

II-46

石狩川流域における積雪深推定モデルについて

開発土木研究所 ○正会員 宮原 雅幸

正会員 渡邊 康玄

正会員 三宅 洋

まえがき

ダム流域において、融雪開始前における積雪水量の推定は、流域の水管理のために極めて重要である。積雪水量の把握には、従来から流域踏査による積雪調査（スノーサーベイ）が一般的に行われてきているが、積雪の状況が地形等に大きく影響を受けており踏査のコースや時期によって結果が左右される。

広域の積雪分布の推定は、これまで、画像データの広域性、均一性にすぐれているため、人口衛星等のリモートセンシングデータを利用する方法が多数用いられている。しかし、人工衛星等は、データの入手が天候に左右されるため連続的な観測には利用できないという欠点がある。

本研究では、石狩川流域気象官署及び定山溪ダム流域内の気象データを用いて、積雪深を降水量及び気温から予測し、さらに降水量を積雪深に換算する過程で積雪の圧密を考慮した積雪深推定モデルについて報告する。

1. 積雪深の推定

1.1 積雪深推定方法

(1) 積雪深推定の概要

積雪寒冷地において年間の実蒸発散量を推定するためには、積雪面の情報が必要となる。これは通常の地表面と積雪面とでは蒸発散の特性が異なるためであるが、流域のような広域が対象である場合、積雪初期や融雪期において非常に複雑な積雪分布になると考えられる。また、気温や降水量など他の気象観測資料と比較すると、積雪の観測地点は極めて少ない。これは低温、積雪という観測環境の悪条件が原因と考えられるが、以上のような理由から積雪分布の推定は非常に困難が伴うと考えられる。

一方でリモートセンシングデータを利用する方法についても、これまで多数の適用例が報告¹⁾されており、融雪期の積雪分布変化や融雪水量予測など広く用いられている。人工衛星画像はデータの広域性、均一性に優れており、流域のような広域が対象となる場合、積雪分布を最も精度良く観測できる方法と考えられている。しかしながら積雪を対象とする人工衛星画像は可視バンドのデータを利用することが多いことから、雲のかかる状態では地表面の情報を得られないという欠点もある。特に広域が対象となるため、全領域が観測条件を満足する可能性はかなり低いと考えられる。データが天候に左右される人工衛星データでは連続的な積雪分布観測には利用できないことから、ここでは限られた地上の気象観測所のデータを用いて広域の積雪深分布を推定する方法について検討する。

(2) 積雪深推定法の検討

本研究では山岳地域など気象観測所の存在しない場所においても積雪深の情報を得られるようにするために、近隣の気象データなどから積雪深の特性を導き、限られたデータから積雪深分布の推移を推定する方法について検討した。一般的に用いられている積雪データとしては気象官署のデータがあり、かなり長期に亘る気象資料の蓄積が存在している。またアメダスデータも近年の積雪深データについては整備されてきてお

り、気象官署よりも密な情報網として用いることができる。ここでは、気象官署における各種積雪気象データを用いて積雪特性を把握するとともに、気温と降水量の限られた気象資料から積雪深を推定（気象官署観測点における積雪深の再現）することを試みた。

なお、気温、降水量などの気象データ補完を考慮して、石狩川流域札幌気象官署を対象として積雪深の分布を推定する。

1. 2 気象官署における積雪深の再現

(1) 気温を用いた降水形態の判別

積雪深は冬季間の水循環を把握するための有効なデータであるが、積雪深を把握するために必要な積雪気象データが期間とデータ種類の両方で十分に得られている観測地点は非常に限られる。図-1に示すように、対象とする石狩川流域（流域面積 14,330km²）において気象官署データが存在するのは、札幌、岩見沢、旭川の3カ所しかない。しかし、これらの気象官署では、積雪深のデータ以外にも気温、湿度、降水量さらには、降雪深、日最深積雪量などのデータが揃っており、これらのデータを用いて積雪特性の把握を行うことが可能である。



