

共同研究報告書

平成 23～27 年度

「気候予測情報を活用した農業技術情報の高度化
に関する研究」

平成 28 年 3 月

気象庁

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

目 次

1. 概要	1
1.1 共同研究の目的と成果.....	1
1.2 各農業研究センターの成果の概要	1
1.3 今後の展望.....	3
2. 研究成果詳細	4
2.1 東北農研との取り組み.....	4
2.2 北海道農研との取り組み.....	13
2.3 近中四農研との取り組み.....	18
2.4 九州沖縄農研との取り組み.....	22
2.5 中央農研との取り組み.....	25
3. まとめと今後の展望.....	29
研究項目と研究者一覧	31

1. 概要

1.1 共同研究の目的と成果

気象庁と国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）は、平成 23 年度から平成 27 年度にかけて共同研究を実施した。その目的は、農業技術に適合した気候予測情報を開発し、これを適用した農業技術情報の開発と有用性の実証を行い、全国を対象とした早期警戒・栽培管理支援システムに反映することにより農業被害軽減等を図り、さらにその成果を農業分野での気候情報利用（気候リスク管理¹）の成功事例として広く公表することにより気候情報の更なる利用促進を目指すことであった。本研究には、農研機構からは以下の 5 つの農業研究センターが参加した（順不同）。

- ・東北農業研究センター（東北農研）
- ・北海道農業研究センター（北海道農研）
- ・近畿中国四国農業研究センター（近中四農研）
- ・九州沖縄農業研究センター（九州沖縄農研）
- ・中央農業総合研究センター（中央農研）

5年間にわたる共同研究を通じ、

- 全国版メッシュ農業気象データの改善と普及
- 気温の1か月予測資料を利用して農作物生育情報の高度化を行うといった、気候リスク管理の成功事例の創出

等の成果が得られ、それらの成果は早期警戒・栽培管理支援システムに反映された。

センターごとの研究成果を次節に示す。

1.2 各農業研究センターの成果の概要

(a) 東北農研

（主な研究項目）

2週間先（以下、2週目）の農作物警戒情報作成とユーザーへの提供、全国版早期警戒・栽培管理支援システムの構築

（成果）

東北農研及び公立大学法人岩手県立大学が運営している「Google Map による気象予測データを利用した農作物警戒情報」ページで、2週目の警戒情報を提供するとともに、2週目の警戒情報を意思決定に利用してもらうために必要な精度に関する情報をわかりやすく解説した。これらの警戒情報について利用者へのアンケートを通じて有効性を検証し、平成 24 年度からは1週目と2週目を合わせたシームレスな情報を提供した。さらに当ページの一層の情報利用促進のため、平成 26 年度と平成 27 年度は、2週目までの天候やその水稲への影響に関するコメントを気象庁と東北農研で共同して作成し、掲載した。また、情報の利用を促進するため、平成 24 年度以降、利用講習会を継続している。

農研機構の中期研究計画（農研機構 2011）の完了に合わせて、全国版早期警戒・栽培管理支援システムが構築され、このシステムに、本共同研究の1か月気温予測資料の利用による農作物生育情報の高度化技術、2週目までの気温予測データを用いた水稲冷害・高温障害警戒情報、およびそれらの被害軽減を目的とした栽培管理支援情報等の成果が反映された。

(b) 北海道農研

（主な研究項目）

野良イモ防除のための土壌凍結深予測

（成果）

収穫もれしたジャガイモ（野良イモ）対策では土壌凍結を起こしての凍死が有効であるが、凍死のためには土壌の凍結深が 30cm に達する必要がある。そこで、土壌凍結深予測（凍結深が 30cm に達する日を予測）に気象庁全球モデル（GSM）の

¹ 気候情報等を用いて気候の悪影響を軽減あるいは好影響を利用することを気候リスク管理という。詳しくは気象庁ホームページ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/>) を参照。

GPV (Grid Point Value) データ (以下、GSM の GPV) および週間天気予報の気温ガイダンス²の適用を検討した。

GSM の GPV による土壌凍結深の予測は、解像度が粗い等といった GPV の特性の影響を受けて、対象地域によっては大きな誤差が生じた。そこで、地上気温の予測精度がより高い週間天気予報気温ガイダンスを適用すると、GSM の GPV を用いるものより改善された。また、GSM の GPV では局地的な放射冷却が十分表現できないことから、予測の改善を目指して、札幌管区气象台との共同研究で GSM より解像度の高い気象庁非静力学モデル (NHM) を用いた局地的な気温分布のメカニズムや再現性等を調査した。その結果、NHM では実況の風や気温分布をよく再現できること、総観場の風が気温分布に影響を与えていること、十勝地方の新得付近で気温が下がらないケースのメカニズム等が明らかとなった。

週間天気予報より先の期間は、2週目の気温ガイダンスを用いて土壌凍結深予測を行ったが、実用的な精度は得られなかった。このため、予測の改善を目指して、従来の地域平均ではなく地点別ガイダンスを試作したが、わずかな改善は見られるもののその効果は限定的であった。

(c) 近中四農研

(主な研究項目)

小麦赤かび病防除と小麦開花期予測

(成果)

小麦赤かび病対策では開花期に防除を実施するが、無人ヘリ防除では開花期の2～3週間前に防除日を決めるため、開花期の予測が重要となる。2週目までの気温ガイダンスを用いて開花期を予測した結果、開花3週間前の時点で、予測結果が改善された年は20年中(1991～2010年)13年、改悪は3年であり、予測結果が最大で数日改善できることが明らかとなった。また、発育予測モデ

ルの予測日にバイアスが見られたことから、改善手法を開発した。これらの結果を踏まえて、2週目までの気温ガイダンスを利用して開花期を予測し、予測結果をWeb上に公開するシステムを構築した。

(d) 九州沖縄農研

(主な研究項目)

水稻の高温登熟障害予測

(成果)

水稻の高温登熟障害の軽減に、適切な時期に適切な量の施肥をすることが効果的である。2003～2014年の九州沖縄農研圃場の水稻のデータ(出穂時期、玄米の白未熟粒³の割合、稲の葉色等)と現地気温のデータを利用して、高温登熟障害に伴う白未熟粒の割合と気温および葉色の関係を調査した。その結果、出穂後2週間の日最低気温の平均と白未熟粒の割合に正の相関関係が認められた。また、高温年には出穂から数日後の穂揃期⁴の葉色と基部未熟粒(白未熟粒の一形態)の割合に負の相関関係が認められた。穂揃期の葉色は追肥の判断を行う出穂17日前の葉色から判定可能であることが分かった。これらの関係に基づき、追肥の判断を実施する出穂17日前の段階で、出穂後14日間の気温予測および穂揃期の葉色予測を行うことで、追肥の有無や必要な追肥量の判定が可能であることが分かった。

2014年から2015年にかけて、九州沖縄農研圃場に試験区を設け、上記判定法の有効性の実証試験を実施した。その結果、高温を想定して追肥を実施し、実際に高温になった場合には品質向上が認められ、高温にならなかった場合にも品質の低下は限定的であった。また、両ケースともに増収となり、予測が外れた場合のマイナスリスクは小さかった。

この判定に気象庁の1か月予報ガイダンスの後半に相当する出穂17日前の時点での出穂後14日

² ガイダンスとは、数値予報モデルの出力及び観測・解析データを利用し、統計手法を用いて作成された、利用者が利用しやすい気象要素とした予測資料。

³ 白濁した玄米のことを指す。白未熟粒が多発すると食味が落ち、等級が低下する。

⁴ 8～9割の茎から穂が出た日。

間（3～4週目に相当）の気温ガイダンスを用いた場合の有効性を、1981年以降の33年間のハインドキャスト⁵ガイダンスに基づき調査した。その結果、出穂17日前の段階での予測精度は高くないが、高温予測を外した場合のマイナスリスクは小さいことから、この判定法の利用は可能と考えられる。

(e) 中央農研

（主な研究項目）

全国版メッシュ農業気象データの作成、主要作物の生育予測

（成果）

1 km スケールのメッシュ農業気象データ（日別気温・降水量・日照時間等）の作成を行った。平年値は統計期間1981～2010年であり、土地利用等の地理情報も実装し、1週目の気象予測データも取り入れている。この利用を促進するため、データ提供および主要作物の生育予測プログラムの開発等を行い、農研機構で利用講習会も実施した。2014年以降、2週間先から1か月先までの気温ガイダンスを確率的な情報として取り込むとともに、その精度評価を行った。アンサンブル平均値は10日先（2週目の7日間平均気温に対応）では予測精度が確保されているが、20日先では予測に平年値を使った場合と同程度となった。また、確率的な評価では、20日程度先までは一定の予測精度が確保されていた。これらのことから、より長期間の予測を利用する場合は、積算気温としての利用や確率的な利用が推奨される。このほか、当日の予測精度の向上を目指して、より高解像度のモデルの結果の取り込みを行った。その結果、改善は見られたがその効果は限定的であった。

1.3 今後の展望

各農研センターとの共同研究によって、様々な成果が得られたが、これらの成果を農業関係者に広く活用してもらうためには、農研機構が構築した早期警戒・栽培管理支援システムに成果を確実に反映することや当システムを農業関係者が実利用しやすい仕組みに仕上げていくことが重要である。システムの社会実装化は、農研機構が取り組んでいる内閣府 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の次世代農林水産業創造技術研究開発計画の一課題である「農業気象情報の創出と作物生育・病虫害発生予測モデルに基づく作物栽培管理支援システムの開発」（平成26～平成30年度）（内閣府2014）等の中で進められている。

⁵ ハインドキャストとは、現在の予測技術を用いて、過去の事例を予報実験したものを指す。

2. 研究成果詳細

本章では平成 23 年度から平成 27 年度にかけて実施した、気象庁と農研機構の共同研究の詳細について述べる。

本研究の目的は、主に 1 か月先までの気象予測を用いて農業技術に適合した気候予測情報の開発と予測精度の評価、これを適用した農業技術情報の開発と有用性の実証を行うことで、農業の多くの分野における気候予測情報の活用技術を高度化することである。本研究で得られた成果は、全国を対象とした早期警戒・栽培管理支援システム(後述)等を通じて、農業における被害軽減と安定した生産確保への活用が期待される。また、気象・気候情報の利活用の成功事例として、農業分野はもとより、農業以外の分野における気象・気候情報の利活用促進に資するものである。

以降、各農業研究センターにおける主要なテーマをレビューしつつ、調査事例等を紹介する。

2.1 東北農研との取り組み

気象庁と東北農研、国立大学法人東北大学は、共同研究「気候予測情報を農業分野に利活用するための応用技術に関する研究」を平成 22 年度から平成 23 年度にかけて実施した(宮脇ほか 2011)。東北農研との取り組みは、この先行的な研究を引き継ぐ形で実施した。

(a) 2 週目の気温予測メッシュ

東北農研は公立大学法人岩手県立大学と共同で「Google Map による気象予測データを利用した農作物警戒情報」⁶(以下、農作物警戒情報システム)を運営しており、1 週間先(以下、1 週目)までの 1 km スケールのメッシュ気象予測情報を利用した農業向けの情報を提供している。農業では自らの圃場における気象情報が栽培管理等に重要であるため、ユーザー向けの情報は 1 km スケール程度の高解像度データが必要とされる。今回の共同研究においては、1 週目以降でも比較的予測精度

が確保できる 7 日間平均気温について、2 週間先(以下、2 週目)の 1 km スケールメッシュ気象予測情報(以下、予測メッシュ)を試作した。

予測メッシュの作成に使用するデータは、東北農研作成の 1 km メッシュ日平均気温⁷から計算された 7 日間平均気温の平年値・標準偏差と気象庁の異常天候早期警戒情報(以下、早警)ガイダンス⁸である。早警ガイダンスでは、数値予報モデルの出力結果を統計処理することにより、数値予報モデルの統計的なバイアス(系統誤差)が取り除かれ、スプレッド(予測幅)も最適化されているため、利用面でも適している。

予測メッシュの作成は、各平年値メッシュにその位置に対応した地域平均ガイダンス(平年差)の予測確率密度分布を適用した。具体的には、ガイダンスのアンサンブル平均値は地域と地点で等しいと仮定して同じ値を用いており、分布の広がり(予測幅)については、ガイダンスの分布の広がりを各メッシュに合わせて補正している。補正には、地域平均値の標準偏差 σ_r と各メッシュ値の標準偏差 σ_m の比を用いて、地域平均のアンサンブル平均値からの偏差に σ_m / σ_r を乗じている⁹。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、確率的な精度も向上する。

今回の東北地方のメッシュ作成には、東北太平洋側と東北日本海側のガイダンスを用い、各メッシュの市町村コードにより適用するガイダンスを振り分けている。

⁷ 統計的手法による推定値。特にやませの吹走時に高精度に気温を推定するよう、説明変数が選択されている。具体的な手法等は菅野(1997)を参照。現在は文献中の説明変数から高層データを除いて作成されている。

⁸ 詳細は伊藤(2013)。ガイダンス(確率予報資料)は CSV 形式で気象庁ホームページ(http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/guidance/index_w2.php)より取得できる。

⁹ 早警の地点ガイダンスの作成法と同様。メッシュごとに早警の地点ガイダンスがあるイメージである。

⁶ <http://map2.wat.soft.iwate-pu.ac.jp>

(b) 水稲栽培管理用の情報の作成

今回の共同研究では、主に夏季の水稲の栽培管理を対象として、農業向けの農作物警戒情報を2週目まで拡充することを目的としている。

今回、水稲栽培において代表的な障害である、

- ・冷害（低温による不稔の発生）
- ・高温障害（高温による品質低下）

について、発生の目安となる気温（警戒気温）を設定した（第2.1表）。これらの警戒気温以下（以上）となる確率予測値を各メッシュで計算したものを、水稲用の低温（高温）確率として、冷害（高温障害）の発生リスクを判断する指標とした。実際の利用において、ユーザーが各々の水稲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低温（高温）確率を参照することにより、水稲の障害発生リスクを少しでも長いリードタイムをもって把握し、対策に役立てることを想定している。

気候予測情報の定量的な利用においては、その精度をあらかじめ確認しておく必要がある。今回、1981～2010年を対象とする過去事例の予報実験（ハインドキャスト）の結果¹⁰を用いて作成した、東北地方の17地点の地上気象観測地点に対応するメッシュにおける低温（高温）確率と、実際の観測値とを比較して、精度検証を行った。結果を第2.1図に示す。信頼度曲線については、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）が近いことが分かる。これは、メッシュの確率値が大きいほど実際の現象の出現率も大きく、メッシュの確率値がおおむね適切であることを示している。また、本事例のような実況の平均出現率（緑線）が小さ

