

## 河川源流部の水質と空中塩分との関係

著者	井上 奉生
出版者	法政大学教養部
雑誌名	法政大学教養部紀要. 自然科学編
巻	68
ページ	11-28
発行年	1989-01
URL	<a href="http://doi.org/10.15002/00005154">http://doi.org/10.15002/00005154</a>

法政大学教養部紀要  
No. 68, 1989

## 河川源流部の水質と空中塩分との関係

井上 奉生

### 1. 目的

大気中には、気体成分の他に様々な微粒子状物質が浮遊しており、それらは一般に空中塩分、風送塩あるいはエアロゾル等と呼ばれている。またこの微粒子状物質は、それ自体直接的に、あるいは降水中に溶け地表に降下し、各種陸水の成分となる。したがって、空中塩分の降下のあり方はその地域の陸水の水質を論ずる上で重要な意味をもつことはいうまでもない。

一般的に、河川の水質は、前述した空中塩分をはじめとし、岩石、土壌、温泉、火山、動・植物による有機物質等の自然的因子と都市活動や各種産業活動等の人為活動による因子とに大別される。なお空中塩分自体の起源についても海塩に由来するもの、火山噴出物、土壌等の舞いあがったもの等の自然的因子と石油その他の燃焼産物のような人為的因子が考えられる。これらのうち河川の中・下流域の水質は都市活動、産業活動等の人為的因子による影響が大きいと考えられるが、上流域、特に河川源流部では自然的因子あるいは「空中塩分」の影響が大きいと推定される。

本研究は、比較的人為活動が緩慢と考えられる秋田県北部の米代川水系・阿仁川支流の小又川流域（266, 8km<sup>2</sup>）において空中塩分の降下量およびその河川水質に与える影響について若干の考察を行ったものである。

### 2. 調査方法

空中より地表に降下してくる物質を採取するために、細口のポリエチレン製ビン（1ℓ用）に直径90mmのポリエチレン製ロートをゴム栓で結びつけた装置を使用し、これを一定期間各地点に設置した。採取地点は流域最下流の阿仁前田から最上流域に位置する土沢までの計16地点である（図1）。この装置で採取されたものには雨水そのものの成分と空中塩分が雨水に捕捉されて降下したものの（rainout, washout）はもちろん、降水が無くとも大気から各種成分が直

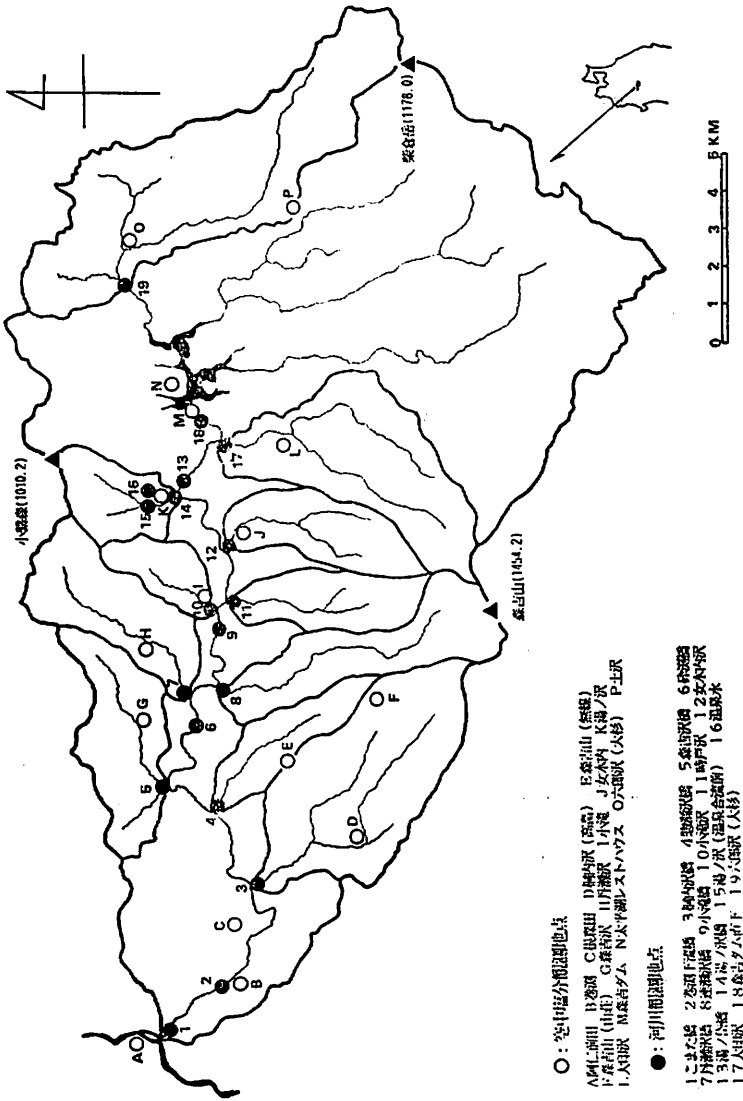


図 1 観測地点位置図

接地表に降下したもの (dry fallout) も含まれている。

設置期間は1987年7月22日～8月3日 (一部の地点では8月5日および10日まで) までの期間である。なお装置設置に際しては、可能な限り樹木のない平坦地を選定した。これは樹木との衝突および葉等による除去効果が大いと考えられるからである (菅原・半谷:1950, 後藤:1966)。また地表からのね返りが無いように地表約1.5m以上の高さに設置した。

分析項目は雨水の主成分であり、かつ循環塩と考えられる  $Cl^-$  をはじめ  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  および  $SO_4^{2-}$  の6項目である。分析法は次のとおりである。

