

河川水質面から見た融雪水の流出過程について

A study of runoff processes in snowmelt water by water quality data

○ 新潟大学工学部土木工学科 正員 岡本芳美

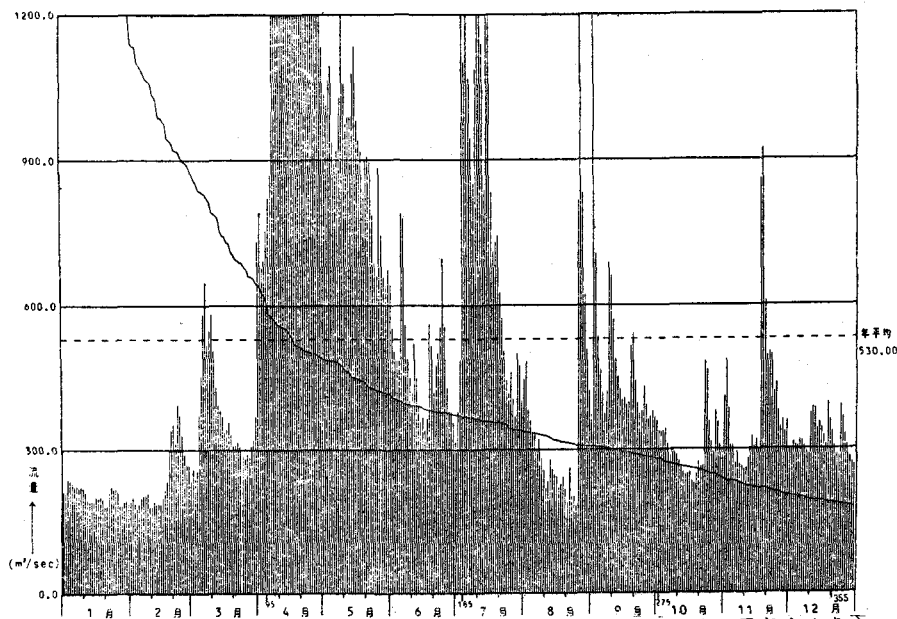
” 応用化学科 加藤皓一

1. はじめに

融雪水の流出機構を考えると、積雪層内に堅い雪水の層が存在しなかったならば、積雪から生じた融雪水は、融けたその場からほぼ垂直に地面に向けて降下し、降雨と等価な現象と同様になるので、融雪水の流出に関しても、融雪が起った段階以降では、降雨水の流出過程を表わす数理モデルがそのまま適用できると考えられる。しかし、実際には積雪層内に雪水の層が存在し、融雪水が積雪層内の雪水の層に沿って最寄りの河道に向う高速の流れ、すなわち積雪層内流が発生する。この積雪層内流が無視し得ぬ程に発生するならば、融雪水の流出過程をあらわす数理モデルにはその効果が組み込まれなければならない。したがって、融雪水の流出の問題を量的にとりあつかうに際しては、その前提として、どうしても融雪水の積雪層内における挙動を研究して説明しておかなければならない。

この問題を研究する方法としては、いろいろな手段が考えられるが、一番良いのは、実際に現地で観察・測定してみることであろう。しかし、このような直接的な方法は、非常に危険を伴い、現実的でなく、かつ余程徹底的に行われないと事例研究の域にとどまらざるを得なくなるであろう。そこで、講演者等は降雨水が大地と接触することで受ける水質の変化と積雪層内流水の水質との相違に着目し、融雪水が積雪層内流として最寄りの河道に流出する割合がある限界を超えるならば、当然それが結果として非融雪期の河川水質と融雪期の河川水質に違いがあらわれなければならないはずであると考え、実際に豪雪地帯を流域内に持つ河川で、融雪期と非融雪期の両方の河川水を一定間隔で採水して、その水質を測定し、比較する研究を行った。

