

## 2 週目の予測情報の利活用に向けた取り組み

### ～農業分野に利活用するための応用技術開発について～

宮脇 祥一郎・野津原 昭二・大澤 和裕・前田 修平（気象庁・気候情報課）

#### 1. はじめに

季節予報や異常天候早期警戒情報などの短期的な気候予測情報の精度は、予測技術の進歩や関係する現象との予測可能性の理解の進展により年々向上している。一方、予測情報の利活用に関しては、十分進んでいるとは言いがたい。現在の季節予報などは、地域平均を対象としていたり、気象庁が定めた気温などの階級区分値を用いたりしているため、各ユーザーにとっては、必ずしもピンポイントで利用しやすいものになっているとはいえない。発表される気候予測情報を（できる限りシンプルに）加工することで、よりユーザーの行動の意思決定に使いやすい情報になることが示されれば、今後、気候予測情報の利活用が進むと考えられる。

気象庁では、気候の予測情報の利活用の先進的な取り組みとして東北農業研究センター（以下、東北農研）、東北大学と共同研究を実施している。本研究の目的は、短期的な気候予測情報を利用し、気候の影響を大きく受ける農業分野での利用に適した予測情報を作成し、実用化することである。将来的には、今回の共同研究で得られた知見を、農業をはじめとした産業分野に広く普及させることにより、気候予測情報の利活用を促進していくというねらいもある。

具体的には、現在1週目まで運用されている、1 km メッシュ農業向け気象予測情報を2週目まで延長し、水稻のやませによる低温

被害への対策準備期間をより長くすることを目指している。また、1か月予報モデルの予測結果の、より解像度の高いモデルを用いた力学的ダウンスケール（アンサンブルダウンスケール）の可能性や有用性についても研究していく予定である。

#### 2. 予測メッシュの作成

2週目にかけての1 km 気温予測メッシュの作成には、東北農研作成の1 km メッシュ気温平年値・標準偏差と気象庁の異常天候早期警戒情報（以下、早警）のガイダンス（図1）を用いた。

東北地方の1 km メッシュ気温の平年値・標準偏差は東北農研が日々計算している1 km メッシュ日平均気温から計算したものである（対象期間は、1981~2010年の30年）。

1 km メッシュ日平均気温は、アメダス地点の日平均気温データを目的変数、アメダス観測点の存在する1 km メッシュの地形因子を説明変数として重回帰分析を行い、地形因子を用いた気温推定式を求め、東北地方の7万数千点のメッシュについて地形因子から気温を推定し、実測値からの残差補正等を行って求められたものである。これは特にやませの吹走時に高精度に気温を推定するよう、地形因子が選択されている。詳細は菅野（1997）に詳しく、現在運用されているものは、ここから高層データを除いたものとなっている。

早警ガイダンスは、1981~2010年の30年

分の1か月予報アンサンブルモデルのハイ  
ンドキャストからMOS方式の重回帰分析に  
より作成されており、各地域細分区の地域平  
均平年偏差を予測対象としている。予測の入  
力に使う要素は、地上2m気温、降水量、  
500hPa高度場、北西風・北東風（500・  
850hPa）の計7要素のアンサンブル平均値  
で、気温の予測には地上2m気温を強制変数  
として採用している。詳細は伊藤（2008）  
に詳しく、現在の運用版は入力に850hPa気  
温の代わりに、上記のように地上2m気温を  
使用したものである。ハインドキャストを用  
いることから、早警ガイダンスでは、予測モ  
デルの統計的なバイアスが除かれ、スプレッ  
ド（誤差幅）も最適化されており、利用の面  
からも適している。

予測メッシュの作成は、基本は各平年値メ  
ッシュに、その位置に対応した地域のガイダ  
ンスの予想確率密度を被せる形で行う。アン  
サンブル平均値（図1の緑の分布の中心）は

