

II—16 低位高度小流域の融雪流出

専修大学北海道短期大学 正員 山梨 光訓

1. はじめに

融雪流出は、融雪洪水の原因となる一方、利水上は用水源として貴重なものである。したがって、融雪流出機構、融雪流出量を知ることは、これらの対策上、きわめて重要な問題である。しかし、実際に融雪、あるいは、その流出機構を解明しようとする、未知の事項が多いために、多くの仮定を設けて解析を進めることが多い。これは、調査、測定に非常に困難が伴い、実験、実測資料が少いことも一因であろう。

ここでは、融雪流出量の変動特性について、高度差の少ない丘陵地小流域を対象として考察を行った。

融雪流出の機構を解析するには、熱収支法、空気力学的な理論的方法と、気温を用いた実用的方法とに大別される。理論的方法は、熱力学計算に必要な観測資料が十分提供されなければならないから、わが国の気象観測の実情では困難とされる。実用的方法は、融雪の要因を気温に代表させる。すなわち、これが第1番目の仮定となる。大流域における適用例は良好とされる。そこで、この仮定をできるだけ合理的なものとするために、小流域の流出特性についても、気温との関係を検討してみる必要があると考えられる。

2. 融雪とその流出

1) 積雪、および、融雪の特性

融雪流出の前提となる、積雪、および、融雪の状況は、地理・地形的、気候的な要素によって異なると考えられる。北海道において、とくに、多雪地に属する美瑛、札幌における調査結果によると、積雪の状況には次のような定性がみられた(図-1)。

① 積雪は、気温の季節変動、すなわち、気温の低下とともに現われはじめ、定常的に存在するときには気温が 0°C 以下となっている。

② 積雪は外気温の影響を受けて、積雪層内が成層的温度分布を形成している。積雪表面下の20~30cmは、外気温の日変動の影響を受けているが、それ以下の層は定常的な雪温勾配を持続する。このような場合、地表面はほぼ 0°C の状態であるとみなされる。

③ 積雪層内は、雪温とほぼ対応して成層的雪密度分布を形成している。すなわち、雪温と密度との間には準静的平衡関係がみられる。

④ 積雪期間は、貯雪期と、雪温、密度分布の勾配が小さくなる移行期と、等雪温、等密度分布がみられる融雪期とに3区別できる。

⑤ 融雪期は、日最高気温が 0°C より高くなった時期で、この時期は雪温が全層にわたってほぼ 0°C となり、密度は高い値になって、全層にわたり均等化する。

⑥ 移行期は、積雪高が最大になったあとの融雪期までの期間をいう。この時期には、積雪高がみかけ上、低下するが、積雪相当水量はなお増加もする。また、雪温、密度分布とともに成層が薄らいでいく。雪質が、いわゆるザラメ状になっていく過程である。

したがって、融雪期において気温が上昇すれば、その分の熱量はすべて融解に使われることになる。融雪期の雪質はザラメ状とみられるから、融解水は容易に流下するものと考えられるが、実際には融雪期初めの3月上旬頃には、融雪の量も少いから、積雪下層内に滞留したり地表層に保留されて、河川流出量としては十分に現われないであろう。

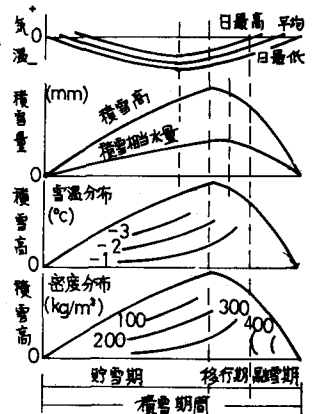


図-1 積雪の状況モデル

2) 融雪期における流出

融雪期における積雪の状況と、河川流況にみられる融雪流出との対応を考える。そこで、積雪期間内で区分された融雪期をさらに次のように細分してみる。

日融雪には気温だけを要素とみなして、日積算気温と日融雪流出量との関係について考える。

日融雪流出量は、その日の流量のうち、最低点で水平分離を行い基底流出成分を除いたものとする。

いま、気温時融雪率を f_s とし、日融雪流出量を Q (m^3/sec)、日積算気温($0^\circ C$ 以上)を D 、流域面積を A (km^2)とすると

$$f_s = \frac{3.6Q}{AD} \quad (mm/^\circ C \cdot hr) \quad (1)$$

で与えられる。

一方、日融雪流出量は、日積算気温の増加にともなう、図-2のような変化を示すものと考えられる。すなわち、次のように細分できる。

① $0 \sim A$ の期間は、融雪が進んでいるのだが、十分な流出はみられない。融雪量は、融雪流出系路中で土湿の増加分などになってしまう。融雪前期とよぶ。

② 融雪量は、完全に流出量として現われる。融雪中期とよぶ。気温時融雪に対して定率的に流出応答が十分得られる期間といえる。 $A \sim B$ の期間である。

③ 気温時数に対して反比例のような流出傾向しかみられない $B \sim C$ の期間を融雪後期とよぶ。

ここで、図-2と気温時融雪率の関係を図中に見出すならば、 D 軸と曲線上の点が原点についてなす角の $\tan \theta$ と対応するのが f_s であり、これは、融雪前期では上昇し、中期では一定となり、後期には再び減少するものと考えられる。

