

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450379

研究課題名(和文) 気象庁数値予報データを活用する全国農地の放射量分布予測システムの開発

研究課題名(英文) Radiation forecasting system for agricultural lands using JMA's numerical weather forecasts.

研究代表者

大野 宏之(OHNO, Hiroyuki)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域・上級研究員

研究者番号：00354027

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：農業の気象被害を低減・回避するには、気象予測を活用することが重要である。大気透過率と快晴時全天日射量の気候値の分布図を日別に作成し、これをメソ数値予報モデル(MSM)の雲量により調整することで、0日先の全天日射量を1.3 MJ/m²/dayの誤差で予測可能とした。地上気象要素と雲量から大気放射量を推定する近藤(1991)の式の係数を、MSMおよび全球数値予報モデル(GSM)の予報値に適合するように調整することで、0～6日先の大気放射量を1.1～2.2MJ/m²/dayの誤差で予測可能とした。アメダスとMSM、GSMから予測した日最低気温は、北海道の平坦地等で冬季に4℃程度の誤差を持つ。

研究成果の概要(英文)：Utilizing forecast is important to reduce or avoid meteorological damage in agriculture. Global solar radiation distribution in 0-day future can be forecasted with the error of 1.3 MJ/m²/day by attenuating the potential radiation, constructed from the climatic atmospheric transmissivity, with cloud amount forecasted by the MSM model. Atmospheric infrared radiation in 0 to 6-day future can be forecasted with the errors from 1.1 to 2.2 MJ/m²/day, by applying values forecasted by the MSM and the GSM models to Kondo's Formula (1991) after adjusting the coefficients in the formula. Daily minimum air temperatures forecasted from AMeDAS, the MSM model, and the GSM model have errors about 4 deg. C in some areas including Hokkaido in winter.

研究分野：農業気象

キーワード：全天日射量 大気放射量 メッシュ

1. 研究開始当初の背景

温暖化が現実のものとなりつつあるなかで、この影響による農業生産の損失を低減・回避するには、作物の気象応答反応を明らかにして対応策を技術として確立すると同時に、将来の予測値を含めた形で生産圃場における気象情報を利用可能とすることが重要である。同時に、地形が複雑な中山間地にも生産圃場が多く分布する我が国では、気象情報における空間スケールの精緻化もまた重要である。我が国にはアメダス観測網が展開され国土の気象が観測されているが、観測点の分布密度は概ね 20km の空間スケールであり、農業生産環境の気象を得るには十分な密度ではない。

研究実施者は、1970 年代後半以降より取り込まれるようになった地形による気候の違いをメッシュ図として明らかにする研究を進展させ、我が国全土における日最高気温、日最低気温、日平均気温、日積算降水量の分布を、気象庁の実況値と数値予報値他を組み合わせて約 1km×1km の空間解像度で推定する手法を開発し、これに基づいてデータを作成・更新し、配信している。運用を通じて、データ利用者から、全天日射量(下向き短波放射量)、ならびに、大気放射量(下向き長波放射量)の予測値提供の要望が寄せられた。前者は作物の生育・収量予測に欠くことができない量であり、後者は融雪や放射冷却強度を推定するうえで主要な気象要素であるが、これら放射量の分布を予測する手法は確立していない。また、平均気温や最高気温に比較して最低気温の予測精度が低いことも指摘された。日最低気温の値は作物の晩霜害等の発生に直接関わるので、信頼できる被害予測のためには精度向上が重要な課題である。日最低気温は夜間の大気放射量の影響を強く受けるので、これの分布を予測することは日最低気温の予測精度向上にもつながると見込まれる。これらのことから、実況値や数値予報を用いて全天日射量ならびに大気放射量を予測する手法を開発し、配信することが作物管理の高度化に大きく寄与すると考えるに至った。

2. 研究の目的

1km の空間解像度で過去から 7 日将来までについて推定する手法の開発を行い、全天日射量と大気放射量の、これまでにないデータセットを作成する。前者は水稻の登熟等に本質的であり、近年深刻化する登熟障害を未然に防ぐ肥培管理の開発への道を開く。後者は凍霜害発生に本質的であるが、地表面熱収支の主要な要素であり、農業技術のみならず、融雪量予測や地表面・土壌凍結予測など、様々な分野での予測がこれまでにない精度で全国について行えるようになると期待される。さらに本研究では、既存の日最低気温分布データの精度を検証した上で、推定された放射量を利用して既存の日最低気温分布

