

河川の化学的研究

とくに出水時の河川水の化学組成の変化について

(北上川支流和賀川における一例)

後 藤 達 夫

Chemical Investigations of Rivers—Variations in Chemical Composition
of River Waters increase during a rain fall

(An Example in the Waga River, an Effluent of the Kitakami.)

TATSUO GORO

緒 言

降雨による出水のさいに、河川の水質の変化のあることは、いままでに極く定性的に論じられている。しかし、多くの本邦小河川は、降雨后短時間に流量が増加し、また出水時間が短いという特性を持っているので、出水時の河川水の化学的性質を詳細に検討するには、出水時における河川の水質の時間的な変化の模様ならびに水質と流量との関係を十分に明らかにしておかなければならない。すでに著者¹⁾²⁾は北上川支流雫石川を例にとり、河川の溶存化学成分と流量、水温との一般的な関係について調査を行い、また岩崎氏ら⁴⁾は利根川支流神流川を例にとり、河川水の化学的性質が天候、時期によりいかに変化するか、そして流量の変化により化学成分の流出量がどのように変化するかについて調査を行つてゐるが、出水時の河川の水質の時間的な変化ならびに水質と流量との関係については、なお不明瞭な点が多い。

そこで著者は、北上川支流和賀川上流において1957年6月26日から8月21日まで、平日は一日午前と午後2回、出水時には毎時間採水を行い、気温、水温、 pH を採水の都度測定し、現地に設定した実験室に持帰つた試料に対して、濁度はそのまま、硬度、カルシウム、B. C. G. アルカリ度、珪酸、塩素、アンモニウム、リン酸塩は上澄液で測定し、出水時の河川水の化学組成の変化について詳細な調査を行つたので、その結果を報告する。

和賀川は水源を秋田県境奥羽山脈に發し、流域の形状は東に狭く西に広い略三角形をなし流域面積約897km²でその大部分が山間地帯のため河床勾配急である。本川上流には北上川五大ダムの一つとして田瀬ダムと並び洪水調節の双壁をなす湯田ダムが建設中である。

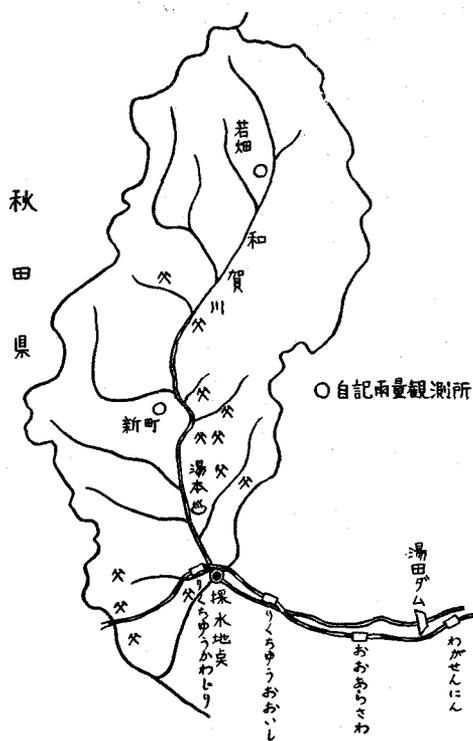
試料の採水は第1図に示す如く湯田ダム上流約10kmの川尻地点で行つた。本地点上流の流域面積は405.1km²で地質は主として火山岩で構成され第三系を骨格としている。

1) 後藤, 日化 78, 1241 (1957).

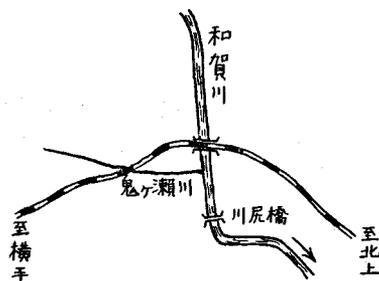
2) 後藤, 東北地建月報, 12月号, 建設省東北地方建設局 (1957).

3) 後藤, 水道協会誌 288号, (1958).

4) 岩崎, 新田, 日化 77, 1347 (1956).



第1図 川尻地点流域概要図



第2図 採水点附近略図

採水条件および測定方法

河川の採水は1957年6月26日より開始し、7月8日までは川尻橋右岸で行ったが、第2図に示すように川尻橋上流250m位の所で支流鬼ヶ瀬川が流入しており、この支流と本流とでは水質が相異し、支流合流後の混合の影響が認められたので7月8日午前9時以降は、降雨による出水のさいには川尻橋中央で、平日は川尻橋中央ならびに川尻橋左岸で採水を行った。

試料は大体2lを採取し、同時に水温、気温、pH(比色法)を測定し、現地に設定した実験室において出来るだけ早く各成分の測定を行った。

Cl⁻は鉄-チオシアン酸水銀法⁵⁾⁶⁾により比色し、SiO₂は試水20ccをとりモリブデン酸アンモニウム溶液(10%)と塩酸(1:3)1ccを加え20分後に比色し、硬度、Ca²⁺はE. D. T. A. 法により、アンモニウム(NH₄)はネスラー試薬により比色し、リン酸塩(PO₄)は試水20ccをとりモリブデン酸アンモニウム、硫酸の混合液を混和し、1滴の塩化第一スズを加えて20分後に比色し、B. C. G. アルカリ度は試水50ccをとりB. C. G. を指示薬として0.02N-H₂SO₄で滴定した。濁度は白陶土を標準濁度液にして島津製濁濁計を用いAKA光電管比色計5号D型で測定した。

川尻橋地点の流量について

川尻橋採水地点に水位流量観測施設がなく、水位観測の方は川尻橋左岸上流約50mの所に量水標を設置することにより解消したが、流量は川尻橋下流10kmの湯田ダム付近にある大荒沢取水堰堤の流量より算定^{*)}することとし、流域の降雨分布の模様は、その地勢条件からほぼ同一の傾向を示すものと考えられるので、流域面積に比例するとみなした。大荒沢地点より上流の流域面積は570.2km²、川尻地点上流の流域面積は405.1km²で両者の面積比は1:0.71である。また川尻、大荒沢間の水の流下時間を考慮し、既往のデータ⁷⁾より30分と推定し上記大荒沢地点の時間流量を30分繰上げて川尻地点の水位-流量曲線を作製した。

5) I. Iwasaki, S. Utsumi, T. Ozawa, Bull. Chem. Soc. Japan 25, 226 (1952).

