

宝川流域における融雪流出水の水質特性

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	志水, 俊夫 坪山, 良夫
巻/号	72巻2号
掲載ページ	p. 171-174
発行年月	1990年3月

短 報

宝川流域における融雪流出水の水質特性*

志水俊夫**・坪山良夫**

I. はじめに

融雪期の流出予測は、水資源としての積雪の活用および融雪洪水の災害防止などにとって重要な課題である。なかでも融雪流出過程の解明は大きな問題として残されている。最近では、水質が河川水の履歴を示すという水文学的特徴を利用して、融雪期における流出成分の分離、流出過程の検討などが行われている(2~4, 6, 8)。

河川水中の溶存イオンは降水によって直接もたらされる風送塩起源のものと、降水が地層中の水みち、土壤中を流下する過程で岩石・土壌から溶出したものとの大別される。多くの溶存イオンは両者起源のイオンが混合して河川水に存在している。したがって、融雪期における河川水の履歴を水質により検討する場合、まず融雪流出水の溶存イオンを測定することにより、山地河川の水質の流出特性を知る必要がある。しかし、融雪期におけるこの種の調査・研究は測定条件が悪いこともあり非常に少ないのが現状である。

一方、風送塩起源と岩石・土壌起源の区別が明瞭なイオンは、流出成分分離のためのトレーサーとして適していることになる。しかし、融雪期に現地で溶存イオン濃度を連続的に測定するには、非常に困難がともなう。そのために測定が容易な電導度が広く利用されている(2, 3, 7, 8)が、この場合には、風送塩起源および岩石・土壌起源の溶存イオンを測定して電導度との関係を明らかにしておく必要がある。

そこで本研究では、融雪流出水ならびに積雪について、山地河川では測定例がきわめて少ない河川水質の主要なイオン(I)を測定することにより、融雪期における山地河川の水質流出特性を明らかにするとともに、それら溶存イオン濃度と電導度および流量の相互関係から、電導度が河川水の流出経路を知る手がかりを与えるものかどうかを検討した。

II. 対象流域の概況

本研究で対象とした流域は、森林総合研究所宝川森林理水試験地の本流、初沢、1号沢の各流域であり、

利根川上流域(基地露場:東経139°01',北緯36°51',標高816m)に位置し、全地域は本流、初沢の大小2流域に分けられ、初沢流域の一部に1号沢流域が含まれる。図-1に位置および地質図を示した。

本流流域は面積1,905.66ha、標高800~1,945m、平均傾斜24°05',平均方位ESEである。初沢流域は面積117.90ha、標高800~1,370m、平均傾斜24°45',平均方位SSWである。1号沢流域は面積6.48ha、標高806~1,075m、平均傾斜36°24',平均方位Sである。

地質は図-1に示したように、主として花崗岩類、御坂層といわれる第三紀層、これらをつらぬく種々の小貫入岩および第四紀層よりなっている(9)。また、この流域で出現するおもな土壌は褐色森林土と乾性ポドゾルで露岩地も点在している。植生はブナ、ナラ、カエデ、ホオノキなどの広葉樹、ヒバ、ヒメコマツ、スギ、カラマツなどの針葉樹からなり、本流流域上部は樹木限界(高度約1,500m)以上で無立木地帯がある。

当地域は表日本側にあるが、関東地方最北西端の本州脊梁山地で、太平洋岸より約150km、日本海岸より約70kmの高度600~2,000mに達する区域で、冬期間は裏日本型山岳気候となる。基地露場における年平均気温は8.3°C、年平均降水量は2,134mmであり、積雪は平均して11月下旬に始まり4月下旬に終わるが、5月初旬に及ぶ年もある。根雪の期間は平均して12月初旬から4月下旬である。

III. 測定方法

河川流量は各流域下端の量水施設において水研62式自記水位計により測定している。河川水の溶存イオン濃度の測定には、本流、初沢、1号沢の各流域で観測・点検時ごとに採取した水を使用した。また積雪については採取した雪をとかした水を、降雨についてはポリ容器で集水した一降雨ごとの雨水を用いた。なお、採水測定を行ったのは1987年3~7月である。

