



Title	融雪期における小流域の水収支 II : 流出解析
Author(s)	本山, 秀明; MOTOYAMA, Hideaki; 小林, 大二 他
Citation	低温科学. 物理篇, 42, 135-146
Issue Date	1984-03-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18489
Type	departmental bulletin paper
File Information	42_p135-146.pdf



融雪期における小流域の水収支 II*

— 流出解析 —

本山 秀 明

(北海道大学大学院理学研究科)

小林 大二・小島 賢 治

(低温科学研究所)

(昭和58年10月受理)

I. 緒 言

積雪は水資源として重要な要素である。それゆえ積雪地帯からの融雪水を利用する際に、流出量の予測が必要である。

第1報¹⁾では、一つの試験流域で融雪期における融雪流出の特徴を、水収支(特に流出率)という点について述べた。この論文においては、流出機構に重点をおいて、融雪と流出を結びつける流出解析を行った。現在のところ正確な融雪量を得ることは難しいので、種々な方法による融雪量測定と比較をした。そして、この試験流域に適する(融雪期の)流出モデルを作成した。最後に気温のみによる推定融雪量と雨量とを流域収入量として、流出予測を試みた。

II. 測定の方法と場所

対象流域は、北海道中央部の石狩川支流美深越沢川流域(11.2 km²)である。流域末端の観測点で微気象観測、融雪量測定および河川流出量観測などを行った。山地観測点では、気温および風速などを観測した。詳しくは第1報¹⁾に述べてある。

III. 流域への収入量としての融雪量の連続観測

1. 種々な方法による融雪量の観測

1982年に融雪量を(1)雪尺法、(2)ライシメーター法、(3)断面観測法で実測した。さらに微気象観測を行い、雪面上の熱収支を計算し融雪量を求めた((4)熱収支法)。以下にそれぞれの方法を比較して述べる。

a. 日融雪量 第1図に各々の方法で測定した日融雪量を示す。

(1) 雪尺法 雪面位置の読取りと積雪表面密度(0~5, 5~10 cm)の測定を1日に2回(09~10, 17~18時)に行った。第1図には融雪量が2本描いてある。これは09~17時の雪面低下量にその消雪層相当の積雪密度として、一方は09時に測定した0~5 cmの表面密度と

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2601号

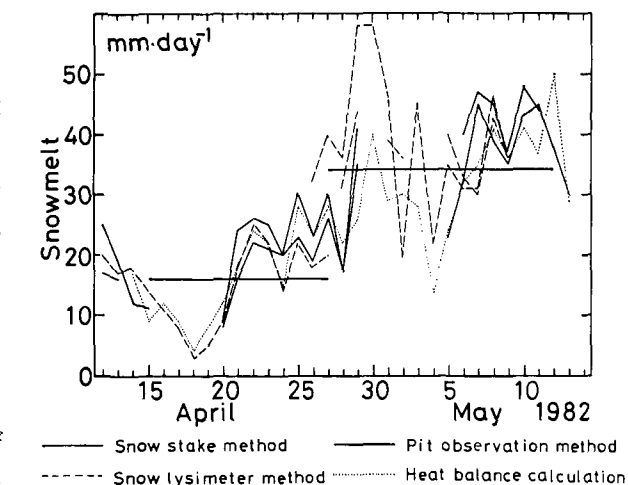
し、他方は5~10 cmの表面密度とした。17時から翌日の09時までの消雪層の密度としては、雪面低下量が小さいため両方とも17時測定の0~5 cmの表面密度とした。1日(09時から翌日の09時)の雪面低下量が4~7 cmなので、日融雪量は両者の値の間に入るものと推定される。

(2) ライシメーター法 4月12~27日, 4月26日~5月9日, 4月28日~5月9日の各期間内にそれぞれ積雪中に設置したライシメーターにより、直接融雪水を測定した。この方法は、雪面低下として現れ難い内部融解量も直接測定できる。しかし積雪中の水みちや氷板により、ラ

イシメーター直上の融雪水が漏斗内に入らなかったり、逆に周囲からの融雪水が入ってしまうことがある。この状態を防ぐために、ライシメーターの上には砕いた雪を埋め直した。

(3) 断面観測法 4月17日, 27日, 5月12日に断面観測を実施した。各期間内での積雪水量の差が融雪量であり、第1図には時間で除した日平均値で描いてある。なお4月17日と27日の積雪層の乾き密度と含水率の変化は誤差の範囲内であった。それゆえ4月17日以降は、表面融雪水が積雪中に自由水として溜らず地面まで浸透していることが判明した。

