

富士五湖の水質

鈴木孝雄, 平野富雄, 大木靖衛

神奈川県温泉地学研究所*

Water-Chemistry of Fuji Five Lakes

by

Takao SUZUKI, Tomio HIRANO and Yasue OKI

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

(Abstract)

There are five lakes along the northern hem of Mt. Fuji, which mostly consists of basaltic ejectas. Waters of these lakes were chemically analysed with the result of table 2. Their chemical behaviours of the major ions are almost the same in all five lakes, except for their Mg/Ca mole ratios. In Mg/Ca ratio, the lake water of Yamanaka is 1.0, which is considerably higher than those of the other four lakes, ranging from 0.3 to 0.6. The major factor which may bring about the difference of Mg/Ca ratio could be the lithologic difference of their volcanic edifices behind the lakes. The lake Yamanaka area is predominated in basaltic tefra, whereas the other area of four lakes are predominated in lava flows.

The difference of Na/Cl inclination in Na-Cl diagram reflects difference of their source. Lake water obviously influenced by sewage water is very close to 1.0 inclination in Na-Cl diagram. Lake water obviously no influence of human activity is considerably high in Na/Cl inclination with 3.8, which is the result of water-rock interaction. The lake water of Kawaguchi with 1.0 inclination is pronouncedly polluted by sewage from the accomodation facilities of the lake resort.

* 神奈川県箱根町湯本997, 〒250-03

神奈川県温泉地学研究所報告 第15巻, 第5号, 107-114, 1984.

まえがき

玄武岩でできた富士山では標高1000m以上の部分には、ほとんど河川は存在せず、湧水も少ない。しかし1000m以下には、湧泉や、湖、河川がたくさんある。富士山頂から北方20kmの山麓末端の位置に、西から東に向かって、本栖湖、精進湖、西湖、河口湖の四湖が、北方の御坂山地との間にある。御坂山地をつくっている御坂層は凝灰岩を主とした緻密な新第三紀層で、富士山

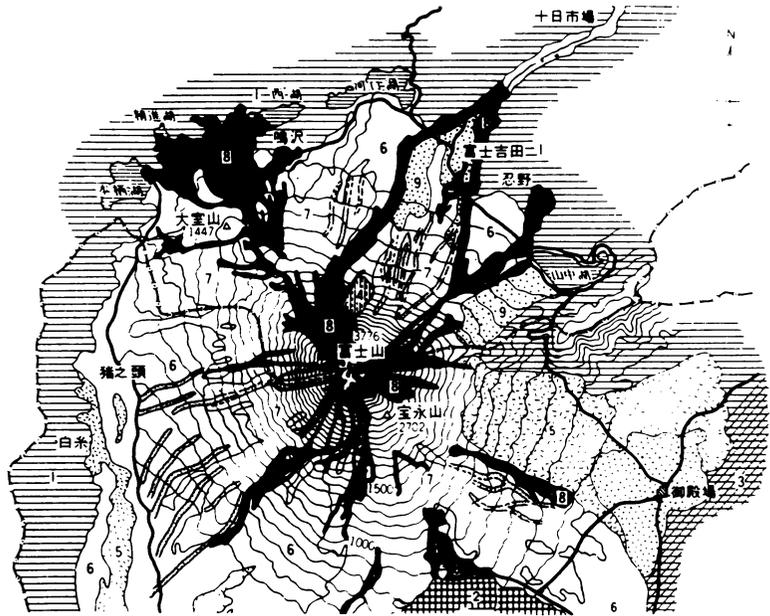


図1 富士五湖と富士山噴出物の分布 (津屋, 1971による)

- (9)沖積扇状地堆積物および火山灰層 (8)新期溶岩類 (7)中期溶岩類 (6)旧期溶岩類 (以上新富士火山) (5)古富士火山泥流および砂礫層 (4)小御岳火山 (3)箱根火山 (2)愛鷹火山 (1)おもに第三紀層 (宝永4年噴出物その他の新しい火山砂礫をのぞく)