化学分析の測定項目は河川水の主要な水質成分と考えられているものを取り上げた。分析・測定方法はpH:ガラス電極法、電導度(EC):白金黒電極法、K⁺・

* Toshio SHIMIZU, and Yoshio TSUBOYAMA: Water quality of snowmelt runoff in TAKARAGAWA experimental watersheds

** 森林総合研究所 For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305

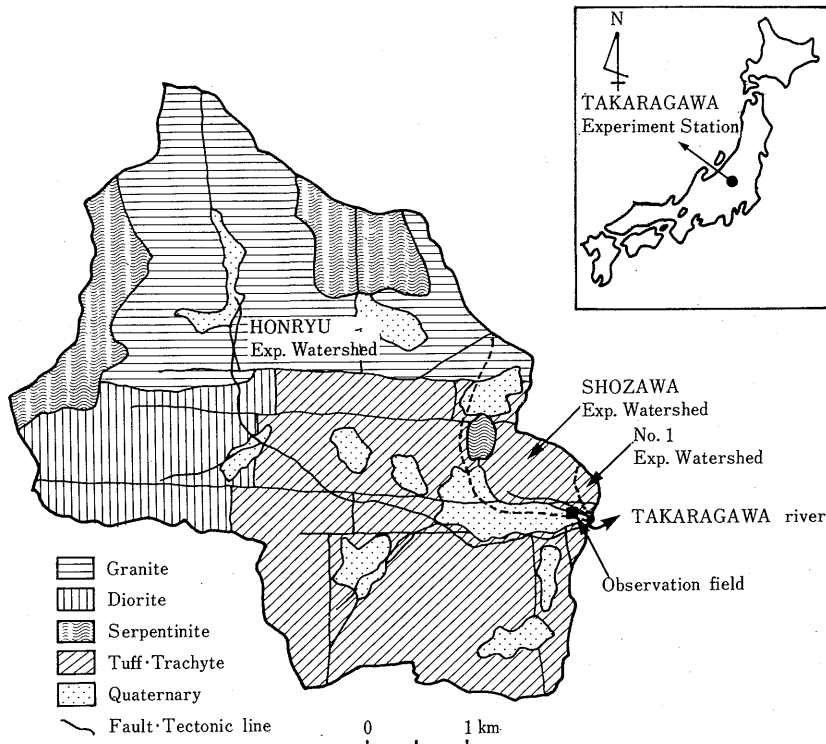


図-1. 宝川森林理水試験地の位置および地質図
Location and geological map of TAKARAGAWA experimental watershed

$\text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$: 原子吸光法, $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$: イオンクロマト法, HCO_3^- : pH 4.8 滴定法, $\text{NO}_3^- \cdot \text{N} \cdot \text{SiO}_2$: 比色法である。

IV. 結果および考察

一般に岩石・土壌起源のイオンの濃度と種類は水と土との接触時間と接触面積(5), 地質および地層中のイオン分布特性に関係している。また風送塩起源のイオンの濃度と種類は海からの距離と気候特性および人為的原因が関係している。しかし, これらの相互関係は現在のところ化学的に十分明らかになっていない。

これまでの研究結果(1)をみると, 人為的影響のない山地流域の自然河川においては, 主として岩石や土壌に由来すると考えられているイオンとして, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , 溶解物質として SiO_2 があり, 風送塩起源である場合が多いものには Na^+ , Cl^- がある。

表-1は河川水および積雪・降雨の水質分析結果と採水時の流量を示したものである。同表より, まず流域への水質の収入となる積雪を融解した水および雨水のイオン濃度をみる。ここで3月10日の積雪の試料は,

採取時まで降り積もった新雪(3月1~9日水高換算で120mmの降雪)であり, それ以後の積雪の試料は, 降雪が見られなくなった時期において積雪の中間層から採取したものである。