$Cl^-$ : チオシアン酸第二水銀比色法

$Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ : 原子吸光分析法

$SO_4^{2-}$ : クロム酸バリウム比色法

河川水質については本川6地点, 支川11地点 (他に温泉水等参考地点10地点) について分析した。支川 (沢) では本川合流直前で流量観測等の現地観測を実施し採水を行った。観測日は, 空中塩分採取装置回収日の8月10日に実施した。分析法は空中塩分と同様である。

### 3. 調査結果

#### 3-1 空中塩分の降下量分布

小又川流域内での空中塩分の各成分について, その濃度および各地点における標高, 降水量等を整理し表1に示した。

各成分濃度をみると,  $Cl^-$  は  $0.09 \sim 0.72 \text{ mg/l}$  の間にあり, 流域平均は  $0.36 \text{ mg/l}$  である。最大値の  $0.72 \text{ mg/l}$  は森吉ダムの値であり他の地点の値と比較して注目される。最小値の  $0.09 \text{ mg/l}$  は流域最上流部の土沢, 六郎沢の値である。 $SO_4^{2-}$  は  $0.54 \sim 2.60 \text{ mg/l}$  の間にあり, 平均  $1.5 \text{ mg/l}$  となっている。総じてみるならば下流域の値が大きいが, 女木内, 森吉山 (山荘) 両地点の  $2.60, 2.50 \text{ mg/l}$  が注目される。 $Na^+$  は  $0.12 \sim 0.45 \text{ mg/l}$  で平均  $0.34 \text{ mg/l}$  となっているが, 下流域にその値は大きく, 上流域では小さい。以下,  $K^+$  は  $Tr \sim 0.52$  で平均  $0.08 \text{ mg/l}$ ,  $Ca^{2+}$  は  $0.06 \sim 0.14$  で平均  $0.09 \text{ mg/l}$ ,  $Mg^{2+}$  は  $0.02 \sim 0.12$  で平均  $0.07 \text{ mg/l}$  となっている。

比較参考として日本各地における降水の平均化学組成を表2に示す。

今回の値をこの平均値と比較してみると  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  で約33%,  $Na^+$ ,  $K^+$  で約30%,  $Ca^{2+}$  で約10%,  $Mg^{2+}$  で約20%となっている。すなわち全項目とも小さな値となっている。このことは当流域が内陸部に位置していることと関係が

表1 空中塩分定点観測結果

	観測地点	標高 (m)	採取期間	降水量 (cm)	濃 度 (mg/l)					備 考	
					Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>
A	阿 仁 前 田	70	1987 7.22~8.3	131.6	0.37	1.90	0.45	0.02	0.11	0.08	神 積 平 野
B	巻 湖	80	"	154.1	0.42	1.70	0.40	Tr	0.10	0.06	本 川 谷 中
C	根 森 田	130	"	157.5	0.37	1.90	0.43	Tr	0.07	0.08	本 川 台 地 上
D	桐 内 沢	320	"	161.6	0.32	1.30	0.39	0.00	0.09	0.07	支 川 台 地 上
E	森 吉 山(無 線)	520	"	153.6	0.37	1.40	0.39	Tr	0.14	0.06	山 岳 尾 根
F	森 吉 山(山 荘)	800	"	179.9	0.37	2.50	0.40	0.24	0.07	0.12	山 岳 尾 根
G	森 吉 沢	250	"	139.9	0.37	1.40	0.40	0.00	0.08	0.09	支 川 谷 中
H	丹 瀬 沢	250	"	135.2	0.42	1.70	0.32	0.00	0.09	0.06	支 川 谷 中
I	小 滝	230	"	137.6	0.23	1.40	0.36	0.00	0.07	0.10	本 川 谷 中
J	女 木 内	260	"	142.3	0.47	2.60	0.36	0.52	0.11	0.12	支 川 谷 中
K	湯 ノ 沢	290	"	169.5	0.37	1.40	0.35	0.02	0.07	0.10	支 川 谷 中
L	大 印 沢	420	"	138.8	0.37	1.40	0.28	0.00	0.09	0.05	支 川 台 地 上
M	森 吉 ダ ム	340	7.23~8.10	133.6	0.72	—	0.39	—	—	—	ダ ム 堰 堤
N	本 沢 湖 ハ ウ ス	430	7.23~8.5	143.4	0.15	0.82	0.17	0.04	0.07	0.05	広 い 尾 根
O	六 郎 沢 (大 杉)	400	"	142.0	0.09	0.54	0.17	0.00	0.09	0.02	上 流 谷 中
P	土 沢	570	"	114.0	0.09	0.64	0.12	Tr	0.06	0.03	山 岳 尾 根
平 均		—	—	145.9	0.36	1.51	0.34	0.08	0.09	0.07	—

表2 日本における降水の平均化学組成

成 分	濃 度 (mg/l)	成 分	濃 度 (mg/l)
Na <sup>+</sup>	1.1	K <sup>+</sup>	0.26
Ca <sup>2+</sup>	0.97	Mg <sup>2+</sup>	0.36
Cl <sup>-</sup>	1.1	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4.5

半谷・小倉：水質調査法、丸善（1985）

あるものと考えられる。海岸に近い地域での観測例ではきわめて高濃度の塩分が出現することが知られている。また、当流域の近接地域には人為的な多量のエアロゾル放出源が少ないことがあげられる。

