

II-14 小流域の融雪流出解析(I)

専修大学北海道短期大学 正員 山梨 光訓

1. はじめに

融雪量と応答する流出量が、1日の内に生起するような小流域において、流出成分の分離を行う場合の手法を考察してみた。融雪流出の解析には、熱エネルギーを検討しなければならない。多くの場合、それは気象因子であり、とりわけ気温と融雪量とがよい相関をもっているようである。また、エネルギー法則をもとにした森田の流域の熱効果の概念にならえば、水温現象も流出過程に関与させて考えることができる。

本研究は、水温を媒介とした流出成分の分離を試み、融雪流出過程をも併わせて考究してみたものである。調査対象の小流域は、美唄の上中の沢流域である。

2. 流出成分の分離

(1) 融雪流出水温の変化

流域内の河道に対して、ある地点水温は、流量構成要素が形成する基礎水温(θ_B)と流域の熱効果による温度変化($\Delta\theta$)とから、

$$\theta = \theta_B + \Delta\theta \quad (1)$$

であらわされる。ここで、ある地点の流量を Q 、基底流量(地下水流出量)を Q_g 、その水温を θ_g 、中間流出量を Q_M 、その水温を θ_M とすると

$$\theta_B = \left(\frac{Q_M \theta_M + Q_g \theta_g}{Q} \right) \quad (2)$$

となる。 θ_B は、流量構成要素による流量加重の平均水温ということになる¹⁾。

積雪はその構造上、融雪水の移動に対して、中間流出の状況をつくると考えられるので、式(2)の θ_M 、 Q_M をそれぞれ、融雪水の温度、融雪水の流出量とみると、融雪期の流量 Q と河川水温は、図-1のように示される。

(2) 融雪流出成分の分離

式(1)において、基礎水温を流出成分の熱効果と言え表すと、ある地点水温は、流出成分の熱効果項と流域の熱効果項の和といい換えられる。すなわち、地下水流出の卓越期は、流域の熱効果の卓越期であり、融雪流出の卓越期は、流出成分の熱効果の卓越する期間といえる。さらに、融雪流出卓越期にあつては、時間の経過とともに、流出成分の熱効果が変化するが特徴である。

ここに、実測の容易な θ 、 Q 、 θ_M の値は与えられ、質量の法則 $Q = Q_M + Q_g$ であることから、融雪流出過程における有効な融雪量 Q_M は、

$$Q_M = \left(\frac{\theta_g - \theta_B}{\theta_B - \theta_M} \right) Q_g \quad (3)$$

また、流域内の熱効果は一樣であるとすると、この地点に合流してくる他の2地点において流量、水温が、それぞれ、 Q_1 、 θ_1 、 Q_2 、 θ_2 とすると、この地点の水温は、

$$\theta_{B3} = \left(\frac{Q_1 \theta_1 + Q_2 \theta_2 + Q_M \theta_M + Q_g \theta_g}{Q} \right) \quad (4)$$

ただし、 $\theta = \theta_{B3} + \Delta\theta_3$ 、 $\Delta\theta_3 < \Delta\theta$ 、 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_M + Q_g$

いま、融雪流出が卓越していて、 $\theta_B \gg 4\theta$ ならば、 $\theta = \theta_B = \theta_{B3}$ として、地下水流出が無視できる地点間で

$$\theta = \left(\frac{g_1 \theta_1 + g_2 \theta_2 + 4g_M \theta_M}{g} \right) \quad (5)$$

$$4g_M = g - g_1 - g_2 \quad (6)$$

あるいは、

$$4g_M = \frac{1}{\theta_M} (g\theta - g_1\theta_1 - g_2\theta_2) \quad (7)$$

ここに、 $4g_M$ は、ある2地点間の有効融雪量とする。

3. 実流域への適用

(1) 調査流域と観測点

調査対象となった上中の沢流域は、東西に約1km、南北に約500m、標高50mから230mにわたる24haの小流域である。自記水位計は、L点、U点、UL点に設置し、L点にはブルドン管式温度計を設置し水温観測を行った。また、溪流に沿って水温、支川の流量観測を実施した。

