

東北地方の河川水質について

小林 純・森井ふじ・村本茂樹
中島 進・浦上佳子・西崎日佐夫
寺岡久之・長尾憲人

I. 緒 言

地表で行われる岩石や土壌の風化および浸蝕の大部分は陸水によってなされ、溶解した物質は多くの場合河川により海に運ばれる。従って河川水の量および質についての知識は農業、水産、工業、衛生など人類の生活にとって極めて重要なばかりでなく、陸地の風化過程を知る上にも大切である。

これらの問題に早くから着目⁽¹⁾した著者らの一人小林は今より30余年前の1942年4月以来、約15年間を要して日本全国の500余河川の水質に関する系統的な化学的研究を行い、そのうち国内の主要な225河川⁽¹⁻⁴⁾、秋田県内の26河川^(5,6)、関東地方の64河川^(7,8)、九州地方の70河川^(9,10)などについてはすでに詳細な報告をしている。

現著者らはその後の水質変化の様相などを知る目的で、1972年10月より3年間にわたり、小林の前の調査地点のうちから約1/3にあたる全国174の河川と湖を選び、再度各1年間12回ずつの水質分析を行った。そこで、本報告では東北地方の河川について、前回の小林の既発表、未発表分とともに今回得られたデータを総合して、河川水質の特徴だけでなく、地質、季節、河川流量、流程などによる水質の変動、主要成分濃度間の相関、前回と今回の水質の比較などについて検討を行い、東北地方の河川水質の全体像を把握することができたので、その内容を報告する。

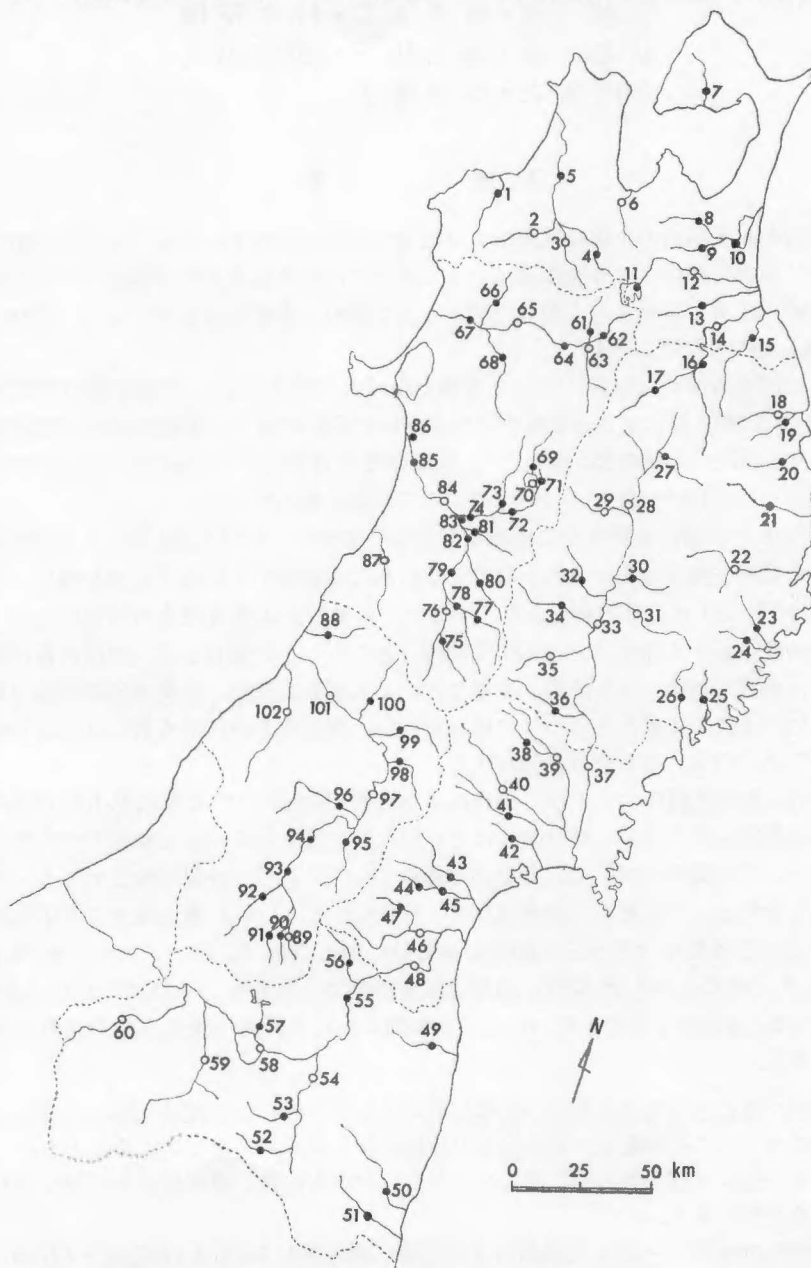
東北地方の河川水質については、小林による主要35河川⁽¹⁻⁴⁾と秋田県下の26河川^(5,6)についての報告があるほか、部分的にはその他に最上川水系について加藤⁽¹¹⁻¹⁹⁾の、北上川水系について後藤ら⁽²⁰⁻²⁴⁾の、雄物川水系について入江⁽²⁵⁾の報告などがある。その他水質保全を目的とした行政上の調査報告⁽²⁶⁾がみられる。しかし東北地方の河川を網羅して、本報告ほど多種の分析項目(前回はpH, Ca, Mg, Na, K, Fe, アルカリ度, SO_4 , Cl, SiO_2 , $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, COD, 溶解性蒸発残留物, 懸濁物; 今回はそれらに導電率, Sr, F, $\text{NO}_2\text{-N}$, 混濁度を追加)についての長期間にわたる研究の成果が報告された例はないようである。

採水場所の選定と現地での毎回の試水採取にあたり、熱心なご援助を賜った東北地方の各県ご当局ならびに現地駐在の利水関係の皆様に対し厚くお礼申し上げますとともに、小林の前回調査の際に分析上多大のご協力をいただいた下山次世、菅原広氏らに対しても心から感謝の意を表します。

なお本研究の経費の一部は文部省科学研究費〔課題番号747072(1972年~1974年)〕によったものであり、また本報告の一部はすでに日本陸水学会、日本土壌肥科学会および地球化学討論会において数回にわたり発表したことを付記する。

II. 水質調査の場所、期間および採水方法

水質調査の場所は第1図および第1表に示す様に北上川水系に14ヶ所、阿武隈川水系に8ヶ所、米代川水系に8ヶ所、雄物川水系に18ヶ所、最上川水系に12ヶ所、岩木川水系に4ヶ所、馬淵川水系に3ヶ所、それに湖沼として小川原湖、十和田湖、田沢湖、猪苗代



第1図 東北地方の河川、湖の採水地点一覧図（黒丸および白丸は小林が1942年4月～1956年5月に調査、また白丸は現著者らが1972年10月～1973年9月に再び調査した地点）

第1表 東北地方の採水河川名、場所、期間、回数一覧表

No.	河川名	採水場所	採水期間 (西暦年月)	分析回数
1	赤石川	青森県西津軽郡鯉ヶ沢町山子	1955. 5~1956. 3	6
2	岩木川	青森県中津軽郡岩木町	1955. 5~1956. 3	6
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
3	平川	青森県弘前市石川町	1955. 5~1956. 3	6
"	"	青森県南津軽郡大鰐町宿河原	1972. 10~1973. 9	12
4	浅瀬石川	青森県黒石市板留	1955. 5~1956. 3	6
5	岩木川	青森県五所川原市五所川原町	1955. 5~1956. 4	12
6	荒川(堤川)	青森市金浜	1955. 5~1956. 3	5
"	"	青森市高田	1972. 10~1973. 9	12
7	川内川	青森県下北郡川内町銀杏木	1955. 5~1956. 3	6
8	大坪川	青森県上北郡天間林村坪	1955. 5~1956. 3	6
9	七戸川	青森県上北郡七戸町	1955. 5~1956. 3	6
10	小川原湖	青森県上北郡上北町大浦	1955. 5~1956. 3	6
11	十和田湖	青森県上北郡十和田町子ノ口	1955. 5~1956. 5	12
12	奥入瀬川	青森県十和田市三本木	1955. 5~1956. 4	12
"	"	青森県十和田市相坂	1972. 10~1973. 9	12
13	五戸川	青森県三戸郡五戸町	1955. 5~1956. 3	6
14	馬淵川	青森県三戸郡福地村苦米地	1955. 5~1956. 4	12
"	"	青森県八戸市櫛引橋上流	1972. 10~1973. 9	12
15	新井田川	青森県八戸市下田中沢	1955. 5~1956. 3	6
16	馬淵川	岩手県二戸郡一戸町岩館	1955. 5~1956. 3	6
17	安比川	岩手県二戸郡安代町荒屋新町	1955. 5~1956. 3	6
18	久慈川	岩手県久慈市大川目町三日町	1955. 5~1956. 3	6
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
19	長内川	岩手県久慈市長内町柏木	1955. 5~1956. 3	6
20	安家川	岩手県下閉伊郡岩泉町安家	1955. 5~1956. 3	6
21	小本川	岩手県下閉伊郡岩泉町尼額	1955. 5~1956. 3	6
22	閉伊川	岩手県下閉伊郡新里村茂市	1955. 5~1956. 3	6
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
23	大槌川	岩手県上閉伊郡大槌町大ヶ口	1955. 5~1956. 3	6
24	鶯住居川	岩手県釜石市鶯住居町	1955. 5~1956. 3	6
25	盛川	岩手県大船渡市日頃市町長安寺	1954. 5~1955. 3	6
26	気仙川	岩手県気仙郡住田町	1954. 5~1955. 3	6
27	丹藤川	岩手県岩手郡岩手町川口	1955. 5~1956. 3	6
28	北上川	岩手県盛岡市上田手掛松	1954. 5~1955. 4	12
"	"	岩手県盛岡市館向町33番地先	1972. 10~1973. 9	12
29	雫石川	岩手県盛岡市太田	1954. 5~1955. 3	6
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
30	稗貫川	岩手県稗貫郡大迫町大槻	1954. 5~1955. 3	6

No.	河川名	採水場所	採水期間 (西暦年月)	分析 回数
31	猿ヶ石川	岩手県和賀郡東和町前郷	1954. 5~1955. 3	6
"	"	"	1972. 10~1973. 9	11
32	豊沢川	岩手県花巻市志戸平	1954. 5~1955. 3	6
33	北上川	岩手県北上市立花	1954. 5~1955. 4	12
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
34	和賀川	岩手県和賀郡和賀町	1954. 5~1955. 3	6
35	胆沢川	岩手県胆沢郡胆沢町	1954. 5~1955. 3	6
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
36	磐井川	岩手県一関市五串	1954. 5~1955. 3	6
37	北上川	宮城県登米郡中田町	1954. 5~1955. 4	12
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
38	二迫川	宮城県栗原郡鷺沢町	1954. 5~1955. 4	6
39	迫川	宮城県栗原郡若柳町川南	1954. 5~1955. 3	6
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
40	江合川(荒雄川)	宮城県玉造郡岩出山町上宮	1954. 5~1955. 3	6
"	"	"	1972. 10~1973. 9	11
41	鳴瀬川	宮城県志田郡三本木町	1954. 5~1955. 3	6
42	吉田川	宮城県黒川郡大郷町粕川	1954. 5~1955. 3	6
43	広瀬川	宮城県仙台市生出	1954. 5~1955. 3	6
44	碁石川	宮城県柴田郡川崎町碁石	1954. 5~1955. 3	6
45	名取川	宮城県名取市高館	1954. 5~1955. 3	6
46	白石川	宮城県柴田郡大河原町大谷	1954. 5~1955. 3	6
"	"	"	1972. 10~1973. 9	11
47	松川	宮城県刈田郡蔵王町遠刈田	1954. 5~1955. 3	6
48	阿武隈川	宮城県伊具郡丸森町	1954. 5~1955. 4	12
"	"	"	1972. 10~1973. 9	11
49	新田川	福島県原町市南新田	1954. 5~1955. 3	6
50	夏井川	福島県いわき市平赤井	1954. 5~1955. 3	6
51	鮫川	福島県いわき市遠野町根岸	1954. 5~1955. 3	6
52	阿武隈川	福島県西白河郡西郷村	1954. 5~1955. 3	6
53	釈迦堂川	福島県須賀川市	1954. 5~1955. 3	6
54	阿武隈川	福島県郡山市安原町	1954. 5~1955. 4	12
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
55	阿武隈川	福島市小倉寺	1954. 5~1955. 3	6
56	摺上川	福島市飯坂町	1954. 5~1955. 3	6
57	長瀬川	福島県耶麻郡猪苗代町	1944. 4~1945. 2	11
58	猪苗代湖	福島県耶麻郡猪苗代町上戸浜	1944. 4~1945. 2	11
"	"	"	1972. 10~1973. 9	9
59	大川	福島県河沼郡会津坂下町	1944. 4~1945. 2	11
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12

No.	河川名	採水場所	採水期間 (西暦年月)	分析回数
60	只見川	福島県大沼郡三島町宮下	1944. 4~1955. 4	23
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
61	小坂川	秋田県鹿角市十和田瀬田石橋下流	1942. 4~1943. 3	11
62	大湯川	秋田県鹿角市十和田	1942. 4~1943. 3	11
63	米代川	秋田県鹿角市十和田錦木	1942. 4~1943. 3	11
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
64	米代川	秋田県北秋田郡比内町	1942. 4~1943. 3	11
65	米代川	秋田県北秋田郡鷹巣町	1942. 4~1943. 3	11
"	"	"	1955. 5~1956. 4	12
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
66	藤琴川	秋田県山本郡二ツ井町荷上場	1942. 4~1943. 3	11
67	米代川	秋田県山本郡二ツ井町	1942. 4~1943. 3	11
68	阿仁川	秋田県北秋田郡合川町	1942. 4~1943. 3	11
69	玉川	秋田県仙北郡田沢湖町	1942. 4~1943. 3	9
70	田沢湖	秋田県仙北郡田沢湖町生保内	1942. 5~1943. 3	10
"	"	"	1955. 5~1956. 4	12
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
71	玉川	秋田県仙北郡田沢湖町舟場	1942. 4~1943. 3	11
72	玉川	秋田県仙北郡角館町白石	1942. 5~1943. 3	10
"	"	"	1955. 5~1956. 4	12
73	桧木内川	秋田県仙北郡角館町	1942. 4~1943. 3	11
74	玉川	秋田県大曲市花館	1942. 4~1943. 3	11
75	高松川	秋田県湯沢市高松	1942. 4~1943. 3	11
76	雄物川	秋田県湯沢市湯沢	1942. 4~1943. 3	11
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
77	成瀬川	秋田県平鹿郡増田町	1942. 4~1943. 3	11
78	皆瀬川	秋田県湯沢市岩崎町	1942. 4~1943. 3	11
79	雄物川	秋田県平鹿郡雄物川町	1942. 4~1943. 3	10
80	横手川	秋田県横手市二ノ口	1942. 4~1943. 3	11
81	丸子川	秋田県大曲市黒瀬	1942. 4~1943. 3	11
82	雄物川	秋田県大曲市花館	1942. 4~1943. 3	11
83	用水路*	秋田県大曲市花館	1942. 4~1943. 3	11
84	雄物川	秋田県仙北郡西仙北町刈和野	1942. 4~1943. 3	11
"	"	"	1955. 5~1956. 4	12
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
85	雄物川	秋田市四ツ小屋	1942. 4~1943. 3	11
86	用水路**	秋田市泉	1942. 4~1943. 3	11
87	子吉川	秋田県由利郡由利町	1942. 7~1943. 6	12
"	"	"	1972. 10~1973. 9	12
88	日向川	山形県酒田市宮内	1954. 5~1955. 3	6

No.	河川名	採水場所	採水期間 (西暦年月)	分析回数
89	羽黒川	山形県米沢市上花沢羽黒川橋	1972.10~1973.9	12
90	松川	" 相生橋	1954.5~1955.3	6
91	鬼面川	山形県米沢市館山大樽町	1954.5~1955.3	6
92	白川	山形県西置賜郡飯豊町	1954.5~1955.3	6
93	松川	山形県長井市下伊佐沢	1954.5~1955.3	6
94	最上川	山形県西置賜郡白鷹町	1954.5~1955.3	6
95	須川	山形県東村山郡山辺町	1954.5~1955.3	6
96	寒河江川	山形県寒河江市白岩町	1954.5~1955.3	6
97	最上川	山形県村山市河島	1954.5~1955.4	12
"	"	山形県村山市西郷	1972.10~1973.9	12
98	丹生川	山形県尾花沢市荻袋	1954.5~1955.3	6
99	小国川	山形県最上郡舟形町	1954.5~1955.3	6
100	鮭川	山形県最上郡鮭川村	1954.5~1955.5	6
101	最上川	山形県飽海郡松山町山寺	1954.5~1955.4	12
"	"	"	1972.10~1973.9	12
102	赤川	山形県鶴岡市大宝寺	1954.5~1955.3	6
"	"	"	1972.10~1973.9	12

*) 農林省農事試験場東北支場圃場試験用灌溉水

**) 秋田県立農事試験場圃場試験用灌溉水

湖など東北地方一円にわたる102ヶ所である。前回小林がそのうち羽黒川(89)を除く101ヶ所を1942年~1956年の間に満1ヶ年間にわたる各6~12回の化学的調査を行い、さらに1972年10月~1973年9月の満1ヶ年間に現著者らが重点的に31ヶ所を選び、ほぼ前回と同一の場所(第1図の白丸の地点)で採水調査を行った。

場所の選定、採水方法などは小林によりすでに報告^(2,3)されているとおりでである。

III. 分 析 方 法

1942年から始められた河川水質の研究において、一部の分析方法は機器分析の発展にもなって、それに移行したが、その概要は次のようである。

pH: 色素の溶液を混和して標準緩衝液の色調と比較する(鈴研株式会社のSZK水素イオン濃度(pH)比色測定器使用)。

Ca: 1942年~1960年の間は試水の上澄液100mlをとり蒸発乾固し、溶解性蒸発残留物を秤量した後、塩酸で処理してケイ酸を分離除去し、ついでアンモニア水で中和し、Feの多い試水はFeを除去後、常法に従いCaをシュウ酸塩として沈殿させ、その沈殿を硫酸に溶解後、過マンガン酸カリウム溶液で滴定する。ろ過操作はすべてろ過棒⁽²⁸⁾による微量法を応用した。1972年以降は試水にKが1,000ppm共存するよう塩化カリウム溶液を加え、1N塩酸酸性とし原子吸光分光光度法(日本ジャーレル・アッシュ社製原子吸光分析装置AA-1, Mark II型、高温バーナー使用、燃料は亜酸化窒素とアセチレン)により4227Åの吸光度を測定し定量する。

Mg: 1942年～1944年の試水はCaを分離したろ液のpHを適当に調節した後、オキシキノリン塩として沈殿させ、臭素酸カリウムとチオ硫酸ナトリウムの溶液で滴定する⁽²⁸⁾。1945年以降はチタンイエローによる比色法⁽²⁹⁾、1972年以降はCaの場合と同一の方法で原子吸光分光光度法により2852 Åの吸光度を測定し定量する。

Na: 1953年4月までは酢酸亜鉛ウラニールによる重量法⁽²⁹⁾、それ以後1960年までは自記記録装置を備えた島津製炎光分析装置、また1972年以降は前記原子吸光分析装置(炎光分光分析併用)を炎光分析用に切りかえて、水素を燃料に5890 Åの吸光度を測定し定量する。炎光法の場合試水は適度に希釈して分析する。

K: 1942年より1953年4月までは次のような方法である。試水に硫酸1滴を加え白金皿中で蒸発乾固し、微赤熱の程度に注意しながら加熱した後、塩化白金酸液を加え、生ずる沈殿をアルコールでろ過洗滌した後、熱水に溶解し、ヨウ化カリウムを加えて発色するブドー酒様の赤色をチオ硫酸ナトリウム溶液で滴定する^(30,31)。1953年5月以降はNaの場合と同様に炎光分光分析(測定波長7665 Å)による。

