

農研機構メッシュ農業気象データに搭載される積雪情報について

誌名	北農
ISSN	00183490
著者名	小南,靖弘
発行元	北海道農事試験場北農會
巻/号	82巻4号
掲載ページ	p. 413-417
発行年月	2015年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



<試験成績・研究成果>

農研機構メッシュ農業気象データに搭載される積雪情報について

小 南 靖 弘*

要 旨

農研機構のメッシュ農業気象データシステムに積雪深情報を搭載するために開発している、積雪深推定モデルの概要を紹介する。モデルはメッシュ農業気象データやアメダスデータなど用いて日々の降雪水量と融雪水量（あるいは再凍結水量）を計算し、その差分を日々積算して毎日の積雪相当水量を計算するものである。さらに得られた積雪水量とアメダスで測定されている積雪深とを用いて積雪密度を推定し、補正をおこないつつ積雪深の分布を推定する。

農業にとって積雪は、特に稲作において春季の水需要をまかなう重要な役割を担っているが、時に施設への被害や融雪遅延による減収などをもたらす。また、ムギ等の積雪下越冬作物においては消雪後の防除や追肥の計画を立てる上でも日々の積雪量の推移を把握することは重要である。また十勝やオホーツク等の畑作地帯においては、積雪のハンドリングによる土壤凍結深の制御 (Hirota et al., 2011; Yazaki et al., 2013) で雑草防除等がおこなわれており、積雪指標のリアルタイム情報が求められている。

一方、農業・食品産業技術総合研究機構では、気象予測に基づく効果的な栽培支援情報の開発研究を進めており、その基礎データとして、メッシュ農業気象データ（以下メッシュ気象データ）を作成している（大野，2014）。これは、標準地域3次メッシュ（約1 km）で全国をカバーする過去から9日先までの日別気象データセットで、気象庁による最新の地上気象観測データ（アメダスデータ）と数値予報データとを組み合わせで作成される。現在作成されているメッシュ気象データの気象要素は日最高/平均/最低気温、日平均湿度、全天日射量、日照時間、日降水量、日積算下向き

長波放射量、日平均風速である。そこで筆者らは、これらのデータを用いて積雪の分布を推定し、コンテンツの一つとして提供することを目指して、積雪量推定モデルの開発を進めているところである。

2 積雪深のメッシュ化

日々の積雪深のメッシュ化については、アメダス等で観測された積雪深を空間補間する方法と、筆者らが採用したような、気象学的に推定した積雪相当水量（積雪を融かした場合の水量で、雨量と同じくmmで表す。以下「積雪水量」）の分布から積雪の深さ（積雪深）に変換する方法とがある。

前者の利点は実際に観測された積雪深を用いていることと、計算が単純なことであるが、アメダス観測網における積雪深観測地点は全国に約320か所しかなく、粗い分布しか得られないという欠点がある。また、積雪を観測しているアメダス観測所の多くはある程度の人口がある集落に設置されているので、標高とともに積雪量が増加する中山間の積雪分布は正確に再現できない。図1にアメダス積雪深を単純補間した例を示すが、大まかな積雪分布はわかるものの、積雪深の実測値がない日高山脈等の積雪分布が再現されていない。

後者（積雪水量の推定）は、上記の気温・湿度・日射量・長波放射量などのメッシュデータを元にして計算するので、空間分解能の向上が期待でき

Snow Cover Information Provided in the Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO/ARC

