

## 香草原泉において観察された成分変動と 草津白根山の火山活動との関係

<sup>1</sup> 上智大学理工学部化学科, <sup>2</sup> 玉川大学学術研究所

木川田 喜一<sup>1</sup>, 小金井 桂<sup>1</sup>, 大井 隆夫<sup>1</sup>, 小坂 丈予<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 〒 102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1, <sup>2</sup> 〒 194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1

(平成 12 年 4 月 4 日受付, 平成 12 年 4 月 28 日受理)

## Volcanic activity of Kusatsu-Shirane volcano and secular change in water quality of Kagusa hot spring water

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Sophia University,

<sup>2</sup>Research Institute, Tamagawa University

Yoshikazu KIKAWADA<sup>1</sup>, Kei KOGANEI<sup>1</sup>, Takao OI<sup>1</sup> and Joyo OSSAKA<sup>2</sup>

### Abstract

Kagusa hot spring is located near to the center of volcanic activity of Kusatsu-Shirane volcano, Gunma, Japan. A geochemical investigation on it has been conducted since 1969. The investigation reveals that the concentrations of most of positive and negative ions in Kagusa hot spring waters have increased with increasing volcanic activity of Kusatsu-Shirane volcano. In 1986 and 1987, when the activity was still kept high after the eruptions in 1982 and 1983 at the crater lake Yugama, the majority of ions showed the highest concentrations since the start of our investigation. It is also found that  $K^+$ ,  $\Sigma Fe$  and  $Al^{3+}$  showed higher rates of increase in concentration than the other cations only in the events of eruptions.

The quality of Yugama water changed drastically during the eruptions at Yugama in 1982 and 1983 and was not effected by other eruptions. Contrary to this, the quality of Kagusa hot spring water changed both during the 1976 eruption at Mizugama, another crater lake of Kusatsu-Shirane volcano, and during the 1982 - 1983 eruption at Yugama. The quality of Kagusa hot spring water is thus affected by the activity not only at Yugama but also around the top of Kusatsu-Shirane volcano. In addition, the secular change in water quality of Kagusa hot spring is different from that of Yugama in kind of dissolved species that are affected by the volcanic activity. These observations indicate that Kagusa hot spring water is independent of Yugama water concerning the mechanism of water quality changes accompanying the variation in volcanic activity.

キーワード：火山活動, 噴火, 温泉水, 地熱流体

Key words: volcanic activity, eruption, hot spring water, geothermal fluids

## 1. はじめに

群馬県北部、長野県との県境近くに位置する草津白根山(標高 2,165 m)は、活発に活動を続けている活火山である。同火山は現在、数年ないし三十数年ごとに水蒸気爆発を繰り返しており、またその周辺には多数の火山ガス噴気地帯が存在しているが、溶岩流を出すような噴火活動は少なくとも数千年前には終わったとされている(早川, 1983)。このことは、現在の草津白根山においては、火山活動の活発化の際においても地下のマグマが大きく上昇することはなく、マグマから発せられる揮発成分のみが上昇することを意味している。したがって、草津白根山は一般的な地球物理学的火山噴火予知に加えて地球化学的火山噴火予知が有効な火山であると言え(小坂 ほか, 1978)、これまでに噴気孔ガスの分析結果から噴火活動の前兆を捕らえることに成功している(Ossaka et al, 1980)。また、草津白根山の山頂火口湖である湯釜においては、噴火活動に連動した湖水の水質変化が確認されている(小坂 ほか, 1997)。この様に、この地域においては、様々な地球化学的観測結果が草津白根山の火山活動の理解に大きく役立つことが示されている。しかしながら、地球化学的観測結果の中でも、周辺温泉水の水質変化と草津白根山の活動との関係について見てみると、これまでに源泉の水温と火山活動との関係に触れた報告(津屋, 1933; 大橋, 1966)がなされてはいるものの、未だに明瞭な相関性を語るに至ってはいない。

そこで本稿では、草津白根山周辺に多数存在する火山性温泉のうち、標高が高く、山頂に近いことから、もっとも火山活動の影響を受けやすいと考えられる香草源泉群に着目し、その30年間にわたる地球化学的観測の結果から導かれた、香草源泉水の水質変化と火山活動との関係について報告する。