Fe: 富山⁽³²⁾に従い、試水に塩酸と過酸化水素を混和し、チオシアン酸カリウム溶液を加えて生ずる赤色を比色する。

Sr: 試水の上澄液100 mlを用いて溶解性蒸発残留物を測定した後、その残留物に濃塩酸1 mlを加え加熱溶解した後、一定容(10 ml, 1 N塩酸酸性)とする。Kが1,000 ppmになるように塩化カリウムの溶液を加え、高温バーナーを用い、亜酸化窒素とアセチレンを燃料にして原子吸光分光光度法により4607 Åの吸光度を測定する。

アルカリ度 (CaCO₃): 試水20 mlをマイクロビーカーにとり、ブロムクレゾールグリーンを指示薬とし、pH 4.2および4.4の緩衝液が呈する色調と比較しながら、その中間色のpH 4.3に達するまでマイクロビュレットから酸を滴加し、得た値から算出する。

SO₄: 1942年～1958年4月まではFiske⁽³³⁾、岩田⁽³⁴⁾のベンジジンによる容量法を小林が変更した方法^(35,36)を用いた。すなわち、試水50 mlを濃縮後、ベンジジン試薬を加えて沈殿させ、ろ紙をつめたろ過棒でろ過し、針でろ紙と共に硫酸ベンジジンの沈殿をマイクロビーカー内に取り出し、熱水を加えて加熱溶解した後、アルカリ液で滴定し、空試験の結果を差し引いてSO₄を算出する。1958年5月からは米国標準分析法⁽³⁷⁾に従い、試水に塩の塩酸溶液と塩化バリウムを加え、直ちにマグネチックスターラーを使用して、正確に食一定時間攪拌した後、濁度計により散乱光を測定する。

Cl: 試水にクロム酸カリウムを指示薬として加え、マイクロビュレットから硝酸銀溶液を滴加して滴定する。Clの含有量が希薄な試水の場合には、空試験の結果を差し引きしてもなお実験値が過大となる傾向を認めたので、種々の濃度の標準液を調製して、暗室内の黄色光線のもとで試水と並べて比較滴定を行い、終点の決定に正確を期した。

F: 試水に新しく調製したランタン-アリザリンコンプレクソン(ドータイト・アルフッソン)試薬溶液およびアセトンを加え、よく振り混ぜ1時間後に620 nmにおける吸光度を試薬ブランク溶液を対照液として測定⁽³⁸⁾する。

SiO₂: 1942年4月～1954年4月まではDienert-Wandenbulcke法⁽³⁹⁾により発色させた黄色をピクリン酸を標準としてツァイスのプルフリッヒ光度計またはデュボスク比色計で比色した⁽²⁷⁾。1954年11月～1960年までは島津製QB-50型光電分光光度計によりケイ

酸溶液を標準として測定。また1972年以降は Strickland らの方法⁽⁴⁰⁾により発色させ、430 nm の吸光度を日立分光光度計 101 型で測定する。なお SiO₂ の含有量の少ない場合は、モリブデンブルーに還元してその呈色を 700~810 nm の間で測定する。

PO₄-P：1942年~1960年の間はモリブデン酸アンモニウム溶液と塩化第一スズ溶液により生ずる青色を比色管で比色したが、1972年以後は米国標準分析法⁽⁴¹⁾により 660 nm の吸光度を測定している。

NO₃-N：富山⁽⁸²⁾に従い、試水に塩化ナトリウムと Tillmann 試薬を加えて生ずる青色の吸光度を 610 nm で測定する。

NO₂-N：スルファニールアミン溶液とナフチールエチレンジアミン溶液とより生ずる呈色を比色管で比色する。

NH₄-N：ネスラー試薬による発色を比色管により比色する。

COD：酸性過マンガン酸カリウム法により測定する。すなわち試水をよく混合して一定量を取り、硫酸と硫酸銀を加えた後、過マンガン酸カリウム溶液の過剰量を加え、すでに十分沸とうしている水浴中に正確に 30 分間保った後、直ちにシュウ酸ナトリウム溶液の一定量を加えて未反応の過マンガン酸カリウムを分解させて試水を無色とし、その試水を加熱しながら残存しているシュウ酸を過マンガン酸カリウムで滴定する。測定値が高い場合は試水を希釈して再び測定する。

溶解性蒸発残留物：吸湿を防ぐため、すり合わせのふたのついた秤量ビンに試水の上澄液 100 ml を入れ、ホットプレート上で蒸発してほとんど乾固後、105°C で 1 時間乾燥しふたをして秤量する。

懸濁物：東洋ろ紙 (No. 6) を直径 3.6 cm の円形に切り、ろ過器によってろ過し、乾燥し秤量する。秤量中、ろ紙の吸湿による影響があるから、ほぼ同じ大きさのろ紙を風袋として、その都度秤量し、吸湿の影響を避ける。

混濁度：カオリンの 1~50 mg/l の懸濁液と試水の混濁とを、570 nm での散乱光を比較測定する。

導電率：試水を正確に 25°C に保ち、電導度計 (東亜電波 K K 製、数字式電導度計 CM-IDB 型) により測定。

IV. 結 果

第 2 表に掲げた分析値は前記のとおり 1942 年 4 月から 1956 年 5 月にかけて 101 ヶ所を年間 6~12 回 (秋田県では 1942 年 4 月~1943 年 3 月と 1955 年 5 月~1956 年 4 月の再度の分析を行った地点がある) 行った分析の平均値 (これらすべてを前回の分析結果とする) と、1972 年 10 月から 1973 年 9 月にかけて 31 ヶ所で年間 12 回採水し分析した平均値 (これを今回の分析結果とする。導電率は省略) との平均値とを示す。

これらの結果より東北地方の水質の概況を知るために、まず主要成分のヒストグラムを作ってみると、第 2-1~2-9 図のとおりである。図において上段の白い部分は前回だけの結果であり、上段の斜線の部分は今回採水した河川について前回の分析結果を示し、また下段は今回の分析結果を示している。上、下段の斜線の部分の比較により 16~30 年前と、現時点との水質の変動の様子を全体的に把握することができる。

第 2 表 東北地方の河川水の分析結果一覽表

(mg/l, 但し p 除く)

No.	河川名	pH	Ca	Mg	Na	K	Fe	Sr	アルカリ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	F	SiO ₂	PO ₄ -P	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	COD	溶解性		混濁度
																			蒸発懸濁物	残留物	
1	赤石川	6.9	7.7	2.3	9.6	0.74	0.06		22.2	13.5	10.4		13.7	0.004	0.12		0.04	0.68	75	5.6	
2	岩木川	7.0	8.7	2.1	7.8	0.77	0.02		20.1	13.5	10.0		10.4	0.003	0.09		0.11	0.81	73	4.9	
3	平川	6.8	10.6	3.7	9.6	1.60	0.08	0.051	24.2	19.3	13.7	0.03	18.7	0.009	0.34	0.008	0.04	1.9	97	22	12
4	浅瀬石川	6.7	5.3	1.6	9.3	1.08	0.06		13.6	10.7	12.6		18.0	0.003	0.31		0.04	1.0	74	8.3	
5	岩木川 (荒川)	6.6	10.5	2.9	19.3	2.12	0.05	0.077	24.3	16.3	28.6	0.03	26.3	0.037	1.00	0.029	0.18	2.5	132	13	8.4
6	荒川 (堤川)	6.9	3.9	0.9	7.8	0.99	0.06		16.9	4.7	7.8		30.6	0.005	0.11		0.03	1.1	75	5.4	
7	川内川	6.8	8.3	2.7	11.6	1.41	0.73		25.0	12.9	14.2		27.5	0.009	0.45		0.03	1.6	97	31	
8	大坪川	6.8	13.8	4.1	9.7	1.38	0.93		0	90.8	21.7		36.8	<0.003	0.17		0.02	0.48	197	3.8	
9	七戸川	3.7	3.7	4.1	9.7	1.38	0.93		0	90.8	21.7		36.8	<0.003	0.17		0.02	0.48	197	3.8	
10	小川原湖	3.6	15.4	4.8	8.4	1.46	0.48	0.048	0	89.6	22.9		31.2	0.013	0.18	0	0.21	2.2	177	46	14
11	十和田湖	6.6	3.3	1.3	8.4	0.79	0.08		8.8	4.9	11.8		15.4	<0.003	0.11		0.03	1.0	59	2.6	
12	奥入瀬川	6.0	10.1	1.6	6.4	0.74	2.19		5.1	30.6	6.9		17.8	<0.003	0.15		0.03	0.63	87	9.4	
13	五戸川	6.8	5.6	1.4	5.8	0.74	0.07		19.7	5.9	6.2		24.1	<0.003	0.19		0.03	0.81	64	6.4	
14	馬淵川	7.0	11.3	7.0	62.1	2.93	0.09		18.8	20.2	102.0		18.5	0.004	0.14		0.06	1.0	273	4.1	
15	新井田川	7.3	6.8	2.5	27.2	1.65	0.01		45.8	24.1	16.6		23.6	<0.003	0.11		0.04	0.61	137	3.4	
16	馬淵川	7.1	6.8	1.7	13.7	1.17	0.09		30.8	12.9	9.0		38.6	0.005	0.20		0.03	0.84	102	12	
17	安比川	6.9	8.4	2.7	12.2	1.30	0.03	0.040	33.1	12.7	9.6	0.02	38.9	0.006	0.48	0.003	0.01	1.1	110	11	6.3
18	久慈川	7.1	6.9	1.3	6.4	1.23	0.34		25.8	8.0	4.7		49.6	0.012	0.30		0.03	1.3	94	35	
19	長内川	7.0	8.3	1.6	6.3	1.21	0.25		25.8	8.4	5.3		32.5	0.006	0.42		0.03	1.7	82	40	
20	安家川	6.8	10.1	2.7	7.6	1.47	0.11	0.050	31.2	11.4	6.9	0.02	31.2	0.015	0.60	0.019	0.04	2.3	94	13	14
		7.0	7.4	1.4	6.1	1.29	0.20		25.1	5.2	6.3		29.2	0.003	0.46		0.04	1.7	75	35	
		7.1	7.3	1.4	4.3	0.81	0.10		24.9	3.5	3.9		18.8	0.004	0.31		0.03	1.1	61	12	
		6.8	4.6	1.1	4.3	0.70	0.13		13.4	8.4	4.0		22.3	<0.003	0.09		0.03	0.81	60	6.4	
		7.2	10.1	1.0	4.2	0.79	0.01		30.8	3.1	4.2		18.3	0.004	0.27		0.02	0.58	64	3.4	
		7.2	11.4	1.4	4.1	0.99	0.01	0.055	35.5	3.5	3.6	0.01	20.8	<0.003	0.17	0.001	0.02	0.90	68	3.2	3.3
		7.4	20.0	1.0	4.0	0.85	0.02		54.2	3.4	3.6		19.0	0.003	0.33		0.03	0.53	86	2.3	
		7.2	9.9	1.0	3.1	0.61	0.02		28.5	2.3	2.3		15.5	0.003	0.17		0.02	0.96	56	2.6	

No.	河川名	pH	Ca	Mg	Na	K	Fe	Sr	硬度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	F	SiO ₂	PO ₄ -P	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	COD	溶解性 炭素 残留物	懸濁物	濁度
21	小本川	7.1	7.8	1.1	3.3	0.61	0.02		25.5	2.6	2.4		15.6	<0.003	0.24		0.03	0.73	50	4.6	
22	閉伊川	7.0	5.4	1.1	2.9	0.55	0.01		20.7	2.7	1.7		14.2	0.003	0.15		0.03	0.51	41	3.6	
"	"	6.9	5.8	1.4	3.1	0.76	0.01	0.032	21.9	3.1	1.7	0.02	15.8	<0.003	0.07	0	0.16	0.91	46	4.0	1.6
23	大槌川	7.0	8.5	0.9	3.9	0.83	0		26.0	3.9	3.1		16.6	0.009	0.29		0.02	0.41	54	3.4	
24	鶴住居川	7.0	5.4	0.8	3.4	0.55	0.02		22.1	1.7	2.3		18.8	0.007	0.25		0.02	0.58	46	2.8	
25	盛仙川	7.3	11.9	0.7	3.6	0.60	0.01		32.9	2.4	3.6		13.5	0.003	0.12		0.09		60	2.7	
26	気仙川	7.5	18.1	1.0	3.8	0.69	0.01		50.8	3.3	3.4		16.4	0.009	0.28		0.10	0.86	82	3.2	
27	丹藤川	7.0	4.3	0.9	2.9	0.42	0.05		17.1	1.7	2.1		14.0	0.004	0.10		0.03		40	3.7	
28	北上川	4.7	18.0	3.4	6.1	1.12	4.47		2.1	75.5	5.1		28.1	<0.003	0.34		0.10	1.1	152	37	
"	"	5.0	33.6	4.9	6.1	1.68	0.86	0.071	4.9	104.4	6.4	0.06	31.1	<0.003	0.52	0.006	0.33	1.1	200	16	23
29	雫石川	7.0	6.8	1.4	5.9	0.66	0.10		18.3	11.9	4.6		19.8	<0.003	0.11		0.08		66	10	
"	"	6.8	8.0	2.0	5.8	1.14	0.04	0.033	20.7	13.3	5.0	0.02	22.0	<0.003	0.18	0.001	0.03	1.1	72	13	6.8
30	稗貫川	7.2	7.1	1.8	3.0	0.60	0.03		26.1	2.8	2.3		15.0	<0.003	0.15		0.08		48	13	
31	猿ヶ石川	7.2	7.3	1.5	3.9	0.77	0.12		27.2	2.0	2.8		16.2	<0.003	0.16		0.07		54	5.4	
"	"	6.9	7.5	1.9	4.1	1.18	0.05	0.049	27.3	3.5	3.9	0.01	20.4	<0.004	0.30	0.004	0.04	1.5	60	5.4	4.0
32	豊沢川	6.8	5.1	1.3	7.1	0.71	0.25		11.4	14.2	5.7		18.9	<0.003	0.06		0.08		63	7.7	
33	北上川	6.8	9.4	2.1	5.4	0.95	0.86		16.3	24.9	5.0		22.5	<0.003	0.26		0.09		82	13	
"	"	6.4	16.4	3.2	6.0	1.38	0.27	0.052	17.0	41.1	6.3	0.02	26.9	<0.006	0.51	0.008	0.06	1.4	116	16	10
34	和賀川	6.8	6.8	1.7	6.5	0.77	0.31		12.1	16.9	6.8		13.2	<0.003	0.14		0.06		68	16	
35	胆沢川	7.1	7.8	1.2	4.2	0.50	0.03		20.5	9.4	4.1		13.9	<0.003	0.05		0.09		57	5.0	
"	"	6.9	8.6	1.6	4.4	0.76	0.03	0.034	22.8	9.9	3.9	0.02	17.0	<0.003	0.06	0.001	0.02	0.76	62	9.6	9.4
36	磐井川	6.9	5.1	1.0	5.7	0.89	0.09		12.1	10.5	5.5		21.5	<0.003	0.09		0.04		63	5.0	
37	北上川	6.9	8.8	2.0	5.5	0.86	0.48		17.6	19.3	5.9		19.6	<0.003	0.26		0.08		76	17	
"	"	6.6	13.5	2.9	7.0	1.32	0.15	0.053	20.3	29.1	8.1	0.02	21.8	<0.006	0.42	0.006	0.06	2.1	101	21	11
38	二迫川	5.2	23.8	2.6	6.2	1.18	2.42		2.9	133.9	5.4		23.7	<0.003	0.21		0.09		236	10	
39	二迫川	6.7	9.4	1.4	5.6	1.18	0.44		13.4	31.2	4.8		29.8	0.003	0.13		0.06		91	21	
"	"	6.7	14.8	2.2	6.6	1.62	0.25	0.086	20.4	33.1	6.3	0.15	34.9	<0.009	0.13	0.001	0.02	1.7	120	18	12

40	江合川 (荒雄川)	6.6	6.3	1.6	11.2	1.29	0.32	14.8	22.2	10.4	33.4	0.005	0.11	0.09	0.002	0.06	0.06	0.02	0.86	98	14	5.5
"	"	6.7	7.0	2.2	13.1	1.78	0.07	22.2	18.6	11.8	35.4	0.009	0.09	0.002	0.02	0.08	0.08	0.02	0.86	105	8.3	5.5
41	鳴瀬川	6.9	5.7	1.4	6.0	1.10	0.19	20.3	8.2	6.0	31.0	0.007	0.17	0.002	0.08	0.07	0.07	0.08	0.86	72	10	
42	吉田川	6.9	8.3	1.4	7.1	1.07	0.45	27.2	8.8	6.6	35.3	0.020	0.15	0.002	0.07	0.07	0.06	0.07	0.86	87	13	
43	広瀬川	6.9	7.5	1.2	7.0	0.60	0.01	14.4	19.2	5.2	21.3	<0.003	0.11	0.002	0.06	0.06	0.06	0.07	0.86	72	3.2	
44	碯石川	7.0	6.1	1.4	5.9	0.81	0	17.7	12.9	4.4	23.9	<0.003	0.11	0.002	0.07	0.07	0.05	0.07	0.86	70	3.0	
45	名取川	7.1	6.0	1.2	6.0	0.69	0.02	17.3	11.5	5.7	22.0	0.006	0.10	0.002	0.05	0.05	0.05	0.07	0.86	65	2.7	
46	白石川	7.0	8.7	1.8	5.3	0.89	0.13	18.3	20.5	3.8	24.5	0.003	0.13	0.002	0.06	0.06	0.06	0.06	0.86	77	6.4	15
"	"	6.5	12.5	3.0	8.9	1.79	0.11	27.1	24.4	8.6	30.1	0.053	0.34	0.009	0.22	0.22	0.22	0.22	2.0	113	26	
47	松川	5.1	22.8	4.7	9.8	1.47	0.21	2.2	88.6	7.5	38.7	<0.003	0.49	0.009	0.06	0.06	0.06	0.06	2.0	180	2.8	
48	阿武隈川	6.9	10.3	2.2	7.6	1.32	0.26	20.9	24.6	5.5	23.4	0.012	0.37	0.026	0.11	0.11	0.11	0.11	2.8	93	17	
"	"	6.7	15.9	3.9	15.1	2.44	0.14	25.6	38.8	17.0	26.4	0.044	1.11	0.026	0.20	0.20	0.20	0.20	2.8	146	20	9.7
49	新田川	7.0	5.1	1.0	5.3	0.78	0.11	19.5	4.5	3.7	18.6	0.003	0.34	0.035	0.07	0.07	0.07	0.07	2.8	55	7.2	
50	夏井川	6.9	6.8	1.1	6.3	0.93	0.24	20.0	13.1	3.0	21.2	<0.003	0.22	0.035	0.09	0.09	0.09	0.09	2.8	64	16	
51	鮫川	7.2	6.7	1.6	4.2	1.07	0.09	26.6	3.7	2.1	20.7	0.006	0.23	0.035	0.08	0.08	0.08	0.08	2.8	57	9.7	
52	阿武隈川	6.9	8.1	1.2	3.5	0.78	0.24	19.2	13.4	1.3	26.8	<0.003	0.15	0.035	0.05	0.05	0.05	0.05	2.8	66	6.0	
53	釈迦堂川	7.0	7.5	1.4	4.5	0.99	0.27	26.6	6.9	2.4	30.4	<0.003	0.21	0.035	0.07	0.07	0.07	0.07	2.8	72	5.5	
54	阿武隈川	7.0	8.5	1.7	5.3	1.15	0.31	25.1	11.0	3.7	21.1	0.040	0.32	0.035	0.06	0.06	0.06	0.06	2.8	72	12	
"	"	6.7	14.1	3.1	15.8	2.38	0.16	31.4	23.6	20.3	29.3	0.134	1.06	0.035	0.24	0.24	0.24	0.24	3.4	136	21	13
55	阿武隈川	7.1	8.3	1.6	7.0	1.11	0.33	24.6	13.7	4.3	23.7	0.027	0.27	0.035	0.05	0.05	0.05	0.05	3.4	80	31	
56	摺上川	7.1	3.9	0.7	5.5	0.60	0.02	15.4	5.5	3.1	21.6	0.010	0.10	0.035	0.08	0.08	0.08	0.08	3.4	54	3.2	
57	長瀬川	3.8	14.3	3.5	8.0	2.17	2.42	0.58	83.3	12.3	26.8	<0.003	0.07	0.035	0.06	0.06	0.06	0.06	3.4	172	17	
58	猪苗代湖	4.8	8.5	2.2	5.6	1.58	0.05	2.0	32.1	7.8	17.5	<0.003	0.05	0.035	0.04	0.04	0.04	0.04	3.4	104	2.2	
"	"	4.5	9.2	2.4	6.7	2.05	0.05	0	38.7	9.9	20.6	<0.003	0.18	0.035	0.02	0.02	0.02	0.02	3.4	93	8.3	0.86
59	大川	6.9	5.5	1.0	5.3	1.04	0.01	15.5	10.2	3.3	19.8	0.005	0.12	0.035	0.03	0.03	0.03	0.03	3.4	67	4.1	
"	"	6.5	7.8	1.8	6.3	1.20	0.04	21.6	12.6	4.7	24.8	0.009	0.35	0.017	0.15	0.15	0.15	0.15	3.0	76	7.9	6.2
60	只見川	6.6	4.7	1.1	4.9	1.00	0.07	15.1	7.0	4.8	13.6	<0.003	0.13	0.017	0.05	0.05	0.05	0.05	3.0	51	12	
"	"	6.5	3.9	1.1	4.1	0.84	0.04	13.3	6.1	3.3	14.0	<0.003	0.08	0.002	0.02	0.02	0.02	0.02	1.1	43	7.3	5.3
61	小坂川	6.1	17.9	4.4	8.1	1.03	0.40	10.7	61.3	8.7	27.4	<0.003	0.14	0.002	0.05	0.05	0.05	0.05	2.0	165	355	
62	大湯川	6.7	6.4	1.6	7.9	0.76	0.03	17.3	15.4	7.9	34.9	0.006	0.06	0.002	0.02	0.02	0.02	0.02	2.0	96	8.4	