データの精度を向上させる手法を開発する。

3. 研究の方法

(1)全天日射量

全国 55 地点における 1980-2012 年の完全快晴日(日平均雲量 0)の全天日射量時間観測値(GSR0obs)を大気上端日射量(GSR0_{上端})で除した比(GSR0obs/GSR0_{上端})を地点ごとに求める。この比の年平均値と GSR0_{上端} から、直達日射量および散乱日射量の放射式を用いることによって、各地点の大気透過率の気候値を日別値として求め、これを空間内挿することによって大気透過率の全国メッシュ分布を作成する。次に、求めた大気透過率の全国メッシュ分布の値から、放射式によって快晴時全天日射量(GSR0)を求める。

日射量観測終了地点を除く全国 48 地点における 2008-2012 年の全天日射量特別観測値について、快晴時全天日射量および対象メッシュにおける気象庁メソ数値予報モデル(MSM)の層別雲量等を用いて、重回帰(部分最小二乗法)により推定式を作成する。なお、外れた予報の影響を低減するため、前時刻の雲量観測値が次の観測時刻まで継続すると仮定して、MSM の全層雲量と観測雲量との差の絶対値 0.2 未満のもののみを用いる。

最後に、この推定式を用いて MSM データから作成した全天日射量の予測値を観測値と比較して検証する。

(2)大気放射量

大気放射量は、日本において福岡管区気象台、館野高層気象観測所および札幌管区気象台の 3 か所でのみ継続的に観測されている。そこで、これらにおける観測結果を収集する。

大気放射量の平年値は公表されていないが、予測値の検証には重要なので、地上気象要素から大気放射量を推定する近藤(1991)の式をこれら検証地点における日別平年値に適用して推定する。

次に、近藤(1991)の式に MSM から取り出した気象要素を適用することが可能かどうか確認する。

そのうえで、予測日数がより長い気象庁全球数値予報モデル(GSM)から取り出した気象要素と MSM から取り出したそれとを比較し、最後に近藤(1991)の式に GSM を適用した場合の誤差を検証する。

(3)日最低気温

予測日数 0 日(1日が終わる前にその日の日別値を予測すること)の最低気温分布図から、アメダス観測地点値を抜き出し、これと観測値とを比較して誤差を求め、その分布を明らかにする。さらに、誤差と予測日数との関係も明らかにし、最低気温データの精度の改善方法を検討する。

4. 研究成果

(1)全天日射量

大気透過率の気候値としての日別全国分布図を作成した。この中から、夏至(6月22

日)および冬至(12月22日)における分布を図1に示す。さらに、これを用いて快晴時全天日射量を推定し、その日別全国分布図を作成した。夏至および冬至における分布を図2に示す。

特定の地点に着目すると、観測値された大気透過率は、冬に最大、夏に最小となる年周期の滑らかな変化に梅雨時期の低下が累重する季節変化を示すのに対し、推定された大気透過率では年周期の変化しか示さなかったが、これを用いて計算した快晴時全天日射量については、良い一致を示した。さらに、大気透過率の分布計算にデータを用いていない独自観測地点においても良い一致が認められ、有用性が確認された(図3)。本手法の精度をクロスバリデーションにより検証したところ、RMSE 誤差は 1.3 MJ/m²/day であった。

