



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	融雪期における河川源流域の水温 III
Author(s)	小林, 大二; KOBAYASHI, Daiji; 植松, 孝彦 他
Citation	低温科学. 物理篇, 35, 167-178
Issue Date	1978-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18335
Type	departmental bulletin paper
File Information	35_p167-178.pdf



融雪期における河川源流域の水溫 III*

小林 大二

(低温科学研究所)

植松 孝彦

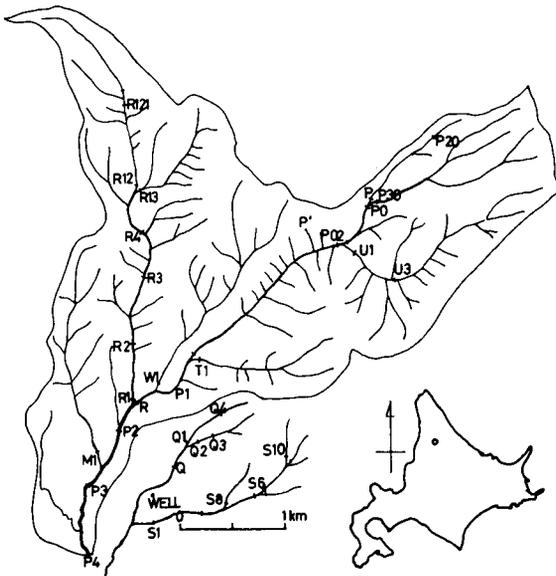
(北海道大学大学院理学研究科)

(昭和 52 年 10 月受理)

I. ま え が き

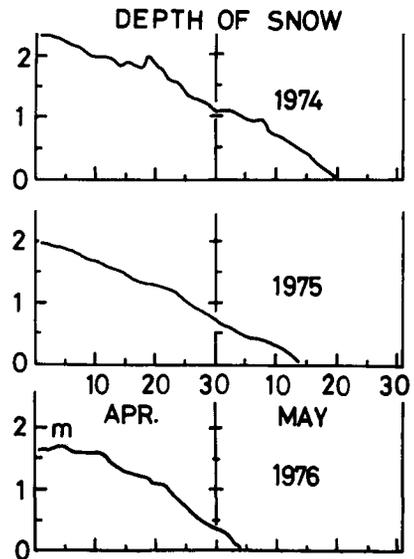
融雪期の河川水溫は、冷水害の問題^{1),2)}と関連して多くの調査・研究が行なわれてきた。その結果、河川水溫と積雪量、流出量、氣温等^{3)~6)}との相関がいくつか、明らかにされている。しかしながら、低温水の出機構に関しては不明の点も多い。特に積雪中を滲透流下した 0°C の融雪水が最初に川となる源流部の調査がかけていた。著者等は、人の住む所では、北海道でも最も寒く、雪の多い、雨竜川の源流部において、融雪流出の調査を続けてきた。

その結果、先に報告したように、4月下旬の融雪最盛期に、厚い積雪下を流れる川の水溫が、 3°C 前後と 0°C よりはるかに高いことを発見した⁷⁾。その際地温等の調査結



第1図 観測流域図(北海道雨竜郡幌加内町母子里, 北大・雨竜地方演習林内)