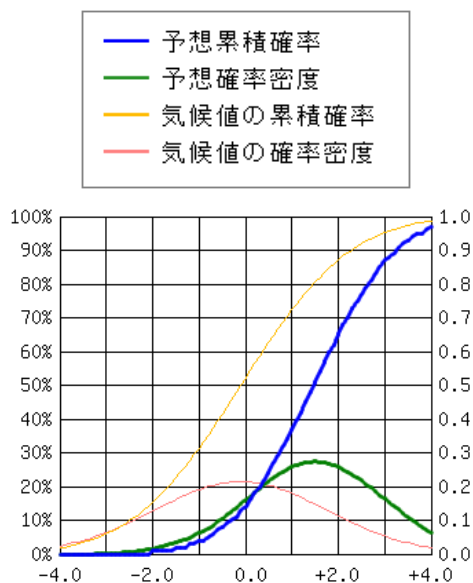


図1 早警ガイダンスの例  
横軸は平年偏差。気象業務支援センターや気象  
庁ホームページから、csvファイルで入手可能。  
<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/cpd/soukei/guidance/>

地域と地点で等しいと仮定し、同じ値を用い  
ている。分布の広がり（誤差幅）については、  
地域平均ガイダンスの分布の広がりを、各メ  
ッシュに合わせて若干補正している。具体的  
には地域平均の標準偏差 $\sigma_r$ と各々のメッシ  
ュ値の標準偏差 $\sigma_m$ の比を用いて、アンサン  
ブル平均値からの偏差に $\sigma_m/\sigma_r$ を乗じて作  
成している。これにより、予測メッシュの変  
動幅が各メッシュの気候的な変動幅に近づ  
き、確率的な精度も上昇する。

今回の東北地方のメッシュ作成には、東北  
太平洋側、東北日本海側の2つのガイダンス  
を用い、各メッシュの市町村コードを基準に  
被せるガイダンスを振り分けている。なお予  
測対象は7日平均気温である。

### 3. 確率情報の利用に向けて

予測メッシュの利用としては、まずは誤差  
が1番小さく見込まれるアンサンブル平均  
値の利用が考えられる。しかし、2週目の予  
測となると、不確実性が大きくなり、誤差幅  
も広がってくる。例えば、予測の前半と後半  
で、アンサンブル平均偏差が同様に $-2^{\circ}\text{C}$ で  
あっても、その意味合いは不確実性の観点か  
ら異なってくる。よって、アンサンブル平均

表1 水稻の冷害・高温障害警戒気温（東北  
農研より）

時期	7月中旬 から 8月上旬 (幼穂形成期～ 出穂期前)	8月上旬 から 8月下旬 (出穂期～ 登熟初期)
警戒気温 (7日平均)	20°C以下	27°C以上
懸念される 症状	障害不稔発生	高温登熟障害
対策	深水管理	水管理

値だけでなく誤差幅も含めて予測情報を利用したいが、そのためには基準となる値（閾値）の決定が必要になる。

今回、水稻向けの情報を作成するに当たり、2つの基準を設定した（表1）。低温の基準は20℃以下で、7月中旬から8月上旬にかけて気温が下がると、花粉の発育障害が起こり、受粉・受精が正常に行われないなどの理由から、収量が著しく下がる危険性が高まる。この対応策としては、田の水深を深くし、小さい穂を保護する管理法（深水管理）などがある。また、高温の基準は27℃以上で、8月上旬から8月下旬にかけて気温が高すぎる場合、高温登熟障害により品質が低下する危険性が高まる。この対応策としては、水をかけ流して地温を下げる水管理などがある。

これらの警戒気温以下（以上）となる確率値を各メッシュで計算し、水稻用の低温（高温）確率メッシュを作成した。実際の利用では、ユーザーは水稻の生育ステージに応じて、自分の農地に対応するメッシュの確率値を参照し、低温・高温障害発生のリスクを少しでも長いリードタイムをもって把握し、対応

に役立てることを想定している。

#### 4. ハインドキャストによる検証

予測情報の的確な提供・利用のためには、その精度をあらかじめ確認しておく必要がある。そのため、1981~2010年を対象とする過去事例の大規模な1か月予報実験（ハインドキャスト）の結果を用いて予測メッシュを作成し、東北地方の17地点の地上気象観測所の観測値と比較して、精度検証をした。ハインドキャストでの早警ガイダンスは、基となる1か月予報アンサンブルモデルのメンバー数が5メンバーであり、50メンバーを使用する運用版ではこれ以上の精度が期待できる。また、ハインドキャストでの初期値は毎月10日、20日、月末の3初期値で、年間36回の予報実験を行っていることになるが、運用版では週2回（毎週火・金曜日）とより高頻度になっている。