6) 内海, 日化73, 835, 838 (1952).

7) 北上川上流の単位図, 建設省東北地方建設局岩手

工事事務所(昭和32年3月).

*) 大荒沢取水堰堤: 東北電気製鉄和賀川工場.
流量の算定方法: 発電取水量+貯水量の増加分+放流量.

測定結果および考察

6月26日～8月21日に至る約2ヶ月間に得られた個々のデータはすでに報告⁸⁾したので省略する。以下7月8日午前9時以降8月21日までに川尻橋中央ならびに左岸で採水して得られたデータにもとづいて考察を行った。

1. 化学成分と流量との一般的な関係

河川の溶存化学成分は流域の気象、地質、地形その他種々の環境要因に支配され、一般に増水時に降水による稀釈作用により減少し、渇水時に増大することが知られている。山県氏は⁹⁾米国内務省の Geological Survey で、1940年頃から国内各地の政府機関を動員して、河川成分の経年測定を行つて発行された報告書“Quality of Surface Waters of the U. S. 1946”にもとづいて蒸発残留物 (Ré) 平均 100ppm 以下の河川26個について、流量とRéとの関係を求め、24個までは両者の間に逆相関関係の成立することを指摘している。著者¹⁰⁾もすでに北上川支流、雫石川を例に昭和30年2月より翌年4月に至る期間毎日2回採水し、硬度、過剰塩基度 (Ex. B.), 塩素等の溶存化学成分と流量との関係について調査を行つたが、一般的にいつて、一出水時に流量の対数とこれら成分の間には直線関係が認められるのみならず、〔寒期・融雪期〕, 〔暖期・暑期〕にても同様な関係が成立することを明らかにし、流量の対数 (logQ) とこれら成分との相関係数は第1表に示すように相当大きな負の値をとり、明らかに有意であつた。

第1表 雫石川の硬度, Ex.B., Cl と logQ との相関係数 (自1955年2月 至1956年4月)

		logQ との相関係数
硬 度	〔寒期・融雪期〕	-0.96***
	〔暖期・暑期〕	-0.87***
Ex.B.	〔寒期・融雪期〕	-0.97***
	〔暖期・暑期〕	-0.86***
Cl	〔寒期・融雪期〕 ⁺	-0.77***
	〔暖期・暑期〕	-0.56*

*** 0.1% point 有意

* 5 % point 有意

+ 昭和30年2月下旬～3月中旬の塩素濃度の異常時期を除外

また、さきに著者は普通河川である北上川支流中津川¹⁰⁾, 同雫石川⁹⁾ならびに毒水赤川の影響を受けて酸性河川の特徴を呈する北上川上流(盛岡地点)¹¹⁾について、ほゞ2～4回採水して調査を行い、各溶存化学成分と流量の対数との相関係数を算出している。それらを再び示すならば第2表に掲げる通りである。これから一般的に蒸発残渣, SO₄²⁻, 硬度, Ca²⁺, Mg²⁺ SiO₂ (比色), M. O. アルカリ度, 酸度と流量の対数との間には負の相関関係が見受けられた。Cl⁻ と log Q との間には雫石川, 北上川上流では負の相関関係が見受けられるが、塩分が稀薄で、またCl⁻ (2.0～3.3mg/l, 平均値2.5mg/l) が極めて少く、降水ならびに風送塩がその主要な供給源と考えられる中津川では両者の相関関係は明らかでない。Fe と logQ との間には普通河川雫石川ならびに中津川では正の相関関係が見受けられるが、酸性河川の特徴を呈する北上川

上流では両者の相関関係は見受けられず、Fe は水温上昇と共にその濃度が減少する傾向がみられ

8) 流出機構調査報告書—1 建設省東北地方建設局 岩手工事事務所(昭和33年2月).
9) 山県, 武藤, 山県, 村田, 水道協会誌236号,(1954).

10) 後藤, 北上川水系の水質調査, 建設省東北地方建設局岩手工事事務所(昭和32年9月).
11) 後藤, 岩手大学学芸学部研究年報 12 (1957).

ている¹¹⁾。KMnO₄消費量は雫石川においてはlogQと正の相関関係が認められたが、中津川においては、資料が少いためと、夏期における偶発的な汚染の影響のためか両者の相関関係は明らかでなかつた。斯様に一二の例外を認めれば、一般的にいつて河川の流量と上記の溶存化学成分との間に相当高度の対応関係が成立するものと考えられる。

第2表 中津川、雫石川、北上川上流の各溶存化学成分とlogQとの相関係数

中津川 (自1951年8月至1952年9月)

pH: 6.4~7.0, 平均値6.9

蒸発残渣: 30~49mg/l, 平均値38mg/l

	個数	logQ との相関係数
蒸発残渣	25	-0.64***
Cl ⁻	25	-0.27
Ca ²⁺	25	-0.77***
Fe	24	+0.52 **
SiO ₂	25	-0.64***
KMnO ₄ 消費量	25	+0.18

雫石川 (自1952年4月至1957年2月)

pH: 6.6~7.2, 平均値7.0

蒸発残渣: 41~88mg/l, 平均値62mg/l

	個数	logQ との相関係数
蒸発残渣	106	-0.80***
SO ₄ ²⁻	34	-0.77***
Cl ⁻	105	-0.69***
硬 度	47	-0.85***
Ca ²⁺	104	-0.85***
Mg ²⁺	47	-0.66***
Fe	105	+0.46***
SiO ₂	106	-0.81***
M.O.アルカリ度	48	-0.77***
KMnO ₄ 消費量	106	+0.72***

