

降雪・積雪・融雪現象に関する現地観測

Observation of Snowfall, Snow-accumulation and Snowmelt

古川俊也*・笹本 誠**・堺 茂樹***・平山健一****

By Syun-ya KOGAWA, Makoto SASAMOTO, Shigeki SAKAI and Ken-ichi HIRAYAMA

Abstract

Parameters used in models to forecast a snow depth from precipitation, to describe the deformation process of the snowpack and to calculate the snow-melt run-off are investigated in Waga river basin.

A rain or a snow is distinguished by using the air temperature as an index. The density of freshly fallen snow are measured in the field. Long term deformation of a snow pack is expressed by Burger's model and viscous coefficient of a snow is obtained from laboratory experiments as well as from the change in the depth of snow layers.

Degree-hour factor and the amount of snow-melt ground heat are also observed in the field.

keywords : rain or snow, viscous coefficient, degree-hour factor, snow-melt, ground heat

1. はじめに

北海道、東北、北陸などの積雪地帯における春期のダム流入量の大部分は融雪によるものであり、融雪量を正確に予測することは治水及び利水上重要である。著者ら¹⁾はダム管理事務所及びAMeDAS観測点において観測されている気温と降水量のみを入力値とする、積雪深・融雪量予測モデルを開発してきたが、このモデルにはいくつかの計算パラメーターが必要である。そこで、本研究では図-1に示す奥羽山脈東側に位置する北上川水系和賀川上流湯田ダム流域(流域面積 583km², 標高 約250~1500m)に於ける現地観測に基づき、パラメーターの検討を行った。以下に現地観測の結果およびパラメーターの決定方法について述べる。

-
- | | | |
|------|----------|---|
| * | 学生員 | 岩手大学大学院工学研究科 修士課程
(〒020 岩手県盛岡市上田4-3-5) |
| ** | 正会員 | 岩手大学技官 工学部建設環境工学科(同上) |
| *** | 正会員 工博 | 岩手大学助教授 工学部建設環境工学科(同上) |
| **** | 正会員 Ph.D | 岩手大学教授 工学部建設環境工学科(同上) |

2. モデルの概要

著者らの積雪深・融雪量予測モデルは、気温、降水量のみを入力値とし、降水→積雪（圧密）→融雪の一連の過程を計算するものである。各過程での計算に必要なパラメーターは図-2に示すように、降水過程では降水形態判断のための気温及び降雪深算定のための新雪密度、積雪（圧密）過程では積雪の圧密沈下量、つまり密度の経時変化予測のための、小島の粘弾性理論に基づく積雪の粘性係数、融雪過程ではDegree-hour法に基づく融雪係数及び地面融雪量である。

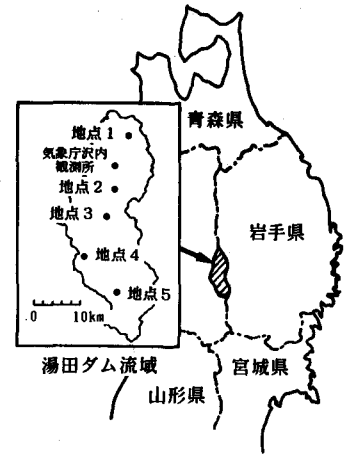


図-1 流域の概要

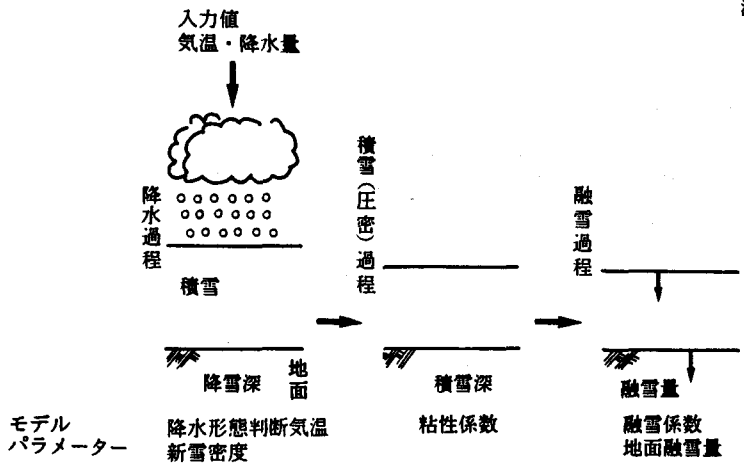


図-2 モデルの概要

表-1 観測地点の標高及び最大積雪深

	標高 (m)	最大積雪深 (cm)	
		1991年度	1992年度
地点 1	425	165	210
地点 2	340	190	218
地点 3	340	150	240
地点 4	300	190	185
地点 5	520	206	214