(3) 熱収支法 積雪表面での熱収支から融雪熱量を求め日融雪量を計算した。融雪熱量 Q_M を正味放射量 Q_R 、顕熱および潜熱伝達量 Q_A , Q_E の代数和とした。雨からの伝達熱量は小さいので無視した²⁾。



第1図 測定法による日融雪量の比較

- (1) 雪尺法……細い実線
- (2) ライシメーター法……破線
- (3) 断面観測法……太い実線
- (4) 熱収支法……点線

$$Q_M = Q_R + Q_A + Q_E \quad (1)$$

示差放射計で正味放射量 Q_R を実測した。顕熱伝達量 Q_A は石川他³⁾が報告した経験式で計算した。

$$Q_A = 0.26(T_1 - T_0) V_1 + 0.1 \quad \text{ly/hr} \quad (2)$$

潜熱伝達量 Q_E は小島²⁾にならい、大気の安定度を中立と仮定し、(2)式の伝達係数0.26を用いて次式を導いた。

$$Q_E = 0.69 \times 10^{-3} (E_1 - E_0) V_1 \times 680 \quad \text{ly/hr} \quad (3)$$

ここで T_1 , E_1 , V_1 は雪面上1 mの気温(°C), 水蒸気圧(mb), 風速(m/sec)であり, T_0 , E_0 は積雪表面の温度, 水蒸気圧である。各値はすべて実測している。

熱収支の計算は1時間単位で行った。夜間に生ずる負の Q_M , すなわち雪面近くの自由含水の凍結熱量は、翌朝その層の昇温ならびに凍結した自由含水の融解に使われる熱量に、絶対

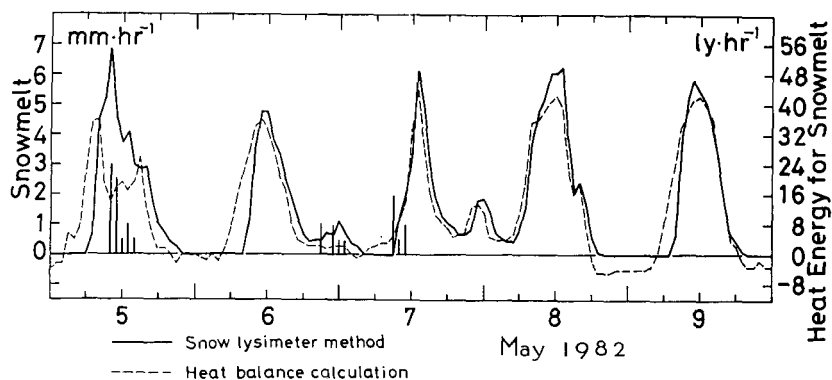
値において等しいとした。雪面が凍結を始める前日の17時から当日の17時までの融雪熱量QMの和を融解潜熱80 cal/gで除した値が日融雪量である。

第1図から測定方法によって10~20%以上、日融雪量の観測値が異なっていることがわかる。原因として、同じ観測露場の積雪での測定ではあるが、場所によって積雪構造や水みち、氷板の分布が異なっていたためと推定される。第1表に数日間の融雪量積算値を示す。測定方法による差は1割以内である。日融雪量は測定場所、測定方法の違いによって、数10%の誤差をとまることがある。しかし数日間の融雪量は、どの方法で測定しても差は少ない。これらの測定値から、低地観測点で妥当である日融雪量を決定したが、基本的には雪尺法による測定値とした。

第1表 測定方法の違いによる融雪量の比較 (cm-water)

	雪 尺 法	ライシメーター法	断面観測法	熱収支法
4.17~4.27	16	15	16	17
4.27~5.12	50	—	50~52	48

b. 時間融雪量 洪水流出解析のためには、1時間単位の融雪量が必要である。1982年にはライシメーター法での実測と、熱収支法での計算で時間融雪量を求めた。第2図に観測例として、5月5日から9日までの時間融雪量を示す。



第2図 ライシメーター法(実線)と熱収支法(破線)による時間融雪量の観測例。縦線は時間雨量

ライシメーター法で測定される融雪量の時間変化には、融雪水が積雪表面層からライシメーター表面まで到達するまでの時間の遅れがある。第2図の場合にはライシメーター上の積雪が、5月5日が約40 cmで5月9日に約10 cmまで減少した。時間の遅れは大きくないと考えられる。この図から、熱収支法によって実測融雪量を良く再現していることがわかる。

1983年はライシメーター法による融雪量測定が不十分な結果しか得られなかったので、熱収支法によって得られた融雪量の時間変化で流出解析をした。なお負の融雪(凍結)熱量は、その後の正の融雪熱量で補われ、収支が正になった時点から融雪が始まると仮定した。