新雪のイオン濃度のうち Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} の値が他とくらべて大きい値となっているが, これは風送塩によるものであると考えられる。また, 新雪に比較して積雪のイオン濃度が全般に低い値となっているが, これは積雪中での溶存物質の移動と関連していると推察される。しかし, その機構については明らかになっていない。いずれにしても, 積雪・降雨水のイオン濃度は河川水のイオン濃度とくらべて, その値は非常に小さく, 宝川流域では風送塩の影響はほとんどないことが理解される。

図-2はおもな溶存イオン濃度と比流量との関係を示したもので, 同図により流域からの流出水の水質特性をみると, 1号沢, 初沢, 本流いずれの流域も岩石・土壌起源の HCO_3^- , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (硬度) の各イオンおよび溶解物質の SiO_2 は, 濃度も高く流量との相関は非常に強い。しかも流量の増加とともにイオン濃度が低

表-1. 水質分析結果と採水時の流量(1987年融雪期)

Water quality analysis and discharge at sampling time (The snowmelt period in 1987)

Site and item	Date	Time	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	D-SiO ₂ (mg/l)	Discharge (l/s)	Specific discharge (l/s/ha)
No.1	3/10	12:55	7.28	54	0.30	2.79	3.78	0.74	1.56	6.28	10.03	0.15	4.06	0.492	0.076
	4/9	16:00	7.04	28	0.30	2.05	1.99	0.52	1.03	3.35	5.64	0.14	3.10	11.383	1.756
	4/10	9:50	6.97	27	0.28	1.95	2.09	0.52	0.83	3.66	5.54	0.15	3.00	10.915	1.684
	4/22	15:15	7.33	39	0.33	2.17	3.37	0.83	1.47	5.78	8.66	0.13	8.44	3.371	0.520
	4/23	9:45	7.37	41	0.29	2.31	3.93	0.83	1.47	6.62	7.51	0.18	8.88	2.804	0.433
	5/8	10:50	7.25	64	0.18	5.20	5.01	1.10	1.44	9.31	15.81	0.10	8.77	0.492	0.076
	6/16	17:05	7.13	71	0.44	4.27	10.11	1.40	1.13	10.79	17.58	0.08	10.97	0.112	0.017
	7/14	16:00	7.15	73	0.48	4.59	10.35	1.36	0.99	9.48	21.22	0.07	10.91	0.028	0.004
SHOZAWA	3/10	12:55	7.22	41	0.23	2.39	2.58	1.60	1.75	4.29	10.65	0.16	2.87	16.50	0.140
	4/9	16:00	6.99	23	0.17	1.21	1.59	1.14	0.58	2.30	6.58	0.09	1.99	431.27	3.660
	4/10	9:50	7.09	25	0.21	1.38	1.69	1.14	0.49	2.41	6.79	0.09	1.83	275.66	2.340
	4/22	15:15	6.94	16	0.20	0.76	1.12	1.02	0.96	1.96	4.89	0.10	3.04	582.60	4.940
	4/23	9:45	7.15	24	0.25	1.23	1.41	1.10	0.98	2.42	6.68	0.11	4.61	152.55	1.290
	5/8	10:50	6.96	26	0.10	1.99	1.46	1.16	0.93	2.97	8.32	0.07	3.71	44.51	0.380
	6/16	17:00	7.13	53	0.48	2.31	3.63	2.30	0.72	5.14	13.54	0.06	7.22	3.84	0.030
	7/14	15:55	7.23	50	0.49	2.58	3.47	2.12	1.71	3.83	17.79	0.08	7.17	5.40	0.050
HONRYU	3/10	13:10	7.13	40	0.23	1.75	2.19	2.12	1.29	7.23	7.62	0.22	3.04	129	0.070
	4/9	16:20	6.87	22	0.20	1.34	1.09	1.16	0.73	2.72	4.18	0.25	1.76	6339	3.330
	4/10	10:00	6.86	23	0.19	1.28	1.09	1.10	0.75	2.62	4.39	0.25	1.75	5815	3.050
	4/22	15:45	6.79	17	0.21	0.80	0.84	0.97	0.96	1.89	3.44	0.23	3.28	15032	7.890
	4/23	9:10	6.91	19	0.21	0.94	0.56	0.90	0.94	2.10	3.75	0.28	4.07	8739	4.590
	5/8	11:50	6.75	18	0.03	1.48	0.71	0.92	1.06	2.28	4.99	0.15	4.03	5678	2.980
	6/16	16:45	6.62	15	0.13	0.99	1.15	0.80	0.61	2.12	4.24	0.06	3.58	2104	1.100
	7/14	17:00	6.86	24	0.26	1.18	1.93	1.43	0.43	3.73	5.46	0.09	5.75	1075	0.560
Snowpack	3/10		5.52	14	0.27	1.78	0.50	0.26	2.33	2.30	1.04	0.14	0.01		
	4/9		5.02	10	0.12	0.54	0.10	0.08	0.18	0.73	0.63	0.04	0.02		
	4/10		5.11	12	0.13	0.61	0.12	0.10	0.20	0.84	0.63	0.05	0.01		
	4/22		5.09	9	0.16	0.51	0.28	0.14	0.96	0.74	0.42	0.10	0.01		
Rainfall	7/14		5.07	7	0.09	0.51	0.30	0.04	0.03	0.91	0.81	0.09	0.07		
	9/10		5.21	10	0.07	0.02	0.28	0.32	0.21	0.34	0.84	0.36	0.02		