*** 0.1% point で有意

** 1% point で有意

無印は有意でない

北上川上流 (自1954年8月至1956年1月)

(盛岡地点)

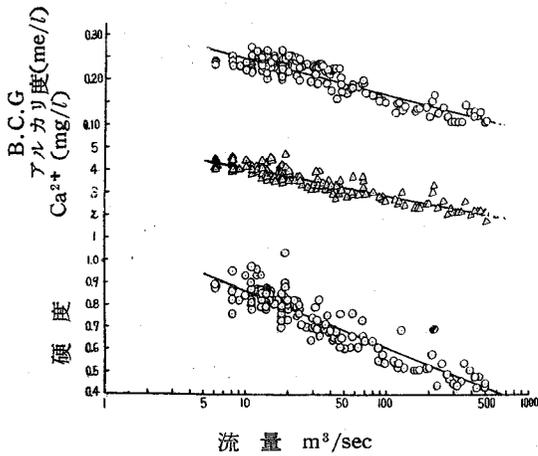
pH : 3.7~6.8, 平均値5.5

蒸発残渣: 71~238mg/l, 平均値147mg/l

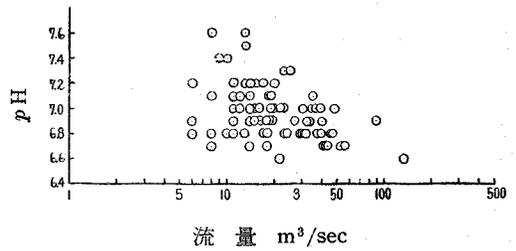
	個数	logQ との相関係数
蒸発残渣	50	-0.66***
SO ₄ ²⁻	35	-0.80***
Cl ⁻	49	-0.55***
硬 度	49	-0.74***
Ca ²⁺	50	-0.71***
Mg ²⁺	49	-0.69***
Fe	50	+0.09
SiO ₂	50	-0.65***
酸 度 ⁺	46	-0.51***

+ 4月より5月中旬までの水質の特に悪化した異常時期を除外

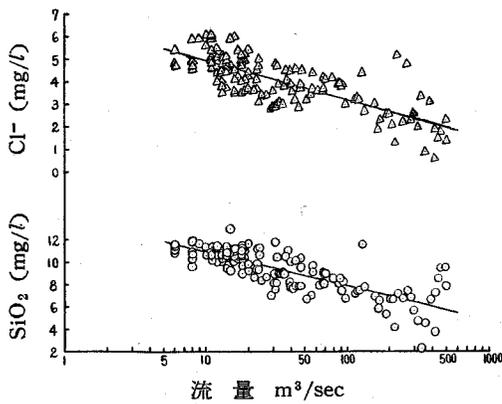
さて、今回の和賀川の各成分と流量との一般的な関係について検討してみると次の通りである。硬度、Ca²⁺、B.C.G.アルカリ度、SiO₂ならびにCl⁻と流量(Q)との間に指数関係があると考えられるので、片対数紙で両者の関係を求めてみた。それらを第3、4図に示す。図から分るように、これらの成分量とlogQとの関係は直線的に変化しており、両者間の相関係数を算出すると、第3表に掲げるように密接な負の相関があると認められる。即ち、上記の成分からは流量増加に伴なつて減少する傾向を示し、明らかに降雨出水のさいに稀釈されることを物語っている。



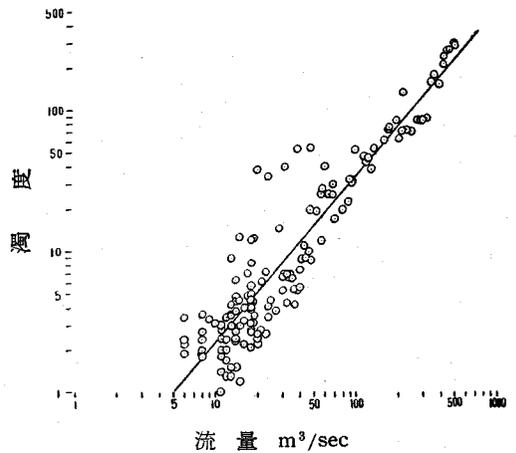
第3図 硬度, Ca^{2+} , B.C.G.アルカリ度と流量との関係



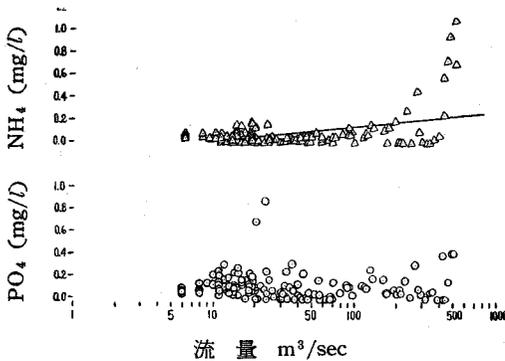
第6図 pH と流量との関係



第4図 SiO_2 , Cl^- と流量との関係



第7図 濁度と流量との関係



第5図 PO_4 , NH_4 と流量との関係

第3表 和賀川の各成分とlogQ との
相関係数

和賀川 (川尻地点)

(自1957年7月8日至8月21日)

pH: 6.6~7.6

	個 数	log Q と の 相 関 係 数
硬 度	149	-0.917***
Ca ²⁺	149	-0.898***
B.C.G.アルカリ度	149	-0.911***
SiO ₂	149	-0.793***
Cl ⁻	149	-0.774***
PO ₄	149	-0.004***
NH ₄	149	+0.465***
logT	149	+0.926***