表3 小又川流域における空中塩分の降水量

観測地点	観測日数	降水量 (mm)	Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>	
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
A 阿仁前田	12	837	48.68	4.06	250.00	20.83	59.21	4.93	2.63	0.22	14.47	1.21	10.53	0.88
B 巻	12	890	64.70	5.39	261.90	21.82	61.62	5.14	-	-	15.41	1.28	9.24	0.77
C 根森	12	1062	58.28	4.86	299.28	24.94	67.73	5.64	-	-	11.03	0.92	12.60	1.05
D 榑内沢(高畑)	12	1028	51.71	4.31	210.08	17.51	63.02	5.25	-	-	14.54	1.21	11.31	0.84
E 森吉山(高畑)	12	977	56.83	4.74	215.02	17.92	59.50	4.99	-	-	21.50	1.79	9.22	0.77
F 森吉山(山荘)	12	1144	66.54	5.54	449.59	37.47	71.95	5.99	43.16	3.60	12.59	1.05	21.58	1.80
G 森吉沢	12	890	51.77	4.31	195.87	16.32	55.96	4.66	-	-	11.19	0.93	12.59	1.05
H 丹瀬	12	860	56.78	4.73	229.83	19.15	43.26	3.61	-	-	12.17	1.01	8.11	0.68
I 小池	12	875	31.64	2.64	192.57	16.05	49.52	4.13	-	-	9.63	0.80	13.76	1.15
J 女木内	12	905	66.87	5.57	369.89	30.82	51.22	4.27	73.98	6.15	15.65	1.30	17.07	1.42
K 湯ノ沢	12	1078	62.70	5.23	237.25	19.77	59.81	4.98	3.40	0.28	11.85	0.99	16.95	1.41
L 大印沢	12	883	51.36	4.28	194.33	16.19	38.87	3.24	-	-	12.49	1.04	6.94	0.58
M 森吉沢	18	850	96.21	5.34	-	-	52.11	2.90	-	-	-	-	-	-
N 太平湖	13	912	21.50	1.65	143.37	11.03	24.37	1.87	5.73	0.44	10.04	0.77	7.17	0.55
O 六郎沢(大杉)	13	803	12.78	0.98	76.65	5.90	24.13	1.86	-	-	12.78	0.98	2.84	0.22
P 土沢	13	725	10.26	0.79	72.94	5.61	13.68	1.05	-	-	6.93	0.53	3.42	0.26
平均	-	928	52.52	3.28	220.28	14.69	49.60	3.10	11.67	1.06	13.13	0.88	10.21	0.68
期間中における流域内の総降水量	-	14,011	-	-	58,777	-	13,233	-	3,111	-	3,500	-	2,772	-

(a) : 期間中の降水量 (kg/km<sup>2</sup>/期間中) ※: 平均値は表1の平均より求めたものである。

(b) : 1日当りの降水量 (kg/km<sup>2</sup>/day)



図2 各成分ごとの等降水量線(㎎/㎥/day)

各地点における各成分ごとの期間中の降下量，1日当りの降下量の値を表3に示す。また図2は各成分ごとの等降下量線図である。

各成分の降下量をみると， $Cl^-$ は小又川の中・下流域および森吉山側にそれぞれ $5\text{ kg}/\text{km}^2/\text{day}$ 前後の降下量を見る。上流域の六郎沢，土沢等は $1\text{ kg}/\text{km}^2/\text{day}$ 以下と極めて少ない。 $Na^+$ も $Cl^-$ と同様に下流域および森吉山西側斜面に $4\sim 6\text{ kg}/\text{km}^2/\text{day}$ の降下量を示している。特に森吉山（山荘）の $5.99\text{ kg}/\text{km}^2/\text{day}$ は注目される値である。上流域では $2\text{ kg}/\text{km}^2/\text{day}$ 以下と少ない。 $SO_4^{2-}$ と $Ca^{2+}$ は降下量の違いはあるが（ $SO_4^{2-}$ ： $5.61\sim 37.47$ ， $Ca^{2+}$ ： $0.53\sim 1.79\text{ kg}/\text{km}^2/\text{day}$ ）同じ傾向にあり，森吉山側に多量に降下し，小又川上流域では少ない値を示す。 $Mg^{2+}$ の降下量は $0.22\sim 1.80\text{ kg}/\text{km}^2/\text{day}$ の間にあり量的には少ないが小又川本川の中流谷中部に $1\text{ kg}/\text{km}^2/\text{day}$ 以上の比較的高い値がみられる。 $K^+$ については全体的に微量であり，その地域差は認めたいが，中流域の女木内地点では $6\text{ kg}/\text{km}^2/\text{day}$ と突出して大きい値を示す。この女木内地点では他の成分も大きい値を示すことから注目される。

以上各成分の降下量のみてきたが，総じて各成分とも中・下流域および森吉山西側斜面に比較的多く降下し，小又川源流域ではその値は小さい傾向をもつ。

なお，期間中における流域内の各成分の総降下量は $Cl^-$ で， $14.01\text{ ton}$ ， $SO_4^{2-}$ で $58.77\text{ ton}$ ， $Na^+$ で $13.23\text{ ton}$ ， $K^+$ で $3.11\text{ ton}$ ， $Ca^{2+}$ で $3.50\text{ ton}$ ， $Mg^{2+}$ で， $2.72\text{ ton}$ であった。

### 3-2 河川の水質

小又川流域内の本川6地点，支川（沢）の出口11地点，湯ノ沢温泉水，温泉水の流入前の計19地点において水質調査を実施した。観測分析項目は，水温，電気伝導度，pH，流量および空中塩分と同様に $Cl^-$ ， $SO_4^{2-}$ ， $Na^+$ ， $K^+$ ， $Ca^{2+}$ ， $Mg^{2+}$ である（表4）。なお比較の意味で全国および東北地方の平均河川水質（表5）と1976年に実施した当流域内におけるいくつかの観測例を示す（表6）。

一般的に東北地方の河川水質は火山や温泉等の地質的条件の影響を受けて他の地方の河川より $SO_4^{2-}$ や $Cl^-$ が高い値を示すことが多く，それに対して $Ca^{2+}$ は低いことが知られている。

今回の観測結果では $SO_4^{2-}$ および $Cl^-$ とも東北地方平均より低く， $Cl^-$ では全国平均をも下回っている河川もみられる。その他の成分についても同様なことがいえる。ただし，湯ノ沢のみが温泉水の流入の影響を受けて $Cl^-$ ， $Na^+$ ， $Ca^{2+}$ が東北地方平均を若干上回っているにすぎない。温泉水の影響については湯ノ