* 農研機構 北海道農業研究センター
Yasuhiro KOMINAMI

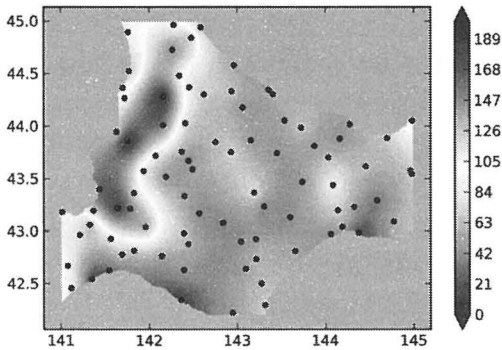


図1 アメダス積雪深を単純補間した例
北海道中央部, 2012年2月の例。右のカラーバーは積雪深(cm)を示す。

る。また、日射や気温で雪が融けたり、その水が再び凍ったりするプロセス(熱収支)をある程度忠実に再現しているため、たとえば融雪材散布の効果などを推定するなどの応用にも使用できるメリットがある。その一方で、用いる係数やパラメータの値が少しでもずれていると、日々の積雪の増減を正確に表現できないという欠点がある。ある日の積雪量(この場合は積雪相当水量)は、それまでの日々の堆積量(降雪水量)と減少量(融雪水量)との差分を積算した結果だから、どちらか一方の推定値にわずかな系統誤差があれば、積算値は発散してしまう。たとえば誤差が0.5mm/dayでも、100日後には積雪相当水量で50mm(50kg/m²)の差となる。これは積雪深にして15cm程度に相当する。

ここで特に精度的に問題となるのが、降雪水量である。全国1200箇所のアメダスでは、降水を雨と雪とを区別せずに「降水量」として発表しており、これをベースとして各種補正をほどこしたメッシュ農業気象データの降水量も同様である。したがって、まず降水量を雨と雪とに分離する必要がある。さらに雪は雨よりも軽いので、降水量計受水口の周囲の風の乱れによっては捕捉される割合が低下する。この割合(降水量計補足率)を推定する経験式は風速の関数として表現されるが、その係数は降水量計の形状ごとに異なっている。したがって、いかに降雪水量の推定精度を上げるかが、積雪水量を推定する上での鍵となる。

3 降雪水量分布の推定

上で述べたように、まず降水を雨の成分と雪(霰や雹も含む)の成分とに分離する必要がある。降ってくる降水粒子の温度は湿球温度とほぼ等しいので、まず気温と湿度より湿球温度を求め、これを用いて降水に占める雪の割合(雨雪判別係数)を計算し、降雪水量を推定する。理屈上は降水粒子の温度が0℃を境に固体か液体かに分別されるはずだが、実際は放射や風、粒子の大きさなどによって確率的な分布を取る(山崎, 1998)。

次に雪について降水量計補足率を推定する。多くのアメダスでは4要素(気温、日照時間、降水量、風速)を測定しているため、補足率の計算をすることができる。ただし、その際に必要な降水量計の型式に関する情報(特に風除けの有無)については公開された情報がなく、全国全ての観測所の一覧表を入手するのは困難である。さらに、降水量計まわりの風の乱れは気象安定度や周囲の建物の粗密および風向によって変化し、雪粒子の密度も千差万別なので、こちらもまたある程度の幅の誤差を含んだ推定値しか得られない。そこで、二次元の移動平均などの処理によってこの誤差(空間的なノイズ)を取り除き、さらにアメダス降雪深の分布と照らし合わせることによって、「確からしい降雪水量分布」を推定する。

なお、現在はこの状態の降雪水量分布を用いているが、将来的には気象庁解析雨量(いわゆるレーダー降水量)も用いる予定である。全国1200箇所のアメダスを用いた場合の空間分解能はおおよそ10~20km程度であり、市町村単位の雪の分布を見るには十分だが、集落や圃場単位となると分解能1kmのレーダー観測が有用である。ただし、レーダー波の反射や減衰は雪質や雪粒子の大きさの影響を強く受けるので、適用にあたってはなお検討が必要である。

4 融雪水量分布の推定

融雪水量は気温、湿度、風速、日射量、大気放射量、降水量のデータより、顕熱フラックス、潜

熱フラックス、放射収支量、雨によってもたらされる熱量などを計算し、その収支から融ける量（あるいは水が凍る量）を推定する。この場合、たとえば顕熱フラックスは気温と積雪表面との温度差によって運ばれる熱量だし、雪面から宇宙に向かって放射される長波放射量も表面温度によって決まるので、最初に積雪表面温度を求めなければいけない。そこで、まず一定の仮定のもとで積雪表面温度を推定し、その温度が0度以上ならばその分が融雪に使われたとして0度を与え、改めて熱収支量を再計算する。