No.	河川名	pH	Ca	Mg	Na	K	Fe	Sr	7ヶカ リ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	F	SiO ₂	PO ₄ -P	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	COD	溶解性 炭素 残留物	懸濁物	混濁 度
63	米代川	6.5	8.3	2.3	6.3	0.67	0.16		11.8	23.6	6.9		21.2	<0.003	0.10		0.03	1.1	90	28	
#	"	6.6	14.0	3.9	6.5	1.06	0.04	0.044	14.5	41.2	6.0	0.03	26.5	0.005	0.26	0.008	0.03	1.1	113	14	6.6
64	米代川	6.4	8.9	2.7	7.6	1.52	0.36		9.7	35.0	7.9		25.0	0.013	0.18		0.05	1.8	114	33	
65	米代川	6.5	8.3	2.8	8.3	0.95	0.17		11.3	26.1	9.1		23.0	<0.003	0.16		0.03	0.98	103	12	
#	"	6.3	9.8	2.3	8.1	1.12	1.58		7.7	35.5	8.5		26.1	<0.003	0.29		0.04	0.73	106	8.7	
#	"	6.6	15.5	3.7	8.6	1.22	0.06	0.056	18.7	38.5	10.2	0.03	27.5	0.005	0.45	0.006	0.04	1.1	123	9.5	5.0
66	藤琴川	6.8	7.8	2.6	8.7	1.02	0.02		21.1	12.6	12.1		18.2	<0.003	0.04		0.03	0.38	86	2.2	
67	米代川	6.6	7.5	2.4	7.7	0.91	0.14		13.5	18.4	9.9		20.0	<0.003	0.09		0.03	1.1	89	11	
68	阿仁川	6.7	6.2	2.2	7.4	0.72	0.03		18.3	8.0	10.1		15.9	<0.003	0.03		0.02	0.58	71	3.4	
69	玉川	4.2	7.1	2.6	4.7	0.93	0.31		0.4	20.6	31.2		19.6	<0.003	0.02		0.03	0.53	110	3.0	
70	田沢湖	5.5	4.5	0.9	5.1	0.56	0.03		3.0	9.6	10.9		7.5	<0.003	0.02		0.03	0.45	52	2.1	
#	"	5.2	5.7	1.5	5.2	0.78	0.08		3.7	16.4	11.4		14.1	<0.003	0.08		0.03	0.20	65	2.1	
#	"	4.4	6.6	1.7	6.0	1.13	0.06	0.026	0.2	17.7	16.0	0.11	17.6	<0.003	0.06	0	0.02	0.49	68	9.7	2.2
71	玉川	6.8	9.1	2.5	5.4	0.80	0.02		23.5	13.7	6.4		19.0	<0.003	0.08		0.02	0.46	80	3.0	
72	玉川	6.2	6.0	1.2	4.8	0.55	0.02		7.0	11.2	8.5		9.7	<0.003	0.06		0.02	0.43	59	2.0	
#	"	5.7	5.7	1.5	5.2	0.75	0.04		4.5	14.9	10.2		12.8	<0.003	0.14		0.03	0.30	62	2.7	
73	松木内川	6.4	4.4	1.1	5.1	0.57	0.05		11.8	6.4	6.8		12.0	<0.003	0.07		0.04	0.66	52	3.1	
74	玉松川	6.4	5.5	1.5	4.9	0.54	0.01		8.9	9.9	9.0		12.2	<0.003	0.06		0.02	0.38	60	2.0	
75	高松川	3.0	9.4	5.3	8.1	1.85	2.06		0	41.1	52.9		32.1	<0.009	0.04		0.03	0.81	172	4.4	
76	雄物川	6.0	7.2	2.1	7.8	1.05	0.16		7.3	13.3	16.8		18.8	<0.003	0.12		0.03	0.84	95	4.1	
#	"	6.0	7.0	2.1	8.0	1.31	0.17	0.034	9.8	13.3	14.7	0.03	24.1	0.009	0.40	0.001	0.09	0.99	79	8.4	4.1
77	成瀬川	6.7	9.5	2.1	6.6	0.77	0.47		13.3	28.0	6.8		13.2	<0.003	0.18		0.03	1.0	85	13	
78	皆瀬川	6.7	8.2	2.1	9.5	1.11	0.14		16.5	17.8	12.1		18.1	0.006	0.12		0.05	1.3	93	42	
79	雄物川	6.5	7.1	2.0	8.7	0.84	0.12		14.0	15.4	12.9		17.5	<0.003	0.11		0.03	1.2	84	15	
80	横手川	6.8	7.3	1.9	9.6	0.78	0.15		19.0	18.0	8.4		15.6	<0.003	0.10		0.03	1.1	83	13	
81	丸物川	6.6	7.3	2.6	8.1	0.72	0.38		19.9	15.0	10.8		14.2	0.012	0.17		0.04	1.6	81	17	
82	雄物川	6.6	7.0	2.2	8.8	0.91	0.26		15.1	14.2	12.7		16.5	0.004	0.12		0.03	1.3	85	17	
83	用水路	6.5	7.3	2.5	7.0	0.55	0.24		15.3	16.6	9.6		13.0	0.007	0.14		0.03	1.2	79	13	

84	雄物川	6.5	6.3	1.9	7.4	0.76	0.15	12.2	11.4	11.0	14.6	<0.003	0.08	0.03	1.0	74	9.5
"	"	6.5	6.0	1.7	7.4	0.87	0.34	11.3	12.9	10.8	17.7	<0.003	0.22	0.03	0.78	68	16
"	"	6.4	6.4	2.1	8.0	1.42	0.16	12.6	11.4	13.5	20.6	0.006	0.31	0.04	2.1	75	28
85	雄物川	6.7	6.2	1.9	7.8	0.82	0.18	12.8	12.2	11.5	14.7	<0.003	0.08	0.04	1.0	76	9.6
86	用水路	6.4	6.7	1.7	12.7	1.70	0.83	18.2	8.0	18.7	17.6	0.049	0.32	0.18	2.4	95	20
87	吉川	6.6	5.0	2.2	9.3	1.02	0.11	12.0	11.1	12.2	16.4	<0.003	0.06	0.03	0.99	79	8.0
"	"	6.5	4.6	2.1	8.6	1.30	0.18	10.2	11.9	12.8	21.1	0.003	0.10	0.02	1.8	71	33
88	日向川	7.0	6.8	2.5	8.3	1.04	0.12	25.3	8.6	10.2	19.2	0.012	0.09	0.08	74	5.9	
89	黒川	6.7	9.0	1.6	11.6	1.41	0.08	22.0	17.5	10.1	21.3	0.004	0.57	0.04	2.0	93	22
90	鬼面川	5.2	9.1	1.4	4.1	0.89	0.16	3.3	31.7	2.8	19.5	<0.003	0.28	0.09	81	2.4	
91	白松川	7.0	9.0	1.2	6.3	0.86	0.03	18.6	11.1	9.2	15.7	0.003	0.08	0.07	72	8.2	
92	最上川	6.7	3.7	1.3	5.1	0.88	0.07	15.2	6.9	4.4	16.3	<0.003	0.08	0.09	48	11	
93	須上川	6.6	7.1	1.6	6.9	1.30	0.55	16.9	13.4	8.0	15.0	0.011	0.32	0.04	68	23	
94	寒河江川	6.8	5.7	1.6	5.8	1.00	0.36	16.6	8.2	6.4	14.0	0.007	0.30	0.05	59	20	
95	最上川	3.0	14.9	4.1	10.4	2.79	3.43	0	170.9	25.6	33.1	0.023	0.76	0.09	290	18	
96	須上川	6.9	5.5	1.7	5.4	0.85	0.06	16.1	10.1	5.6	13.1	<0.003	0.09	0.06	55	7.1	
97	最上川	6.5	8.3	2.3	10.9	1.51	1.02	16.3	20.8	13.2	15.9	0.015	0.68	0.08	93	47	
"	"	6.2	9.6	3.0	10.1	1.89	0.29	11.6	28.0	13.0	20.5	0.009	0.77	0.11	3.0	99	74
98	丹生川	6.9	8.3	1.7	7.4	0.85	0.03	16.6	18.3	7.4	18.9	<0.003	0.15	0.09	75	2.7	
99	小国川	6.8	4.2	1.3	6.9	0.72	0.02	12.3	11.3	6.7	16.8	<0.003	0.11	0.08	58	2.3	
100	鮭川	6.6	3.5	1.4	7.3	0.84	0.20	13.7	6.0	8.1	16.5	<0.003	0.23	0.09	58	2.8	
101	最上川	6.8	6.2	1.8	8.3	1.30	0.48	13.0	17.9	8.7	17.6	<0.003	0.29	0.06	73	35	
"	"	6.5	7.0	2.5	8.7	1.57	0.11	14.2	17.7	11.1	20.3	0.006	0.46	0.09	2.5	84	30
102	赤川	6.9	5.5	1.4	6.1	0.74	0.05	16.1	4.6	9.2	9.6	<0.003	0.09	0.06	53	8.6	
"	"	6.6	5.6	1.5	6.0	0.89	0.03	15.0	5.9	9.3	10.5	0.004	0.16	0.03	1.2	52	12

細字は前回(1942年4月~1956年5月採水小林)の、太字は今回(1972年10月~1973年9月採水)の現著者らの分析結果を示す。

(1) pH

前回の分析結果によると、pHは3.0~7.5の範囲にあるが、pH 6.4~7.4の河川が全体の約80%を占める。東北地方には酸性河川が多く、pH 5.8以下の地点が12ヶ所もある。なかでも高松川(採水地点 No. 75, 以下同様)と須川(95)がpH 3.0で最も強い酸性を示し、ついでpH 3.7の荒川(6)、3.8の長瀬川(57)、4.2の玉川(69)、4.7の北上川(28)などが代表的な酸性河川である。一方pHが高い河川はアルカリ度(CaCO₃)の高い岩手県東部の河川に多く、pH 7.5の気仙川(26)、7.4の長内川(19)、7.3の盛川(25)、7.2の久慈川(18)、安家川(20)、稗貫川(30)、猿ヶ石川(31)、それに7.3の十和田湖(11)などが7.0以上を呈していた。

今回の分析結果ではほとんどの河川が前回よりわずかに低い値であり、北上川(28)、米代川(63, 65)、江合川(40)はわずかに高い値であった。今回の最高値はpH 7.2の久慈川(18)で、最低値はpH 3.6の荒川(6)であった。

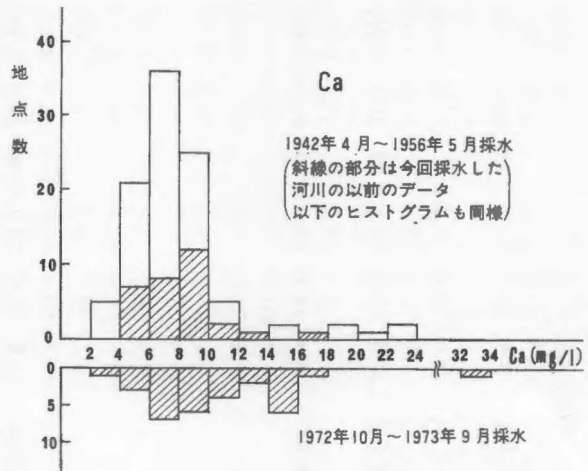
(2) Ca

前回の分析結果では、図の上段の白および斜線の部分を含めて、4~10mg/lの範囲の河川が全体の約85%を占めていた。Ca含有量の最高値は二迫川(38)の23.8mg/lで、20mg/l以上の含有量を示した河川は松川(47)、長内川(19)で、14mg/l以上の河川は気仙川(26)、北上川(28)、長瀬川(57)、小坂川(61)須川(95)であった。逆に最低値を示す河川は川内川(7)の3.3mg/lで、4mg/l以下の河川は鮭川(100)、白川(92)、浅瀬石川(4)、摺上川(56)などであった。

今回採水した河川では最高値は北上川(28)の33.6mg/l、最低値は只見川(60)の3.9mg/lであって、ほとんどの河川が前回より高い値を示し、只見川(60)、子吉川(87)、雄物川(76)のみが低い値であった。

(3) Mg

前回の分析結果では、0.7~7.0mg/lの間であって、0.7~2.9mg/lの範囲を示す河川が全体の約90%を占めていた。Mg含有量の最高値は小川原湖(10)の7.0mg/l、ついで酸性河川の高松川(75)の5.4mg/l、宮城県松川(47)の4.7mg/l、小坂川(61)の4.4mg/lが高い。逆に花崗岩地帯を水源とする川水には低い傾向が認められ、最低値は盛川(25)および摺上川(56)の0.7mg/lで、その他1.0mg/l以下を示す河川は浅瀬石川(4)、久慈川(18)、長内川(19)、安家川(20)、大槌川(23)、鶯住居川(24)、気仙川(26)、丹藤川(27)、磐井川(36)、新田川(49)、阿武隈川(52)であって、Mg含有



第2-1図 東北地方の河川水中のCa含有量のヒストグラム

量の低い河川は岩手県に多くみられる。

今回採水した河川では Ca と同様、只見川 (60)、雄物川 (76)、子吉川 (87) 以外はすべて前回より高い値を示しており、今回の最高値は Ca と同じく北上川(28)の 4.9 mg/l であって、只見川 (60) の 1.1 mg/l が最も低い値であった。

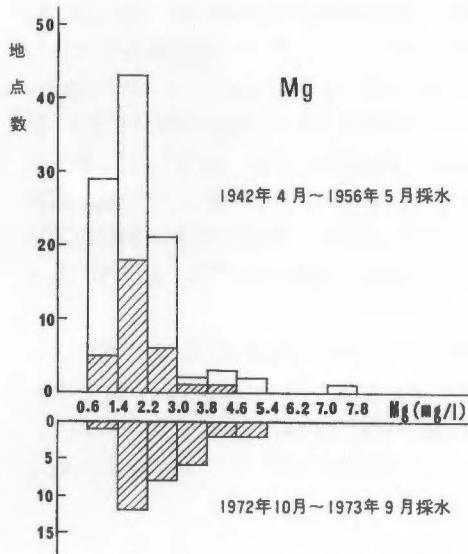
(4) Na

前回の分析結果では、2.9~62.1 mg/l の間であって、そのうち 4~10 mg/l の範囲を示す河川が全体の約 80% を占めた。Na 含有量の最高値は Mg と同様に小川原湖 (10) で、62.1 mg/l の多量を示し、ついで十和田湖(11)の 27.2 mg/l で、10 mg/l 以上を示す河川は岩木川 (2)、奥入瀬川(12)、江合川(40)、秋田農試の用水路 (86)、須川 (95)、最上川 (97) であり、逆に最も少量を示す河川は丹藤川 (27) の 2.9 mg/l であって、3.9 mg/l 以下を示す河川は岩手県に多く、安家川(20)、小本川(21)、閉伊川(22)、大槌川(23)、鶉住居川 (24)、盛川 (25)、気仙川 (26)、稗貫川(30)、猿ヶ石川(31)、それに福島県の阿武隈川 (52) であった。

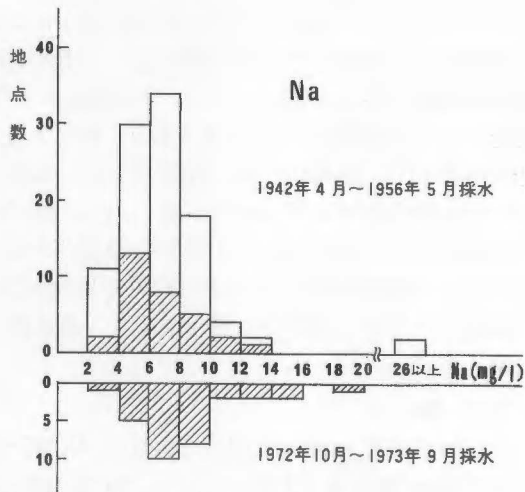
今回採水した河川では 3.1~19.3 mg/l の範囲で、最高値は平川(3)、最低値は閉伊川(22)であって、全体的に前回より高い河川が多く、前回より低い値を示した河川は全体の約 1/4 であった。

(5) K

前回の分析結果では 0.42~2.93 mg/l の間で、0.80~1.2 mg/l を中心に 0.4~1.6 mg/l の範囲を示す河川が全体の 90% を占めていた。K 含有量が最高値を示したのは、Mg, Na と同じく小川原湖 (10) で 2.93 mg/l を示し、ついで酸性河川の須川 (95) の 2.79 mg/l、長瀬川 (57) の 2.17 mg/l、高松川 (75) の 1.85 mg/l で、その他 1.4 mg/l 以上を示した河川は岩木川 (5)、十和田湖 (11)、宮城県松川 (47)、猪苗代湖 (58)、米



第2-2図 Mg のヒストグラム



第2-3図 Na のヒストグラム

代川(64), 秋田農試の用水路(86), 最上川(97) などであった。一方, K含有量が最も少ない河川は丹藤川(27)の0.42 mg/lで, 0.60 mg/l以下を示す河川はNaと同様に胆沢川(35), 閉伊川(22), 鶉住居川(24), 盛川(25), 稗貫川(30)などの岩手県の河川が多く, その他, 広瀬川(43), 摺上川(56), 農林省農事試験場東北支場の用水路(83), 桧木内川(73), 玉川(74)などであった。

今回採水した河川では只見川(60)が前回より低い値を示した以外はいずれも高い値であって, 阿武隈川(48)の2.44 mg/lが最も高く, 閉伊川(22)と胆沢川(35)の0.76 mg/lが最も低かった。

