

東北地方の積雪量の計算について

On the estimation of snow volume in Tohoku district

風間聡*・沢本正樹**

By So KAZAMA and Masaki SAWAMOTO

Snow volume in Tohoku district is evaluated by using measured snow covered area and snow depth distribution model. Snow covered area is detected from NOAA/AVHRR data by authors scheme. In order to obtain snow distribution of whole Tohoku district, a new method is used to composit three different images. The snow depth distribution is studied empirically. The dependency of snow depth on height, latitude and longitude is confirmed by referring AMeDAS data. Combining above methods, snow volume in Tohoku district at the first ten days of February is estimated.

Keywords: snow volume, snow depth distribution, AVHRR/NOAA data

1. はじめに

ある時期の広域積雪量が予測できると、その時期の水資源量を把握できるだけでなく、流出モデルに組み込むことによって融雪洪水量を予測することも可能になる。また、広域の積雪量を知ることは、気象状態を理解することやその地域の水循環の一つのリンクを明らかにすることにもなる。

小池ら¹⁾はリモートセンシングから得られた面的情報とスノーサーベイから得られた積雪深の情報を結びつけることにより積雪量を算定する方法を示している。また、日野ら²⁾はダム地点での流出量のスペクトル解析から上流部での積雪量を推定できることを示している。しかし、これらの対象領域はすべて小～中規模の流域に限られており、東北地方全域のような広域にわたる計算には適していない。広域の積雪量を把握するには必要とされるデータ量が膨大なため、これらを揃える困難さや計算処理時間の関係上、手間がかかり一般には敬遠されている。村松ら³⁾は各積雪観測地点とLANDSATのデータを用いて本州の積雪分布を示している。しかし、速報性や量的計算の点には触れておらず、分布を示しただけに留まっている。

広域の積雪の情報を得るには衛星リモートセンシングが有効である。しかし、一般に汎用性の高いLANDSATのセンサの可視域や赤外域の波長域は、その観測時に雲がかかっていると観測ができない。また、デ

* 学生員 工修 東北大学大学院工学研究科

** 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

ータの取得間隔が16日と長く、広域を対象とすると積雪期に1つの画像も得られないことがある。NOAA衛星の場合には毎日2回の画像が得られるが広域全てが晴れる可能性は極めて低く何らかの工夫が必要となる。ERS-1のようなマイクロ波センサを搭載した衛星は全天候型の観測が可能であるため、今後の利用法が期待されているが、現時点ではまだ試験段階にとどまっている。一方、衛星の観測範囲もデータ処理の面では重要な問題である。広域を扱う際、そのデータ量の多さから、データの平均化、間引きを行ない、データ量の縮小化を行うことが多い。NOAA（アメリカ海洋大気庁）が作成する半球データはAVHRRデータを間引いたものとなっている。衛星データの利用にはデータの特性とその目的を充分考えなければならない。

積雪量を求める際、多くの問題は縦方向（積雪深）の情報である。面的情報は数多くの研究がなされているが、広域の積雪深分布を観測することは困難である。通常、過去の履歴情報や代表観測点からの推測で求めることが多いが、深山ら⁴⁾は植生別に輝度と積雪深とは相関があることを示し、衛星データから直接小流域の積雪深分布を求めることが可能であることを示している。この分野においても縦方向の情報が得られるマイクロ波センサが期待されている。

本研究では東北地方程度の比較的広い範囲の積雪量を評価する方法について考察する。その際、面的情報には衛星データを用い、縦方向の情報はAMeDASより求めた回帰式を用いることにする。これらと国土数値情報の標高データを組み合わせ、全積雪量を求める方法を提示する。

2. 積雪マップの作成

面的情報を衛星リモートセンシングから求める。今回は汎用性の高いAVHRR/NOAAデータを用いる。回帰日数が短く（1日2回）、地上分解能が比較的良好（幾何補正後1.1km四方）、しかも東北地方を1枚の画像で捉えられることからこれを選んだ。