表-2 データの項目、観測期間、観測地点

パラメーター	データ項目	期間	観測地点
降水形態判断気温	気温, 降水量, 降雪深	'82~'92	気象庁沢内観測所 (327m)
新雪密度	降水量, 降雪深	'89	北上川上流域
積雪粘性係数	断面観測	'91, '92	地点 1, 2, 3, 4
	室内実験	'89, '90, '91	雪室内
地面融雪量	気温, 融雪量	'91*, '92	地点 2, 3, 4, 5
融雪係数	気温, 融雪量, 降水量	'91*, '92	地点 2, 3, 5

* '91年度は地点3のみ観測

3. パラメーターの決定方法と観測結果

現地観測は図-1に示す5地点に於いて実施した。図-3は観測機器の配置等を示しており、観測項目は降水量、融雪量、気温、地温、風向、風速である。スノーライシメーターは地表面に密着するように置かれており、パイプを通して地中に設置した流量計に接続している。各観測地点での標高と最大積雪深は表-1の通りである。また、表-2に各パラメーターの決定に用いたデータの項目、観測期間、観測地点を示す。

3.1 降水形態判断気温

降水形態が降雨であるか降雪であるかは、積雪水量及び積雪深の経時変化を予測する際に大きく影響する。本研究では日平均気温より降水形態を予測するために、図-1の気象庁沢内観測所（標高327m）の1982～1993年の10冬期間中の降水が観測された日の日平均気温と降水形態の関係を求めた。降雨か降雪かの判断基準は、降水量が観測され、かつ降雪深が観測された日は雪、降水量が観測され降雪深が観測されない日は雨と判断した。以上のような基準により、降雪と降雨の割合が50%である日平均気温を降水形態の判断気温と定義し、図-4より1.7℃が得られた。この値は、太田²⁾が湯田ダム流域に隣接する岩手大学御明神演習林（標高240m）において求めた値1.5～2.0℃の範囲である。また、長谷見³⁾が全国の主な気象官署について、冬季間の降水があった時の地上天気図を季節風型と低気圧型に分類し、降雪が発生する割合が50%の気温を求め、標高の関数とした式から求めた値（季節風型で1.45℃、低気圧型で0.98℃）と比較するといくぶん高い値である。しかしながら図-5のように湯田ダム流域では、降雪の70%は季節風型であることと、長谷見の式に対する観測値のばらつきの程度を考えると、妥当な値と言える。

3.2 新雪密度

北上川上流域を対象とした降雪観測が建設省東北地建北上川ダム統合管理事務所により1989年度に行われており、この観測では積雪と同じ高さに置かれた降雪板（45cm×45cm）上に1時間に降り積もった水量及び降雪深と気温が測定されている。降雪深は観測誤差を小さくするために降雪板上3点の計測値の平均値を用いている。この観測結果を用いて、気温と新雪密度の関係を求めたのが図-6である。全降雪に対する観測値には大きなばらつきがあり、この原因としては降雪深が少ない場合には計