¹⁰ ハインドキャストについては、ガイダンスの基となるアンサンブル数値予報モデルのメンバー数が、計算資源の制約から5メンバーと少なくなっており、50メンバーを使用する現業運用版では、平均的に見てここで示した以上の精度が期待できる。また、ハインドキャストでは毎月10日、20日、月末を初期値として年間36回の予報実験を行っているのに対し、現業運用版では週2回（毎週月・木曜日発表（2014年2月まで毎週火・金曜日に発表）の予報作業用）であり、予測はより高頻度である。

第2.1表 水稲の冷害・高温障害警戒気温（東北農研資料）

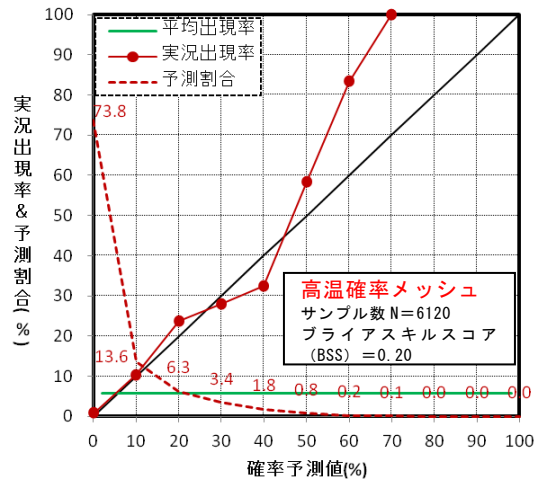
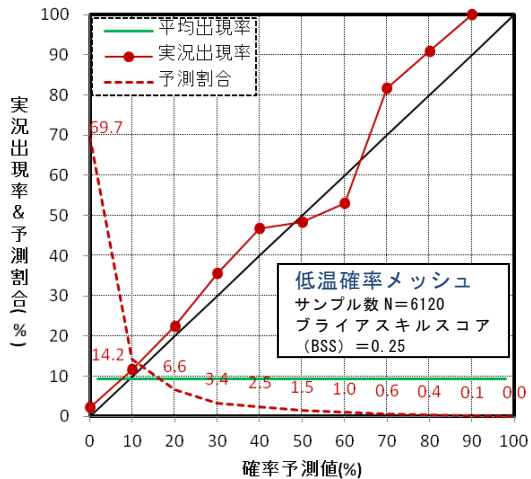
時期	7月中旬から 8月上旬 (幼穂形成期～ 出穂期前)	8月上旬から 8月下旬 (出穂期～ 登熟初期)
警戒気温 (7日平均)	20℃以下	27℃以上
懸念される 症状	障害不稔発生	高温登熟障害
対策	深水管理	水管理

い現象を大きな確率で予測することは困難であり、予測頻度も小さくなる。確率予測値が大きくなるにつれて、斜め45度の対角線からのずれが大きくなっている傾向が見られるのは、大きな確率予測値ではサンプル数が少ないことによる影響があるためと考えられる。

また、予測メッシュに平年値を使った場合（気候値予報）を基準に予測精度の改善の度合いを表した指標であるブライアスキルスコア¹¹は、低温確率が0.25、高温確率が0.20となっており、統計的に見て、将来の見通しに過去の気象観測値から求めた気候的な現象出現率を用いた場合と比較して、気象予測データを用いた場合のメリットが大きいことが示されている。

第2.2図は、過去の顕著事例として、冷夏の2003年、暑夏の2010年について、東北太平洋側のガイダンス（予測）と実況値を示したものである。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、予測幅も拡大している。しかし、平年値に対する気温の傾向や実況（赤線）の変動の様子は、2週目にかけてもある程度予測できている。

¹¹ ブライアスキルスコアは-1から+1の値をとり、値が正であれば気候値予報より改善していることを意味する。なお、これらの評価指標の詳細は、中三川(2013)等を参照されたい。



第 2.1 図 低温（高温）確率メッシュの確率値別信頼度図

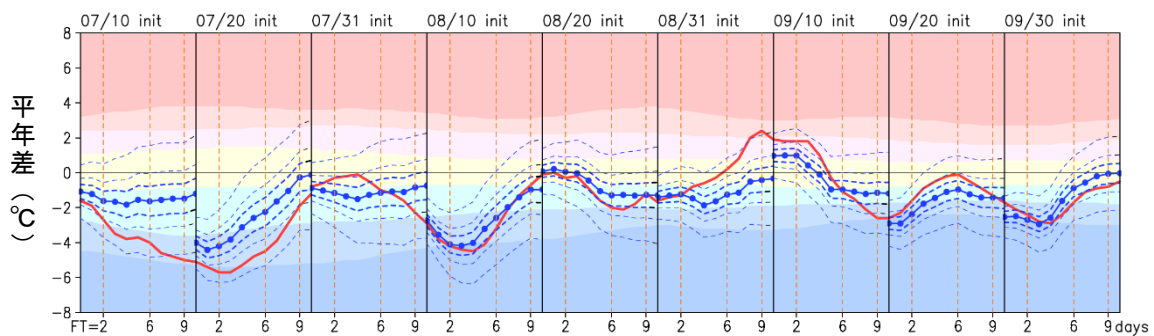
左：低温確率メッシュの精度

7月中旬～8月上旬（幼穂形成期～出穂前期）で、7日間平均気温が20℃以下となる確率について。予測6～9日目からの7日間平均気温（2週目付近）が対象。東北地方17地点（地上気象観測地点）のメッシュが対象。

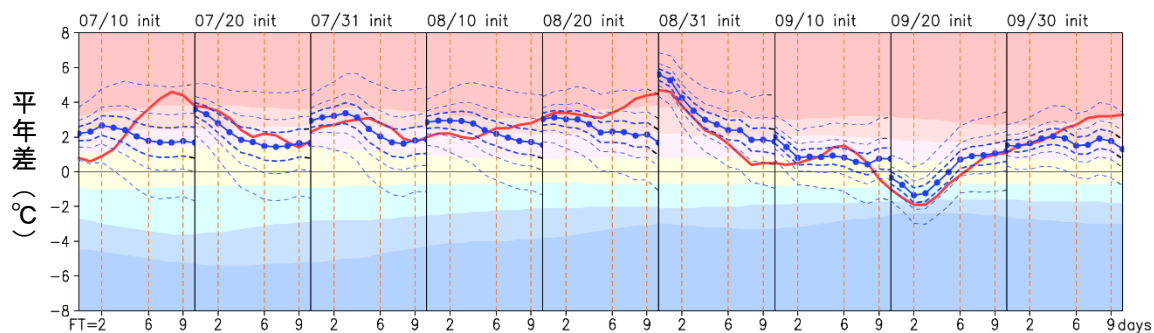
右：高温確率メッシュの精度

8月上旬～8月下旬（出穂期～登熟初期）で、7日間平均気温が27℃以上となる確率について。他は低温確率メッシュと同様。

2003 年夏



2010 年夏



第 2.2 図 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ダンス 2003 年（冷夏）と 2010 年（暑夏）について。初期値ごとに時系列的に並べたグラフ。

図の説明：

赤線＝実況、青線＝予測（実線＝アンサンブル平均、破線＝予測幅：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：1981～2010 年）
 下ラベルの FT=2 が 1 週目、FT=9 が 2 週目に相当。要素は 7 日間平均気温。

(c) ユーザーへの試験的な情報提供

2011～2015年の夏季に、2週目の気温予測メッシュを用いた農作物警戒情報のユーザーへの試験提供を行った。提供先のWebサイトは、東北農研・岩手県立大学の運営する農作物警戒情報システムで、現在運用されている1週目までの警戒情報と合わせて、今回の2週目の警戒情報を試行という形で提供した。本Webサイトはユーザー登録制であり、東北地方の各ユーザーがあらかじめ圃場の位置や作付け等の情報を登録して利用する。また、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・モバイル端末向け）でも農業用の情報が提供される。Webサイトの画面からは、東北地方の1kmスケールの各種メッシュ情報を面的に確認できるほか、地図上の登録された圃場の位置については、ポップアップ上の画面により詳細な栽培管理情報や各種グラフ等が閲覧できる。ここでは、今回試験的に提供した2週目の情報について紹介する。

2012年の北日本は、8月中旬ごろから9月にかけて顕著な高温となった。その始まりの時期に対応した2週目の警戒情報の例を第2.3図に示す。例年のこの時期は水稻の高温障害に注意が必要な時期であるため、2週目の高温確率が大きく、基準に達した場合には、注意を促す情報が出る仕組みとしている。第2.3図（左）はユーザーの圃場に対応した栽培管理の情報である。1週目の警戒情報や対策（アドバイス）等と合わせて、2週目も高温が持続するおそれがある旨が記されている。ユーザーは普段と同様に情報を確認することで2週目の傾向まで含めて、栽培管理を行うことができる。同様の情報はユーザーへ電子メールでも送付され、内容についてさらに詳しく知りたい場合には、メール内のリンクからWebサイトにアクセスして各種グラフ等の情報を確認できる。第2.3図（右）は、2週目の水稻用の高温確率をカレンダーに表示したグラフである。ここでは時系列で、水稻の高温障害発生のリスクを確認できる。また、

各時期の平年の状態での高温確率¹²を平年値として左下に示しており、現在の高温確率が通常の年と比べてどの程度大きいかを把握できるようにしている。また、このような気候的な確率を把握することは確率値のとらえ方においても重要である。例えば、高温確率が20%の場合は高温障害発生のリスクがそれほど大きくないように感じるかもしれないが、対象となる地点の気候的な確率が2%だった場合は、通常の状態よりかなりリスクが高まっていることがわかる。なお、ここでは高温についての例を示したが、低温についても同様の情報を提供している。

気候予測情報の定量的な利用や、具体的な意思決定への活用にあたっては、その予測情報の精度や特徴を事前に把握しておくことが重要である。このため、利用の参考となるように2週目の気温予測メッシュに関する説明資料を同Webサイトから提供している。資料では、ユーザーが臨場感をもって予測情報の利用について事前にシミュレーションしやすいように、過去の顕著事例での予測実験結果や、時系列表示での過去の予測結果等の資料を掲載している。第2.4図（左）は2003年7月下旬のやませによる低温の事例において、現在の予測技術での低温確率はどのようになるのかを示したものである。これは10年に1回程度の顕著な冷害時における情報の利用のための参考資料である。また、水稻栽培に重要な時期（夏季）に対応した、2週目の気温や低温（高温）確率の過去の予測事例について解説した資料も掲載している。第2.4図（右）はその資料の例（地点は仙台）である。各ユーザーがこれらの資料を参考に、気温予測や低温（高温）確率の特徴を事前に把握しておくことで、予測精度を過大・過小評価しない、より適切な情報の利用につながることを想定している。

さらに、農作物警戒情報システムの利用・普及を促進するため、また2週間先の予測精度をユー

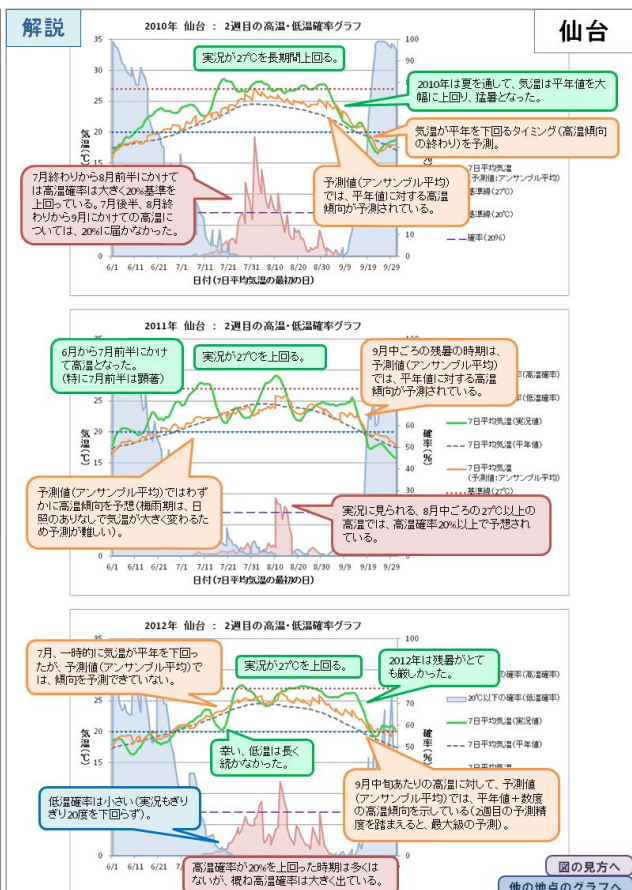
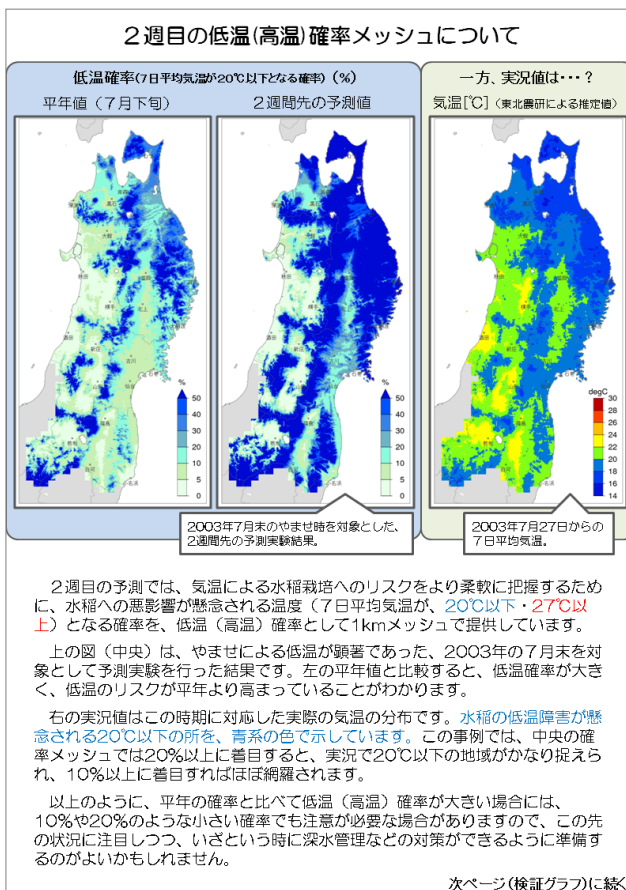
¹² 1981～2010年の30年分の実況気温メッシュ（東北農研作成）より、気候的な現象の発生頻度を求めたもの。