(6) Fe

前回採水した河川では0~4.47 mg/lの間であるが概して低濃度の河川が多い。最高値は北上川(28)の4.47 mg/lでついで須川(95)の3.43 mg/l, 二迫川(38), 長瀬川(57)の2.42 mg/l, 大坪川(8)の2.19 mg/l, 高松川(75)の2.06 mg/lなどが高く, 酸性河川が高含有量を示していた。一方, 0.02 mg/l以下の地点は調査した101ヶ所のうち20ヶ所をかぞえ全体の約1/5を占めており, 特に大槌川(23), 碁石川(44)では検出されず, 十和田湖(11), 久慈川(18), 閉伊川(22), 盛川(25), 気仙川(26), 広瀬川(43), 大川(59), 玉川(74)の0.01 mg/lが低く, 0.02 mg/l以下の河川は岩手県に最も多かった。

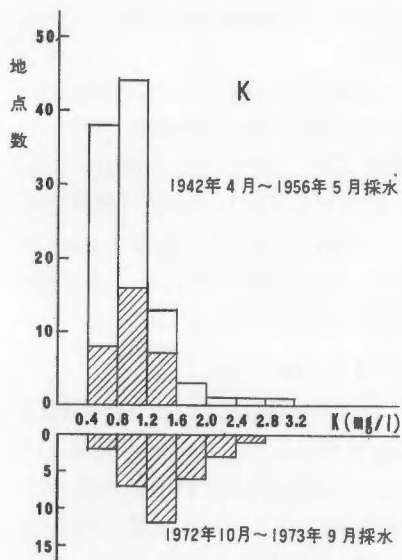
今回採水した河川では, 31河川中25河川が前回より低い値を示しているがCaやMgが前回より低い値であった子吉川(87)や雄物川(76)はわずかに高い値を示している。今回の最高値は北上川(28)の0.86 mg/lで, 最低値は久慈川(18), 閉伊川(22)の0.01 mg/lであった。

(7) Sr

今回はじめて分析した成分であるが, 0.022~0.077 mg/lの範囲にあり, 0.03~0.06 mg/lの間に最も多く集まっている。Sr含有量の最高値は平川(3)の0.077 mg/lで, ついで阿武隈川(54)の0.074 mg/l, 北上川(28), 阿武隈川(48)の0.071 mg/lなどが高い値で, 一方, 只見川(60)の0.022 mg/l, 子吉川(87)の0.025 mg/l, 田沢湖(70)の0.026 mg/l, 大川(59)の0.029 mg/lなどが低い値を示している。

(8) アルカリ度 (CaCO₃)

前回の分析結果では0~54.2 mg/lの間で, 15~20 mg/lの範囲に中心があるが, 東北地方には強酸性河川とアルカリ度 (CaCO₃) の高い河川が共存するため, かなり広い存在範囲を示している。最高値は長内川(19)の54.2 mg/lであり, 27 mg/l以上を示す河川は十和田湖(11), 奥入瀬川(12), 久慈川(18), 安家川(20), 盛川(25), 気仙川(26), 猿ヶ石川(31), 吉田川(42)であった。



第2-4図 Kのヒストグラム

他方、強酸性河川が多い東北地方には、 3.3 mg/l 以下のアルカリ度を示す河川が10もある。なかでも八甲田山に水源を発する荒川(6)や秋田県高松川(75)、山形県須川(95)はアルカリ度が0であり、長瀬川(57)が 0.58 mg/l 、玉川(69)が 0.4 mg/l を示しており、他地域と異なる特徴を現わしている。

今回採水した河川ではほとんどが前回より高い値であったが、只見川(60)、子吉川(87)、最上川(97)、田沢湖(70)、猪苗代湖(58)では低い値であった。久慈川(18)の 35.5 mg/l が最高値であり荒川(6)はアルカリ度が0を示した。

この様に東北地方には日本の河川の中で、低いアルカリ度を示す河川が多数認められた。

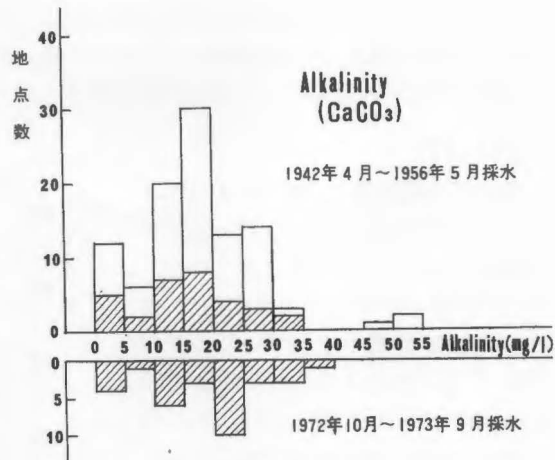
(9) SO_4

前回の分析結果では $1.7 \sim 170.9 \text{ mg/l}$ の間であって、日本の河川水質の総平均値 10.6 mg/l ⁽¹⁾以上の川が全体の約55%であり、また 30 mg/l 以上は全体の10%を占めていた。東北地方には火山、イオウ泉、鉱山が多いため、それらの影響を受けて SO_4 の含有量が非常に高い酸性河川が多く、なかでも須川(95)の 170.9 mg/l 、二迫川(38)の 133.9 mg/l 、荒川(6)の 90.8 mg/l 、松川(47)の 88.6 mg/l 、長瀬川(57)の 83.3 mg/l 、

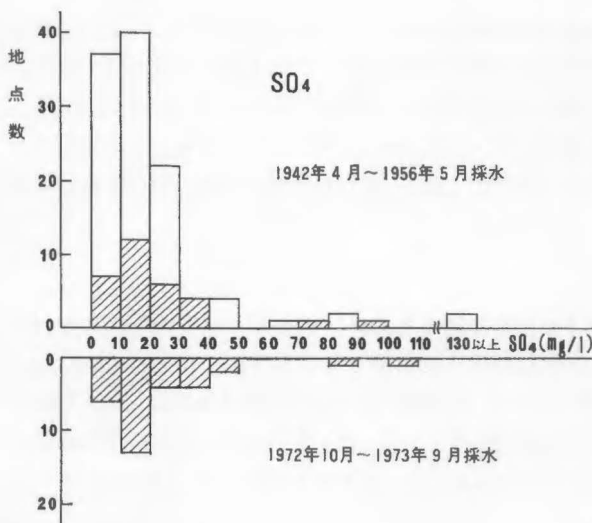
北上川(28)の 75.5 mg/l などが著しく高い含有量を示していた。

SO_4 の含有量が低い川は、K、Naの場合と同様に、岩手県東部の北上山地に源を発する河川に多く、 3.9 mg/l 以下の14河川のうち、13河川が岩手県の河川であった。なかでも鶉住居川(24)、丹藤川(27)の 1.7 mg/l 、猿ヶ石川(31)の 2.0 mg/l 、安家川(20)の 2.3 mg/l 、盛川(25)の 2.4 mg/l などが低い値を示しており、須川や二迫川の約 $1/70$ の値であった。

次に今回採水した31河川につ



第2-5図 アルカリ度(CaCO₃)のヒストグラム



第2-6図 SO_4 のヒストグラム

いてみると、23河川が前回より高い値を示し、特に北上川(28, 33, 37), 阿武隈川(48, 54), 米代川上流部(63)は前回に比べ著しく高い値になっている。そして今回の最高値は北上川(28)の104.4 mg/l、最低値は閉伊川(22)の3.1 mg/lであった。

(10) Cl

前回の分析結果では、1.3~102.0 mg/lの間であって、2~14 mg/lの範囲にそのほとんどが含まれていた。海水の影響を受ける小川原湖(10)の102.0 mg/lが最高で、ついで高松川(75)の52.9 mg/lであった。また25 mg/l以上を示したのは玉川(69), 須川(95)などの酸性河川であったが、逆に低い値を示したのはSO₄などと同様に岩手県の河川に多く、阿武隈川(52)の1.3 mg/l, 閉伊川(22)の1.7 mg/l, 丹藤川(27), 鮫川(51)の2.1 mg/lなどがその例であった。

今回採水した河川では約3/4が前回より高い値で平川(3), 阿武隈川(48, 54)が2~6倍の高い値となっているのに対し久慈川(18), 胆沢川(35), 只見川(60), 米代川(63), 雄物川(76)がわずかに低い値を示した。今回の最高値は平川(3)の28.6 mg/lで、閉伊川(22)の1.7 mg/lが最低値であった。

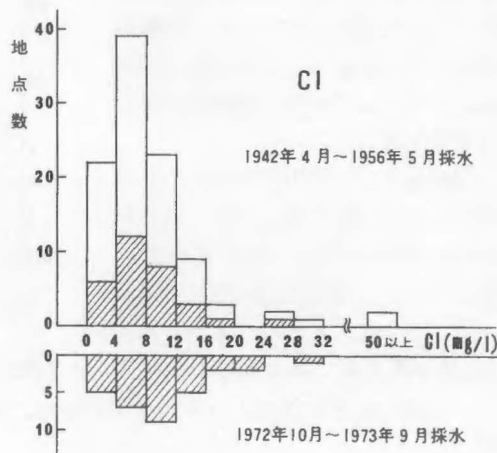
(11) F

今回の分析の結果、0.01~0.20 mg/lの間であるが、0.02 mg/l またはそれ以下を示す河川が約40%を占め、0.05 mg/l以下に70%が含まれる。阿武隈川中流(54)の0.20 mg/lが最も高く、阿武隈川下流(48), 迫川(39), 田沢湖(70)などが0.11 mg/l以上の高い値を示している。また、久慈川(18)と猿ヶ石川(31)の0.01 mg/lが最低で、その他、奥入瀬川(12), 馬淵川(14), 閉伊川(22), 雫石川(29)などが0.02 mg/lの低い値であった。

(12) SiO₂

前回の分析結果によると9.6~49.6 mg/lの間であるが、10~25 mg/lの範囲に全体の約80%が集中している。地質年代の新しい火山を水源とする五戸川(13)の49.6 mg/lが最も高く、ついで松川(47)の38.7 mg/l, 奥入瀬川(12)の38.6 mg/l, 荒川(6)の36.8 mg/lなどが高い値を示し、逆に田沢湖(70)の7.5 mg/l, 赤川(102)の9.6 mg/l, 玉川(72)の9.7 mg/l, 岩木川(2)の10.4 mg/l, 桧木内川(73)の12.0 mg/lなどが低い値であった。

今回採水した河川ではほとんどの河川が前回より高い値であって、中でも白石川(46),



第2-7図 Clのヒストグラム

阿武隈川 中流 (54), 雄物川 上流 (76) での増加が著しい。31 河川中奥入瀬川 (12) の 38.9 mg/l が最も高く, 赤川 (102) の 10.5 mg/l が最も低い値であった。

(13) $PO_4\text{-P}$

前回の分析結果では $<0.003\sim 0.049$ mg/l の間で, 0.010 mg/l 以下の河川が多かった。秋田農試の用水路 (86) の 0.049 mg/l, 阿武隈川 (54) の 0.040 mg/l, 須川 (95) の 0.023 mg/l などが高く, 逆に 0.003 mg/l 未満の地点が半数以上の 54ヶ所をかぞえた。

今回の採水河川では 0.003 mg/l 未満の河川数は全体の約 25% であって, 前回の値に比べ只見川 (60), 閉伊川 (22), 最上川 (97) がわずかに低い値を示した他は, ほとんどの河川が 2~5 倍の高い値であり, 最高値は阿武隈川中流 (54) の 0.134 mg/l である。

(14) $NO_3\text{-N}$

前回の分析結果では 0.02~0.76 mg/l の間であるが, 0.40 mg/l 以下の範囲に全体の約 90% が含まれた。須川 (95) の 0.76 mg/l, 最上川中流 (97) の 0.68 mg/l が高い値で, ついで松川 (47), 新井田川 (15), 岩木川 (5) などが 0.45 mg/l 以上を示したが, 逆に玉川 (69) の 0.02 mg/l, 阿仁川 (68) の 0.03 mg/l, 藤琴川 (66), 高松川 (75) の 0.04 mg/l が低い値であった。

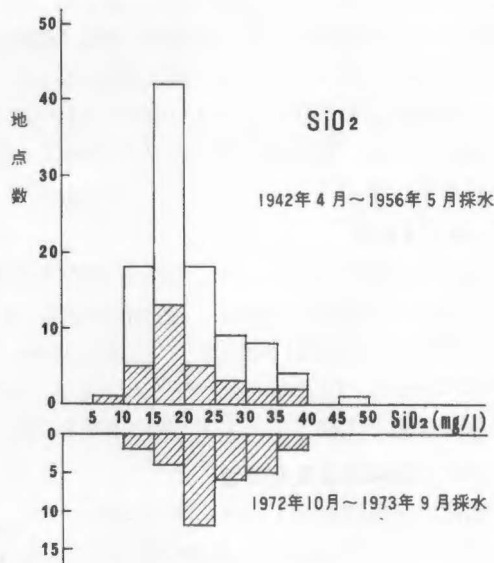
今回採水した河川では 31 河川中 26 河川が前回と比べ 1.0~3.5 倍の高い値を示した。久慈川 (18), 閉伊川 (22), 江合川 (40), 只見川 (60) などは前回より低い値であり, 岩木川 (2), 平川 (3), 阿武隈川 (48, 54), 雄物川 (76) などは 3 倍以上に増加している。阿武隈川 (48) の 1.11 mg/l が今回の最高値で, 胆沢川 (35), 田沢湖 (70) の 0.06 mg/l が最も低い値であった。

(15) $NO_2\text{-N}$

今回の分析結果で, 0~0.035 mg/l の間であった。阿武隈川中流 (54) の 0.035 mg/l, 平川 (3) の 0.029 mg/l, 阿武隈川下流 (48) の 0.026 mg/l が高く, その他馬淵川 (14), 大川 (59), 最上川下流 (101) が 0.016 mg/l 以上を示した。一方, 荒川 (6), 閉伊川 (22), 猪苗代湖 (58), 田沢湖 (70) では検出できなかった。

(16) $NH_4\text{-N}$

前回の分析結果では 0.02~0.18 mg/l の間で, 0.05 mg/l 以下の濃度の河川が全体の約 60% を占めていた。秋田農試の用水路 (86) の 0.18 mg/l, 阿武隈川 (48), 岩木川



第2-8図 SiO_2 のヒストグラム

(2) の 0.11 mg/l , 気仙川 (26), 北上川 (28) の 0.10 mg/l が高く, 逆に荒川 (6), 久慈川 (18), 安家川 (20), 大槌川 (23), 鶯住居川 (24), 大湯川 (62), 阿仁川 (68), 玉川 (71) などが 0.02 mg/l の低い値であった。

今回採水した河川では 0.18 mg/l 以上の河川が 6 河川もあって, 前回に比べて高濃度になっている。北上川 (28) の 0.33 mg/l が最高で, 奥入瀬川 (12) の 0.01 mg/l が最も低い値である。

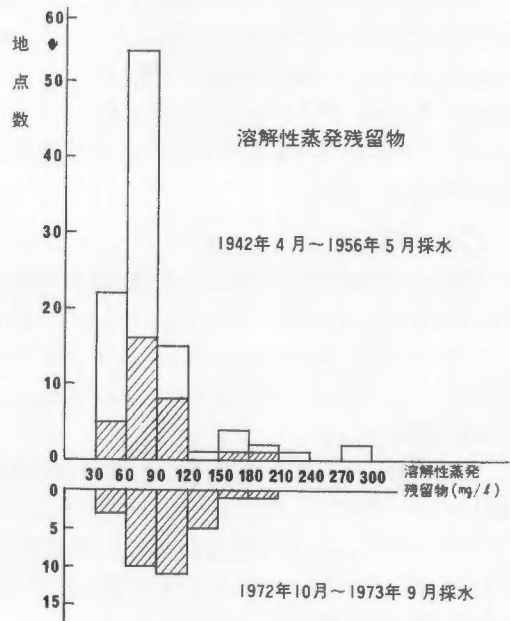
(17) COD

前は一部の河川についてのみ COD を分析したので, 主に今回の結果について述べる。 $0.29 \sim 3.4 \text{ mg/l}$ の間で, 阿武隈川中流 (54) の 3.4 mg/l が最高で, 最上川中流 (97), 大川 (59), 阿武隈川下流 (48) などが 2.8 mg/l 以上の値を示した。一方, 猪苗代湖 (58) の 0.29 mg/l , 田沢湖 (70) の 0.49 mg/l , 胆沢川 (35) の 0.76 mg/l などが低い。前回分析した値と比較すると COD 値の上昇した河川が多い。

(18) 溶解性蒸発残留物

前回の分析結果では $40 \sim 290 \text{ mg/l}$ の間で, $60 \sim 90 \text{ mg/l}$ に全体の約 50% が集まり, $30 \sim 120 \text{ mg/l}$ の範囲に 90% が入る。須川 (95) の 290 mg/l が最も高く, ついで, 小川原湖 (10), 二迫川 (38), 荒川 (6), 松川 (47) などが 180 mg/l 以上の高い値を示した。逆に丹藤川 (27), 閉伊川 (22), 鶯住居川 (24), 稗貫川 (30), 白川 (92) などが 48 mg/l 以下の希薄な値を示した。

今回採水した河川では猪苗代湖 (58), 只見川 (60), 雄物川 (76), 子吉川 (87) が低い値である以外はすべて前回より高い値を示している。北上川上流 (28) の 200 mg/l が最も高く, 只見川 (60) の 43 mg/l が最も低い値であった。



第2-9図 溶解性蒸発残留物のヒストグラム

(19) 懸濁物

前回の結果では $2.0 \sim 355 \text{ mg/l}$ の間であるが, $2 \sim 8 \text{ mg/l}$ に全体の 50% 近くが集中し, $2 \sim 14 \text{ mg/l}$ に 80% が集まっている。小坂川 (61) の 355 mg/l が最高で, ついで馬淵川 (14), 北上川上流 (28), 皆瀬川 (78), 最上川 (97, 101), 五戸川 (13), 新井田川 (15) が 35 mg/l 以上の高い値を示した。一方, 玉川 (72, 74), 田沢湖 (70), 猪苗代湖 (58), 藤琴川 (66), 長内川 (19), 小国川 (99) などが 2.3 mg/l 以下の低い値を示した。

今回採水した河川では前回に比べ懸濁物の増加した河川が多い。最上川中流 (97) の 74

mg/l が最高で、久慈川 (18) の 3.2 mg/l が最低であった。

(20) 混濁度

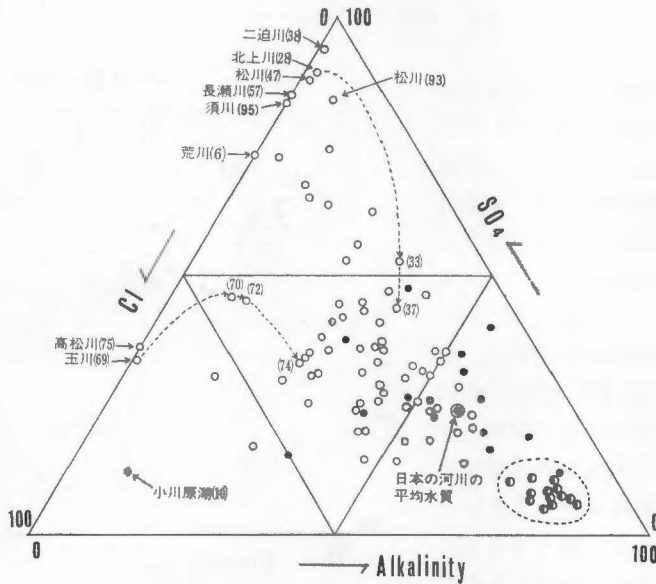
今回の分析結果では、0.86~25 mg/l の間で、最上川中流 (97)、北上川上流 (28)、子吉川 (87)、最上川下流 (101) などが 20 mg/l 以上の濁度の高い値を示し、猪苗代湖 (58)、閉伊川 (22)、田沢湖 (70)、久慈川 (18)、雄物川上流 (76)、猿ヶ石川 (31)、米代川中流 (65) が 5.0 mg/l 以下の低い値を示した。