##### 4.1 アンサンブル平均メッシュの精度

図2は17地点でのアンサンブル平均メッシュ値の精度のグラフである。予測対象は7

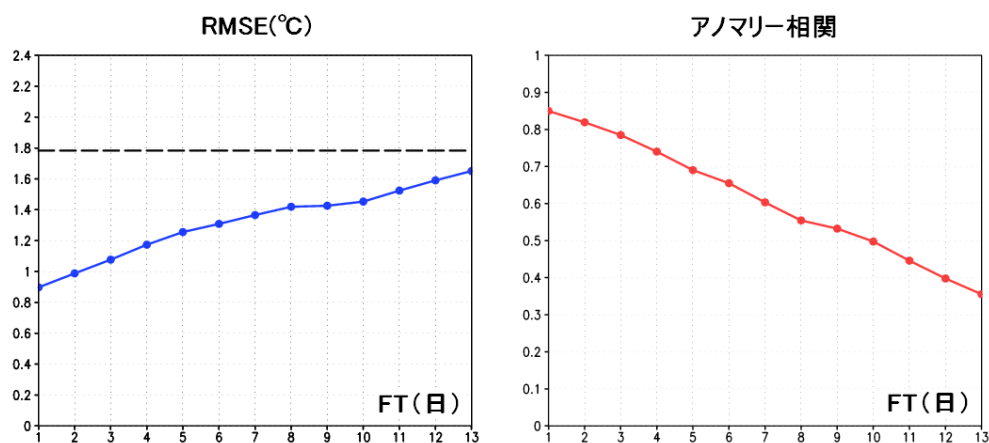


図2 アンサンブル平均メッシュ値の精度（7日平均気温、全初期値・17地点の平均）  
 左図はRMSEで、破線は気候値予報でのRMSEを表している。右図はアノマリー相関。  
 FT=2日が1週目、FT=9日が2週目に対応している。  
 なお、観測地点名は北から、むつ、青森、深浦、八戸、秋田、盛岡、宮古、大船渡、  
 酒田、新庄、石巻、仙台、山形、福島、若松、白河、小名浜

日平均気温であり、横軸は予報時間（FT）からの7日平均気温の精度を表している。FT=9日からの7日平均（週平均）が季節予報での2週目に対応している。RMSEのグラフでは、2週目付近でも気候値予報（破線）と比較して精度が良いことが分かる。アノマリー相関は2週目付近でも0.5以上である。

#### 4.2 確率メッシュの精度

図3、図4は東北の夏季における水稻の冷害・高温障害の警戒気温基準（表1）での確率予測精度の検証図である。

図3の左側の信頼度曲線では、赤実線が斜め45度の対角線に概ね沿っており、確率予測値（横軸）と実況の出現率（縦軸）に近い

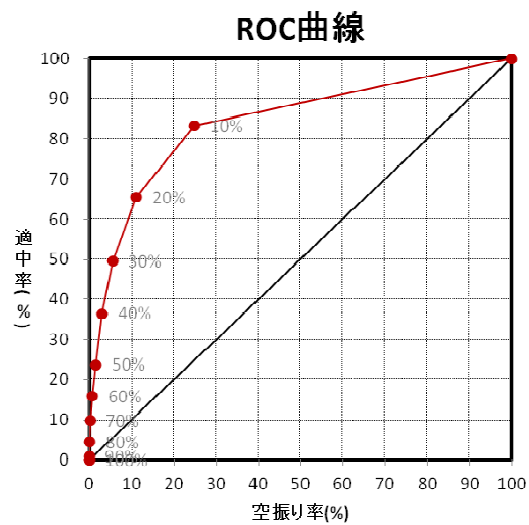
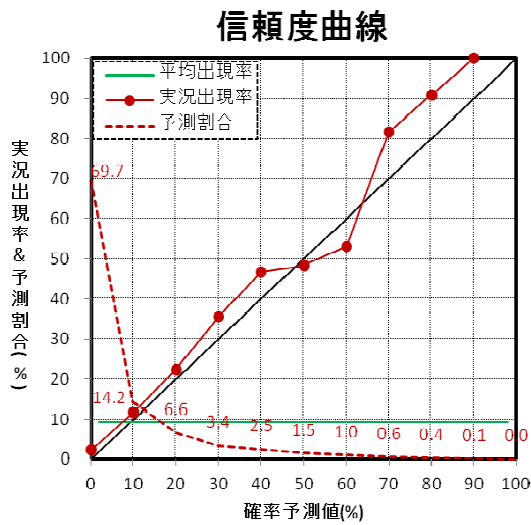


