

## 温泉科学研究のひとつの進め方

小坂 丈 予<sup>1)</sup>

### Some Implications on the Hot Spring Research

Joyo OSSAKA<sup>1)</sup>

#### Abstract

A rock alteration process is made up of dissolution of water soluble components and remaining of insoluble components. However, each rock component is not leached out disorderly. Water soluble components in rocks make temporarily secondary minerals that are stabilized under the environment there. For example, we can find commonly alunogen and halotrichite as secondary minerals at around volcanic fumaroles. Change in chemical composition of rock in an acidic alteration process will be more easily explained by considering the formation of such secondary minerals.

On the other hand, acidic spring water from submarine volcano supplied to seawater makes suspended substances which show yellow, brown or reddish brown colors. Those suspended substances are amorphous minerals like allophane and hisingerite. The color of the suspended substances depends on their mineralogical and chemical compositions.

These observations suggest that a mineralogical approach must provide us the better understanding on the changes in chemical compositions in nature connected to geothermal fluids.

Key words : rock alteration, secondary mineral, submarine volcano, colored sea water

#### 要 旨

岩石の変質は、岩石からの可溶性成分の溶脱と不溶成分の残留との組み合わせである。しかしながら、岩石の構成成分は無秩序に溶脱するものではなく、一時的にその環境において安定となる二次鉱物を構成する場合がある。たとえば、火山荒地では、二次鉱物としてのアルノーゲンやハロトリカイトなどを見ることができる。酸性変質に伴う岩石組成の変化は、そのような二次鉱物の形成を考慮することで、より容易に説明すること可能であると思われる。

一方、海底火山から酸性湧水が供給されると、黄色、褐色、赤褐色などの懸濁物を含む変色海水が生じる。これら着色懸濁物は、主としてアロフェンやヒシンゲライトのようなほとんど非晶質の鉱物によるものと思われる。生成する懸濁物の色はその鉱物組成および化学組成に依

<sup>1)</sup> 東京工業大学名誉教授 〒152-0012 目黒区洗足 2-5-7. <sup>1)</sup> Professor Emeritus of Tokyo Institute of Technology, 2-5-7 Senzoku, Meguro, Tokyo 152-0012.

存し、その組成は海水と湧水との混合割合によって変化する pH に基づき変化する。

以上のように、鉱物学的な視点を取り入れることで、温泉水や火山ガスが関与する種々の現象における化学組成の変化が、より理解しやすくなるものと考えられる。

キーワード：岩石変質、二次鉱物、海底火山、変色海水

## ま え お き

この講演ではその実例として、次の 2 つの話を上申し上げようと思う。一つは“岩石の酸性変質とその鉱物化学的考察”でもう一つは“海底火山活動に伴う変色海水の生成機構”である。この 2 つの話は一見、異なったかけ離れた話のように思われるが、実は一連の話であることはこの講演の最後に申し上げるつもりである。

### 1. 岩石の酸性変質とその鉱物化学的考察

#### 1.1 火山荒廃地における岩石の酸性変質についての研究

火山温泉地域における岩石の変質現象や halotorichite および alunogen の生成については、南ら (1966) や小坂 (1968) の研究結果を示す。また、小坂 (1995) も参考にされたい。

火山や温泉の地帯には、高濃度の  $\text{H}_2\text{S}$  や  $\text{SO}_2$  を含む火山ガスを噴出したり、強酸性泉を湧出したりしている所がある。このような地域では草や木は全て枯死して生えてはおらず、既存の岩石は著しく変質を受けて黄褐色、白色、灰白色を呈している。このような地域を火山荒廃地と呼んでいる (写真 1)。写真 1~9 はカラーで示してある。

このような地域でしばらく雨が降らない晴天が続いたようなときに、雨のかからない窪地のような所などで、白色ないし淡黄色のやわらかい鉱物が生成しているのを見つける事ができるであろう。これがしばしば火山昇華鉱物と言われているハロトリカイト  $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$  やアルノーゲン  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16.5\text{H}_2\text{O}$  である (写真 2)。ハロトリカイトは、写真 3 に示すような細長い繊維状の束をなして産出しており、押すとしなって曲がるやわらかい鉱物で、水によく溶ける。アルノーゲンは、写真 4 のように、白色粉末で塊状をなしており、その各粒は扁平で鱗片状をなしている。これもまた水によく溶ける鉱物である。それらの本邦各地産のもの化学分析値を表 1 に示したが、この表の草津 1 や焼岳 3 のように左側に近いものはほとんど純粋に近いアルノーゲンであり、焼岳 2 や別府 B のように右側に近いものはハロトリカイトの純粋に近いものである。この両者の間のものは、この両鉱物の中間の成分を有するものである。