V. 考 察

前回 (1942年4月~1956年5月) の 101ヶ所および今回 (1972年10月~1973年9月) の 31ヶ所での分析結果をもとに東北地方の河川水質の特徴と水質の経年変化等に関して若干の考察を行ってみたい。そのためには、今回の結果のみでなく、前回の結果を多用するが、これは前回の方が人為的汚染が少なく、また採水個所が著しく多くて河川の自然的特質をきめ細かくうかがうことができるからである。

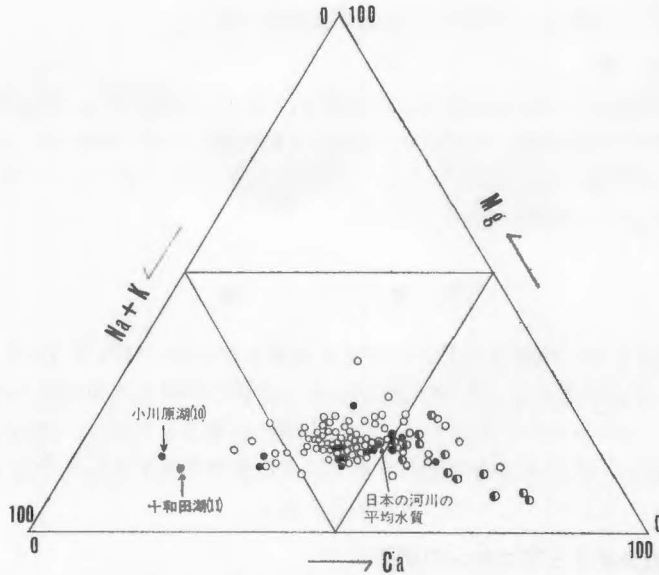
(1) 主要カチオンとアニオンの関係

東北地方の河川水中のカチオンとアニオンの量的関係を検討し、水質の特性を明らかにする目的で各イオンの濃度を当量濃度に換算し、Ca-Mg-(Na+K)、およびアルカリ度-SO₄-Clの各三者間の当量百分率の三角座標を、それぞれ第3図と第4図に、またカチオ



- 新第三紀層を主水源とする河川
- 古生層を主水源とする河川
- その他 (花崗岩, 第四紀層など) を水源とする河川

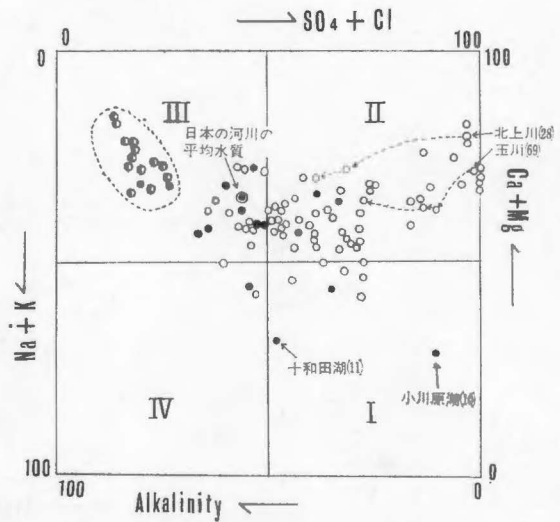
第3図 東北地方の河川水中のアルカリ度—SO₄—Cl間の当量百分率の三角座標 (1942年4月~1956年5月採水)



- 新第三紀層を主水源とする河川
- 古生層を主水源とする河川
- その他(花崗岩, 第四紀層など)を水源とする河川

第4図 東北地方の河川水中の Ca—Mg—(Na+K) 間の当量百分率の三角座標 (1942年4月~1956年5月採水)

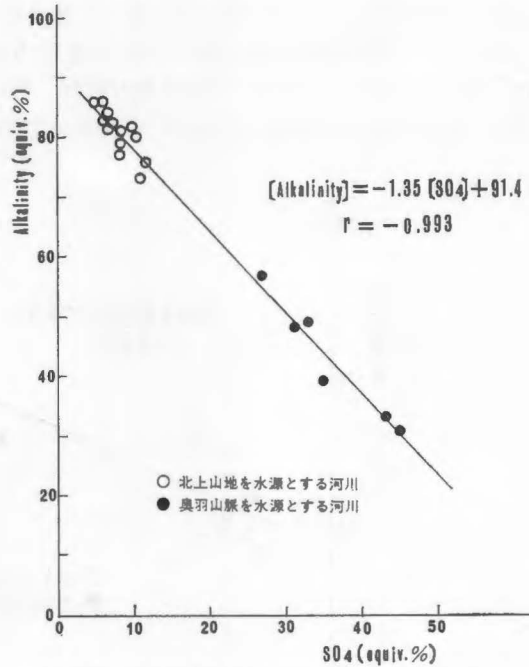
ンとアニオンの関係の一つにまとめた正方形座標を第5図に示してみました。まず第3図のアニオンの三角座標において特徴的な所見は、東北地方ではアルカリ度が0もしくは0に近い幾つかの強酸性河川と、アルカリ度の高い河川とが共存することである。特に岩手県内の河川には、東部の北上山地に水源を有する河川と、奥羽山脈に水源をもつ河川とが、両者は対照的な地質環境を反映して水質の組成を著しく異にしている。すなわち北上古生層を主にし、石灰岩、花崗岩、蛇紋岩などの分布をみる北上山地を水源として東流して太平洋に注ぎ込む馬淵川、久慈川、長内川、安家川、小本川、閉伊川、大槌川、鶯住居川、盛川及び気仙川と、同じく北上山地を源にし



- 新第三紀層を主水源とする河川
- 古生層を主水源とする河川
- その他(花崗岩, 第四紀層など)を水源とする河川

第5図 東北地方の河川水中の Ca—Mg—(Na+K), アルカリ度—SO₄—Cl 各三者間の当量百分率から計算したカチオン, アニオン間の正方形座標 (1942年4月~1956年5月採水)

て西流し北上川に注ぐ丹藤川, 稗貫川, 猿ヶ石川の計13河川は, アニオンの三角座標において, アルカリ度の当量百分率は73.1~86.3%, SO_4 は5.6~11.8%, Clは8.1~16.2%であって, 東北地方では最も高いアルカリ度の割合を示す重碳酸塩型の河川である。それは第3図にみられる様に, 東北地方の他の河川とは離れ高アルカリ度の頂点の近くに集中している。一方, 新第三紀層を主とし種々の火山岩類やそれらの碎屑物によって構成される奥羽山脈を水源とし東流して, 北上川に流入する雫石川, 豊沢川, 和賀川, 胆沢川, 磐井川, 安比川の6河川においては当量百分率がアルカリ度30.8~56.8%, SO_4 27.1~44.8%, Cl16.0~25.2%であって重碳酸塩型と硫酸塩型との混合型の性格を示している。第6図はこれら岩手県内の河川水のアルカリ度- SO_4 -Cl間の当量百



第6図 岩手県の河川水中のアルカリ度- SO_4 -Cl間の当量百分率によるアルカリ度と SO_4 の相関図(1954年5月~1956年3月採水)

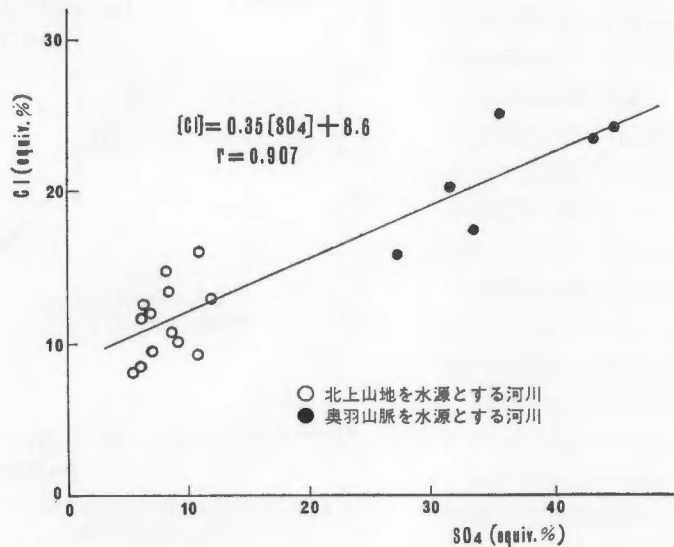
分率におけるアルカリ度と SO_4 の相関図を示したものである。北上山地と奥羽山脈を水源とする河川はそれぞれ分離して分布しているが, 両者共にアルカリ度と SO_4 量について高度な逆相関が認められた。すなわち, 回帰直線の方程式は [アルカリ度] = -1.35 [SO_4] + 91.4 ([]内は当量%, 以下同様), 相関係数 $r = -0.993$ であった。またアルカリ度とClとの間にも逆相関がみられ [アルカリ度] = -3.3[Cl] + 117, $r = -0.951$ であった。そして SO_4 とClの間には第7図に示す様な正相関がみられ [Cl] = 0.35 [SO_4] + 8.6, $r = 0.907$ であって, 結局, アルカリ度は SO_4 量及びCl量と高度に逆相関の関係があることが判明した。

次に東北地方の全河川について, アニオンの三者間の当量百分率において, Clが50%を越える河川はきわめて少なく海水の影響を受ける小川原湖を含めてわずか5ヶ所である。またアルカリ度が50%を越す重碳酸塩型河川はほとんどが岩手県東部の河川に限られる。それらを除けば東北地方の大多数の河川が, 日本の河川の平均水質値^(2,3)(第3図)に比べ, アルカリ度が低く, SO_4 量が高いという顕著な特質を示している。

各アニオンの量的関係からみると, 日本の河川の平均水質値に示されるアルカリ度> SO_4 >Cl型が29ヶ所で最も多く, 以下アルカリ度>Cl> SO_4 型が28ヶ所, SO_4 >Cl>アルカリ度型が17ヶ所, SO_4 >アルカリ度>Cl型が14ヶ所, Cl> SO_4 >アルカリ度型が8ヶ所で, 最も少ないのがCl>アルカリ度> SO_4 型の5ヶ所である。結局アルカリ度最多型が

57ヶ所で最も多く、ついで SO_4 最多型、 Cl 最多型の順に少なくなっている。

次にカチオンの関係(第4図)では、 Mg の占める割合は低く、高松川の33.7%を除けば、他は30%以下である。太平洋側の河川、特に北上山地を水源とする河川には Ca が多く、他の河川には Mg や $\text{Na}+\text{K}$ の割合が比較的高い。



第7図 岩手県の河川水中のアルカリ度— SO_4 — Cl 間の当量百分率による Cl と SO_4 の相関図 (1954年5月～1956年3月採水)

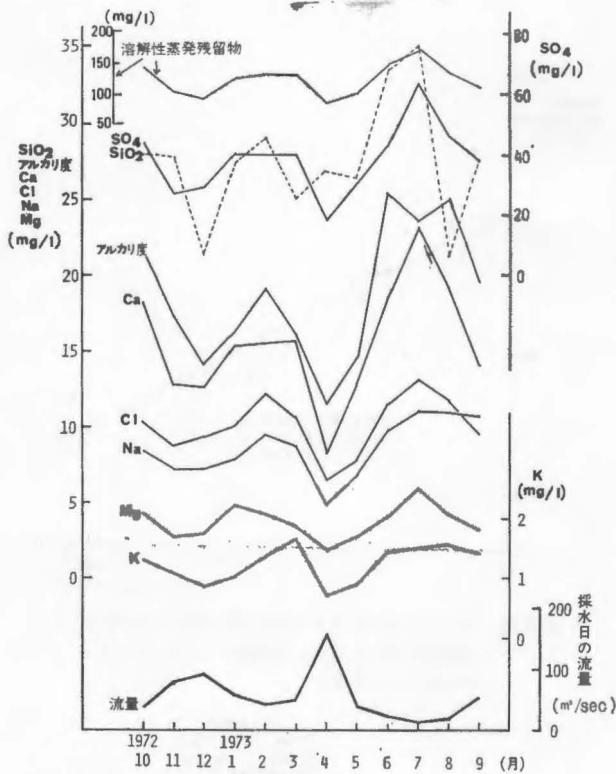
各カチオンの量的関係 (mg/l) からみると、日本の平均水質にみられる $\text{Ca} > \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}$ 型が64ヶ所で全体の約60%を占めて最も多く、ついで $\text{Na} + \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ 型が34ヶ所で、以下 $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} + \text{K}$ 型が2ヶ所、 $\text{Na} + \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$ 型が1ヶ所であった。

次にカチオンとアニオンの関係を一緒にした第5図の正方形座標では北上山地の水成岩を水源とする河川が第Ⅲ象限の中央部に集中し、太平洋側の河川も第Ⅲ象限に多く集まり、これらの河川が $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型であるのに対し、山形、秋田両県下の新第三紀層の地質を主水源とする日本海側の河川は第Ⅱ象限に集まり CaSO_4 型であることを示している。

なお、第3図および第5図に、強酸性河川である北上川(28)および玉川(69)の上流部の、アルカリ度が著しく低く SO_4 または Cl が高い酸性の水質が、流下するにつれて次第に平均的な水質に変化する様子を点線で示した。これらの河川が流下に伴ない正常な支川の水の流入を受け、順次平均化された値を示す様になることが明瞭に認められる。

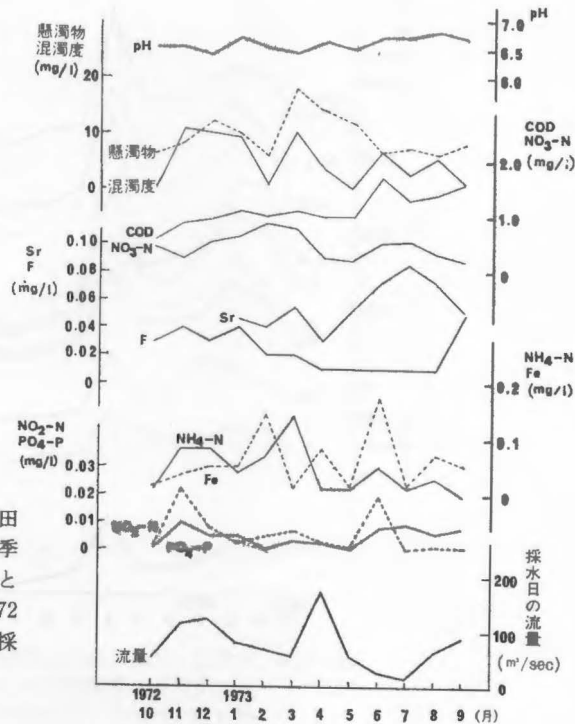
(2) 水質の季節的変動と河川流量との関係

東北地方の河川水質の季節的変動を明らかにし、また河川流量との関係をみるため、まず日本海側の米代川中流(秋田県北秋田郡鷹巣町)で1972年10月～1973年9月の間における水質の変動と採水日における流量^(42,43)の関係を示すと第8-1図および第8-2図



のようである。これにより、Ca, Mg, Na, K, Sr, アルカリ度, SO_4 , Cl, SiO_2 , 溶解性蒸発残留物の各成分はほぼ似た傾向の水質変動を示していることが判明する。すなわち6月～8月の渇水期には高濃度であって特に7月の渇水のピーク時にはそれらの成分の濃度は最高値であったのに対し、河川流量が融雪のため著しく増大する3月～5月、なかでも4月にはそれらの成分は最低のピークを示し、雪どけ高水時に各成分が希釈されることを示した。一方、懸濁物量と混濁度はほぼ流量に比

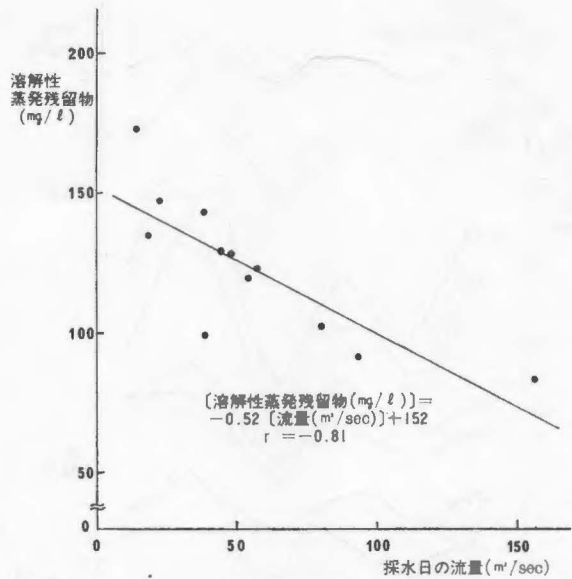
第8-1図 米代川(秋田県北秋田郡鷹巣町)の水質の季節的変動と河川流量との関係(その1)(1972年10月～1973年9月採水)



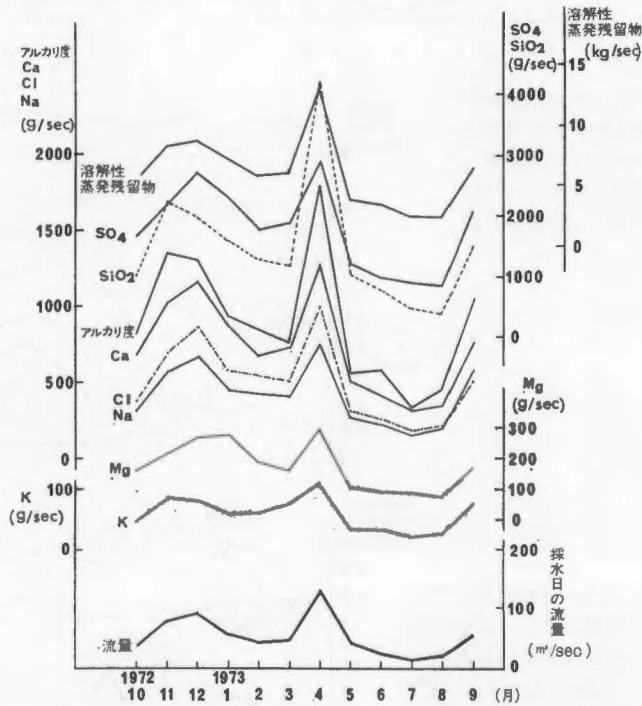
第8-2図 米代川(秋田県北秋田郡鷹巣町)の水質の季節的変動と河川流量との関係(その2)(1972年10月～1973年9月採水)

例して変動する様子が認められるが、pH、COD、F、Fe、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、PO₄-P に関しては流量との関係は認められず、これらの値の変動は他の要因によるものと考えられる。

次に米代川の水質と河川流量との関係をさらに詳しく検討するため、主要成分の濃度と流量との相関を調べたところ、Ca、Mg、Na、K、アルカリ度、SO₄、Cl、溶解性蒸発残留物などの濃度と流量との間にみられる相関係数は、それぞれ-0.87、-0.73、-0.83、



第9図 米代川(秋田県北秋田郡鷹巣町)の溶解性蒸発残留物と流量の相関図(1972年10月~1973年9月採水)



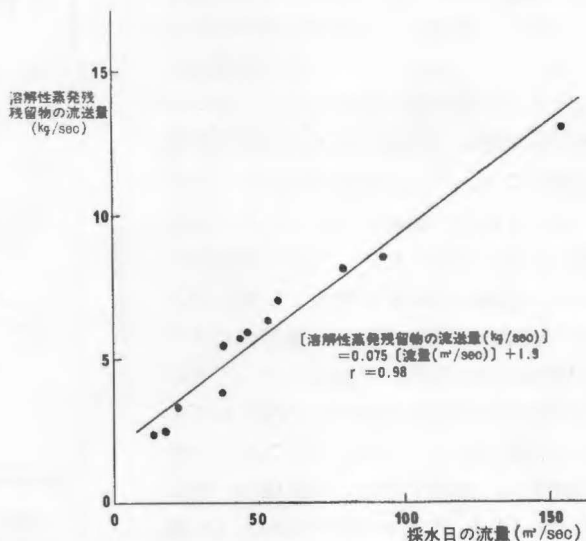
第10図 米代川(秋田県北秋田郡鷹巣町)の溶存成分の流量の季節的変動と河川流量との関係(1972年10月~1973年9月採水)