図3 低温確率メッシュの精度（サンプル数=6120個）

7月中旬～8月上旬（幼穂形成期～出穂期前）で、7日平均気温が20℃以下となる確率。予測6～9日目からの7日平均気温（2週目付近）が対象。東北地方17地点（地上気象観測所）の予測メッシュを対象。

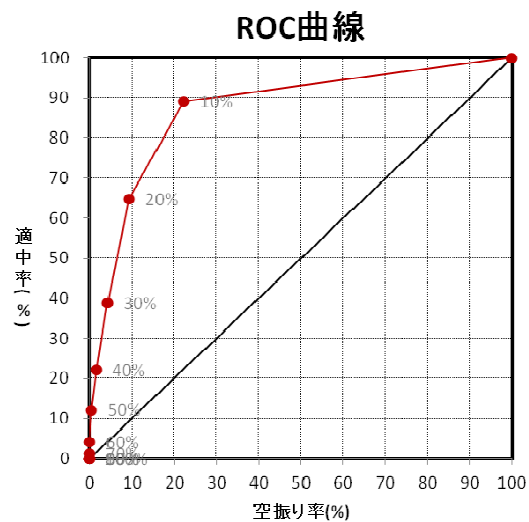
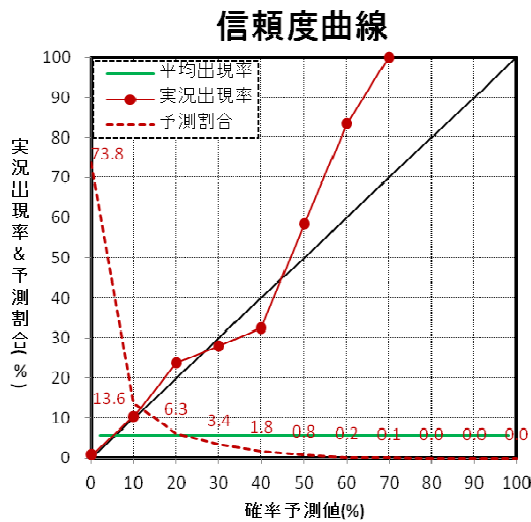


図4 高温確率メッシュの精度（サンプル数=6120個）

8月上旬～8月下旬（出穂期～登熟初期）で、7日平均気温が27℃以上となる確率。他は図3と同様。

ことが分かる。これはメッシュの確率値が概ね適切であることを示している。同様に、高温確率メッシュ（図4）では低温よりも平均出現率が小さくシビアな基準を用いているが、30%程度までは斜めの対角線に沿っている。平均出現率が小さい現象を大きな確率で予測することは困難なため予測割合も小さくなり、大きな確率値ではサンプル数が少ないことに注意されたい。

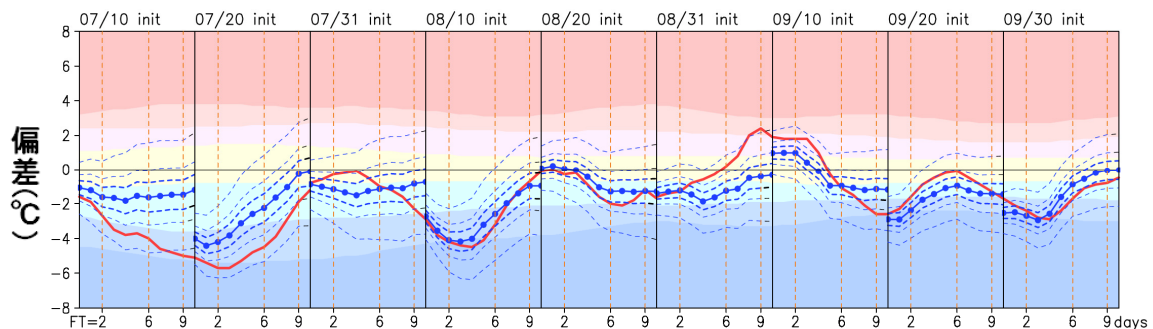
図3、図4の左側のROC曲線は、各確率予測値以上（以下）を現象あり（なし）のカテゴリ予測とした場合において、現象が実現した中で現象ありと予測した割合を縦軸の適中率（捕捉率）、現象が実現しなかった中で現象ありと予測した割合を横軸の空振り率（誤警報率）として、プロットしたものである。