第 2.3 図 2 週目の警戒情報の表示画面の例

左: 文面による情報提供。1 週目の予測からシームレスな形の表記。

右: 高温確率メッシュの地図表示とグラフ。グラフの左下に平年の高温確率を掲載。



第 2.4 図 2 週目の情報のユーザーへの説明資料の例

左: ハインドキャストによる、2003 年 7 月下旬のやませ時における、低温確率メッシュのシミュレーション。

右: 地点(仙台)における 2010~2012 年夏季の予測結果のグラフと、特徴等の解説。

(タイトル)

7月31日(金)に少雨と長期間の高温に関する東北地方気象情報が出ました。

(コメント)

昨日(7月30日(木))、仙台管区気象台から東北地方を対象とした「高温に関する異常天候早期警戒情報」が発表されました(http://www.jma.go.jp/jp/soukei/102_000.html)。また、本日(7月31日(金))、「少雨と長期間の高温に関する東北地方気象情報」が発表されました(http://www.jma.go.jp/jp/kiishojoho/102_04_590_20150731020022.html)。

東北地方では、8月前半にかけて、高気圧に覆われて晴れの日が多いため、気温がかなり高く、東北南部では日最高気温が35℃に達する日が多い見込みです。熱中症対策など農作業中の健康管理に留意してください。また、東北南部を中心に降水量が少ない見込みです。「各県の技術・予察情報ならびに高温確率メッシュ図と発育予測などを参考にして、生育を考慮して適切な栽培管理を実施してください。」(「」内は東北農業研究センターのコメントです。)

第 2.5 図 2015 年 7 月 31 日に農作物警戒情報システムに掲載したコメント

ザーに実感してもらうためのより効果的な情報の提供方法について検討を行った。その結果、顕著な天候が予想された場合に、情報を積極的に発信することにより、適時適切な対策に役立ててもらふことが必要であると考えた。このため、平成 26 年度及び平成 27 年度において、2 週間先に水稻の生育に影響を与えるような顕著な天候が東北地方で予想された場合(具体的には、異常天候早期警戒情報または日照不足等の天候情報が発表された場合)に、向こう 2 週間程度の天候およびその影響に関するコメントを気象庁および東北農研と共同で作成し、試行として掲載した(その一例を第 2.5 図に示す)。

(d) ユーザーへのアンケート調査

前述のシステムでは、水稻の収穫後の時期になると、その年の情報提供に関するユーザーへのアンケート調査を実施している。第 2.6 図は、2012 年夏季に試験的に提供した 2 週目の警戒情報に関するアンケート結果である。

7 日間平均気温予測と高温・低温確率については、後者のほうが「役立つ情報が得られる」という回答の割合が多かった。これは、単に何℃といった気温よりも、水稻への障害発生リスクを直

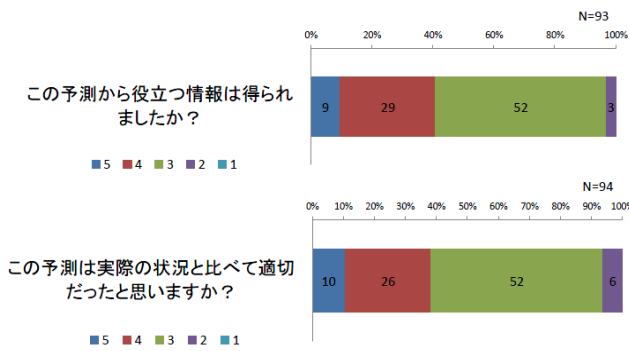
接示す指標の方がユーザーにとって有効であることの表れであると思われる。また、2012 年の警戒情報提供では、2011 年の情報から改善を図った。具体的には、前述した、

- ・ 低温(高温)確率と合わせた同時期における確率の平年値の表記
- ・ 1 週目と 2 週目の情報を合わせたシームレスな文面の追加

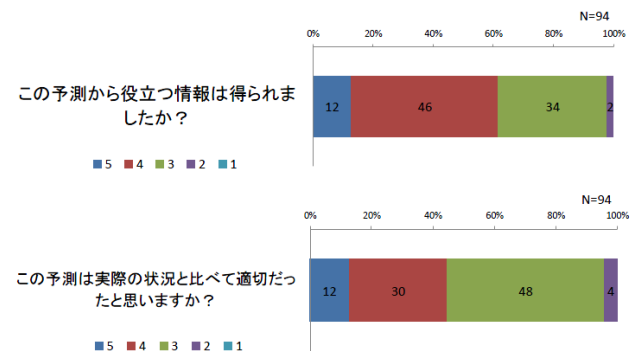
を行った。これに関して、アンケート結果からは、低温(高温)確率については「理解しやすくなった」、1 週目・2 週目を合わせたシームレスな情報提供については「参考になった」という回答が 7 割程度と多かった。また、2 週目の警戒情報の継続についても、「したほうがよい」と希望する回答の割合が多かった。

平成 25 年度のアンケート結果については、ユーザー 415 名(2014 年 1 月 21 日現在)のうち実際に利用したユーザーを抽出して行った。平成 25 年度のアンケートは 2 週目の警戒情報に焦点を当てて報告する。対象ユーザーは 210 名で、回収率は 60%であった。はじめに栽培管理の 2 週目予測については、約 40%のユーザーが役立つ情報が得られ、35%のユーザーが実際の状況と比べて適切だった

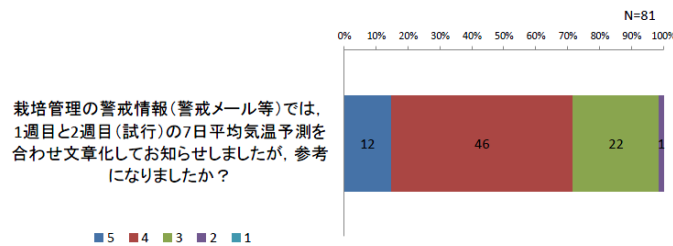
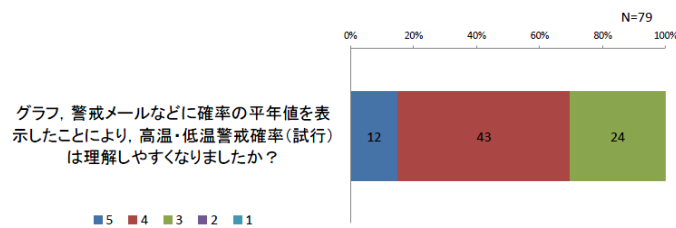
2週目予測：7日平均気温予測(試行)



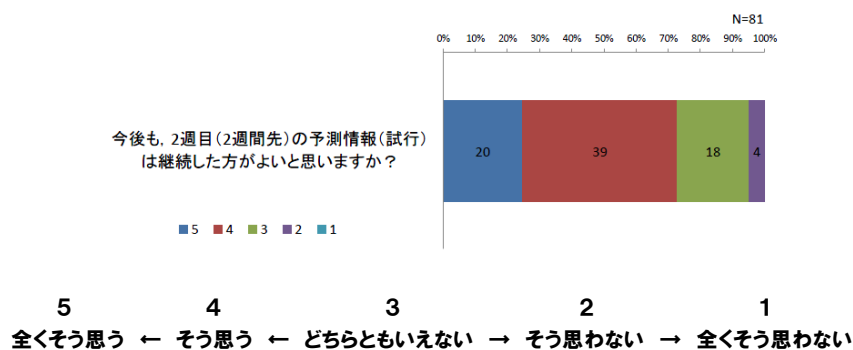
2週目予測：高温・低温確率(試行)



昨年度からのシステムの変更点について



2週目の情報の全般について



第 2.6 図 2012 年夏季の 2 週目の警戒情報に関するアンケート結果 (岩手県立大学提供) 質問とそれに対する回答の割合 (5 段階評価) のグラフ。N は回答数。

と答えている。およそ6割は「どちらとも言えない」との回答であった。高温・低温警戒確率に関しては、5割弱のユーザーが「役立つ情報が得られた」と回答したが、実際の状況と比較して適切であったかとの問いに対しては「そう思う」が3割強と若干減少している。自由記述の回答では、「今後の参考になる」、「判断材料として役に立った」、「今後とも情報を提供してほしい」等ポジティブな内容が多かった。

また、平成27年度には、気象庁と東北農研で作成したコメントに対するアンケートを実施し、コメントが参考になる（そう思う・どちらかというと思う）との意見が回答者の6～7割と、その有効性が確認された。

以上のように、情報のユーザーからの声を聞くことは、提供した情報が有効であることの確認や、よりよい情報への改善等に大いに役立つ。より有効な気候情報の利活用を目指す上で、今後ともユーザー側の意見のフィードバックを行い、改善を継続していくことが重要である。

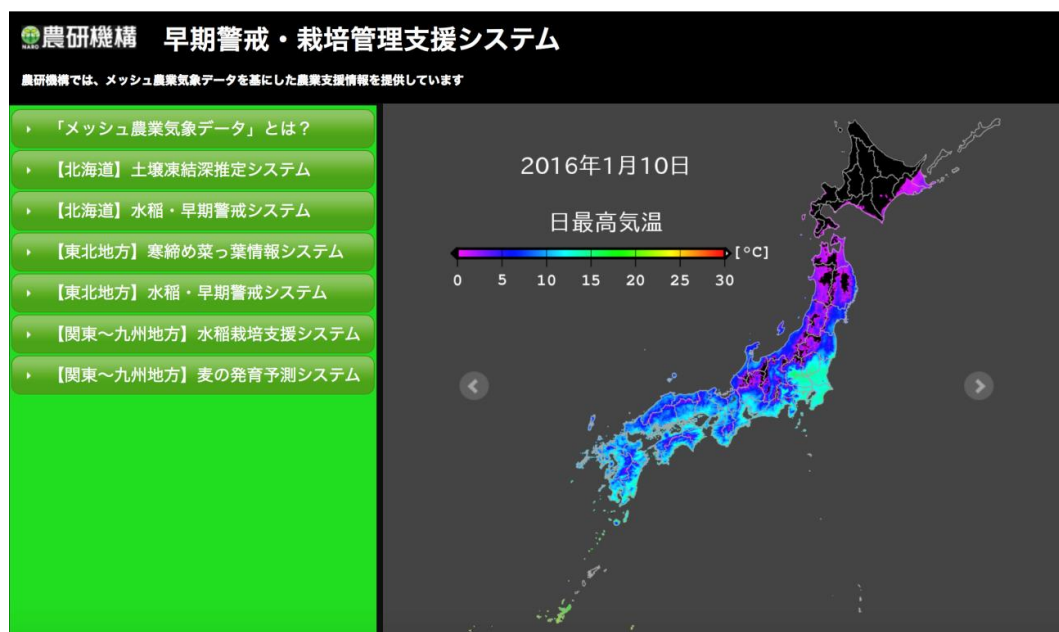
(e) システム利用講習会

情報の利用を促進するため、平成24年11月5日～6日の日程で、システムの利用者講習会を盛

岡市アイーナで行った。本講習会は「全国版早期警戒・栽培支援システムの研究展開と普及」と題して、第6回の農研機構農業気象研究会として開催された。参加者は約60名と盛況であった。11月5日には2つの基調講演（気象庁からも講演を実施）に続いて6つの研究報告が行われ、6日には農作物警戒情報システムの使い方、および各県から要望の高いメッシュ農業気象データの使い方および効果的な図の作成に関する講習を行った。参加者は北海道から沖縄まで広範囲におよび、研究成果の都道府県研究機関への普及に非常に役立ったと考えられる。なお、本研究会は後述の様に、平成25年度以降にも中央農研等で引き続き開催されている。

(f) 全国版早期警戒・栽培管理支援システム

農研機構では、平成23年度から平成27年度の中期研究計画の課題「地球温暖化に対応した農業技術の開発」において、全国版早期警戒・栽培管理支援システムを構築した。これは、北海道から九州までの、これまで開発されてきた早期警戒・栽培管理支援技術を統合して、ひとつのシステムとして開発したものである（第2.7図）。北海道では土壤凍結深推定システム（積雪深予測情報を含



第2.7図 早期警戒・栽培管理支援システム

前日の日平均・最高・最低気温および日積算降水量が順に入れ替わりで表示されている。左のメニューから各地のシステムに入ることができる。



第 2.8 図 水稲栽培管理支援システム

む) と水稲・早期警戒システムが、東北では農作物警戒情報システムと寒締め菜っ葉糖度予測システム、関東以西では水稲栽培管理支援システム(第 2.8 図) と麦の発育予測システムが搭載されている。北海道および関東以西のシステムでは後述のメッシュ農業気象データを用い、気象庁との共同研究の成果である 1 か月気温予測資料の利用による農作物生育情報の高度化技術が反映されている。東北の農作物警戒情報システムでは、2 週目の気温予測データが水稲の低温・高温障害回避情報に直接的に活かされている。今後はシステムのさらなる高度化に合わせて、気象予測データの有効な組み込みを進める予定である。

2.2 北海道農研との取り組み

(a) 野良イモ防除のための土壌凍結深予測

野良イモとは、収穫もれしたジャガイモが越冬し、翌年出芽して雑草化（野良生え）したものをいう（第2.9図（上））。北海道、特に十勝地方等は日本を代表するジャガイモの大生産地帯であるが、近年この十勝地方で野良イモが多発している。

野良イモは後から育てる作物の生育を阻害し、また、混種や各種病害虫の温床にもなるため、除草が不可欠である。しかし、現状では人力処理のため、大規模農業では深刻な労働負担となっている。

野良イモが増加してきたのは、近年の気候の変

化により、北海道太平洋側の地域で初冬において積雪深が増加したため、その雪が断熱材の役割を果たし、土壌凍結深が減少したために、凍死せずに越冬する地中のイモが増加したことによる（広田 2008）。土壌凍結深の減少は雪が多く積もることにより生じるので、冬に雪割り（除雪）をして土を凍らせることで野良イモを防除することができる（第2.9図（下））。この方法は、農薬もいらず、冬の農閑期にまとめて重機による作業を行えるため、非常に効率的な手法である。しかし、土壌凍結深が深すぎると春の農作業に遅れが生じ、浅すぎても野良イモの防除に失敗してしまうため、気象データ等を用いた適切な土壌凍結深の予測に基づいた計画的な除雪管理が必要となる。