記号は水溫観測地点を示す。



第2図 融雪期の積雪深

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 1846 号

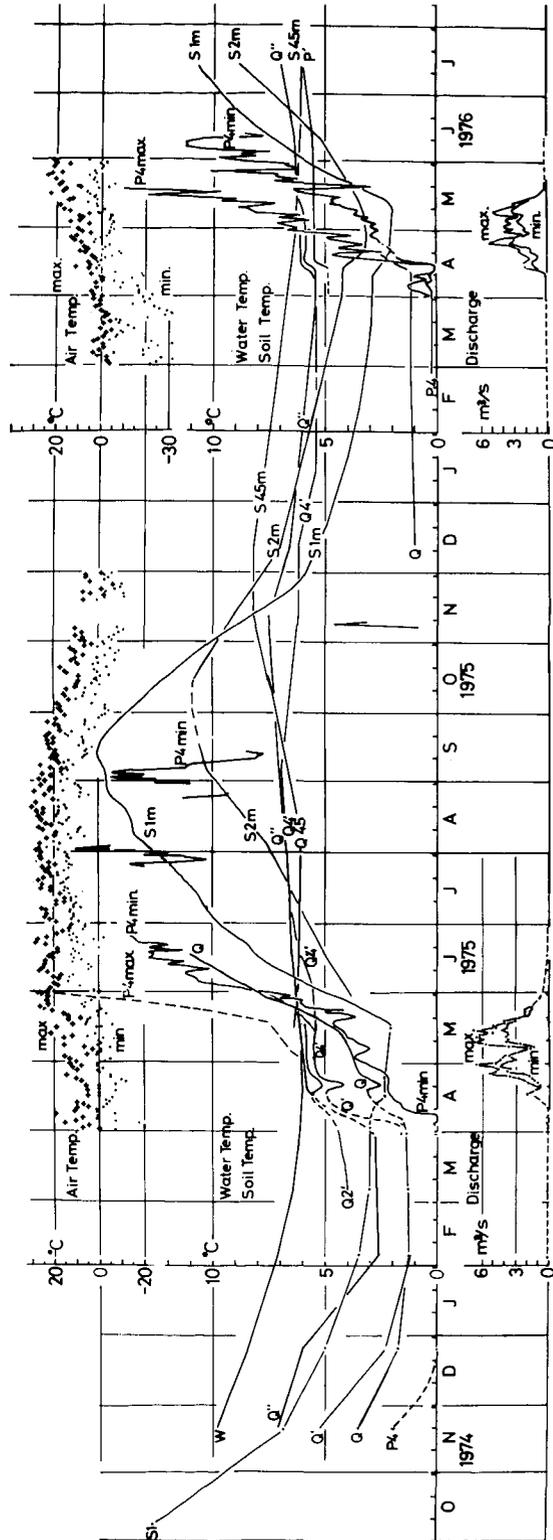
** 現在日本気象協会

果を考えあわせて、融雪流出においては地下流出が表面流出を上まわる可能性を指摘した^{8),9)}。

今回は、通年の地温、湧水温、川水温の観測を重ねると共に、冬期から融雪期にかけての川水温の変動を、対象流域の全支流において調査した。その結果、前報の融雪流出水の高い水温が、流域全般に及ぶ事及び、その水温の値が年によって変動しない事を確認した。このことは、雨竜川源頭部においては1日当たり40 mm程度までの融雪流出においては、融雪水が、安定した地下水脈を通して流出することを示唆する。又はこのような融雪流出機構が、他の流域でどうなっているかを知るために、札幌近郊及び山形県釜淵(林業試験場山形分場)においても、水温調査を行った。

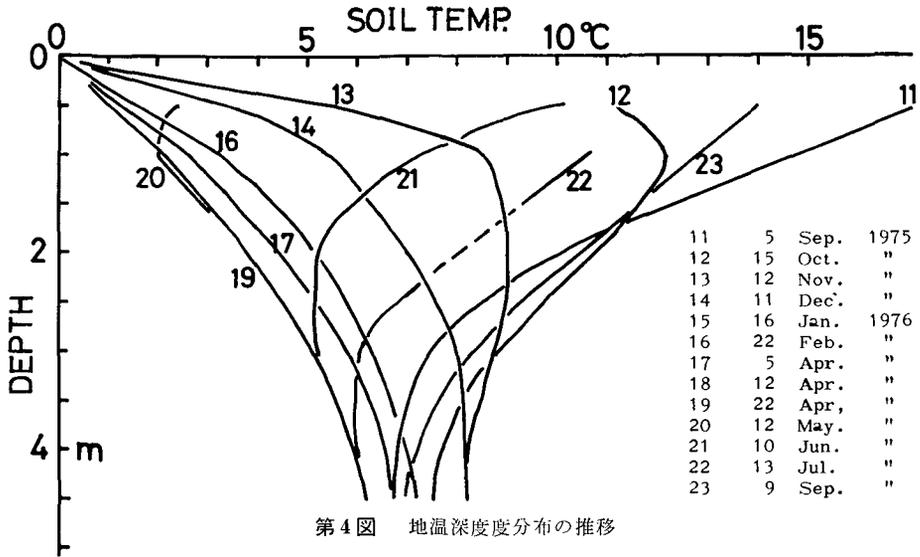
II. 雨竜川源頭部調査 流域の概要

観測流域は、石狩川支流の雨竜川源頭部にあたり、標高290~600 mの母子里盆地の北東部に位置する、面積11.4 km²及び、それに隣接する0.5 km²、1.5 km²の小流域である(第1図)。山稜部は丸みを帯びた平坦面が多いが、谷すじはV字形に刻まれていて、谷斜面の平均斜度は20°位である。地質図幅一名寄一(今西)によれば基岩は、輝石安山岩を主とする集塊岩である。上層は安山岩の円礫を含む軟弱な黄褐色粗粒凝灰質砂岩