当然、適中が多くて、空振りが少ない方が適切な予測であるから、予測が有用なほど左上の隅に各点が近づく。また、完全にランダムで意味のない予測では、適中率＝空振り率となり、斜め45度の対角線に沿うことになる。低温（高温）確率メッシュでは、ROC曲線が左上に盛り上がっており、意味のある予測となっていることが分かる。

#### 4.3 顕著事例のシミュレーション

2003年は、東北地方の7月の地域平均気温の平年偏差が、1946年以降で最も低温となった年である（2011年12月現在）。図5の上図は、2003年のハインドキャストでの7月～9月初期値の早警ガイドランスである。

#### 2003年夏



#### 1994年夏

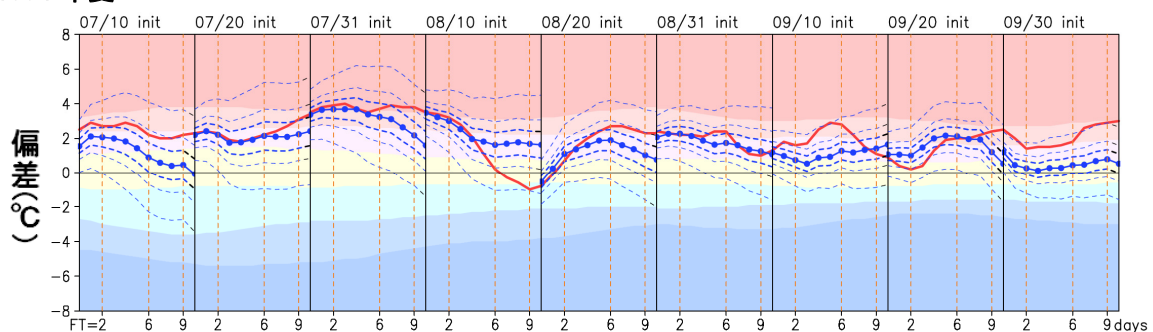


図5 ハインドキャストによる顕著事例のシミュレーション。東北太平洋側の早警ガイドランス。

2003年（冷夏）と1994年（暑夏）について。初期値ごとに時系列的に並べてある。

解説：

赤線＝実況、青線＝予測（実線＝アンサンブル平均、破線＝誤差幅：中心から±20%、±σ、±2σ）