## 2. 草津白根山とその周辺温泉について

### 2.1 草津白根山と近年の活動史

草津白根山の山頂には南西から北東方向に、涸釜、湯釜、水釜と呼ばれる三つの山頂火口湖が列んでいる。最も大きな湯釜は強酸性の湖水を湛え、湖底からは火山ガスの供給が認められる。また、周辺には多数の火山ガス噴気孔が存在する。

草津白根山の近年の活動は1882年に始まった。これ以後、1897年から

1905年、1925年から1942年、1976年から1983年に活動期があり、ひとつの活動期と次の活動期との間には約30年の沈静期が存在する。最近の大きな活動としては1976年の水釜における水蒸気爆発と1982年、1983年の湯釜における水蒸気爆発が挙げられる(気象庁, 1991)。また、この後1986年から1991年にかけて地震の多発や湯釜湖面の変色が観察され、1996年には湯釜内でガスもしくは熱水の噴出が観測されていることから(東京工業大学草津白根火山観測所, 1996)、1983年以降も完全な沈静期ではなく、ある程度の活動レベルは維持しているとも考えられる。Fig.1に近年における草津白根火山の活動史を示す(小坂 ほか, 1997 に一部加筆)。

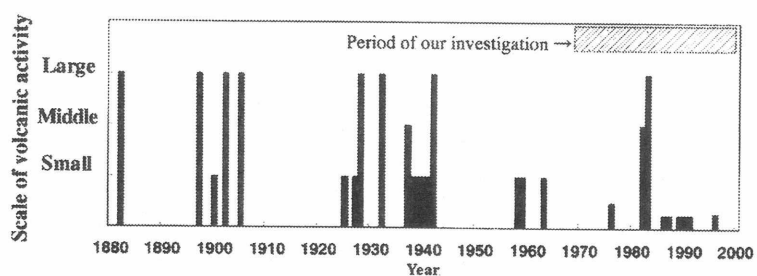


Fig. 1 History of the volcanic activity of Kusatsu-Shirane volcano since 1882. The height of each histogram represents, more or less subjectively, the scale of the volcanic activity of Kusatsu-Shirane volcano. Data are cited from Ossaka et al. (1997) and the Kusatsu-Shirane Volcano Observatory, Tokyo Institute of Technology (1996).

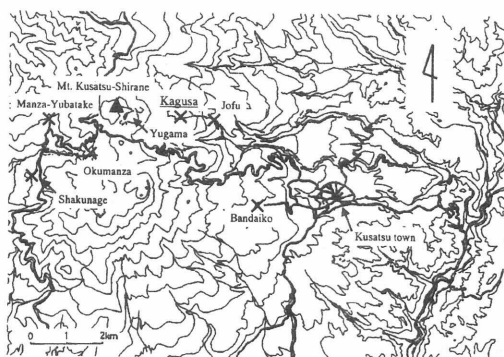


Fig. 2: A map of Kusatsu-Shirane volcano area. The locations of hot springs are marked with

## 2. 2 草津白根山周辺源泉の概要

草津白根山の周辺一帯には多数の火山性温泉が存在しており、東麓側には山頂に近いものから順に香草原泉群、常布温泉、万代鉦源泉ならびに草津町内源泉群が、また、西麓側には万座温泉源泉群、石楠花源泉群等が位置している(Fig.2)。これらの源泉は石楠花源泉群の一部のものを除いて基本的に酸性泉であるが、概して東麓側の源泉の方が西麓側に比較してpHが低く、酸性が強い。東麓側の香草原泉群と草津町内源泉群は濃度の違いはあるものの、その組成割合は相互に似通っている。一方、西麓側の源泉は、東麓側とはその水質が大きく異なり、また、同じ万座地域内にあっても源泉ごとにその水質に違