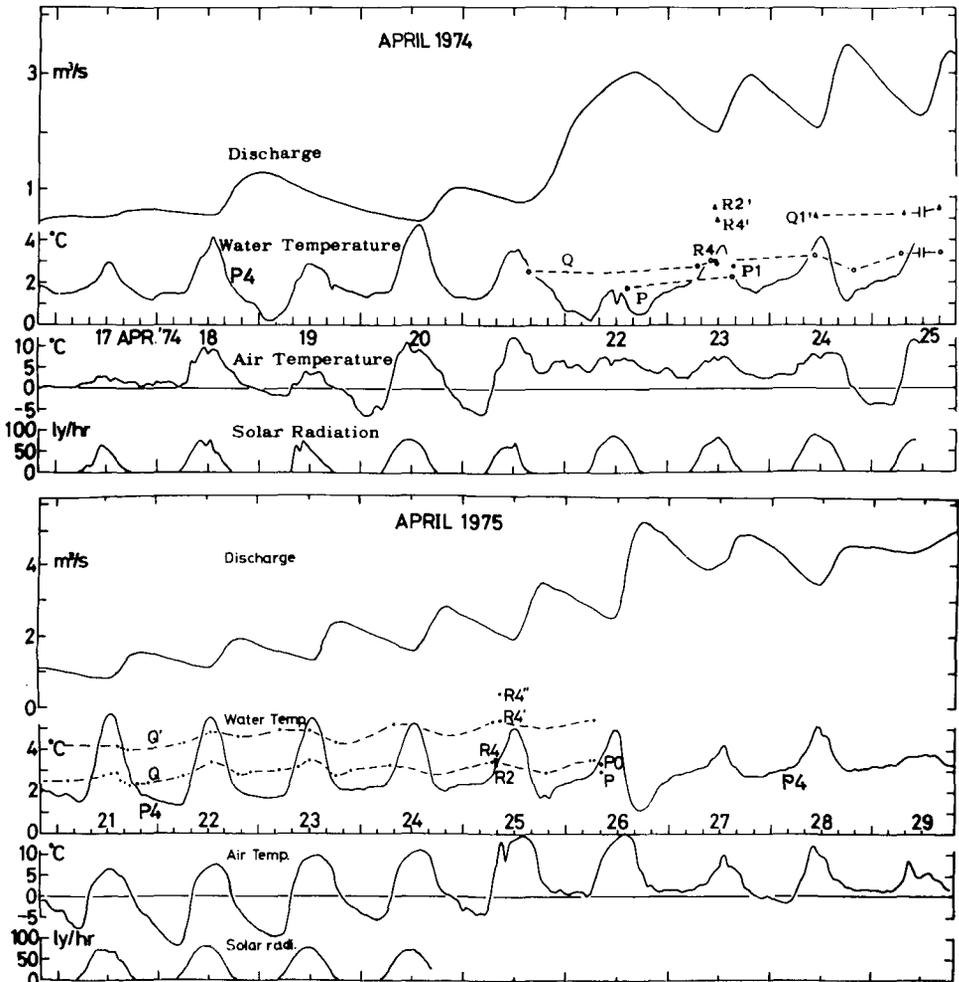


第3図 年間を通しての川水温、湧水温、地温気温及び融雪期の流出量

(P4 min: 地点 P4 の夜間水温, P4 max: P4 の日最高水温, Q: 積雪下の小川の水温, Q', Q'', Q', P': 湧水温, S1 m, S2 m, S4.5: 1 m 深, 2 m 深, 4.5 m 深の地温)



第4図 地温深度度分布の推移



第5図 地点P4における融雪期の流出量、川水温、気温、日射量、川水位及び上流の積雪下の川水温 (P, P1, Q, R4, U, S6) と湧水水温 (Q1', R2', R4', Q'', Q4', Y')

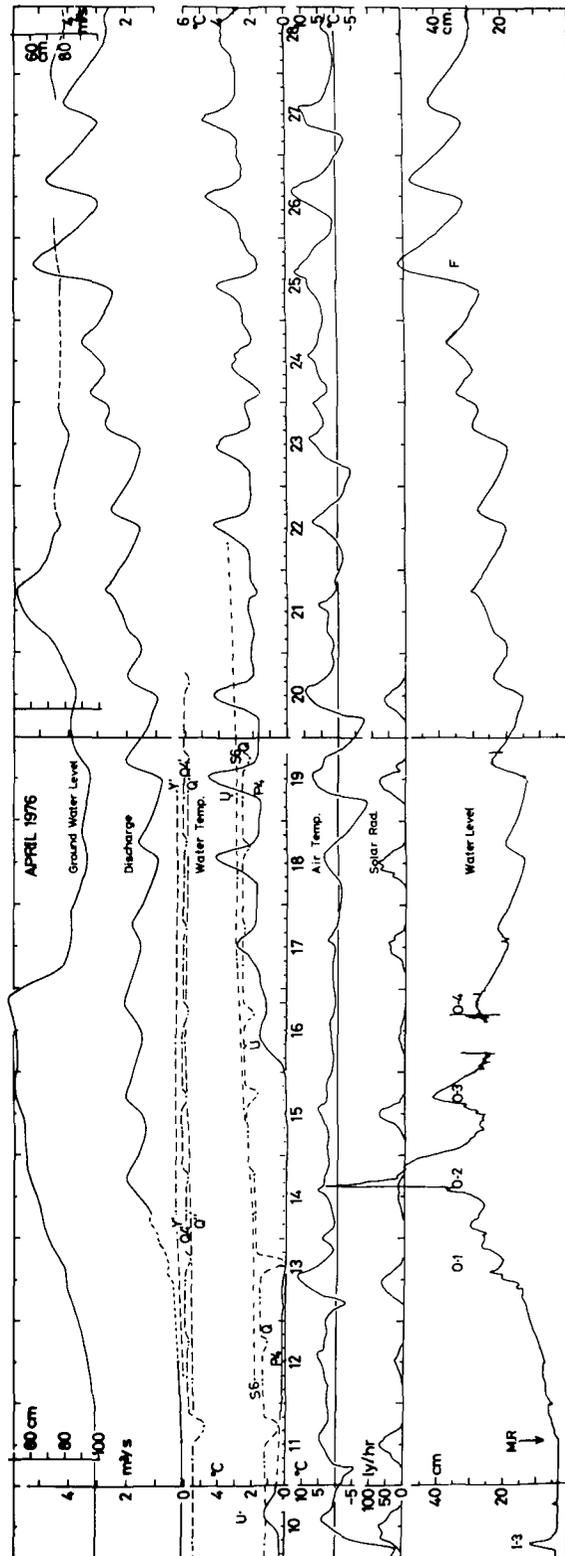
よりなるが、偽層をなし、その上に粘土質壤土を乗せている。透水性は悪くはないと見うけた。

母子里盆地は、人里では北海道でも最も寒い所で雪も多い。年平均気温は +3.5°C 前後、冬期の最低気温は時として、-40°C に達する。根雪期間は7カ月に及び、積雪深は2~2.5 m に達する。融雪は4月10日前後に初まり、平地の消雪は平均して5月中旬である(第2図)。4月の下旬の融雪最盛期にも上流の川は雪をかぶっている。