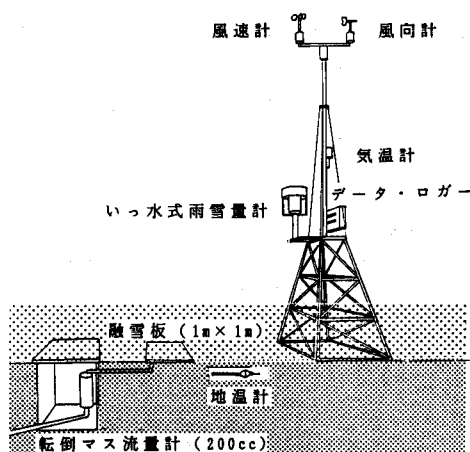


図-3 観測機器の概要

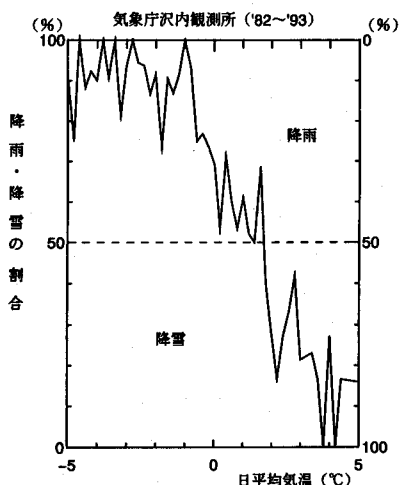


図-4 降雨、降雪の割合

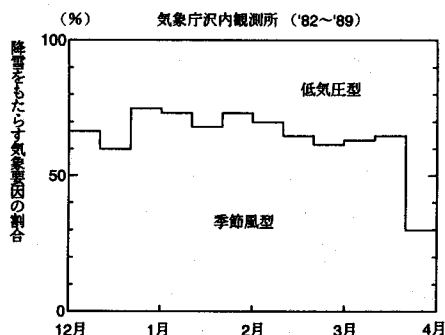


図-5 降水をもたらす気象要因の割合

測による誤差が相対的に大きくなること、降雪板表面に用いている発泡スチロールが日射により熱を吸収し降雪板上の雪が融けること、風により吹き飛ばされることなどが考えられる。このような理由から、降雪深が30.0mm以上の場合についての観測値を用いることにした。降雪深30.0mm以上の新雪密度は、気温にほとんど依存しないことがわかる。この観測結果には各種の雪質のものが含まれており、平均的には新雪密度は0.0576g/cm³と見なせる。

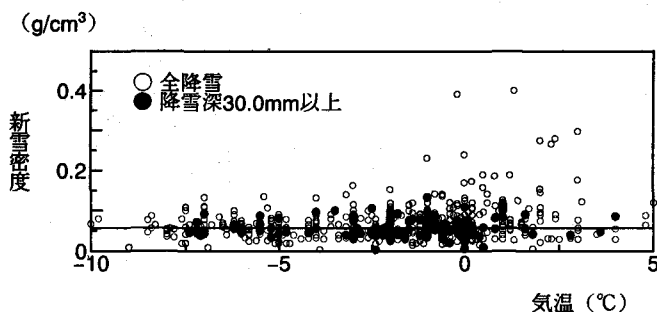


図-6 気温と新雪密度の関係

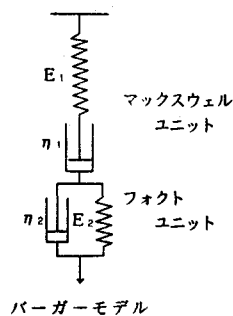


図-7 粘弾性モデル

3.3 粘性係数

積雪層は自重及びそれより上に降り積もった積雪の重量により変形する。小島³⁾は積雪を粘弾性体と考え、積雪層厚の変化を図-7の様なバネとダッシュポットからなる、バーガーモデルにより表現した。自然積雪のような長期的な変化を考える場合は、マックスウェルユニットの粘性の部分が支配的となり、荷重(F)が作用したときの積雪の歪(ε)は(1)式の様に表すことが出来る。

$$\varepsilon = \frac{F}{\eta_1} t \quad (1)$$

ここで、ε：積雪の歪、F：上载荷重(g/cm²)、η₁：粘性係数(g・min/cm²)、t：時間(min)である。

また、小島は1955年～1958年の冬期間、札幌と母子里での断面観測により(2)式のような粘性係数(η₁)と積雪密度(ρ)の関係を求めている。

$$\eta_1 = 1440 \exp(21\rho) \quad (2)$$

本研究で対象としている流域での、粘性係数を検討するため室内実験及び断面観測を行った。室内実験は、ほぼ室温 0℃の雪室内で、図-8に示すような装置を用い、供試体上端におもりを載せ、ポイントゲージで沈下量の時間変化を測定した。実験に用いた供試体は、積雪層より密度の均一なしまり雪を選び出し、塩化ビニール管を採取層に鉛直に差し込んで採取した。また、供試体の高さ、直径、上载荷重の影響を検討するために実施した予備実験から、これらの影響は無視し得ることが分かった。また、断面観測は、流域内の4地点の平坦な場所において積雪断面を切り出し、各層の雪質、層厚、密度を7～10日毎に計測した。これらの室内