この計算は、雪温が0度以上にはならないという点を除けば一般の地表面熱収支の計算と同じである。ただし、融雪量を計算する場合は、日平均気温や日積算日射量などの日データを用いて計算すると、融雪量を過小評価してしまう。たとえば積雪表面温度が0度で日平均気温が1度の場合、そのまま計算すると顕熱フラックスは雪から大気へと向かう方向となり、積雪は気温によって冷やされることになる。したがって計算上は融雪は起きないが、実際の気温は日変化をしているので、もし昼間に気温がプラスになればその時間帯は融雪が起きているはずである。融雪して生じた水は一部を除いて積雪層から排出されてしまうので、たとえ夜間に十分冷やされたとしても、昼間に融けた量すべてが再凍結するわけではない。また、顕熱フラックスの計算には風速も入っているため、こちらの日変化にも影響される。たとえば気温の上昇する昼間に風速が強まる場合と、1日中平均的に風が吹く場合とを比較すれば、前者の方がより顕熱フラックスが大きくなる。

そこで筆者らは、日平均気温および日最高・最低気温より、昼間と夜間の平均気温を推定し、計算を1日2ステップでおこなうことにした（小南ら、2015）。風速の1日の変化パターンは、卓越するのが季節風なのか海陸風なのかによって異なるし、地形の影響も大きく受けるので、全国一律に推定することはできない。そこで、過去十数年分のアメダスデータより求めた、各地の日平均風速に対する昼間平均風速の比を空間補間したメッ

シュ気候図を作成した（図2）。

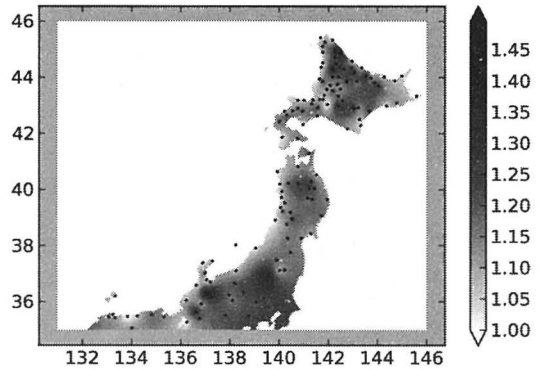


図2 昼間の平均風速の日平均風速に対する比の空間分布
1～4月の積雪が存在する日について求めた2002年～2014年の平均値。
図中の黒丸が計算をおこなった官署・アメダス地点で、線形補間によって1kmメッシュに展開している。

5 モデルのパフォーマンスと誤差の原因

以上のようにして、日々の降雪水量と融雪水量（あるいは再凍結量）を求め、この差分（積雪水量の正味の増減量）を積算していく。この積雪水量推定モデルの精度を積雪日数で検証すると、ほぼ10日程度であった（図3）。各地点の積雪日数に対する誤差日数の割合は、おおむね10%以下となった。プロットの分布を見ると、積雪日数が100日を超える地点ではばらつきが小さく、50～100日程度の地点では逆に大きい。また、積雪開始日

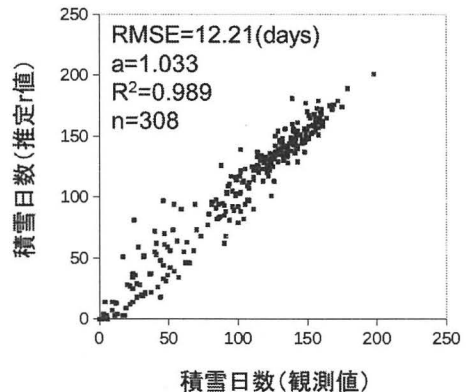


図3 推定された積雪日数と実測値との比較（2011年）

横軸は官署・アメダス積雪深計による日数、縦軸はモデルで推定した積雪水量による日数。
RMSEは推定値の平均二乗誤差の平方根、aは回帰線の傾き、 R^2 はその決定係数で、いずれも官署とアメダスを合わせて計算したもの、nは地点数。