融雪期においてもなお、夜間の最低気温は -5°C 前後に達することが多いが、晴天が続くと日中の最高気温は 10~15° 位に上がる。日融雪水量は 10~40 mm, 流域末端 (P4 地点) の流量は 4~6 m³/sec に達することもある。融雪量は晴天の時は平地より山地においてやや多くなるが¹⁰⁾, おおむね流域で同様とみなせる。融雪のピークは、日射の強い12時前後であるが、P4 地点の流出のピークは、17~19 時頃である(第5図)。P~P4 地点間の河道流下時間は 80~120 分であり、P4 地点の流出の半減時間は 15~30 時間である。融雪と流出の応答に関しては別に報告する。

III. 積雪期を通じての水温、地温変動

積雪期を中心とした年間の水温及び地温の推移を第3図に示

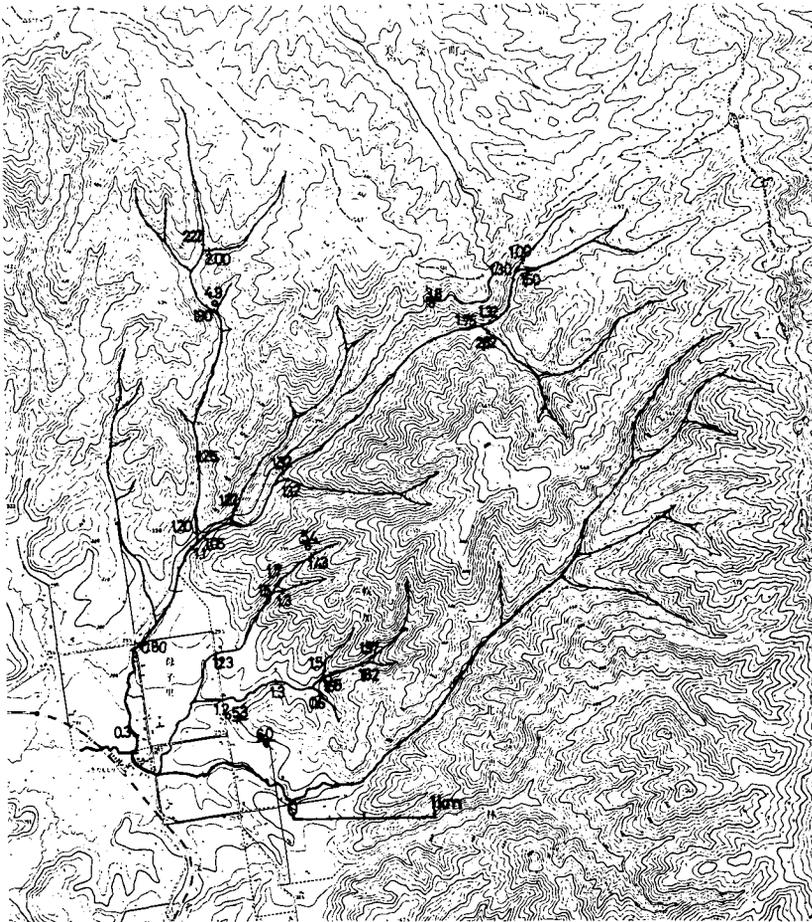


第6図 地点 P4 における融雪期の流出量、川水温、気温、日射量、川水位及び上流の積雪下の川水温 (P, P1, Q, R4, U, S6) と湧水水温 (Q1, R2, R4, Q4', Y1)

す。水温の形成に大きく影響する地温の深度分布の年変化を第4図に示す。又融雪期を中心とした流出量、川の水温、湧水水温、気温、日射、川の水位等の日変化を第5図、第6図に示す。各水温に付けた記号は、第1図に示した地点を示す。第3,7図に示したように、積雪下を流れる上流の川の水温は、冬期間1~2°Cを保ち、下流のP4では0°C近くで経過する。融雪期に入って、川に出水がはじまると、一時的に、川の水温は下がるが、その後、積雪下を流れる上流の川で、まず上昇をはじめ。下流の水温も、上流の水温を追って上昇し、融雪最盛期には、夜間の気温が0°Cを下まわるにもかかわらず、3°C前後に達する。以下、順を追って、各時期の水温、地温等の説明をする。

1. 冬期の水温

冬期間、観測流域は2mを越える積雪に被われる。第1図に示した川の下流P4~P9を除くほとんどの川も又、2m以上の積雪に被われ、川水は雪の下を流れる。川の水面と雪の天井とのすき間は数cm~10cm程度である¹¹⁾。この流域の冬期流出高は0.9~0.6 mm/dayで、地面融雪量をやや上まわっている。雪の下を流れる川の水温を冬期間は地点Q, Q5, R1, S1, P2等



第7図 冬期川水温及び湧水水温分布

(第1図)の数地点で測定した。厳冬期の2月から融雪期直前の4月初旬まで、川の水温はそれぞれの地点ではほぼ変わらず、 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ を保った。冬期の積雪下を流れる川水温は、地点Qの値を代表として、第3図にのせた。4月初旬の融雪期直前に調査した、流域全般の水温分布を第7図に示した。上述の如く冬期の川水温分布とみなすことができよう。 $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ の水温を示す支流が多く、所によっては 2°C を上回る支流もある。谷の向きによって日射量、気温等が異なるので暖候期に地温に差異が生じ、冬期の流出水温に影響を与える可能性がある。しかしながら今回の調査では、谷の向きと水温の相関はみられなかった。流量の極度に少ない川は、水温が 0°C に近かった。場所によって水温は異っても、それぞれの場所においては、水温は、ごく安定している。年による差も、みられない。その場所毎に、川に供給される水量、地下水脈が安定していて、地熱の供給とつり合っているせいであろう。川水温の成立を考える上で興味深い。なお第7図中で水温の下に一のあるデータは湧出水の水温を示す。