***..... 0.1% point で有意

$$\text{硬度} = -0.255 \log Q + 1.116$$

$$\text{Ca}^{2+} = -1.20 \log Q + 5.25$$

$$\text{B. C. G. アルカリ度} = -0.080 \log Q + 0.326$$

$$\text{SiO}_2 = -2.98 \log Q + 13.86$$

$$\text{Cl}^- = -1.72 \log Q + 6.66$$

$$\text{NH}_4 = 0.145 \log Q - 0.140$$

$$\log T = 1.181 \log Q - 0.833$$

これから流量が10→500m³/secと50倍に増加すると、硬度、Ca²⁺、B. C. G. アルカリ度、SiO₂はそれぞれ0.86→0.43, 4.05→2.01mg/l, 0.246→0.110me/l, 10.9→5.8mg/lと濃度がほぼ半減し、Cl⁻は4.94→2.02mg/lと約4割に減少し、流量の増加に比較すればこれら成分の濃度の減少は極めて小さい。これに反して、濁度は2.2→226と約100倍に増加している。このように高水時に河川が著しく涵濁することは経験的によく知られていることである。

2. 各成分の最小値, 最大値, 変動係数について

気温, 水温, 流量, pH, 濁度ならびに各化学成分の存在範囲 (最小値~最大値), 変動係数は第4表に掲げる如くである。調査期間中に気温は13.3~30.8°C, 水温は13.0~24.8°Cに変化している。pHは6.6~7.6で、流量は6~505m³/secであった。濁度ならびに各化学成分の相対的な変動の難易を示すと考えられる変動係数については、濁度, NH₄, PO₄が特に大なる値を示している。NH₄, PO₄の源泉は主として動植物体の腐朽, 分解によるものと考えられ、不安定な成分であると云える。

NH₄ と logQ との関係は第3表ならびに第5図から分るように、正の相関関係が認められ、高水時にNH₄は増加する傾向がみられたが、PO₄については第5図に示す如く、流量との間にはつきりした関係はみられなかつた。

pH は高水時の測定値を欠いて明瞭ではないが、第6図に示すように流量増加とともにpHが減少する傾向がみられるようである。

次に、濁度と流量との関係は片対数紙では直線とはならないが、両対数紙を用いると第7図に示すごとく良好な結果がえられる。今濁度をTで表わし、logT と logQ との相関係数を算出すると、第3表に掲げるように密接な正の相関関係が認められた。

各成分ならびにlogT と logQ との関係式を最小自乗法により求めると次の通りである。

第4表 和賀川の各成分の最小値~最大値, 変動係数
和賀川(川尻地点)
(自 1957年7月8日 至 8月21日)

	最 小 値 ~ 最 大 値	個 数	変 動 係 数 ⁺
気 温 (°C)	13.3 ~ 30.8		
水 温 (°C)	13.0 ~ 24.8		
pH	6.6 ~ 7.6		
濁 度	0.9 ~ 304	149	1.94
流 量 (m ³ /sec)	6 ~ 505		
硬 度	0.43 ~ 1.03	149	0.19
Ca ²⁺ (mg/l)	1.7 ~ 4.7	149	0.20
B.C.G.アルカリ度(me/l)	0.105 ~ 0.272	149	0.21
SiO ₂ (mg/l)	2.3 ~ 12.9	149	0.20
Cl ⁻ (mg/l)	0.6 ~ 6.1	149	0.27
PO ₄ (mg/l)	0.00 ~ 0.88	149	1.09
NH ₄ (mg/l)	0.00 ~ 1.10	149	2.00

+ $v = \frac{s}{\bar{x}}$ こゝで v は変動係数, \bar{x} は平均値.

$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x - \bar{x})^2}$ こゝで s は標準偏差, n は測定値の個数.

3. 出水時の水質の変化

7月7日以降8月21日に至る調査期間中に, 流域に降つた一続きの雨毎の降雨量を, 流域内の新町ならびに若畑両自記雨量観測所の毎時雨量の記録¹²⁾ から求めた. 流域における毎時の平均雨量は新町ならびに若畑の毎時雨量の平均値とし, 又降雨が始まつてから一応流域の大部分が晴れ上る迄の降雨を一続きの雨とした. 流域内に降雨があつても, たゞちに流出が現われるわけではなく, 或る程度以上の降雨があつて始めて増水するわけであり, 流域の被覆状態や滲透層の厚さ, 前期降雨の有無, 降り始めよりの経過時間, 季節等に関係するものと考えられるが, 本調査期間においては増水を見ざりし降雨量は大体5mmを限度とするようである. 今5mm以上を示した一続きの雨の降雨量ならびに降雨の継続時間を第5表に示す. 尙表に流量ならびに水質の変化の様を付記した. 次に調査期間中に川尻地点で採集した雨水の分析値を第6表に掲げる. これをみると, 川尻地点の雨水中の塩素イオン濃度は本邦各地の雨水¹²⁾ のそれと比較してみても少い方に属するようである. これは, 雨水中の塩素イオン濃度は一般に海岸から内降に進むほど減少することが知られている如く, 川尻地点が日本海岸より約65km, 太平洋より約95kmも遠く海岸から離れた奥羽脊梁山脈の山間地帯にあるためと考えられる.

一般に小降雨よりも大降雨の方が, 河川の水質に著しい変化がみられるようであるが, その水質

12) 三宅, 杉浦; "降水の化学", P.64 地人書館.