図-1 気象官署及び定山溪ダム位置図

初めに、気温と降水量から降雪量を求める手法についての検討を行う。降水量データから降雪量を求めるには気温により降水量を降雪量と降雨量に分離する必要がある。降雪と降雨の分離しきい温度を決定するため、札幌、岩見沢、旭川の各地点ごとに気温別の降水形態（降雨か降雪か）を求めた。分離しきい温度は湿度などを用いて決定する方法もあるが、湿度の観測データが限られていることを考慮して、気温と降水量のみを要素とした分離しきい温度を求めることにする。今回、降水形態の判別の検証データとして用いたのは降雪量のデータで、気温別に比較を行った。ここで、1ミリ以下の降水量については降雪として極微量であり、観測値として得られない可能性があるため、判別データとしては用いないこととした。同じ気温条件であっても降雪と観測されたり、降雨と観測されたりするが、傾向的には気温が低いほど降雪量の割合が増加する。ここでは、降雨と降雪の判別確率50%となる気温を分離しきい温度として用いることとする。図-2に降水形態の温度別割合を整理したが、降雨と降雪の確率が等しくなるのは3地点いずれも0.5°Cから1.0°Cの間であった。この結果から、石狩川流域における分離しきい温度は1.0°Cとした。

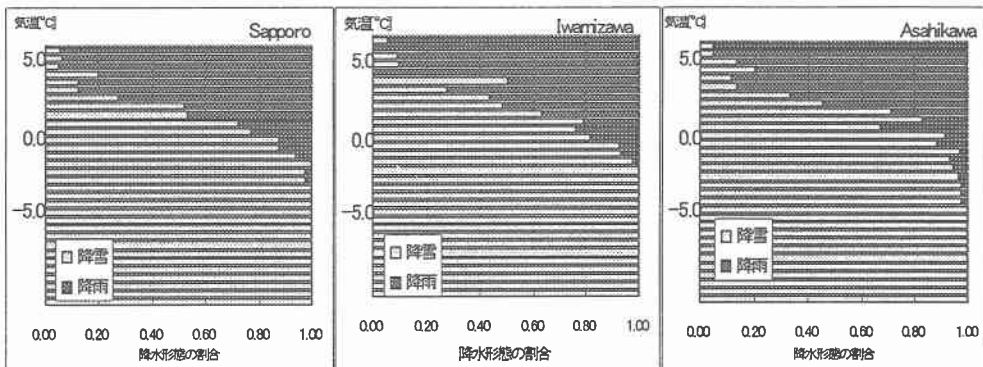


図-2 降水形態の温度別割合

(2) 降雪深の推定

次に、降雪深の推定を行う。降雪深とは新雪が記録された日の積雪深の増分をさす。上記の分離しきい温度を用いて算定した降雪量と観測された降雪深の関係を調べると、図-3に示すような正の相関関係が得られることが分かった。ここでは3地点とも高い相関関係が見られており、この傾向は月ごとの関係ではより顕著となる。降雪深と降雪量の比は2月を最大として変化しており、気温との関係が存在すると考えられることから、この比と月別平均気温の関係を調べた。この結果、図-4に示すような負の相関関係が得られ、各地点での関係がほぼ同一傾向であることから、これらの相関関係を利用して降水量と気温から降雪深を求められると考える。