表 4 河川水質分析結果

記号	観測地点	年月日	時間	河川形態	河口の天候	気温(℃)	水温(℃)	流速 m/s	cond (μM/m)	PH	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	N a <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	逆浸透法(μM)	備考	
1	二本松(本川線下流)	8.10	9:30	Bb	晴	29.1	18.0	16.57	48.3	8.90	6.6	3.9	5.3	0.64	2.20	0.97	266.8		
2	平川(下流)	"	10:00	Bb	"	29.2	18.2	46.7	46.7	8.39	4.8	3.8	5.4	0.34	1.95	1.01	255.2		
3	巻川(下流)	"	10:10	Bb	"	26.9	17.9	19.90	46.0	8.11	4.8	3.8	5.4	0.34	1.95	1.01	248.5		
4	巻川(左支川)	"	10:30	Bb	"	29.9	18.7	18.7	47.1	8.07	5.3	3.2	5.9	0.68	2.60	1.41	20.2		
5	内土(左支川)	"	10:40	Aa~Bb	"	31.8	18.9	1.60	37.7	8.00	5.3	3.2	5.9	0.68	2.60	1.41	20.2		
6	内土(左支川)	"	11:40	Aa~Bb	"	29.2	18.9	0.39	43.9	8.01	5.9	2.5	6.1	0.72	2.05	1.12	5.5		
7	内土(左支川)	"	11:55	Aa	"	31.0	18.7	0.39	52.9	8.23	5.9	2.5	6.1	0.72	2.05	1.12	5.5		
8	森吉沢(右支川)	"	12:10	Bb	"	31.0	18.6	0.60	41.8	7.90	6.0	5.1	7.5	0.60	1.65	1.12	10.6		
9	森吉沢(右支川)	"	12:15	Aa	"	31.8	18.5	0.60	74.9	8.00	6.0	5.1	7.5	0.60	1.65	1.12	10.6		
10	森吉沢(右支川)	"	12:25	Aa~Bb	"	31.0	18.3	0.60	41.9	8.26	6.0	5.1	7.5	0.60	1.65	1.12	10.6		
11	丹沢沢(右支川)	"	12:30	Aa~Bb	"	30.1	18.2	9.13	41.3	8.05	4.5	3.3	4.6	0.68	2.65	0.63	202.0		
12	丹沢沢(右支川)	"	12:55	Bb	"	23.2	17.3	1.52	62.1	7.94	7.7	5.7	6.2	0.44	1.85	1.31	9.7		
13	深川(左支川)	"	13:05	Aa~Bb	曇	28.0	18.9	0.12	50.1	7.88	5.7	3.1	5.6	0.80	3.75	0.49	11.3		
14	深川(左支川)	"	13:45	Aa	新雨	26.8	19.0	1.12	49.9	7.95	5.7	3.1	5.6	0.80	3.75	0.49	11.3		
15	深川(左支川)	"	13:55	Aa~Bb	"	26.0	17.8	4.12	48.2	7.76	5.4	2.8	7.0	1.04	1.60	0.78	176.1		
16	小沢(右支川)	"	14:05	Aa	雨	23.3	17.5	0.57	57.2	7.75	7.7	3.9	6.0	0.60	2.70	1.31	3.6		
17	小沢(右支川)	"	14:20	Aa	曇	23.9	16.0	1.48	46.9	7.85	5.0	2.0	5.4	1.36	2.38	1.17	6.6		
18	女木内沢(左支川)	"	14:30	Aa	雨	24.0	17.2	1.83	42.2	7.77	4.2	3.1	4.9	0.88	0.85	1.02	7.8		
19	女木内沢(左支川)	"	14:40	Bb	"	24.3	17.7	35.3	35.3	7.71	4.0	3.2	4.4	0.64	1.45	0.63	146.6		
20	女木内沢(左支川)	"	17:33	Bb	晴	23.2	17.0	19.80	34.8	7.80	4.0	3.2	4.4	0.64	1.45	0.63	146.6	SS多し	
21	女木内沢(左支川)	"	17:48	Aa	"	22.6	16.7	1.70	86.4	7.71	8.4	10.4	9.2	1.04	7.50	1.66	5.4	SS多し	
22	女木内沢(左支川)	"	18:05	Aa	"	22.4	15.7	1.30	39.7	7.66	4.4	4.0	4.5	0.57	2.60	0.92	5.4	SS多し	
23	女木内沢(左支川)	"	16:25	Aa~Bb	"	24.2	17.7	35.4	35.4	7.71	317.4	335.0	272.5	11.40	120.70	4.13	17.1	濁状	
24	女木内沢(左支川)	"	8:30	Aa	晴	50.2	15.7	0.0025	694.0	8.76	4.7	4.7	2.4	5.0	1.60	1.30	1.23	17.1	
25	女木内沢(左支川)	"	8:10	Aa	晴	23.0	15.7	1.93	41.1	7.52	4.7	4.7	2.4	5.0	1.60	1.30	1.23	17.1	
26	女木内沢(左支川)	"	16:45	Aa~Bb	"	23.6	17.0	10.00	32.9	7.44	3.7	3.2	3.9	0.60	1.75	0.92	125.0		
27	女木内沢(左支川)	"	15:35	Bb	曇	24.0	18.4	1.54	30.9	7.65	2.9	2.9	3.7	3.6	0.92	0.80	0.78	29.4	SS多し
										平均(超降水を除く)									
										47.5									