2. 対象河川流域と測定水質項目について



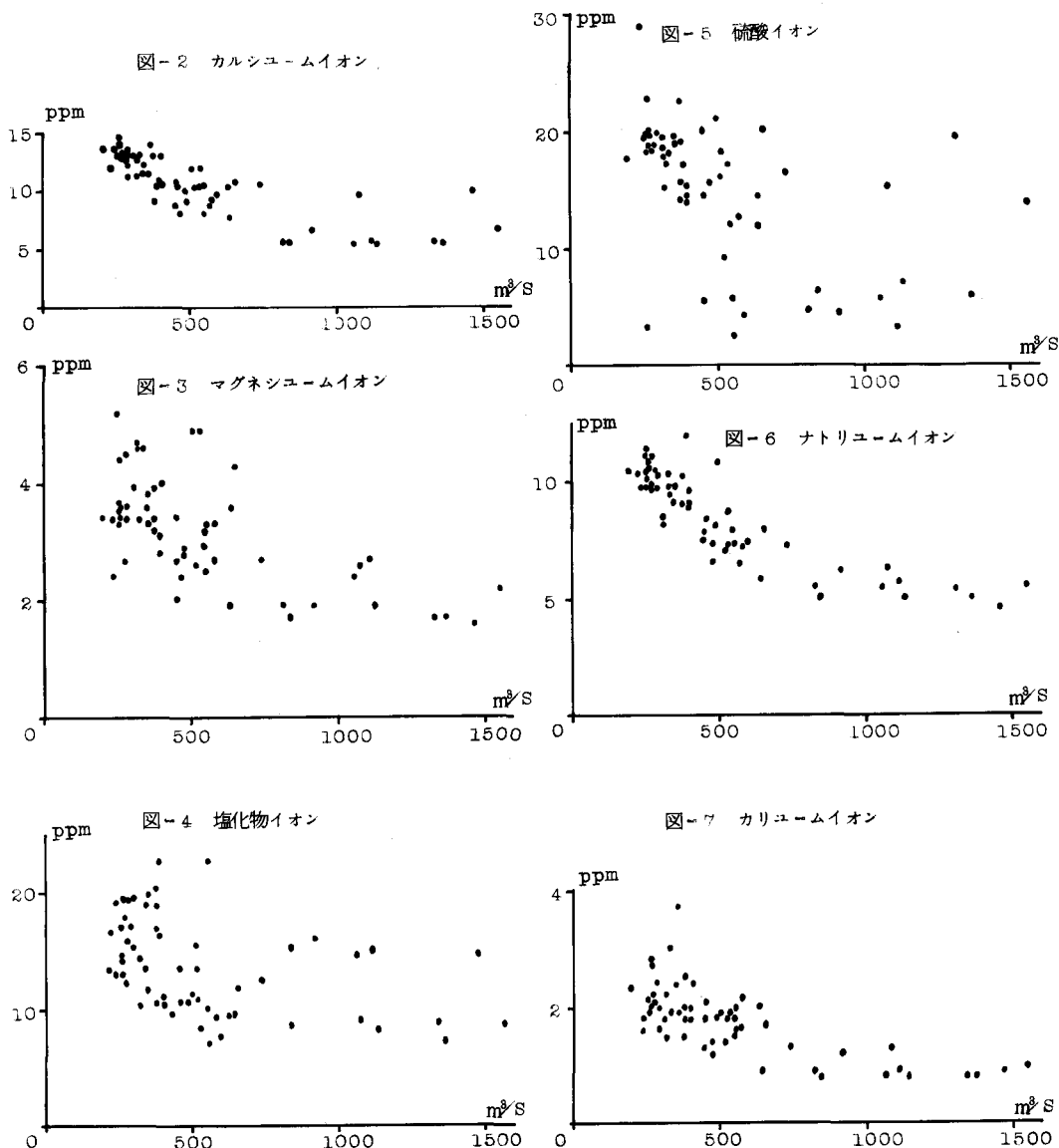
図一 信濃川水系信濃川小谷地点流況の一例 — 昭和49年(建設省流量年表より)