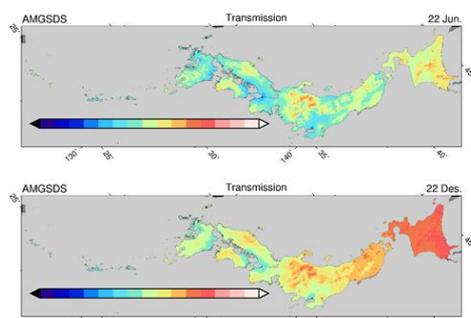


図1 本研究により推定された夏至(上段)および冬至(下段)における大気透過率気候値の全国分布図。

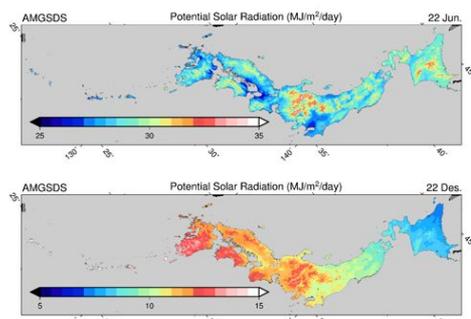


図2 本研究により推定された夏至(上段)および冬至(下段)における快晴時全天日射量の全国分布図。

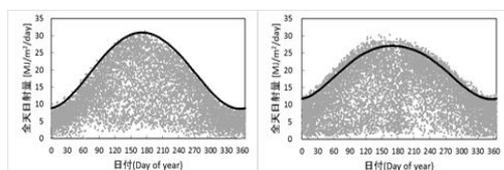


図3 独自観測地点で得られた全天日射量観測値(丸点)と、その地点について推定された快晴時全天日射量(実線)。左:北海道札幌市(1991-2010年)、右:福岡県筑後市(1988-2012年)。

実際の全天日射量は、快晴時全天日射量を雲量等に基づいて減衰させることで推定する。MSM が推定する全層雲量、層別雲量および湿度から全天日射量を推定する式を部分最小二乗法により決定し、データセットに対して二乗平均平方根誤差(RMSE)を計算すると、その値は 107.68W/m²(0.39MJ/m²/hr)となった。検証地点における予測値と観測値との相関を図4に示す。

この式に基づき、MSM データから全天日射量の分布図を推定する。図5に2015年4月13日の比較例を示す。本事例においては、関東地方、また特に九州地方においてMSMによる雲量の予測が過多であったため、日射量の推定値も過少気味であった。このように、全天日射量の予測誤差は、雲量に基づく全天日射量の推定誤差と、雲量それ自体の推定誤差値が複合したものとなる。後者については、気象庁による精度向上に任せざるを得ないが、前者については、気候値を与えている大気透過率をMSMの予報結果により修正する等により精度の向上が期待できると考えられる。

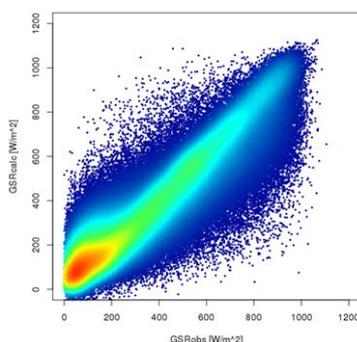


図4 観測された全天日射量(横軸)とこの式で推定された全天日射量(縦軸)との相関。色は点の密度を示す。

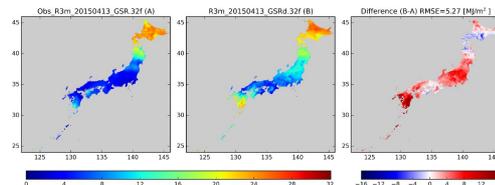


図5 観測から推定された2015年4月13日の全天日射量分布(左)と前日における予測値から推定された全天日射量(中)、および、それらの差(右)。

大気透過率および快晴時全天日射量の気候値は、本研究において始めて、1kmメッシュの日別分布としてデータセット化された。日射は植物の光合成に直接かわるので、農業分野では以前から予測値に対して強い要望があったが、近年は、太陽光発電の分野からも要望が強い。これらの要望に応えるためには、精度の向上と並んで、GSMの適用等により予測期間の延長にも取り組むことが

必要とされる。

(2) 大気放射量

検証の結果、近藤(1991)の式に MSM の気象要素をそのまま代入して得られた大気放射量は、終日雲がない晴天日においては観測値と良く適合することが明らかになった。そして、式中の雲に関する係数を調整すると、MSM の気象要素と雲量を代入して得られる大気放射量の推定値は検証地点によらず適用でき、RMSE は $1.1 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ であることがわかった。この際、MSM の雲量として、全層雲量単独よりも上層、中層、下層雲量を結合して用いた方が推定精度は高かった。

近藤(1991)の式に日別平年値を適用して推定した大気放射量は、2010~2013 年における実測値の平均に近く、平年値の推定値として利用できる可能性があることがわかった(図 6)。さらに、この大気放射量は、志賀(2003)の方法で最低気温から推定した湿度を代入して計算しても、ほとんど差がないことが明らかになった。したがって、全国に約 900 地点配置されるアメダスデータから大気放射量の平年値を日別分布データとして推定できる可能性があることがわかった。