の基盤となっている。富士吉田市の低地をはさんで富士山の東方20kmに山中湖がある。山中湖は、かつては宇津湖と称する大きな湖であったが、鷹丸尾熔岩でうめたてられて、今の山中湖の大きさになったという。北方の四湖は古文書にも成立が記録されているほど新しい湖である。現在の青木ヶ原を作った熔岩によって西暦864年(貞観6年)、剱の海が分断され今の姿になった。本栖湖、精進湖、西湖の三つの湖は、今でも多孔質の熔岩流間の空隙を通じて地下で連絡しあっている。富士五湖の概要については表1に示した。富士山周辺の地質に関しては津屋弘達(1971)の詳細なる研究があり、水文学的研究については宮本ら(1968)、山本莊毅(1971)、最近の湖水の異常水位について田中ら(1982)の調査等がある。湖水と湧水の化学分析は、SUGAWARAら(1980)によっていくつかの微量成分とともに報告されている。筆者らは富士五湖の湖水の主成分の分析を通して富士玄武岩熔岩と水との相互作用を考察することを目的とした。またあわせて、汚染のない天然水が人間活動によってどう変化していくかを見る手がかりを得ることをも目的とした。

表1 富士五湖の概要

	標高 (m)	面積 (km ²)	最大深度 (m)	容 量 (m ³)	流域面積 (km ²)
山中湖	982	6.5	13	58×10 ⁶	65.5
河口湖	822	6.1	15	48×10 ⁶	126.4
西湖	898	2.1	67	79×10 ⁶	33.0
精進湖	896	0.65	11	2.5×10 ⁶	25.8
本栖湖	902	4.9	126	319×10 ⁶	34.5

採 水

図1に富士五湖付近の地質図を示した。採水は1980年から1983年の4年にわたり、いずれも湖岸にて行った。

結果及び考察

分析結果を表2に示した。富士五湖の水の化学成分濃度は全般的に低い。そのうちケイ酸の濃度は季節変化を受けているが、

山本, 田中らによる。

表2 富士五湖分析値

(ppm)

	採水日	Na ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂
山中湖	1980-8-1	3.1	1.3	5.6	3.3	1.2		38.7	12.3
	8-23	3.3		5.6	3.3	1.9		37.4	11.6
	8-23	3.2		5.8	3.2	1.9		37.4	11.5
	1981-8-9	3.2	1.3	4.3	3.2	1.8		34.8	9.5
	1982-2-1	3.4	1.1	4.5	3.3	2.3		38.8	13.6
	8-29	2.8	0.8	5.2	2.9	1.8		33.9	11.9
	8-29	2.9	0.8	5.6	2.8	1.8		37.0	11.3
	12-27	3.4	1.2	5.7	4.4	1.6	2.7	40.2	12.9
	12-27	3.4	1.2	5.6	4.4	1.6	3.0	41.4	13.5
	1983-5-14	3.3	1.0	5.6	3.6	1.3	2.9	40.8	18.7
河口湖	1980-8-1	5.2		11.8	4.3	3.7		56.8	7.6
	1981-8-9	5.2	0.8	11.4	4.2	3.5		54.3	7.5
	1982-8-29	4.5	0.5	11.2	3.7	3.3		52.7	9.9
	8-29	4.6	0.5	12.1	3.9	3.4		51.5	10.4
	12-27	4.5	0.7	10.8	4.7	3.0	9.5	48.3	12.3
	12-27	4.3	0.7	10.0	4.5	2.6	8.3	49.0	11.8
	12-27	5.3	0.8	12.1	5.1	4.0	11.5	54.6	12.8
	1983-5-14	4.7	0.6	10.9	4.1	2.9	10.2	49.6	8.1
	5-14	4.4	0.6	11.0	3.8	2.7	9.8	50.2	8.6
西湖	1980-8-1	3.6		8.4	2.3	1.4		41.2	7.2
	1981-8-9	3.7	0.4	7.7	2.6	1.6		40.3	6.8
	1982-8-29	3.3	0.2	8.4	2.2	1.5		41.8	8.1
	8-29	3.3	0.2	8.7	2.1	1.4		40.6	8.1
	12-27	3.5	0.4	7.6	3.0	1.3	4.1	39.5	8.9
	12-27	3.5	0.4	7.3	3.0	1.3	4.2	40.8	8.7
	12-27	3.6	0.4	8.3	2.9	1.4	4.3	40.8	10.9
	1983-5-14	3.2	0.5	7.5	2.2	1.5	5.4	34.5	5.7
精進湖	1980-8-1	3.6		6.6	2.2	2.1		35.6	2.0
	1981-8-9	4.1	0.9	8.1	2.3	1.9		37.2	8.4
	1982-8-29	2.8	0.4	7.2	1.7	1.8		33.3	7.2
	8-29	2.8	0.4	7.4	1.7	1.8		36.3	7.3
	12-27	3.2	0.6	7.4	2.9	1.8	5.0	37.7	10.3
	12-27	3.2	0.7	7.4	2.8	1.7	5.1	37.7	10.9
	1983-5-14	3.6	0.4	8.0	2.4	1.2	3.9	40.8	7.9
本栖湖	1980-8-1	1.8		5.0	0.7	1.1		19.3	3.6
	1981-8-9	2.1	0.9	4.5	1.0	1.4		20.1	3.3
	1982-8-29	1.7	0.2	4.7	0.7	0.9		20.0	4.3
	8-29	1.7	0.2	4.9	0.7	1.0		21.2	4.1
	12-27	2.0	0.3	4.3	1.5	1.0	3.8	18.8	4.4
	1983-5-14	1.9	0.3	4.6	1.0	0.8	3.3	22.0	3.8
	5-14	1.9	0.3	4.7	1.0	0.8	3.5	21.3	4.2