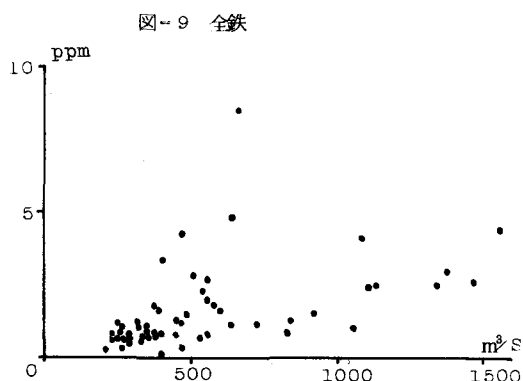
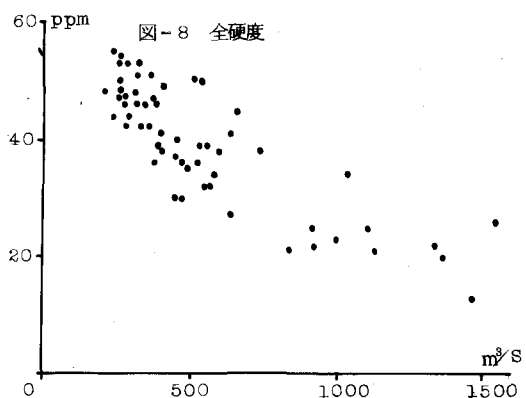
本方法論実行の対象として信濃川水系信濃川長岡地点（新潟県長岡市内長岡大橋、流域面積10199ha、河口より約28km）を選んだ。信濃川のこの地点においては、融雪による増水が4月の声をきくと共に始まり、5月一杯で流域内の積雪は、ほぼ完全に姿を消してしまう、すなわち、融雪がだらだらと夏に入っても続いているという様な事がなくて、水質の比較測定には誠に便利な地点であるといえる。この地点における流況の一例として昭和49年のものを示せば図-1の通りである。

この地点で、昭和49年と50年の二融雪期を含む600日間、10日毎に橋上中央部分で表面水を採水して、現場でただちに水温・電気伝導度・透視度・PHを測定した後に、採水を実験室に持ち帰り、 Ca^{2+} ・ Mg^{2+} ・ Cl^- ・ SO_4^{2-} ・ Na^+ ・ K^+ ・全硬度・全鉄について定量分析を行った。

3. 河川水質と河川流量の関係について

測定された各項目の水質濃度と採水時の流量（採水当日の朝9時から翌朝9時までの日平均流量）との関係をグラフにプロットしたものが図-2～9である。ただし、電気伝導度については、このあとの図-





18で示す。流量は、採水地点その場、ならびに付近では流量観測が行われていないため、この地点から約18 Km上流の信濃川水系信濃川小千谷流量観測所（新潟県小千谷市内、流域面積9,843 km^2 、河口より約46 Km）の流量をやむを得ず用いた。

次に、水質総量、ならびに電気伝導度と流量の関係をグラフにプロットしたのが図-10～18である。水質総量とは、水質濃度に流量を乗じた量である。これらのグラフ中で、黒丸の点は、非融雪期における水質総量と流量の関係である。これらに対して、×印の点は、昭和49年融雪期、△印の点は、昭和50年融雪期における水質総量と流量の関係である。融雪期に関しては、その年の4月、5月の数値を用いた。

河川水質と河川流量の関係を水質濃度と流量の関係で見ると SO_4^{2-} や全鉄をのぞいた大部分の水質項目に関しては、流量が減少すると濃度が上昇し、流量が増加すると逆に濃度が低下するというまったく一般的な関係しか得られなかった。ところが、これを水質総量を計算して、これを流量の関係になおして見ると、全水質項目についてまったく特異な現象が浮かび上って来た。すなわち、以下に述べる所のものである。

