

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

大野宏之*[†]・佐々木華織*・大原源二**・中園 江*

(* 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター
**国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所)

Development of grid square air temperature and precipitation data compiled from observed, forecasted, and climatic normal data

OHNO HIROYUKI *[†], SASAKI KAORI *, OHARA GENJI ** and NAKAZONO KOU *

(* NARO Agricultural Research Center
** NARO Institute of Vegetable and Tea Science)

Abstract

We developed a method for determining nationwide 1 km-grid square values of daily mean, maximum and minimum air temperature, and daily precipitation in Japan. The data were obtained using the JMA's nationwide observations, numerical forecasts, and climatic normal values. RMSE values for these elements in the past were 0.66 °C, 0.98 °C, 1.10 °C, and 5.9 mm/day, while those for one-day future were 1.18 °C, 1.65 °C, 2.00 °C, and 11.0 mm/day, respectively. The improvement in accuracy by introducing the forecasts was recognized even for values six-day future, though errors tended to increase with forecast range. The data are intended for use in the management of currently growing crops with a combination of crop models.

Key words: Daily air temperature, Daily precipitation, 1 km grid, Mesh data, Weather forecast.

キーワード: 気温, 降水量, メッシュ, 数値予報

1. はじめに

2010年夏季の異常高温は記憶に新しい。この年、水稲では、登熟障害による深刻な品質低下が各地で発生し、小麦では、登熟期間の短縮により製品歩留まりの低下が発生して減収となった。果樹のミカンについても、果実の肥大が阻害され収穫量が減少した。畜産においては、摂食障害や呼吸量の増加による生産性の低下にみまわれたほか、死亡頭数も大きく増加した(松村 2011)。気象庁(2013)によれば、近年、猛暑日や熱帯夜など高温に関わる極端現象や多雨や寡雨などの降水に関わる極端現象の発生頻度が増加傾向にある。このような異常気象による農作物の影響を迅速に把握し評価するには、作物の気象災害と気象条件との関係が解明されるとともに、農地における気象データが最新の状態で準備されていることが必要である。

日本では、気象庁によって地域気象観測網(アメダス)が約20 km四方に1地点の割合で整備されており、農業分野においても広く利用されている。データの広域性から異常気象が発生した時の作物への影響評価(長谷川ら 2009)などに利用されるほか、迅速性から水稲の開花予報情報の作成(農業・食品産業技術総合研究機構 2003)や、BLASTAM(越水 1988)やFLABS(北海道立総合研究機構農業研究本部 1991)等のモデルに基づく病害の発生予察にも利用されている。しかし、20 kmという空間密度は、これに基づく情報や評価を面的なものとして取り扱うには必ずしも十分な配置密度とは言えない。この欠点を補うために、気象値の分布を、地形等を考慮しながら空間補間して数10 mから数 km四方の領域を単位として面的に推定する、いわゆるメッシュ気象データが1980年代の後半以降作成されるようになった。

いわゆるメッシュデータは、広島県における平年気温の分布データ(栗原・村上 1982)として最初に作成され、地域の気象資源の評価に使用された。その後、多くの農業関係試験研究機関や気象業務会社でメッシュ気象データの開発研究や利用研究が行われ、日別の気象値がメッシュデータとして作成されるようになった。代表的なデータとして、(独)農業環境技術研究所が作成する「アメダスデータのメッシュ化」データセット(清野 1993)があげられる。このデータは、1978年から現在に至る約40年の期間について作成され、過去事例の解析や気候変化シナリオと組み合わせた将来気象値の推定等、研究分野において継続的に利用されている。また、メッシュ化された気象データは気象業務会社からも販売され自治体に利用システムが導入される事例も見られた(今ら 1991)が、観測値に基づくため、正確さを重視するデータセットでは1~2か月程度、即時性に重点を置くデータセットでも1日以上経過した後のものが最新データとして提供されるため、栽培中の作物への適用は限定的なものであった。

このような中、1993年の大冷害を期に研究が開始され、1996年から東北農業試験場(現国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター)で運用が開始された水稲冷害早期警戒システム(神田 2007)は、2010年に気象予報データも取り込んだシステムへと発展し、気象予報に基づく発育予報や、いもち病の感染好適条件となった地域の表示など、生育中の作物についての種々の栽培支援情報を作成し、登録使用者に提供している(国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 2010)。この例は、メッシュ気象データが気象予報を含むことにより、栽培中の作物についての種々の栽培支援情報を作り出すことが可能であり、さらに、情報通信技術を用いることで利用者に分かり易い形で伝達できることを示すものであることから、メッシュ気象データの新たな活用法として注目される。ただし、現時点では、このような新しい活用方法についての研究を実施できる機関はきわめて限られている。それは、

2015年8月31日 受付, 2016年1月4日 受理

[†]Corresponding Author: ohno@affrc.go.jp

DOI: 10.2480/cib.J-16-028

予報を含むメッシュ気象データが，一般には入手が困難な状態にあるためである。

そこで，より多くの農業関連試験研究機関が，予報を含むメッシュ気象データを利用した研究開発に取り組めるようになることをめざし，観測値，9日先までの予報値，平年値がシームレスに結合された日平均気温，日最高気温，日最低気温ならびに降水量のデータセットを，気象庁が公表するデータを用いて，約1 kmのメッシュ気象データとして全国について作成する手法を開発したので示す。このデータを「メッシュ農業気象データ」(The Agro-Meteorological Grid Square Data)と称する。

2. 方法

この手法では，まず，北緯24°～北緯46°，東経122°～東経146°の範囲における日別の気象データが基準地域メッシュ(通称「三次メッシュ」)で1年分保持できるデータ空間を用意して，そこを，三次メッシュの日別平年値(平年値メッシュデータ)で満たす。次に，当日から9日先までの期間について，週間天気予報の基礎資料である「気象庁全球数値予報モデルGPV(日本域)」(GSM-GPV)を補正処理して作成したデータ(予報値メッシュデータ)を上書きする形で配置する。さらに，1日前について，アメダス実況値を三次メッシュに空間補間して作成したデータ(過去値メッシュデータ)を上書きの形で配置する。

以上の作業を，1日1回，最新の实況値とGSM-GPVを用いて実施することにより，観測値，予報値，平年値がシームレスに結合されたメッシュ気象データを作成する。表1に，本手法におけるこれらの気象値の時間区分と，それぞれにおける主要