-0.76, -0.80, -0.83, -0.79 および -0.81 であって、いずれの場合も高度に有意(1%水準)な逆相関の関係がみられ、流量が増すほど各溶存成分は濃度が希薄になる傾向がはっきりと認められた。これらの相関のうち溶解性蒸発残留物量と流量との相関図は第9図のようであり、両者の間の回帰直線の方程式は〔溶解性蒸発残留物(mg/l)〕 = -0.52〔流量(m³/秒)〕 + 152 であった。

また米代川の主な溶存成分の流送量(各成分の濃度×流量)の季節的変動および流量との間の関係を検討した結果、第10図に示すように、Ca, Mg, Na, K, アルカリ度, SO₄, Cl, SiO₂, 溶解性蒸発残留物の各流送量は流量とほぼ同様の季節的変動を示し、流量が最大になる融雪期の4月に最も多量で、流量が最少になる渇水期の7月、8月に最も少なくなる。しかも各成分の流送量と流量との間の相関係数はそれぞれ0.93, 0.85, 0.91, 0.89, 0.96, 0.88, 0.95, 0.99 および 0.98 で、いずれの場合も高度な正相関(1%水準で有意)が認められた。これらの相関のうち、溶解性蒸発残留物の流送量(溶存成分全体の流送量に相当する)と流量との相関図は第11図のようであり、両者の間の回帰直線の方程式は〔溶解性蒸発残留物の流送量(kg/秒)〕 = 0.075〔流量(m³/秒)〕 + 1.9 であった。これらの結果から溶存成分の流送量は流量と密接な関係があることが判明した。

さらに東北地方全体の河川について溶解性蒸発残留物の濃度と流量との関係を検討するため、今回採水した31河川について、溶解性蒸発残留物量が年間の最高濃度を示した月と、最低値を示した月とを河川毎に調べ、その河川数を月別に累計した結果は第12図のようで、7月には15河川が年間の最高値を示して第1位であり、ついで8月が9河川で第2位である。従って東北地方の河川中の塩類は夏季の渇水時に最も濃厚であることが判明した。これと反対に希薄になる時期としては5月が11河川で第1位であり、ついで4月が10河川で第2位であった。すなわち水源山岳部の融雪期に当る4月、5月に溶存成分の濃度が最も薄くなり、雪どけ水による希釈効果の方が流域からの溶出効果よりもはるかに大きいことを示している。この様に大体において夏季の渇水時に濃厚となり、春の融雪時に希薄となる傾向のあることがうかがわれた。

水質の季節的変動に影響をもたらすとみられるものに、河川流量の他に、季節風が考えられる。そこで季節風の影響をみる一つの手段として、日本海と太平洋側の河川水中の

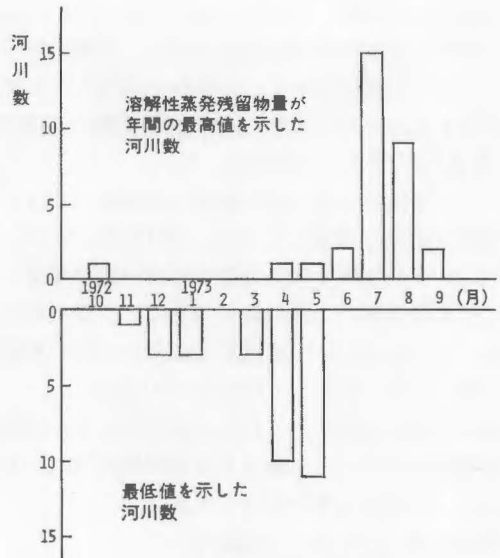


第11図 米代川(秋田県北秋田郡鷹巣町)の溶解性蒸発残留物の流送量と流量の相関図(1972年10月~1973年9月採水)

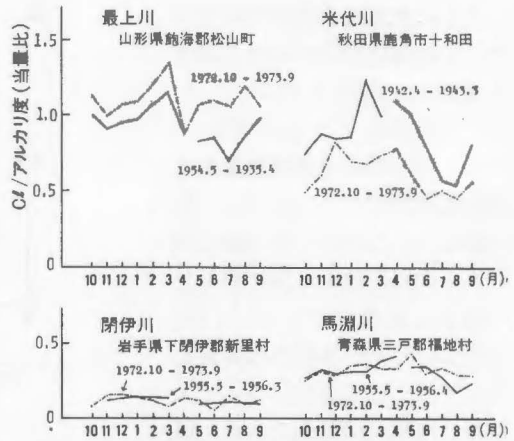
Cl/アルカリ度(当量比)の季節的変動を検討してみよう。ここにCl/アルカリ度の比率を選んだ理由は、すでに小林^(2,3)が述べたように一般陸水では多くの場合にアルカリ度 $>$ SO₄ $>$ Clの関係が成立して、陸地からの炭酸カルシウムの寄与が大きいのであるが、海水の場合にはそれとは逆にCl $>$ SO₄ $>$ アルカリ度となりClが圧倒的に多い。従ってCl/アルカリ度の変化を観測することは、河川水に対する海洋塩の影響の大小を知る上に十分有意義であるからである。第13図に、日本海側の河川として最上川と米代川、太平洋側の河川として閉伊川と馬淵川をとりあげ、前回および今回の分析結果をもとにして、Cl/アルカリ度(当量比)の月々の変動の様子を図示した。図から明らかな様に日本海側の河川は太平洋側の河川に比べて1年間を通じて、Cl/アルカリ度が高い傾向を示し、しかも変動幅が大きだけでなく、北西の季節風の吹く冬期間にその値が増大し、特に3月頃の融雪時に増加するが、夏季に低下する傾向が認められ、季節風によって運ばれる海洋塩の影響が多分にあらわれていると判断される。なお、Cl/アルカリ度が融雪時に増大するという現象は、先に述べたClとアルカリ度の値がともに融雪時に最も減少するという事実と一見、矛盾するようにみえるが、これは融雪時にCl濃度は減少するけれども、季節風によって運ばれた海洋塩が雪どけ水中に含まれているためClの減る割合が少ないのに対し、アルカリ度は陸水が岩石や土壌と接触して供給されるのに、冬期間は積雪のためその供給が減り、雪どけ水により希釈されて大幅に濃度が薄くなり、その結果アルカリ度の減少割合がClに比較して著しく大きいので、結局融雪時にはCl/アルカリ度の比が大きくなるのである。

(3) 東北地方の河川水中のカチオン、アニオンの分布

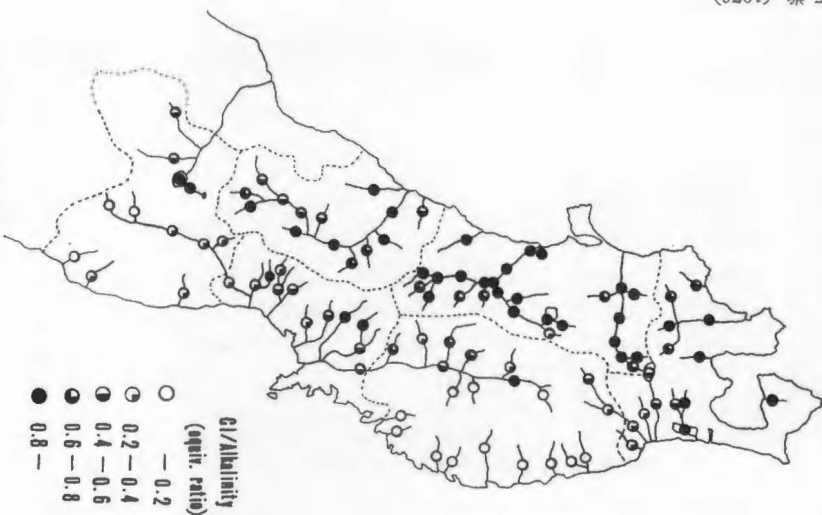
東北地方の河川水中のカチオンとアニオンの分布を検討するため、Cl/アルカリ度、SO₄/



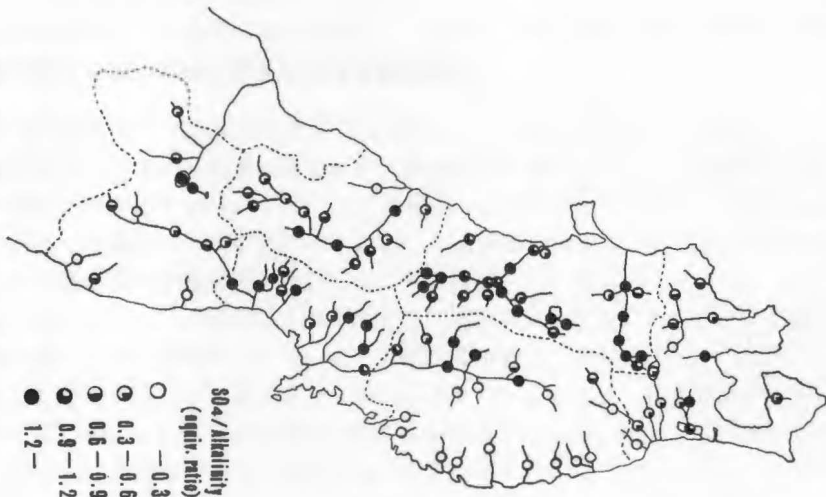
第12図 東北地方の河川水中の溶解性蒸発残留物が最高値および最低値を示した月別の河川数(1972年10月~1973年9月採水)



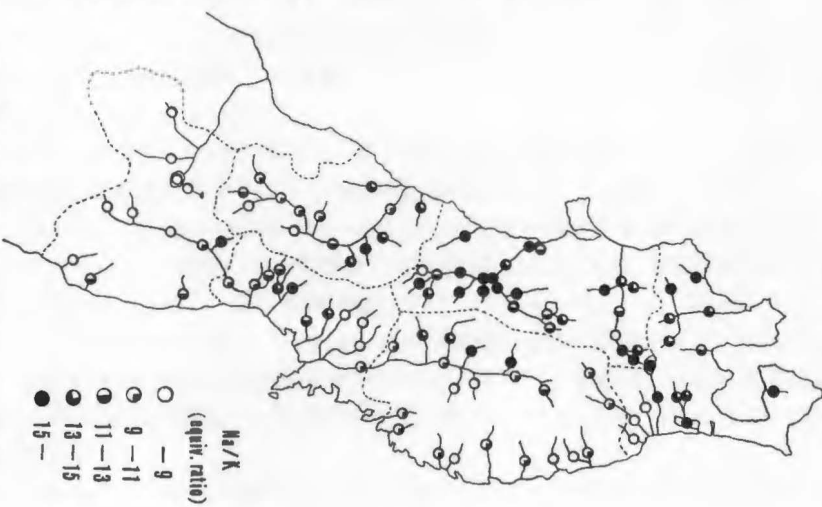
第13図 日本海側の河川(最上川、米代川)と太平洋側の河川(閉伊川、馬淵川)のCl/アルカリ度(当量比)の比較



第14図 東北地方の河川水中の Cl/アルカリ度(当量比)の分布図(1942年4月～1956年5月採水)



第15図 東北地方の河川水中の SO₄/アルカリ度(当量比)の分布図(1942年4月～1956年5月採水)



第16図 東北地方の河川水中の Na/K(当量比)の分布図(1942年4月～1956年5月採水)

アルカリ度, Na/K (いずれも当量比) について調べ, 各々の分布図を第 14 図, 第 15 図および第 16 図に示した。

まず Cl/アルカリ度 (当量比) の分布からみてみると, 太平洋側の河川ではその比はきわめて小さく 0.2 以下を示す河川も多くみられるのに対し, 日本海側の河川ではその比は大きく 0.8 以上を示す河川も多く, 分布図からその模様が明瞭に認められる。特に岩手県と秋田県ではその差が顕著で, その比は 4 倍以上のひらきをみせている。前項で述べたように, Cl/アルカリ度 (当量比) は日本海側と太平洋側の河川とでは季節的な変動が著しく異なるだけでなく, 年間の平均値においても大きな差異が認められる。温泉や地質による影響と季節風の効果等が相まって, 日本海側の河川には高い Cl 量ときわめて低いアルカリ度を, また太平洋側の河川には低 Cl 量と高アルカリ度を与えるという, 対照的な濃度差をもたらしたものと考えられる。

次に SO_4 /アルカリ度 (当量比) の分布についてみると, Cl/アルカリ度 (当量比) と若干似た傾向がみられる。なかでも酸性河川が多い秋田県では SO_4 含有量の高い河川が多数を占めるためその比が著しく高い。また, 岩手県でも, 奥羽山脈から発して東流し, 北上川に注ぎ込む河川は秋田県内河川と同様に著しく高い比を示している。けれども, 北上山地を水源として, 東海岸と北上川に流入する河川では SO_4 /アルカリ度が 0.3 以下の低い値を示している。しかしながら, 東北地方の河川全体についてみると, 日本の他地域に比べて, この比は著しく高い傾向を示している。小林は東北地方, 特に秋田県における SO_4 /アルカリ度の比が高いという酸性的な環境因子と, 東北地方の住民に多くみられる脳卒中死亡率との間に地域的な相関関係が存在することを報告している^(44~46)。

つぎに Na/K (当量比) の分布図についても, 太平洋側の河川においてはその比が 11 以下の低い値を示す河川が多いのに対し, 日本海側, 特に秋田県の河川に 13 以上の Na/K 比を示すものが多いという結果が認められ, 地質的な影響だけでなく, 海水中の Na が Cl と同様に季節風によって内陸部の水源まで運ばれることを示すと考えられる。

(4) 東北地方の河川水中の主要成分濃度間の相関

東北地方の河川水中の主要成分間の相関について検討するために, 前回 (1942 年 4 月~1956 年 5 月) 採水の 100ヶ所 (小川原湖 (10) を除く) について Ca, Mg, Na, K, アルカリ度,

第 3 表 東北地方の河川水中の主要成分濃度間の相関係数
(1942 年 4 月~1956 年 5 月採水) (n=100)

	Ca	Mg	Na	K	アルカリ度 (CaCO_3)	SO_4	Cl	SiO_2
Ca	—	0.52**	0.02	0.34**	0.004	0.68**	0.05	0.30**
Mg		—	0.42**	0.61**	-0.45**	0.70**	0.66**	0.33**
Na			—	0.52**	0.02	0.24*	0.45**	0.25*
K				—	-0.24*	0.64**	0.52**	0.51**
アルカリ度 (CaCO_3)					—	-0.52**	-0.40**	-0.04
SO_4						—	0.34**	0.39**
Cl							—	0.16
SiO_2								—

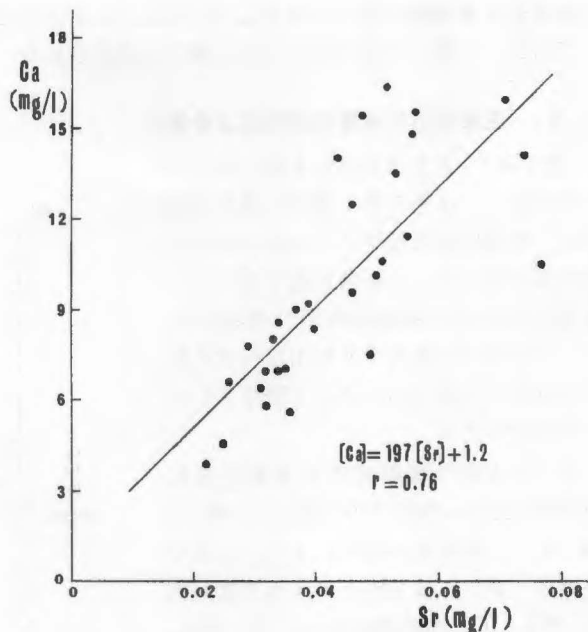
** 1%水準で有意 * 5%水準で有意 注) 小川原湖 (10) を除く

SO₄, Cl, SiO₂ の相互間の相関係数を第3表に示す。その結果, Ca-Mg, Ca-K, Ca-SO₄, Ca-SiO₂, Mg-Na, Mg-K, Mg-SO₄, Mg-Cl, Mg-SiO₂, Na-K, Na-Cl, K-SO₄, K-Cl, K-SiO₂, SO₄-Cl, SO₄-SiO₂ (以上1%水準で有意), Na-SO₄, Na-SiO₂ (5%水準で有意)のそれぞれの間に正相関が認められ, アルカリ度-SO₄, アルカリ度-Cl, アルカリ度-Mg (以上1%水準で有意), アルカリ度-K (5%水準で有意)において逆相関が認められた。

ここで特に注目されるのは, 他の地域の河川水で高度な相関がみられるCa-アルカリ度間に有意な相関が認められないことであり, また他地域では相関が

みられないアルカリ度-SO₄, アルカリ度-Cl, アルカリ度-K, それに通常は正相関がみられるアルカリ度-Mgの間に逆相関が認められたことである。後者の逆相関とCa-アルカリ度の間に相関がみられないという事実は東北地方の河川水質の特性を示しているものと考えられる。今回初めて分析したSrに関してSr-Caの関係を求めたところ, 有意な相関が認められたので両者の相関図を第17図に示す。回帰直線の方程式は[Ca]=197[Sr]+1.2 ([]内はmg/l), 相関係数は0.76 (1%水準で有意)であった。両者はアルカリ土類元素なので類似の溶出傾向を示すものと考えられる。

次に, 主要成分濃度間の重相関を検討した結果を第4表に示す。これらの成分の濃度間



第17図 東北地方の河川水中のSrとCaの相関図 (1972年10月~1973年9月採水)
注) 北上川 (28) を除く

第4表 東北地方の河川水中の主要成分濃度間の重回帰と重相関 (1942年4月~1956年5月採水) (n=100)

X	Y	Z	重回帰式	重相関係数
Na	K	Mg	$Z=0.042X+1.3Y+0.33$	0.62*
Mg	Ca	SO ₄	$Z=14.4X+2.9Y-30.8$	0.79*
SO ₄	Cl	Mg	$Z=0.018X+0.061Y+0.98$	0.83*
Na	Cl	Mg	$Z=0.043X+0.075Y+0.91$	0.68*
K	SO ₄	Mg	$Z=0.64X+0.018Y+0.87$	0.73*
SO ₄	Cl	アルカリ度	$Z=-0.17X-0.35Y+23.2$	0.57*
K	Cl	Na	$Z=3.2X+0.11Y+2.8$	0.56*

* 1%水準で有意 注) 小川原湖 (10) を除く

には高度な重相関の関係が存在していることが示されており、各成分が相互に関連性をもって岩石、土壌より溶け出していく様子が推察される。

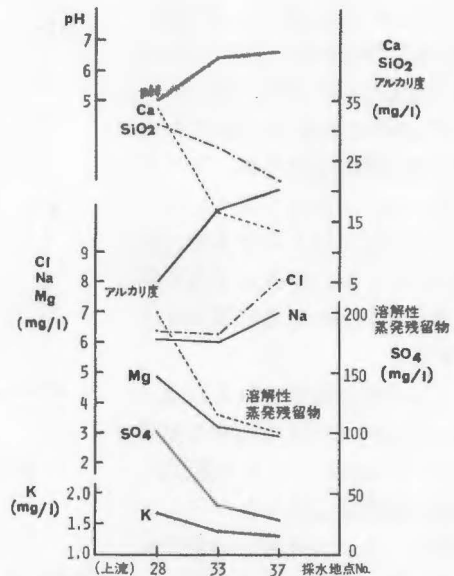
(5) 主要河川の水質の流程による変化

〔北上川〕 北上川水系の水質で最も注目すべきことはその最上流部を流れる赤川が、水源付近で松尾イオウ鉱山からの酸性水の流入による影響を強く受けて、本邦まれにみる強酸性河川の性状を呈し、この赤川の流入する松川ならびに松川の合流する北上川が著しく酸性化している事実である。