第2.9図 野良イモ発生の様子と除雪作業の風景（北海道農研資料）

（上）野良イモの写真。赤丸で囲んだものが野良イモ。トムコロシ畑、十勝地方。

（下）野良イモ防除のための除雪作業の風景。除雪作業は「雪割り」とも呼ばれる。

(b) 土壌凍結深予測の実証実験

本研究では、2011～2012年の冬季を対象に土壌凍結深予測のシミュレーションを行った。これは、現地圃場での土壌凍結深の観測結果等と比較した、予測の有効性の実証実験である。農業分野ではこの先の気象の見通しに平年値を用いる方法が普及している。今回、2週目までの範囲には予測情報を用いた場合のシミュレーションも行い、結果を比較した。なお、土壌凍結による野良イモ防除の流れは Hirota et al. (2011) に、計算に用いた地温・土壌凍結深推定モデルについては Hirota et al. (2002) に、現地実証試験の結果は Yazaki et al. (2013) に詳しい。

今回、シミュレーションでの計算に使用した気象予測値の要素は日平均気温、日積雪深で、データの詳細は以下のとおりである。

○当日～予測7日目

・日平均気温

1) 12UTC 初期値の気象庁全球モデル (GSM: 水平格子間隔約 20km) の地上気温の近傍格子点値 (GPV) を使用。

2) 当日～予測1日目は GSM 気温ガイダンス (時刻別) の最寄りのアメダス地点から計算。予測2～7日目は週間天気予報気温ガイダンスの最高・最低気温から平均して計算。帯広の予測値の平年差を近傍アメダスの平年値に加算して予測値を作成。

・日積雪深

12UTC 初期値の GSM の降水量の近傍格子点値 (GPV) から降雪深を推定して積雪深の観測値に加えて換算。

・雪割り時の積雪深

雪割り時には積雪深を 2 cm とする。雪割り後、降雪が予測された場合は、降水量から降雪深を推定して雪割り箇所の積雪深に加える。

○予測8日目～(最大14日目)

・日平均気温

異常天候早期警戒情報の7日間平均気温ガイ

ダンスを日平均気温とみなして、予測の存在する分だけ使用¹³。ガイダンスは帯広の確率予測資料の累積確率 50% 点の値 (平年差) を最寄りのアメダス平年値に加える形で用いる。

・日積雪深

積雪深は当日までの観測値あるいは予測7日目までに降雪が推定された場合は、この予測された値に基づいて計算した積雪深の予測値の最終日の値が引き継がれる。

なお、上記予測期間以降の予測期間が足りない部分については、気温は近傍アメダスの平年値を利用し、積雪深は上述のように予測期間の最後の値を引き継いでいる。

第 2.2 表はアメダス更別付近の圃場における土壌凍結深 30cm に到達する日を予測したものである。土壌凍結深 30cm に達すると、地中のイモはおおむね凍死すると考えられるため、他の場所の除雪や、その後の作業工程の目安となる。今回、予測7日目にかけては、GSM の GPV を用いたものと、各種ガイダンスを用いたものの2通りの手法でシミュレーションを行ったが、現地観測値による推定値を基準とすると、GSM の GPV を用いたものは土壌凍結深 30cm 到達予測日が遅くなっているのに対し、各種ガイダンスを用いたものは大きく改善している。これは、冬季の北海道について、GSM の地上気温では正のバイアス (実際よりも高温傾向) があり (平井と坂下 2006)、バイアスが補正されたガイダンスではより適切な気温予測となったためと考えられる。しかし、予測値に平年値を用いたものとの比較では、同等か平年値の方がよい場合もある。今回のようなシミュレーションにおいては、気温予測値の精度の他に、現地とアメダス地点との位置による違い、GSM の GPV の降水量の精度、7日間平均気温と日平均気温の違い等、さまざまな要因が精度低下に関係してくるため、単純に気温予測値の精度が高ければ、良い結果が得られるとは限らないところに注意が必要である。

¹³ 2週目の予測値の提供日が火曜・金曜の週2回であるため (2014年3月に毎週月曜・木曜に変更)。

第 2.2 表 土壌凍結深 30cm 到達予測日のシミュレーション結果（アメダス更別付近）
 広田ほか(2013)より。

予測実施日	予測値			推定値
	1週目にモデル GPV を利用	1週目にガイダンス値を利用	平年値を利用した予測	現地観測値による推定値
1月19日時点	2月11日	2月4日	1月30日	1月31日
1月23日時点	2月7日	1月30日	1月29日	1月28日

第 2.3 表 2012 年 2 月 6 日を予測対象とした土壌凍結深予測（アメダス大樹付近）
 広田ほか(2013)より。

予測実施日	予測値			推定値	実測値
	1週目にモデル GPV を利用	1週目にガイダンス値を利用	平年値を利用した予測	現地観測値による推定値	現地圃場における実測値
1月23日時点	26 cm	29 cm	33 cm	32 cm	35 cm
1月29日時点	31 cm	33 cm	33 cm	32 cm	35 cm

第 2.3 表は 2012 年 2 月 6 日に現地圃場にて測定した土壌凍結深と、その 1～2 週間程度前の時点（1 月 23 日、1 月 29 日）における、2012 年 2 月 6 日を対象とした土壌凍結深のシミュレーション結果である。大まかな特徴は第 2.2 表と同じであるが、実測値に着目すると、気温の現地観測値を用いた推定値よりも深い結果となっている。これについては、地温・土壌凍結深推定モデルの持つ誤差も考えられるが、地表付近では気温が放射冷却等により、測器が設置されている高度よりかなり低温となることも要因であると考えられる。冬季の十勝平野における地表付近での強い冷え込みが、今回の各種予測情報や推定手法では表現しきれていないことが示唆された。

また、十勝地方の別の 2 地点（アメダス新得、上士幌付近）における、今回紹介した事例と同様のシミュレーション（1 週目に GSM の地上気温 GPV を利用した場合）結果では、平年値を用いたものより、気温の予測や土壌凍結深の予測が改善する傾向があり、野良イモ防除のための除雪作業の計画においても有効であることが確認されている（図略）。このため、第 2.2 表、第 2.3 表で紹介したシミュレーション結果は、他の地点と比較して、特に冬季における気温予測等が難しく、課題が多い地点についての事例といえる。

(c) 目先の気温予測データの改善に向けた検討

GSM の GPV による気温予測では局地的な放射冷却が十分表現できないことから、札幌管区気象台と北海道農研の共同研究¹⁴で計算格子間隔を 2 km とした気象庁非静力学モデル (NHM) を用いて局地的な気温分布のメカニズムや再現性等を 2010 年～2012 年の冬季の晴天時の 3 つの事例について調査した（福島ほか 2013）。

その結果、各事例とも NHM はおおむね、実況の風向風速や早朝の気温分布をよく再現した。特に早朝の気温推定値と実測気温の差はおおむね 5℃以内となり、良好に再現したといえる（第 2.10 図）。また、総観場の風向風速が気温分布に影響を与えていることが示された。さらに、十勝地方北西部山麓の新得付近では気温が下がらず、十勝平野中央部で強い低温となった事例（第 2.11 図）では、新得付近では狩勝峠から風が断熱昇温しながら吹きおろし、気温が下がらなかつた一方、十勝平野中央部の低温域はその南や北からの低温域が拡大して生じる等のメカニズムが明らかとなった。ただし、各事例とも谷地形において気温は再現しきれないことがあるといった課題もみられた。そこで、地形情報と計算格子を細かくした高解像度 NHM を用いて調査した結果、山風等の局地的な風

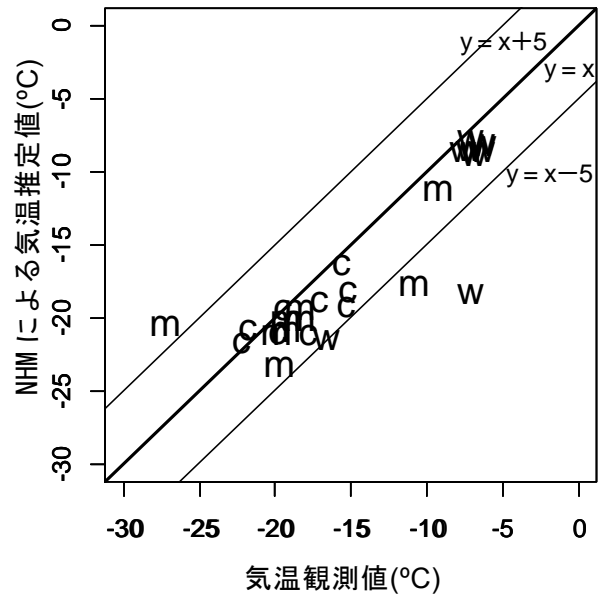
¹⁴ 主研究者：福島広和（札幌管区気象台、現旭川地方気象台）、矢崎友嗣（北海道農研、現北海道大学）

系が表現され、気温推定値が実測値に近づいた。このことから、複雑地形の最低気温分布の詳細な解析において、NHM の計算格子を細かくとることが有効といえる。

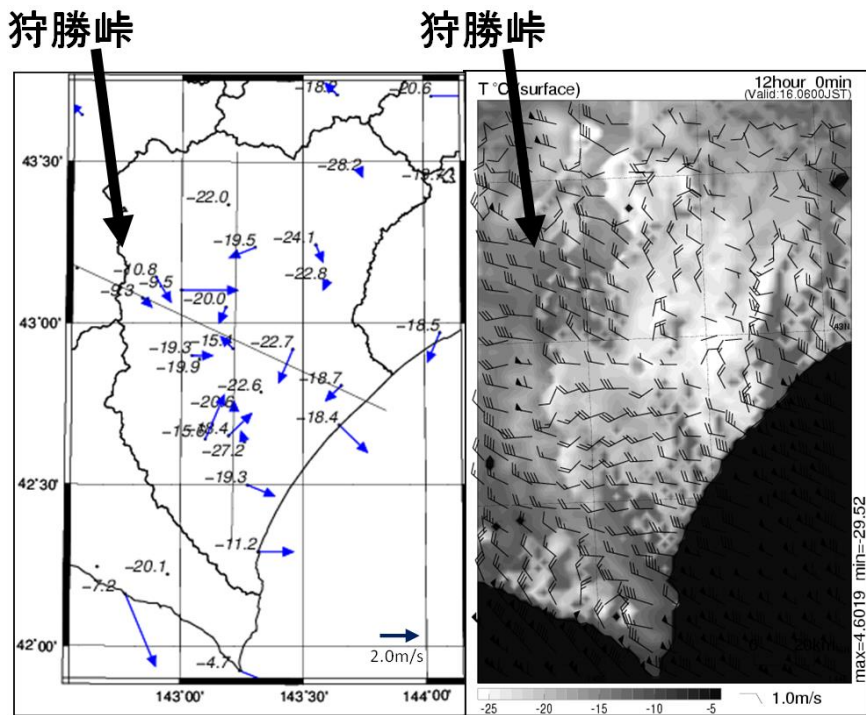
NHM の再現結果をどう気温予測データの精度向上に活かすかが課題であるが、解像度の高さが予測精度の向上に資するとみられることから、予測に GSM を用いている部分を目先は解像度の高い気象庁メソモデル (MSM) の GPV を組み込むことで、一定の改善が期待される。

(d) 2週目の気温予測データの改善に向けた検討

2週目の気温予測データの改善に向けて、アメダスの観測地点別の最低気温ガイダンスを試作し、調査を行った。異常天候早期警戒情報の検討に使用しているガイダンスは北海道太平洋側の気象官署を平均した地域平均値である。この地域の気象官署は、函館や釧路、根室等放射冷却の影響が小さい沿岸官署が多いことや、最低気温ではなく平均気温平年差を予測対象としていることから、放

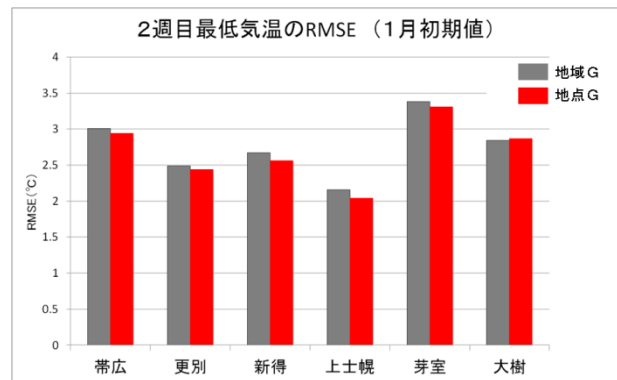


第 2.10 図 強風、中程度の風、弱風時における気温の観測値と NHM による推定値 (°C) の関係
太線は $y = x$ 、細線は実測 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ を示す。ラベルの w は強風、m は中程度の風、c は弱風の事例を示す。気象庁の解析に基づく帯広上空の 925hPa 高度の風が 7 m/s 未満を弱風、15 m/s 以上を強風、その間を中程度の風としている。



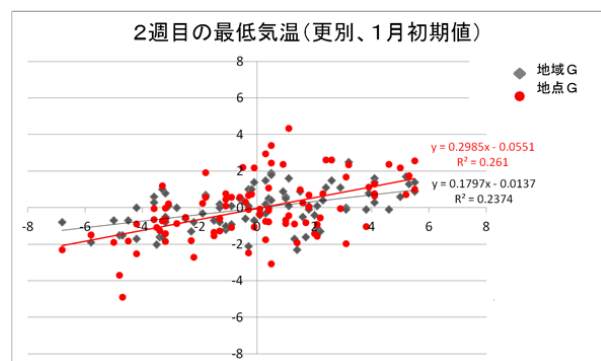
第 2.11 図 中程度の風速時における、(左) 気温、風向風速の実況と (右) NHM による気温、風向風速分布の計算結果
地形データは SRTM-3 を使用。事例は 2012 年 1 月 16 日 6 時。実況の矢印と計算結果の矢羽は、風向風速を示す。