○印は参考観測地点

沢温泉水流入前の値と流入後の値で各成分が約2倍の差があることから理解できる。温泉水流入前の値は他の支川（沢）の値と近似値である。

1976年9月の値と比較してみると、 $Cl^-$ を除いて両者は比較的近似しているが、 $Cl^-$ は全地点で1976年値を約1/2以下と下回っている。また、 $Na^+$ でも支川（連瀬沢、丹瀬沢、桐内沢）の値は低い。このことは流量との関係が大きいものと考えられる。すなわち、今回観測された流量値は1976年値に比較して小

表5 河川の平均水質 (mg/l)

	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg
東北地方	7.9	17.6	7.3	1.06	7.7	1.9
全国平均	5.8	10.6	6.7	1.19	8.8	1.9

(半谷・小倉：水質調査法、丸善1985)

表6 河川水質分析結果 (1976.9. 井上観測)

河川名	流量	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>
	l/sec	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
太 平 湖 放 水 口	4.780	14.0	4.3	2.2	1.3	2.8	0.85
		17.7	5.1	1.7	1.9	2.8	0.95
平 田	0.513	12.6	5.8	2.2	0.97	2.8	—
(湯ノ沢)	0.125	25.8	13.5	13.2	1.9	10.6	0.85
(連瀬沢)	0.348	12.4	5.9	2.4	2.2	2.6	1.20
(丹瀬沢)	0.127	12.8	5.8	2.0	2.1	3.2	0.95
(桐内沢)	0.280	14.4	7.5	4.8	1.8	4.1	1.15
卷 沢	5.851	16.2	6.1	2.4	1.7	3.7	1.15
(湯ノ沢温泉水)		521.0	278.0	115.5	2.7	232.0	9.70

又川本川下流部で約3.5倍もあり、支川（沢）ではそれ以上の値を示している。 $\text{Cl}^-$ や $\text{Na}^+$ のような循環塩ではほぼ定常的に供給される物質では流量の増加にとまって希釈効果が現われるものと推定される。

#### 4. 考 察

##### 4-1 空中塩分の起源について

空中塩分の起源として a) 海塩に由来するもの、b) 火山からの噴出物あるいは地上のホコリなどが舞いあがったもの、c) 石油その他の燃焼産物のような人為的原因によって生じたもの、などが一般的に考えられる。

わが国は周囲が海洋に面しているため、海塩に由来するものの降下が著しいと考えられるが、やはり沿岸部と内陸部でのその差は当然あるものと推定される。当流域は東北地方の内陸に位置するため、海塩起源かそれ以外からのものかを考慮する必要がある。そこで、両者を見わけると一つの指標として、各観測地点の各成分ごとに濃縮定数（海水中のある成分と  $\text{Cl}^-$  との当量比に対する採取試料中のそれとの比）を求めてみた（表7）。参考として1976年9月に実施した当流域の各地点での値と日本各地における平均濃縮定数を示す（表8）。また図3に当流域における各成分ごとの等濃縮定数値線図を示す。

$\text{SO}_4^{2-}$  の値は最高で63.04、最低で20.61、流域平均30.03でとなっている。 $\text{SO}_4^{2-}$  の起源は海塩にも多量に含まれているが、そればかりでなく、人為的に排出される浮遊ばい塵中の硫黄酸化物や石油燃焼産物が雨水に捕捉されて  $\text{SO}_4^{2-}$  となる結果、濃縮定数が著しく大きくなることもある（井上：1972）。当流域の  $\text{SO}_4^{2-}$  は全国平均の29.5に近似する値であるが、本川上流域の土沢(63.04)、六郎沢(53.34)および森吉山山頂域(50.43)では海塩以外からの供給があったと十分に考えられる。これに対して1976年時の値は全地点で10以下であり、平均でも4.9の値である。海塩に由来するものが比較的多量に降下したものと思われる。このように空中塩分としての  $\text{SO}_4^{2-}$  の降下量は季節やその時点での気象条件および発生量の多少等様々な条件に左右されるものと考えられる。

$\text{Na}^+$  の値は0.98～4.04の間にあり、流域平均で1.68である。空中塩分や雨水の主成分のひとつが  $\text{NaCl}$  であることから大部分は海塩起源と考えてよさそうである。しかし、本川上流域の六郎沢等の4以上の値からみれば海塩以外からの濃縮も考えられる。

$\text{Ca}^{2+}$  は7.91～52.77の間にあり、流域平均は11.61である。全国平均の41.0からみてもその値は小さく、海塩起源のものも比較的多いと考えられるが、

表7 小又川流域の各地点における濃縮定数

観測地点		$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
A	阿仁前田	38.79	2.31	5.49	13.19	3.58
B	巻 瀬	28.28	1.63	—	10.99	2.13
C	根 森 田	38.79	2.19	—	7.91	3.58
D	桐 内 沢	37.41	2.80	—	15.07	4.38
E	森吉山(無線)	28.12	1.96	—	18.46	2.55
F	森吉山(山荘)	50.43	2.19	32.96	7.91	5.11
G	森 吉 沢	28.12	2.19	—	10.55	3.58
H	丹 瀬 沢	28.28	1.34	—	8.79	2.13
I	小 滝	46.88	3.08	—	13.19	6.82
J	女 木 内	40.28	1.42	54.94	10.14	3.98
K	湯 ノ 沢	28.12	1.73	5.49	7.91	4.09
L	大 印 沢	28.12	1.38	—	10.55	2.04
M	森 吉 ダ ム	—	0.98	—	—	—
N	太 平 湖	20.61	1.01	6.86	9.89	2.55
O	六 郎 沢	53.34	4.04	—	52.77	5.11
P	土 沢	63.04	2.88	—	39.57	5.11
流域平均		30.03	1.68	11.07	11.67	2.90

濃縮定数：(M/C1) 雨水 / (M/C1) 海水

海水の当量比： $\text{SO}_4 / \text{Cl} = 0.1031$  $\text{Na} / \text{Cl} = 0.8652$  $\text{K} / \text{Cl} = 0.0182$  $\text{Ca} / \text{Cl} = 0.0379$  $\text{Mg} / \text{Cl} = 0.1954$