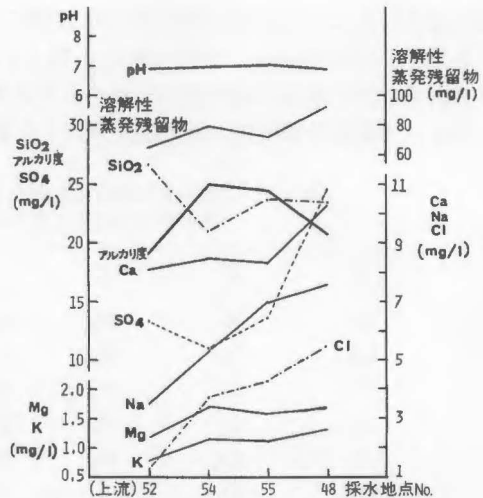
北上川本流の流程による水質の変化(1972年10月～1973年9月採水)を第18図に示す。酸性水の流入により、上流の盛岡市(28)ではpHとアルカリ度が低く、 SO_4 とCaが高濃度を示しているが、東側の北上山地および西側の奥羽山脈から発する幾多の支流の流入により、北上市(33)ではかなり水質が中和され、さらに下流の宮城県登米郡中田町(37)では平常の水質になっている。この間にpHはほぼ中性になり、 SO_4 が減少し、アルカリ度が上昇する様子がうかがえた。この変化は、先に述べた考察(1)と第3図(前回調査)にもはっきりと示されている。

また、Ca、Mg、 SiO_2 、Kおよび溶解性蒸発残留物なども上流から下流に移行するにつれて減少する傾向をみせており、逆にNaとClは生活排水や支川水の流入で下流部においてその濃度を増している。なお北上川では今回は前回に比べCaと SO_4 のほかに NO_3-N と溶解性蒸発残留物の増加が顕著であった。

〔阿武隈川〕 前回の調査による阿武隈川の水質の流程による変化を第19図に示す。pHは変動が少なく、Ca、Mg、Na、Cl、K、溶解性蒸発残留物などは流下に伴い徐々に濃度が増加する。特にNaと



第18図 北上川の水質の流程による変化(1972年10月～1973年9月採水)



第19図 阿武隈川の水質の流程による変化(1954年5月～1955年4月採水)

Clの増加が著しい。アルカリ度は中流部(54, 55)で高くなった後、福島市(55)の下流で減少するが、SO₄はその反対にいったん低くなった後、下流部で著しく高くなる。

今回の分析結果(地点48, 54)では前回に比べ、人為的な廃棄物であるNa, Cl, PO₄-P, NO₃-N, NH₄-Nが著増したほかに、Ca, Mg, K, SO₄, 溶解性蒸発残留物なども増加し、水質の経年変化が大きいことがわかった。

〔米代川〕 米代川の上流域には小坂、尾去沢などの著名な銅山を初めとして多数の鉱山が散在し、その廃水は往時鉱毒問題をひきおこした。その後、各鉱山は除毒対策に工夫改善を行っているが、まだ十分とはいえない。

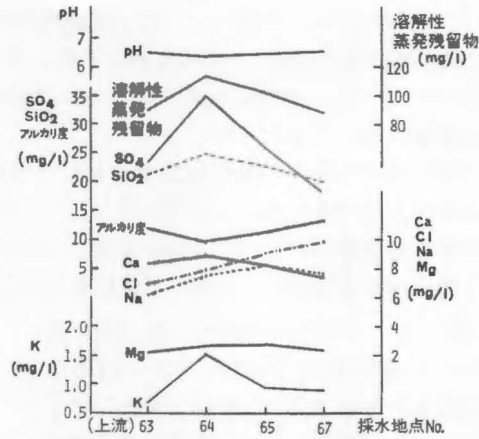
前回の調査では米代川下流部(67), 阿仁川(68), 藤琴川(66)などの水質は化学的に共通した点が多く、Caやアルカリ度が低い。米代川の水質の流程による変化を前回の調査結果(1942年4月～1943年3月採水)により第20図に示す。SO₄, SiO₂, Ca, K, 溶解性蒸発残留物は中流部(64)でいったん上昇し、再び減少する傾向を示すが、アルカリ度は逆に減少後、再度増加している。ClとNaは上流から下流に移るにつれてその値が上昇しているが、その割合は阿武隈川よりゆるやかである。

米代川では前回に比べ今回はCaとアルカリ度の増加が目立ち、鉱山による水質改善の効果が認められるが、その他NO₃-N, 溶解性蒸発残留物などが増大している。

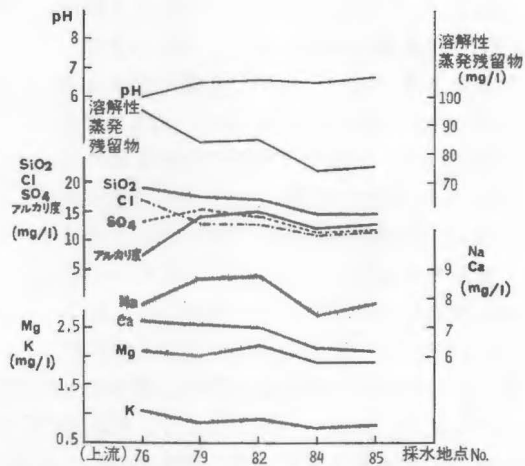
〔雄物川〕 支流玉川および高松川は酸性泉のため川水が著しい酸性反応を呈しているが、これらの特殊な支流を別とすれば、本流をはじめ支流の皆瀬川(78), 横手川(80)などの水質はい

ずれも大同小異である。したがってこれら雄物川水系の諸河川の水質は秋田県の中中部及び南部地方を代表するものであるが、北部を代表する前記米代川と同様に、Caとアルカリ度が乏しく、SO₄とClが多く、かつpHが弱酸性性を呈する特徴をもっている。

雄物川の最大の支流であり、我国最大の酸性河川の一つであり、古来より毒水として知られる玉川は、焼山近くに湧出する玉川温泉(元鹿湯温泉)が、渋黒川を経て多量の塩酸



第20図 米代川の水質の流程による変化 (1942年4月～1943年3月採水)

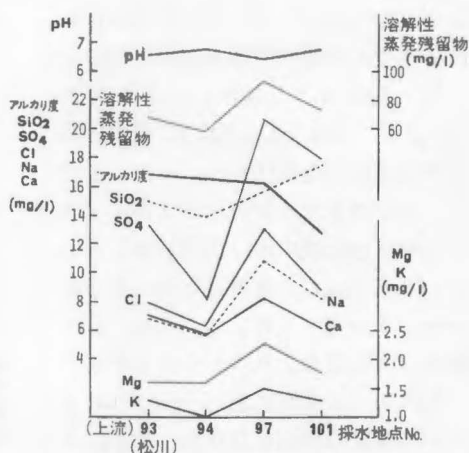


第21図 雄物川の水質の流程による変化 (1942年4月～1943年3月採水)

と硫酸を玉川に注ぐためである。しかしその酸性は流下に伴い多くの支流を集め流量の増加によって幾分軽減されている。特に玉川の川水を中流より田沢湖に導入し、これが田沢湖水(70)によって希釈され、さらに仙北郡角館町(72)を経て松木内川を合せ大曲市に達する間には水質が著しく改善されてくる。この模様は考察(1)(第3図参照)で述べた通りである。雄物川の水質の流程による変化(1942年4月~1943年3月採水)を第21図に示す。全体的にみて各成分ともに上流から下流に至るまで大きな変動が少ないがSiO₂, Cl, Ca, Mg, K, 溶解性蒸発残留物は下流に移るにつれて若干薄くなり、アルカリ度は逆に上昇している。雄物川本流では今回は前回に比べ、NO₃-Nの増加が目立つが、他の成分の変動はあまり著しくない。

なおわが国で最大の深度(425 m)をもつ田沢湖は、往時透明度がきわめて高かったが、1940年に玉川の酸性水を人工的に導入して、同湖の水で希釈し、対岸の生保内で再び玉川に落水して発電するという計画が実現して以来、田沢湖の水質は年とともに酸性化した。第1表中の採水期間と第2表の分析結果からその経年変化がはっきりと認められる。

〔最上川〕山形県を代表する最上川の流程による水質変化(1954年5月~1955年4月採水)を第22図に示す。最上川の上流部は松川と呼ばれるが、その支流の明道沢流域に温泉やイオウ、硫化鉄鉱床が存在し、その酸性水が横川に流入し、さらに松川に流入するため、松川の上流の米沢市(90)では水質は酸性を呈し、SO₄が多く、アルカリ度が低い。しかし水質の正常な羽黒川(89)、鬼面川(91)、白川(92)、などの流入により、松川下流部の山形県長井市(93)では酸性の影響が消失する。最上川となった西置賜郡白鷹町(94)ではアルカリ度以外は減少するが減少の著しいのはSO₄であって米沢市(90)の約1/4に低下する。その後、蔵王の火山、温泉それに鉱



第22図 最上川の水質の流程による変化(1954年5月~1955年4月採水)

床などに起因する酸性水を集めた酢川や金山川などが流入するため、強酸性河川として知られる須川の本流への流入により、村山市(97)では再び水質が変化し、SO₄を初めとして各成分の濃度が上昇するが、丹生川(98)、小国川(99)、鮭川(100)などの流入により最上川の下流部の飽海郡松山町(101)では、SiO₂以外の各成分の濃度は再び減少する。こうしてSO₄, Cl, Na, Ca, Mg, K, 溶解性蒸発残留物などは減少後増加し、再び減少するという類似の傾向を示し、アルカリ度は下流に移るにつれ減少し、SiO₂は減少後、再度増加する。

最上川水系では今回は前回に比べ、NO₃-Nが増大し、Ca, Mgはわずかに高い値で、Feは減少傾向を示し、全体的には雄物川と同様に水質の経年変化が少ない。

(6) 前回と今回の水質の比較

前回(1942年4月~1956年5月)および今回(1972年10月~1973年9月)採水した30

河川について水質の変動の比較を行った。前回の分析値(秋田県の米代川(65), 田沢湖(70), 雄物川(84))については1955年5月~1956年4月のデータを前回の分析値とした)に対する今回の分析値の比(今回/前回)を第5表に示す。まずpHは0.80~1.1の範囲でほとんどの河川は前回よりわずかに低い値であるが全体的に変動は最も少ない。Caは0.83~2.0の範囲で少数の河川を除き前回より高い値を示す河川が多く、平川(3)が2.0, 北上川(28)が1.9, 北上川(33), 阿武隈川(54)および米代川(63)がいずれも1.7の高い濃度比を示している。Mgは0.95~1.8の範囲でほとんどの河川が前回より高い値を示しており、岩木川(2), 平川(3), 阿武隈川(48, 54), 大川(59)がいずれも1.8, 馬淵川(14), 白石川(46), 米代川(63)が1.7の高い比を示した。Naも前回に比べ高い傾向を示す河川が多く、0.84~3.0の濃度比の範囲を示し、阿武隈川(54)の3.0を筆頭に、平川(3)の2.1, 阿武隈川(48)の2.0, 白石川(46)の1.7が特に高い値を示している。KもCa, Mg, Naと同様に高い値を示す河川が多く、濃度比は0.84~2.1の範囲で、岩木川(2), 阿武隈川(54)の2.1, 平川(3), 白石川(46)の2.0, 阿武隈川(48)の1.8, 雫石川(29)の1.7などが高い値である。Feは0.04~4.0の間でこれまでの成分とは逆に低い傾向を示す河川が多い。高い値を示す河川は岩木川(2), 大川(59)の4.0および子吉川(87)の1.6が目立つ程度で、米代川(65)の0.04, 北上川(28)の0.19, 江合川(40)の0.22, 最上川(101)の0.23, 米代川(63)の0.25, 最上川(97)の0.28など前回と比較し、1/4以下の著しく低い値を示す河川がみられる。アルカリ度は0~2.7の間で全体的に前回より高い傾向がみられ、特に米代川(65)の2.4, 北上川(28)の2.3, 平川(3)の1.8, 迫川(39), 江合川(40), 白石川(46)の1.5などが高い値を示している。SO₄は0.84~2.1の範囲で前回より高い傾向を示す河川が多く、阿武隈川(54)の2.1, 猿ヶ石川(31)の1.8, 北上川(33), 米代川(63)の1.7など1.4以上を示す河川が10ヶ所みられる。Clは0.69~5.5の間で前回に比べ高い値を示す河川が多く、阿武隈川(54)の5.5を最高に、阿武隈川(48)の3.1, 平川(3), 白石川(46)の2.3が著しく高く、1.3以上を示す河川が16ヶ所みられる。SiO₂は0.85~1.8の間であって、荒川(6), 馬淵川(14)を除いて、他はすべて前回と同じか、もしくは高い値を示し、濃度比が1.3以上の河川は岩木川(2), 平川(3), 猿ヶ石川(31), 阿武隈川(54), 大川(59), 米代川(63), 雄物川(76), 子吉川(87), 最上川(97)の9ヶ所である。PO₄-Pは0.60~17.7の範囲で高い値を示す河川が多い。なかでも白石川(46)の17.7, 平川(3)の12.3が高く、その他で濃度比が3.0以上の河川は岩木川(2), 荒川(6), 迫川(39), 阿武隈川(48, 54)などがある。NO₃-Nの濃度比は0.47~3.8の範囲であって、同じ栄養塩のPO₄-Pと類似の増加傾向を示し、岩木川(2)の3.8, 猪苗代湖(58)の3.6, 阿武隈川(54), 雄物川(76)の3.3, 平川(3)の3.2, 阿武隈川(48)の3.0など濃度比が2.0以上を示す河川が11ヶ所もみられた。NH₄-Nは0.22~10.5の濃度比の範囲である。前回より高い傾向を示す河川は荒川(6)の10.5, 閉伊川(22)の5.3, 大川(59)の5.0, 平川(3)の4.5, 阿武隈川(54)の4.0, 白石川(46)の3.7, 北上川(28)の3.3, 雄物川(76)の3.0などである。溶解性蒸発残留物は0.82~1.9の間で、高い傾向を示す河川が多く、阿武隈川(54)の1.9, 平川(3)の1.8, 阿武隈川(48)の1.6, 白石川(46)の1.5が高い値を示している。懸濁物も0.33~12.1の範囲で前回に比べ高い値を示す河川が多く、荒川(6)の12.1, 田沢湖(70)の4.6, 岩木川(2), 雫石川(29)の4.5, 子吉川(87), 白石川(46)の4.1, 猪苗代湖(58)の3.8などが高い。

第 5 表 東北地方の河川水の前回と今回の分析値の濃度比(今回/前回) および変動指数

No.	河川名	pH	Ca	Mg	Na	K	Fe	7/10 カリウム (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	PO ₄ -P	NO ₃ -N	NH ₄ -N	溶解性 有機物	懸濁物	変動指数
2	岩手県奥	0.97	1.2	1.8	1.2	2.1	4.0	1.2	1.4	1.4	1.8	3.0	3.8	0.36	1.3	4.5	21.1
3	木川	0.99	2.0	1.8	2.1	2.0	0.83	1.8	1.5	2.3	1.5	12.3	3.2	4.5	1.8	1.6	31.7
6	入川(黒川)	0.97	1.1	1.2	1.2	1.1	0.52	—	0.99	1.1	0.85	>4.3	1.1	10.5	0.90	12.1	3.8
12	木川(黒川)	0.97	1.2	1.6	0.89	1.1	0.33	1.1	0.98	1.1	1.0	1.2	2.4	0.33	1.1	0.92	8.3
14	馬久閉北	0.97	1.2	1.7	1.2	1.2	0.44	1.2	1.4	1.3	0.96	2.5	1.4	1.3	1.1	0.33	11.7
18	淵藤上	1.0	1.1	1.4	0.98	1.3	1.0	1.2	1.1	0.86	1.1	<0.8	0.63	1.0	1.1	0.94	7.1
22	淵藤上	0.99	1.1	1.3	1.1	1.4	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.0	0.47	5.3	1.1	1.1	6.4
28	川	1.1	1.9	1.4	1.0	1.5	0.19	2.3	1.4	1.3	1.1	1.0	1.5	3.3	1.3	0.43	22.3
29	川	0.97	1.2	1.4	0.98	1.7	0.40	1.1	1.1	1.1	1.1	<2.0	1.4	1.3	1.1	0.33	11.1
31	川	0.96	1.0	1.3	1.1	1.5	0.42	1.0	1.8	1.4	1.3	1.3	1.9	0.57	1.1	1.0	13.4
33	川	0.94	1.7	1.5	1.1	1.5	0.31	1.0	1.7	1.3	1.2	>2.0	2.0	0.67	1.4	1.2	15.7
35	川	0.97	1.1	1.3	1.0	1.5	1.0	1.1	1.1	0.95	1.2	1.0	1.2	0.22	1.1	1.9	8.5
37	川	0.96	1.5	1.5	1.3	1.7	0.41	1.2	1.5	1.4	1.1	>2.0	1.6	0.75	1.3	1.2	14.2
39	川	1.0	1.6	1.6	1.2	1.4	0.57	1.5	1.1	1.3	1.2	3.0	1.0	0.33	1.3	0.86	13.9
40	川	1.0	1.1	1.4	1.2	1.4	0.22	1.5	0.84	1.1	1.1	1.8	0.82	0.33	1.1	0.59	9.9
46	川	0.93	1.4	1.7	1.7	2.0	0.85	1.5	1.2	2.3	1.2	17.7	2.6	3.7	1.5	4.1	25.1
48	川	0.97	1.5	1.8	2.0	1.8	0.54	1.2	1.6	3.1	1.1	3.7	3.0	1.8	1.6	1.2	33.9
54	川	0.96	1.7	1.8	3.0	2.1	0.52	1.3	2.1	5.5	1.4	3.5	3.3	4.0	1.9	1.8	65.9
58	川	0.94	1.1	1.1	1.2	1.3	1.0	1.0	1.2	1.4	1.2	1.8	3.6	0.50	0.88	3.8	14.4
59	川	0.94	1.4	1.8	1.2	1.2	4.0	1.4	1.2	1.3	1.3	1.0	2.9	5.0	1.1	1.8	14.4
60	川	0.98	0.83	1.0	0.84	0.84	0.57	0.88	0.87	0.69	1.0	1.0	0.61	0.40	0.82	0.66	5.7
63	川	1.0	1.7	1.7	1.0	1.6	0.25	1.2	1.7	0.87	1.3	>1.7	2.6	1.0	1.3	0.50	17.6
65	川	1.0	1.6	1.6	1.1	1.1	0.04	2.4	1.1	1.2	1.1	>1.7	1.6	1.0	1.2	1.1	21.0
70	川	0.80	1.2	1.1	1.2	1.4	0.75	0.05	1.1	1.4	1.2	1.0	0.75	0.67	1.0	4.6	14.8
76	川	1.0	0.97	1.0	1.0	1.2	1.1	1.3	1.0	0.88	1.3	>3.0	3.3	3.0	0.83	2.1	6.6
84	川	0.98	1.1	1.2	1.1	1.6	0.47	1.1	0.88	1.3	1.2	>2.0	1.4	1.3	1.1	1.8	9.5
87	川	0.98	0.92	1.35	0.92	1.3	1.6	0.85	1.1	1.0	1.3	>1.0	1.7	0.67	0.90	4.1	5.6
97	川	0.95	1.2	1.3	0.93	1.3	0.28	0.71	1.3	0.98	1.3	0.60	1.1	1.4	1.1	1.6	8.6
101	川	0.96	1.1	1.4	1.0	1.2	0.23	1.1	0.99	1.3	1.1	>2.0	1.8	1.5	1.2	0.86	7.1
102	川	0.96	1.0	1.1	0.98	1.2	0.60	0.93	1.3	1.0	1.1	>1.3	1.8	0.50	0.98	1.4	4.7