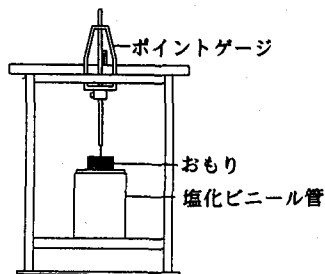


図-8 実験装置

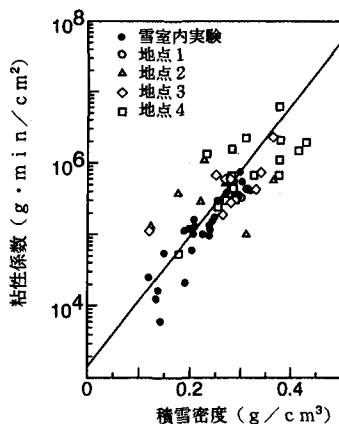


図-9 粘性係数と積雪密度の関係

実験及び断面観測より得られた粘性係数と積雪密度の関係を図-9に示す。流域内 4地点において行った断面観測から求めた粘性係数には地域特性による違いは見られなかった。室内実験と断面観測の結果を比較すると、両者はほぼ同一の傾向を示しており、供試体を採取する際に雪層を乱す可能性がある室内実験においても、十分な精度で計測できることが明らかとなった。また、図中の直線は小島が求めた (2)式であるが、本研究での室内実験及び断面観測の結果も良く近似している。

3.4 地面融雪量

地表面から積雪層への熱流フラックスが存在する場合、積雪下面において融雪（地面融雪）が生じる。地面融雪の 1日当たりの量はわずかではあるが、冬期間全体を通した水収支に占める割合は無視できない。本研究では、積算暖度が零（真冬日）であり、表面での融雪が無視し得る日のライシメーター流入量を地面融雪量としている。図-10は'91年度（地点3）と'92年度（地点2, 地点3, 地点4, 地点5）の積算暖度が 0℃・hourの日のライシメーター流入量を表したものである。観測年毎及び観測地点毎の平均値は 0.15mm/day～1.40mm/dayの範囲であり、大きな違いが見られた。この理由として各観測地点の地温及び土質の違い、あるいは積雪深の影響等が考えられるが、今後の検討が必要である。

3.5 融雪係数

著者らのモデルでは、時間単位の正気温の積分値（積算暖度）と融雪係数から融雪量を求める Degree-hour法を用いている。図-11はライシメーター流入量と積算暖度の関係を示したものである。表面で生じた融雪水が積雪層内に保水される場合にはライシメーター流入量は実際の融雪量より少なくなり、また降雨があれば融雪水に降雨を加えた量が流入する。そこで、図-12に示すようなライシメーター流入量が連続して観測された期間、つまり積雪層が飽和状態で積雪表面で生じた融雪水が積雪層に保水されずに流下する状態でのデータのみを選び出し、さらに降雨があった場合には降雨量を除いた値を表面融雪量として、積算暖度との関係を示したのが図-13である。なお、地点4においては連続した流入量が観測された期間がなかったため融雪係数の決定には用いていない。図-13は標高、あるいは降雪深、気温などの気象条件の異なる場所においての観測結果から求めたにも係わらず、一定の傾向を示しており、また年毎の変化も現れなかった。積算暖度 0℃・hourでの値が地面融雪量に相当するが、ここでは便宜的に前節で示した 5ケースの平均値を用いて、回帰直線を求めると、融雪係数は 0.18mm/℃・hourであった。