いが見られることから、複雑な熱水系のもとに湧出しているものと思われる。

## 2. 3 香草原泉

本研究において特に着目した香草原泉群は、湯釜の東方約2 km、標高約1700 mにおいて、谷沢川の左岸岩壁より湧出する強酸性温泉群の総称であり、現在における草津白根山の活動中心にもっとも近い源泉であることから火山活動の影響を大きく受けやすいことが考えられる。本源泉群は、谷沢川沿いの約100 mほどの区間に下流側から順に1号泉から10号泉までの10の源泉を有し、それぞれ少しずつ異なる泉温、水質を示す。それらの位置的関係ならびに成分濃度の違いにより、大まかに分けて下流側の1号泉から3号泉までと、上流側の4号泉から10号泉までの二つのグループに大別され、この二つのグループの間は約40~50 mほどの距離がある。何れの源泉も湧出量はさほど多くなく、泉温は50℃から60℃程度、pHは1.5前後を示し、鉄、アルミニウム、カルシウムイオン濃度が何れも200 mg · dm<sup>-3</sup>を越えるなど、溶存成分濃度がきわめて高いのが特徴である。

## 3. 現地調査と試料分析

上智大学理工学部化学科では、1965年頃より、草津白根山周辺地域の地球化学的現地調査を毎年行ってきた。現地調査は例年、夏期に実施され、水試料に関しては、採水時に水温、pH、酸化還元電位の測定を行い、実験室に持ち帰った試料を用いて溶存成分の分析を行っている。持ち帰った試料水は成分分析の後、後々の研究に供することができるように保存される。香草原泉試料水に関しては、1969年からの採水試料が保存されているが、諸般の事情により、全ての年において香草原泉の調査を行うことが出来ず、また、調査時に必ずしも1号泉から10号泉までの全源泉についての採水が行われているわけではないため、全調査期間にわたる全ての源泉の試料水は保存されていない。そこで本研究では、現地調査において最も多く採水されている香草原泉3号泉を研究対象として取り上げることとした。

上述したように、採水試料は毎年、現地調査終了後に速やかに化学分析に供され、その分析値が得られている。しかしながら、調査開始時からの約30年間に分析技術は著しく進歩しており、また、各年の異なる分析者による分析値にはある程度の個人誤差が見込まれることから、分析値に正確を期するため、保存試料について一斉分析を行った。分析は、ナトリウム、カリウムイオンについてはフレイム発光分析法、その他の陽イオン成分ならびにケイ素についてはICP発光分析法、また、陰イオン成分についてはイオンクロマトグラフ法により行われた。

4. 分析結果

Table 1に香草源泉3号泉の1969年から1999年までの溶存成分一斉分析結果を示す。付記してある水温ならびにpHは、採水時に現地にて測定した値である。また、Fig.3に水温およびpHの経年変化を、Figs .4a, 4bに各溶存成分の経年変化を図示した。

Table 1 Secular changes in concentrations of major components in Kagusa hot spring (No.3) water.

Sampling date*	Water temp. (°C)	pH	Cation (mg / dm <sup>3</sup> )							Anion (mg / dm <sup>3</sup> )			
			Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe	Al <sup>3+</sup>	Mn	Ti	Si	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
690803	58.9	1.60	136	61.3	318	156	204	307	9.2	0.012	117	1945	3542
700714	54.6	1.59	113	52.0	258	127	177	276	7.4	0.012	105	1884	2987
710725	56.5	1.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
730728	55.6	1.30	131	64.7	300	146	223	335	8.3	0.018	109	1956	3091
760727	55.0	1.41	136	84.2	299	143	395	481	8.0	0.028	104	2740	4161
780729	54.9	1.48	128	70.2	275	135	349	442	7.7	0.022	106	2201	3961
790801	56.0	1.49	132	73.3	282	138	358	450	8.0	0.023	113	2475	4085
800801	58.0	1.49	112	59.5	232	117	287	356	6.9	0.017	107	1923	3419
810801	55.0	1.51	126	64.5	268	133	302	387	7.0	0.016	101	2051	3577
830730	57.9	1.41	130	84.0	256	126	405	474	6.9	0.024	102	2306	4261
850801	55.2	1.48	128	94.5	250	118	511	526	6.4	0.050	97.1	2141	4823
860801	59.9	1.37	152	120	293	142	630	669	7.6	0.049	110	3653	5815
870803	59.8	1.16	151	117	294	145	604	681	7.7	0.047	113	3264	5961
880802	-	1.32	121	79.3	240	115	400	474	6.0	0.026	103	2213	3704
900804	62.4	1.11	136	85.1	281	141	406	500	7.1	0.027	114	2687	5161
940729	60.8	1.26	136	103	272	137	450	560	6.9	0.036	113	3055	4587
950803	56.9	1.37	100	65.6	232	111	258	318	5.9	0.016	103	2200	2721
960802	57.2	1.41	108	74.3	246	121	348	440	6.3	0.025	105	2290	3012
970804	57.1	1.37	116	76.6	229	116	318	407	6.0	0.023	106	2330	3449
990803	55.7	1.61	104	59.5	197	97	213	252	5.1	0.025	102	1590	2840

\* 690803 means August 3, 1969.