射冷却の効果が大きい十勝地方内陸の最低気温をそもそも予測できない。そこで、本研究では十勝地方の各アメダス観測点の最低気温平年差を直接予測するガイダンスを試作した。第 2.12 図に地域平均ガイダンス（地域G）と地点ガイダンス（地点G）の予測精度（2乗平均平方根誤差、RMSE）を地点別に示す。地域GのRMSEは、北海道太平洋側の7日間平均気温地域平均平年差の予測値（アンサンブル平均値）と各地点の観測値（平年差）から求めた値である。地点Gはそれぞれの地点の7日間平均最低気温の平年差の予測値（アンサンブル平均値）と観測値（平年差）から求めた値である。この結果から、地点Gは地域Gに比べて精度の改善は見られるものの、その改善の程度は小さい。また、凍結深予測には放射冷却に伴う顕著な気温の低下を予測することが効果的であり、こうした顕著な低温が予測できていないか確認した。第 2.13 図にアメダス更別の2週目の7日間平均最低気温予測値と観測値の散布図を示す。この図の丸印のケースでは、地域Gでは予測できない低温偏差を地点Gで予測できており、改善の可能性があることを示している。このように、最低気温を地点別に直接予測することで、多少なりとも精度が向上することが分かったが、土壌凍結深の予測を大幅に改善するところまでは見込めず、まずは目先の気温予測の改善が先決であろう。



第 2.12 図 2週目の7日間平均最低気温予測の2乗平均平方根誤差 (RMSE)

1981~2010年の1月10日、20日、31日の初期値90例。
 地域G：北海道太平洋側7日間平均気温平年差予測値（アンサンブル平均値）
 地点G：各地点それぞれの7日間平均最低気温平年差予測値（アンサンブル平均値）



第 2.13 図 2週目の7日間平均最低気温予測値と観測値の散布図 (更別)

1981~2010年の1月10日、20日、31日の初期値90例。
 横軸：観測気温平年差 (°C)、縦軸：予測気温平年差 (°C)
 地域G：北海道太平洋側7日間平均気温平年差予測値（アンサンブル平均値）
 地点G：更別の7日間平均最低気温平年差予測値（アンサンブル平均値）

2.3 近中四農研との取り組み

(a) 小麦赤かび病防除と小麦開花期予測

小麦の登熟期間が梅雨と重なる等、高温多湿な日本では、赤かび病（第 2.14 図）は小麦の最重要病害である。赤かび病は収量を低下させるだけでなく、小麦粒中にかび毒を蓄積させる。かび毒の濃度が低くても長期間摂取し続けると体重低下や成長抑制等を引き起こす可能性があり、食品の安全性上の問題となっている（農林水産省 2008）。このため、収穫された麦の中に赤かび粒が確認されると規格外となり、さらに、かび毒の濃度が 1.1ppm を超えると出荷できなくなる。

小麦が赤かび病に最も感染しやすい時期は開花期であり、赤かび病対策は開花期における薬剤防除が基本となる。開花期から防除日がずれるほど発病度は高くなるため、開花期をピンポイントで狙った防除が必要となる。しかし、年々の寒暖差により開花期は 2～3 週間変動する。さらに、近年主流となりつつある無人ヘリコプターによる薬剤散布では、防除を実施する 2～3 週間前に開花期がいつ頃になるかを予想して防除日を決定する必要があり、適期防除を困難にしている。そのため、今後の天候を考慮した開花期の予測が必要である。

(b) DVR モデル

小麦の発育段階で生産者が正確に日にちを把握しているのは播種日のみである。そのため、播種日を起点に防除適期である開花期を予測した。開花期を気象データから予測する手法として気温と日長から 1 日あたりの発育速度を計算し、発育ステージを予測する DVR モデルを用いた。小麦の発育速度は気温と日長に左右されるが、茎立期¹⁵以降は日長反応が弱まる。このため、播種から茎立期までは気温と日長を考慮した DVR モデル、茎立期以降は気温のみを考慮した DVR モデルを採用した。なお、日長は場所が決まれば計算によって求まるため、モデル計算に必要な気象要素は日平



第 2.14 図 小麦赤かび病の写真（農林水産省 2008）

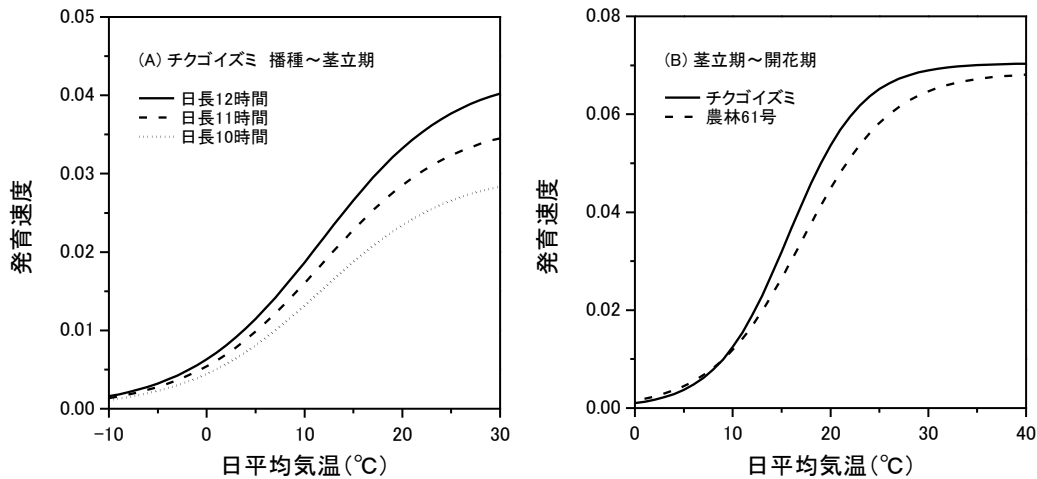
均気温のみである。第 2.15 図(A)は播種から茎立期までの発育速度と気温、日長との関係である。気温と日長から発育速度を求め、この値を播種日から積算し、積算値が 1 を超えた日が茎立期となる。発育は気温が高く、日長が長いほど進むことが図から読み取れる。第 2.15 図(B)は茎立期から開花期までの発育速度を示している。気温から算出される発育速度を茎立期から積算し、積算値が 1 を超えた日が開花期となる。第 2.15 図(B)から、チクゴイヅミは農林 61 号と比較して発育が早いことがわかる。詳細は黒瀬（2013）を参照されたい。

(c) DVR モデルの問題点と解決策

DVR モデルでは、気温の平年値を入力すれば、平年の発育ステージが計算されることを前提としている。しかし、平年値から算出した発育ステージは平年の発育からずれる場合があり、上記の前提が成り立たない可能性があった。そこで、DVR モデルにおいて平年値を使った計算の問題点を検討した。

30 年分（1961～1990 年）の開花期を実測の気温から算出し、30 年間の平均日を平均開花期と定義した。1961～1990 年を解析期間としたのは、温暖化の影響が小さかったためである。解析では、播種日を 11 月 15 日に固定し、開花期を計算した。ここでは 1961～1990 年の平均気温を平年値とし、これから算出される開花期と平均開花期との差を

¹⁵ 茎が伸び始める時期。

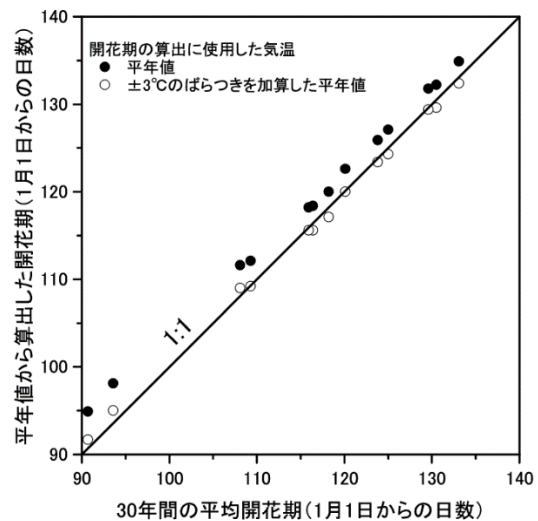


第 2.15 図 気温と発育速度の関係

求め、差の出方に偏りがあるかを調べた。偏りがある場合の解決策として、平年値に偶数日は+1°C、奇数日は-1°Cというように温度の加算と減算を繰り返すことにより、平年値にばらつきを与えた。この場合、ばらつきの加算量は1°Cとなる。ばらつきを与えた平年値から算出した開花期が平均開花期と一致する時のばらつきの加算量を求めた。解析地点は西日本の気象官署13地点とし、海沿いの地点から内陸、山間地等地理的条件が異なる地点を選んで解析した。また、解析に用いた発育予測モデルは、小麦の開花期予測システムで使用している農林61号のモデル(黒瀬2013)とした。

平年値から算出した開花期は30年間の平均開花期と一致せず、全ての地点で差は一定方向に偏った(第2.16図の黒丸)。平年値から算出した開花期と30年間の平均開花期とを比較すると、前者が常に遅く、遅れは1.7~4.5日、平均2.6日であった。

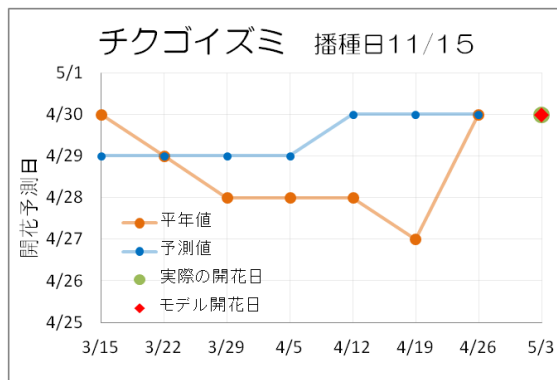
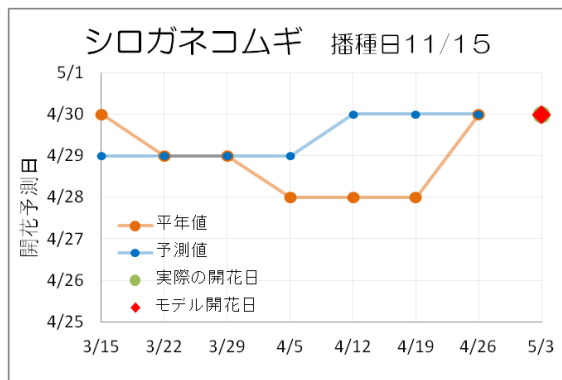
平年値を使用した場合に発育が早まるか遅れるかはDVRモデルのパラメーター T_h (°C)により決定される。気温(平年値)が T_h よりも低い場合には発育は少しずつ遅延し、 T_h よりも高い場合には少しずつ早まる。ここで、モデル(農林61号)の T_h は14.0°Cであり、開花10日前頃の気温に相当する。平年値を用いた計算では、開花10日前までの期間は発育は一律に遅延となるため、最終的に発育は遅延することとなる。



第 2.16 図 平年の開花期の予測結果

DVRモデルに入力する平年値の違いが予測結果に及ぼす影響。黒丸は平年値を入力した場合、白丸は平年値に±3°Cのばらつきを加算して入力した場合。黒瀬ほか(2015)より。

平年値から算出した開花期がずれる問題の解決策として、平年値に加算するばらつきが大きいほど算出される開花期が早まることから、平均開花期と一致する時のばらつきの加算量を決定した。その値は2.2~3.5°C、平均2.9°Cであった。平年値に対して年々の気温のばらつきが大きい地点ほど、ばらつきの加算量も大きくする必要があった。播種日から開花期までの期間について年々の気温のばらつき(標準偏差)を求めると、その地点でのばらつきの加算量とほぼ一致した。最適なばら



第 2.17 図 2013 年春の小麦開花期予測のシミュレーション結果

ガイダンスは 1 週目、2 週目、3 週目、4 週目の気温（週平均）を使用。場所は広島県福山市（近中四農研）
 横軸：予測を実施した日（毎週金曜日）。
 縦軸：予測による開花日、実況値をモデルにあてはめた開花日（◆）と実際の開花日（●）。

つきの加算量は地点ごとに異なるが、実用上は 3℃ のばらつきを与えた平年値で開花期を算出すればよいと考えた（第 2.16 図の白丸）。

(d) 小麦開花期予測のシミュレーション

小麦の発育予測を行うにあたり、当日以降の気温として平年値をモデル入力に用いることが多いが、ここでは 1 か月予報ガイダンスによる気温予測値（地点は福山）のアンサンブル平均値を最長 4 週目（28 日先）まで用いて、実況経過分には現地圃場（広島県福山市）の観測値、予測のない 4 週目以降には現地圃場の平年値を用いている。1 か月予報ガイダンスは 7 日間平均気温（平年差）であるため、これを日平均気温とみなし、週単位で一律に日別平年値（現地圃場）に加算して使用している。以上の手法により、毎週木曜日¹⁶に最新の 1 か月予報ガイダンスを用いて予測を行うという流れである。

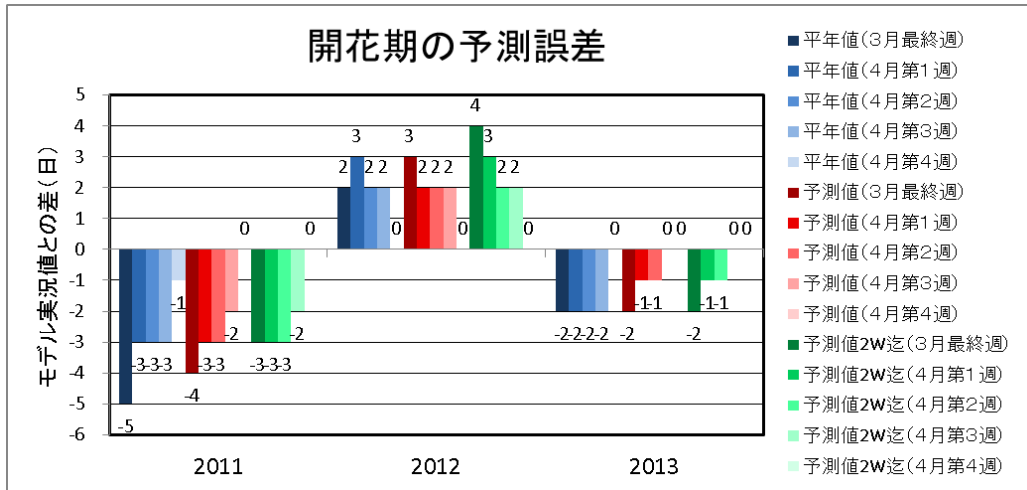
2013 年春の小麦の開花期について予測シミュレーションした結果の例を、第 2.17 図に示す。小麦の品種はシロガネコムギ、チクゴイズミで、播種日は 11 月中旬、開花期は両方とも 4 月 30 日で、モデル実況値（気温の実況経過を生育モデルに入力して推定したもの）も同様であった。結果のグラフからは、ガイダンスを用いた予測は、平年値