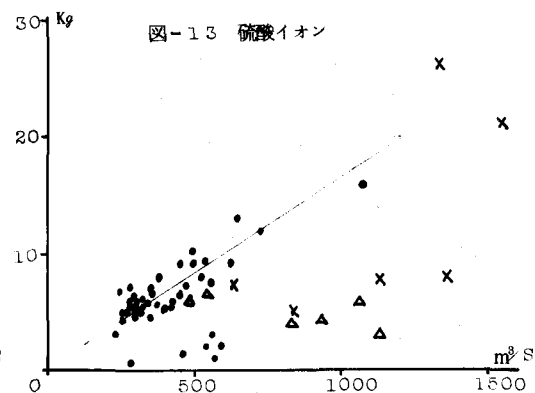
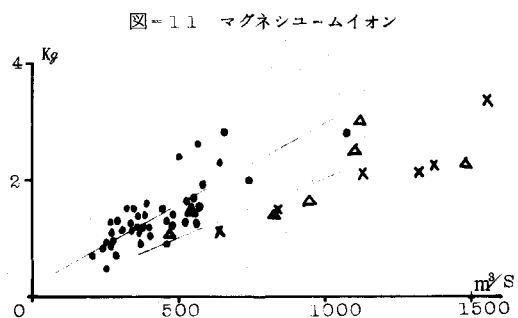
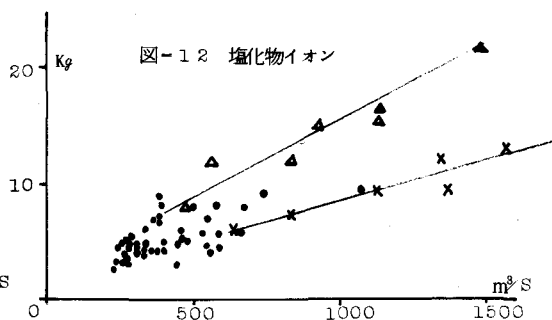
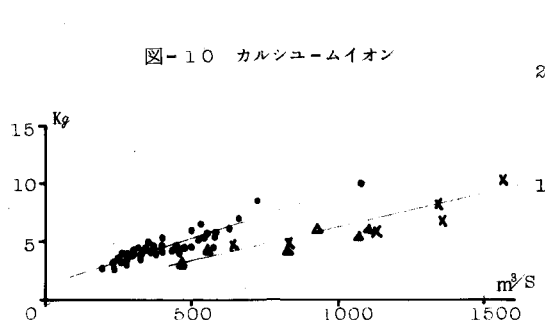