降雪深-降雪量比と気温の関係を利用し、降水量と気温から推定した降雪深の推移を図-5に示すが、各年とも日単位の降雪深推移の傾向をほぼ再現していた。

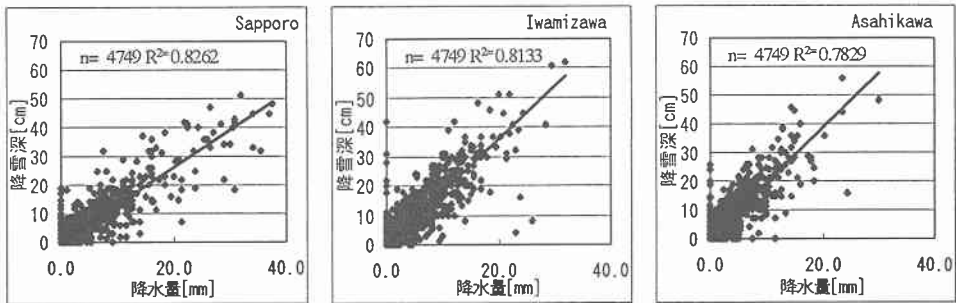


図-3 降雪量と降雪深の関係

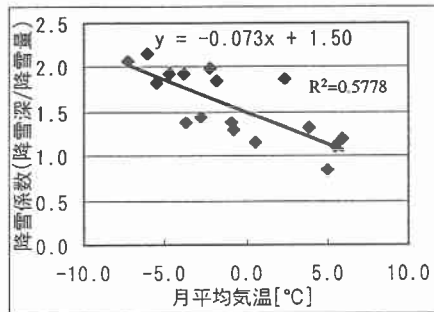


図-4 月平均気温と降雪係数(降雪深/降雪量)

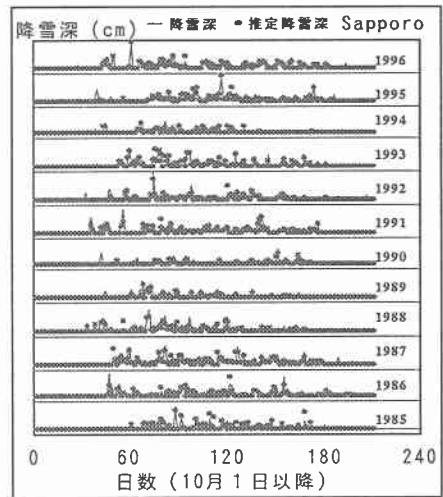


図-5 推定降雪深の推移(1985-1996年)

(3) 積雪深推定モデルの構築

次に推定した降雪深と気温から積雪深の変化を求める。一部の地点を除けば積雪深の変化を予測するために必要な気象要素は降水量と気温のみの場合が多く、これに対応できるようモデルを構築する。ここで積雪深が変化する主要因は次の3つが考えられる。

- ① 気温による融雪から起こる積雪深の減少
- ② 地熱による融雪から起こる積雪深の減少
- ③ 積雪荷重による積雪深沈下量

これら3つの要素をモデルに組み込むことにする。気温と融雪量との関係は過去に様々な研究例が報告されているが、最も簡単な融雪量推定モデルでは気温と融雪量を一次関数で表す方法(Degree-day法¹⁾)がある。

$$M = aT \quad (1)$$

ここで M は融雪量、 T は気温、 a は融雪係数を表す。また、 a の値は季節的に変化しやすく、一次の近似式では一年を通じた融雪式の表現が難しいことから、気温のべき数式で表す研究例¹⁾もある。

$$M = aT^n \quad (2)$$

この研究ではライシメータを用いた観測例から $a = 2.0$ 、 $n = 1.44$ が報告されている¹⁾。なお、積雪面上の熱収支は風速やアルベドの影響によって融雪係数が変化すると考えられるが、放射や顕熱に最も影響を受けることから、ここでは気温のみの融雪推定を行うことにする。

また積雪と地表面の気温は摂氏0度に保たれ、厳冬期においても地表面での融雪が起こることが知られている¹⁾。この融雪量については実観測例が多数報告されているが、殆どの報告例で1日の融雪量が1mm前後であることが報告¹⁾されていることから、地熱による融雪量は1mm/dayとして考慮する。

また積雪荷重による積雪深沈下量は積雪層にかかる重量によりその量に変化すると考えられる。そこで1回の降雪による積雪層を単位として考え、1つの層の積雪性質は一定であると仮定し、各層においてそれより上層の積雪量を積雪荷重として、沈下量を決定することとする。このとき積雪深は次式で表される。

$$S_d = k_w S_m \quad (3)$$

ここで S_d は積雪深、 k_w は沈下係数、 S_m は積算積雪量を表す。なお、このときの積雪密度は、石狩川流域の過去の観測例から $0.1 \sim 0.4$ [g/cm³] とされており、モデルでは、積雪密度がこれらの範囲に収まるように沈下係数を制御する。以上の処理手順をまとめたフローチャートを図-6に示す。