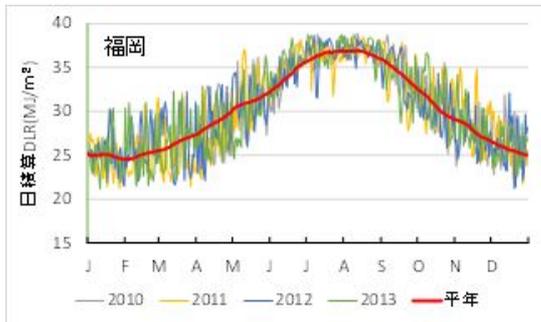


図 6 地上気象要素の平年値から推定した大気放射量平年値と、同地点で観測されたそれとの比較。

予報日数 0 日の MSM 雲量と、様々な予報日数の GSM 雲量との違いを相関図として比較すると、予報日数が共に 0 日の比較ではやや弓なりの非線形な分布が見られ、両気象モデルの特性の違いが示されるが、直線回帰した場合の係数は 1 に近い。両者の相関は予報日数とともに低下するが、明瞭なバイアスは検出されず、MSM 雲量に向けて係数を調整した近藤(1991)の式は再調整なしで GSM に適用できることがわかった。

この結果を用いて、GSM 雲量と気象予測データから、7 日先までの大気放射量を予測し、実測結果と比較した。結果を図 7 に示す。また、RMSE で表現した予測誤差と予測日数との関係を図 8 に示す。これから、開発した手法は、少なくとも 7 日先までは、平年値を推定値とする方法よりも誤差が小さいことが明らかになった。

大気放射量については気象庁の全国観測網にないため、近藤(1991)の式のような、

地上気象観測データより推定する方法が長く用いられてきた。本成果は、同式を気象庁 MSM などの GPV データに適用した場合の推定精度を実測データを用いて検証し、北海道から九州まで同一の式が使えることを示した点が画期的である。さらに、7 日先までの予測値についてリードタイムと予測誤差との関係を解析し、「確からしさ」の指標とともに提供することを可能とした。これをもとに降霜害のリスクなどを作成し、農家に提示するシステムが社会実装されれば、大きな経済効果が見込まれる。

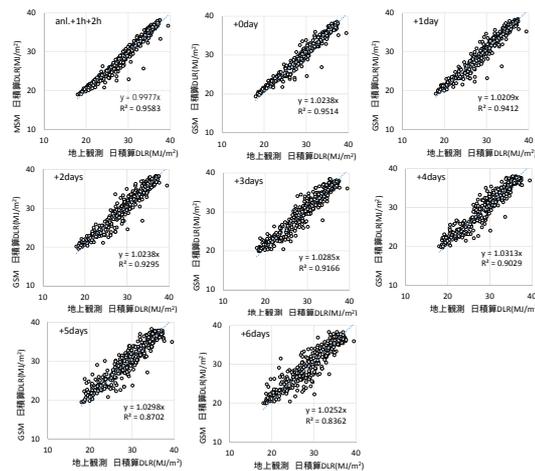


図 7 予測された気温、湿度と MSM・GSM の雲量を用いて推定された大気放射量予測値と、観測値との比較。

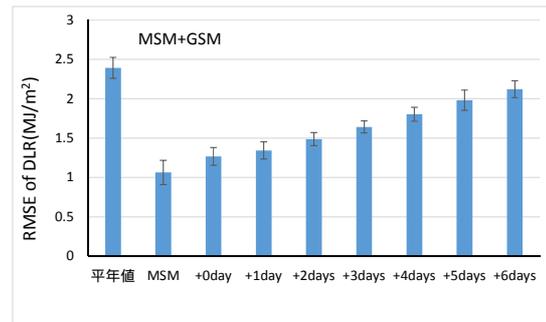


図 8 予測された大気放射量の RMSE と、予測日数との関係。図中のエラーバーは、検証地点間の標準偏差を示す。

(3) 最低気温

アメダス観測地点における日最低気温の観測値とこの日に対する当日予測値とを比較した結果、寒候期の北海道等において RMSE 値が際立って大きく、4 以上に達する地点が多数認められた(図 9)。平坦地だけでなく傾斜地においても見いだされることから、冷気湖の形成等の局地的な現象の他、積雪の存在など地表面の熱特性も関わっていることが示唆された。