シェードは階級区分（最低、かなり低い、低い、平年並、高い、かなり高い、最高）

FT＝2が1週目、FT＝9が2週目に相当。

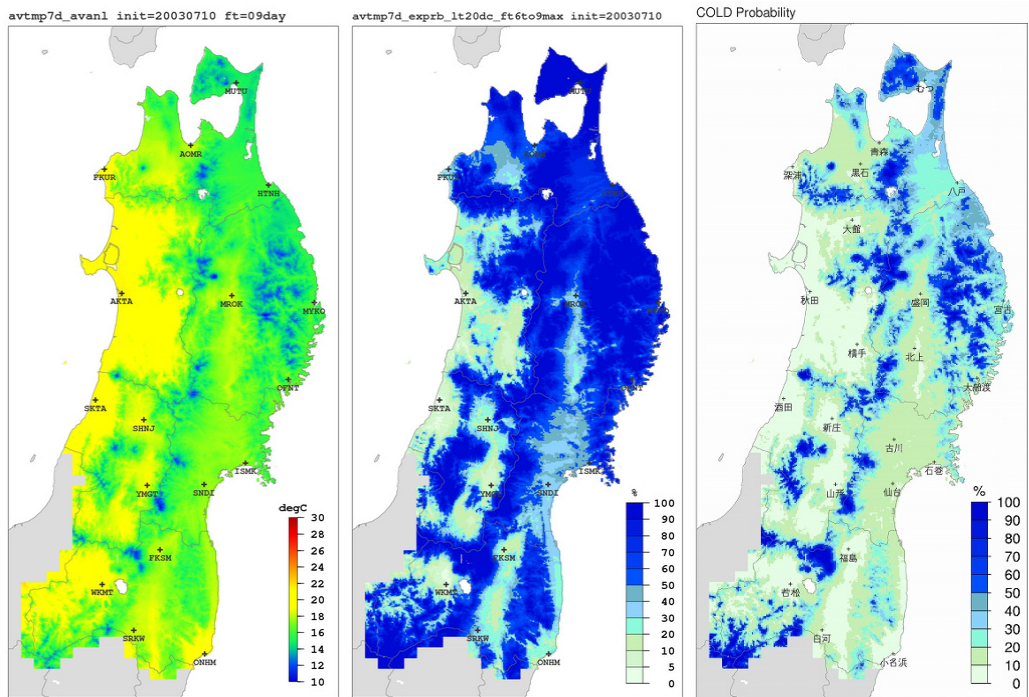


図6 2週目付近の低温確率メッシュの例：2003年7月の事例

(左図) 2003年7月19日からの7日平均気温の実況値(°C)

(中央) 2003年7月10日初期値、FT=6~9日(2週目付近)の20°C以下の最大予測確率(%)

(右図) 低温警戒時期(7月中旬~8月上旬)の20°C以下の実況出現割合(1981~2010年)(%)

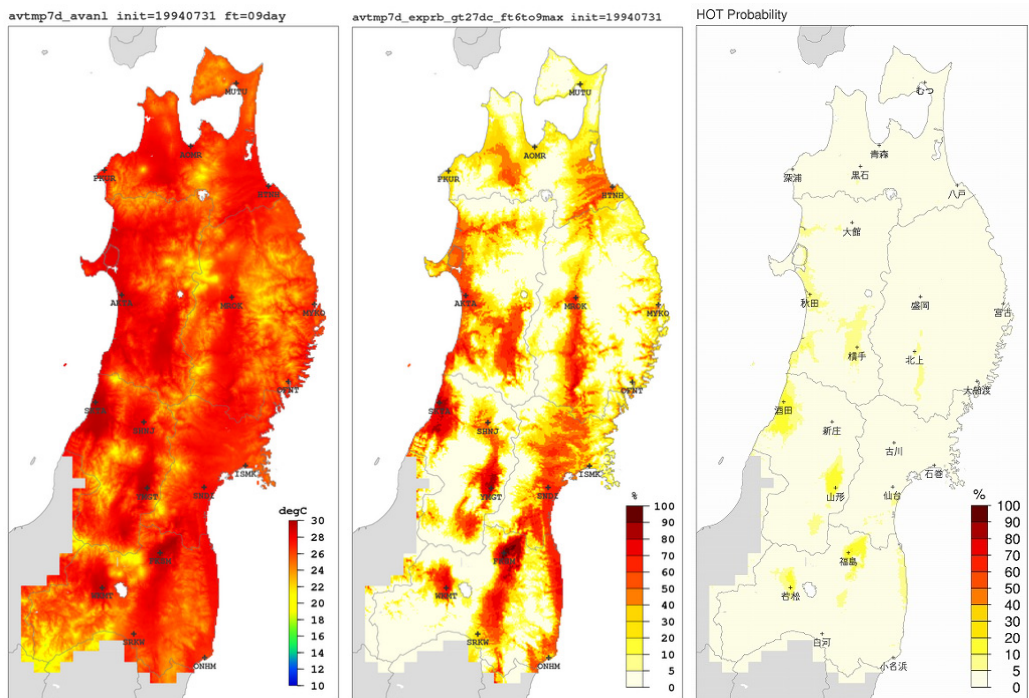


図7 2週目付近の高温確率メッシュの例：1994年8月の事例

(左図) 1994年8月9日からの7日平均気温の実況値(°C)

(中央) 1994年7月31日初期値、FT=6~9日(2週目付近)の27°C以上の最大予測確率(%)

(右図) 高温警戒時期(8月上旬~8月下旬)27°C以上の実況出現割合(1981~2010年)(%)