第 5 表

雨 番 の 号	降 雨 時 間	降 雨 量 (mm)	流 量 (m ³ /sec)	水 質
1	昭和32年 7月7日21時～9日8時(35時間)	166.7	13→508	変化大, 濁度 19.4→304
2	7月14日18時～15日13時(19時間)	5.6	14→18	変化少し
3	7月19日4時～19時(15時間)	14.9	8→18	変化少し, 濁度 2→12.2
4	7月23日10時～24日9時(23時間)	20.0	6→18	変化少し
5	7月30日7時～22時(15時間)	22.6	8→19	変化少し, 濁度 1.9→15.7
6	7月31日12時～8月1日7時(19時間)	30.4	16→71	変化やゝ大, 濁度 3.2→55.3
7	8月5日17時～6日5時(12時間)	5.8	12→13	変化少し
8	8月7日5時～13時(8時間)	10.9	13→23	PO ₄ 増大, その他変化少し
9	8月8日13時～9日13時(24時間)	24.9	16→33	変化少し
10	8月13日12時～23時(11時間)	20.3	12→29	変化やゝ大, 濁度 1.3→14.8
11	8月14日3時～15日3時(24時間)	5.9	25→30	変化少し

の変化の様子は(1)降雨の状況(強度, 時間分布, 地域分布), (2)流域(地質, 形状, 地勢, 地質状態) (3)季節, (4)降雨前の地湿状況, (5)雨の化学組成等の諸要素により規定されるものと考えられ, 出水現象が非常に複雑多岐であると同様に, 出水時の水質の変化の様態を正しく解析することは難しい問題である。

然しながら, 一般的に云つて降雨による出水のさい, 降水の一部は地表を流出し, 一部は地下を

第 6 表 雨 水 の 分 析 値

採集場所 岩手県湯田村川尻

採 集 日	天 候	pH	Cl ⁻ (mg/l)	B.C.G. アルカリ度 (me/l)	硬 度	Ca ²⁺ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
昭和32年									
7月3日	雨	—	0.9	—	0.20	—	—	—	—
7月5日～6日	俄雨 5回	5.0	0.1	0.017	0.07	—	0.00	0.26	0.7
7月8日	雨	—	0.0	0.017	0.05	—	0.00	0.00	0.0
7月15日	雨	—	0.1	0.014	0.05	—	0.00	0.14	0.0
7月19日	雨	—	0.0	0.017	0.04	—	0.00	0.13	0.0
7月23日	雨	—	0.0	0.023	0.05	—	0.00	0.16	0.0
7月30日	雨	—	0.3	0.014	0.06	—	0.00	0.18	0.0
7月31日	雨	—	0.0	0.035	0.05	—	0.00	0.00	0.0
8月7日	雨	—	0.7	0.019	0.06	0.4	0.32	0.03	0.0
8月8日	雨	—	2.9	0.066	0.12	0.6	—	—	—
8月13日～14日	雨	—	0.3	0.025	0.06	0.3	0.00	0.23	0.0

潜流した後に再び地表に現れ, 地表流出水と混合する。これを中間流出と名付ける。残部は地下に滲透して土壌保湿として土壌中に保持されたり, 又地下水面に達し地下水流出として降雨後永く河川水を涵養する。この際, 流出に要する時間は地表流出がもつとも短かく, ついで中間流出であり

地下水流出は流出に要する時間をもつとも長い。その他に河道内に降つた雨水がそのまま直接河水として流出する経路をとる河道降雨の流出が考えられる。この河道降雨の流出と前記の地表流出、中間流出とを合せて直接流出として、地下水流出より分けて取扱つてみるならば、直接流出水と地下水流出水との流出経路の相異によつて生ずる水質の相異により、出水のさい懸案地点に直接流出水が出現している間は、河川の水質の時間的な変化の状況が、出水前の或は直接流出が終了した後の水質の変化の状況に比べて相当著しい相異がみられるべきと考える。

今回の調査においては、第5表の雨の番号1, 6によりもたらされた出水のさいに、1時間毎に採水して、出水時の河川の水質の時間的な変化ならびに水質と流量との関係について詳細に検討した。

(i). 出水時の河川の水質の時間的な変化

(A). 7日8日~7日9日の出水

イ) 出水の原因

日本海低気圧より東に延びる前線の活動によるもので、7日夕刻岩手県南部より降り出し、夜半には岩手県下全般雨降りとなり8日午前中が最もつと激しく降っている。川尻地点上流流域においては7月8日午前5時より1時間10mm以上の強い雨が7時間も続き、午前9時に18.2mmの降雨の時間分布において最大強度の降雨を記録し、総降雨量は166.7mmであつた。尙降雨は岩手県西部山沿に多く、和賀川流域の総降雨量は120mm、北上山系の猿ヶ石川流域では60mmとなつている。

ロ) 水質の時間的な変化

第8図から分るように流量の増加にともないB. C. G. アルカリ度、硬度、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SiO_2 等の濃度は減少し、濁度は増加して行く関係が明瞭に現われている。本出水の最大降雨強度の時刻から最大流量の時刻までの時間はおよそ5時間である。詳細に眺めると、B. C. G. アルカリ度、硬度、 Ca^{2+} の最低値ならびに濁度の最高値と流量のpeakとは数十分のズレで一致しているが、 Cl^- の最低値は流量のpeakよりも約2時間前に、 SiO_2 のそれは約5時間も遅れて出現しているようである。又B. C. G. アルカリ度、硬度、 Ca^{2+} と Cl^- 、 SiO_2 とでは、濃度の時間的な変化の模様は相異がみられるようである。低減部においては流量の減少にともなつて各成分の濃度が増加しているが、それらの濃度の時間的な変化をみると、9日の19時~24時頃から変化の状況が異り、各成分の濃度と経過時間との関係曲線は横すべりをしてしている。この各成分の濃度変化の状況に折れ曲りを生じている時刻、即ちおよそ9日の19時~24時に降雨による直接流出が終了したものと考えられる。