2. 融雪初期出水と水温の一時的低下

融雪期に入って、積雪の表面で融けた水は、当初積雪中に懸垂水となって保持されるだけで、地面に到達しない。数日してはじめて、川に出てくる。この頃から下流の方から川の上の水が割れたり、川を被っていた積雪(以後スノウ・ブリッジと呼ぶ)が川に落ちたりして、川が顔みせ出す。部分的に落下したスノウ・ブリッジが雪塊となって流れ出して、下流のスノウ・ブリッジにひっかかり、川をせき止める。その結果、水位が上昇して、スノウ・ブリッジを川に落とす。このような時期に、流量は、融雪最盛期の $1/2\sim 1/3$ に過ぎないが、川の水位は、融雪最盛期をはるかに上まわる。山地河川でみられる融雪洪水の第1波である。第5図において、1976年の4月13日から16日にわたる初期の水位上昇が、この第1波融雪洪水である。

この時期の川の水温は、川の中で雪塊が融けるため、一時的ではあるが、冬期の水温を下まわる。特に下流に行く程、水温低下の期間は長くなる。地点P4では4月11日から15日まで、水温がほぼ 0°C になっている。上流部の川は幅が狭いため、スノウ・ブリッジは下流に比べて落ちにくい。水位の上昇する夕方前後には、水は川の上のスノウ・ブリッジの上を流れることもある。この時スノウ・ブリッジの下部は融かされ、川の水面上の空間は広くなる。水温は水位が上昇する夕刻前後一時的に 0°C 近くまで下がることもあるが、水位が下がる夜間には川水が雪天井を離れ、前日より少しずつ昇温する。第5図で4月11日から15日にかけての地点Qの水温に、この例がみられる。

3. 融雪期における地温の低下

第3図に示したように、冬の間、徐々に低下してきた1mの地温は、3月上旬に入り、約 3°C に落付く。融雪が始まり、融雪水が地下に浸透を始めると、再び急降下を始め、10日間で約 1°C 下がる。その後1m地温は融雪期を通じて、20日間で 0.1°C 程度のごくゆるい下降をつけ、地面の雪が消える頃、5月中旬に年間の最低温度、約 2°C となる。

4. 湧出水の水温

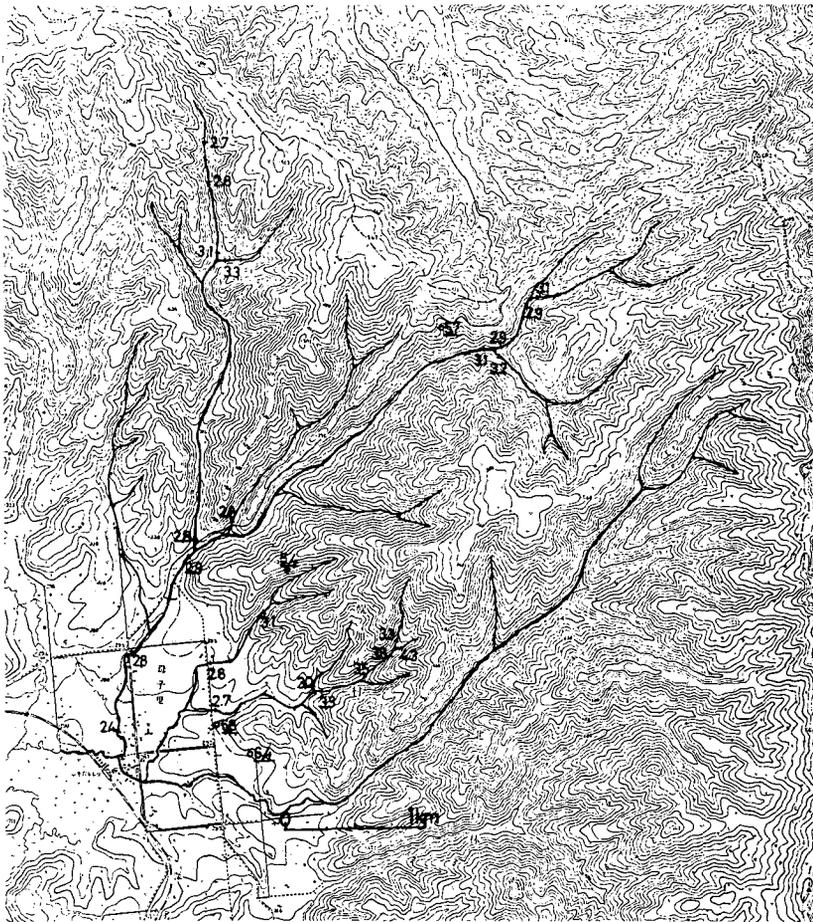
湧出量が 0.1 l/sec 程度以下の小さな湧出口においては、冬期の湧出水温は $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ あるいはそれ以下に下がる。表層地温の低下の影響を強く受けるためであろう。湧出量が 1 l/sec 程度の湧出口においては、冬期間も水温が $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ にしか下がらない。

融雪がはじまると、いずれの湧出口においても湧出量が増大し、4~5日間で水温も5.5~6.5°Cまで上がる(第3, 5, 6図)。その後融雪期を通じて、湧水温はほとんど変わらない。湧出量は、川の流量と同じように、融雪量に応じて、日変動を示すが、湧出量最大時に0.4°C程水温が下がるだけである。