表8 1976年観測した当流域の濃縮定数と日本各地の平均濃縮定数

		Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
小 又 川 流 域  ( 1 9 7 6 . 9 )	太平湖レストハウス	0.90	21.64	—	—	7.15
	平田	0.19	3.43	—	—	8.34
	湯ノ沢	0.09	12.14	—	—	5.86
	小滝	0.13	15.30	0.15	—	5.26
	丹瀬沢	0.26	2.90	—	—	5.96
	鷺ノ瀬	0.28	4.49	0.77	—	3.67
	森吉山(山荘)	0.24	6.86	0.21	—	5.46
	根森田	0.22	15.30	0.72	—	1.49
阿仁前田	0.49	5.01	—	—	1.79	
日本各地の平均※		1.82	41.0	5.3	12.0	29.5

小又川流域は1976.9. 井上の観測値

※北野：水の科学NHKブックス1969

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>と同様に内陸部では二次的供給源として土壌粒子の空中への舞い上がり等海塩以外からのものも関与していることも考慮する必要がある。特に本川上は域の40以上の値は注目される。

Mg<sup>2+</sup>は2.04~6.82の間で、流域平均2.90である。しかし、本川上流域等では5以上の値がみられることから海塩以外の供給も考えられる。

以上、各成分の濃縮定数からその起源についてみてきたが、総じて1976年時よりその値は大きく、降水量としては少ないが濃縮定数値からみれば、海塩以外の供給が大いにあったと推定される。とくに小又川上流域について顕著である。このことは今回の設置期間中の気象条件と関係があるものと思われる。設置期間中の1987年7月22日~8月5日の間の天気は日本海側に多くの低気圧が発達し、フェーン現象も出現するといった状態も続いたこともあって、当流域周辺部の風向は南および東よりの風が吹いた時間も相当あったものと推定される。すなわち日本列島内陸部を吹送されてきた結果、海塩以外のエアロゾ

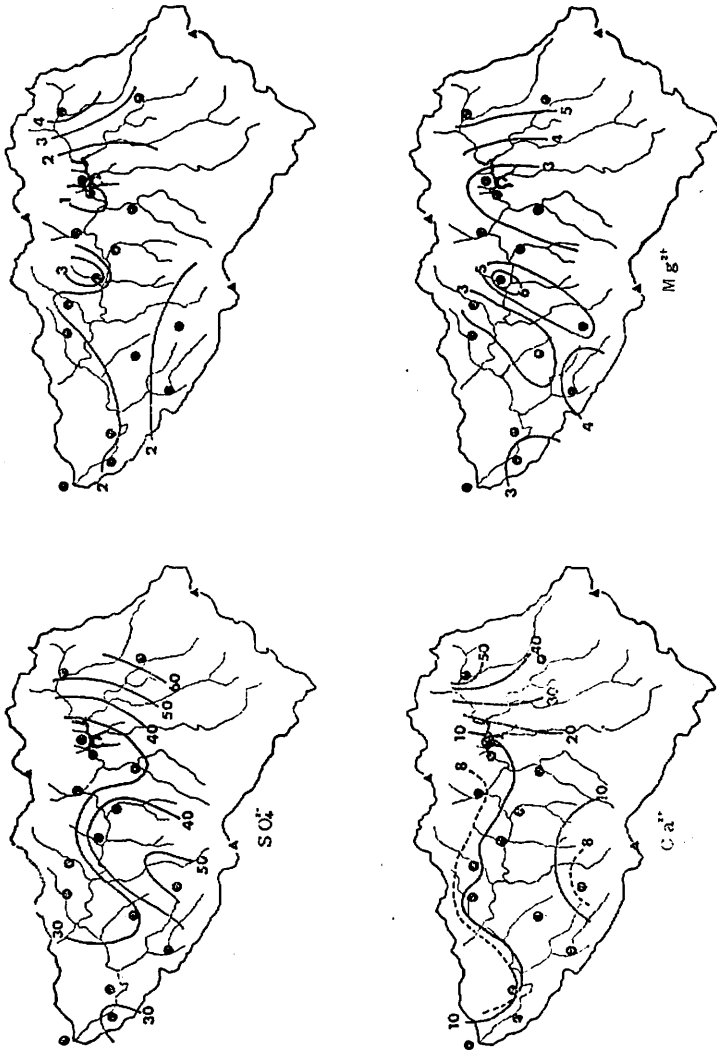


図3 各成分ごとの等濃縮定数値線図

ル（空中塩分）の運搬もあったものと考えられる。また、地形による影響も少なからずあったと考えられる。小又川下流域や森吉山地の西側斜面は日本海からの海塩の影響を受けやすく、その風下側にあたる小又川上流域では海塩の影響は少なくなっていることも考慮する必要がある（井上・小林：1971）。

#### 4-2 空中塩分の河川水質に対する影響

冒頭でも述べたように河川水質の起源は空中塩分をはじめ、岩石・土壌・温泉・動物・植物等の自然的条件によるもの、都市活動や産業活動等の人為活動によるものが考えられる。これらのうち、河川上流域（とくに内陸部）の人為的活動が緩慢な地域では空中塩分や自然的条件による寄与が大きいと考えられる。

内陸部に位置する小又川流域における空中塩分の河川水質に対する影響をみるために空中塩分降水量と河川の溶存分量からその寄与率を算出した（表9）。なお、参考資料として1976年9月に観測した巻瀧地点（本川下流部に位置し、こまた橋より約2.5 km上流）における寄与率も示した。この場合、河川（支沢）流域に降下した空中塩分は設置期間中にすべて採水地点まで到達するという前提で算出している。これには比較的循環が速いと推定される $Cl^-$ 、 $Na$ 、 $Ca$ 、 $Mg$ 等が目安となりうる。