によるものと比較して、1 か月程度前から実況値に近くなり、開花期の 1～3 週間前の予測では 1～3 日程度改善しており、4 月 12 日時点で 4 月 30 日の開花期を予測できている。これは、4 月中旬の低温傾向をガイダンスが表現していたことが改善の要因として挙げられる。

第 2.18 図は、同様のシミュレーションに 2 週目までガイダンスを用いる（その後は平年値）という条件も加えた、2011 年、2012 年、2013 年の予測の検証結果である。比較対象はモデル実況値で、各手法（グラフの色に対応）の有効性を比較したものである。リードタイムの長い予測（濃い色）に着目すると、ガイダンスを用いたものは、平年値による予測と比べて、良くなっている事例はあるものの、そうでない事例もある。また、2 週目までガイダンスを用いたものと 4 週目まで用いたものとで比較すると、2011 年は前者の結果が少し良く、2012 年は後者の結果が良かった。2 週目までと比較して 3～4 週目のガイダンスは相対的に精度が低いため、現状では 2 週目まではガイダンス、その先は平年値を用いるといった方法も考えられる¹⁷。そこで、1991～2010 年の 20 年間について、2 週目までのガイダンスを用いて開花期を予測した結果、4 月 10 日を予測開始日とした場合、

¹⁶ 気象庁の 1 か月予報ガイダンスの提供日が変更となった 2014 年 3 月以降。それ以前は金曜日に予測。

¹⁷ この場合、異常天候早期警戒情報のガイダンス（2 週目まで）も利用できるため、毎週月曜日と木曜日に開花期予測が可能となる。



第 2.18 図 2011～2013 年春の小麦開花期予測の誤差のグラフ

モデル実況値（気温の実況経過を生育モデルに入力した推定値）と、各予測値の比較（毎週金曜日）。青（平常値による予測）、赤（4週目までガイダンス）、緑（2週目までガイダンス。色が濃いほどリードタイムの長い予報。場所は福山市（近中四農研）。対象品種はシロガネコムギ（播種日は11月中旬）。

第 2.4 表 1991 年～2010 年の小麦開花期予測のシミュレーション結果

場所は福山市（近中四農研）。対象品種はチクゴイズミ。

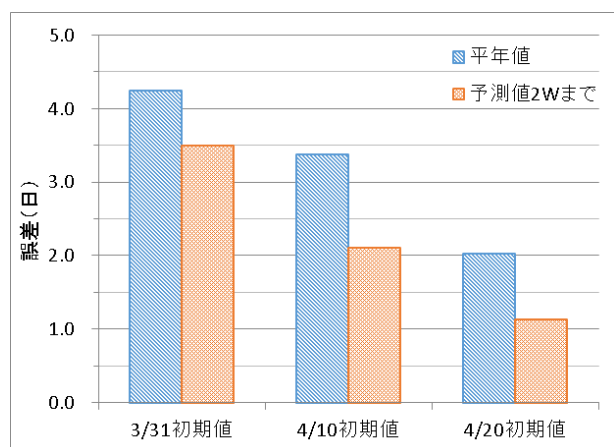
「改善」とは（A）気温予測値に基づく開花予測日が（B）平常値に基づく開花予測日より実際の開花期に近かった場合、「予測値、平常値ともに誤差なし」とは（A）と（B）が実際の開花期と一致した場合。「効果なし」とは（A）と（B）は同じであるが、実際の開花期と異なる場合。

	予測日					
	3月31日		4月10日		4月20日	
平常値へのばらつき付与の有無	なし	あり	なし	あり	なし	あり
改善した年数	11	8	13	13	10	7
予測値、平常値ともに誤差なしの年数	1	1	0	2	2	8
効果なしの年数	4	9	4	2	5	4
改悪した年数	4	2	3	3	3	1

開花3週間前の時点で予測結果が改善された年は20年中13年、改悪は3年であり（第2.4表）、平均して1日以上改善できることがわかり（第2.19図）、気候予測情報の有効性が確認できた。

以上より、小麦開花期の2～3週間程度前に気候予測情報を用いた開花期予測を行うことで、従来よりも適切な見通しをもったヘリコプター防除等の対応の可能性が示された。

以上の結果を踏まえて、2週目までの気温ガイダンスおよびばらつきをあたえた平常値を利用して開花期を予測し、予測結果をWeb上に公開するシステムを構築した¹⁸。



第 2.19 図 1991 年～2010 年の小麦開花期予測のシミュレーション結果

場所は福山市（近中四農研）。対象品種はチクゴイズミ。2週目までのガイダンスを使った場合と平常値のみを使った場合の誤差（RMSE）を示す。

¹⁸ http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/meteo_fukuyama/WEB/wheat/index_mugi.html

2.4 九州沖縄農研との取り組み

(a) 水稻の高温登熟障害対策

近年、西日本を中心とした多くの地域で、水稻の高温登熟障害のひとつである登熟期の高温による玄米の品質低下が問題となっている（森田 2011）。品質低下の主な症状は、玄米が白濁する「白未熟粒」の多発であり、玄米内の白濁の位置によって、乳白粒、背白粒、基部未熟粒と分類される（第 2.20 図）。白未熟粒が多発すると脆くなるために精米時に砕けやすく、食味も落ち、米の等級が低下する。平年より 3℃近くも高い気温が広範囲にかつ長期間にわたって発生した 2010 年には、全国的に米の等級が低下した。

このような近年の高温傾向は、地球温暖化の進行が影響していると考えられており、比較的高温に適応しているとされる水稻においても、高温障害発生のリスクは高まると考えられる。このため、その対策技術の確立と普及が急がれている（農林水産省 2006）。

(b) 気象対応型追肥法の構築と効果検証

高温登熟障害を軽減する方法は、高温自体を回避する遅植え（田植えを遅らせて、秋に涼しくなってから稔らせる）や、高温に当たっても耐えられる高温耐性品種への転換等、いくつか提示されている（森田 2011）。このような技術対策のひとつとして、出穂前の追肥量を通常より増やすことで出穂後の高温で多発する白未熟粒の増加を軽減できることもわかってきた。ただし、葉色が濃い場合にさらに追肥量を増やすと、米のタンパク含量が高くなり食味が落ちるため、葉色に応じて追肥量を決める必要がある。また、出穂後において、高温ではなく日照不足や台風の影響を受けた際に追肥量を増やすと稲が軟弱になって倒れやすくなったり、乳白粒が増えたりすることも明らかになっている。このため、出穂前の追肥時期に出穂後の気象を予測するとともに葉色調査を行い、両者の結果から追肥量を決定する「気象対応型追肥法」が重要だと考えられる。本研究では、その具体的な手法を検討するとともに、追肥時における出穂



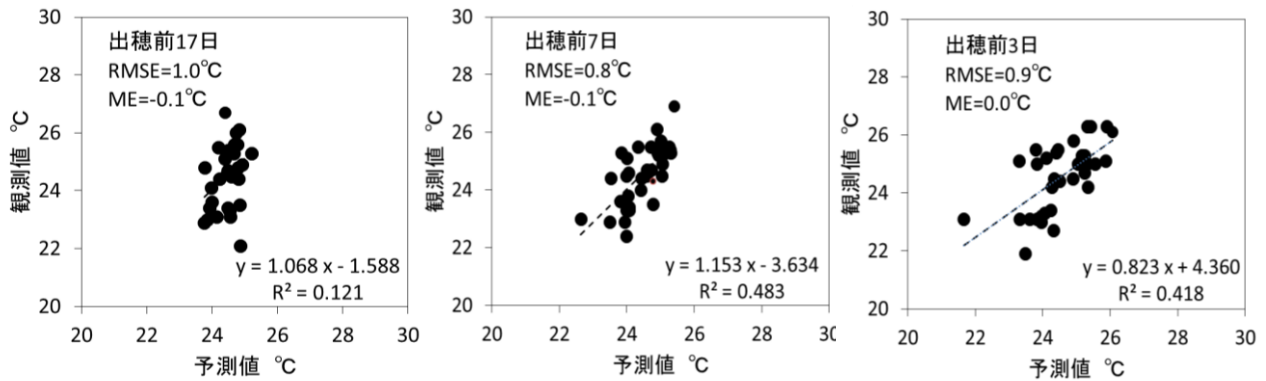
第 2.20 図 代表的な高温登熟障害による白未熟粒横から見た外観（上段）と点線部による断面図。森田（2011）より。

後の気象予測精度を評価した。以下では、森田ら（2015）で公表した内容の概略を述べる。

九州沖縄農研圃場（福岡県筑後市）で、2003～2014 年に窒素追肥量を変えて「ヒノヒカリ」を栽培し、穀粒判別器（RGQI10B あるいは RGQI20A、（株）サタケ）で測定した玄米品質と出穂後 15 日間の気象条件および葉緑素計（SPAD-501、（株）コニカミノルタ）で測定した穂揃期（出穂後 3 日程度）の葉色との関係を解析した。また、現在の気象予測データの予測精度をアメダス久留米の過去 33 年間（1981～2013 年）のデータで評価するハインドキャスト検証実験を行い、出穂前 17、7、3 日の時点での出穂後 14 日間の気温の予測精度を検証した（第 2.21 図）。その結果、

(1) ヒノヒカリの慣行施肥区（窒素穂肥量 2kgN/10a）で、出穂後 15 日間で平均した日最低気温と基部未熟粒歩合の間に正の相関が認められた。整粒歩合 10%の低下が等級の低下に結びつくことを考慮すると、基部未熟粒歩合が 10%になる日最低気温の 15 日間平均 24.5℃が追肥診断を行う閾値として適当であると考えられた。

(2) 高温登熟障害により玄米品質が低下した 2003 年と 2010 年を抽出すると、穂揃期の葉色と基部未熟粒の間には負の相関が認められた。このため、前述と同じ観点から基部未熟粒歩合 10%を上回らないためには、出穂後 14 日間の日最低気温の平均が 24.5℃以上になると予測される年においては、穂揃期の葉色が 35 を下回らないように制御することが重要であると考えられた（葉色は値



第 2.21 図 気象対応型追肥法における出穂後 14 日間で平均した日最低気温の予測精度の検証結果
 アメダス久留米の 33 年間（1981～2013 年）の観測値と予測値の比較。左から、出穂前 17 日、7 日、3 日の結果。

が高いほど濃いことを、低いほど薄いことを示す)。

(3) 出穂前 17 日前後の追肥量と穂揃期葉色との関係を追肥時期の葉色レベル別に検討したところ、穂揃期の葉色が 35 を下回らないために必要な追肥量は追肥時期の葉色から判定することが可能と考えられた。

(4) 一方、ハインドキャスト検証実験により、出穂前 17 日時点における出穂後 14 日間の気温の予測精度は統計的に有意であるもののその有効性は必ずしも十分でなく、予測精度が高まる出穂前 3 日での追肥をターゲットにした気象対応型追肥法の検討も必要であると考えられた。

なお、ハインドキャストの検証実験は次の方法により実施した。

- ・観測点はアメダス久留米。
- ・多数の事例で有効性を評価するために、1981～2013 年の 33 年分の事例で検証。
- ・日最低気温の観測方法の変遷による不均質性を緩和するため、気象庁気象観測統計指針（気象庁 2005）による補正値を観測値に加える。
- ・ハインドキャストによる 1 か月予報ガイダンスデータ（九州北部地方、14 日間平均気温平年差）を、日最低気温平年値を基準に適用して予測値を作成。
- ・出穂日は 8 月 6 日前後を仮定し、出穂 17 日前（7 月 20 日初期値）、7 日前、3 日前（7 月 31 日初期値）での予測値と観測値の関係を調査。

また、気象対応型追肥法の実証試験により、葉色診断を実施する際の閾値である出穂後 15 日間の日最低気温 24.5℃に達して追肥量を増やした試験区では、品質向上と増収が認められ、増肥で懸念される玄米タンパク濃度の上昇についても、食味の大幅な低下に結びつくレベルには達しなかった。さらに、24.5℃を上回ると予測されたと仮定して追肥を行い、実際は気温が低くなった場合の品質は 2014 年と 2015 年の気象条件の範囲では大きく低下することがなく、この場合にも収量は増加し、玄米タンパク濃度の点からも、マイナスのリスクは小さいことが示された。したがって、出穂前 17 日の時点での出穂後 14 日間の予測気温は前述のとおり必ずしも十分な予測精度はないが、仮に高温予測を外した場合にも、穂揃期の葉色 35 を目標にした追肥診断のマイナスリスクは小さいことから、気象予測を使った追肥診断の意義は高いと考えられた。

なお、気象対応型追肥法で対照区より追肥量が多くなった場合の経営的メリットを検討したところ、葉色診断に使う物品（センサーあるいは葉色板）と労務費および追肥量の増加による肥料代と肥料散布の労務費がかかるものの、増収と品質向上による売上げ増加がこれらの費用を上回り、4,500 円/10a を超える収入増加に結びつくこと試算され、本技術の導入メリットが明らかになった。

以上のように、気象対応型追肥法の骨格が構築

され、実証試験でも効果が検証されたことを受けて、現在、中央農研と協力して、1 km メッシュ農業気象データを活用した「水稻最適窒素追肥量診断」の Web コンテンツを作成中である。本コンテンツは、平成 28 年度以降の試験的運用を目指している。

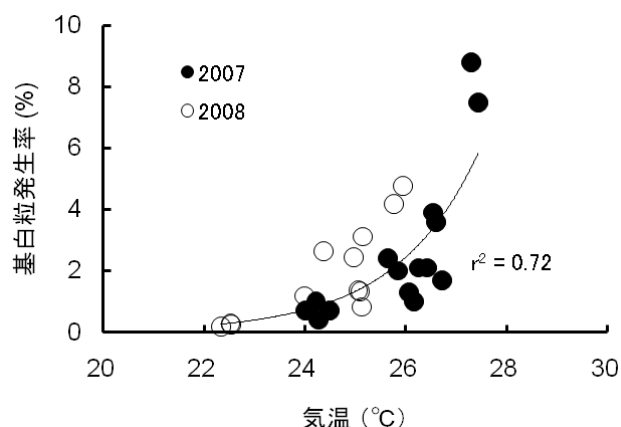
気象対応型追肥法に関するこれらの成果のうち、モデルの骨格は主に農林水産省の「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業のうち実用技術開発ステージ」（課題名：変動気象に対応可能な水稻高温障害早期警戒・栽培支援システムの開発）で、効果の検証は主に農林水産省の「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業」（課題名：農業生産法人が実証するスマート水田農業モデル）の中で実施した。

