下, 気象予測値)を用いて, 2週間先までの葉いもち感染確率予報を試みた。本研究では, 気象予測値を葉いもち発生予察モデル(BLASTAM)に適用し予測の予察結果を求め, アンサンブルメンバー毎の予察結果から葉いもち感染確率を算出した。そして, アメダス気象実況値を同予察モデルに適用して求めた現況の予察結果と比較を行うことにより, 感染確率予報の精度検証を行った。

気象予測値が総観場を良く再現できた日には, 感染確率予報値が高くなると共に, 現況の予察結果における「感染あり」の割合が高くなる傾向が認められ, 本研究で試みた葉いもち感染確率予報の有用性が示された。今後, さらに精度の高い予報を行うためには, 予察モデルの入力値となる気象要素の予測精度の向上が重要であることが示唆された。

### 1. はじめに

イネいもち病は, コメの収量や品質の低下をもたらす水稻の重要病害である。いもち病はその感染部分により, 葉いもちと穂いもちに大別される。このうち葉いもちについては, いもち病菌の胞子が葉に付着することで侵入菌糸が生成され, イネ体内に侵入することで感染する。いもち病菌の侵入には, 水稻葉面の濡れ時間と濡れ時間中の平均気温が影響するため, その感

染要因について, これまで気象学的な観点からも検証がなされてきた(例えば, 吉野 1973; 山口 1984; Kim and Mogi 1986)。これらの知見に基づき, 越水(1988), 林・越水(1988)は, 葉いもち感染の有無を, 気象庁の地域気象観測システム(以下, アメダス)から得られる気温, 降水量, 風速, 日照時間を用いて予察できる, 葉いもち発生予察モデル(以下, BLASTAM)を開発し, いもち病感染に関する予察法の発展に大きく貢献した。大久保ほか(2015)はさらに, BLASTAMに高解像度気象データ(アメダス観測値を空間内挿した空間分解能1 kmのメッシュデータ)を用いることで, 34年間における東北地方の葉いもち感染危険度の年々変動および水平分布を明らかにした。

このように, BLASTAMによる葉いもち感染予察に関する研究において, 多くの成果が挙げられてきた。しかし, 予察の判定結果は, 「感染あり」または「感染なし」のいずれかで表されるため, 予察の精度が十分でない現段階においては, 特にいもち病被害防止(薬剤散布など)に多くの費用を要する農業現場に

\*1 (連絡責任著者) 農研機構東北農業研究センター(現: 農研機構果樹研究所)。  
shoheikonno@affrc.go.jp

\*2 農研機構東北農業研究センター。

\*3 農研機構中央農業総合研究センター。

\*4 東北大学大学院理学研究科。

\*5 東北大学大学院理学研究科(現: 福島大学共生システム理工学類)。

\*6 山形大学農学部。

—2015年1月13日受領—

—2015年6月30日受理—

として、予報の当たり外れの影響が大きい予察法と言える。近年、気象予報の分野では、台風予報や天気予報および長期の天候予測にアンサンブル予報が利用されている。アンサンブル予報は、多数の予測計算を行った上で、その平均やばらつきの程度といった統計的な性質を利用して最も起こりやすい現象を予報するもので、予報のもつ不確定さを考慮した確率的な予測を可能にする（気象庁；<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-8.html>, 2015.6.17閲覧）。そこで本研究では、アンサンブル予報のもつ確率論的予報技術を応用し、葉いもちの感染確率予報を試みた。本研究では、東北地方における過去10年間（2000年～2009年）のアンサンブルハインドキャスト実験結果を用いて、アンサンブルメンバーによる葉いもち感染確率予報の精度を検証することを目的とする。

## 2. 方法

### 2.1 対象地域と対象期間

対象地域は青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県の東北地方6県とし、対象年はBLASTAMに適用する気象データが整った2000年から2009年の10年間とした。各年における対象日は、葉いもち感染の危険性が高まる時期を踏まえ、6月21日～8月3日（葉いもち初感染期前～収穫期頃）とした。