2. 流域平均の融雪量と低地融雪量との比較

第2表に第1報¹⁾で報告した流域平均融雪量と、低地観測点での融雪量を示した。この流域は、小島他^{4~6)}の報告によると、低地観測点での融雪量が流域平均の融雪量を良く代表している。今回の観測においても、融雪量を数日間積算すると流域平均と低地の融雪量が一致している。そこで流域代表値として、低地観測点での融雪量を、流出解析の際に流域への平均の収入量として用いるのは妥当であると考えた。

第2表 流域平均融雪量と低地観測点融雪量の比較 (cm-water)

	流域平均融雪量 d	低地観測点融雪量 l	d/l
1982. 4. 24~4. 29	12	12	1.00
4. 29~5. 10	42	40	0.95
計	54	52	0.96
1983. 4. 16	2.6	1.8	0.69
4. 17	2.6	3.0	1.15
4. 18	3.4	3.8	1.12
4. 19	2.7	1.9	0.70
計	10.6	10.5	0.99

IV. 流出解析

1. 日流出解析

1982年に詳しく融雪量と流出量の観測を行った。そこで1982年について日流出解析をし、次に1981年および1983年に応用する。

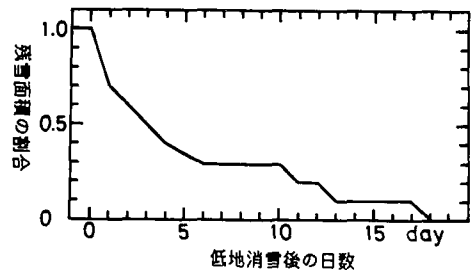
i) 流域への収入量

低地観測点での日融雪量の観測値をそのまま用いた。融雪量の観測値がない場合には、日平均気温から融雪量をデグリー・デー法で推定した。デグリー・デー式は、小島他⁷⁾の報告したこの流域での経験式を使った。

$$M = 4.1(3.0 + T) \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1} \quad (4)$$

ここでTは日平均気温である。第3図で示す低地消雪後の残雪面積は、流出ハイドログラフの減衰の特徴と、現地での目視観測から推定したものである。低地消雪後には、この残雪面積を用いて流域での融雪量を推定した。

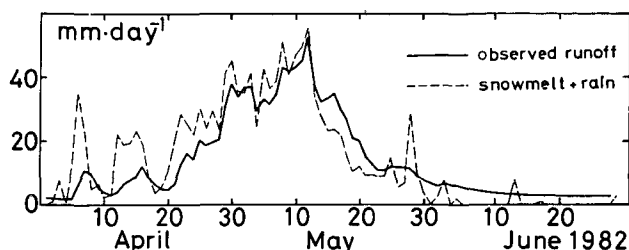
日融雪量に雨量を加えたものが、流域への収入量である。ただし1982年の融雪期は、第1報¹⁾および第1表で示したように、低地観測点より高所で融雪量が多い現象が長期間にわた



第3図 残雪面積の変化図

横軸は低地消雪後の日数。縦軸は流域に占める残雪面積の割合

り観測された。そこで4月12日から5月12日については、低地融雪量に1.1倍した量を流域への収入量とした。第4図に流域への収入量(融雪量+雨量)と日流出高(日流出量/流域面積)を示す。



第4図 1982年における流域収入量(融雪量+雨量, 破線)と観測流出高(実線)

ii) 流出モデル(タンクモデル)の決定

1982年の融雪期に適合する流出モデルを作成した。モデルには菅原⁸⁾の発表したタンクモデルを使用した。これは流出過程を、数段の貯溜型タンクを直列につないで表現したものである。

流出ハイドログラフの流量軸を対数にとると、減衰部が幾つかの直線で近似できる。

$$Q(t) = Q(0) \exp(-\alpha t) \quad (5)$$

ここで $Q(t)$ は時間 t のときの流量、 t は時間(day)、 α は減衰定数(day^{-1})である。(5)式で流量減衰部を表現すると、流量の半減時間 $T_{1/2}$ と減衰定数 α とは次の関係がある。

$$T_{1/2} = (\log 2) \cdot T \approx 0.69T = 0.69/\alpha \quad (6)$$

ここで T は時定数である。82年の流出ハイドログラフによると、5月15日から30日までは $T_{1/2}$ が約3日($\alpha = 0.23 \sim 0.25 \text{ day}^{-1}$)であり、5月30日から6月14日までは $T_{1/2}$ が14~15日($\alpha = 0.04 \sim 0.05 \text{ day}^{-1}$)である。それゆえ1段目のタンクの流出孔の係数として上部を 0.25 day^{-1} 、下部を 0.04 day^{-1} と決めた。2段目のタンクには、冬期ならびに夏季の無降雨時の $T_{1/2}$ が約2カ月($\alpha = 0.08 \sim 0.12 \text{ day}^{-1}$)なので、流出孔の係数として 0.01 day^{-1} とした。残りの係数は試行錯誤で求め、結局第5図に示すタンクモデルを決定した。試算は4月1日から始めるものとして、初期貯溜量は1段目には0 mm、2段目には100 mmとした。