成分別でその寄与率の大小についてみると、 $Cl^-$ では森吉沢の13.9%が最大で2.3%の湯ノ沢が最少である。温泉水の混入のある湯ノ沢を除いてみると、桐内沢の13.4%、惣瀬沢の13.1%連瀬沢の10.5%が高い値を示している。これらの支沢はすべて森吉山側の支沢である。 $SO_4^{2-}$ は惣瀬沢、桐内沢、連瀬沢がそれぞれ117, 111, 104%と100%を越えている。その他の支沢をみてもやはり森吉山側の支沢に大きな値がみられる。 $Na^+$ は桐内沢の13.4%から湯ノ沢の2%の間にあるが、10%を越える惣瀬沢、連瀬沢などの流域は森吉山側である。 $K^+$ は約半数の支沢での降水量が極めて少なく算出不可能であるが、降水量のある流域の寄与率は比較的高い。桐内沢の77.3%をはじめ連瀬沢の52.6%など森吉側の流域にみられる。 $Ca^{2+}$ は本川最上流の六郎沢の18.5%が最大である。惣瀬沢や森吉沢等も10%を越えているが、大印沢のようにやはり本川上流域に位置する支沢でも8.2%と比較的大きい値である。このことは最上流域では空中塩分以外からの寄与が大きいと考えられる。 $Mg^{2+}$ は連瀬沢の30.6%を最高に10%を越える流域は森吉沢、桐内沢、惣瀬沢である。

調査対象流域の最下流にあたる「こまた橋」の値は、 $SO_4^{2-}$ の70.2%、 $K^+$ の30.9%、 $Mg^{2+}$ の13.1%、 $Na^+$ の10.9%、 $Cl^-$ の9.3%、 $Ca^{2+}$ の7.5%の順であ

表9 小又川流域における空中塩分の河川水質に対する寄与率

流域名	流域面積 (km)	Cl <sup>-</sup>			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			Na <sup>+</sup>		
		(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
六郎沢	29.4	26.4	385.8	6.7	169.2	492.3	34.4	42.8	497.0	8.9
大印沢	17.1	73.2	783.7	9.3	276.8	400.2	69.6	55.4	833.7	6.6
湯ノ沢	5.4	28.2	1233.7	2.3	106.8	1527.5	7.0	26.9	1351.2	2.0
女木内沢	7.8	43.4	664.0	6.5	240.4	490.1	49.1	33.3	774.7	4.3
時戸沢	6.6	36.7	639.3	5.7	225.4	255.7	88.2	33.9	690.5	4.9
小滝沢	3.6	9.5	379.2	2.5	57.8	192.0	30.1	14.9	295.4	5.0
連瀬沢	11.3	58.1	551.5	10.5	313.0	299.9	104.4	62.0	541.9	11.4
丹瀬沢	9.7	45.9	1011.2	4.5	185.8	748.5	24.8	35.0	814.2	4.3
森吉沢	10.0	43.1	311.0	13.9	163.2	264.3	61.8	46.6	388.8	12.0
惣瀬沢	5.5	26.1	198.8	13.1	98.6	84.2	117.1	27.4	205.5	13.3
桐内沢	20.2	98.2	732.6	13.4	490.9	442.3	111.0	109.3	815.6	13.4
支沢平均 (湯ノ沢を除く)				8.6			69.1			8.4
こまた橋	266.8	875.1	9448.8	9.3	3919.3	5583.4	70.2	827.1	7587.7	10.9
巻淵橋	254.0	4074.0	8139.0	44.6	863.0	1870.0	46.1	527.0	3084.0	17.1

K <sup>+</sup>			Ca <sup>2+</sup>			Mg <sup>2+</sup>			備 考
(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	
—	122.4	—	22.2	119.7	18.5	7.1	103.7	6.8	人家無し
—	266.8	—	17.8	216.7	8.2	9.9	205.1	4.8	人家無し
1.5	152.7	1.0	5.3	1101.6	0.5	7.6	243.8	3.1	袖 温泉
48.0	139.1	34.5	10.1	134.3	7.5	11.1	161.2	6.9	影響する集落 1戸
32.2	173.9	18.5	7.8	300.4	2.6	10.6	149.6	7.1	人家無し
—	29.5	—	2.9	132.9	2.2	4.1	64.5	6.4	田
40.7	77.4	52.6	16.0	362.8	4.4	14.5	47.4	30.6	人家無し
—	57.7	—	9.8	242.9	4.0	6.6	172.0	3.8	人家無し
—	31.1	—	9.3	85.5	10.9	10.5	58.0	18.1	合流点に集落有り
—	24.2	—	9.8	69.0	14.2	4.2	37.7	11.1	下流域に集落有り
72.7	94.0	77.3	27.3	359.4	7.6	23.6	194.9	12.1	中流域に15戸の集落
			45.7		8.0			10.8	
282.8	916.2	30.9	234.8	3149.6	7.5	181.4	1388.6	13.1	調査流域の最下流
—	—	—	1358.0	1213.0	112.0	192.0	859.0	22.4	1976年9月の値

(A) : 空中塩分降下量 (Kg/day)

(B) : 河水中の溶存量 (Kg/day)

(C) : 寄与率 A/B (%)



る。流域の最下流ということもあり、空中塩分以外、とくに人為活動などの寄与量も多いと思われるが、上流域の支沢より空中塩分の寄与率が高いことが注目される。ちなみに1976年当時における巻淵地点での各成分の寄与率をみると、 $\text{SO}_4^{2-}$ が46.1%、 $\text{Mg}^{2+}$ が22.4%、 $\text{Na}^+$ が17.1%、 $\text{Cl}^-$ が44.6%、 $\text{Ca}^{2+}$ が100%以上となっている。これに比較して今回の値は $\text{SO}_4^{2-}$ を除いて低い値となっている。このことは、空中塩分採取期間中の降雨量が流域平均で1日当り12mmと比較的多く(1976年当時は1日当り約6mm)、当流域に輸送される途中でウォッシュアウト等により除去された分も相当あったと推定されること、更に今回は河川流量も増大しており、土壌など他の因子の影響も、若干あったものと推定される(1976年時より今回の河川水質、とくに $\text{Cl}^-$ などは流量増により希釈効果があったと考えられ、全般に低い値であったが、空中塩分の降下量が少ないため、相対的に寄与率も小さな値となっている)。