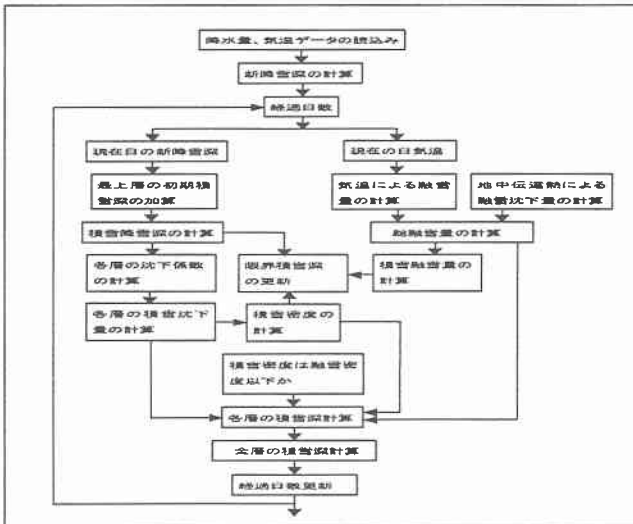


図-6 積雪深推定モデル作成フロー

2. 札幌地点及び定山溪ダム流域における推定積雪深と積雪深

モデル作成フローに基づき計算した、両地点における各年の推定積雪深と積雪深の関係を図-7~8に示す。

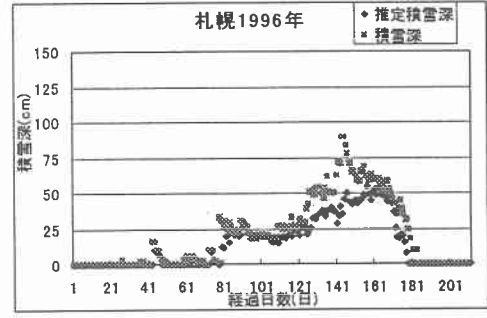
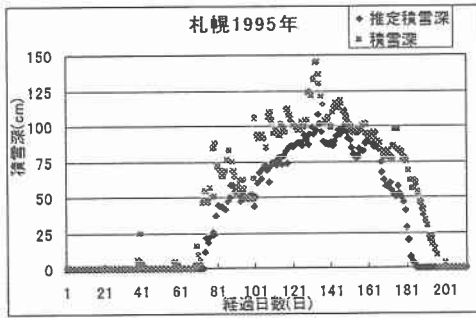
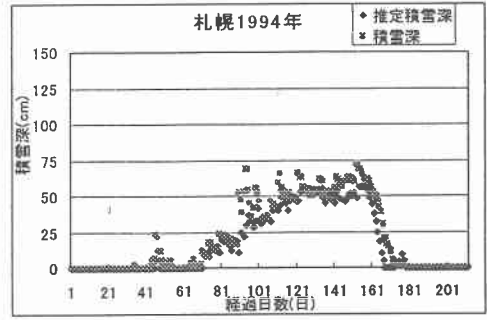
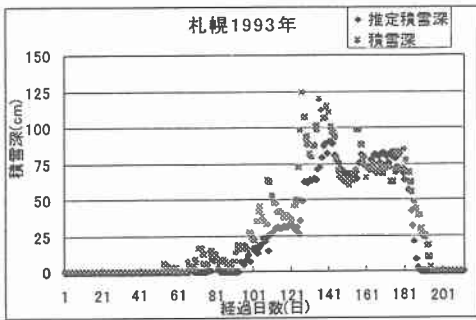