衛星からの積雪域の判定はいくつかの問題を含んでおり、その定量化については様々な方法が示されている。今回は著者ら⁵⁾が示した実積雪と衛星判定積雪の突合せの結果を用いた。また、季節の変化を考慮した閾値決定⁶⁾を用いている。積雪域の判定方法は以下の通りである。AMeDAS点の積雪の有無とAVHRRの各波長特性を調べ、その特徴を季節を追って調べ、積雪域判定の閾値を求める。この閾値を用いて無雪域、積雪域、雲域の3つ領域に区別する。

東北地方程度の広さを対象とする場合、その全域が快晴であることはほとんど期待できない。そのため今回は、いくつかの異なる日の合成を行った。東北地方が比較的良好に晴れている日を一日選び積雪域判定を行う。雲域判定された箇所は前後の日のシーンの積雪域判定から雲域でないと判定された場合に情報として追加する。前後で得られない場合は、得られるまで期日を7日以内の範囲でずらしていき、全画像から雲域が無くなるまで行う。

こうして得られた画像が図-1に示される積雪マップである。積雪域の画素数は46,012、面積にして55,674km²である。この画像は2月7、14、15日の画像の重ね合わせとなっている。冬期は西高東低の気

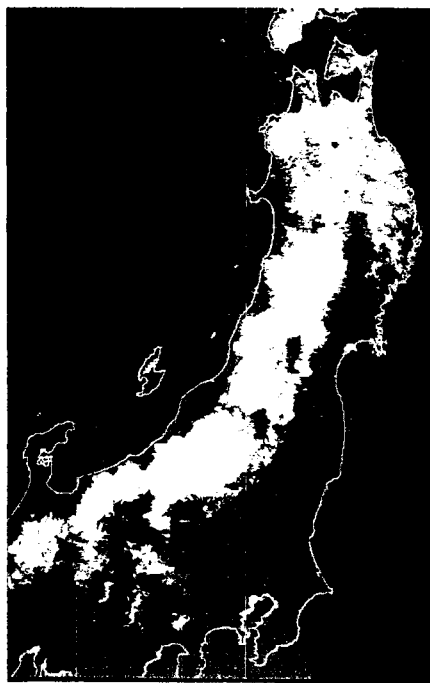


図-1 1989年2月上旬 積雪マップ

庄配置のためか北東北で曇ることが多く、AVHRRの観測時刻には北東北が曇っていることが多かった。この期間中の降雪、融雪のため、3画像間で雪線は必ずしも連続でない。しかし、メインの画像である2月15日は東北地方のほとんどが晴れており、2月14日も大部分が晴れており、この二つの画像で青森県を除く大部分が作成されているため、対象領域のほとんどの領域で良い連続性を示している。また、2月15日を選んだ理由は、著者ら⁶⁾の研究からこの年の1月30日前後が最大積雪面積を示しており、この時期から融雪が平野部において始まったと推測されるからである。図-1から2月上旬の東北地方の積雪分布状態が分かる。この時期には平野部にも多く積雪があるが、会津盆地や山形盆地には積雪が認められない。比較的低地の常緑樹が多い植生地域は、積雪域判定の際に誤判定をする事が著者ら⁵⁾の研究から分かっている。また水域や都市域の周辺でも誤判定をする事もある。しかし、これらの全体に占める割合はかなり微小である。

3. 積雪深分布について

広域の積雪深分布を求めることは数多くのスノーサーベイが必要となり、詳細に行なうことは不可能である。経験や、履歴パターンから積雪深分布を知る方法としては気象庁が発表しているコンター図などがある。この際のコンター図はAMeDAS点での情報に基づき線が引かれている。そのため速報性やデータの無い部分の分布については問題が残されている。そこで、ここでは以下に述べる降雪、積雪の特性を考慮して積雪深の回帰式を求め、それを積雪総量の評価に利用することを考える。