湯ノ沢での寄与率は全成分とも全支沢中最低の値であるが、これは温泉水の混入による影響である。

今回の当流域の河川水質に対する空中塩分の寄与率を支沢平均(湯ノ沢を除く)でみると、 $\text{Cl}^-$ で8.61%、 $\text{SO}_4^{2-}$ で69.1%、 $\text{Na}^+$ で8.4%、 $\text{K}^+$ で45.7%、 $\text{Ca}^{2+}$ で8.0%、 $\text{Mg}^{2+}$ で10.8%となる。 $\text{SO}_4^{2-}$ と $\text{K}^+$ を除くと他は1割かそれ以下の割合である。また、森吉山側の支沢にその寄与率が高く見積られている。このことは地形、とくに標高と降下量との関係、あるいは流域面積と河川流量(比流量)および河川水質との関係を吟味しなければならないと考えられる。

わが国の河川水中の元素含有量を規定する因子のうちで空中塩分(雨水そのものの成分とドライフォールアウト)が河川水質に対する寄与量を北野ら(北野康:1984, 地球環境の化学, 裳華房)が推算している。それによると $\text{Cl}^-$ で53%、 $\text{Na}^+$ で46%、 $\text{K}^+$ で61%、 $\text{Ca}^{2+}$ で31%、 $\text{Mg}^{2+}$ で53%と見積っている。ほぼ50%の寄与率である。この値には沿岸部の値も含まれているであろうから当流域のように内陸部に位置する流域と相違し、大きな値になることは当然と考えられるが、これを考慮しても今回の観測は低い値である。他の因子からの寄与量を把握する必要がある。

## 5. まとめ

以上、今回の調査観測で得られた結果を要約すると次のようになる。

- ① 内陸部に位置する小又川流域における空中塩分濃度の値は全国平均値と比較して約3割以下の値となっている。

- ② 空中塩分濃度の値は小さいが、濃縮定数値からみると海塩以外からの供給が大きく関与しているものと考えられる。とくに最上流域にあてはまる。
- ③ 空中塩分の降水量は季節や気象条件および地形等に大きく左右されているものと考えられる。とくに今回の観測では南東方向からの風系であり陸上を吹送する風によって輸送された可能性がある。
- ④ 河川水質に対する空中塩分の寄与率は温泉水の混入がある場合、きわめて小さい値となっているが、混入の無い支川（沢）でもその寄与率は約1割かそれ以下の割合である。他の因子からの寄与量の把握が課題である。以上であるが、次のような問題点も指摘される。
- ① 空中塩分が降水してから流域末端まで到達するまでの時間的把握。この推定はきわめて困難と思われるが、1年間以上にわたり継続観測を実施し、その物質収支から推算する必要がある。
- ② 今回は流量観測および河川の水質分析が1回のみでの測定であること。すなわち、空中塩分採取期間内において数回の観測を実施する必要がある。
- ③ 流域内で空中塩分採取地点が少ないこと。これにはモデル的に小流域を選定し、密度を高める方法が考えられる。
- ④ 地形と卓越風向との関係および空中塩分の輸送中の除去効果の把握。これには当該流域のみでなく広範囲での気象資料による解析が必要である。
- ⑤ 流域面積と河川流量（比流量）および河川水質との関係の把握などがあげられる。しかし、今回は河川水質に対する空中塩分の寄与率を目安として実施したものである。今後は前述の問題点を是正しつつ調査研究を進めていきたいと考えている。

本稿を作成するにあたって、水質分析に便宜をはかって頂いた、武蔵野女子学院の桑原正見氏に心からお礼申し上げます。

（この報告は、昭和62年度法政大学特別研究助成金の一部を使用したものである）

#### 参考文献

- 井上・小林（1970）：渡島半島・大沼流域における塩素量収支に関する研究，資源研彙報，74. 65～71。
- 井上・小林（1971）：東北地方北部における雨水中の塩素イオン濃度分布と地形との関係について，資源研彙報，75. 73～80。

- 井上率生(1972):房総半島における雨水中の化学成分について, 文部省特研(1)水資源(人為にともなう流域水収支の変化に関する研究—代表者・三井嘉都夫)報告書, 65~74。
- 井上・小林・東郷(1986):近江盆地周辺地域における風送塩の降下特性について, 法政大学多摩研究報告, 1. 37~65。
- 菅原・半谷(1950):菅島の地球化学的研究(第2, 3報), 日本化学雑誌, 71. 52~54, 120~123。
- 後藤達夫(1966):三陸沿岸における雨および潮風によって陸地に運ばれる塩分について, 岩手県自治連絡協議会報告, 49~119。
- 菅原・半谷(1964)地球化学入門, 丸善。
- 北野康(1969):水の科学, NHKブックス
- 角皆静男(1972):雨水の分析, 講談社。
- 磯野謙治編(1979):大気汚染物質の動態東京大学出版会,
- 鈴木武夫編(1980):大気汚染の機構と解析, 産業図書,
- 日本気象学会(1981):エアロゾル特集, 気象研究ノート, 142。
- 北野 康(1984):地球環境の化学, 葦華房。
- 半谷・小倉(1985):水質調査法改訂版, 丸善。

法政大学第二教養部  
東京都 千代田区

(1988年9月22日受理)