なデータソースを示す。

以下に，本手法における過去値メッシュデータと予報値メッシュデータの作成方法を示す。なお，本手法において，地点やメッシュ等の位置情報は，すべて，いわゆる新測地系(JGD2000)に準拠する。また，平年値は，2014年に修正されたメッシュ平年値2010(気象庁2011)に基づく。

2.1 過去値メッシュデータ

2.1.1 日平均気温・日最高気温・日最低気温

気温のメッシュ化データについては，特定地域を対象に，多数用意した地形因子から日々のアメダス観測値を最もよく説明する重回帰式を日々作成してそれに基づきメッシュ気温図を作成する高度な方法も提案されている(菅野1997)が，本研究は，日本全土を領域とするメッシュデータの作成を目的とするため，安定した結果を与えるより単純な方法を用いた。この方法は清野(1993)の方法にほぼ等しい。ただし，清野(1993)は，アメダスの観測値とそれが含まれるメッシュの値を一致させているのに対し，本方法では，メッシュの平均標高とアメダスの設置標高との違いに基づく気温差を補正して与える，すなわち，以下の手順を取る。

まず，メッシュ化する日において欠測でないアメダス地点について，観測値(T_{AMe})と緯度・経度，標高(H_{AMe})の情報のリストを作成する。次に，この日に対応するメッシュ平年値データからアメダス地点が所属するメッシュの平年値(T_{R3m})を抜き出すと同時に，メッシュ標高データから同メッシュの平均標高値(H_{R3m})を抜き出し，地点別リストを作成する。その上で，各地点について下の式に基づいて，気温の修正量(dT)を計算する。

表1 本手法により作成される過去値メッシュデータ，予報値メッシュデータ，平年値メッシュデータの時間区分と，それぞれを作成するために使用される主なデータソース。

データ種別	過去値メッシュデータ	予報値メッシュデータ	平年値メッシュデータ
時間区分	1月1日～1日前	今日～9日先	10日先～12月31日
主なデータソース	気象庁 アメダス	気象庁 GSM-GPV	気象庁 メッシュ平年値

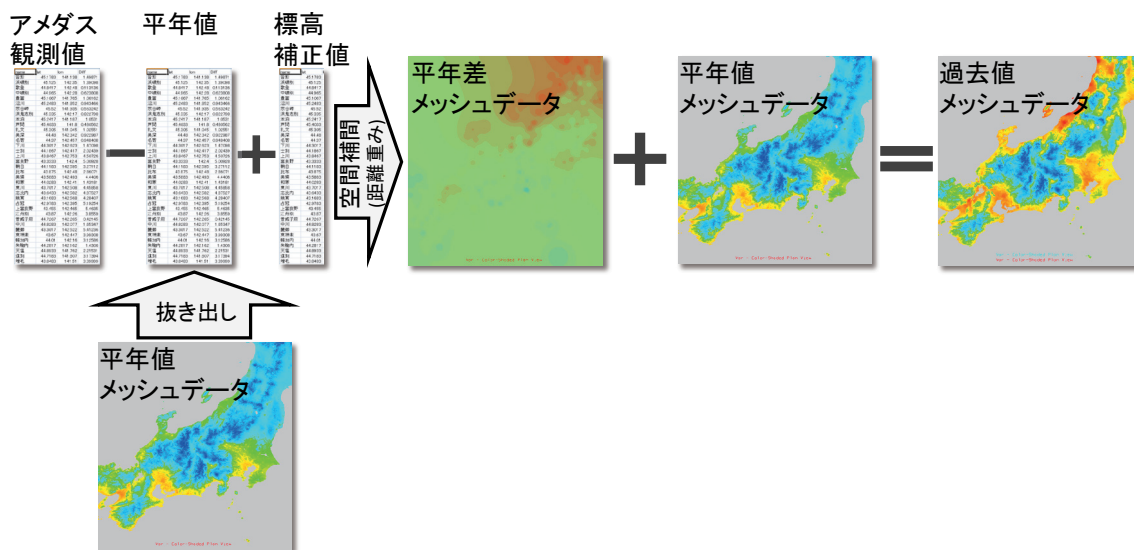


図1 本手法における日平均気温，日最高気温，日最低気温の過去データの作成手順概念図。

$$dT = T_{AMe} - T_{R3m} + \gamma(H_{AMe} - H_{R3m}) \quad (1)$$

ここで、 γ は、標高に対する地上気温の減率で、日付、メッシュによらず $0.6[^\circ\text{C}/100 \text{ m}]$ を用いる。次に、 dT を空間補間し三次メッシュデータ(平年差メッシュデータ)を作成する。空間内挿に使用される dT の個数は、現在、約 930 地点分である。最後に、このメッシュデータと当該日の平年値メッシュデータとの和を計算する。図 1 に気温の過去値メッシュデータを作成する手順を示す。

地点データを空間補間しメッシュデータとする方法には、乗数 3 の逆距離加重法を用いた。すなわち、アメダス地点における観測値に、補間を行うメッシュの中心位置までの距離の 3 乗に反比例する重みを付けて加重平均した。逆距離加重法は、ランダムに位置する観測値から分布を推定する時に広く使われるもののうちで最も初歩的な手法のひとつであり、清野(1993)も逆距離加重法を用いて空間補間を施している。ただし、清野(1993)の方法は、加重の乗数が 1 である点と、平均値計算の対象とする観測値をメッシュ毎に 4~6 地点設定する点で異なる。

逆距離加重法においては、乗数が大きいほど最も近い位置の観測値の寄与率だけが突出しボロノイ分割のような補間になる一方、1 の場合はより離れた位置の観測値の影響も受け測定値が尖端となる補間曲面が生成されるので、本手順では、尖端が発生せず、かつ、距離の 2 等分線近傍で急激な値の変化も示さない値として広く用いられる 3 を採用した。平均に使用する観測値の個数については、乗数が 3 の場合は近傍数個に限定してもより広い範囲を採用しても補間値には殆ど差が生じないことが確かめられているので全地点とした。全地点を採用すると、計算量は多くなるが、アメダス地点が改廃されたり欠測となったりした場合でもそれに応じた適切な値が常に補完される利点がある。