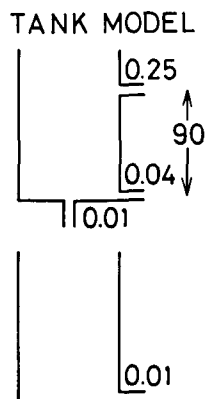
iii) 蒸発散量

雪面での蒸発および凝結量は小さいので無視した¹⁾。消雪後の蒸発散量⁹⁾として、5月25日以降、1段目もしくは2段目のタンクの貯溜量から毎日1 mmずつ減じた。

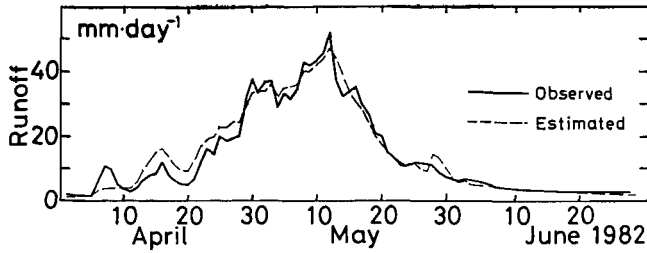
iv) 試算結果と考察

第6図に計算結果を示す。融雪流出を良好に再現している。

推定流量を評価するための適合度判定係数としては、観測流量と推



第5図 日流出解析で決定されたタンクモデル。流出孔の係数の単位は day^{-1} 、高さはmmである。



第6図 日融雪流出の計算結果 (1): 1982年
観測流量 (実線) と推定流量 (破線)。単位は日流出高 (mm·day⁻¹)

定流量との平均2乗誤差の真数と対数の平均値 CRE を用いる¹⁰⁾が、両者の比較図を最終的な適合度判定資料とした。

$$MSEQ = \left\{ \frac{\sum_i (QE_i - Q_i)^2 / \sum_i 1}{\bar{Q}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

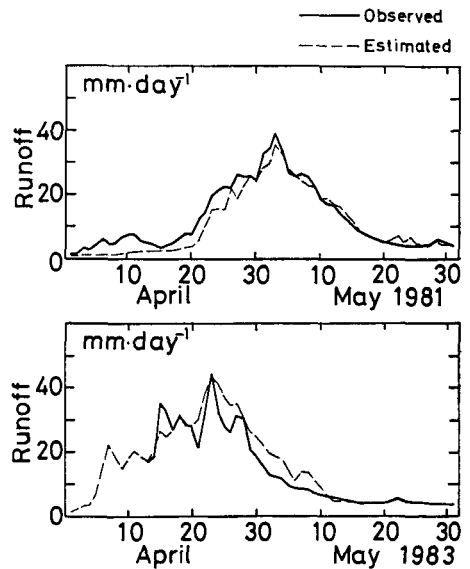
$$MSELQ = \left\{ \frac{\sum_i (\log QE_i - \log Q_i)^2 / \sum_i 1}{\bar{Q}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$CRE = (MSEQ + MSELQ) / 2 \quad (8)$$

ここで Q_i は観測日流量, QE_i は推定日流量, $\bar{Q} = \sum_i Q_i / \sum_i 1$ は観測平均日流量である。CRE の小さい方が適合度が良く、0.3 以下ならば非常に良好なモデルである。第6図に示す1982年の場合は $CRE = 0.18$ であり、適合度は非常に良い。

同じタンクモデルで1981年および1983年について融雪流出を計算した。流域への収入量としては、観測日融雪量あるいは気温から推定した融雪量を使い、残雪面積の変化も1982年と同様に第3図で与えた。計算結果を第7図に示す。1982年と同様に流出ハイドログラフを良好に再現しており、CREは1981年が0.26、1983年が0.20であった。すなわち、この流域では低地での融雪量が流域全体を代表しており、その量が把握されれば融雪流出の推定が十分可能であることが示唆された。

タンクモデルの流出孔を、上段のタンクに2カ所、下段に1カ所つけた。これらの係数は、流出ハイドログラフの減衰曲線から決めたものであり、流域の流出特性を表している。貯溜高の増減によって、卓越する流出機構(経路)が推移することに値する。一般的には1段目からの流出が、表面および中間流出に相当し、2段目からの流出が、地下水流出であると考えられている。しかし現在の段階では、まだブラックボックスを通過してのモデル計算である。詳しい流出経路の研究が待たれる。