予測（青線）を見ると、予測が後半になるに従い、実況（赤線）からのずれが大きめになり、誤差幅も拡大しているものの、実況（赤線）の変化傾向はある程度表現できている。

図6は、2003年の事例で、ハインドキャストの早警ガイダンスを用いて、低温確率メッシュを再現したものである。左図は気温の実況を表しており、太平洋側はほとんどが20℃以下の低温となっていることが分かる。この時期に対応する2週目付近の低温確率メッシュが中央図である。これは、7日平均気温で2週目の割合が大きくなるFT=6～9日の中の最大確率値を表示したものである。右図は1981～2010年の実況メッシュから、警戒時期の20℃以下の実況出現率（気候的出現率）を求めたものである。中央図と右図を比較すると、確率予測メッシュは気候的出現率に比べて、特に太平洋側で大きな確率値を出していることが分かる。

1994年の8月上旬は、東北地方の地域平均気温の平年偏差が、1961年以降で最も高温となった（2011年12月現在）。図5の下図は、1994年のハインドキャストでの7月～9月初期値の早警ガイダンスである。こちらにも、2003年の例と同様に、予測後半にいくに従い、極端な高温時などにアンサンブル平均での表現が足りない様子などが見られるものの、概ね実況の変化傾向を掴んでいる。

図7は1994年の事例で、図6と同様な要領で、高温確率メッシュを再現したものである。左図（実況気温）を見ると全体的に高温であり、7日平均気温が30℃レベルに達している所もある。中央図（高温確率）を見ると、実況で高温の地域を中心に赤い色が目立ち、高い確率を表現している。

このように、2週先の予測でも、1 km メッシュのスケールで低温・高温リスクのパタ

ーンやコントラストをある程度予測できている。

## 5. ユーザーへの試験的な情報提供

2011年夏季に、2週目の予測メッシュ情報のユーザーへの試験提供を行った。提供元のウェブページは、東北農業研究センターと岩手県立大学ソフトウェア情報学部が運営している「Google Mapによる気象予測データを利用した農作物警戒情報ページ」

(<http://map2.wat.soft.iwate-pu.ac.jp/narct2010/newaccount/>)で、現在運用されている1週目までの予測情報と合わせて、今回の2週目の予測情報を試行という形で提供した。本ウェブページはユーザー登録制であり、東北地方の各ユーザーが個人の情報を登録し、各自のIDとパスワードでログインして情報を利用する。試行の時点でのユーザー登録者は221名で（図8）、試行期間中に実際にアクセスしたユーザーは148名である。各ユーザーには週に1回程度、各々の圃場の予測等に対応した内容の警戒メール（PC・携帯）でも農業用の情報が提供される。今回の試行でユーザーに提供した2週目の予測情報は、アンサンブル平均メッシュ、低温・高温確率メッシュである。ユーザーはメッシュ表示に加えて、各ユーザー地点に対応した予測値をグラフ形式で閲覧することも可能である。