2.1.2 日積算降水量

日積算降水量のメッシュ化については、空間補間の詳細を除き、清野(1993)と同じ方法を用いた。まず、メッシュ化する日のデータが欠測でないアメダス地点における観測値(P_{AMe})と緯度経度情報のリストを作成する。次に、この日に対応するメッシュ平年値データからアメダス地点が所属するメッシュの平年値(P_{R3m})を抜き出して相同の地点別リストを作成する。その上で、各地点について下の式に基づいて、降水量の補正係数(r)を計算する。

$$r = P_{AMe} / P_{R3m} \quad (2)$$

次に、 r を空間補間し三次メッシュデータ(対平年比メッシュデータ)を作成する。補間には気温における処理と同様の逆距離加重法を用いる。最後に、このメッシュデータと当該日の平年値メッシュデータとの積を計算する。

2.2 予報値メッシュデータ

2.2.1 日平均気温・日最高気温・日最低気温

予報値メッシュデータの作成に使用する GSM-GPV は、気象庁が運用する全球数値予報モデル(Global Spectral Model: GSM)の結果を、日本周辺について緯度方向に 0.2 度、経度方向に 0.25 度(約 20 km)の格子点値(Grid Point Value: GPV)に変換して配信するデータで、週間天気予報や台風予報、より精細なモデルの外周値等に利用される。このデータは 3.5 日(84 時間)先までの気象を特別で予報するものと、3.5~11 日(87~264 時間)先までを 3 時間間隔で予報するものの 2 種類で構成され、前者は 1 日 4 回(6 時間毎)、後者は 1 日 1 回配信される。

なお、GSM-GPV の予報期間は、当初 8 日(192 時間)までで

あったが、2013 年 3 月 28 日以降、11 日(264 時間)までに延長された。

予報値メッシュデータの作成手順は以下の通りである。まず、日本時間の 21 時(12UTC)に配信される 264 時間先までの予報データを時間方向にスプライン補間して特別値を推定するとともに、84 時間先までの予報データと連結する。次に、これを日本時間の日界で区切って 1 日分の特別データを GPV が配信された日の翌日から 10 日先まで(11 日間分)について作成する。そして、それぞれの日における特別気温の平均値、最大値、最小値を、それぞれの日における日平均気温、日最高気温、日最低気温の推定値とする。これらの推定値は、約 20 km 間隔の日別格子点データなので、次に、これを三次メッシュの各中央点に格子の結節点が位置するようリグリッドする。この際、補間はバイリニア法で行う。

バイリニア法は、格子点データからより小さい格子における値を推定する方法であり、最近接法に見られる不連続を生じない方法の中で最も単純な方法である。多項式の当てはめにより滑らかな格子点値を推定する方法もあるが、正值だけしかない格子点データから負の格子値が計算される場合があり気象値を対象とするには必ずしも適当ではない。格子値を観測値と読み替えて逆距離加重法を適用することも可能であるが、バイリニア法による推定値との差は後述する気象モデルの予報誤差に比較してずっと小さいうえ、三次メッシュに補間されたデータにはこの後さらに補正が適用されるので、シンプルで計算速度の速いこの補間方法を採用した。

以上の処理により、データが配信された日の翌日から 10 日先までの気温の日別推定値メッシュデータが作成される。予報データは、この日別推定値メッシュデータにさらに補正を施して作成される。補正手順は次のとおりである。まず、毎日作成される 10 日分の推定値メッシュから、リードタイム(予報日数)が 1 日の推定値メッシュデータを取り分けて 30 日分蓄積し、これを平均して直近 30 日についての平均値メッシュデータを作成する。気象予測モデルは時間を追って積分計算をすることで大気の状態を予測するので、モデルが予測する状態と現実に生起する状態との食い違い(予報誤差)は、通常、積分時間が長くなるほど大きくなる。リードタイムが 1 日のものだけを集めるのは、予測誤差が最も小さいからである。

同時に、2.1 で示した方法で毎日作成される過去値メッシュデータについても 30 日間蓄積して同期間の平均値メッシュデータを作成する。このデータは、現実に生起した大気の状態に基づくものといえるので、両者の差は、この気象モデルがもつバイアスと見なすことができる。そこで、後者から前者を差し引いたものを、補正值メッシュデータとして、新規に作成する推定値メッシュデータに加える。補正值メッシュデータは直近 30 日間のデータから毎日作成し、新規に作成される 10 日分の推定値メッシュデータに一律に適用する。図 2 に気温の予報値メッシュデータを作成する手順を示す。

図からも分かるように、この補正方法では、粗い(約 20 km)空間表現の GSM-GPV を用いるにもかかわらず、三次メッシュ(約 1 km)の空間表現が維持される。また、この補正方法は、補正に用いるメッシュデータを毎日更新するので、季節によって異なると考えられるモデルバイアスの変化に的確に対応し、また、GSM の改良等による予報データの特性変化にも自動的に適応する利点がある。平均期間を短くするとこれらの変化により迅速に対応できるが、台風の通過などの比較的短期間に起こる強い気象現象の影響が意図に反して反映されてしまうケースが生じるほか、降水量については、平均期間中に降水がない