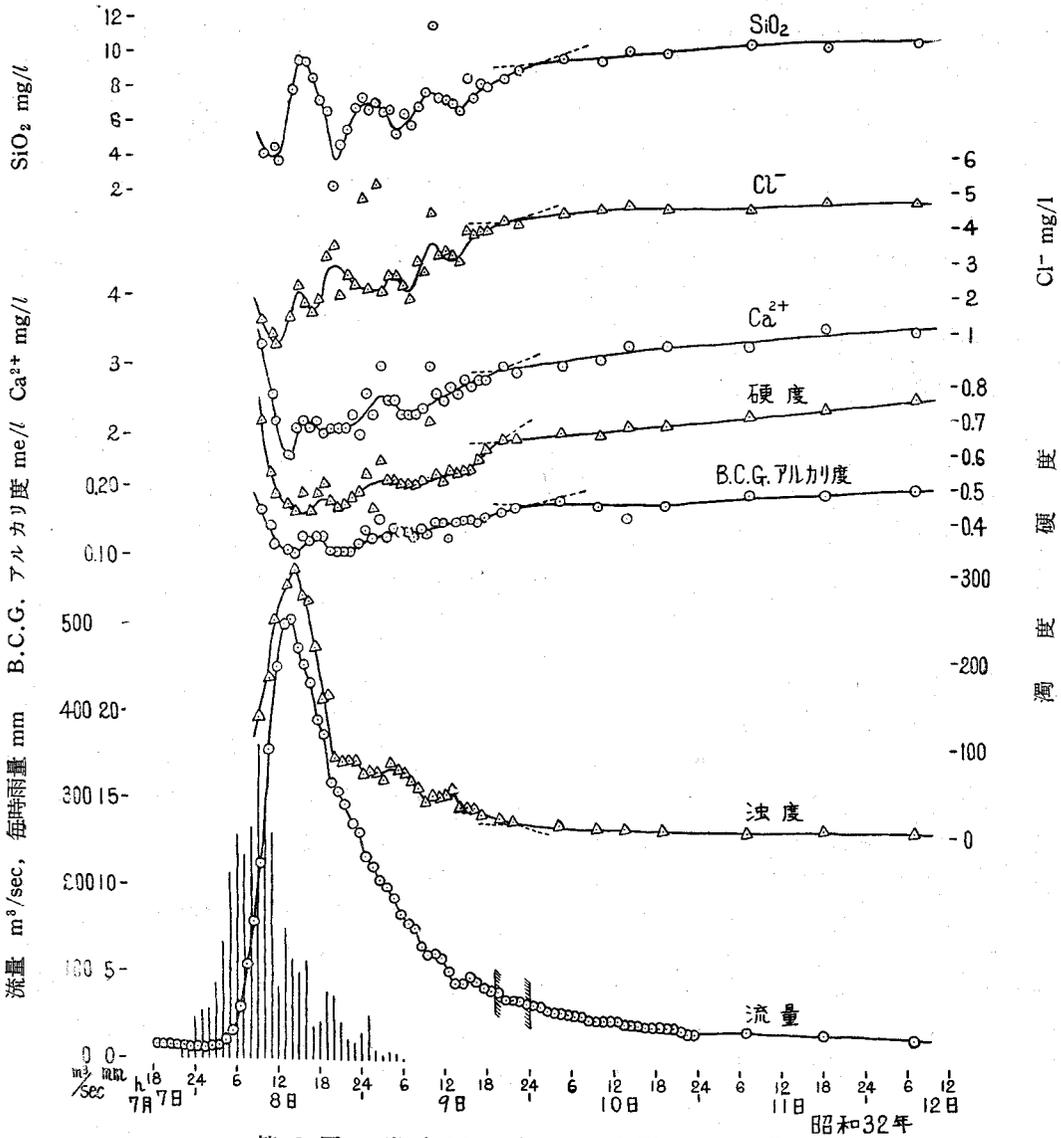
(B). 7月31日~8月1日の出水

イ) 出水の原因

7月30日頃南方高気圧が強まり、それに伴つて前線が日本海南部に入り30日日中と31日午後にかけて岩手県西部山沿に俄雨が降り、このため和賀川に出水を見た。川尻地点上流流域においては7月31日12時より8月1日7時にかけて30.4mmの降雨量があり、7月31日19時に7.2mmの降雨の時間分布において最大強度の雨を記録している。本降雨は前記(A.)の出水における降雨に較べて、総降雨量、雨の強度ならびに継続時間ともに遙かに小さく、出水も小さな型である。