表3 多摩丘陵の溜池の水 分析値 (ppm)

No.	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂
1	5.9	7.6	4.4	5.6	24.0	18.5
2	5.8	6.6	4.3	5.6	25.0	16.6
3	8.3	5.7	3.8	10.8	18.0	20.7
4	6.7	6.0	4.2	5.6	33.0	18.0
5	6.7	5.5	3.8	5.6	19.0	21.0
6	6.9	6.5	4.2	9.6	25.0	9.0
7	6.9	6.5	4.2	9.6	25.0	9.0
8	7.0	6.2	3.8	8.0	26.0	15.7
9	7.0	5.7	3.6	7.9	22.0	14.4
10	7.8	8.7	5.2	8.0	32.0	19.4
11	7.3	7.5	4.5	8.1	34.0	20.6
12	7.5	7.5	4.6	6.4	27.0	21.2

(1978年3月採水、分析)

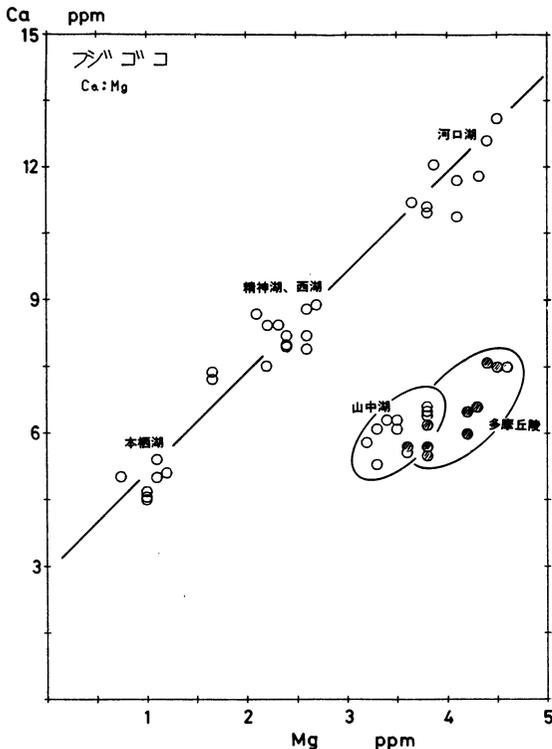


図2 富士五湖のMg²⁺とCa²⁺の関係

富士火山の主体は玄武岩質であるので、CO₂に溶かされてきたMg²⁺は、輝石起源であろうし、Ca²⁺は主として、長石類からやってきたであろう。その場所場所における輝石、長石の存在比は変化しても、広い範囲を集水域とする湖水の成分は均一化されてくるのでその地域一帯の地質の反映となっているであろう。酒匂川とその支流の河川水の分析から平野ら(1976)は、その流域の地質の反映によ