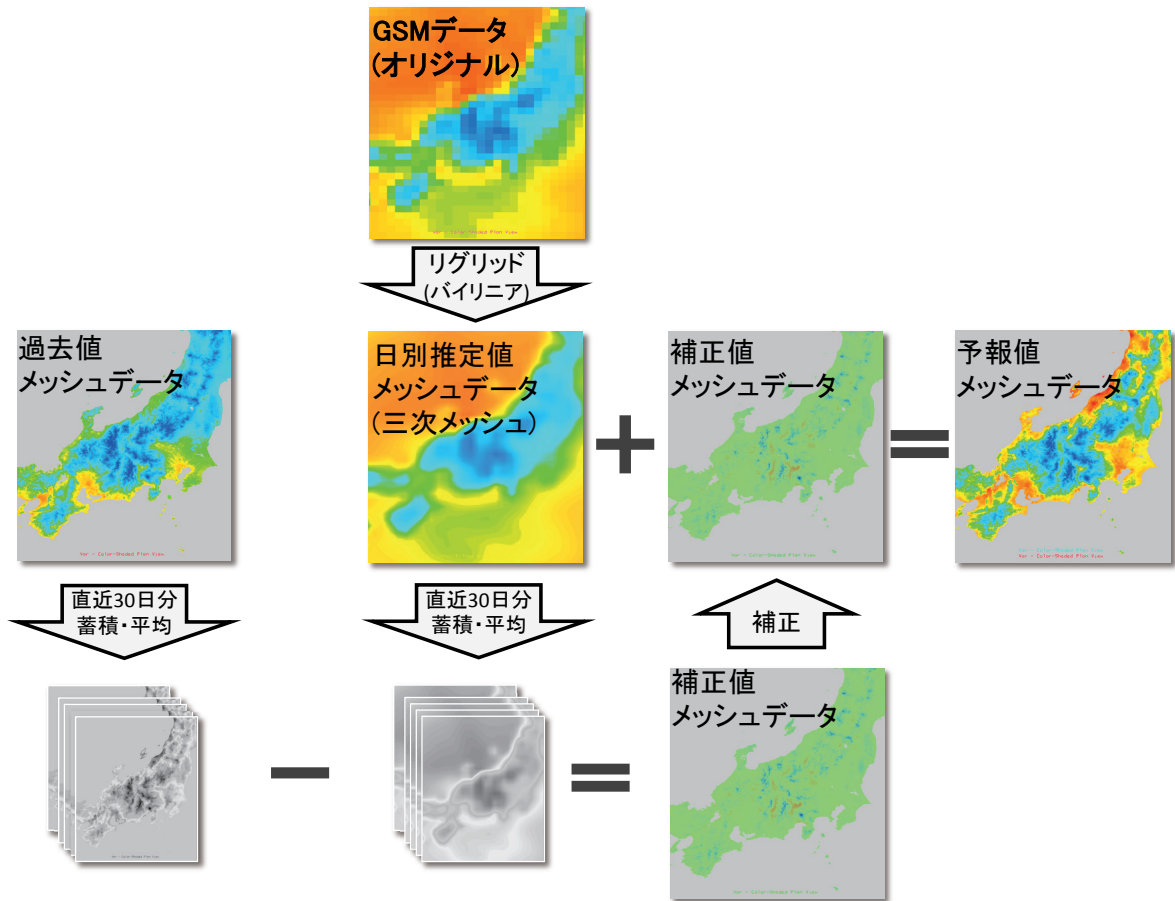


図2 本手法における気温の予報データの作成手順概念図。

ケースも生じうるので，値が安定する 30 日を平均期間とした。

本手法では，日本時間 21 時に配信された GSM-GPV データを翌日の朝に処理するため，予報データは，処理日を当日 (0 日) として数えて 9 日先までについて作成されることになる。

2.2.2 日積算降水量

降水量の予報データも，気温のそれと同様に作成する。ただし，気温では差を補正值として推定値に加えるのに対し，降水量では直近 30 日間の比較から得た比を補正の係数として推定値メッシュデータに乗じる。また，標高の補正は行わない。

3. データの精度検証

3.1 過去値メッシュデータの精度検証

3.1.1 独自観測結果との比較

「方法」で示したとおり，本手法による過去値メッシュデータの値は，アメダス観測地点が含まれるメッシュでアメダス観測値とほぼ一致するため，両者の単純な比較で精度を検証することはできない。そこで，国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター(中央農研)が茨城県つくばみらい市の水田地帯(Yawara：北緯 36.01 度，東経 140.02 度，標高 12 m)で気象庁とは独立に実施する気象観測の結果と比較した。図 3 に，Yawara の位置を，周囲のアメダス観測所配置と共に示す。図 4 には，2008 年から 2012 年の 5 年間の日別値に対する Yawara 観測値とメッシュ値との相関図を示す。いずれの気象要素も，1:1 の直線の周囲に分布していることが確認できる。観測値を真値としたときの日平均気温，日最高気温，日最低気温，日積算降水量のメッシュ値の二乗平均平方根誤差 (RMSE) は，それぞれ，0.38 °C，0.74 °C，0.82 °C，

3.2 mm であった。RMSE の値は日平均気温において最も小さく，日最高気温や最低気温に対する RMSE 値はその 2 倍程度を示した。新潟県上越市の水田地帯 (Inada：北緯 37.12 度，東経 138.27 度，標高 11 m，図 3) における独自観測結果から同様に計算した RMSE 値は，それぞれ，0.52 °C，1.08 °C，1.03 °C，4.9 mm であり，同じ傾向を示した。

気象を観測する地点がアメダス地点にきわめて近い場合は，独自に実施された観測であっても観測値はアメダスのそれに近くなるため検証の意味を失うが，Yawara は最も近いアメダス観測点である「つくば(館野)」から 12 km 離れ，Inada も最寄りの「高田」から 3 km 離れた場所に位置し近傍ではない。従って，この比較の結果は，本データがアメダスのない地点における気象の推定として有効であり得ることを示す。

3.1.2 クロスバリデーション

日本全国をカバーする本データの作成手法を広域的に評価するために，特定の地点を除外したアメダスデータに基づいてメッシュデータを作成し，その値と除外したアメダス観測値とを比較した。2008 年から 2012 年の期間を通して，欠測が殆ど無い 810 のアメダス地点を選び出し，5 年分のデータからアメダス観測値を真値とみなす RMSE 値を 3-5 月，6-8 月，9-11 月，12-2 月，通年について計算した。結果を図 5 に示す。RMSE 値は，平均気温については殆どの地点において 1 年を通して 1 °C 未満であった。最高気温についても多くの地点において 1 °C 未満であった。ただし，全般的傾向として RMSE 値は沿海部でより大きい。これは，これらの場所の海側半分には空間内挿をすべき観測値が存在しないことに起因すると考えられる。最低気温については，沿海部以外に北海道や本州の内陸域にお

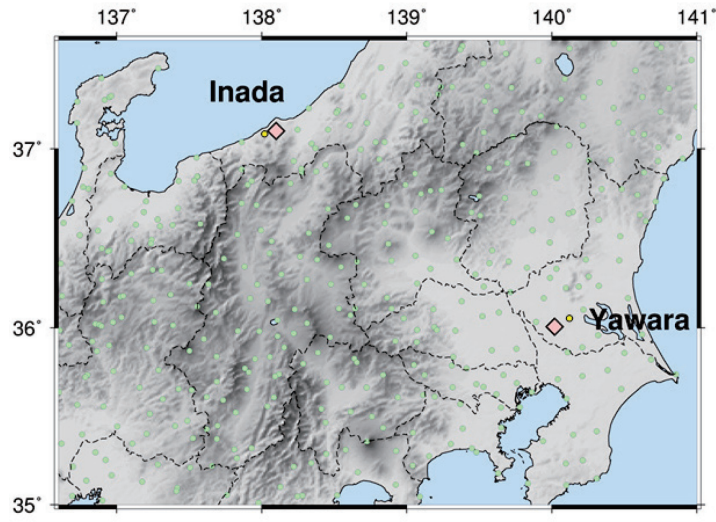


図 3 茨城県つくばみらい市の観測地点(Yawara : 北緯 36.01 度, 東経 140.02 度)と, 新潟県上越市の観測地点(Inada : 北緯 37.12 度, 東経 138.27 度)の位置(菱形)ならびに, アメダス観測地点の位置(丸点). Yawara および Inada にそれぞれ最も近い「館野」および「高田」を黄色丸で示す.