以上の結果より全成分を通してみると、前回の分析値に比べ今回の分析値の方が高い値で、成分別にはCa, Mg, Na, K, アルカリ度, SO₄, Cl, SiO₂, PO₄-P, NO₃-N, NH₄-N, 溶解性蒸発残留物, 懸濁物である。逆に低い傾向を示す成分はpH, Feのみであった。この傾向は次表の各成分の分析値の平均の比較にはっきりと表わされる。

(pH 以外 mg/l)

	pH	Ca	Mg	Na	K	Fe	アルカリ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	PO ₄ -P	NO ₃ -N	NH ₄ -N	溶解性蒸発 残留物	懸濁物
前回	6.5	8.0	1.8	6.8	1.01	0.43	15.6	19.8	7.9	21.0	0.004	0.20	0.06	83	13
今回	6.3	10.7	2.6	8.2	1.44	0.14	18.4	24.6	10.3	24.1	0.014	0.37	0.09	98	18

各河川(30ヶ所)の主成分の濃度が前回と今回の調査時においてどの様に変化しているかを数値的に表わす試みとして、Ca, Mg, Na, K, アルカリ度, SO₄, Cl, SiO₂の8成分の濃度について次式により計算値を求め、その値を変動指数として第5表の右端に示した。

$$\text{変動指数} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(X_i)_T - (X_i)_P}{(X_i)_P} \times 100 \right)^2}$$

但し (X_i)_P……前回の分析値

(X_i)_T……今回の分析値

X……Ca, Mg, Na, K, アルカリ度, SO₄, Cl, SiO₂

従って n=8

変動指数が最も大きい河川は阿武隈川(54, 48)であり、ついで平川(3), 北上川(28), 白石川(46), 米代川(65, 63), 岩木川(2)である。特に阿武隈川(54, 48)の主要8成分はすべて前回に比べ大きく増加しており、流域からの工業や生活排水など人為的な影響が考えられる。一方、水質変動の低い河川は荒川(6)と赤川(102)をはじめ、子吉川(87), 只見川(60), 最上川(97, 101), 雄物川(76, 84), 閉伊川(22), 久慈川(18), 奥入瀬川(12), 胆沢川(35)であることがわかった。

次に栄養塩類の変化について検討するために、栄養塩のPO₄-P, NO₃-N, NH₄-Nの分析値を用いて、各河川の富栄養化の度合を数値的に算出した。すなわち河川、湖沼水の富栄養化の目安とされているP 0.02 mg/l, N 0.15 mg/l⁽⁴⁷⁾を用いて次式より計算値を求め、その値を富栄養化指数とした。なおNO₂-Nは濃度が低いことと、前回分析を行っていないため計算から除いた。

$$\text{富栄養化指数} = \frac{\text{PO}_4\text{-P(mg/l)}}{0.02} + \frac{\text{NO}_3\text{-N(mg/l)} + \text{NH}_4\text{-N(mg/l)}}{0.15}$$

富栄養化指数の計算結果は第6表の通りで、今回高い指数を示したのは主成分の変動が最大であった阿武隈川(54, 48)の15.4と10.9を筆頭に、平川(3)の9.8, 白石川(46)の6.4, 最上川(97, 101)の6.4, 4.0, 馬淵川(14)の5.1, 北上川(28, 33, 37)の3.5~5.7などで、汚染の影響を受け難いと考えられる大河川さえも大きな値を示しているのが目立つ。前回に比べ今回富栄養化の進んだ河川は白石川(46), 平川(3), 阿武隈川(48, 54),

第6表 東北地方の河川水の富栄養化指数

No.	河川名	前回	今回	今回/前回	No.	河川名	前回	今回	今回/前回
2	岩木川	1.5	3.0	2.0	48	阿武隈川	3.8	10.9	2.9
3	平川	2.5	9.8	3.9	54	阿武隈川	4.5	15.4	3.4
6	荒川(堤川)	1.3	3.3	2.5	58	猪苗代湖	0.6	1.3	2.2
12	奥入瀬川	1.8	3.6	2.0	59	大川	1.3	3.8	2.9
14	馬淵川	3.3	5.1	1.5	60	只見川	1.2	0.7	0.6
18	久慈川	2.1	1.3	0.6	63	米代川	0.9	2.2	2.4
22	閉伊川	1.4	1.5	1.1	65	米代川	2.2	3.6	1.6
28	北上川	2.9	5.7	2.0	70	田沢湖	0.7	0.5	0.7
29	雫石川	1.3	1.4	1.1	76	雄物川	1.0	3.8	3.8
31	猿ヶ石川	1.5	2.5	1.7	84	雄物川	1.7	2.6	1.7
33	北上川	2.3	4.1	1.7	87	子吉川	0.6	1.0	1.7
35	胆沢川	0.9	0.7	0.8	89	羽黒川	—	4.3	—
37	北上川	2.3	3.5	1.5	97	最上川	5.9	6.4	1.1
39	迫川	1.5	1.5	1.0	101	最上川	2.3	4.0	1.7
40	江合川(荒雄川)	1.4	1.2	0.9	102	赤川	1.0	1.5	1.5
46	白石川	1.5	6.4	4.3					

大川(59), 雄物川上流(76)などであり, 逆に変化の少ないのは久慈川(18), 胆沢川(35), 江合川(40), 只見川(60), 田沢湖(70)などである。

(7) 東北地方と日本の河川の平均水質の比較

東北地方の100ヶ所(小川原湖(10)を除く)より得られた水質分析の総平均値と日本の河川の総平均水質値^(2,3)とを比較すると下表のようである。

	(mg/l)													
	Ca	Mg	Na	K	Fe	アルカリ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	PO ₄ -P	NO ₃ -N	NH ₄ -N	溶解性 懸濁 残留物	懸濁 物
東北地方100ヶ所*	8.0	1.8	6.8	0.97	0.36	17.1	19.1	8.1	20.7	0.005	0.18	0.05	84	15
東北地方35水系**	7.7	1.9	7.3	1.06	0.49	16.4	17.6	7.9	21.5	0.003	0.26	0.06	79	19
全国225水系**	8.8	1.9	6.7	1.19	0.24	25.4	10.6	5.8	19.0	0.007	0.26	0.05	75	29

* 小川原湖(10)を除いた前回の100ヶ所の水質を単純に総平均したもの(単純平均と名づける)。

** 文献(2,3)より引用。河川水系ごとの水質と年間の総流出水量とから平均水質を算出したもの(修正平均と名づける)。

東北地方全体にわたり万遍なく100ヶ所の場所を選んだ結果, 単純平均と修正平均とは意外によく一致する結果を示しており, 必ずしも偶然の一致ではないことがわかる。

すなわち, 東北地方の河川水質は, 日本の河川の平均水質に比べて, アルカリ度が約30%, CaとKも10%前後低く, 逆にSO₄とClは30%以上高い値であって, 酸性型の河川が多い東北地方の河川水の特徴をよく表わしている。

VI. 要 旨

(1) 著者らは今回東北地方の河川につき31ヶ所の定点を設け、1972年10月～1973年9月の満1年間に毎月1回12回ずつの採水を行い、水質を分析することにより、著者らの一人小林が前回(1942年4月～1956年5月)101ヶ所の定点につき調査したデータとの比較を行ない、かつまた東北地方河川水質の特徴を検討した。

(2) 地理的に新第三紀層が広く分布する東北地方には火山、温泉、鉱山が多く、それらの影響を受けて荒川(6)、北上川(28)、二迫川(38)、長瀬川(57)、玉川(69)、高松川(75)、松川(90)、須川(95)など全国でもまれにみる強酸性河川が多い。前回および今回の分析結果を通じての全般的な河川水質は次のようである。pHは6.4～7.4、Caは4～12 mg/l、Mgは0.7～3.8 mg/l、Naは4～10 mg/l、Kは0.4～2.0 mg/l、Feは0～0.40 mg/l、Srは0.03～0.06 mg/l、アルカリ度(CaCO₃)は0～35 mg/l、SO₄は1.7～40 mg/l、Clは2～16 mg/l、Fは0.01～0.05 mg/l、SiO₂は10～35 mg/l、PO₄-Pは<0.003～0.010 mg/l、NO₃-Nは0.02～0.50 mg/l、NO₂-Nは0～0.010 mg/l、NH₄-Nは0.02～0.09 mg/l、CODは0.8～3.2 mg/l、溶解性蒸発残留物は30～150 mg/l、懸濁物は2～26 mg/l、混濁度は0～15 mg/lの範囲内にはほとんどの河川(約80%)が入る。

(3) 東北地方の川水中の主要イオンの濃度を当量濃度に換算して、アルカリ度-SO₄-Cl(アニオン)、Ca-Mg-(Na+K)(カチオン)の各三者間の当量百分率の三角座標およびアニオンとカチオンを一緒にした正方形座標をみると、アニオンでアルカリ度が50%を越すものはほとんど太平洋側の北上山地の古生層を水源とする河川であり、逆に日本海側の新第三紀層を水源とする河川にはSO₄量が高いことが認められた。岩手県の河川水質は東西で対照的であって、東側の北上山地を水源とする河川(13河川)は重碳酸塩型のほぼ均一な水質を示し、アニオンの三角座標においても一点に集中するが、西側の奥羽山脈を水源とする河川(6河川)は硫酸塩型水質を示し、水源の地質の影響が明白に現われていた。その結果、岩手県の河川では当量百分率においてアルカリ度とSO₄、Clとの間に高度な逆相関が認められた。

カチオンの当量百分率ではCaは太平洋側の北上山地を水源とする河川に多く、秋田県など日本海側の河川にはCaが少なくMgやNa+Kの割合が比較的高かった。

次にSO₄/アルカリ度の比は新第三紀層を水源とする、特に秋田県の各河川において著しく高いことが判明し、またNa/Kも同様の傾向が認められた。

(4) 河川水質の季節的変動を米代川について調べたところ、Ca、Mg、Na、K、アルカリ度、SO₄、Cl、溶解性蒸発残留物などは7月、8月の濁水時に濃厚となり、春の融雪時に雪どけ高水により希釈される傾向のあることが認められた。従って上記成分の濃度は流量と高度な逆相関の関係にあった。

しかし一方で各成分の流送量を計算してみると、融雪増水期に多く、夏の濁水期に少なく、流量と高度な正相関の関係が認められた。

(5) 東北地方の河川水中のCl/アルカリ度(当量比)は太平洋側の河川にきわめて小さい(0.2以下の河川が多い)のに対し、日本海側の河川に大きい(0.8以上を示す河川も多い)傾向が認められた。しかも日本海側河川には年間を通じてその比が高いだけでなく、季節風の吹く冬期間にその値が増大し、3、4月の融雪時に最大となる。地質的な影響

だけでなく、強い北西風によって雪とともに陸地に運ばれる海洋塩の響影が大きいことがわかった。

また Na/K の分布も日本海側に高く、太平洋側に低い傾向があった。

(6) 主要成分相互間の濃度(1942年4月～1956年5月採水, 100ヶ所, 小川原湖(10)を除く)については, Ca-Mg, Ca-K, Ca-SO₄, Ca-SiO₂, Mg-Na, Mg-K, Mg-SO₄, Mg-Cl, Mg-SiO₂, Na-K, Na-Cl, K-SO₄, K-Cl, K-SiO₂, SO₄-Cl, SO₄-SiO₂(以上1%水準で有意), Na-SO₄, Na-SiO₂(5%水準で有意)の間で正相関がみられ, アルカリ度-SO₄, アルカリ度-Cl, アルカリ度-Mg(以上1%水準で有意), アルカリ度-K(5%水準で有意)において逆相関が認められた。特に後者の4つの逆相関の関係は東北地方の河川水質の特性を示しているものと考えられる。また Sr と Ca との間にも高度な正相関が認められた。

(7) 主要河川の流程による水質変化として北上川では酸性水の流入による上流部の強酸性の水質が, 流下するにつれ多数の支川の流入により漸次平均的な水質に変わり, Ca, Mg, K, SO₄, SiO₂, 溶解性蒸発残留物が減少する一方, pH, アルカリ度は上昇し, 人為的影響とみられる Na と Cl が増加する傾向がみられた。阿武隈川では上流から流下するにつれて, Ca, Na, SO₄, Cl などが著しく増加する。米代川では中流部で SO₄ が増加するが下流部では再びもとに近い水質にもどり, Na と Cl のみが次第に増加する傾向がみられた。雄物川では上流部から下流部まで水質の変動が比較的少ない。最上川では中流部で須川の酸性水の流入で SO₄, Cl, Na, Ca などが大きく上昇するが, 下流部で再び平均的な水質にもどる。

(8) 前回(1942年4月～1956年5月)と今回(1972年10月～1973年9月)に採水した河川について水質の比較を行ったところ, 成分別では Ca, Mg, Na, K, アルカリ度, SO₄, Cl, SiO₂, PO₄-P, NO₃-N, NH₄-N, 溶解性蒸発残留物, 懸濁物などが前回に比べて増加した河川が多く, pH, Fe は逆の傾向を示した。この主な原因は, 前回に比べて汚染が増加したこと, 調査期間中の流量が少なかったことなどによるものであろう。このような変化が大きかった河川は阿武隈川(54, 48)を最高に, 平川(3), 北上川(28), 白石川(46), 米代川(65, 63), 岩木川(2)であり, 変動の小さかった河川は子吉川(87), 赤川(102), 荒川(6), 只見川(60), 最上川(97, 101), 雄物川(76, 84), 閉伊川(22), 久慈川(18), 奥入瀬川(12), 胆沢川(35)である。

(9) 東北地方の河川水質と日本の河川の総平均水質とを比較したところ, 前者は後者に比べアルカリ度, Ca, K が低く, 逆に SO₄, Cl が著しく高く, 酸性型河川の多い東北地方の河川水の特徴が判明した。

文 献

1. 小林 純. 1971. 水の健康診断. 岩波書店. 東京.
2. 小林 純. 1960. 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究 48: 63—106.
3. Kobayashi, J. 1960. A chemical study of the average quality and characteristics of river waters of Japan. Ber. Ohara Inst. landw. Biol. Okayama Univ. 11: 313—358.
4. 小林 純. 1960. 日本の河川の特質について. 用水と廃水 2: 9—24.
5. 小林 純. 1950. 本邦河川の化学的研究(第1報). 秋田県下の水質について. 農事試験場彙報 4: 115—134.

6. Kobayashi, J. 1951. Chemical investigation on the water of rivers in Japan I. On the quality of water in Akita Prefecture. Ber. Ohara Inst. landw. Forsch. 9: 329—356.
7. 小林 純. 1955. 本邦河川の化学的研究 (第3報). 関東第方の水質について. 農学研究 43: 1—40.
8. Kobayashi, J. 1955. Chemical investigation on the water of rivers in Japan. III. The nature of water in the Kanto districts. Ber. Ohara Inst. landw. Biol. Okyama Univ. 10: 157—214.
9. 小林 純. 1953. 本邦河川の化学的研究 (第2報). 九州地方の水質について (前篇). 農学研究 41: 27—49.
10. 小林 純. 1954. 本邦河川の化学的研究 (第2報). 九州地方の水質について (後篇). 農学研究 42: 1—18.
11. 加藤武雄. 1963. 白川 (最上川水系) の地球化学的研究. 陸水学雑誌 24: 94—103.
12. 加藤武雄. 1962. 日向川水系 (山形県) に関する地球化学的研究. 山形大学紀要 (自然科学) 5: 741—754.
13. 加藤武雄. 1960. 月山西方地域の陸水に関する地球化学的研究一月山周辺河川の陸水学的研究 (第4報). 山形大学紀要 (自然科学) 5: 101—117.
14. 加藤武雄. 1957. 寒河江川 (山形県) の陸水学的研究. 地理学評論 30: 981—988.
15. 加藤武雄. 1963. 松川水系 (山形県) に関する地球化学的研究. 山形大学紀要 (自然科学) 5: 837—861.
16. 加藤武雄. 1961. 須川水系に関する地球化学的研究. 山形大学紀要 (自然科学) 5: 307—348.
17. 加藤武雄. 1963. 小国川 (最上川水系) の地球化学的研究. 陸水学雑誌 24: 84—93.
18. 加藤武雄. 1963. 丹生川 (最上川水系) の地球化学的研究. 陸水学雑誌 24: 104—113.
19. 加藤武雄. 1963. 鮭川水系 (山形県) に関する地球化学的研究. 山形大学紀要 (自然科学) 6: 43—62.
20. 後藤達夫. 1961. 和賀川の地球化学的研究. 岩手大学学芸学部研究年報 18: 11—29.
21. 後藤達夫. 1961. 猿ヶ石川における出水時の水質変化. 日本化学雑誌 82: 987—993.
22. 瀬野錦蔵・後藤達夫. 1962. 北上川水系の増水時における水質の変化機構. 陸水学雑誌 23: 35—44.
23. 後藤達夫. 1970. 鉱業活動による河川の水質変化. 化学の領域 24: 975—986.
24. 後藤達夫. 1961. 北上川の上流区域の水質. 日本化学雑誌 82: 994—1000.
25. 入江敏勝. 1963. 雄物川の化学的研究. 山形大学紀要 (自然科学) 5: 863—874.
26. 日本河川協会 (建設省河川局編). 1975. 日本河川水質年鑑 (1975年版). 山海堂.
27. 菅原 健. 1932. 天然水中に含まれる珪酸の定量に就いて. 陸水学雑誌 1: 88—94.
28. 塩入松三郎・永原太郎. 1933. 珪酸以外の土壌無機成分の微量定量法に就て. 農事試験場彙報. 第2号 161.
29. APHA. 1946. Standard Methods for the Examination of Water and Sewage. 9th Ed. p. 61.
30. 塩入松三郎・米田茂男. 1940. 微量法を応用せる肥料の磷酸及び加里定量法. 農林省農事試験場臨時報告 11.
31. 三宅泰雄. 1949. 水質分析. p.122, 134. 小山書店.
32. 富山哲夫. 1941. 水の微量分析法並びに装置. p. 33, 37.
33. Fiske, C. H. 1921. J. Biol. Chem. 47: 59.
34. 岩田武司. 1936. Benzidine 法による硫酸の微量容量定量法. 日本土壌肥料学雑誌 10. 補冊.

p. 45.

35. 小林 純. 1958. 東南アジア諸国の河川の化学的研究. 第1報. タイ国の水質について. 農学研究 46 : 63—112.
36. Kobayashi, J. 1959. Chemical investigation on river waters of South-Eastern Asiatic countries (Report 1). The quality of waters of Thailand. Ber. Ohara Inst. landw. Biol. Okayama Univ. 11 : 167—233.
37. APHA. 1955. Standard Methods for the Examination of Water, Sewage and Industrial Waters. 10th Ed. p. 197.
38. 橋谷 博・吉田秀世・武藤 博. 1967. 分析化学 16 : 44—46.
39. Dienert-Wandenbulcke. 1932. Bull. Soc. Chim. 33 : 1131.
40. Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R. 1968. A Practical Handbook of Seawater Analysis. p. 65. Fisheries Research Board of Canada.
41. APHA. AWWA. WPCF. 1971. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 13th Ed. p. 530.
42. 日本河川協会 (建設省河川局編). 1974. 第25回 (1972) 流量年表. p. 75.
43. 日本河川協会 (建設省河川局編). 1975. 第26回 (1973) 流量年表. p. 79.
44. 小林 純. 1958. 水の酸性と脳卒中死亡率との相関について. 水道協会雑誌 280号 1—8.
45. Kobayashi, J. 1957. On geographical relationship between the chemical nature of river water and death-rate from apoplexy. Ber. Ohara Inst. landw. Biol. Okayama Univ. 11 : 12—21.
46. 小林 純. 1974. 水質と健康. 空気調和・衛生工学 48 : 652—658.
47. 小泉清明. 1971. 川と湖の生態. p. 62. 共立出版.