第7図 日融雪流出の計算結果 (2): 1981年 (上図) および1983年 (下図)

2. 洪水流出解析

日流出解析の場合と同様に、最初に1982年について洪水流出解析を行い、1982年に応用する。

i) 流域への収入量

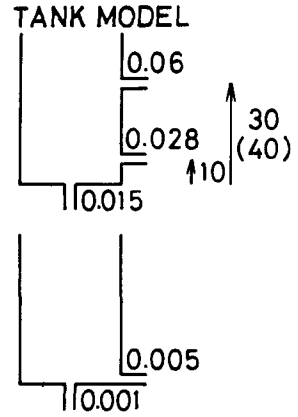
1982年には低地での融雪量を詳しく観測しており、妥当と推定される融雪量の時間変化が得られている。この観測融雪量と雨量との和を、流域への収入量とした。

ii) 流出モデルの決定

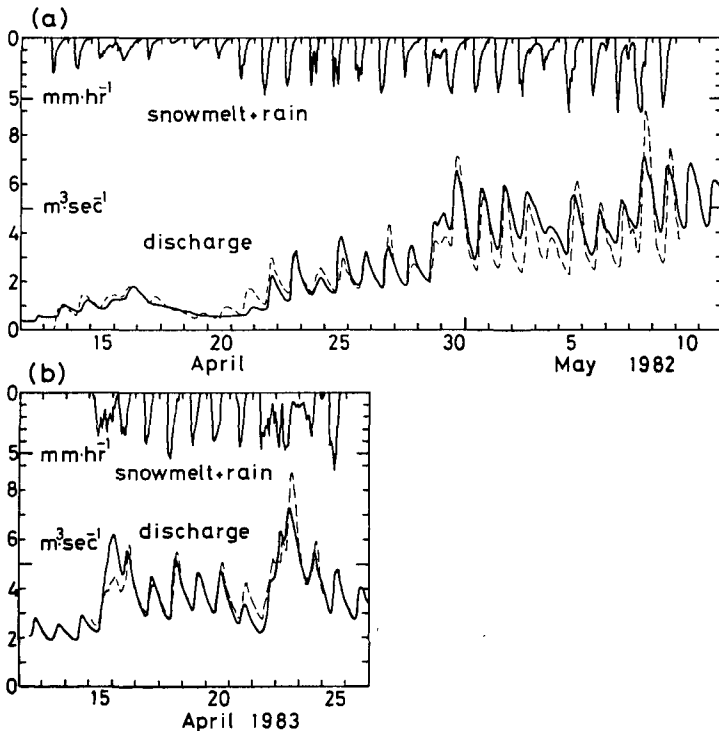
日流出解析と同様な手段で、タンクモデルを作成した。融雪期における日周期の減衰部に注目し、卓越する減衰定数をタンクの流出孔の係数に用いた。決定したタンクモデルを第8図に示す。

iii) 計算結果と考察

第9図(a)に1982年の流出ハイドログラフとタンクモデルによる計算結果を示す。計算結果に5時間の遅れを加えてある。全体の形は良く再現しているが、ときどき観測流量と推定流量の差が大きくなっている。流域の代表融雪量として、低地での観測融雪量の時間変化をそのまま



第8図 洪水流出解析で決定されたタンクモデル。流出孔の係数の単位は hr^{-1} 、高さは mm である。1983年の流出計算では、1カ所流出孔の高さを括弧内の係数に変更した。



第9図 融雪洪水流出の計算結果：(a) 1982年、(b) 1983年
図の上に流域収入量(融雪量+雨量)、下に観測流量(実線)と推定流量(破線)を示す。

用いたが、その前提が当てはまらない日には流量の再現が悪くなっている。観測結果として、1982年は流域の融雪量分布が一様でない日が多かった。特に4月下旬から5月初旬にかけては、高所の方が融雪量大きいという逆転現象が何日も生じた。日流出解析では解析結果に強く現れなかった融雪量分布の不均一性が、時間単位の洪水解析ではその影響が現れてしまった。それゆえ低地融雪量に対して何らかの補正を加えて、流域代表融雪量にすべきである。今後の問題として、山地観測点での気象資料を用いて、融雪量分布の数値計算を行い、低地観測点と流域代表融雪量との関係を詳しく研究する予定でいる。