一般に雪は北で多く南で少なく高山で多く、平野で少なくなる。また、東北地方のように冬季の季節風が卓越する地域では、降雪は西で多く、東へ行くほど少なくなる。この中で最も重要なものは高度による変化である。小流域内においては積雪水当量は高度に依存して増加することが広く知られている。そのため流域内において積雪深は、係数は流域ごとに差はあるが、標高の線形関数で表わすことが出来る。特に融雪期には関数の傾きが変わらず、切片のみが雪線の上昇にしたがって減少することも報告されている¹⁾。積雪の南北方向の変化はほぼ線形であると考え、一方東西方向の変化はより複雑である。東北地方の中央に脊梁山脈があるためそれを境として気候特性が大きく異なるため、回帰式では奥羽山脈の東西で別の係数を与えることにする。以上より、この地域を一括する積雪深分布を以下のような線形関数で表わすことにする。

$$D = aL + bP + cH + d \quad (1)$$

D : 積雪深 (cm)
 L : 緯度 (ライン番号)
 P : 経度 (ピクセル番号)
 H : 高度 (m)
 a, b, c, d : 係数

上で示した関数はこれらを東北地方のAMeDAS点のデータを入力し回帰する回帰方程式となっている。回帰母数は東北地方のAMeDAS点を用い、最小自乗法で求めた。

1989年2月7日と15日について得られた回帰係数を表-1に示す。座標は、緯度の場合南に行くほど正であり、経度の場合は東に行くほど正である。原点は図-1の画像中の左上隅である。この結果を見ると、南にいくほど積雪が減少し、奥羽山脈の東側では西に行くほど増え、西側では減少している。

表-1 回帰式の係数

	a	b	c	d
west	-0.0516	0.0670	0.1116	-1.4820
east	-0.0916	-0.2418	0.2933	151.1569

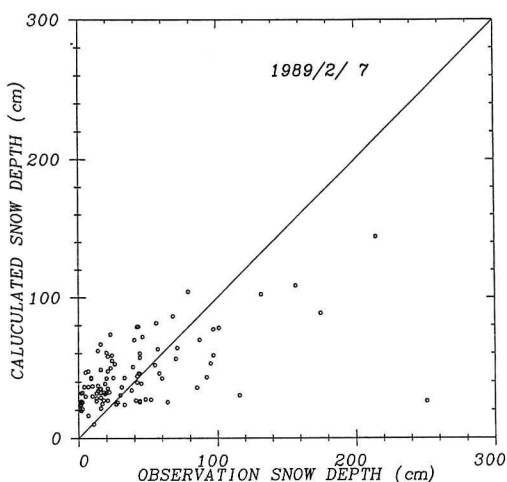


図-2 積雪深の実測値と計算値の比較(1989, 2, 7)

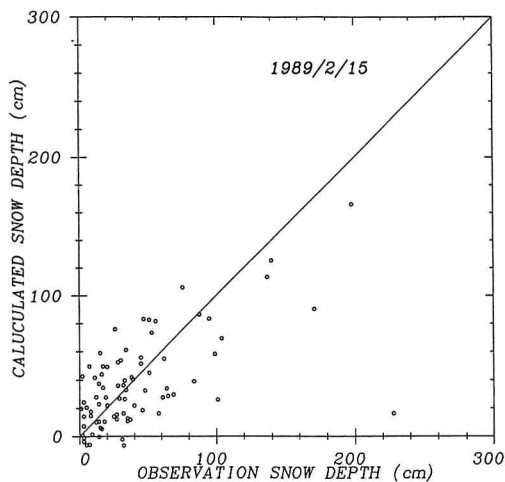


図-3 積雪深の実測値と計算値の比較(1989, 2, 15)