図-14 ナトリウム-マイオン

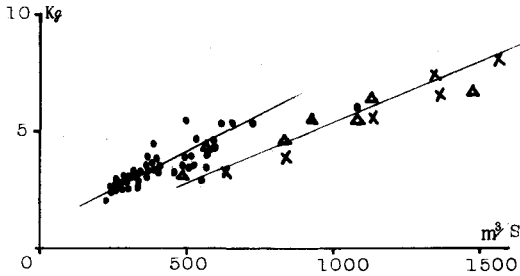


図-15 カリウム-マイオン

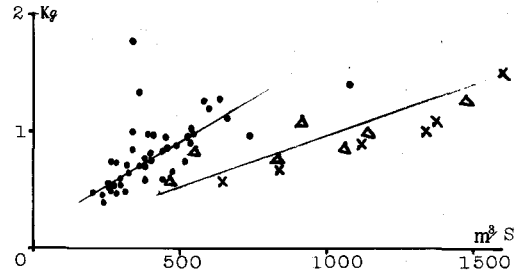


図-16 全硬度

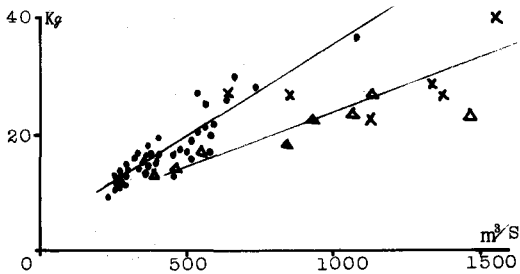


図-17 全鉄

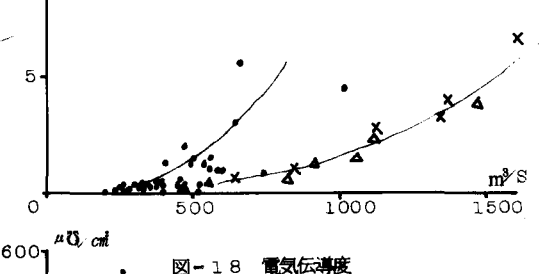
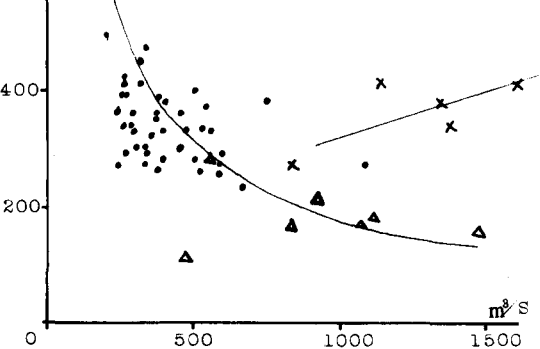
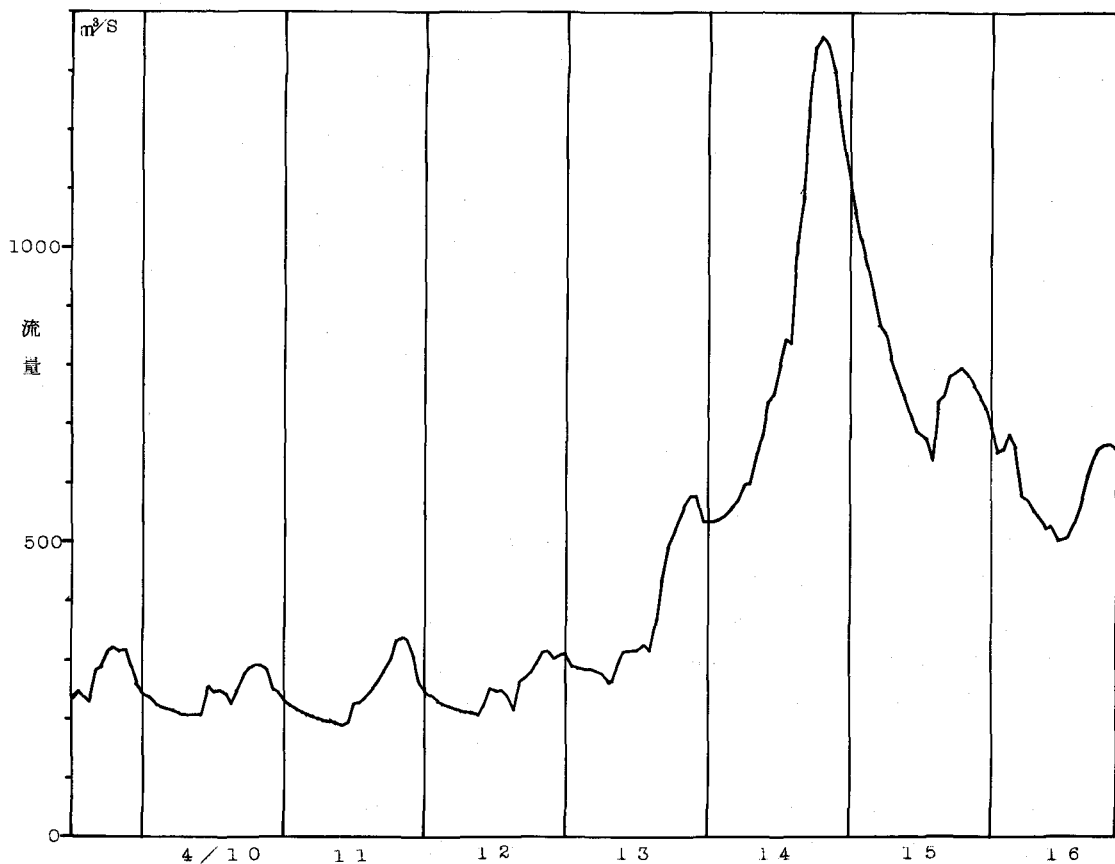
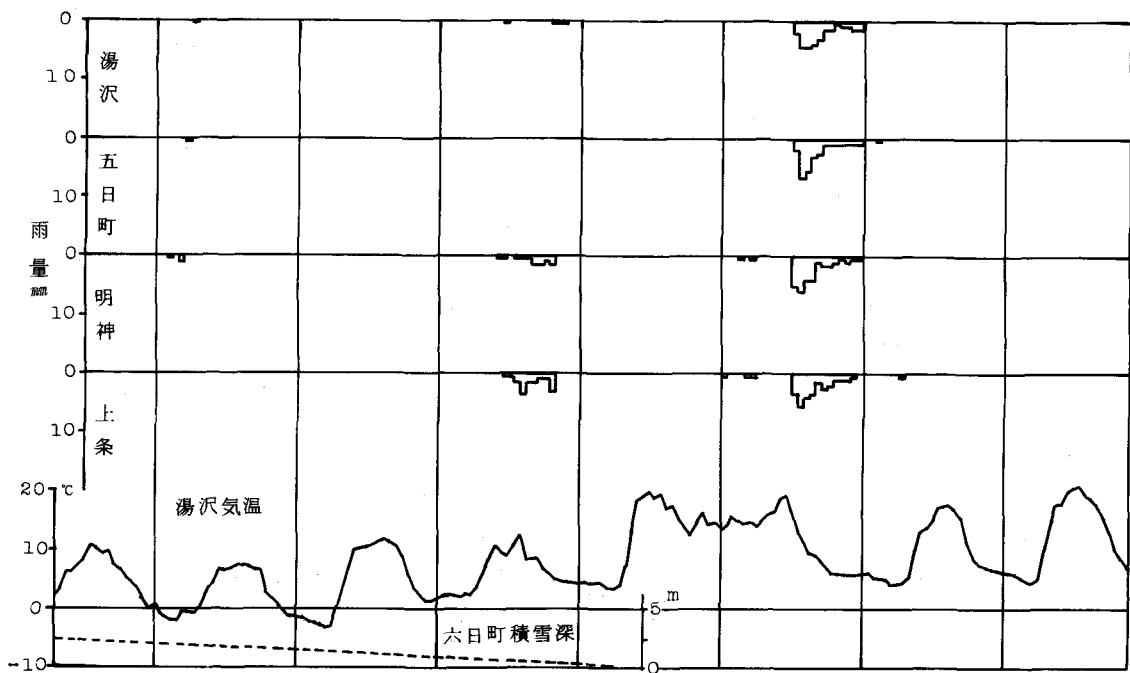


