衛星データを用いた東北地方の積雪水資源量推定

Estimation of snow volume in Tohoku district by using satellite data

風間聡^{*}, 沢本正樹^{**}

By So KAZAMA and Masaki SAWAMOTO

Snow volume in Tohoku district is evaluated by NOAA satellite remote sensing and snow distribution model. It is assumed that snow depth is proportional to the elevation from the snow line. This proportional coefficient is evaluated from AMeDAS data in Tohoku district. An algorithm to obtain the snow line is also developed. As the result, this coefficient is obtained 0.26 the same as the observing values. This result applied in Tohoku district and snow volume is estimated 24.8 km³.

Keywords: NOAA satellite, snow volume, Tohoku district, snow line

1. はじめに

東北地方は冬季にシベリア高気団からの季節風のため膨大な降雪量を受ける。そのため、雪害と呼ばれる数多くの災害を引き起こしている。一方、近年ではこの雪に対し、利雪や親雪といった雪の利用が試みられている。これらが社会的にどの様に影響を与えるかを把握するには、より広域での積雪状態を知る必要がある。

広域で積雪を観測する場合、衛星観測が有効である。特に面的情報は有効であり、Martinecら¹⁾や小池ら²⁾は融雪出水に結びつけている。これに対して、縦(積雪深)の広域情報は、報告が少なく、風間ら³⁾が2,000km²程度の雪線の移動から求めたものや、本州地方といった広域についてAMeDASとLANDSATからその分布を示した村松ら⁴⁾の報告がある。しかし、広域を短い時間間隔で予測することはなされていない。また、最近ではマイクロ波による積雪深の観測が期待されているが、まだ実用段階にはなっていない。

著者らは東北地方の積雪量を求めるため、前報では⁵⁾、NOAA衛星からの面的情報とAMeDASの情報から緯度経度高度の線形関係から積雪水資源量を求めた。しかし、これを裏付けるGTD(Ground Truth Data)が少ないため、確認はできなかった。また、衛星データを取り扱う際のメルカトル座標系の画素サイズの補正も行っていない。そこで、本研究ではNOAAから得られた積雪マップを用い雪線からの高度差を情報として積雪深の分布を調べ、東北地方の積雪水資源量を求めることを試みる。また、積雪深と高度差の関係を他の実測値と比較検討する。

* 学生員 修(工) 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)

2. 雪線の判定

広域積雪量を求める際、面的情報は衛星データから得るのが有効である。能動マイクロ波センサーで積雪域が判定できるようになれば、全天候でリアルタイムに積雪面的情報を得られることになる。しかし、この方法はまだ試験段階である。本研究で利用されている東北地方の積雪図は、前報と同じく数日間のNOAA衛星画像から合成して得られたものである。

積雪深のモデルはいくつか提案されている。そのほとんどの入力は気温と降雪が主である。その他にはアルベド、風速、放射などを取り込んだ接地気象学的手法もある。しかし、そのほとんどが多く気象要素の入力を必要としており、特に観測点の粗地域ではその予測は困難である。加えてプログラムの複雑さから膨大な計算時間を要するため、広域に適用する際には適さないことが多い。そこで、我々は比較的計算が簡単で、広域を短時間で推定できる積雪深分布モデルの開発に取り組んできている。

本研究では衛星による雪線からの高度差と積雪深が線形関係を持つとし(式(1))、積雪分布を求める方法

$$SD = a \Delta H \quad (1)$$

SD: 積雪深(cm),

ΔH : 雪線からの標高差 (m)

a: 係数

を考えた。これは、融雪を促す気温は高度に強い依存性があると考えられ、また、降雪も標高が大きく影響するため、積雪深は高度の依存性が高いと考えられるからである。また、アルベドを支配するエアロゾルや植生の影響も高度が大きく影響すると考えられる。図-1に雪線情報を用いて積雪深を求める方法の概念図を示す。

衛星データから雪線を判断する際には、どこが雪線かを判断するアルゴリズムが重要になる。エッジ検出のプログラムやフラクタル次元を用いる方法など数多くあるが、積雪の飛び地の問題や湖などを検出するのが困難になり、計算時間がかかってしまう。そこで本研究では単純に観測点に近いある領域をもった無雪領域を雪線と考えた。雪線と観測点との高度差を求めるアルゴリズムは以下の通りである。ある大きさの正方無雪領域を探す。この中心を雪線地点とし、観測点から最も短い地点9点を探し出す。この各地点と観測点の標高差をそれぞれ求め、平均したものを雪線と観測点の標高差とした。