次に1983年の場合を計算した。融雪量としては、積雪表面の熱収支によって推定した値を用いた。これは前章で述べたように、1982年のライシメーターでの実測値と熱収支での推定値が良く一致していたことから、十分妥当な値である。流出モデルを最初1982年の流出解析で決定した第8図のモデルをそのまま用いて流出計算を行ったが、再現性が悪かった。そこで1段目のタンクにある上の流出孔の高さを30 mm から40 mm に移して計算した。その結果が第9図(b)であり、観測流量を良く再現している。

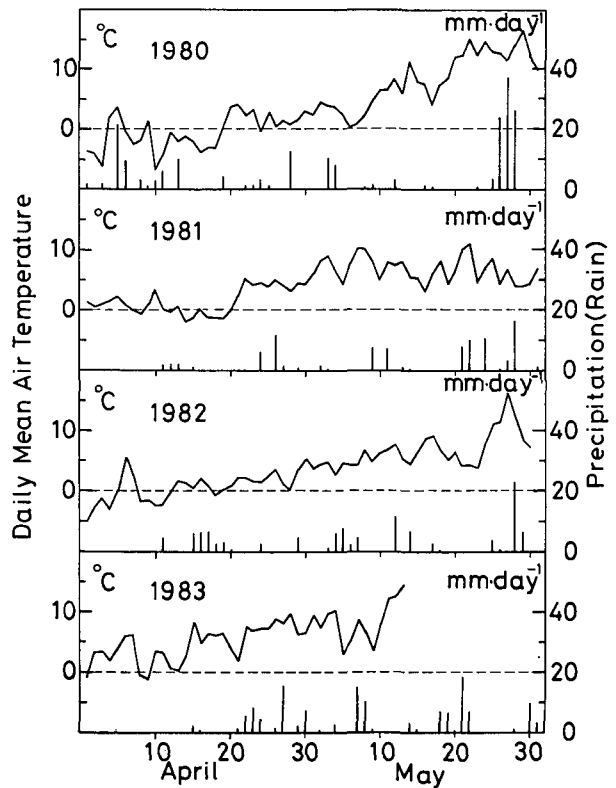
1982年と1983年で、タンクモデルの構造が一部異なる。1983年の場合に流出孔の高さを10 mm 高くした。すなわち減衰定数 0.06 hr^{-1} の流出が生ずるためには、貯溜高が1982年の場合よりも10 mm 余分に必要である。これは流域への収入量となる積雪量が、1982年は1983年より1.4倍以上多かったことと、雪質の違いによるものと考えられるが、現在のところ解析途中である。

3. 気温と雨量のみを用いた流出解析

従来、気温のみを用いて融雪量を推定し、流出予測が試みられている。そこで、この流域においても1980～83年の4カ年の、4月1日から5月31日までの流出解析を気温と雨量の資料を用いて行う。

第10図に資料として用いた日平均気温と日雨量を示す。1980年および1981年は、北海道大学雨竜演習林母子里作業所で観測された、日最高気温と日最低気温の平均値を、日平均気温とした。1982年および1983年は、低地観測点における気温の連続観測から得た日平均気温である。