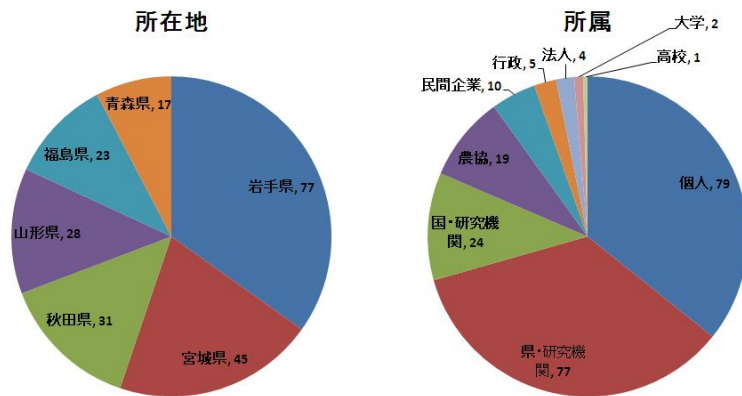


図8 「Google Mapによる気象予測データを利用した農作物警戒情報ページ」ユーザー登録者数と内訳。合計221名（2011年9月現在）。

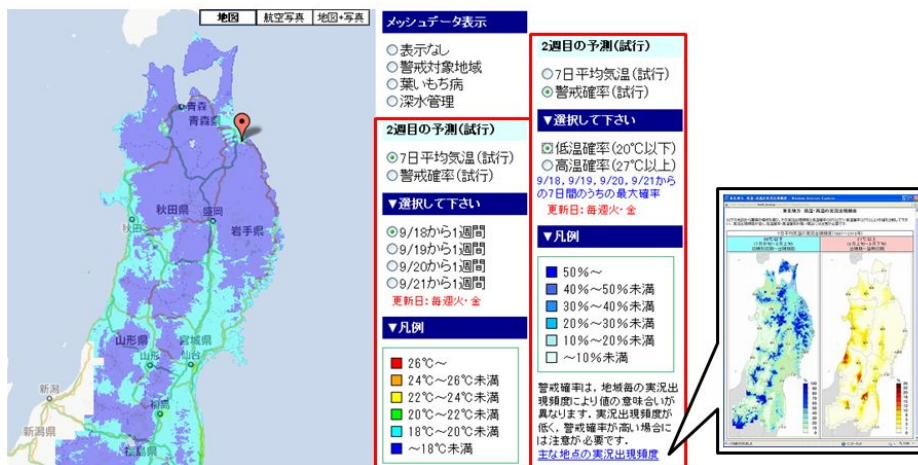


図9 メッシュ表示画面の例。試行期間中のアクセス数 (PV) は、7日平均気温 (14872PV)、低温確率メッシュ (5520PV)、高温確率メッシュ (2743PV)。

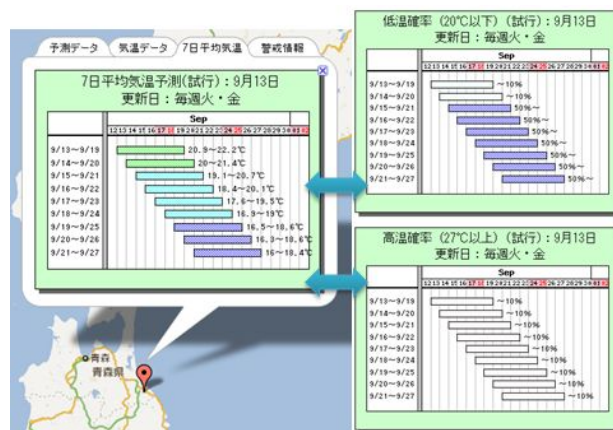


図10 グラフ表示画面の例。試行期間中のアクセス数 (PV) は、7日平均気温±σ (488PV)、低温確率 (482PV)、高温確率 (451PV)。



図9は予測メッシュ表示画面の例である。確率メッシュについては、地域によって20℃以下、27℃以上となる気候的出現率が異なるため、予測値と合わせて気候的出現率の資料も掲載している。ユーザーは予測確率と気候的出現率を比較して、低温（高温）リスクの平年の状態からの高まりを把握する使い方もできる。メッシュ表示の試行期間中のアクセス数（PV）を見ると（図9解説）、各情報に1ユーザー当たり何度もアクセスした様子が見える。

図10は各ユーザーの登録地点のグラフ表示の例である。ここでは、各ユーザーの圃場が属するメッシュでの予測値が時系列的に確認できる。7日平均値を1日ごとにずらしている表示や、アンサンブル平均値± $\sigma$ の表示など、期間平均や情報の不確実性が直感的に伝わりやすいデザインとなっている。

## 6. 今後の予定・課題

収穫後に実施するアンケートにより、ユーザーからの意見をフィードバックして、よりよい情報作成の検討をする。また、顕著事例に於いて、力学的ダウンスケールによって得られた結果との比較などを行いつつ、新たな利活用に適した予測情報の可能性についても検討していく予定である。

農業分野では東北地方の水稲以外でも、気候情報の利活用を促進するため、全国各地の農研センター（北海道、東北、中央、近畿中国四国、九州沖縄）との新たな共同研究を開始している。

また、農業以外の分野での利活用（エネルギー、保険、流通など）の可能性についても調査していく予定である。

## 謝辞

本共同研究を進めるに当たり、東北農研、東北大学、岩手県立大学の関係者の方々には大変お世話になりました。ありがとうございました。

## 参考文献・資料

菅野洋光, 1997: ヤマセ吹走時におけるメッシュ日平均気温の推定. 農業気象, 53, 11-19.

伊藤明, 2008: 異常天候早期警戒情報のためのガイドランスとその評価. 平成20年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 28-34.

南野謙一, Prima O.D.A, 2011: 2週間先までの7日平均気温を用いた農作物警戒情報の提供. 第4回ヤマセ研究会資料.