### 2.2 BLASTAMに適用する気象実況値および予測値

BLASTAMに適用する気象要素の実況値および予測値を以下に示す。

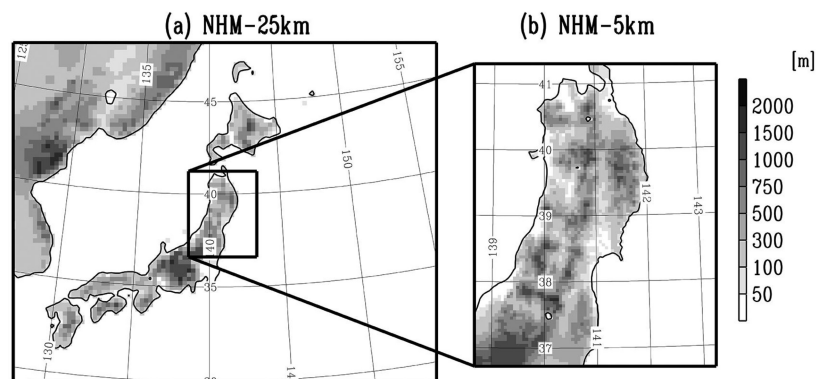
実況値として、アメダス観測値（1時間値）を1 km メッシュ化したデータ（以下、気象実況値）を用いた。メッシュの値は、各メッシュに対して、近傍4地点のアメダス観測点の値を観測点からの距離の二乗で除し、空間内挿して求めた。気温についてはメッシュの標高に応じた高度補正を施した。なお、気象実況値を用いたBLASTAMの精度については、地形の起伏が小さな平坦地において、葉いもち感染の危険性を表現する有効な手段であ

ることが示されている（大久保ほか 2015）。

予測値として、アンサンブルハインドキャスト実験結果（Fukui *et al.* 2014：以下、気象予測値）を用いた。気象予測値は、9メンバーで構成された水平解像度1.25°の気象庁1か月アンサンブルハインドキャストデータ（以下、全球予測値）の各メンバーに対し、気象庁非静力学モデル（Saito *et al.* 2007：以下、JMA-NHM）によるダウンスケールを施したデータである。このダウンスケールの概要は以下のとおりである。まず、全球予測値を初期値・側面境界値として与え、水平解像度25 kmのJMA-NHMで、第1図aに示す領域において、6月20日、6月30日、7月10日、7月20日の各日の21JSTから339時間の連続積分を行った。そして、水平解像度25 kmへダウンスケールした結果を、初期値・側面境界値として、水平解像度5 kmのJMA-NHMで、第1図bに示す領域において計算を行った。この際、水平解像度25 kmの計算のスピニングアップを考慮し、計算開始時刻を3時間後ろにずらし、336時間の連続積分を行った。鉛直層は、水平解像度25 km、5 kmのいずれの計算においても40層とした。なお、気象予測値の気象実況値に対する気温のバイアスの大きさを求めたところ+0.9°C程度であり、BLASTAMにおいては、この程度の誤差であれば、「感染あり／なし」の判定結果は変わらない。従って、バイアス補正の有無が予報精度の検証結果に影響することはないと判断し、本研究ではバイアス補正を施さず計算を行った。

### 2.3 気象予測値の精度検証

BLASTAMを用いた葉いもち感染予測の精度検証



第1図 JMA-NHMによる力学的ダウンスケールの計算領域、(a)水平解像度25 kmの計算領域、(b)水平解像度5 kmの計算領域。陰影はモデル標高。Fukui *et al.* (2014) Fig.2を基に作成。

を行うにあたり、予察モデルの入力値となる気象予測値の精度を把握した。本研究では、各予測日（初期値設定日からの予測経過日数）について、気象予測値と気象庁長期再解析データ（JRA-55: Kobayashi *et al.* 2015）の850 hPa 高度の値を用いて平均二乗誤差（以下、root mean squared error: RMSE）を算出し（第2図の1a）、気象予測値による総観場の再現性を検証した。RMSEの算出には、10°N~60°N、100°E~160°Eの領域における1.25°間隔の格子点データ（00UTCと12UTCにおける高度場の平均値）を使用した。

#### 2.4 感染好適条件の判定と感染確率の算出

BLASTAMは、水稻葉面の濡れ時間と濡れ時間中の平均気温をアメダス観測値から推定し、葉もち感染の危険度を日単位で判定するシステムである（越水1988；林・越水1988）。計算には当日を含む過去5日間の日平均気温と、前日からの気温、降水量、風速、日照時間の特別値が用いられる。葉面湿潤時間は4 mm/h未滿の降水の持続時間として定義される。降水量の条件が4 mm/hであるのは、強雨の場合には胞子が葉面から流され定着しないことを想定している。また、4 mm/h未滿の降水の持続時間中に5 m/sを超える風速または1時間を超える日照時間があつた場合、葉の濡れは継続しないと判定される。予察結果は、「感染危険なし」、「準感染好適条件」および「感染好適条件」で表される。このうち、「準感染好適条件」と「感染好適条件」については、当該の日を含む過去5日間の平均気温を用いて、病原菌の感染能力が5段階に細分される。なお、BLASTAMの詳細なアルゴリズムは、林・越水（1988）に掲載されている。