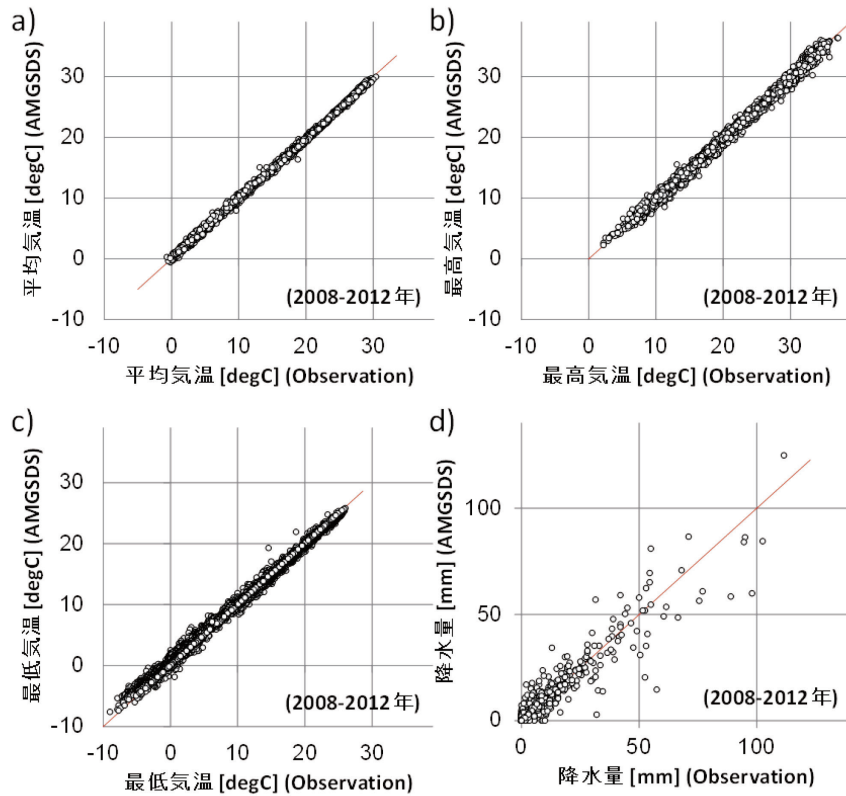


図 4 Yawara における観測値(Observation)と観測地点が属するメッシュにおける過去値(AMGSDS)との相関図.
a) 日平均気温, b) 日最高気温, c) 日最低気温, d) 日積算降水量.

いて冬季に 1 °C を超える誤差を示す地点が多く存在する。これは、放射冷却に基づく冷気湖の発生など日最低気温に大きく影響を与える気象現象の多くが局地的なために、アメダスの観測密度では捉えきれないことによると考えられる。降水量については、暖候期の西日本の太平洋側で RMSE 値が大きい傾向を持つ。これは、降水の絶対量が他よりも大きいことに起因すると考えられる。

全国、全期間について計算した日平均気温、日最高気温、日

最低気温、日積算降水量の RMSE 値は、それぞれ、0.66 °C, 0.98 °C, 1.10 °C, 5.9 mm である。これらの値は、独自観測との比較から計算された値とほぼ同じである。また、清野(1993)が北海道十勝地方や長野県について示した値よりも僅かに小さい。以上から、本手法の過去データは、アメダス観測がない地点の気象を推計するのに全国的に有効であると結論できる。