デグリー・デー式は前出の(4)式を用いた。

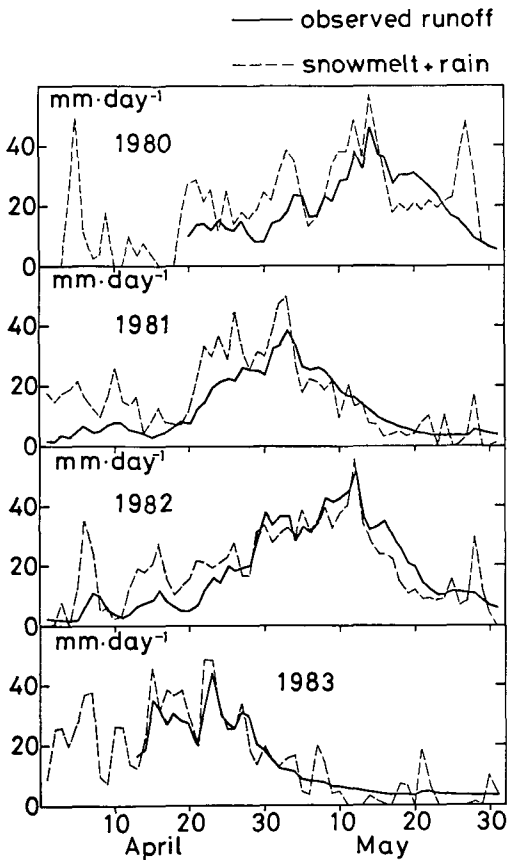


第10図 1980～83年の日平均気温および日雨量

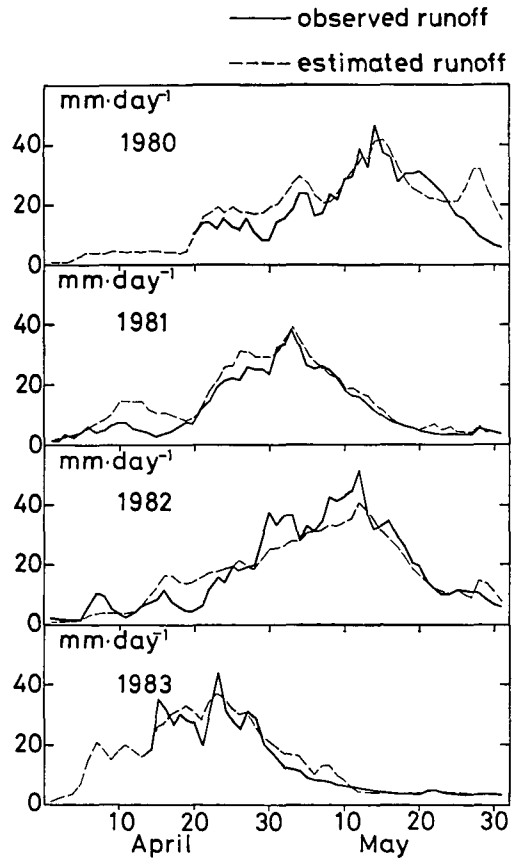
$$M = 4.1(3.0 + T) \quad \text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$$

低地消雪後の残雪面積も同様に第3図で与えた。その結果、流域への収入量(融雪量+雨量)として、第11図の値が得られた。

流出モデルには、すべて第5図のタンクモデルを用いた。計算結果と観測流量を第12図に示す。推定流量と観測流量の適合度 CRE の値を第3表に示す。



第11図 1980~83年における流域収入量(気温から推定した融雪量+雨量, 破線)と観測日流出高(実線)



第12図 日融雪流出の計算結果(3): 1980~83年 観測流量(実線)と気温と雨量から計算された推定流量(破線)。単位は流出高(mm·day⁻¹)

第3表 観測流量と推定流量の適合度判定係数 CRE

aは観測融雪量, bは気温から推定した融雪量を用いて流出計算を行った

	1980		1981		1982		1983	
	a	b	a	b	a	b	a	b
MSEQ	—	0.37	0.25	0.32	0.20	0.29	0.30	0.25
MSELQ	—	0.20	0.26	0.19	0.16	0.18	0.10	0.09
CRE	—	0.29	0.26	0.26	0.18	0.23	0.20	0.17
平均流出高 (mm·day⁻¹)	20.5		12.0		18.0		13.9	
期 間	4. 20~5. 31		4. 1~5. 31		4. 1~5. 31		4. 13~5. 31	

すべての年で、実測融雪量および推定融雪量のどちらを用いた場合でも、CREが0.30より小さく、非常に適合度が良いという評価が得られた。比較図では、実測融雪量を用いて推定した流量の方が、実測流量との適合度が良いと見なせる。しかし大きな差はなく、すべて良好な再現結果を示している。

今回研究した流域においては、第6図の流出モデルが、年度にかかわらず融雪期において、融雪量と流出量を結びつける一つのモデルであることが判明した。さらに当流域では、低地での融雪量に流域代表性が高く、流出計算をする際には、実測融雪量または気温から推定した融雪量のどちらであっても、良い推定流量が得られる。

V. 結 論

融雪期における小流域 (11.2 km²) の流出解析を試みて、次の結果を得た。

1. 流域への収入量である融雪量を(1)雪尺法、(2)ライシメーター法、(3)断面観測法、(4)熱収支法で求め、それぞれ比較した。その結果、日々の値は測定法によって1~2割以上も差があるが、数日間の積算量はどの測定法であっても1割以内の差で一致する。
2. 流出モデルにはタンクモデルを使用した。日流出解析および洪水流出解析の際に、流出ハイドログラフの減衰部において卓越する減衰定数をタンクの流出孔の係数にすることにより、簡単にタンクの構造が決定できた。
3. 低地観測点で観測された融雪量を用いて、1981~83年の融雪期の流出計算を行ったところ、観測流量と推定流量との適合度が良く、満足できる解析結果を得た。
4. さらに日平均気温からデグリー・デー法で推定した融雪量と雨量のみを用いて、1980~83年の4~5月の流出計算を行った。その結果、実測融雪量を用いた場合と比べて解析結果は劣らなかった。故にこの流域では、気温と雨量の資料があれば、融雪期の流出予測は十分な精度を持って可能である。