(c) 水稻の高温障害発生予測モデル

高温障害を軽減・回避することは、もちろん重要であるが、発生した気象に対して、収穫前の段階で被害の状況を予測しておくことが必要なこともある。例えば、被害に対する農業共済制度の共済金を申請する場合、収穫後に高温障害の実態を目の当たりにしてからでは間に合わないため、事前に被害状況を想定して申告する必要がある。現在、高温障害の発生予測モデルに関する研究も進められており、情報の活用等が期待される。

高温障害の発生予測モデルの例を第 2.22 図に示す。これは、気温との関係が大きい基部未熟粒についての発生予測モデルで、アメダス付近の農家圃場の水稻を対象として調査を実施したものである。なお、乳白粒の予測には気温に加え、日射量や各種生育指数等が重要になり、モデルもより複雑なものとなる（脇山ほか（2010）等）。

共済申請のための被害発生予測だけでなく、気象予測データを用いた高温登熟障害発生予測結果に基づいた被害軽減のための対策実施等につなげるために、各県の農業関連機関への予測モデルや気象情報の提供等も行い、意見のフィードバックや農業気象情報の活用法の創出等も目指した取り組みを行った。取り組みでは 2013～2015 年に、気



第 2.22 図 高温障害発生予測モデルの例（基部未熟粒発生予測モデル）

出穂後 20 日間の平均気温と基部未熟粒発生率。品種はヒノヒカリ。脇山ほか（2010）より。

象予測データの外、1 か月予測資料を用いたモデルによる白未熟粒（基白粒および乳白粒）発生予測、出穂期予測、成熟期予測結果を各県へ送付した。その後、送付された情報に対する県側の対応、利用状況について聞き取り調査を行った。聞き取り調査の結果、県では普及センター等現場へ情報を提供し水稻の栽培管理に利用した、との回答を得た。例えば、出穂期予測結果については、普及センター等で行われる講習会での追肥施用の判断材料として利用された。また、白未熟粒発生予測結果については、登熟期に行われる作柄検討会で、発生予測結果等に基づいた行政側の対応方針の確認に活用された。なお、2013 年～2015 年は、いずれの年も九州普通期水稻の登熟期間の気温は平年に比べて低く推移し、高温登熟障害の発生は少なかったものの、情報は効果的に活用されたといえる。高温登熟障害の発生が予測された場合、上記第 2.4 節 (b) で示した肥培管理による障害回避の他、水管理による回避技術の開発も進んでおり（丸山 2014）、これらの対策を実施することにより被害軽減が図られるものと考えられる。

2.5 中央農研との取り組み

(a) メッシュ農業気象データの作成

農業での栽培管理等には自らの圃場におけるデータが重要なため、従来のポイント的な気象データよりも、きめ細かく面的なメッシュ情報が必要とされる。農作物の気象による被害の解析や、作物の成長予測や、気象に関係した農業災害の早期対策等を迅速に実施するためには、予測も含めてメッシュ化された農業気象データが最新の状態で利用できることが望ましい。中央農研では「メッシュ農業気象データ」を1 km スケール（国土数値情報3次メッシュ）で開発・整備しており、気象庁はメッシュ値作成に係る各種データの提供や、技術的な情報の提供等で協力している。

メッシュ農業気象データの要素は、農作物の生育等と関係が深い、日平均気温、日最高気温、日最低気温、日平均相対湿度、日照時間、日射量、下向き長波放射量、日積算降水量、日平均風速（開発・整備中の要素も含む）等である。

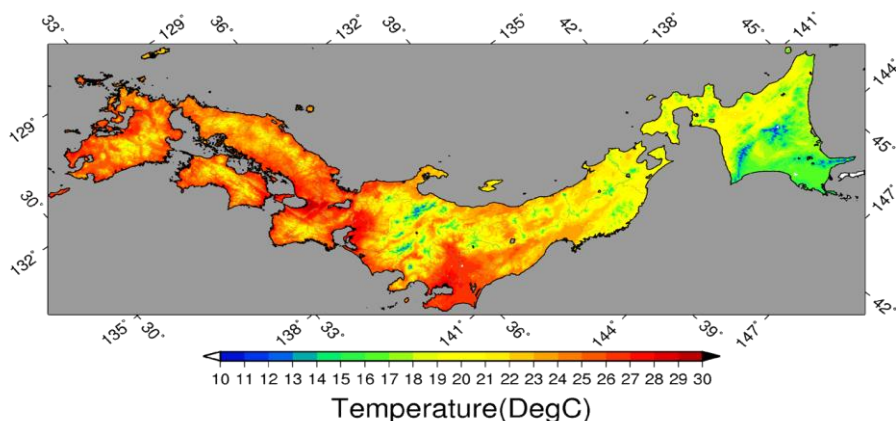
観測部分のメッシュ値（例を第2.23図に示す）の作成手法は、基本的に清野（1993）の手法によるが、気象庁メソモデル（MSM：水平格子間隔約5km）の各要素のGPVを用いて、アメダスでは空間的表現が足りない部分を補完している。また、降水量については解析雨量も活用している。

予測部分のメッシュ値については、基本的に気象庁全球モデル（GSM：水平格子間隔約20km）のGPVから統計的にダウンスケールを行い、直近の

誤差傾向を逐次補正する形で作成されている（大野ほか2016）。

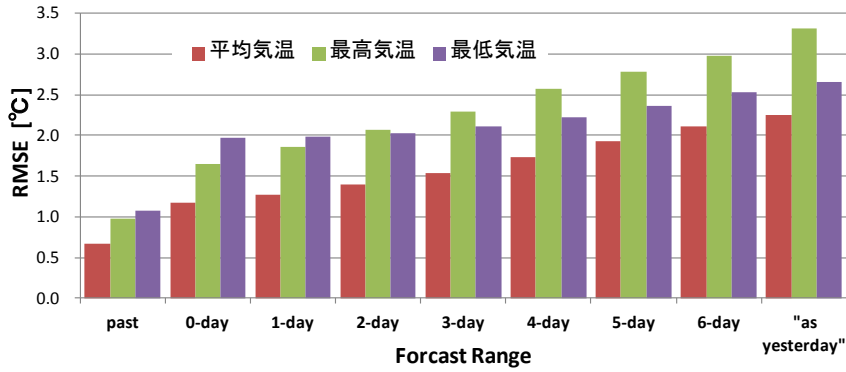
2014年からは、予測精度の一層の向上を目指して、当日の予測にはGSMより高解像度のMSMのGPVを取り込んだ。MSMを取り込む前（統計期間2008～2012年）と導入後（2014年）における全国平均した日平均気温の2乗平均平方根誤差（RMSE）は、前者が1.16℃、後者が1.13℃で改善はわずかであるが、導入後の評価期間が短いことから、データを蓄積し、より長期間のデータで評価が必要である。

また、2週目以降についても比較的予測精度の高い平均気温等の要素について、メッシュ農業気象データへの気象予測データの導入を行った。使用したデータおよび作成方法は、第2.1節(a)で示したものと同様であるが、4週間先までの予測を計算している。なお、予測期間が足りない未来の部分には、平年値のメッシュデータを用いることもできる。第2.25図に近畿地方から東北南部地方にかけての10日先（7～13日先の7日間平均気温）予測の空間的な誤差を、第2.26図に同領域で地域平均した1～6日先の日平均気温予測および10、15日、20日先の7日間平均気温予測（アンサンブル平均値）の誤差のグラフを示す。第2.25図から、10日先の7日間平均気温のRMSEは1.5℃前後（左図）で、すべての地域で平年値よりも0.2℃前後小さく（右図）、予測精度が確保されている。リードタイム別（第2.26図）には、日平均



第2.23図 メッシュ農業気象データの例（中央農研資料）

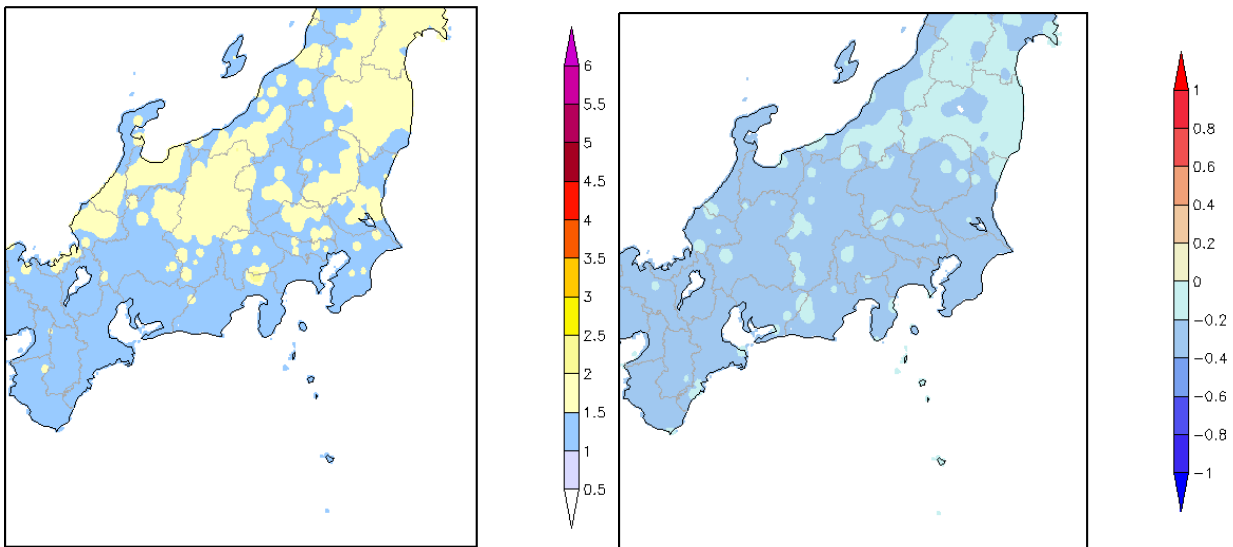
2010年8月24日の日平均気温の図。



第 2.24 図 メッシュ農業気象データの精度 (中央農研資料)

日平均気温、日最高気温、日最低気温について。

全国の 760 観測地点における 2010 年の 365 データについて計算した RMSE。past は、実況値をメッシュ展開した場合のメッシュ値の誤差 (推定値)、as yesterday は、「今日の気象は昨日と同じ」として、持続的に予報した場合の誤差を表す。



第 2.25 図 10 日先の 7 日平均気温予測の 2 乗平均平方根誤差 (RMSE) (左図) および気候値予報の RMSE との差 (右図)

検証には 2011~2014 年の予測値、観測推定値 (アメダス観測値から補完した値) を用いている。10 日先とは、初期値から 7~13 日先の 7 日間平均気温。平年値は、1981~2010 年平均の観測推定値。

気温の評価となる 6 日先にかけて RMSE は次第に大きくなるものの平年値よりは小さく、予測精度は確保されている。7 日間平均気温の評価となる 10 日先以降、次第に平年値との差は小さくなり、20 日先では平年値とほとんど変わらず、実用的な予測精度が確保されているとは言い難い。

次に、気温予測の確率的な指標 (確からしさ) として、第 2.1 節 (a) で示した方法に準じて分布の広がり (予測幅) を計算し、その精度評価を行っ

た。第 2.27 図は 2011 年~2014 年の気温平年差 1°C 以上となる確率の ROC 面積¹⁹の分布である。10 日先では、ROC 面積は全国的に 0.7 以上確保されている。20 日先でも西日本や北海道等一部で 0.6 を下回るがそのほかは 0.6 を超えている。25 日先では全国的に 0.5 程度まで低下する (図略)。

¹⁹ ROC 面積は 0.5 を超えるとスキルのある予測といえ、最大は 1 である。詳細は中三川 (2013) 等を参照されたい。

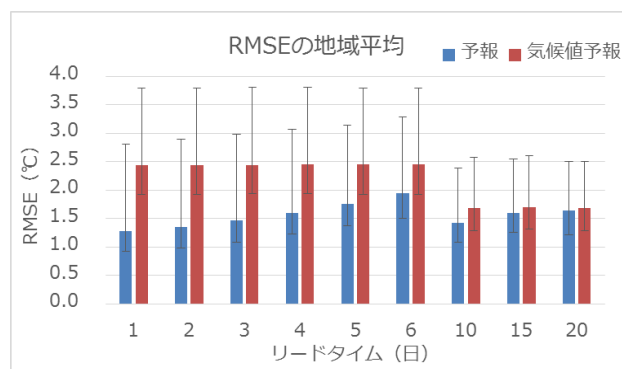
また、農業生育情報への利用では、向こう〇日間等の積算気温や平均気温の予測が利用されることが多いことから、向こう n 日間 (n=1~28) の平均気温の予測精度 (気候値予報と当予測の RMSE の差に対する気候値予報の RMSE の比=誤差低減の効果) の変化を調べた (第 2.28 図)。比較のため、日別の予測精度 (10 日先以降は 7 日間平均気温を日平均気温とみなした場合の予測精度) も同じ図に記載した。この結果から、日別ではリードタイムが伸びるに従い、急激にその精度が低下するのに対して、一定期間の平均値の精度の低下はゆるやかである。

以上のことから、リードタイムが伸びるほど、アンサンブル平均値のみならず、その誤差幅あるいは確率情報を参照することがより重要となる。アンサンブル平均値を利用する場合は、リードタイムが長いものは期間平均気温や積算気温としての利用が推奨される。

データの利用²⁰に関しては、都道府県や各自治体の農業関係機関等が、農業分野での利用を希望する場合、申請・認可を通して、オンラインでのデータ利用が可能となる。メッシュ農業気象データは、メッシュデータのファイルをダウンロードしなくても、Web 経由での直接アクセスによる利用が可能であり、プログラム言語や各種アプリケーションを通して、作物モデル等への入力や各種計算等、高度な処理にも活用できる方法が用意されている。また、メッシュ農業気象データ活用に関する習熟を支援するユーザー向けの講習等が農業気象研究会を通じて定期的に行われる等、普及・啓発のサポート活動も行われている。