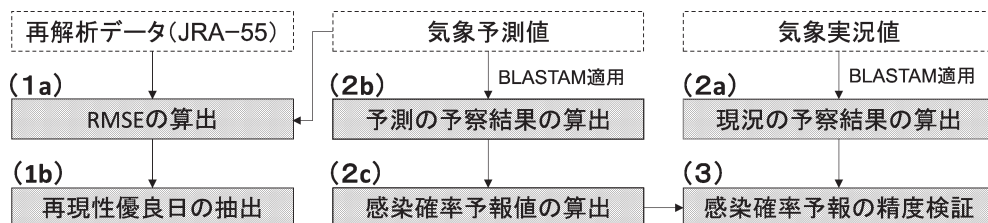
本研究では、気象実況値をBLASTAMに適用することにより、現況の予察を行った（第2図の2a）。予察結果は、「感染危険なし」については「感染なし」とし、「準感染好適条件」および「感染好適条件」に

ついては、大久保ほか（2015）と同様に、両者をまとめて「感染あり」として扱った。予察の対象は、国土数値情報土地利用3次メッシュデータ（1976年度）を参照し、水田または畑地が存在するメッシュとした。また、空間内挿による気象要素の誤差が大きくなりやすい高標高地域を除くため、1 kmメッシュ内の平均標高が1000 m未滿のメッシュのみを扱った。

つぎに、気象予測値をBLASTAMに適用し、予測の予察結果を求めた（第2図の2b）。BLASTAMでは、当該の日を含む過去5日間の平均気温を用いて、病原菌の感染能力を気温から細かく判定している。そのため、10日おきに計算される2週間先までの予測データである気象予測値をBLASTAMに適用すると、5日先~14日先の予測日の結果が計算され、4日先より以前の予測日の結果は得られない仕組みとなっている。しかし本研究では、感染の有無に関する情報のみをなるべく初期値に近い時間から得たかったため、BLASTAMの計算から過去5日間の平均気温を用いる部分を除き、2日先の予測日以降について予察を行えるようにした。本研究では、この改良したBLASTAMによってメッシュ毎に計算された各アンサンブルメンバーの予察結果から、メッシュ毎の「感染あり」の割合を計算し、葉もち感染確率予報値とした（第2図の2c）。なお、アンサンブルメンバー数は全部で9つであるため、感染確率予報値は11.1%、22.2%、33.3%、44.4%、55.6%、66.7%、77.8%、88.9%、100.0%のいずれかの値となるが、ここではそれぞれの値を11%、22%、33%、44%、56%、67%、78%、89%、100%として表す。

#### 2.5 葉もち感染確率予報の精度検証

現況と予測の予察結果を用いて、気象予測値が総観場を良く再現できた日（以下、再現性優良日）における葉もち感染確率予報の精度を検証した（第2図の3）。気象庁では、降水確率予報の精度を検証する際



第2図 解析手順。

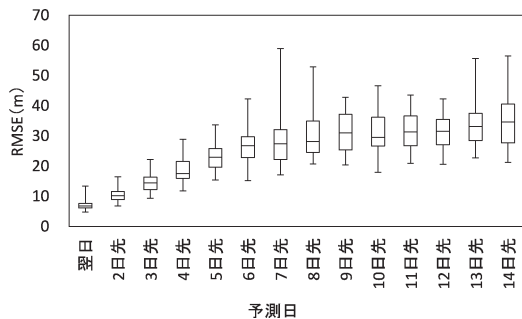
に、天気予報にて10%きざみで発表した6時間単位の「降水の有無」の確率に対して、実際に1mm以上の降水があった割合を示している(気象庁; <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/kensho/explanation.html>, 2015.6.17閲覧)。本研究ではこの手法を葉いもち感染確率予報に応用し、予測の予察結果における葉いもち感染確率予報値の各階級に対し、現況の予察において「感染あり」の判定があった割合を求め、両者の対応関係をみた。