その他の成分は変動が少ない。標高が最も低く、北部四湖のうち最も東にある観光客の多い河口湖は、成分濃度の合計値が大きい。深く、大きく、最も西にある本栖湖の成分濃度は最も小さい。これらの分析値はSUGAWARAら(1980)の値とよく一致している。

湖水中に溶解している主成分は、雨水が地下に浸み込み、玄武岩が地中より供給されるCO₂と反応することによって水の中にとり込まれる。したがってHCO₃⁻の濃度が岩石と水との反応した経過を示す指標と考えられるだろう。以下の考察は陰イオンとしてHCO₃⁻濃度が主たる反応生成物であるとして進める。

(1)Mg²⁺, Ca²⁺とHCO₃⁻

(Mg²⁺+Ca²⁺)とHCO₃⁻は、相関関係にあるものとして知られている。富士五湖においても(Mg²⁺+Ca²⁺)の1モルは、HCO₃⁻の2モルにはっきりと対応している。HCO₃⁻の濃度を岩石との接触時間と考えると、Ca²⁺+Mg²⁺は、岩石の風化により生じていると考えられる。

(2)Mg²⁺とCa²⁺

Mg²⁺とCa²⁺の関係を図2に示す。山中湖以外の湖水では、ほぼ直線状に配置して強い相関を示す。一方、山中湖は、Ca²⁺の濃度に比べてMg²⁺の濃度が高く、きわだって異なる傾向を示している。

り、Mg/Caの値が変わることを指摘している。

山中湖を除く四湖のMg/Caと HCO_3^- との関係をグラフに表わすと、図3のようになる。図2の Mg^{2+} 、 Ca^{2+} の関係が原点を通らない直線であるので、図3ではMg/Caの値が変化してしまう。横軸に HCO_3^- 濃度をとったので、岩石との接触時間と共にMg/Caが大きくなるのがわかる。しかし、岩石中のMg/Caが一定であるので、湖水中のMg/Ca値も一定値をとらなければおかしい。図2において Mg^{2+} が、ゼロの時、既に Ca^{2+} が3ppmを示している。岩石と水が接触し、溶解を始める以前に既に Ca^{2+} は3.0ppm程度の濃度を持っている事になる。3 ppmの Ca^{2+} が上のせきされていると考えて、Mg/Caのモル比を求めると、図2のグラフの傾きから0.70になる。津屋(1971)の分析値から富士玄武岩のMgとCaのモル比を計算すると、0.6~0.7となり、湖水の値と一致する。この事実の説明には玄武岩—水相互作用の実験を通して、今後の検討を要するところである。

一方、山中湖の異常に多い Mg^{2+} についての解釈は、火山灰との関係で理解できる。富士山は、過去において熔岩だけでなく、大量の火山灰を噴出した。火山灰は偏西風によって、東方に運ばれ降灰が堆積した。山中湖以外の富士四湖は富士の北方にあり、降灰はない。町田(1977)によれば、新期富士テフラだけで、山中湖付近で5~6m、古期テフラでは、東方に50km離れた厚木付近で15m以上の厚さを持っているという。このような条件下における山中湖は、精進湖や西湖など北方の四湖のような水と熔岩との作用だけでは理解しえない反応を起こしているものと考えられる。

富士五湖の成分と比較検討するために、富士山から東方に約100km離れた多摩丘陵の中に散在する溜池の水の分析値を表3に示し、図2に書き加えた。多摩丘陵は富士及び箱根の火山灰によってできており、丘陵の谷地から湧出してくる地下水を集めて農業用溜池にしてあるが、付近は徐々に宅地化が進行し、池の水は富栄養化していると思われる。池の水はみどり色に濁って藻が多い。火山灰の影響を受けたと思われる多摩丘陵の池の水は、図2の中で、山中湖と同じ位置になり、 Ca^{2+} に比べて高い Mg^{2+} の濃度を持つことを示している。このような、Mg/Ca≒1.0のモル比を持つ表面水が、火山灰地