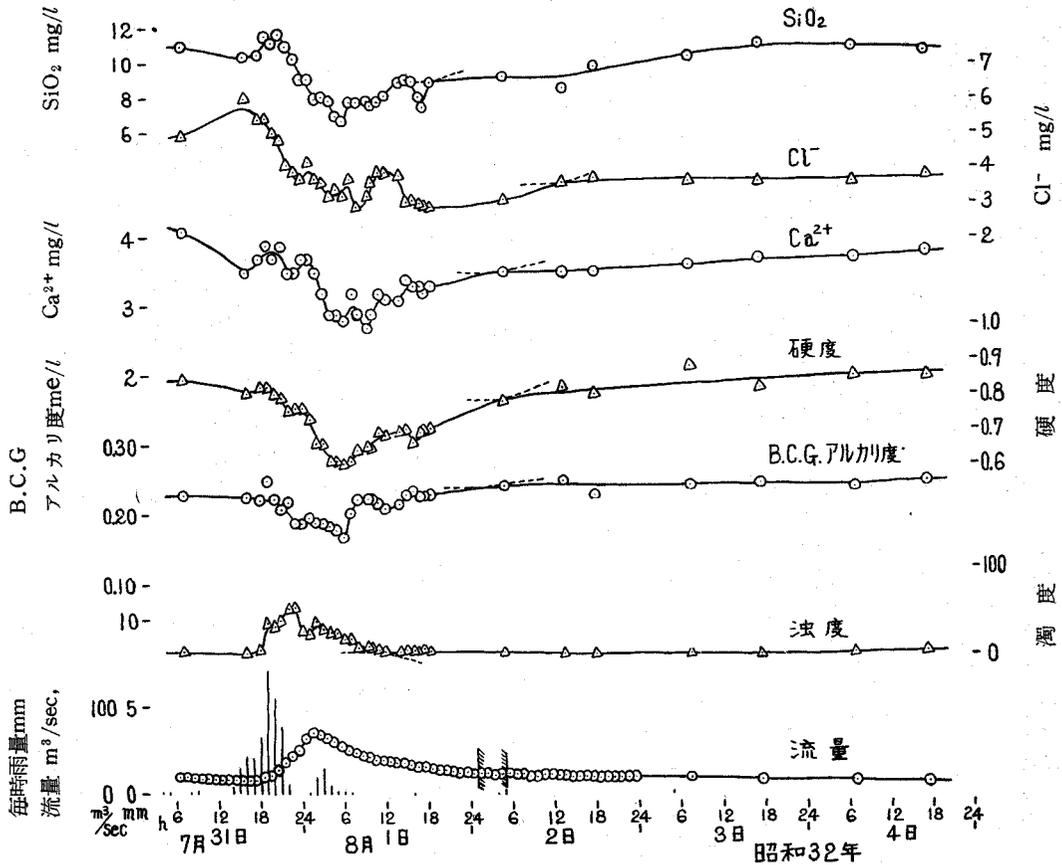
ロ) 水質の時間的な変化

第9図に示すように流量増加にともないB. C. G. アルカリ度、硬度、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SiO_2 等の濃度は減少し、濁度は増加している。B. C. G. アルカリ度、硬度、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SiO_2 の最低値は流量のpeakよりも約4時間~7時間おくれて、濁度の最高値は約2~4時間前に出現している。本出水における最大降雨強度の時刻から最大流量の時刻までの時間は、およそ7時間であり、前記(A.)の



第8図 出水の水質の時間的な変化
(7月8日~7月9日の出水)

出水に比べて約2時間おくれて頂点流量があらわれている。低減部における B.C.G. アルカリ度、硬度、 Ca^{2+} の濃度の時間的な変化の状況から折曲点を求めてみると、ほゞ8月2日の1時~5時と云える。濁度は1日12時頃より既に変化の状況は横すべりをしている。 Cl^- 、 SiO_2 はそれらの濃度変化の状況から客観的に折曲点を決定しがたい。前記(A)の出水における流出始点時(7月8日1時30分)の流量は $13\text{m}^3/\text{sec}$ である。直接流出が終了したと考えられる時刻の流量はほゞ $67\sim 80\text{m}^3/\text{sec}$ であり、流量の peak ($508\text{m}^3/\text{sec}$) を示した時刻(7月8日13時30分)より約29時間30分~34時間30分後にあらわれている。次に本出水においては、流出始点時(7月31日17時30分)の流量は $16\text{m}^3/\text{sec}$ であり、直接流出が終了したと考えられる時刻の流量はほゞ $23\sim 25\text{m}^3/\text{sec}$ で、流量の peak ($71\text{m}^3/\text{sec}$) を示した時刻(8月1日1時30分)より約23時間30分~27時間30分後に



第9図 出水時の水質の時間的な変化(7月31日~8月1日の出水)

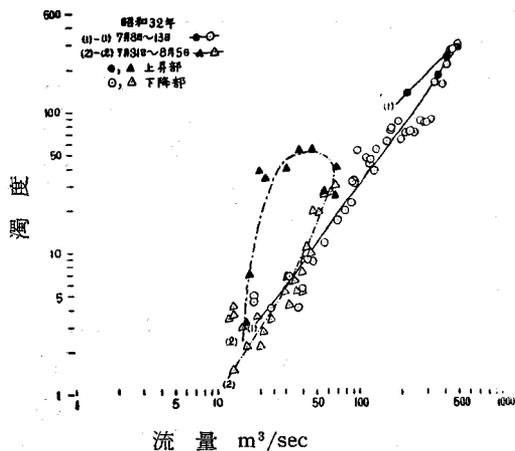
あらわれているようである。

前述した様に、出水時の水質の変化の様子は、流域の降雨量分布、降雨前の流量の大小によつて、またさらに各支流の水質の相異、各支流が採水地点までに流出して来る到達時間の相異(遅滞現象)等によつて異なり、これを詳しく検討すれば複雑な洪水の流出現象上興味ある問題が明らかにされるものと考えられる。

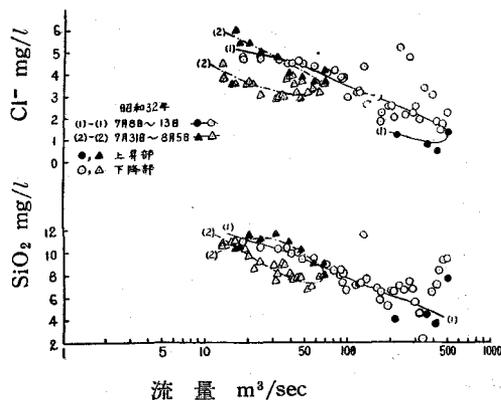
ii) 出水時の河川の水質と流量との関係

前項で論じた2つの出水時における B. C. G. アルカリ度、硬度、 Ca^{2+} 、 Cl^{-} 、 SiO_2 等の各溶解化学成分ならびに濁度(T)の対数と流量(Q)の対数との関係を示してみると第10~12図の如くである。図から分るように、一般的な傾向として眺めるならば、夫々の出水時における各溶解化学成分ならびに $\log T$ と $\log Q$ との関係は直線的に変化しているようである。しかし詳細にみると必ずしも簡単な直線関係は成立しないようである。