### 3. 結果・考察

#### 3.1 気象予測値における総観場の再現性

はじめに、気象予測値における総観場の再現性と予測日の関係を見た。予測日とRMSEの関係を第3図に示す。全体的には予測日の経過とともにRMSEは増加した。RMSEの中央値をみると、翌日は10m未満、2日～4日先は10m以上20m未満、5日先以降は20m以上40m未満の値で推移し、予測日間のRMSEの差は4日先と5日先の間で最も大きくなった。そこで本研究では、RMSEが20m未満の日を再現性優良日とした(第2図の1b)。

再現性優良日の日数は合計127日となり、全体の9割近くが翌日～4日先の予測日で占められていた(第4図)。翌日と2日先の予測日の日数はそれぞれ40日となり、翌日と2日先の事例日の全てが再現性優良日として選ばれた。なお、各予測日における気圧配置と気象予測値の総観場の再現性については、予報期間中に気圧配置の変化が小さいとき(数日間にわたり太平洋高気圧が日本列島を覆う場合や、前線が停滞するな

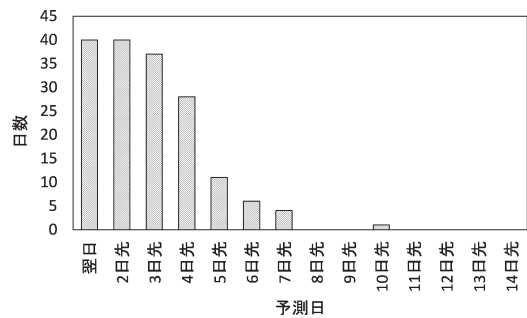


第3図 予測日とRMSEの関係。箱の上辺、中央線、および下辺はそれぞれ第1四分位点、中央値、第3分位点を表す。箱から上下に伸びる鬚はそれぞれ最大値、最小値を表す。

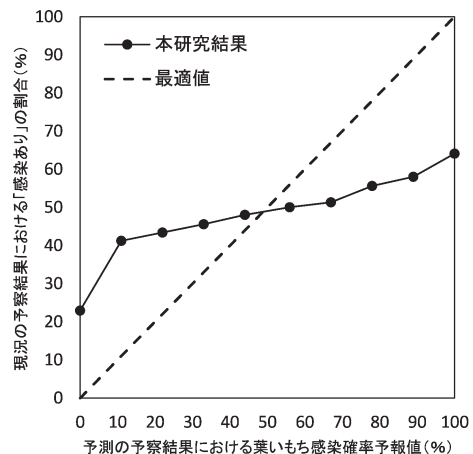
ど)には、より先の時間まで総観場が良く再現される場合が多くみられた。一方、期間中に気圧配置の変化が大きいとき(台風や低気圧が発達しながら移動する場合など)には、精度の高い予測はせいぜい翌日～2日先程度が限度である場合が多かった。

#### 3.2 葉いもち感染確率予報の精度

予測の予察結果における葉いもち感染確率予報値と現況の予察結果における「感染あり」の割合を第5図に示す。本研究における確率予報の結果をみると、全体的には感染確率予報値が高くなると共に、現況の予察結果における「感染あり」の割合が高くなる傾向が認められ、本研究で試みた葉いもち感染確率予報の有用性が示唆された。本研究の予報結果を、最も良い予報を行った場合の対応関係(第5図中の破線)と比べると、0%～40%の感染確率予報値では現況の予察に



第4図 各予測日における再現性優良日の日数。



第5図 予測の予察結果における葉いもち感染確率予報値と現況の予察結果における「感染あり」の割合。

おける感染頻度は高めになっており、60%~100%の感染確率予報値では現況の予察における感染頻度は低めになった。今後、予測精度を向上させるためには、感染確率予報値と現況の予察における感染頻度の対応関係を、最も良い予報を行った場合の関係にできる限り近づける必要がある。BLASTAMによる葉いもちの予察においては、気温や降水量などの気象データが入力値となるため、日本付近における広域な気圧場が再現できた日においても、局地性の強い各気象要素までは十分に再現できない場合も考えられる。今後は、感染確率予報の精度向上に向けて、気象予測値における各気象要素の精度についてさらに詳しく検証すると共に、予察に対する各気象要素の影響について調べる必要がある。

また、葉いもち感染確率予報の精度を改善するにあたり、気象実況値による現況の予察結果の信頼性をさらに向上させることも重要となる。今回用いた予察結果は、対象地域全体としては十分な精度をもっているが、地域によっては実際の葉いもちの被害状況との対応が良くない場合もみられる(大久保ほか 2015)。今後は、このような地域における予察精度も高めることで、感染確率予報の精度の改善に努めたい。