については、初冬に単発的に生じる積雪を除けば、ほぼ3日以内の誤差で再現されていた。

モデルの推定誤差の主な原因は、前に述べたように降雪水量の推定誤差だと考えられる。図4は

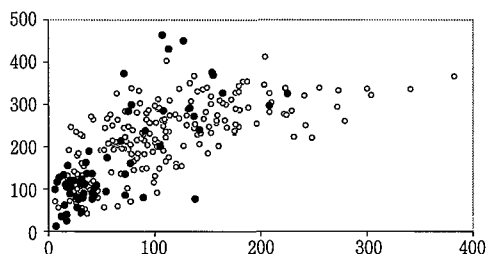


図4 一冬の最大積雪とその時点の積雪密度

黒丸は官署、白丸はアメダス地点を示す。最大積雪深は気象庁観測値。積雪密度はモデルが推定した積雪相当水量を積雪深で除して求めた全層密度。

各アメダス地点における一冬の最大積雪深と、モデルで推定したその日の積雪密度であるが、自然積雪としては過大あるいは過小と思われる密度の地点がいくつか見られる。最大積雪深は本格的な融雪が始まる前に出現することが多いので、ここで示される密度の過大・過小評価の主因は雪が堆積していく過程の誤差によるだと考えられるからである。したがって、モデルの推定精度を改善するためには降雪水量推定の精度向上が必要だが、この量は降水量観測値に雨雪判別と降水量計捕捉率補正の2つの変換を施すことによって推定されているため、大幅な精度向上は容易ではないと考えられる。

特に降水量計捕捉率については降水イベント毎のばらつきが大きく、たとえば東北の豪雪地帯や北海道で多く使われている風除け付きの溢水式降水量計の場合、観測から得られた形状係数の平均値が0.128に対して、平均値に対する平均二乗誤差 (RMSE) は0.107である (横山ら, 2003)。この0.128±0.107の範囲で計算すると、風速2.0m/sの場合の補足率は0.60~0.96となり、見積もられる降雪水量の最小値と最大値との比は約1.6となる。したがって、たとえば一冬の平均値を取れば均されて誤差が少なくなるが、日々の融雪水量との差分を計算する上では精度が低いと思われる。

また、本モデルは日別気象データをもとに計算するので、降雪が生じている時間帯の風速や湿球温度を用いることができないという限界もある。これも雨雪判別と捕捉率両方の誤差の原因の一つだと思われる。

6 積雪水量分布から積雪深分布への変換と積雪水量の補正

積雪水量は屋根雪の荷重などを表現するには優れているが、ニュースや天気予報で一般的に使われるのは深さで表した積雪深である。そこで積雪水量から積雪深に変換する必要があるが、これにはアメダス積雪深データを用いる。各アメダス地点において推定した積雪水量を積雪深の観測値で割れば、その地点における積雪密度が推定できる。この密度を空間補間して分布図を作成し、今度は積雪水量の分布図をここで作成した密度の分布図で割って、積雪深の分布図を得る。先に述べたように積雪を観測しているアメダス地点は約320箇所、降雪分布を推定するには少なすぎる。しかし積雪密度は大まかには雪質によって決まるので、少々粗い分布でも実用的には問題ないと考えられる。ただし同じ雪質でも、積雪水量が増えれば荷重によって下層の積雪が圧密され、密度が増加するので補正する必要がある。さらに気温が低