Fig.3における水温とpHの経年変化はだまかに互いに対応して変化しているように見え、水温の上昇とpHの低下、すなわち酸性度の増加が呼応しているように思われる。一般に水温の上昇、pHの低下からは火山活動の活発化が予期されることから、ここに見られる経年変化を草津白根山の活動に照らし合わせてみると、湯釜湖面の変色や地震の多発が観測されるなど、活動が活発だった1980年代中頃から1990年頃にかけてpHの低下と水温の上昇が観察され、草津白根山の活動との間にある程度の相関性を見出すことができる。また湯釜での水蒸気爆発のあった1983年にはpHの低下が観測され、このとき、水温も上昇しているようにも見える。

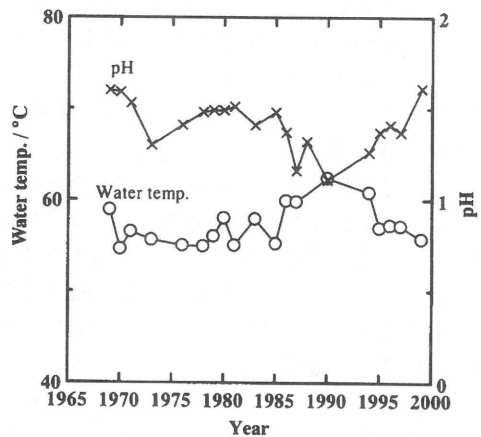


Fig.3 Secular changes in water temperature and pH in Kagusa hot spring water since 1969.

次にFigs. 4a, 4bにおける溶存成分濃度の経年変化を見てみると、陽イオン成分ではアルミニウムと鉄が他の成分に比較して高濃度でかつ大きな変動を示しており、また陰イオン成分の硫酸イオン、塩化物イオンも同様に高濃度で大きな変動を示していることが分かる。これら4成分の溶存成分濃度の経年変化傾向は類似しており、水釜で噴火のあった1976年前後、ならびに湯釜で噴火のあった1982, 1983年からその後の群発地震が多発した1980年代後半にかけて明らかな濃度上昇を示す。このことから、特定の成分の濃度変動と火山活動の間には相関性があると考えられる。

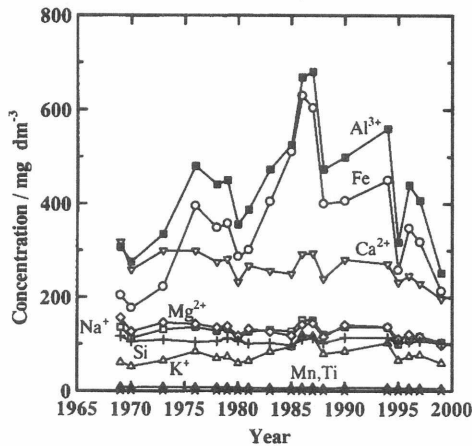


Fig. 4a Secular changes in concentrations of cationic species and silicon in Kagusa hot spring water since 1969.

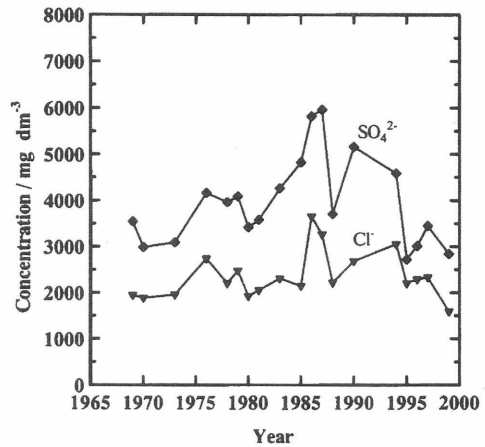


Fig. 4b Secular changes in concentrations of anionic species in Kagusa hot spring water since 1969.