下していることがわかる。なお、流量が小さい時、本流のイオン濃度(とくにHCO₃⁻のイオン濃度)が他の流域とくらべて低い傾向にあり、これは流域の特徴と考えられるが、流域の地質・土壌と河川水のイオン濃度との関係は明瞭ではない。この点については今後さらに調査検討すべき課題である。これに対して、風送塩起源のNa⁺は流量とある程度の相関があるが濃度は低い。またCl⁻は濃度が低く、しかも流量との相関はほとんどないといえる。また、その他の水質項目を表-1でみると、SO₄²⁻は比較的濃度が高く、流量との相関があるが、K⁺、NO₃-Nはいずれも濃度が非常に低く、流量との相関もほとんどないことが認められる。

なお、1号沢、初沢流域の7月14日の河川水試料は、流域内に積雪の見られない無積雪期のデータに相当する

ものであるが、融雪流出時の試料とは採水時の河川流量が異なり、また試料数も少ないので厳密な比較はできない。したがって、融雪期の水質特性を無積雪期との比較のうえでよりいっそう明確にするには、夏季の増水時など無積雪期の水質データをさらに収集する必要がある。

これまでの結果から、融雪期における宝川流域では、雪・雨によりもたらされる風送塩起源のイオンは少なく、岩石・土壌起源のイオンが卓越しており、流量増加時にはイオン濃度の低い融雪水により希釈されて河川水のイオン濃度が低下することは明らかである。

したがって、流量と相関の高い岩石・土壌起源の河川水イオン、たとえばHCO₃⁻をトレーサーとして経時的に測定することにより、河川水の流出成分の分離は可能となる。しかし、先にも述べたように現地での

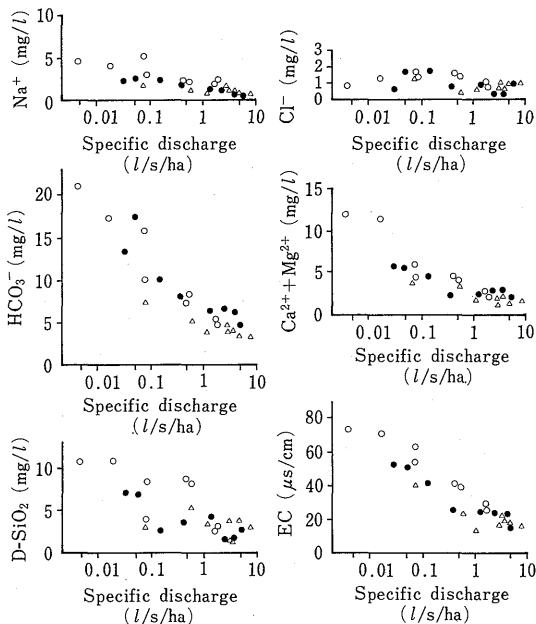


図-2. 溶存イオン濃度・電導度と比流量との関係
Relation between ion concentration, electrical conductance and specific discharge

○, No. 1 Exp. Watershed; ●, SHOZAWA Exp. Watershed; △, HONRYU Exp. Watershed.