図-7 札幌地点における推定積雪深と積雪深

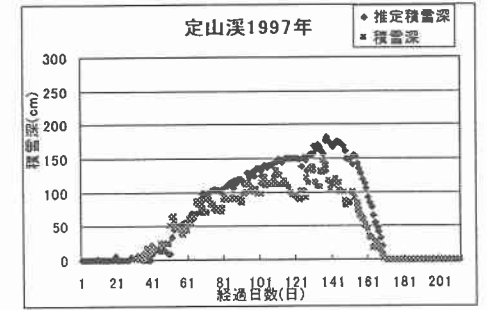
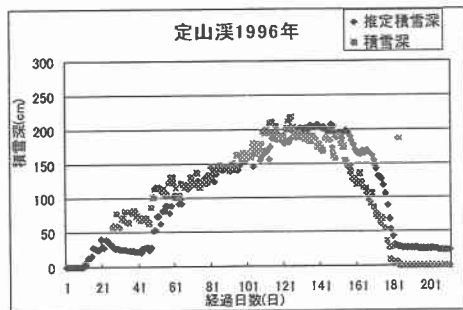
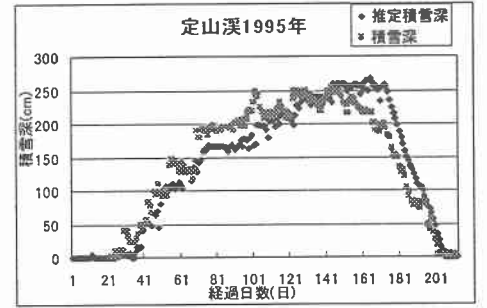
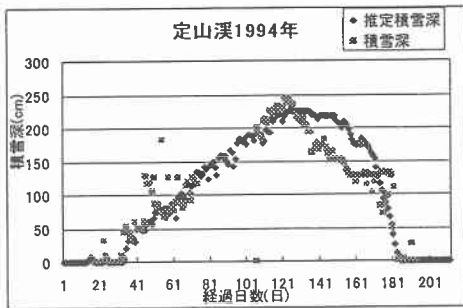


図-8 定山溪ダム流域における推定積雪深と積雪深

札幌地点（1993～1996年）においては、各年にばらつきがあるものの、全体的には概ね良好な再現結果を得ることができたものと考えられる。しかしながら、推定積雪深が、積雪深より小さくなる傾向があるのと、推定積雪深のピークが積雪深のピークに比べやや遅く現れたり、積雪深が推定積雪深のピークより特出する年もみられた。

一方、定山溪ダム流域（1994～1997年）においては、再現結果は、良好であった。積雪深の減少過程では、やや精度が落ちるものの、ピーク時の積雪深は精度よく再現できているものと考えられる。

あとがき

本研究において、気象データを用いた札幌地点及び定山溪ダム流域での積雪深推定は、概ね良好な再現結果を得た。今後の課題としては、下記の事項を考慮することにより、再現結果がさらに良好になるものと考えられる。

①実際の圧密度（積雪密度に近い係数）の履歴を考慮する。

②融雪水の排水時間を考慮する。

③積雪各層における気温履歴の考慮する。

また、今後の目標として、これらの積雪深推定モデルを利用し、積雪水量推定モデルの構築を行っていく。

参考文献

- 1) 中津川 誠：積雪寒冷地流域の水文現象のモデル化と環境変化がそれらに与える影響に関する研究、開発土木研究所報告第106号、1995
- 2) 太田岳史：雪氷51(1)、日本雪氷学会誌、pp37-48、1989
- 3) 橘 治国、水文・水資源学会編集出版委員会：積雪寒冷地の水文・水資源、信山社サイテック、1998
- 4) 井形 淳：石狩川流域における積雪深分布の推定、土木学会北海道支部論文報告集第55号(B)、pp.56-59、1999
- 5) 加藤 晃司、中津川 誠、新目 竜一：石狩川流域における水収支と蒸発散量の推定、開発土木研究所月報NO.553、pp2-13、1999
- 6) 加藤 晃司、中津川 誠、橋本 識秀、新目 竜一：積雪寒冷地域の森林域における蒸発散量の推定、水工学論文集 vol.43、pp85-90、1999
- 7) Hideaki Motoyama: Simulation of Seasonal Snowcover Based on Air Temperature and Precipitation, Journal of Applied Meteorology, vol.29, No.7-12, pp1104-1110,1990