## 5. 結果の検討と考察

### 5. 1 溶存成分濃度比の経年変化

Fig.5 に、香草原泉の溶存成分の中で最も濃度の変動が小さいケイ素に着目し、各溶存成分濃度 ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) をその年のケイ素の濃度 ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) で規格化することによって得られたケイ素基準濃度比の経年変化を示す。ただし、溶存濃度が極めて低いチタンはグラフに含めていない。ケイ素は酸性環境下では溶解度が小さいため、香草原泉のような強酸性の源泉では岩石・土壌からの溶脱も遅く、短期的な源泉水の微妙な酸性度の変化によってその溶脱量が大きく変動することは考えにくい。また、pHが1から2程度の溶液の場合、ほとんどがケイ酸イオン ( $\text{HSiO}_3^-$ ) としてではなくケイ酸 ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) として存在していると考えられることから、源泉水の水質変化により他の成分との平衡が動き、その溶存濃度が大きく変動することも考えにくい。したがって、このようなケイ素基準の濃度比を求めることにより、湧出量の変動(雨水などによる希釈効果など)による影響を取り除き、より実質的な成分変動を知ることができると考えられる。Fig.5を見ると、成分ごとに溶存濃度レベルが異なるが、その経年変化傾向に着目すると、ナトリウム、カルシウム、マグネシウム、マンガンの4成分は経年変化が小さいのに対し、カリウム、鉄、アルミニウム、硫酸イオン、塩化物イオンの5成分の経年変化は大きく、かつその変化傾向ならびに変化割合がほぼ一致し、変化曲線が概ね相似形を示すことが分かる。この5成分は、水釜および湯釜の水蒸気爆発、あるいは地震多発など、火山活動の活発化した時期に成分比の増大が認められ、これらの成分が互いに相関を保ちながら火山活動に対応して変動していることを示している。

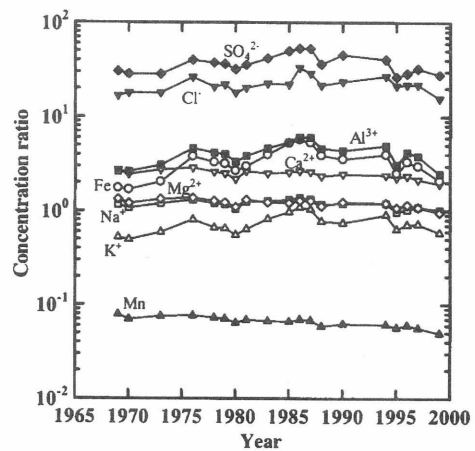


Fig.5 Secular changes in concentration ratios of the dissolved components to silicon ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3} / \text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) in Kagusa hot spring water since 1969.

5. 2 陽イオン成分濃度の変動と火山活動との関係

Fig.5において明らかにされた成分濃度比の経年変化をより詳細に検討するため、保存試料水の濃度分析値を、その前回採水の試料水の分析値で割ることにより得られる前回採水時からの濃度変化を求め、この変化の様子を Fig.6 に示した。これを見ると、調査期間内の所々でいくつかの成分が他の成分と異なった変動を見せていることが分かる。1976年ならびに1983年から1985年にかけて、カリウム、鉄、アルミニウムの3元素のみが明らかな濃度上昇を示し、また同様に、1996年には、カリウムはそれほどではないものの、鉄とアルミニウムの2元素の濃度上昇が顕著である。ここで1976年には水釜における水蒸気爆発、1982~1983年には湯釜における水蒸気爆発が生じており、また、1996年には湯釜内でガスもしくは熱水が噴出する微噴火と呼べるような活動を生じている(東京工業大学 草津白根火山観測所, 1996)ことから、これらの濃度変動現象は何れも草津白根山の噴火現象に呼応していると言える。

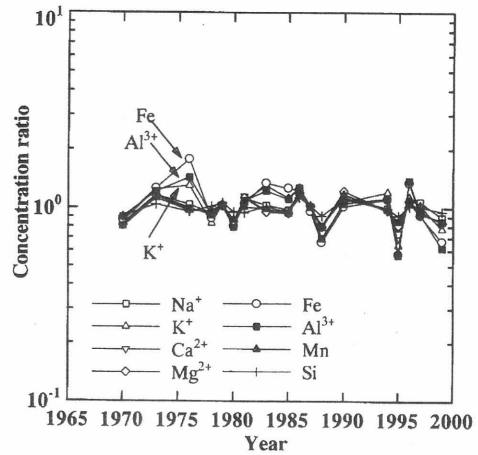


Fig.6 Secular changes in concentration ratios of dissolved components between two consecutive sampling years in Kagusa hot spring water since 1969.