3.2 予報値メッシュデータの精度検証

本手法による予報値メッシュデータの精度を広域的に検証す

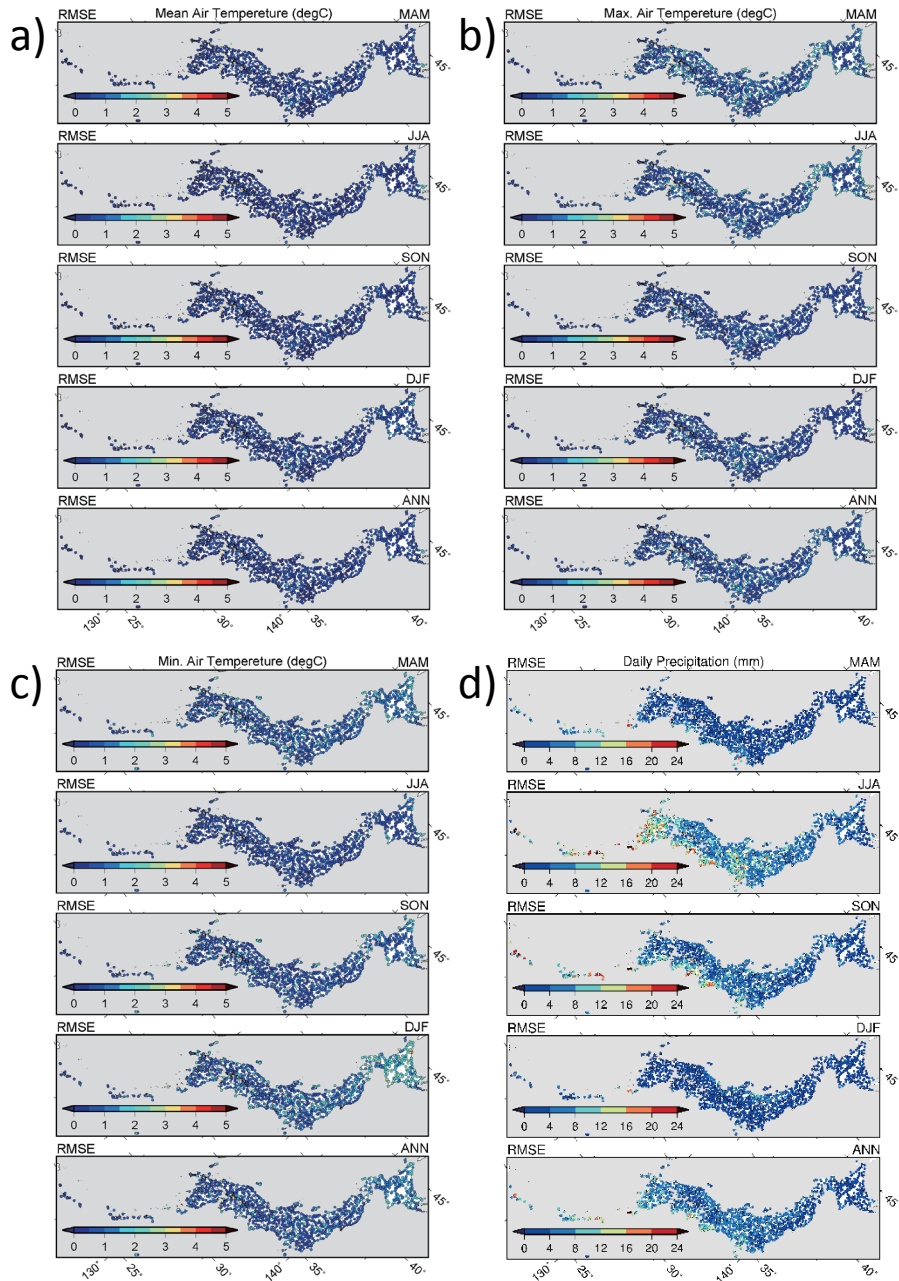


図 5 全国 810 のアメダス地点の 2008 年から 2012 年までのデータで実施したクロスバリデーションの二乗平均平方根誤差の分布図。a) 日平均気温，b) 日最高気温，c) 日最低気温，d) 日積算降水量。各図において，上段から順に，MAM：3-5 月，JJA：6-8 月，SON：9-11 月，DJF：12-2 月，ANN：通年で集計した結果を示す。

るために，リードタイム 1 日の予報値とこの日実際に観測された値とをアメダスが存在する全国 810 のメッシュについて比較した。後述するように，数値予報は予報期間が長くなるにつれて誤差が増大するので，ここに示される誤差は，予報値の誤差の最小値と見なすことができる。

2008 年から 2012 年までの 5 年間分のデータからアメダス観測値を真値とみなして 3-5 月，6-8 月，9-11 月，12-2 月，通年について RMSE 値を計算した。結果を図 6 に示す。図 5 との比較から分かるとおり，気温については，予報値の誤差は過去値のその 2 倍程度の大きさである。全国，全期間について計算した日平均気温，日最高気温，日最低気温，日積算降水量の RMSE 値も，それぞれ，1.18 °C，1.65 °C，2.00 °C，11.0 mm

でありほぼ 2 倍を示す。過去値において，寒候期の北海道において最低気温の RMSE 値が他の地域より大きい傾向が見られたが，予報値においては 4 °C 以上に達する地点がこの季節と地域で多数認められ，さらに顕著である。これは，前述のように，地表面付近の大気の冷却過程の空間スケールに比して GSM のグリッドサイズ(約 20 km)が，大きすぎる要因と考えられる。

降水量については，暖候期の西日本において RMSE 値が 25 mm を超える地点が多数認められる。この傾向は，過去値メッシュデータにおいても認められるが，予報値メッシュデータにおいてより顕著である。これは，この季節・この地域において，降水の絶対量が大きいことに加え，梅雨や集中豪雨など予報の