今回は低地観測点での融雪量が流域代表性を持つために、一点のみの融雪量を用いて流出解析を行った。しかし、流域内で場所が異なれば、融雪速度は異なる。流出機構を調べる際には、流域の融雪量分布、積雪量分布などの情報を入れた流出解析を行うべきである。1982年および1983年には、山地の気象観測点の資料と流域の積雪量分布が得られている。そこで今後はさらに本質的な流出機構の解析を行う予定である。

この報告は筆者の一人、本山の北海道大学大学院理学研究科地球物理学専攻修士課程の修了研究の一部に基づき、これを拡張したものである。

終りに、北海道大学雨竜地方演習林母子作業所の皆様には、観測期間中多大の援助を頂き、また貴重な気象観測資料を頂いた。データ収集には、北大低温科学研究所融雪部門の協力を得た。北大低温科学研究所石川信敬助手、山田知充助手、北海道教育大学岩見沢分校油川英明助教授、北大理学部中尾欣四郎教授には有益な助言を頂いた。深く感謝いたします。

文 献

- 1) 本山秀明・小林大二・小島賢治 1983 融雪期における小流域の水収支 I—短期水収支と長期水収支—。低温科学, **A**, **42** (本誌).
- 2) 小島賢治 1979 融雪機構と熱収支. 気象研究ノート, **136**, 1-38.
- 3) 石川信敬・小林俊一・小島賢治 1982 融雪期の顕熱フラックス I—バルク法と渦相関法の比較—. 低温科学, **A**, **41** 109-116.
- 4) 小島賢治・小林大二・小林俊一・油川英明・石川信敬 1970 母子里の小流域における融雪, 流出, および熱収支の研究 I. 低温科学, **A**, **28**, 175-190.
- 5) 小島賢治・小林大二・油川英明・成瀬廉二・石本敬志・石川信敬・高橋修平 1971 母子里の小流域における融雪, 流出および熱収支の研究 II. 低温科学, **A**, **29**, 159-176.
- 6) 小島賢治・小林大二・油川英明・石川信敬・高橋修平・石本敬志・藤井俊茂・坂本洋和 1972 盆地周辺の小流域における融雪量の高度差について—付: 盆地上空の気温垂直分布—. 低温科学, **A**, **30**, 216-219.
- 7) 小島賢治・本山秀明・山田芳則 1983 気温のみによる融雪予測について (I). 低温科学, **A**, **42** (本誌).
- 8) 菅原正巳 1972 流出解析法. 水文学講座 7, 共立出版 257 pp.
- 9) 新井 正 1980 日本の水. その風土の科学. 三省堂, 278 pp.
- 10) 植原茂次・佐藤照子 1983 日本の河川流域の日平均水収支と水文特性 (第1報). 国立防災科学技術センター研究報告, **30**, 25-64.

Summary

The snow cover constitutes an important part of water resources. Therefore, forecasting the amount of runoff is indispensable for making efficient use of meltwater in snowy regions.

In a small watershed (11.2 km²) in the central part of Hokkaido, a runoff analysis has been made to find out the mechanism of a relation between an input to the watershed and an output therefrom. The period is covered from April to May in 1980-83.

Results:

1. A great difficulty is found in making accurate measurements of the rate of snowmelt, which is the main input flux to the watershed during the snowmelt period. We used four methods for measuring the melting rate: (1) Snow stake method; (2) Snow lysimeter method; (3) Snow pit observation; (4) Heat balance calculation. The obtained values of daily snowmelt were illustrated in Fig. 1. The difference between the values observed by the different methods amounted sometimes to more than 10~20% on the same day. However, if these values were integrated for a few days, all of the sums became concentrated in a range in which the difference was not larger than 10% irrespective of the methods (Table 1).

2. We used a "tank model" to simulate for the runoff model (Figs. 5, 8), which consisted of a series of two tanks with three runoff parts and one or two infiltration parts. It was easy to decide the structure of the tank model, because the attenuation constants of the recession curve in the hydrograph were applied to the determination of the coefficients of runoff rates of the tank structure.

3. Using the observed snowmelt and precipitations for the values of input to the watershed, we calculated the estimated snowmelt runoff in 1981-83 (Figs. 6, 7). Because the observed runoff and estimated runoff were found to agree well, this analysis was successful without changing this tank structure.

4. We used only data of daily mean temperature and precipitation and estimated the amount of snowmelt using the degree-day method. We also calculated the estimated snowmelt runoff in 1980-83 (Fig. 12). Thus it is shown that the estimated runoff is not less fit from the observed runoff than that using the observed snowmelt as the input. As a result, in case of this watershed, if the data on both temperature and precipitation are available, good accuracy is possible in estimation of snowmelt runoff.