(2) 調査方法

この調査では、主として次の3点を明らかにしようとしたものである。

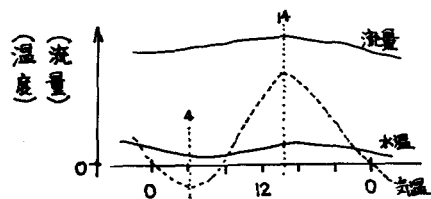
1). 融雪期の流出形態は、中間流出と地下水流出とによるものと考え、それぞれの流出が顕著となる源頭泉源、および、流域斜面の末端からの流出水（この場合、積雪層の端からの南下する水）の水温と流量を測定し、現象の存在と物理特性を明らかにしようとした。

2). 融雪流出量の時間特性を明らかにするために、河川水温の一斉観測を行った。泉源の水温と、流域末端の水温変化とから、流出成分の熱効果をみようとした。また、積雪下に雨量計を設置して、融雪時間帯と融雪水の降下強度を明らかにしようとした。

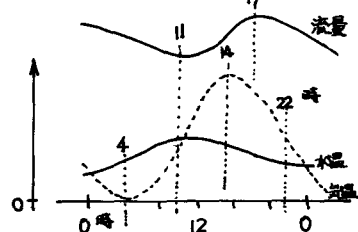
3). 1) および 2) によって存在と性質の明らかとなった流出成分のうち、流出に有効な融雪成分の算出と実測値との比較検討を行った。

(3) 有効融雪量の算出

流量観測地点である、L点、UL点、U点において、水温の日変動が見られるのに対し、No.1, 2, 3の各点を見ると、上流域をもつNo.3は変動を示すが、泉源となるNo.1, 2は恒常的に一定の値をみせている。水温も比較的高温で、地下水流出の典型といえる。L, UL, U点では、温度変化量と流量との間に、表-1のような流出成分の変化をみることができる。図-1で示された流量変化と同様、流出量が小さく、水温も流域の熱効果が大きいとみられる12時、反対に、流出量は大きく、水温の関係でも流出成分の熱効果が大きい18時の実測値と算出値との関係をみることができる。したがって、融雪期の流出量を2成分に分けるのは妥当である。



(1) 地下水流出卓越期



(2) 融雪流出卓越期

図-1 融雪期の流出水温の変化

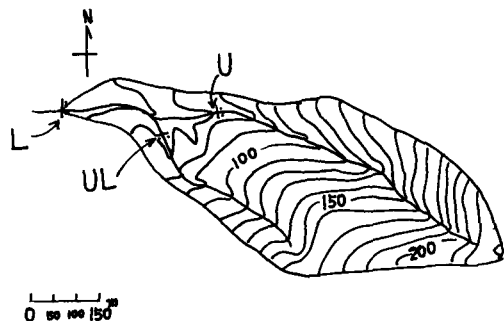


図-2 上中の沢流域

側にあるので、(図-5)の本川に流入する高温水を参照)、この2点と1点の間では、河川流量の増分は、融雪量によってかわるものと考えられる。もし、そうならば、式(5)において Q_m を無視すると $\theta = 5.3^\circ\text{C}$ (18時)となる。ところが、観測値には 4.2°C が与えられているので、算定値より小

(1984.4.21)

	4月20日 12 時		18		22		4月21日 6	
	$g^{(2)}$	$\theta^{(2)}$	g	θ	g	θ	g	θ
UL	9.5	7.2	30	6.2	30	6.1	27	6.3
U	4.5	3.8	51	3.8	50	3.8	39	3.9
L	55	5.8	81	4.2	81	4.2	65	4.2
符号		V		^		^		^
計算値 (g_{20} 無視)		5.6		5.3		4.7		4.9