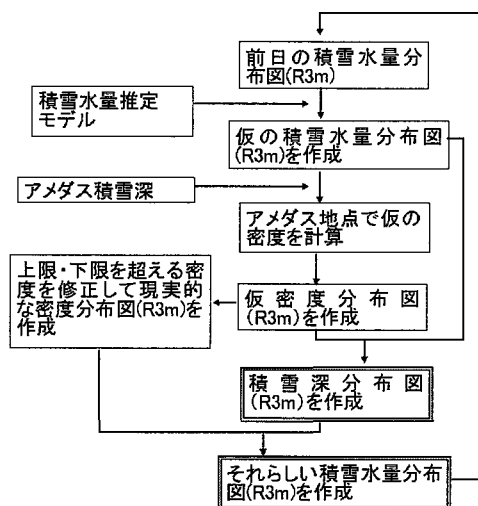


図5 積雪水量分布から積雪深分布を推定するアルゴリズム

い高地では雪質そのものも変化する。そこで、筆者らが過去に新潟県上越地方の中山間地域でおこなった積雪水量と積雪深の移動観測の結果を元に、山地の密度を補正する経験式を導入した。

一方、既往の観測例などから、季節的積雪の全層密度はおおよそ80~450 kg/m³程度の範囲に入ることがわかっている。したがって計算した密度がこの範囲に入らなかった場合、モデルで推定された積雪水量が過小・過大評価だということになる。日々の計算では翌日の計算に用いる積雪水量分布をこれで補正し、誤差の蓄積を防いでいる(図5)。

7 積雪深予報値の計算

当日以降の予報値については、アメダス積雪深の観測値がないので、密度分布を計算することができない。そのため、風間の積雪全層密度推定モデル(風間, 1997)を用いて積雪水量を積雪深に変換する。風間のモデルは気温をパラメタとして前日の密度からの増加分を推定するもので、これに気温で推定した新雪密度と融雪による積雪水量減少分とを加味して、日々の積雪密度を求める。

8 まとめ

以上、全国版早期警戒・栽培支援システムと、それに搭載予定のメッシュ積雪深データについて概要を説明した。リアルタイムの積雪のメッシュ情報は、一応の形が整ったとはいえ、まだ改良の余地は大きい。1 km²という空間解像度は気温や日照などの一般の気象現象の分布を表現する上では十分に小さいが、雪の場合は風やちょっとした地面の凸凹などで、近傍の圃場の積雪深が全く異なる場合もある。そのような場合も含めたトータルの信頼度を評価することが、まず必要だと思われる。また、予報値に関しては、その元となる

気象庁の週間予報の精度に依存するので、「〇日先の信頼度はこの程度」という付加情報も加えて、予報値が一人歩きしない工夫も必要である。

いわゆる地球温暖化が注目されて久しいが、近年の研究によると、この「温暖化」とは地球全体が均一に温まるのではなく、高温や低温、大雨や渇水などの現象が極端になることとセットのようである。雪に関しても、関東や道東のように、どちらかといえば寡雪だった地方での大雪が目立ってきたように思える。年々の変動が大きい気象条件の中での農業の安定生産の維持に役立つよう、今後も研究を進めて行きたいと思う。

引用文献

- Hirota, T., K. Usuki, M. Hayashi, M. Nemoto, Y. Iwata, Y. Yanai, T. Yazaki and S. Inoue (2011), Soil frost control: agricultural adaptation to climate variability in a cold region of Japan. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, 16, 791-802.
- 風間聡 (1997), 広域における積雪全層密度推定に関する研究, *水工論文集*, 41, 245-250.
- 小南靖弘, 広田知良, 井上 聡, 大野宏之 (2015), メッシュ農業気象データのための積雪水量推定モデル, *雪氷*, 77, 3, 233-246.
- 大野宏之 (2014), メッシュ農業気象データ利用マニュアル, *中央農業総合研究センター研究資料*, 9, 1-77.
- 山崎 剛 (1998), 厳寒地に適用可能な積雪多層熱収支モデル, *雪氷*, 60, 131-141.
- Yazaki, T., T. Hirota, Y. Iwata, S. Inoue, K. Usuki, T. Suzuki, M. Shirahata, A. Iwasaki, T. Kajiyama, K. Araki, Y. Takamiya and K. Maezuka (2013), Effective killing of volunteer potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers with soil frost control using agrometeorological information-an adaptive countermeasure to the climate change utilizing climate resources in a cold region. *Agr. Forest Meteorol.*, 182-183, 91-100.