長期間サンプリングにより溶存イオン濃度を測定することは非常に困難がともなう。

一方、電導度は溶存しているイオンの量と各イオンの電気を運ぶ速さによって規定されるため、厳密に言えば電導度は溶存イオンの量を示さないが、溶存イオン濃度のめやすとすることは可能であると考えられる。いま測定が容易な電導度と流量との関係をみると、図-2の中に示されるように両者は密接な相関関係にあることがわかる。すなわち、この関係より電導度をトレーサーとして使用できることは明らかで、現地では電導度を自記測定する方法が、水質を融雪期の流出解析に利用するうえで都合であるといえる。

しかし、この場合、流出成分分離のトレーサーとしての電導度の位置づけを明確にするために、電導度と溶存イオン濃度との関係を明らかにしておく必要がある。そこで図-2において溶存イオン濃度と流量、電導度と流量の関係を相互に比較すると、電導度は雪・雨による風送塩起源の Na^+ , Cl^- の各イオンにくらべて、岩石・土壌起源の HCO_3^- , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の各イオンとの相関が非常に高いことが理解される。

したがって、宝川流域においては、岩石・土壌起源のイオンとの相関が非常に高い電導度をトレーサーと

して、融雪期の流出ハイドログラフを各種の流出成分に分離することは可能であると考えられる。

V. おわりに

本研究では、利根川上流水源地域の宝川流域において、融雪期間における流量の観測と河川水の水質を測定することにより、融雪流出水の水質特性を検討した。

その結果、宝川流域における融雪流出水は雪・雨によりもたらされる風送塩起源の Na^+ , Cl^- の各イオン濃度は低く、流量との相関はほとんどない。これにくらべ、岩石・土壌起源の HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} などは、イオン濃度も高く、流量との相関は非常に強い。また流量増加時にはイオン濃度の低い融雪水により希釈されて河川水のイオン濃度は低下することがわかった。

さらに流量とトレーサーとしてのイオン濃度および電導度との相互関係から、電導度を利用することにより河川水の流出成分の分離と流出過程の検討が可能であることが示された。

なお、本研究を進めるにあたり、現地調査にご援助をいただいた元宝川試験地主任吉野昭一氏、さらに森林総合研究所の藤枝基久、菊谷昭雄の各氏に深甚の謝意を表する次第である。

引用文献

- (1) 半谷高久：水質調査法、399pp、丸善、東京、1960
- (2) 小林大二・本山秀明：融雪流出過程 I. 低温科学物理編 44: 77~90, 1985
- (3) 小池俊雄・高橋 裕・吉野昭一：電気電導度を用いた融雪流出過程の検討、第30回水理講演会論文集：25~30, 1986
- (4) MARTINEC, J.: Subsurface flow from snowmelt traced by tritium. *Water Resour. Res.* 11: 496~498, 1975
- (5) PILGRIM, D. H., HUFF, D. D., and STEELE, T. D.: Use of specific conductance and contact time relations for separating flow components in storm runoff. *Water Resour. Res.* 15: 329~339, 1979
- (6) 坂本 康・竹内邦良：融雪流出水水質の特徴と流出解析への利用についての基礎的検討、第29回水理講演会論文集：143~148, 1985
- (7) 志水俊夫・藤枝基久・吉野昭一：融雪期における河川水質の変動特性、98回日林論：561~564, 1987
- (8) 鈴木啓助・小林大二：森林小流域における融雪流出の形成機構、*地理学評論* 60 (Ser. A)-11: 707~724, 1987
- (9) 東京営林局：宝川森林治水試験報告、33~39、東京営林局、東京、1943

(1989年8月16日受理)