また、高度の影響が最も大きく表れている。回帰値と実測値の比較を図-2、図-3に示す。かなりのばらつきは認められるが、一致直線を中心に分布している。この回帰式では積雪が少ない場合には計算値が大きく、積雪が多い場合には計算値は小さくなる傾向がある。回帰式を単純に使用すると場所によっては積雪深がマイナスになることもある。これは、平地と山地を1つの式で回帰するため、標高の低い平地部分は過大気味になり、標高の高い山腹部分は過小評価気味になる傾向があるためである。特に積雪が多い地点は、ロボット積雪深計が置かれているような山腹に多いため、積雪深が小さくなっている。以上のような回帰式計算を積雪マップ上に行なった結果を図-4に表わす。今回は回帰式に2月15日のデータを用いた。これは大部分の画像が2月15日に依存しているためである。この日を選んだ。高度のデータは国土数値情報をNOAAの画素サイズに平均化したものを使用している。この際、回帰式なので積雪深がマイ

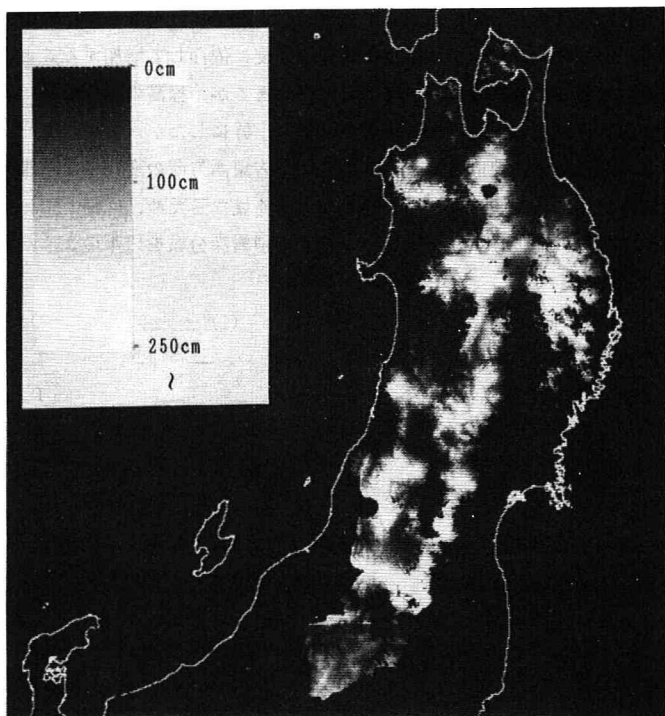


図-4 東北地方の積雪深分布(1989, 2月上旬)

ナスになる場合がある。この際には、積雪深を0としている。また、衛星データでは積雪が認められるが、計算では積雪が負の場合がある。このときは衛星データが正しいとして、便宜上、積雪深を1cmとしている。階調は積雪深0～250cmを線形で黒から白で表わし、250cmを越えるものは白均一になっている。岩木山や月山、八甲田山のような標高の高い山は多く積雪が認められ、衛星データのタイムシリーズと比較すると比較的良好一致が見られる。しかし、エッジや北上高地などは積雪深が急激に多くなるような箇所が存在している。これらの解決策としては地域性を表わす回帰項を増やすか、回帰する地域を細分することなどが考えられる。

4. 積雪量について

上で求めた積雪深分布を積雪マップ上で積分する。求めた積雪量は約 40km^3 であり、平均積雪深は72cmであった。積雪量に密度を掛け合わせた量が水当量になる。積雪の密度は新雪時には0.1以下、融雪期には0.45～0.5で一定になることが知られているが、降雪期の積雪層内では圧密、結晶の拡大など様々な変成が層毎に進行している。このため各地域、各層内の密度分布を知ることは難しい。積雪上部と下部のおおよその平均として0.3を今回は選んでいる。この密度を用いて求めた積雪水当量は約 12km^3 である。なお、この年は小雪の年であり、全国的に積雪量が少ない年であった。

東京都の1人1日平均給水量を455リットル(1979年)⁷⁾とし、都民を1千万と考えると年間では 1.66km^3 が都の必要家庭用水量である。これを考えると東北地方の積雪量は7.2倍である。東北地方の積雪量だけで東京都民の年間給水量を十分補うことができる。積雪による水資源量が如何に多いかが分かる。