5. 上流の積雪下の融雪期における川水温

融雪が進み、4月下旬に至ってもなお、上流の川は積雪の下にある。積雪を1m程掘ってみると、雪のトンネルの中を川は音をたてて流れている。この川水は、冬期にも第7図に示した如く、暖かい。融雪出水がはじまると、なお水温は上昇する。冬期には1~2.6°Cと、場所によって異った水温も、融雪中期の4月下旬には3°C前後になる。1976年の4月20~22日にかけての水温分布測定例を第8図に示す。他の年も水温分布は変わらない。

積雪下を流れる川も夕刻には流量を増し、昼前の日最低流量の2倍程度となるが、水温は0.5°C程低下するだけである。融雪量が多い日は、水温の一時的低下量は、やや大きくなるが、その翌日は、前日の最高水温を必ず上まわる。第5, 6図に示したように、水温は、日射を通



第8図 融雪期に積雪下を流れる川の水温分布

さない積雪の下で、あまり日変化せずに、徐々に日々上昇する。外気の影響もほとんどうけない。夜間にも水温は上昇を続けるが、夜間の気温は、ほぼ 0°C を下まわり、水温よりはるかに低い。

積雪下を流れる川の昇温は、 0°C の融雪水の大部分が地下にもぐって地熱によって暖められて流出するためとしか考えようがない。

6. 下流 P4 地点の融雪期における川水温

積雪下を出た川水は、日射をうけると急激に暖まる。第5, 6図で示したように、晴天が続くと、P4 地点の水温は規則的な日変化をしながら、徐々に上昇していく。日変化の様子は次のようになっている。朝、日出と共に水温は、顕著な上昇をはじめ、日射の最大となる12時前後には、 $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ の日最高値に達し、夕刻18時前後に $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ の日最低値となる。夜間の水温は、ほぼ横ばいか、やや上昇気味となる。

日中の水温の上昇は、11時前後に川の水量が最小となって、日射で暖まり易くなるためである。夕刻の水温低下は日射の減少と、流量の増加で、川水が暖まりにくくなるためである。融雪期前半においては、夕刻流量の増加時に水温の落込みが目立つ。この水温の落ち込みは、川の水位が上昇して、流路へ、岸の雪が落下したり、上流部でスノウ・ブリッジの下部を川水が浸す場合におこる。 0°C の融雪水の直接流出が原因で、川の水温が極度に低下するわけではない。このことは、夜間に流量が減少を続けても、水温があまり変化しないことからもうかがえる。流量と水温の関係については、第V章で検討を加える。

7. 河床地温と川の水温

川の水は、水面を通しての熱交換の他に、川底を通して、河床との熱交換を行う。融雪期にP4 地点の水温が上流のそれよりも、遅れて昇温する原因の一つとして、冬の間冷却した河床に熱をとられている可能性が考えられる。そこでP4 地点において河床の0.5 m及び1 m深において、地温の測定を行った。1 m深の河床の地温は、秋から冬にかけて、川の水温に遅れて、通常の場合の1 m深地温より $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$ 高い状態で、ほぼ平行に下降した。3月中旬に、河床の地温は、約 3.5°C の年最低値に達した。この時期の川の水温は 0.3°C であった。3月下旬に入って、川の氷が無くなると河床地温は、川の水温に先がけて、上昇に転じ、4月上旬には 5°C に達した。0.5 mの河床地温も水温の変動に影響されながらも、川水温よりやや高い状態で、経過した。よって融雪中期までは河床から川にわずかに熱が流れていたことになる。しかしながら河床の昇温が、日射によるものか、地下水の河床への滲出によるものかはわからない。

IV. 雨竜川源頭部と他流域との融雪期水温の比較

雨竜川源頭部で観測された融雪期の 0°C より高い川水温は、雨竜川源頭部だけの水理地質によるものか、もう少し一般性をもつものかを確かめる必要がある。この目的で、札幌近郊の盤渓と山形県の釜淵（林業試験場東北支場山形分場）において、融雪期に川及び湧出水の水温測定を行った。結果を第1表に示す。参考のために年平均の気温、地温等を併記した。