図-18 電気伝導度



- ① Ca^{2+} 総量 Ca^{2+} 総量と流量の関係は、非融雪期においては、流量の増大と共に直線的に Ca^{2+} 総量が増加して行っている。これに対して、融雪期においては、非融雪期におけるとはまったく違った関係であることは、明白である。
- ② Mg^{2+} 総量 Mg^{2+} 総量と流量の関係は、非融雪期においては、点がバラツキはいるが、関係は、ほぼ直線的であると見なせよう。これに対して、融雪期においても非融雪期と同様の直線的な関係であるが、違った直線であることは、明白である。
- ③ Cl^- 総量 Cl^- 総量と流量の関係は、非融雪期においては、非常にバラツキが大きく、直線的関係があるといえないことは、ない程度である。しかし、融雪期に関しては、年毎に関係が異なり、かつ一本の直線の上にきれいに乗っている。風送塩の水質に対する影響が、 Cl^- 総量にあらわれているという解釈もできようか。
- ④ SO_4^{2-} 総量 SO_4^{2-} 総量と流量の関係は、非融雪期においては、直線的と見なせる。しかし、融雪期においては、非融雪期におけるとはまったく違った関係であることは、明白である。
- ⑤ Na^+ 総量 Na^+ 総量と流量の関係は、融雪期、非融雪期共に直線的関係で、かつほぼ並行していて、関係が異なることは明白である。
- ⑥ K^+ 総量 K^+ 総量と流量との関係は、非融雪期に関しては、特異点を除けば、直線的関係の存在が認められる、また、融雪期においても、非融雪期と同様な、まったく異なる直線的関係が認められる。
- ⑦ 全鉄総量 全鉄総量と流量との関係は、融雪期に関しては、比較的美丽な拋物線形の関係を示し