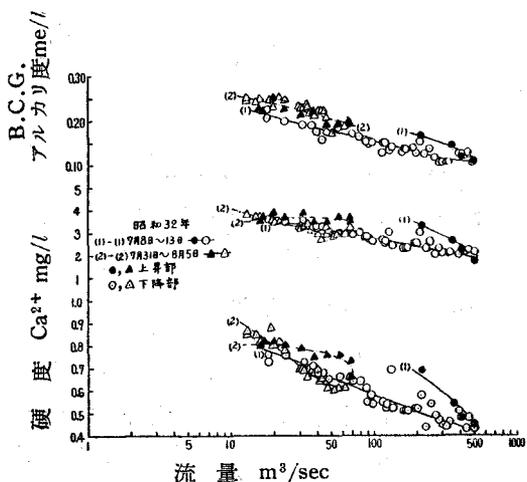
先づ、 $\log T$ と $\log Q$ との関係をみると、第10図から分るように、出水の場合には同一流量でも濁度は流量の peak に達するまでの上昇部と、peak を過ぎて後の下降部とでは異なり、明らかに上昇部の方が下降部の方に比べて濁度の値が大となつている。したがつて $\log T$ と $\log Q$ との関係曲線は loop を画くようである。これは一般的に云つて上昇部においては地表面からの地表流出がみ



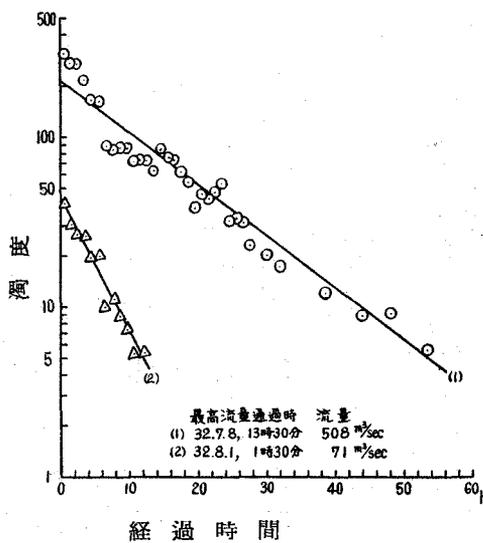
第10図 出水時の濁度と流量との関係



第12図 出水時の Cl⁻, SiO₂ と流量との関係



第11図 出水時の B.C.G. アルカリ度, Ca²⁺, 硬度と流量との関係



第13図 濁度と経過時間との関係

られているが、下降部では、この地表面からの地表流出が一応止んで河道貯溜水の流出に移っているためと考えられる。又 peak 過ぎての下降部における経過時間に対する濁度の値は、片対数紙を用いると第13図に示すように直線関係が成立する。直線の傾斜は7月8日~9日の出水と7月31日~8月1日の出水とは異つてゐる。出水時の濁度の変化は、同一河川でも降雨条件、降雨前の流量の大小、季節等によつても異なるものと考えられるが、この点は今後の検討にまたねばならない。

次に、出水時における B.C.G. アルカリ度、硬度、Ca²⁺、Cl⁻、SiO₂ 等の溶存化学成分と log Q との関係を見ると、7月8日~9日の出水においては、B.C.G. アルカリ度、硬度、Ca²⁺ は明らかに同一流量でも上昇部の方が下降部に比べてそれらの値が大となつてゐるが、Cl⁻ の如く逆に上昇部の方が下降部に比べて低い値を示す傾向がみられる場合もある。7月31日~8月1日の出水においては、硬度、Ca²⁺、Cl⁻、SiO₂ の濃度は上昇部の方が下降部に比べて大となつて居り、これ

ら成分と $\log Q$ との関係曲線は明瞭な loop を画いているが、B. C. G. アルカリ度の場合には明瞭ではない。

いつれにせよ各成分量は流量の上昇部と下降部とでは異なる傾向がみられた。この点はなお多くの出水について資料をまとめてみないととはつきりしたことは分らないが、流出機構を化学的に調査する上に興味ある問題である。

要 約

以上の結果を要約すると次の通りである。

(1) 昭和32年7月～8月に亘つて、和賀川上流川尻橋地点で採水して得られた各成分について夫々149の測定値について検すると、一般的に云つて硬度、B. C. G. アルカリ度、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SiO_2 と流量の対数との関係は直線的に変化しており、それらの相関係数は大なる値をとり、密接な負の相関関係があると認められた。逆に、濁度の対数ならびに NH_4 と流量の対数との間には正の相関関係が認められた。 pH は流量増加に伴なつて減少する傾向がみられたが、 PO_4 と流量との間には、はつきりした関係はみられなかつた。又各成分と $\log Q$ との関係式から流量が $10 \rightarrow 500 m^3/sec$ と50倍に増加すると、B. C. G. アルカリ度、硬度、 Ca^{2+} 、 SiO_2 の濃度はほぼ半減し、 Cl^- は4割に減少し、流量の増加に比較すれば、これら成分の濃度の減少は極めて小さい。これに反して濁度は約100倍に増加する。

(2) 各成分の変動係数については、濁度、 NH_4 、 PO_4 が大なる値を示し、不安定な成分と考えられる。

(3) 7月8日～9日の大出水ならびに7月31日～8月1日の小出水について、出水時の河川の水質の時間的な変化の模様を詳細に検した。B. C. G. アルカリ度、硬度、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SiO_2 の最低値ならびに濁度の最高値は流量の peak よりも数十分～数時間ずれて出現する傾向がみられた。

(4) 出水時と出水前或は出水が終了した後の水質の時間的な変化の状況から、化学的に降雨による直接流出が終了する点(所謂折曲点)を検討し、ほぼ4～5時間の時刻の範囲内で実証することが出来た。

(5) 一般的に云つて、出水の場合には同一流量でも各成分量は流量の上昇部と下降部とでは異なり、各成分と流量との関係曲線は loop を画く。

本研究は昭和32年度の建設省岩手工事事務所河川事業調査費の補助をえて、建設省岩手工事事務所の協力の下に行つたものである。終始御支援、御協力をいただいた建設省岩手工事事務所長伊藤技官、建設省東北地方建設局富士野技官、建設省岩手工事事務所調査課長長井技官、同洪水予報係長森技官ならびに現地で採水及び実験に献身的な助力をしていただいた岩手県野田村立野田小学校石沢教諭、埼玉県西武町立西武小学校紫竹教諭に心から感謝の意を表する。