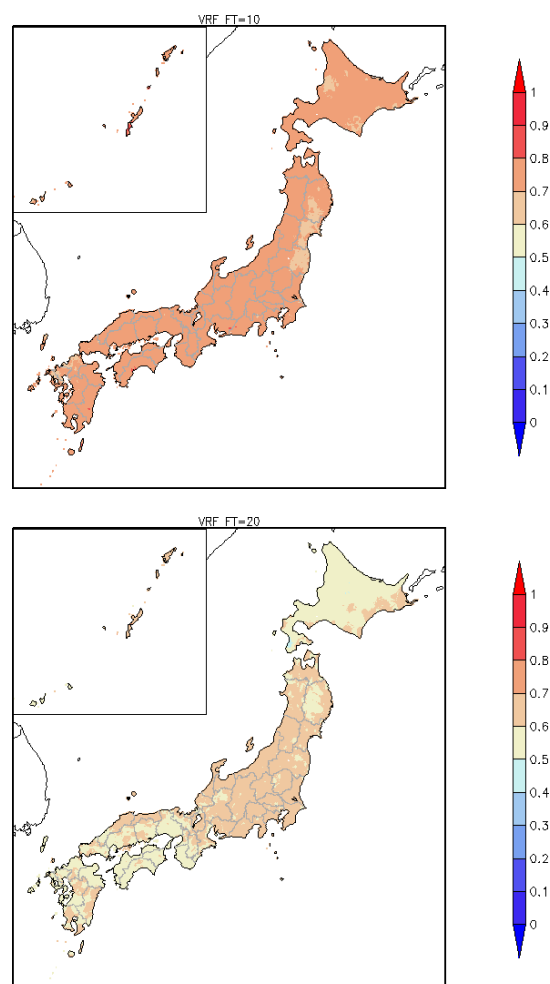
2013 年 11 月 13 から 14 日につくば市で開催された講習会には 66 人の受講者が参集した。このうち、約半数の 31 人が都道府県や自治体の農業関係機関等からの参加者であった。これは、メッシュ農業気象データに対する関係機関等の関心の高さ

²⁰ メッシュ農業気象データは、農作物の管理や栽培の計画のために特別に推定した気象に関する農業専用の指標であり、気象庁や気象事業者が提供する実況・気象予測データとは性質が異なるため、農業分野以外での利用はできない。



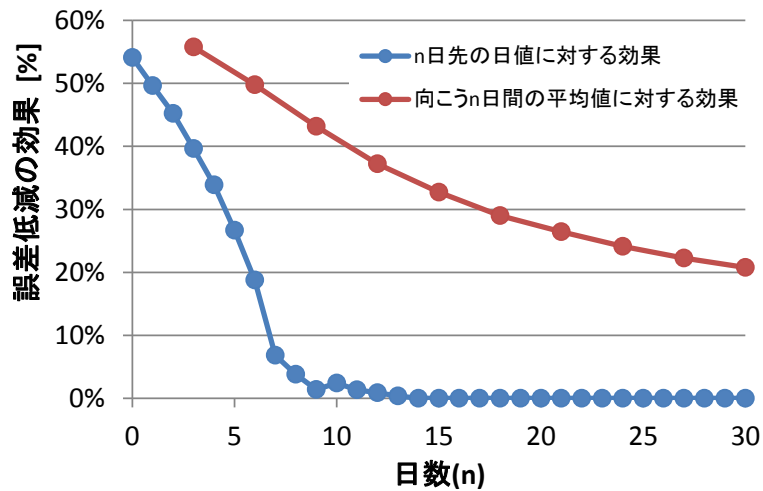
第 2.26 図 第 2.25 図の地域で平均したリードタイム別 2 乗平均平方根誤差 (RMSE)

検証期間は第 2.25 図と同じ。1~6 日先は日平均気温、10 日、15 日、20 日先は 7 日平均気温。エラーバーは、地域内の最小値と最大値を示す。



第 2.27 図 気温偏差が +1°C 以上の確率の検証結果 (ROC 面積)

検証期間は 2011~2014 年。平年値は 1981~2010 年平均の観測推定値。上図が 10 日先、下図が 20 日先。



第 2.28 図 期間平均値および日別値のリードタイム別の予測精度
 検証期間は 2011～2015 年。全国平均。平年値は 1981～2010 年平均の観測推定値。
 誤差低減の効果 = (気候値予報の RMSE - 予測値の RMSE) / 気候値予報の RMSE。
 10 日目以降の日別の検証は 7 日間平均値を日別の予測値とみなした場合の値。

を示す。この講習会開催の後に 12 件の利用申請が新たになされた。2014 年以降も講習会を継続しており、鳥取県農業試験場で水稻の収穫適期の予測に試用される等、一部の県農業試験研究機関で試用されてその有効性が示される等、利用も着実に広がりつつある。

(b) 主要作物の生育予測

気象条件から、作物の出穂日、開花期、成熟日等を推定するモデル(発育モデル)を水稻、小麦、大豆について作成した。これをメッシュ農業気象データで実行することにより、任意の地点について栽培中の作物の出穂日等を予測することができるようになった。

さらに、複数の作物モデルを任意の条件で連続して実行するシステムを構築した。これにより、水稻、小麦、大豆を組み合わせた輪作の様々な作型について、1980 年から現在の気象条件に基づいて生育・収量をシミュレーションできるようになり、最適な作期配置やその時の収量、変動リスクを地域ごとに提示することが可能となった。

3. まとめと今後の展望

気象庁と農研機構は、農業技術に適合した気候予測情報を開発し、これを適用した農業技術情報の開発と有用性の実証を行い、全国を対象とした早期警戒・栽培管理支援システムに反映することにより農業被害軽減等を図り、さらにその成果を農業分野での気候情報利用（気候リスク管理）の成功事例として広く公表することにより気候情報の更なる利用促進を目指すことを目的に、平成23年度から平成27年度にかけて共同研究を実施してきた。

前章までで記述したように、1か月予測資料を利用して各農研センターが取り組んでいる農作物生育情報の高度化等が行われ、メッシュ農業気象データの改善が進む等の様々な成果が得られた。

農業分野は気候の影響を特に強く受けるため、気候リスク管理における先進的な分野である。水稻の高温障害予測モデルの開発は、定量的な気候リスク評価の事例であり、野良イモ防除のための土壌凍結深予測、小麦赤かび病防除のための小麦開花期予測、水稻の高温登熟障害軽減・回避のための気象対応型追肥法の例は、気候リスクへの対応の効果を確認する実証実験の事例である。また、農作物警戒情報システムや、メッシュ農業気象データ、全国版早期警戒・栽培管理支援システムは、より広範囲にわたる効果的な気候リスクへの対応を実現する取り組みの事例である。これらの事例は、農業以外の分野における気候リスク管理においても参考になると考えられる。

これまで記述してきたこと以外にも、東北農研の共同研究者からの紹介により、山形県農業総合研究センター研究者との気候情報の利用について対話を行い、1か月予測資料を用いた水稻刈取適期予測（宮脇 2013）が実施された。その成果を活用して他都道府県の農業研究機関での予測情報（1か月予報ハインドキャストの気温ガイダンス）利活用等の普及に向けた取り組みに利用した。事例を示すことで具体的な利用方法とその成果が見えること、比較的簡便に調査ができ成果も得やすいこと、水稻以外の農作物への応用が可能なこと等から、農業研究機関の担

当者からは同様の調査を実施したいとの回答が得られた。実際にガイダンスを提供し、調査の実施を検討している機関もあり、気候情報の普及に向けた成果が得られつつある。

各農研センターとの共同研究によって、多くの成果が得られたが、これらの成果を農業関係者に広く活用してもらうためには、農研機構が構築した早期警戒・栽培管理支援システムに成果を確実に反映することや当システムを農業関係者が実利用しやすい仕組みに上げていくことが重要である。システムの社会実装化は、農研機構が取り組んでいる内閣府 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の次世代農林水産業創造技術研究開発計画の一課題である「農業気象情報の創出と作物生育・病虫害発生予測モデルに基づく作物栽培管理支援システムの開発」（平成26～平成30年度）等の中で進められている。

謝辞

岩手県立大学ソフトウェア情報学部の南野謙一先生はじめ関係者の方々には、農作物警戒情報システムの改修やアンケート調査等、ご協力いただきました。ここにお礼申し上げます。

参考文献・資料

- 伊藤明, 2013: 1 か月予報と異常天候早期警戒情報のためのガイドンス. 平成 24 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 182-195.
- 大野宏之, 佐々木華織, 大原源二, 中園江, 2016: 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象, 16, 71-79.
- 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.
- 気象庁, 2005: 気象観測統計指針.
- 黒瀬義孝, 野津原昭二, 伊藤明, 2015: DVR モデルにおける気温平年値を使った予測の問題点と解決策. 日本農業気象学会 2015 年全国大会講演要旨, 128.
- 黒瀬義孝, 2013: 小麦赤かび病を適期に防除するための開花期予測システム. 日本醸造協会誌, 108 (1), 25-31.
- 清野毅, 1993: アメダスデータのメッシュ化について. 農業気象 48(4), 379-383.
- 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構, 2011: 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中期計画.
- 内閣府, 2014: 戦略的イノベーション創造プログラム. <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/> (2016 年 3 月閲覧)
- 中三川浩, 2013: 季節予報の評価手法. 平成 24 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 271-281.
- 農林水産省, 2006: 水稲の高温障害の克服に向けて (高温障害対策レポート). http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/g_kiko_hendo/suito_kouon/pdf/report.pdf (2016 年 3 月閲覧)
- 農林水産省, 2008: 麦類のデオキシニバレノール・ニバレノール汚染低減のための指針. http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/ (2016 年 3 月閲覧)
- 平井雅之, 坂下卓也, 2006: 地上気温・風速の検証. 平成 18 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 23-27.
- 広田知良, 2008: 北海道・道東地方の土壤凍結深の減少傾向および農業への影響 (2007 年度秋季大会シンポジウム「雪氷圏から語る気象と気候」の報告). 天気 55(7), 548-551.
- 広田知良, 根本学, 矢崎友嗣, 井上聡, 岩田幸良, 前田修平, 宮脇祥一郎, 野津原昭二, 大澤和裕, 2013: 気象庁予報データを用いた土壤凍結深制御による野良イモ対策. 日本農業気象学会 2013 年全国大会講演要旨. 40.
- 福島広和, 輪島淳, 横田歩, 2013: 十勝における冬季最低気温の分布と発生機構. 平成 25 年度札幌管区気象研究会予稿集. 406.
- 丸山篤志, 2014: 米の外観品質・食味研究の最前線(35) 近年の温暖化による水稲の高温障害の発生と水管理による対策. 農業および園芸 89(9), 957-963.
- 宮脇祥一郎, 野津原昭二, 大澤和裕, 前田修平, 2011: 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 ~. 第 8 回「異常気象と長期変動」研究集会. 平成 23 年度防災研究所研究集会 (23K-09) 講演プロシーディング.
- 宮脇祥一郎, 2013: 県農業研究機関での気候情報活用事例. 平成 25 年度季節予報研修テキスト, 地球環境海洋部, 47-49.
- 森田敏, 2011: イネの高温障害と対策—登熟不良の仕組みと防ぎ方. 農文協, 143pp.
- 森田敏, 宮脇祥一郎, 中野洋, 和田博史, 羽方誠, 田中良, 2015: 高温による基部未熟粒の発生を軽減する「気象対応型追肥法」の最適追肥量の決定手法, 日本作物学会第 239 回講演会要旨集, 145.
- 脇山恭行, 大原源二, 丸山篤志, 2010: 水稲白未熟粒発生予測モデル構築のための登熟期の気象条件および生育状態と白未熟粒発生状況の解析. 農業気象 Vol. 66 (2010) No. 4 P 255-267.
- Hirota, T., Pomeroy, J. W., Granger, R. J., Maule, C. P., 2002: An extension of the force-restore method to estimating soil temperature at depth and evaluation for frozen soils under snow. *J. Geophys. Res.*, **107**, D24, ACL 11-1 to 10, DOI:10.1029/2001JD001280.
- Hirota, T., K. Usuki, M. Hayashi, M. Nemoto, Y. Iwata, Y. Yanai, T. Yazaki, S. Inoue, 2011: Soil frost control: agricultural adaptation to climate variability in a cold region of Japan. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, DOI: 10.1007/s11027-011-9296-8.
- Yazaki, T., Hirota, T., Iwata, Y., Inoue, S., Usuki, K., Suzuki, T., Shirahata, M., Iwasaki, A., Kajiyama, T., Araki, K., Takamiya, Y., Maezuka, K., 2013: Effective killing of volunteer potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers by soil frost control using agrometeorological information —An adaptive countermeasure to climate change in a cold region. *Agricultural and Forest Meteorology*, **182-183**, 91-100.

研究項目と研究者一覧

※所属は平成28年1月現在

気象庁の研究項目	所属	参加研究員氏名
(1) 農業技術に適合した気候予測情報の開発と予測精度評価 (実施部署は気候情報課)	気象庁地球環境・海洋部気候情報課 気象研究所気候研究部第二研究室 気象庁予報部予報課 気象庁予報部情報通信課	中三川 浩 萱場 互起 伊藤 晋悟 比良 咲絵 野津原昭二 前田 修平 大澤 和裕 伊藤 明 宮脇祥一郎 荒井 宏明
農研機構の研究項目	所属	参加研究員氏名
(2) 気候予測情報を適用した農業技術情報の開発と有用性の実証	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構	
①全国版メッシュ農業気象データの作成、主要作物の生育予測	中央農業総合研究センター 情報利用研究領域	中川 博視 大野 宏之 中園 江 佐々木華織 吉田ひろえ
②野良イモ防除のための土壌凍結深予測	北海道農業研究センター 生産環境研究領域 農村工学研究所 農地基盤工学研究領域	廣田 知良 濱崎 孝弘 井上 聡 根本 学 岩田 幸良
③2週目の農作物警戒情報作成とユーザーへの提供、全国版早期警戒・栽培支援システムの構築、水稲いもち病発生予測	中央農業総合研究センター 情報利用研究領域 東北農業研究センター 生産環境研究領域	菅野 洋光 大久保さゆり
④小麦赤かび病防除と小麦開花期予測	近畿中国四国農業研究センター 水田作研究領域 九州沖縄農業研究センター 生産環境研究領域	黒瀬 義孝 平八重一之
⑤水稲高温登熟障害予測	九州沖縄農業研究センター 生産環境研究領域 水田作・園芸研究領域	脇山 恭行 森田 敏