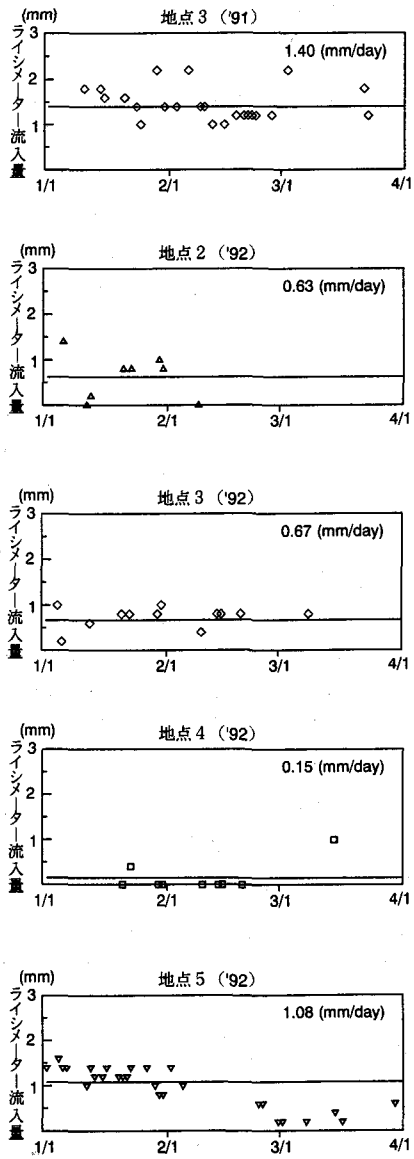


図-10 積算暖度 0℃・hourの日のライシメーター流入量

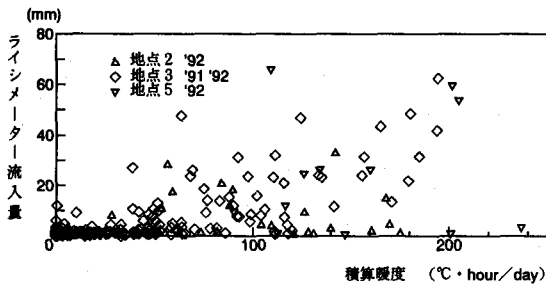


図-11 ライシメーター流入量と積算暖度の関係

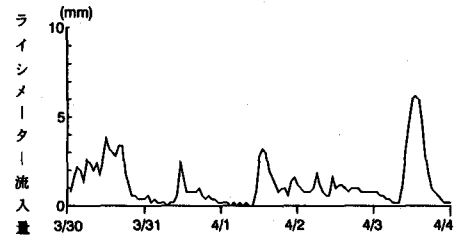


図-12 ライシメーター流入量
('92.3.30~'92.4.3)

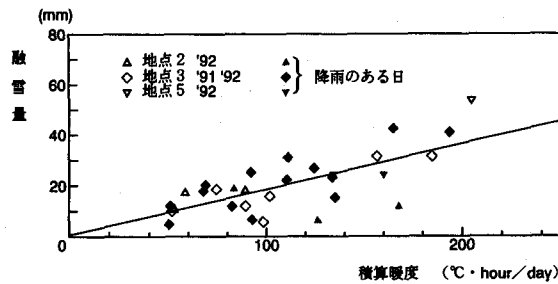


図-13 融雪量と積算暖度の関係

謝辞

本研究を進めるにあたり、建設省北上川ダム統管理事務所及び山形工事事務所、(財)河川情報センター、沢内村雪国文化研究所の御協力を得たことを記し謝意を表します。また、本研究の一部は文部省科学研究費補助金一般研究(C) (代表 岩手大学 堺茂樹) により行われたことを付記する。

《参考文献》

- 1) 笹本誠、小野節夫、江口斉、堺茂樹、平山健一：積雪深・融雪水量予測モデルに関する研究、土木学会第43回年次学術講演会、p. 84~85、1988
- 2) 太田岳史：気温および降水量による山地積雪水量の経時変化の推定、雪氷51巻1号、p. 37~48、1989
- 3) 長谷見達雄：冬季降水における降雪の発生割合と地上気温の関係(1)、雪氷53巻1号、p. 33~43、1991
- 4) 小島賢治：積雪層の粘性圧縮Ⅰ～Ⅳ、低温科学物理篇 第14~17輯、1955~1958
- 5) 江口 斉、笹本誠、平山健一：積雪深予測モデルに関する研究、昭和62年度土木学会東北支部技術研究発表会、p. 111~118、1988
- 6) 大橋伸之、笹本誠、堺茂樹、平山健一：流域よりの融雪出水量計算について、第5回寒地技術シンポジウム、p. 358~363、1989
- 7) 堺茂樹、古川俊也、笹本誠、平山健一、金田明久：室内実験及び屋外断面観測による積雪の粘性係数の測定、土木学会第48回年次学術講演会、p. 356~357、1993
- 8) 古川俊也、金田明久、笹本誠、堺茂樹、平山健一：融雪係数に関する現地観測、平成4年度土木学会東北支部技術研究発表会、p. 108~109、1992