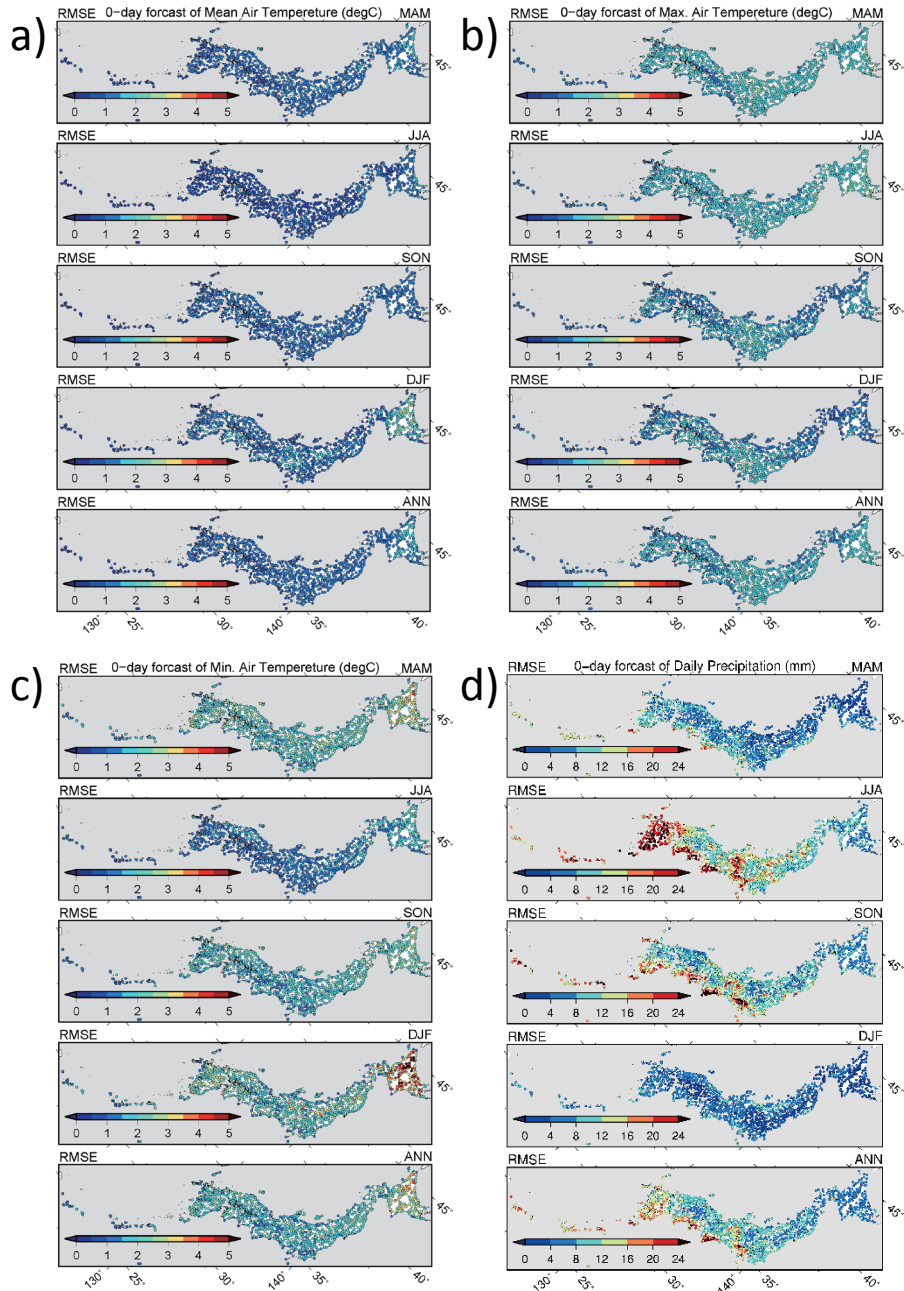


図 6 全国 810 のアメダス地点の 2008 年から 2012 年までのデータに対する、予報値(0 日目予報)と観測値との差の二乗平均平方根誤差の分布図。a) 日平均気温, b) 日最高気温, c) 日最低気温, d) 日積算降水量。各図において、上段から順に、MAM: 3-5 月, JJA: 6-8 月, SON: 9-11 月, DJF: 12-2 月, ANN: 通年で集計した結果を示す。

難しい降水過程が起こることにも起因していると考えられる。

3.3 予報日数と誤差との関係

本手法によるメッシュデータの精度が、過去から将来にかけて、全体としてどのように変化しているかを調べるために、欠測が殆ど無い 810 地点のアメダスの 5 年間分の予報値と観測値から計算される RMSE 値と予報日数との関係を調べた(図 7)。GSM-GPV は、現在は 264 時間先まで予報されているが、2013 年 3 月 27 日までは 192 時間先までの予報しかされていなかったため、予報日数は 6 までとした。また、図において「Past」の項目名で示されているのは、クロスバリデーションから求めた過去値に対する全国一括の RMSE 値である。

日平均気温, 日最高気温, 日最低気温いずれにおいても、予

報値の RMSE 値は過去値のそれよりも大きく、予報日数とともに増大する。日平均気温の RMSE 値について見ると、過去値に対して 0.7 °C 程度、予報値に対しては 1.2 °C~2.0 °C 程度である。日最高気温, 日最低気温についても、RMSE 値は同様な特徴を持つが、日最低気温については、過去値と予報値のギャップが大きく、逆に予報期間にともなう誤差の増加は小さい。これも、GSM が、日最低気温に関わる気象現象を適切に再現できていないことによると考えられる。

4. 考察

観測値, 予報値, 平年値が中断無く接続されたメッシュ農業気象データが全国を範囲として得られると、過去の事例解析だ

けでなく，現在栽培中の農作物の管理にもメッシュデータを活用することができる。本方法で作成された日平均気温，日最高気温，日最低気温データの精度は，過去値に対し 0.7 °C 程度，予報値に対し 1.2 °C~2.0 °C 程度であり，全国の多くの農業分野において実利用に耐えると考えられる。ただし，日最低気温データについては，特に寒候期の北海道において誤差が 4 °C 程度に達することも多く，実利用にあたっては注意が必要である。図 7 からは，日最低気温の予報値の誤差が，当日予報から既に大きく，対照的に，予報日数の増加に伴う誤差の増大が小さい。このことから，GSM-GPV を作成する気象庁の数値予報モデルが北海道における寒候期の地表面の熱収支の状態を正しく再現できていない可能性が指摘できる。

将来の気温に予報値を用いる効果を評価するための比較対象には幾つか考えられる。通常は平年値を予報値とした場合に計算される誤差を比較対象とすることが多いが，2010 年の夏季のように，気象値が長い期間にわたって平年値から大きく外れる場合には大きな誤差が計算されるため，ここでは，「明日の気温は今日の気温と同じ」として予報した場合の誤差を比較対

象とする。この「予報」は機械的に実行可能であるが，数日先の予報との比較対象としてはかなり厳しいものである。この方法から計算される 2008 年~2012 年に対する RMSE は，日平均気温，日最高気温，日最低気温に対し，それぞれ，2.3 °C，3.3 °C，2.6 °C であり，これは，大まかに見て，本手法による 6 日先の予報に対する誤差と同程度である。従って，予報値の導入は意味があるといえる。

メッシュで与えられる気象値と，現地における実際の値との違いは，この論文で検証した誤差の他にも，中山間地においてはメッシュ領域内部での標高の違いや斜面の方向などに由来する誤差が考えられ，都市近郊では土地利用の違いによる誤差が加わると考えられる。従って，実利用にあたっては，メッシュデータの値が利用目的に照らして十分な精度を持つかについて事前の検討と検証は欠かせない。

気象庁数値予報 GPV には，気温以外に風速，降水量，湿度，雲量等の予報値も収録されているので，これらを活用することにより，気温以外のメッシュデータセットを作成することができると考えられる。特に，アメダスの観測項目に含まれていな