一方、香草源泉の溶存成分濃度が我々の観測期間中で最も高くなった時期は、水蒸気爆発の生じた1982年~1983年ではなく、その数年後の1986年から1987年にかけてである(Figs. 4a,4b 参照)。Fig.6を見ると、この期間は全てのプロットが重なっており、全成分がほぼ同じ割合で変動したことを示している。このことは、香草源泉水の溶存成分濃度が全体的に上昇する中でカリウム、鉄、アルミニウムが特に大きな増加率を示したということではなく、噴火活動のあった時のみに、この3成分が他の成分と異なる濃度上昇を示したことを意味している。すなわち、火山活動の活発化に伴う溶存成分濃度の全体的上昇とは異なった、噴火というイベントに直接関係する別の成分変動が存在していることが示唆される。噴火に際してのカリウム、鉄、アルミニウムの変動機構については現在考究中であり、これについての議論はまた別の機会に譲りたい。

なお、香草源泉において1994年にもカリウム、鉄、アルミニウム濃度上昇が生じているように見ることが出来るが、1991年から1993年の3年間分の採水試料が無いことから、1994年のプロットは4年間の濃度変動結果をまとめて示しており、その変動を議論するには問題がある。しかしながら、1993年半ばより草津白根山周辺の噴気ガス中のSO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比が大きく上昇しており(東京工業大学 草津白根火山観測所, 1996)、また、1993年から1994年にかけて湯釜湖水中のいくつかの溶存成分濃度の若干の上昇も観察されていることから、この時期に火山活動がやや活発化していたとも考えられる。

5. 3 陰イオン成分濃度の変動と火山活動との関係

小坂ほか(1997)は、山頂火口湖の湯釜の塩化物イオンと硫酸イオンの濃度変化傾向の変遷が草津白根山の火山活動と相関していることを見いだした。そこで、これに倣い、香草源泉の溶存塩化物イオン、硫酸イオン濃度と火山活動との相関について検討を行った。Fig.7に縦軸に塩化物イオンのケイ素に対する濃度比、横軸に硫酸イオンのケイ素に対する濃度比をプロットした塩化物イオン-硫酸イオン二成分図を示す。Fig.7のプロットを年を追って見ていくと、まず1973年から1976年にかけて塩化物イオンと硫酸イオンの何れの成分も大きく増加の傾向を見せる。その後、1980年にかけて徐々に1969年当時の値に戻る傾向を示すものの、再び1980年から1986年にかけて両成分とも大きく増加の傾

向を示している。さらに、1988年から1990年、1995年から1996年にかけても両成分ともに増加しており、草津白根山の活動が活発な時期と両成分が増加する時期はほぼ一致している。このことは、火山活動の活発化に伴い香草源泉への塩化物イオンならびに硫酸イオンの供給量が增大することを示している。

塩化物イオンならびに硫酸イオンの供給源としては、マグマからの揮発成分としての塩化水素、二酸化硫黄が想定される。これらの揮発成分は火山活動の活発化とともにその供給量が増大し、香草源泉の湧出経路へ混入する量も増大すると考えられることから、火山活動の活発な時期には香草源泉の溶存塩化物イオンならびに硫酸イオン濃度が増大するものと思われる。また、このような陰イオン成分の供給量の増大は酸性成分の供給量が増すことを意味し、これが湧出経路における岩石等からの陽イオン成分の溶脱を促進し、陽イオン成分濃度の増大に繋がるものと考えられる。