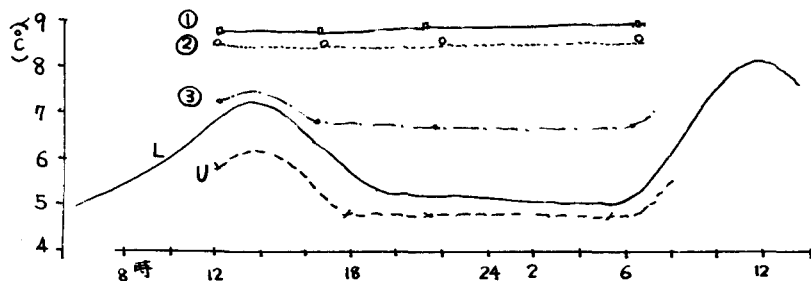


图-3 水温变化 (1984.4.20-21)

い。これには、水温を低下させる流量が加わっていることを意味する。よって g_m は無視できない。同様に、22時、6時にも g_m がみられる。一斉、12時には、水温を上昇させる流量が加わるか、流域の熱効果を考えるかであるが、地下木流出等、高温木の流入はないので、流域の熱効果が顕著になったものと判断される。

なお、融雪流出成分の本温 θ_m (式 (7) 中) には実測値が必要である。また、有効融雪量は時間的に変化する量である。これらは、次のようである。

(4) 融雪水の滴下量

流域斜面の積雪下端の木板、あるいは、つらら、氷晶をつたわって、融雪水が滴下しているのがみられた。水滴の落下先は凍結地表面、あるいは、融解し、膨軟、飽和した地表面であり、そこから、また水みちを通して大きな水脈へと流集しているようである。南面の氷が北面より滴下が多く、14時(1984年4月5日)気温 4.8°C のとき、 $21\text{滴}/\text{m}$ 、水滴は $1200\text{cc}/\text{min}/\text{m}$ で流下しているので、両岸において滴下が起るとすれば、1kmの河道では、流域として $40\text{l}/\text{sec}$

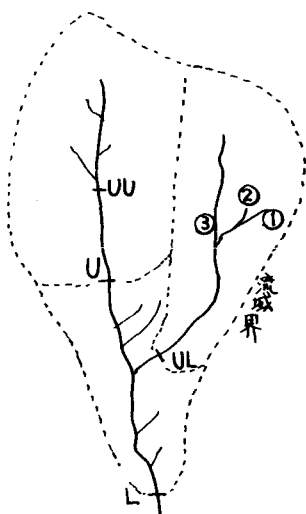


图-4 觀測点、

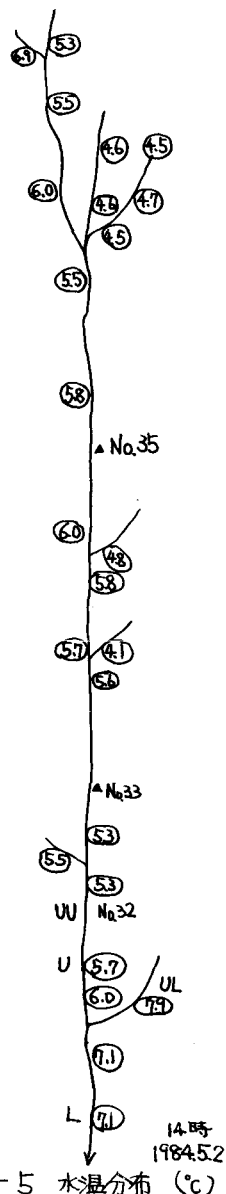


图-5 水温分布 (°C)

の流量となる。有効融雪量は、(4月21日) $11 \text{ l/sec} / 400 \text{ m}$ 、流域は 1000 m 、の河道をもつので、換算すると、 27.5 l/sec となる。ここで、滴下が、南面にまず起こり、北面はその後にくという過程をたどるものとするれば、滴下では 20 l/sec が実測から推測される。滴下した木は、河川木となると判断すると、これが融雪量として有効な量になると考えられる。滴下木の水温は $0.5 \sim 0.6^\circ \text{C}$ であった。そこで、この値を θ_m として採用する。