融雪流出水の水温は、 0°C よりはいずれもかなり高いことがわかる。水温測定は、気温が

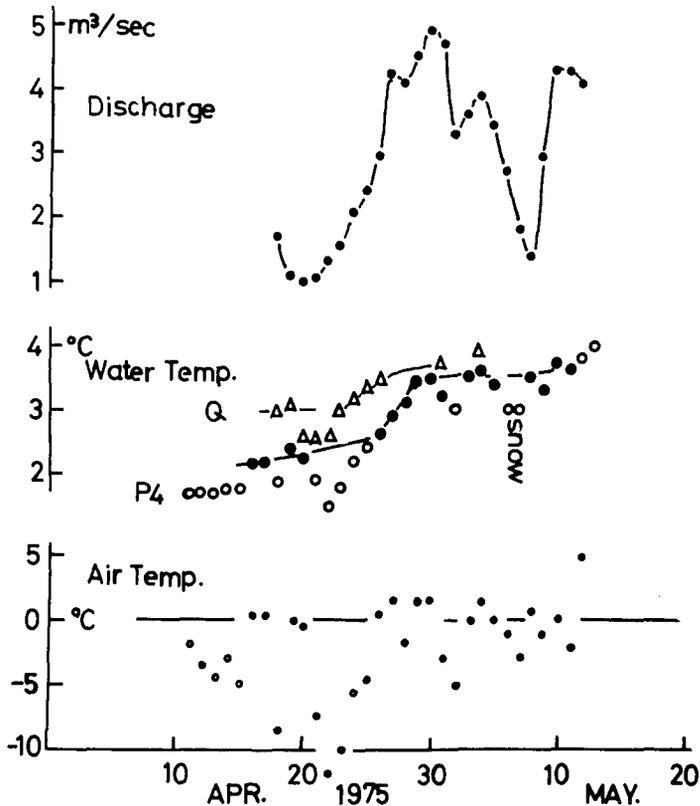
第1表 流域別の融雪期川水温度

	北 緯	海 抜	年 平 均		融 雪 期	
			気 温	地 温	湧 水 温	川 水 温
母 子 里	44°22'	290~600 m	3°C	7°C	6°C	3°C
盤 溪	43°02'	250~300	6	(8)	7.5	4
釜 淵	38°56'	160~240	10.5	11	8~9	4~6

水温より低く、日射で暖められていない早朝に行ったので、表示した水温は、川本来の水温の下限を示すと考えてよい。

流域に入る融雪水は、流域が異っても同じ0°Cである。気象条件の影響の少ない源流部での融雪期の川水温と地温を考慮すれば、その流域の水理地質を解明する手がかりが得られるはずである。

釜淵の川水温の4°Cの値は、傾斜が35°前後の試験流域の値である。傾斜のゆるい本沢の水温は、これより高い6°C前後である。札幌近郊の盤溪の観測流域は20°弱の傾斜をもつ。傾斜の急な釜淵の試験流域では、融雪水の浸透が、北海道の観測流域に比べて浅い。このため、両者の流出水温の差は、地温の差に比べて小さくなったものであろう。



第9図 地点P4における午前4時の水温、流量、気温及び上流水温の関係

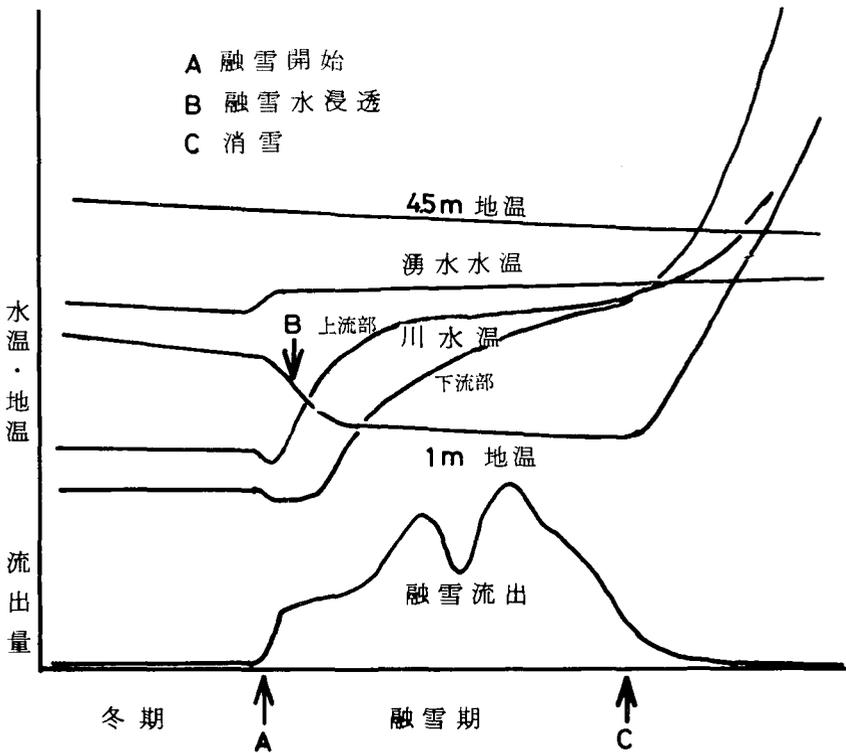
V. 融雪流出水の水温形成と流出機構

雨竜川源頭部の観測流域末端の P4 地点における日出前の午前 4 時の川水温、流量、気温を比較した例を、第 9 図に示す。上流 Q の水温もあわせてのせた。図に示した例は、1975 年の 4 月中旬から 5 月上旬の融雪最盛期の場合であるが、他の年 (1973~1977 年) も事情は大体同じである。流域の最上流部からの河道流下時間は、60~120 分である。朝 4 時の P 地点の水は夜半過ぎに川に出た水である。5 月上旬までの夜間の気温は、常に川水温より低い。

流量が多いためと、河道流下時間が短いために夜間の川水からの比放熱量は少ない。気温が -2°C までの時は P4 地点の水温は川本来の水温よりやや低いものの、非常に近いものとうけとれる。このような夜間気温の時の川水温を線で結ぶと (第 9 図) 2°C から 3.6°C まで、なめらかに上昇して、上流の川水温に漸近していることがわかる。この期間の流量は、 $1\text{ m}^3/\text{s}$ から $5\text{ m}^3/\text{s}$ まで、5 倍も変動しているが、流量の増減による水温の変動はみられない。

もし表層流出が、融雪流出の大半を占めるとすれば、川の水温と流出量の間にもっと顕著な相関がみられるはずである。

ここで、今までの記述の要約のために、融雪期を中心とした、地温、湧出水温、日出前の川水温、流出量等の推移の概略を第 10 図にまとめた。積雪下を流れる上流の水温を追って、下流の水温も流出量の増減と関係なく上昇を続ける。融雪が進行すると、1~2 m の浅層の地温は、川の水温を下まわるが 3~4 m より深い地温は、なお川の水温を上まわっている。融雪水