図一 | 9 信濃川水系魚野川堀之内地点昭和51年4月中旬の融雪出水状況 (建設省長岡工事事務所提供)

ている。非融雪期に関しては、点のバラツキがはげしい。両者の点の分布の状況が違っていることは明白であろう。

- ⑧ 全硬度総量 全硬度総量と流量の関係は、非融雪期においては、直線状に分布している。これに対して融雪期においては、点のバラツキが末広がり状の直線状の分布であり、両者の関係は、異ったものであることは、明白であろう。
- ⑨ 電気伝導度 電気伝導度と流量の関係は、非融雪期においては、流量の増大と共に電気伝導度が減少して行くのが、点のバラツキは大きい、十分に読み取れる。しかし、融雪期に関しては、年毎に分布のパターンが全然異っている。すなわち、昭和50年は、非融雪期における関係の延長線上に点がバラつくが如き観がする。一方、昭和49年については、流量の増大と共に電気伝導度が増大して行っている。

以上9水質項目の水質総量と流量の関係を見て行くと、信濃川長岡地点では、融雪期と非融雪期では、河川水質に歴然たる相違があると認めざるを得なくなるであろう。

4. 一般豪雪流域における積雪層内流の発生について

信濃川長岡地点流域においては、融雪期と非融雪期の河川水質では、明らかな差があることが以上の解析の結果判明した。したがって、同流域においては、相当大規模に積雪層内流が発生しているものと考えて良いのではないだろうか。

それでは、その他の一般豪雪流域においても、融雪時同様の現象が大規模に発生しているものであろうか。関東以北の河川においては、降雨が原因で最大流量の比流量が $1(m^3/sec/km)$ 以上になる洪水は、めったに起らない。しかし、裏日本側の豪積雪のある河川に限って見ると、どの河川においても融雪期においては、比流量が1程度の融雪洪水は、毎年必ずといって良い位に発生している。青森県の岩木川目屋ダム流域(流域面積 $172km^2$)を例にとってみると、ここでの既往最大洪水は、昭和33年4月5日に発生した比流量が6.4の融雪洪水(ダム地点で12時間連続の総雨量 $80mm$ の降雨が融雪に重った)であって、第2位が降雨による洪水である(比流量が6.1、流域内3ヶ所の雨量計から算出した流域平均総雨量が約 $400mm$)。また、融雪洪水のハイドログラフの一例として図-19にかかげた信濃川水系魚野川堀之内地点(流域面積 $1,357km^2$ 、信濃川合流点より約 $11km$ 。流域内の黒又川ダム流域($106km^2$)は、融雪時の流出量を全量貯水池に貯留してしまうので、実質流域面積は、 $1,251km^2$ となる)では、昭和50年と51年の両年のみ見ても、降雨を伴わず融雪だけで最大 $900m^3/sec$ 、降雨を伴った場合は、最大 $1,400m^3/sec$ の融雪洪水が発生している。

これ等流域においては、融雪開始時において含水当量で数百mmオーダーの豪積雪が流域全体をおおっており、しかも根雪になるまでの降雪の融雪で土の湿りの不足量は、零となっているものと考えられるから、急激な融雪が起れば、比流量が1程度の洪水が起るのは、何の不思議もないといえるかもしれないが、融雪と降雨を等価と見なすと、講演者等にはどうも量的に融雪洪水は、出過ぎという観がしてならない。また、融雪洪水は、降雨による洪水と同じ、あるいはそれ以上にハイドログラフがシャープであるという観がする。誠に感覚的な議論ではあるが、融雪水の相当部分が積雪層内流という形で最寄りの河道に流出するならば、融雪洪水の規模が簡単に比流量で1に近いものになること、また洪水の形態が極めてシャープであることも納得の行く事柄ではないであろうか。

5. 結論

豪雪地帯においては、融雪水が積雪層内にある雪氷の層に渗透を妨げられて、その上を相当の速さで斜面と並行に流れて最寄りの河道に流出するという現象が相当大規模に発生している可能性が強いものと思われる。したがって、融雪水の流出の数理モデルを組み立てるに当ては、その効果を考える必要があろう。