融雪期の流量の変化は、図-1 のように代表されるわけであるが、融雪流出の立ち上がり約1時間前に立ち上がる融雪量記録と得ることができた。

地表面下に車風筒を設置して、融雪の開始は気温の変化が、正の値に転じたとき明さらに融雪木が流下していた。気温が正の状態がわずかな時間であっても融雪木が地表面に流下できるのは、気温のこのような上昇傾向変動に応じて、積雪層氷層が 0°C に近いなり、雪のガラメ化が進み、氷表面も小さくなり、間隙も増大し、より

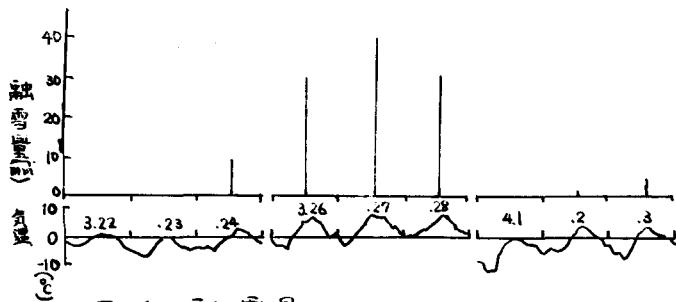


図-6 融雪量

気温の影響を受けやすく、水の流下抵抗も小さくなるためであると考えられる。雪温分布の状態からみても、雪の間隙を流下した木が凍結するようなことはない。この時期の雪温は、 $+0.2 \sim 0.5^\circ \text{C}$ にも達するようである。また、地表面下の $0 \sim 5 \text{ cm}$ では、やはり同様な温度を示している。ただし、腐植のある場合には高温となる。

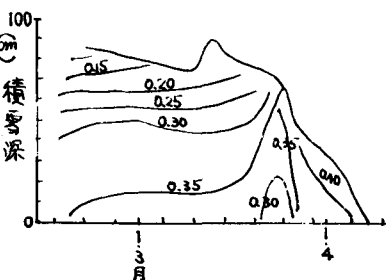


図-7 (1) 密度分布 (1978・美幌) (g/cm^3)

4. おわりに

融雪期の流出量は地下水流出成分と有効な融雪流出成分とからなるものと考え、それぞれの成分の直接観測、あるいは、算定を試みた。融雪流出成分の算定にあたっては、流域の熱効果の概念、および、それにならって、流出成分の熱効果を考えれば、エネルギーの法則、質量の法則によって、流域の基礎水温、ある地点の水温、2地点間の有効融雪量を求められた。融雪流出の2成分の日周期性を確かめるために、水温、流量観測を行った。地下水流出成分の変化はみられなかった。融雪流量は周期性を示した。また、2地点間の流出量の検討を行ってみると、融雪が停止したとみられる12時の流出量には流域の熱効果が卓越していることがわかった。有効融雪量は、融雪期間中、融雪木の積雪中降下強度、などとの関係をより明らかにしていく必要があると考えられる。

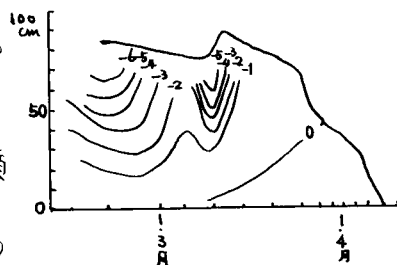


図-7(2) 雪温分布 (1978・美幌) ($^\circ \text{C}$)
た。融雪流量は周期性を示した。また、2地点間の流出量の検討を行ってみると、融雪が停止したとみられる12時の流出量には流域の熱効果が卓越していることがわかった。有効融雪量は、融雪期間中、融雪木の積雪中降下強度、などとの関係をより明らかにしていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 新井・西沢 ; 水温論 , 共立出版 , 1974.
- 2) 高瀬 信忠 ; 融雪流出 , 1984年度工学に関する夏期研修会テキスト , 土木学会 , 1984.
- 3) 山梨 光訓 ; 融雪期の川河川流出水温 , 土木学会北海道支部論文報告集 , 1984.
- 4) ——— ; 積雪層の変動過程 (II) , 専修大学北海道短期大学紀要 , 1978.