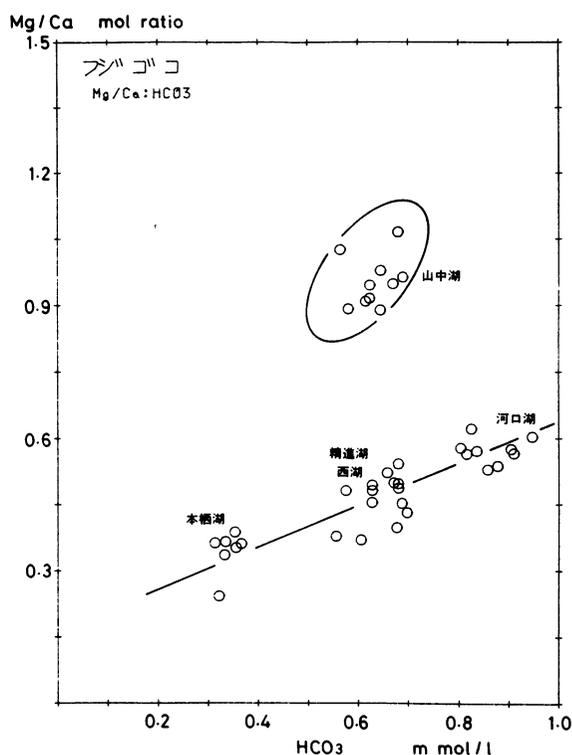


図3 富士五湖の HCO_3^- と $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ の関係

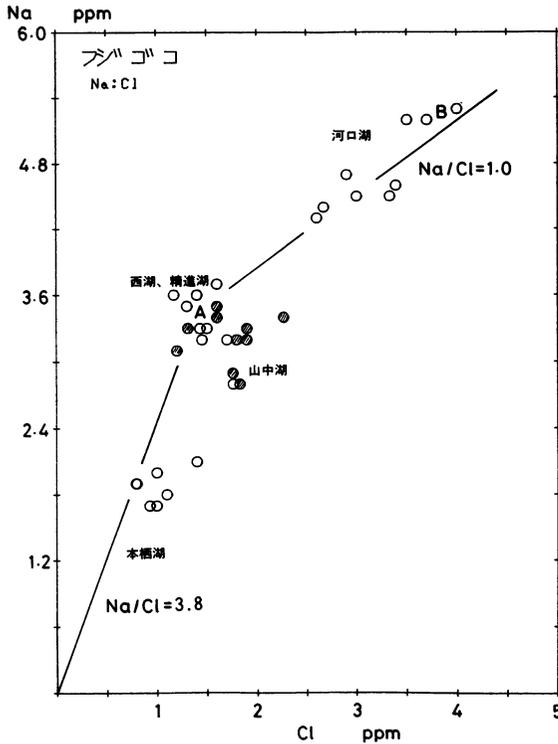


図4 富士五湖の Na^+ と Cl^- の関係

これは、風化生成物としての HCO_3^- を伴ってくるだろうし、また岩石中の Cl^- は Na^+ 以外の陽イオンと対になっている事も考えられる。

図4を見てみよう。濃度の低い部分の本栖湖であり、濃度の高い方は河口湖である。河口湖は季節変化があり、採水場所によっても変化がある。図4の河口湖のうちの左下方ほど西湖に近い採水場所である。右上ほど東部の観光地、旅館街に近いところで最も右上は、河口湖の水を富士吉田に落して発電する新倉用水の富士吉田側の出口の水である。この部分で Na^+ 、 Cl^- ともに最も濃度が濃い。河口湖のこの部分の傾きはモル比で $\text{Na}/\text{Cl}=1.0$ である。河口湖の水は本来、精進湖や西湖とかわらないものであろう。五湖のうち、西部の三湖は、地下多孔質岩石を通して東方へ水の移動が考えられ、特に精進湖、西湖は他の化学成分をみても大変近い関係にある。河口湖は水面が西湖より70m低いので、地下水が浸透してくるにあたって、成分濃度が増加するであろう。しかし、周囲の岩石と、富士の北方にあるという事は同じ条件であり、東電の発電所のトンネルを通して西湖の水を河口湖に落としていることを考えてもこれら北方四湖の水は関連が深いと思われる。このように考えると、図4の河口湖の Na^+ と Cl^- の濃度の傾きが、モル比で1.0で湖の東部ほど濃度が濃く他の三湖の Na^+/Cl^- 比と異なることは人間による汚染の影響と考えられる。一方、図上で原点を通り、本栖湖、精進湖、西湖と結びつけら