#### 5. 4 香草源泉と湯釜湖水の溶存成分経年変化の比較

現在の草津白根火山の活動中心は、山頂火口湖の湯釜である。したがって湯釜湖水の溶存成分は草津白根山の火山活動の影響を強く受けている。小坂ほか(1997)は、1982年、1983年の湯釜の水蒸気爆発の際に、湖水の溶存成分濃度に大きな変動が観察され、特にカルシウム、マグネシウムの濃度上昇が顕著であったと報告している。また、東京工業大学草津白根火山観測所(1996)は、1996年の湯釜における火山性流体の噴出に前後して、1995年後半からカルシウムおよびマグネシウム濃度が上昇したことを報告している。湯釜と香草源泉は距離にして2 kmほどと位置的に近いことから、香草源泉水と湯釜湖水の成分変化に何らかの共通点があることも予想される。そこで小坂ほか(1997)に示された湯釜湖水の分析値を用い、香草源泉の場合と同様に各成分濃度をケイ素基準の濃度比の形で求めて、その経年変化(Fig.8)を香草源泉の経年変化(Fig.5)と比較した。

Fig.8を見ると、湯釜での水蒸気爆発があった1982年以降数年にわたり、溶存陽イオン濃度比の高い状態が続いていたことが分かるが、1976年の水釜の水蒸気爆発の際には成分濃度比の変動は見られない。先に述べた1996年の湯釜における小規模な活動に伴う湖水の成分変化を併せて考えると、湯釜湖水の溶存成分は湯釜における活動の影響を大きく受けてはいるものの、湯釜以外での活動からの影響はかなり小さいと考えられる。一方、香草源泉の場合、Fig.5に示されるように1976年の水釜における活動の際にも明らかな溶存成分濃度比の上昇が観察されており、草津白根山全体の火山活動の影響を受け

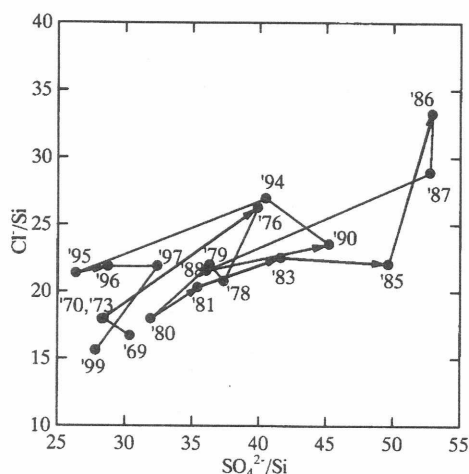


Fig.7  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{Cl}^-$  plots for Kagusa hot spring water sampled between 1969 and 1999.

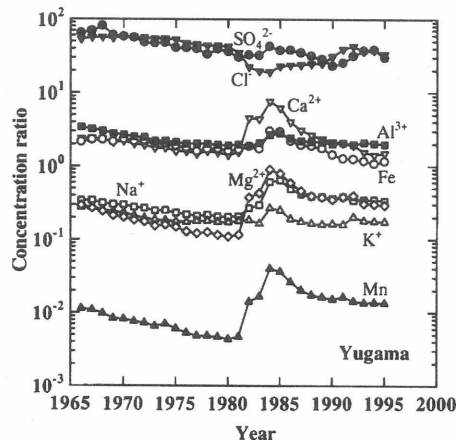


Fig.8 Secular changes in concentration ratios of the dissolved components to silicon ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3} / \text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) in Yugama water.

て、その成分組成が変動していると考えられる。また、香草源泉と湯釜湖水との間では、火山活動に対応して変動する成分種類も明らかに異なっており、香草源泉においては鉄、アルミニウム、カリウムが噴火に際して大きく変動する(Fig.5 参照)のに対して、湯釜においてはカルシウム、マグネシウム、ナトリウム、マンガンであり(Fig.8 参照)、両者でその火山活動対応変動成分種は全く異なっている。

さらに、陰イオン成分においても香草源泉と湯釜との間には大きな違いが認められる。湯釜湖水の場合、硫酸イオンと塩化物イオンが互いに異なった挙動を示し、硫酸イオン濃度が1982年の湯釜における水蒸気爆発に対応して増加する一方で、塩化物イオン濃度は噴火活動の影響をほとんど示さなかったのに対し、香草源泉においては、草津白根山全体の火山活動の活発化に対応して両成分ともに増加し、その経年変化は両成分ではほぼ一致するとともに、一部の陽イオン成分とも連動している。また、Ohba et al. (1994) は、湯釜湖水の1988年以降の塩化物イオン濃度と水素イオン活量(10<sup>-4</sup>)がきわめて良い相関を示すことから、湯釜湖水への塩化物イオンの供給は塩化水素の形でなされていることを指摘しているが、香草源泉水の場合、塩化物イオン濃度と水素イオン活量との間にはそのような明瞭な相関性は認められない。