第 10 図 融雪期の地温、湧出水温、川水温、流出量の概略図

の大部分は、平均して、地下3~4 mまで滲透しながら暖められた後、既存の安定した地下水路網を通して、あまり冷却せず川に流出するものと考えてよい。どの程度の深さまで融雪水がもぐるかは別として、他の調査流域でも、融雪流出時には、地下流出が卓越しているといえる。

融雪流出時に川の水温が上昇するのと対称的に、夏期の100~200 mm/dayまでの雨による増水時の川水温の低下を、雨竜川源流部で、観測した。水温は10°C前後の2~3 m地温相当まで低下した。川の水温からは、融雪出水時にも雨の増水時にも、同じような深さまで水が滲透し、同じ地下水路網を通して流出するものと考えられる。

今回の観測を行うにあたり、北大雨竜地方演習林の三好技官、氏家林長をはじめ、同演習林の多くの方々にお世話になった。又林業試験場山形分場の小島場長、小野技官他の方々にもお世話になると同時に、同分場の設備並びに貴重な資料を使わせていただいた。あわせて感謝する。この研究の一部は文部省科学研究費によった。

文 献

- 1) 渋谷洪衛・小笠原和夫他 1957 野川水温の実態. 河川水温調査資料第1号, 山形県, pp. 140.
- 2) 小笠原和夫 1969 山と水の自然. 古今書院, 195-201.
- 3) 新井 正・古藤田一雄・立石由巳・西沢利栄・羽田野孝通・本多 修 1964 融雪期の河川水温について. 水温の研究, **7**, 278-283.
- 4) 西沢利栄 1965 融雪期の河川水温. 水温の研究, **9**, 661-665.
- 5) 西沢利栄 1971 融雪期の河川水温. 東教大地理研究報告, **15**, 163-168.
- 6) 新井 正・西沢利栄 1974 水温論. 共立出版, pp. 297.
- 7) 小林大二・小島賢治・油川英明・石川信敬 1974 融雪期における河川源流域の水温 I. 低温科学, 物理篇, **32**, 279-282.
- 8) 小林大二・植松孝彦 1975 融雪期における河川源流域の水温 II. 低温科学, 物理篇,
- 9) 小林大二・植松孝彦 1976 融雪期における河川源流域の水温. 水温の研究, **20-4**, 18-23.
- 10) 小林大二・成瀬廉二・大浦浩文 1968 母子里における融雪量と流出量. 低温科学, 物理篇, **26**, 105-111.
- 11) 植松孝彦 1977 冬期の雪におおわれ小川川の熱収支. 北大大学院理学研究科修士論文 (未印刷).

Summary

It was believed until the present investigation, that a surface runoff prevailed in the snow-melt period and temperatures of streams were close to 0°C. However, the author found that the temperatures of discharged water in the period were fairly high, 3 or 5°C in the source areas of the snow-rich basin, whereby they concluded that subsurface runoff prevailed in the period.

The observed basin, located in the northern part of Hokkaido island, Japan, has an area of 11 km² and the elevation above sea level ranges from 290 to 610 m. The basin is one of the coldest regions in this country and the daily minimum air temperature in winter sometimes goes down to -35 or -40°C. The mean annual air temperature is 3.5°C and the air temperatures in the snowmelt period from mid-April to mid-May range between -10 and 15°C. The daily amount of snowmelt is 1 or 4 cm-water and the peak discharge at the outlet of

the basin reaches 2 or 6 m³/s. While the daily peak of snowmelt takes place nearly at noon when the solar radiation is maximum, the peak discharge is delayed by 5 or 7 hours at the outlet and by 4 or 6 hours upstream in the source areas.

The whole basin is covered with snow 1 or 2 m deep even in the end of April, in particular most parts of the upper streams were covered with snow thick enough to insulate discharged water from external heat sources. The distance of a course free from snow in the only main stream of the basin 1.5 km upstream from the outlet and the stream temperature at the outlet showed a diurnal rhythm which ranged from 2 or 3°C at night to 5 or 6°C at noon. At the upper streams under the snowcover, the amount of discharge showed a diurnal change analogous to that of the outlet of the basin; however, the temperature of the streams remained nearly constant around 3°C. This means that the increase of discharged meltwater does not decrease so much the temperature of discharged water. The water temperatures of springs in the basin remained also nearly constant at 5 or 6°C in the melt period though the amount of discharge showed a daily rhythm corresponding to the amount of average snowmelt.

The soil temperature of the surface layer dropped to near the annual low in the end of the snowmelt period and the temperatures at the depth of 1.5 and 3 m at that time were observed to be 3 and 5°C respectively. The mean annual temperature of soil at the depth of 4.5 m was about 7°C, higher by 3.5°C than that of air, whereas the annual variation of soil temperature ranged between 6 and 8°C.

The heat transfer from soil to meltwater during the melt period from 16 April to 15 May 1975 was roughly estimated as follows: The decrease of heat stored in soil before the snowmelt period is calculated to total about 300 cal/cm² using the data of temperature profiles; The meltwater of 75 g/cm² gains the heat of 220 cal/cm² to be warmed to about 3°C; At the bottom of the snowcover the heat of 120 cal/cm² is expended to melt snow of 1.5 g/cm².

The foregoing fact that the discharged water keeps nearly constant temperatures at fairly high values, 3 or 5°C, during the snowmelt period, proves that most parts of snowmelt water infiltrate into the ground and reappear in springs and streams at some distant points.