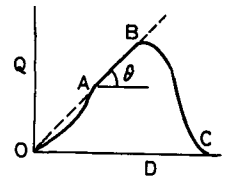


図-2

3) 融雪の終了

融雪の終了期日は、同一地点で、積雪高も平年値に近ければ、同時期がみこまれる。もし差が生ずるとすれば、それは融雪前期、中期の気候状態の差によるものと考えられる。気候の差を平均気温の傾向で判別するならば、たとえば、毎平均値は美瑛の場合、4月上旬に正の値をとるのが一般である。そこで、このときの気温の高低が偏増終了期日の近遠を引き起こすものと考えられる。これは、積雪型、積雪相当水量、および、積雪高の変化曲線などからも説明される。

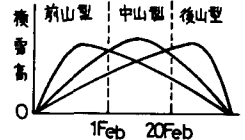


図-3 積雪型

積雪は、最大積雪高が、積雪期間中のどの時期に起こったかによって、前山型、中山型、後山型に分けられる。一般的な気候変動からみると、気温の最寒極は2月上旬になるので、やや遅れて最大積雪高がくる。中山型は平年型といえる。これは、2月1日から20日までの間に最大値をもつたものをいい、これよりも前に生じた場合は前山型、後ならば後山型ということになる。このような積雪型の年による違いはあるものの、融雪は積雪型とは関係が少なく、ほぼ一律な融雪時期と融雪速度をもっている。図-4は札幌の場合を示している。また、積雪相当水量についても、融雪期における量を比較すると、前山型でも後山型と同程度の量が残存している。このようなことから、同地点であれば、特異な積雪が起らない限り融雪期に移行したとき、気候的に高い平均気温に達した場合の方が融雪の終了は早いことになる。

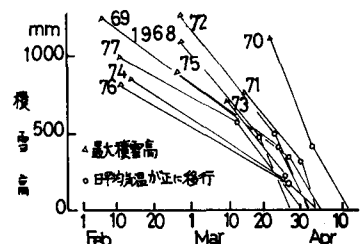


図-4 積雪の変化(札幌)

4) 場所による融雪のちがい

低位高度にある流域内では平地と同様な積雪状況がみられるものと考え

えられるが、積雪分布は、植生、あるいは、地形方位といった点からみると差が出てくる。したがって、融雪の影響を受けて、平地、山頂尾根部といった融雪の終アがはやい部分、あるいは、北向斜面、林地内といった融雪が緩慢な部分の存在を考慮していく必要がある。

表-1 積雪量

(1980 Apr 16)

地点名	A	B	C	D	E	F	G	集場
積雪高	57	107	45	5	355	-	7	-
積雪相当水量	36	30	28	31	62	-	39	-

(A B C Gは林地、他は裸地)

(単位 mm)

3. 融雪流出特性

1) 中ノ沢流域の状況

中ノ沢は美幌市郊外の光球内の洪積丘陵にある。この地域はこの種の沢がいくつかあり、溜池を通して農業用水供給源となっている。流域は、図-5のような24haの流域面積をもち、標高が50m~230mの間にある。流出状況はL点とU点に水位計を設けることによって、また、流域の積雪特性を知るために流域外ではあるが隣接地に観測露場を設け、積雪に関する基礎資料を1977年から継続調査中である。資料によると、1981年までの年最大積雪高は0.7~1.6mの間にある。

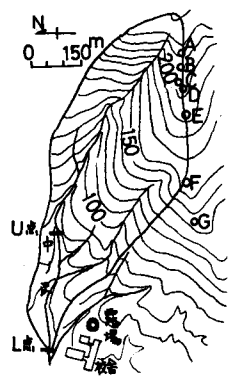


図-5 中ノ沢流域

2) 中ノ沢の融雪流出

融雪流出の状況を気温と対比させてみると、図-6のようである。ここで、日平均値でも日最高値でも、気温の傾向としては大きな差がないようにみえるが、3月30日から、4月4日までの期間に着目してみると、流出波形は日融雪流出が3日と4日に出現しているのに対して、日平均値は負の値なので融雪流出量も考えるわけにいかず不都合である。このようなことが起きるから、気温としては日最高値を

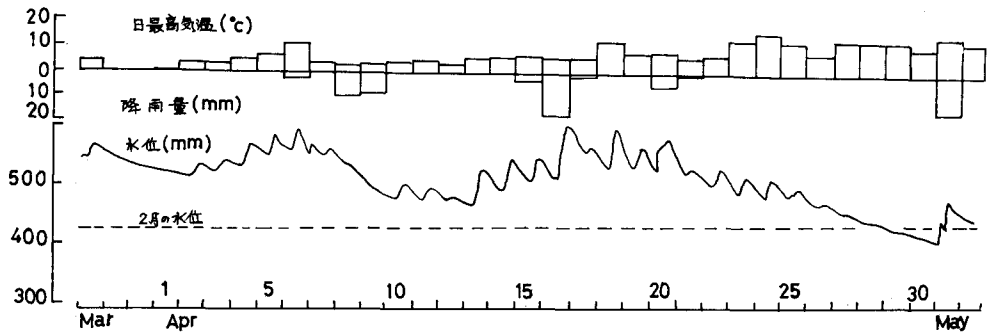


図-6 流出の状況 (1978)