図-2には無雪地点を3x3の9画素の正方領域とした場合の積雪深と観測点雪線の高度差の回帰結果を示す。この時に差がマイナスになる点は除いてある。有意な点についての回帰直線を図-2に加えて表す。結果、傾向は表されているが、標高の大きな箇所では誤差が大きくなる傾向がある。これは標高の高い地点に観測点が少ないためである。なお、この方法を

図-1 積雪深推定概念図

用いる際、湖や沼などの無雪地点はあらかじめ作成したデータベースにより除いてある。

3. 高度と積雪深の関係

積雪深と高度の関係を広域について調べる。積雪深と高度に線形関係があることはよく知られていることだが、これは流域内に限ったことが多い。実際、只見川滝ダム流域においても伊南川筋と只見川筋では全くその形態が異なっている。図-2の
回帰直線の傾きは0.456(cm/m)である。
広域で調べたものはないが、流域に限ったものでは、表-1の様なものがある。この表からは0.08~0.76の幅に治まっている。

雄物川の場合、標高差が87mと小さいため誤差が大きく係数の値が大きくなったと思われる。観測の時期はそのほとんどが融雪期である。積雪

図-2 積雪深-高度分布(1989年2月15日:9画素判定)

期には標高の高い地域では圧密、融雪が十分に進行していない為、この係数は大きな値をとることが知られている。一般的に係数の変化を図-3に示す。

図-2の傾きは2月中旬であり積雪期にあると考えられ、係数は大きめな値をとっている。また、AMeDASの

表-1 積雪深-高度係数の観測値

調査者	流域	時期	傾き (cm/m)		備考
			積雪深	水当量	
小池ら	初沢 板幽沢	1983.4.6 1984.3.27 1984.4.6		0.106 0.131 0.138	
電発備	滝ダム	1988.3.17 1989.3.9 1990.3.7 1991.2.27	0.145 0.157 0.151 0.139	0.065 0.071 0.068 0.079	
深山ら	大夕張 ダム	1985.3.4-7 1986.3.3-6 1987.3.3-6	0.227 0.133 0.164		
伊藤	雄物川 米代川	約 1890-1980	0.764 0.168		最大積雪深 標高 9-96m 29-134m
井上ら	琵琶湖 西部 5地域	1977.2.21 - 23		0.334 0.230 0.110 0.075 0.078	
太田ら	高倉山 (岩手県)	1983.1.22 2.3 3.18		0.034 0.024 0.073	
山田ら	大雪山 旭岳	1977.12.1 12.28 3.10	0.080 0.140 0.175		
今回	東北 全域	1989.2.15	0.31 0.26	0.093 0.078	無雪域判断 25km ² 49km ²

図-3 積雪深-高度係数の時間変化

図-4 雪線判定領域の画素サイズと積雪深-高度係数

図-5 東北地方の積雪深分布(1989年2月上旬)

観測点の標高とは別にAMEDAS点のあるGIS (Geographical Information System) データの標高を用いた場合では結果が異なる。これは全体的にGISデータの方が標高が低く表されているためである。雪線判断の際、無雪点を9画素で判断しているが、各25, 49, 81, 121画素の場合を図-4に示している。この図から49pixel²以上の場合是一定に減少しているのがわかる。これは地覆勾配が観測点から遠くなるにつれて一定になるためと考えられ、雪線判断の画素領域サイズは49pixel² (約7km²) が適当であると考えられる。この際の積雪深高度の勾配は0.26である。密度を0.3で考えると、積雪水当深高度の勾配は0.078となり、積雪水当深高度の関係式は良好である。ここで密度が大きく関与することになるが、降雪初期の密度が0.1~0.2、融雪期が0.4~0.5をとるのでその中間値をとった。

4. 計算結果と考察

積雪上の各画素から一番近い雪線を探し出し、2点間の高度差に上で求めた係数を乗じることで、各画素の積雪深が求められる。この結果、得られた積雪深分布を図-5示す。この図は0cmから255cmまでが白の濃淡で表されており、255cm以上は白く表示されている。最大積雪深は489cmとなっている。脊梁山脉を中心に積雪が多く見られ、飯豊山脉や八甲田山、岩木山などに多くの積雪が見られる。また、前報では北上山地に過剰の積雪が見受けられたが、本方法ではかなり低い結果になっている。ただし、ここで求めた