帯に共通のことであるかどうかは、今後の課題になるであろう。

HOLLAND (1979) はLIVINGSTONらのデータをもとに、世界各地の河川水の Mg/Ca の値の平均を求めて0.45としている。この Mg/Ca 値は個々の地域を構成する地質によって、大きなずれがあるであろう。日本の表流水には、山中湖や多摩丘陵中の溜池の水のように火山灰の影響が特に大きいものが多いと思われる。

(3) Na^+ と Cl^-

湖水や河川中の Na^+ と Cl^- は雨水や風送塩によるもの、岩石から溶出するもの、そして人間汚染によるものから成り立つ。雨水や風送塩による部分は海水の組成に比例するであろう。また人間の活動によるものは、 $\text{Na}/\text{Cl}=1.0$ で湖水に入ってくるであろう。一方、岩石を CO_2 で溶かした場合には、 $\text{Na}^+ \gg \text{Cl}^-$ と考えられる。そ

れる系列は、多少の汚染によるずれも見られるが、ほとんどは CO_2 による岩石鉱物の溶解の結果でくるものと、雨を含む降水物の合計であろう。その傾きは、モル比で $\text{Na}/\text{Cl}=3.8$ となる。比較的美しいこの西部の三湖の Na^+ 、 Cl^- に上のせされた形で、河口湖の Na^+ 、 Cl^- の濃度があるのだといえる。平野ら(1976)は、酒匂川水系の水質を調査し、その中で、 Na/Cl のモル比が1.0の傾きを持つ時は、汚染の可能性が高い事を指摘している。富士五湖は酒匂川と同じように、 Na^+ と Cl^- のグラフが、途中で折れていてまさしく汚染分だけ上のせされていることを示している。

河口湖は、交通の便がよく、観光客が富士五湖のうち最も多い。標高も低く家庭排水も集中している。その主成分の中で水中に保存されやすいのは食塩である。

図4のAがBまで汚染のため移動したものと仮定する。Aは西湖の濃度でBは新倉用水の河口湖の富士吉田側出口である。AとBとでは NaCl として4ppmの差がある。雨量を年平均1500mm(河口湖測候所)、流域面積126 km^2 (表1)、雨水のうち表流水として流出する量は10~25%である(田中ら, 1982)というので平均として17%をとり、1人1日食塩使用量を12gとして、何人分になるか求めると、30,000人弱となる。一方、河口湖流域の人口は昭和58年末現在で、20,633人(山梨県統計課)であり、1日あたり観光客は、平均14,000人余(山梨県観光課)であること及び耕作地等を考慮に入れると図4からの計算は妥当なものといえる。逆に、河口湖の NaCl の図4における傾きは、汚染の証拠といえる。

以上のように、 Na/Cl の比を考えてみると、その値が大きいかほど汚染を受けていないと考えられ、人間の影響を受けるにつれて、その値は小さくなる。一方、 HCO_3^- は、岩石と CO_2 との接触の結果できたイオン種である。 Cl^- の起源は上記のように岩石、降水物、汚染が考えられるが、汚染による増加の程度が最も激しい変化を与えるので、湖水が汚染を受けるにつれて、 $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ の比は急激に小さくなっていく。図5にその関係を示した。 Na/Cl と $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ との関係は一直線上に並び、しかも、汚染が最大を意味する $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ がゼロに近づくにつれて、 Na/Cl は1.0に近づいている。図5中の多摩丘陵と記してある分析値は表3に示した溜池の水であり、開発途上の街中にある池であるが、 NaCl について見