用いた方が妥当であると考えられる。日最高値を用いるならば、3月30日、31日は負で融雪効果をもたず、4月1日は微小温度のため流出曲線上には現われなかったことになり、気温と流出曲線とがよく一致する。なお、これは、結果的に気温時数の概念に準ずるものである。

また、(1)式における関係、あるいは、図-2の考え方をを用いて、実測された資料の検討を行ってみると次のようになる。

いま、流出量と気温の波形が、それぞれ関係しあり、他に影響を受けるものがないものとみなして、流出量は、立上がりから最大までの差が直接気温の影響を受けたものと考ええる。なお、流量値は真直を調査中なので水位曲線で代用すると、 $Q \propto \theta(h)/t_g \propto h/t_g$ 、また、 $D \propto d_{max}^2 \propto d_{max}$ と考え、 h/t_g と d_{max} の関係を見ると、図-7(2)のようになり、QとDにおける関係にも相当するようである。すなわち、4月20日頃が融雪中期と後期の境界になるようである。これは、先に挙げた1980年の4月16日の積雪によっても妥当

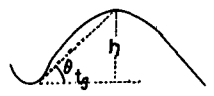


図-7(1) 日融雪流出(水位)

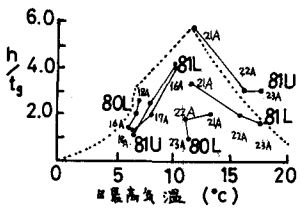


図-7(2) 融雪中期

なものと考えられる。なお、 q は流量、 t_0 は基底において立上がりから最大までの時間、 d_{max} は日最高気温とする。

3) 融雪流出の終了

融雪流出の終了日が年によってバラつくのは、積雪の融雪と同様、最大積雪期ではなく融雪期に到達した段階での気候状態、たとえば、毎平均気温の高低と、その傾向との関係とすべきであろう。図-8では、3月下旬における毎平均気温が負であるが、4月上旬では正になって、このときの年による高さの順位がその年の融雪期の気温の傾向と考えられるから、これを水位曲線上において見出される融雪流出の終了期日と関係をもみると、気温が高いほど終了日が早い結果となっている。

4. おわりに

以上のように、高度差の小さい、低位高度の小流域において、融雪流出に関して次のような結論を得た。

- 1) 日融雪流出量の推移は、日最高気温と対応させる方が、日平均気温と対比するよりも合理的であるとみられる。
- 2) 積雪期間は、貯雪期、移行期、融雪期に区分される。融雪期はさらに前期、中期、後期に分かれ、その性状は、前期は降雨流出における初期損失に似た状態にある。中期は完全流出期で、前期と合わせて流域全体に積雪が存在する状態である。後期は、部分的な残雪流出期で、気温時融雪率が減少していく過程であろうと考えられる。
- 3) 積雪量は相当水量が急激に減少するのは、気温の傾向変動が正の値になる3月下旬から、4月上旬とみられるが、流出についても同様の流況が考えられる。日融雪流出の終了日の年による差は、4月上旬の平均気温の順序とよく対応している。

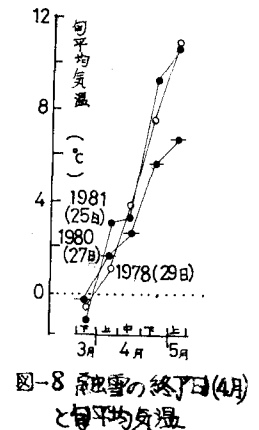


図-8 融雪の終了日(4月)と毎平均気温

参考文献

- 1) 境 隆雄; 河川の融雪流出に関する研究, 土木学会論文集, No. 95, 1963.
- 2) 境 隆雄; 沙流川流域の融雪流出について, 土木学会北海道支部技術資料, No. 14, 1958.
- 3) 丸安隆和他; 航空写真による積雪分布および積雪量の解析方法に関する研究, 土木学会論文集, No. 153, 1968.
- 4) 丸安隆和他; 航空写真による融雪ならびに流出の解析, 土木学会論文集, No. 164, 1969.
- 5) 高瀬信忠; 融雪出水の解析, 水工学に関する夏季研修会講義集, 第13回, 1977.
- 6) 山梨光訓; 積雪深の変動過程, 専修大学北海道短期大学紀要, 第9号, 1977~1981.
- 7) 山梨光訓; 融雪期における積雪の状況, 日本農業気象学会北海道支部研究発表会要旨集, 1980.
- 8) 北海道の気象, 北海道気象協会, 1978~1981.
- 9) 山梨光訓; 融雪期の積雪相当水量とその特性, 土木学会水理講演会論文集, 第26回, 1982.