積雪深分布は、積雪深高度の関係を東北地方一律で求めているために、細かな分布は表されていない。ここで用いた係数は東北地方の平均値であるため、全域でのボリュームを求める際には有効であると考えられる。

村松らは、1935~1955年までの21年間にわたる、1道1府21県の計3,721点の観測点データとLANDSATの画像から最深積雪深分布のコンター図を求めている。この図から台形公式で体積を求めた結果、70.0km³となる。最深積雪深の場合、積雪面積は東北全域となり、かなり大きい値をとっている。このためこれを越える積雪量は近年ではあり得ない。今回の1989年2月上旬の結果は24.8km³であり、35%程度である。この年は小雪の年で、前報告で求めた量より妥当であろう。なお積雪面積は前報では公表分解能の1.1kmを全画素一律の採用したが、軌道により最大2倍程度のずれがあるため、軌道情報によりメルカトル座標系からの修正を施した結果、36,700km²が得られた。東北地方の積雪面積率は55.7%である。

積雪密度を0.3と考えると積雪水資源量は7.4km³ (7.4x10⁹m³) となり、東京都の年間個人家庭用水量の約4.5倍が積雪であることになる。積雪の水資源の場合、その貯留効果が大きいため、水資源として長期に取り扱える利点がある。

図-6に積雪深とその積雪面積分布の結果と村松らの最深積雪深分布との結果を比べて示す。1989年の場合、積雪深30~50cm辺りに豊富な積雪がある。最深積雪の場合では、50~100cm辺りに豊富な積雪深があり、ともに積雪深がやや少ない地域に豊富な水資源を持っていることになる。

図-6 積雪深と積雪面積の関係

5. おわりに

前報告では単純な回帰式で積雪深分布を求めたが、今回は雪線からの標高差が積雪深に関係があるとして、積雪深分布を求めた。この際、雪線を判別するのに簡易な方法を提案した。また、衛星の軌道情報から正確な画素面積を求めこれを適用した。計算時間は前報よりかかるが、積雪量としては妥当な結果が得られた。水循環の1サイクルと考えた場合、積雪量を求めることは降水（雪）の逆推定や貯留の把握に貢献できるであろう。

広域の観測には衛星データは有効であるが、今回の積雪マップ画像を作成するのに雲の影響のため10日ほどのデータ収集が必要である。そのため、即時性を問われるような場合、近年注目されるマイクロ波放射計により、積雪面が観測される様になれば効果的である。また、マイクロ波センサは積雪水当量や積雪深が求められると言う報告もあり、今後が楽しみである。それらの検証データにも本研究の手法は貢献できるであろう。

謝辞：本研究で用いられてる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。東北大学理学部川村宏助教授、山形大学理学部矢野勝俊助教授には有益な助言を頂きました。併せて感謝します。なお、本研究にあたり、文部省科学研究費補助金（特別研究員奨励費）及び河川整備基金の補助を得た。また、公表にあたり小川基金の援助を受けた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) J. Martinec and A. Rango : Parameter Values For Snowmelt Runoff Modeling, J. of Hydrology, 84, pp. 197-219, 1986.
- 2) 小池俊雄, 高橋裕, 吉野昭一: 積雪面積情報による流域積雪水量の推定, 土木学会論文集, 第357号/II-3, pp. 159-165, 1985.
- 3) 風間聡, 沢本正樹, JIRAYOOT KITTIPONG: 滝ダム流域における融雪期の積雪深モデル, 水工学論文集, 第36巻, pp. 611-616, 1992.
- 4) 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積雪分布図, 雪氷, 52巻, 1号, pp. 1-11, 1990.
- 5) 風間聡, 沢本正樹: 東北地方の積雪量の計算について, 水工学論文集, 第37巻, pp. 153-158, 1993.
- 6) 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.
- 7) 伊藤曉: 秋田地方の積雪の特徴と確率分布について, 雪氷, 43巻, 3号, pp. 137-146, 1981.
- 8) 井上治郎, 中島暢太郎: 近畿地方における山地積雪の研究, 雪氷, 41巻, 2号, pp. 85-88, 1979.
- 9) 太田岳史, 島田徹, 石橋秀弘: 盛岡西方山地における積雪水量調査報告-1983年1月から4月の結果-, 岩手大学農学部演習林報告, 第15号, pp. 15-23, 1984.
- 10) 山田知充, 西村寛, 水津重雄, 若浜五郎: 大雪山旭岳西斜面における積雪の分布と堆積・融雪過程, 低温科学 物理編, 第37巻, pp. 1-12, 1978.