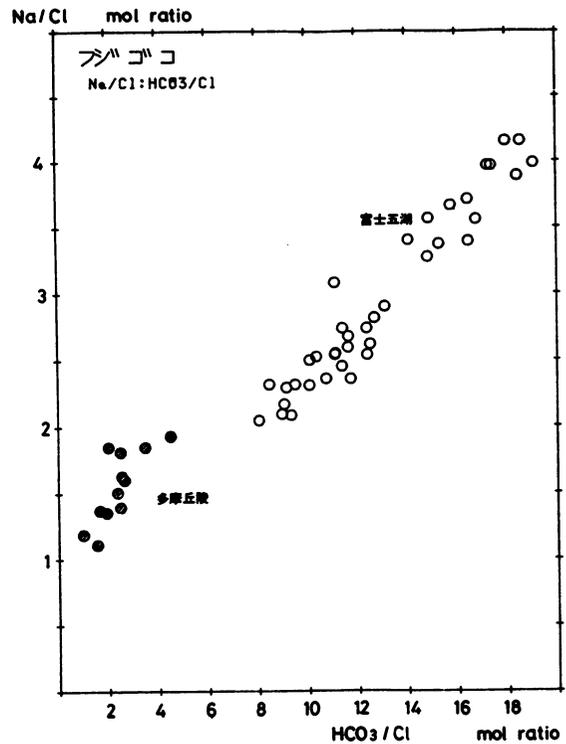


図5 富士五湖の $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ と Na^+/Cl^- の関係

ると、この水は、すでに充分汚染されていることを意味している。このように、富士五湖の水とは、地理的にも地質的にも全く関係がないと思われる多摩丘陵の溜池の水が、 $\text{Na/Cl-HCO}_3/\text{Cl}$ のグラフを通して結びついている。この事は、汚染の程度をあらわす指標として、図5のグラフ上の位置変化を用いることができることを示している。

ま と め

富士五湖の湖水の主要化学成分を分析した。その Ca^{2+} と Mg^{2+} の比は、北部の四湖と、東部の山中湖に大きな違いがある。山中湖は、火山灰の影響を受けて Mg^{2+} が Ca^{2+} に比べて多くなっている。また、 Na/Cl の比からみて図4上で Na/Cl 比1.0の勾配をもつ湖水は生活排水の汚染を受けている。特に観光客の多い河口湖は、天然の状態から大きく変化してきていることが明らかにされた。 Na/Cl と HCO_3/Cl のグラフを描くことによって汚染の程度を知る事ができる。

謝 辞

この研究を進めるにあたり神奈川県温泉地学研究所の粟屋 徹、石坂信之両主任研究員の協力を得、有益な助言を受けた。平賀士郎研究部長は終始激励して下さった。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 平野富雄，鈴木孝雄，大木靖衛，福原健一，柳内志保子（1976），酒匂川水系河川の水質について，神奈川温研報告，Vol. 7, No. 3, 115-134.
- HOLLAND H. D. (1979), 大気・河川・海洋の化学，山県登記，産業図書.
- 河口湖測候所（1983），河口湖の気候，日本気象協会甲府支部.
- 町田 洋（1977），火山灰は語る，蒼樹書房.
- 宮本 昇，大野勝次（1968），富士山麓の水理地質，日本地質学会第75年年会地質見学案内書，1-35.
- SUGAWARA, K., T. YOSHIWARA, K. YANAGI and M. AMBE (1980), A New chemical approach to the study of the waters of Mt. Fuji environs., Abstract of 21th Assembly of SIL (Kyoto), 1-7.
- 田中正二郎，笠井和平，堤 充紀，笹本 順，長田照子（1982），1982年富士五湖異常増水時の水質調査結果および水収支について，山梨県衛公研年報，第26号，22-28.
- 津屋弘達（1971），富士山の地形・地質，富士山（富士山総合学術調査報告書），1-149.
- 山本莊毅（1971），富士山とその周辺の陸水，富士山（富士山総合学術調査報告書），150-209.
- 山梨県総務部統計課（1984），山梨県の推計人口と世帯数.
- 山梨県商工部観光課（1984），昭和58年観光客数および消費額一覧.