以上のことから、香草源泉と湯釜とでは火山活動に伴う成分変動メカニズムが大きく異なっているのは明らかである。香草源泉、湯釜ともに、マグマから揮発・上昇した火山性流体がその源泉、湖水のリザーバーに供給され、それぞれの水質変化を引き起こす点では同じであると考えられるが、香草源泉水の水質変化が湯釜、水釜をはじめとする、草津白根火山全体の火山活動の活発化を反映するのに対し、湯釜の水質変化は湯釜における噴火活動以外の影響をほとんど受けていない点に着目すれば、香草源泉と湯釜との関係について、次の二つの可能性を考えることができる。ひとつの可能性は、香草源泉への火山性流体の供給経路は、湯釜への供給経路より深部のマグマにより近い位置から分岐しており、火山活動の変化のすべてを直接的に源泉水に伝えることができるというものであり、もう一つの可能性は、湯釜の下部に存在すると考えている泥漿だまりが、緩衝帯として上昇する火山性流体の影響を吸収し、火山活動の影響が直接に湯釜湖水に伝わることを妨げているというものである。

## 6. まとめ

草津白根山山頂に近い、強酸性源泉である香草源泉の30年間にわたる溶存成分の経年変化を求めることにより、以下のことが明らかになった。

- (1) 香草源泉の溶存成分は草津白根山の火山活動に対応して変動し、火山活動の活発化に伴って成分濃度が全体的に増加する。
- (2) 活動が噴火に達した場合、陽イオン成分においては、カリウム、鉄、アルミニウムの3成分のみが他の成分に比較して特徴的に増加する。
- (3) 火山活動の活発な時期には、香草源泉水中の塩化物イオンならびに硫酸イオンがともに増加傾向を示し、源泉のリザーバーあるいは湧出経路への酸性ガス成分の供給量が増すことが想像される。
- (4) 香草源泉において観察される成分変動は、湯釜湖水において観察される成分変動とは明らかに異なり、火山活動に伴う成分変動メカニズムが互いに異なるものと解釈される。



## 7. 謝辞

本研究は30年間の現地調査の積み重ねによって成されたものであります。長年にわたり草津白根火山地域の現地調査を行い、貴重な試料ならびにデータの蓄積を続けられてきました上智大学理工学部化学科の歴代の教職員ならびに卒業生・大学院学生各位に深い敬意を表します。また、特に、上智大学における地球化学分野の発展と現地調査の維持に30余年にわたり尽くされ、1999年12月、惜しくも亡くなられました、故小坂知子上智大学元講師に深い感謝とともに哀悼の意を表します。

## 文献

- 早川由紀夫(1983)：草津白根火山の地質，地質学雑誌，89(9)，511-525.
- 気象庁(1991)：草津白根火山，日本活火山総覧，160-169.
- Ohaba, T., Hirabayashi, J. and Nogami, K.(1994): Water, heat and chloride budgets of the crater lake, Yugama at Kusatsu-Shirane volcano, Japan., *Geochem. J.*, 28, 217-23.
- 大橋良一(1966)：草津白根火山と草津温泉，地学研究，17(益富寿之助博士紫綬褒章受章記念号)，57-64.
- 小坂丈予，平林順一，小沢竹二郎(1978)：地球化学的手法による噴火予知，火山 第2集，23(1)，33-40.
- 小坂丈予，小坂知子，平林順一，大井隆夫，大場 武，野上健治，木川田喜一，山野真由美，油井瑞明，福原英城(1997)：群馬県草津白根山火口湖“湯釜”の水質変化と火山活動，地球化学，31(2)，119-128.
- Ossaka, J., Ozawa, T., Nomura, T., Ossaka, T., Hirabayashi, J., Takaesu, A. and Hayashi, T.(1980): Variation of chemical compositions in volcanic gases and waters at Kusatsu-Shirane volcano and its activity in 1976., *Bull. Volcanol.*, 43, 207-216.
- 東京工業大学 草津白根火山観測所(1996)：草津白根山1996年2月の活動，噴火予知連絡会会報，65号，29-32.
- 津屋弘達(1933)：昭和七年十月草津白根山爆發に就いて，地震 第1輯，5(2)，71-98.