#### 4. まとめ

東北地方を対象とした過去10年間(2000年~2009年)のアンサンブルハインドキャスト実験結果を用いて、2週間先までの葉いもち感染確率予報の精度検証を行った。

気象予測値が総観場を良く再現できた日には、感染確率予報値が高くなると共に、現況の予察結果における「感染あり」の割合が高くなる傾向が認められ、本研究で試みた葉いもち感染確率予報の有用性が示された。今後、予報の精度を向上させるためには、気象予測値における各気象要素の精度についてさらに詳しく検証すると共に、予察に対する各気象要素の影響について調べる必要がある。

#### 謝 辞

本研究は、文部科学省気候変動適応研究推進プログ

ラム「東北地域のヤマセと冬季モンスーンの先進的ダウンスケール研究」により実施されました。気象庁1ヶ月アンサンブルハインドキャストデータは、気象庁気候情報課よりご提供頂きました。

#### 参 考 文 献

- Fukui, S., T. Iwasaki and W. Sha, 2014: An ensemble downscaling prediction experiment for medium-range forecast of the daily mean surface temperature distribution over northeastern Japan during summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **92**, 505-517.
- 林 孝, 越水幸男, 1988: 葉いもち発生予察のコンピュータプログラム(BLASTAM)の開発. 東北農業試験場研究報告, (78), 123-138.
- Kim, C. K. and S. Mogi, 1986: Effect of temperature treatments on the penetration and disease development in the leaf epidermis by the rice blast fungus, *Pyricularia oryzae* CAVARA 1. Effect of pre- and postdisposing temperature on the disease development of rice blast. *Ann. Phytopath. Soc. Japan*, **52**, 184-192.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.
- 越水幸男, 1988: アメダス資料による葉いもち発生予察法. 東北農業試験場研究報告, (78), 67-121.
- 大久保さゆり, 菅野洋光, 小林 隆, 2015: 高解像度気象データを用いた東北地方におけるイネ葉いもち発生予察モデル(BLASTAM)の検証. *天気*, **62**, 5-15.
- Saito, K., J. Ishida, K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita and Y. Honda, 2007: Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85B**, 271-304.
- 山口富夫, 1984: 稲いもち病・紋枯病の発生生態に関する研究. *日本植物病理学会報*, **50**, 304-306.
- 吉野嶺一, 1973: イネいもち病菌の侵入に関する予察的研究 II 接種温度と侵入率の経時変化. *日本植物病理学会報*, **39**, 186.

## Accuracy Verification of Probability Forecast for Rice Leaf Blast Using Ensemble Hindcast Experiments

Shohei KONNO<sup>\*1</sup>, Sayuri OKUBO<sup>\*2</sup>, Hiromitsu KANNO<sup>\*3</sup>, Shin FUKUI<sup>\*4</sup>,  
Ryuhei YOSHIDA<sup>\*5</sup>, Toshiki IWASAKI<sup>\*4</sup> and Takashi KOBAYASHI<sup>\*6</sup>

<sup>\*1</sup> (*Corresponding author*) NARO Tohoku Agricultural Research Center (*Present affiliation: NARO Fruit Tree Science, 2-1 Fujimoto, Tsukuba, Ibaraki 305-8605, Japan*).

<sup>\*2</sup> NARO Tohoku Agricultural Research Center.

<sup>\*3</sup> NARO Agricultural Research Center.

<sup>\*4</sup> Faculty of Science, Tohoku University.

<sup>\*5</sup> Faculty of Science, Tohoku University (*Present affiliation: Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University*).

<sup>\*6</sup> Faculty of Agriculture, Yamagata University.

(Received 13 January 2015; Accepted 30 June 2015)

### Abstract

This study attempted to make a probabilistic prediction of rice leaf blast over Tohoku region using ensemble hindcast data from 2000 to 2009. In this paper, accuracy of the probability forecast was assessed by comparing the probability value and occurrence rate which were calculated from forecast and observed outcome of the rice leaf blast, respectively. Our result suggested that forecast accuracy of the ensemble data accounted for accurate probability forecast for rice leaf blast. In the cases when the ensemble data could properly predict future state of meteorological field, the occurrence rate of the rice leaf blast increased with an increase in the probability value, which suggested practical use of our forecasting approach.

---