雪はそのボリュームだけでなく、貯留効果が大いことも特徴の一つである。これを利用した雪ダム構想なども計画されている。積雪量をこれらの雪ダムや通常のダムを組み合わせることにより大きな貯留効果が得られ、水資源量として大きな期待がもてる。また水循環を把握する際にも、直接積雪量を知ること、損失量を知ることが可能であろう。

5. おわりに

今回は、人工衛星NOAAの画像から積雪マップを作成した。また、東北地方のAMeDAS点の観測結果を用い、積雪深が緯度、経度、高度の関数として、これを最小自乗法から回帰することにより積雪深の分布関数を求めた。これらの面的情報と縦の情報を掛け合わせることから、積雪量としてのボリュームを求めた。この方法は数少ないデータ量から広域の積雪量を求めるには、有効な方法と考えられる。

しかし、いくつかの問題点も存在する。回帰式のため、衛星データでは積雪が存在するのに解析では積雪深がない箇所がある。計算値は統計に基づいたため、地域性が十分には生かされず、東北全域が同じ状態とみなしているため、このような結果が生ずる。また、奥羽山脈系の山地より西側に大きな山地が存在する場合、例えば朝日連峰や飯豊山脈ではこの回帰式では積雪深を過小評価し、その東側にある盆地ではその逆に、積雪が認められないのに有限の積雪を計算する事もある。これらが全体にどれくらいの影響を与えるかは不明である。精度をあげるにはいくつかの方法が考えられる。例えば流域ごとに分けて計算を行なう、回帰式の変数を増やす等が考えられる。他に、今回は積雪マップを面的情報にしか使っていないが、これを縦の情報として生かすため、エッジ部分からの積雪深推定式なども考えられる。しかし、精度を上げるためには簡易性と迅速性は悪くなり、広域を対象とするには不都合となる。また、他の方法から積雪量を求めなければ、計算結果は保証されず、精度の面は不明である。

精度が上昇すれば、広域での水循環を解明するに当たり有効な手段となる。積雪は水収支において、極めて複雑な挙動を示すため、蒸発散と並びその解明が困難とされてきた。積雪量が把握できれば蒸発散の量を解析する際にも有効となる。また、経年にわたり調べることにより、気象、気候状態を把握するにも有効で

あろう。

謝辞：本研究で用いているNOAAデータは東北大学と東北電力との共同研究の一環として受信したものである。関係者各位に感謝します。また、データ処理に際しては、東北大学理学部川村宏助教授、東北緑化環境保全(株)枝松芳枝氏、大学院生美濃憲君、4年生多田毅君の助力を得た。併せて感謝します。本研究の実施に当たり一部河川環境整備基金と科研費（特別研究員奨励費）の援助を受けた。また、公表に当たり小川基金の援助を得た。ここに併せて謝意を表します。

参考文献

- 1) 小池俊雄・高橋裕・吉野昭一：積雪面積情報による流域積雪推量の推定，土木学会論文集，第357号，II-3，pp.159-165，1985.
- 2) 日野幹雄・長谷部正彦：融雪時期の流出解析，第26回水理講演会論文集，pp.177-182，1982.
- 3) 村松郁栄・佐藤滋・梅林正・武田徹・加藤明：衛星写真を考慮した本州の積雪分布図，雪氷，52巻，1号，pp.1-11，1990.
- 4) 深山一弥・小川茂男：TMデータによるダム集水域の積雪深分布の推定，写真測量とリモートセンシング，Vol.31，No.4，pp.27-36，1992.
- 5) 川村宏・風間聡・枝松好枝・沢本正樹：AVHRR/NOAAデータによる積雪域抽出手法の研究－1989年2月15日の東北地方についての事例解析－，日本リモートセンシング学会誌，Vol.12，No.1，pp.31-41，1992.
- 6) 風間聡・川村宏・枝松好枝・沢本正樹：AVHRR/NOAAデータによる積雪域抽出パラメータの経時変化，日本リモートセンシング学会誌，Vol.12，No.4，pp.59-69，1992.
- 7) 佐藤敦久：衛生工学，朝倉書店，247 pp.，1986.