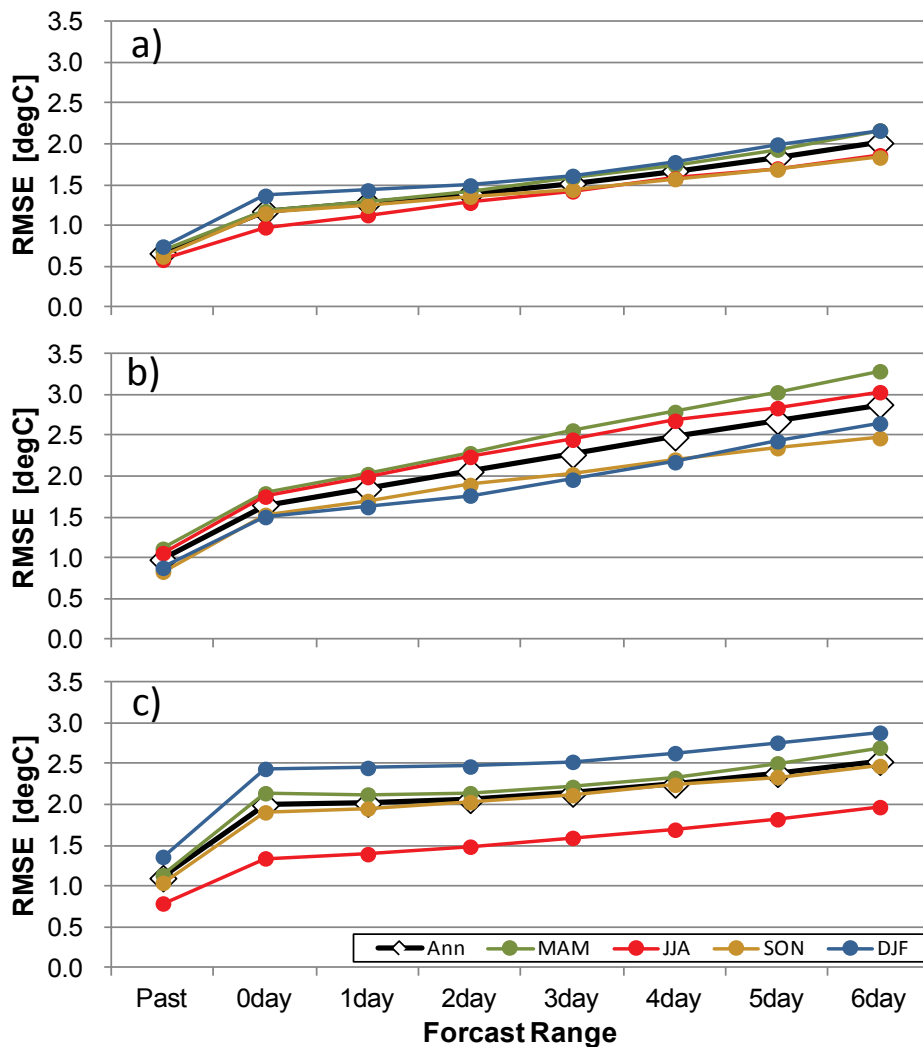


図 7 全国 810 のアメダス地点の 2008 年から 2012 年までのデータに対する，予報日数と二乗平均平方根誤差の関係。
 a) 日平均気温，b) 日最高気温，c) 日最低気温。各図において，MAM：3-5 月，JJA：6-8 月，SON：9-11 月，DJF：12-2 月，ANN：通年を示す。また，Past には，過去値のクロスバリデーションで求めた誤差が与えられている。

いため、一般に入手が困難である湿度がメッシュ化できれば、きわめて利用価値が高いと考えられる。

気象庁からは、GSM-GPV の他に、異常天候早期警戒情報や 1 か月予報ガイダンス等、よりリードタイムの長い気象予報情報も発表されているので、これらを取り込むことによってさらに先の気象予報を行うことが可能と考えられる。

本論文で開発した方法で作成したメッシュデータは、現在栽培中の農作物の管理にも活用できる可能性を有するが、これを実現するには、データを日々更新して常に最新の状態に保つ体制と共に、それを利用者に迅速に提供する手段、それを迅速に処理する手順が整備・構築される必要がある。

5. 結 論

気象庁が発表する地域気象観測(アメダス)結果、及び、気象庁全球数値予報モデル GPV (日本域)を処理した値で平年値を順次置き換えることにより、観測値、予報値、平年値が継ぎ目無く接続された通年の日平均気温、日最高気温、日最低気温、ならびに、日積算降水量データを全国について三次メッシュとして推定する手法を開発した。

この手法により計算された観測値に基づくメッシュデータの誤差をクロスバリデーションにより推定すると、日平均気温については殆どの地点において 1 年を通して 1 °C未満である。最高気温についても、多くの地点において 1 °C未満であるが沿海部で 2 °C未満となる地点が散在する。最低気温については、1 °Cを超える誤差を示す地点がさらに多く、特に、内陸部において大きい傾向にある。

数値予報モデルに基づくメッシュデータの誤差は、観測値に基づくデータのそれより大きく、リードタイム 1 日の予報値の誤差は、概ね 2 倍である。ただし、冬季の北海道内陸では気温の予報誤差はより大きく、広い範囲で 4 °C程度である。

予報期間が長くなるにつれ誤差は増大するが、6 日先予報においても機械的に行う 1 日先予報と同程度に留まることから、数値予報モデルの導入は将来気温の予報精度向上に効果があると言える。

気象庁の数値予報モデル GPV には、湿度等アメダスの観測項目にない気象要素も含まれるので、これを活用することにより、これまで不可能であったこれらのメッシュデータセットを作成することが可能と考えられる。

このデータを用いると、作物が栽培期間に遭遇すると予想される最も確からしい気温条件を国内の任意の場所において得られるので、将来の気温条件を見越した農作物の管理技術に利用することができる。したがって、本手法の処理を継続的に実行し、さらに、データを迅速に提供する手段を構築すれば、栽培中の作物の管理に本メッシュデータが実用される。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 25450379、および内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム「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」により実施した。

引用文献

- 神田英司, 2007: 東北地方における水稲冷害の早期警戒システムの開発に関する研究. 東北農業研究センター研究報告, **107**, 71-117.
- 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**(1), 11-19.
- 気象庁, 2011: メッシュ平年値 2010. 気象庁.
- 気象庁, 2013: 気候変動監視レポート 2012. 68pp.
- 栗原弘一・村上律雄, 1982: 広島県メッシュ気候図. (1) 1km²メッシュ平均気温の推定. 研究時報, **34**, 17-28.
- 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.
- 今 久・中山敬一・松岡延浩, 1991: 農業気象情報システムの現状—アンケート結果を中心に— . 農業気象, **46**(4), 233-238.
- 清野 豁, 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.
- 農業・食品産業技術総合研究機構, 2003: リアルタイムアメダスを用いた小麦の出穂・成熟期予報と Web 上での公開. 九州沖縄農業研究センター2003年の研究成果情報 (<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2003/konarc03-32.html>).
- 農業・食品産業技術総合研究機構, 2010: Google マップによる気象予報データを用いた水稲栽培管理警戒情報システム. 東北農業研究センター 2010 年の研究成果情報 (<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2010/tohoku10-03.html>).
- 長谷川利弘・吉本真由美・桑形恒男・石郷岡康史・近藤始彦・石丸 努, 2009: 2007 年夏季の水稲の高温不稔調査について. 農業および園芸, **84**(1), 42-45.
- 北海道立総合研究機構農業研究本部, 1991: アメダスを利用したジャガイモ疫病の高精度発生予察システムの確立. 中央農業試験場平成 2 年普及奨励事項 (<http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/h03gaiyo/1990123.htm>).
- 松村伸二, 2011: 2010 年夏季の異常高温と農業被害—水稲を中心として—. 2010 年夏季の気象状況と農業被害の概要. 自然災害科学, **30**(2), 169-173.