また、研究成果(2)からは、推定式が雲量よりも気温により強く影響されていることが感度分析から明らかになっており、大気放射量を用いる経験式で補正する単純な方法で

は精度の改善は限定的であると判断される。

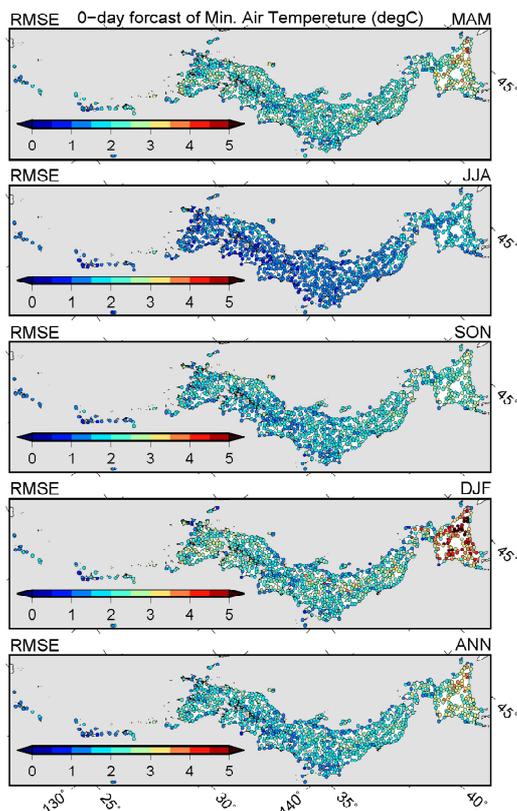


図9 全国810のアメダス地点の2008年から2012年までのデータに対する、予測値(0日目予測)と観測値との差の二乗平均平方根誤差の分布図。上段から順に、MAM:3-5月、JJA:6-8月、SON:9-11月、DJF:12-2月、ANN:通年で集計した結果を示す。

〔引用文献〕

近藤純正、中村 亘、山崎 剛、日射量および下向き大気放射量の推定、天気、38巻、1991、41-48。
志賀弘行、アメダス観測地点における最低気温を用いた水蒸気圧の推定、北海道立農試集報、64巻、2003、99-100。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

大野宏之、佐々木華織、大原源二、中園江、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、査読有、16巻、2016、71-79
DOI: 10.2480/cib.J-16-028

〔学会発表〕(計7件)

大野宏之、佐々木華織、丸山篤志、吉田ひろえ、中川博視、「メッシュ農業気象データ」における予測気温の確からしさ情報について、日本農業気象学会、2016.3.17、岡山大学(岡山県岡山市)
佐々木華織、大野宏之、吉田ひろえ、中園江、丸山篤志、小南靖弘、中川博視、気象

庁メソ数値予報モデル GPV を利用した全天日射量分布の推定(6) - 精度向上のための推定式の検討、日本農業気象学会、2016.3.17、岡山大学(岡山県岡山市)

佐々木華織、大野宏之、吉田ひろえ、中園江、丸山篤志、小南靖弘、中川博視、気象庁メソ数値予報モデル GPV を利用した全天日射量分布の推定(5) - 推定精度の検証、農業環境工学関連5学会(日本農業気象学会)、2015.9.15、岩手大学(岩手県盛岡市)
佐々木華織、大野宏之、吉田ひろえ、中園江、丸山篤志、中川博視、気象庁メソ数値予報モデル GPV を利用した全天日射量分布の推定(4) - 時空間補間した大気透過率を用いた全天日射量 -、日本農業気象学会、2015.03.16、文部科学省研究交流センター(茨城県つくば市)

小南靖弘、大野宏之、佐々木華織、細野達夫、農研機構メッシュ農業気象システムで提供される大気放射量予測値の精度、日本農業気象学会、2015.03.16、文部科学省研究交流センター(茨城県つくば市)

佐々木華織、大野宏之、吉田ひろえ、中園江、丸山篤志、中川博視、気象庁メソ数値予報モデル GPV を利用した全天日射量分布の推定(3) - 大気透過率の時空間補間 -、日本農業気象学会、2014.03.18、北海道大学(北海道札幌市)

小南靖弘、大野宏之、佐々木華織、横山宏太郎、気象庁 MSM_GPV ベースの融雪モデルについて、日本雪氷学会北信越支部大会、2013.05.11、新潟大学(新潟県新潟市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

大野 宏之 (OHNO, Hiroyuki)
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター気候変動対応研究領域・上級研究員
研究者番号: 00354027

(2)研究分担者

小南 靖弘 (KOMINAMI, Yasuhiro)
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター大規模畑作研究領域・上級研究員
研究者番号: 00370544

佐々木 華織 (SASAKI, Kaori)
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター気候変動対応研究領域・主任研究員
研究者番号: 50355278