これらの化学成分を  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—FeO—SO}_3$  の 3 成分図に示すと図 1 の様になり、アルノーゲン (*alu*) とハロトリカイト (*hal*) の中間の組成のものは種々存在するが、ハロトリカイトより Fe 分の多いメランテライト (*mel*)  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  との中間の成分のものは、この系列では存在しない。その理由は後で説明する。図 2 はアルノーゲンとハロトリカイトの粉末 X 線回折像であるが、前述の各試料の X 線回折図は図 3 のようになり、表 1 に示す中間の成分のものは、いずれも端成分のアルノーゲンやハロトリカイトの単なる機械的混合物であり、中間の組成の固溶相は作らないことがわかった。

前記の火山荒廃地などで、岩石が強酸性下で変質するとき、たとえば岩石中の Al や Fe など酸に溶け易い成分が、無秩序、不規則に溶け出し、酸に溶け難い Si が残留するのではなく、その Al や Fe で水に可溶なハロトリカイトやアルノーゲンが形成され、それが溶脱して変質が進むものと考えられる。この過程を  $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—FeO}$  の 3 成分図について考察すると、図 4 のようになる。この





Photo 1 Landscape of a volcanic altered area.

写真 1 火山荒廢地

Photo 2 Halotrichite and alunogen in a volcanic altered area.

写真 2 ハロトリカイト, アルノーゲンの産状

Photo 3 Halotrichite.

写真 3 ハロトリカイト

Photo 4 Alunogen.

写真 4 アルノーゲン

Photo 5 The outside of the reactor for the alteration experiment.

写真 5 人工変質実験地

Photo 6 The inside of the reactor for the alteration experiment.

写真 6 反応槽の内部

Photo 7 Colored seawater observed with the submarine volcanism in Japan.

写真 7 日本近海における海底火山活動に伴う変色海水

Photo 8 Acidic hot spring at the seashore of Satsuma Iwo Jima, Japan.

写真 8 薩摩硫黄島海岸に湧出する酸性泉

Photo 9 Colored seawater found at the coast of Satsuma Iwo Jima, Japan.

写真 9 薩摩硫黄島海岸に見られる変色海水

図で例えば安山岩を原岩とすると、その成分は図中の R の位置になる。それが  $H_2SO_4$  を含む強酸性の変質作用を受けたとき、まず原岩中の Fe と Al でハロトリカイトが形成される。それが水に溶けて溶脱されると原岩 R の成分はハロトリカイトと反対の方向に移動する。しかし原岩の成分は図 4

Table 1 Chemical compositions of halotrichite\* and alunogen\*\* collected from several volcanic and hot spring areas in Japan.

表 1 本邦主要産地の halotrichite\*, alunogen\*\* の化学成分

	Kusatsu 1	Yakedake 3	Hakone B	Tamagawa A	Yakedake 1
Water-insoluble residues	0.26	0.15	0.24	0.46	1.12
H <sub>2</sub> O	46.64	45.70	44.80	55.24	46.40
SO <sub>3</sub>	36.04	36.80	36.57	29.84	34.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.84	16.31	13.69	10.30	11.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.33	1.42	0.21	1.89	1.67
FeO	0.35	0.03	2.79	2.49	2.89
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82
CaO	0.00	0.29	0.00	0.11	0.29
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.22	0.66	0.04	0.37
K <sub>2</sub> O	0.09	0.00	0.03	0.03	0.16
	98.79	100.92	98.99	100.40	100.21
[Fe]/[Al]***	0.06/2	0.11/2	0.31/2	0.58/2	0.54/2

	Yakedake 4	Nasu 1	Beppu B	Yakedake 2
Water-insoluble residues	0.82	0.95	1.30	0.53
H <sub>2</sub> O	43.70	44.48	46.28	44.78
SO <sub>3</sub>	36.14	35.88	33.03	34.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.74	12.14	11.23	9.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.76	0.37	1.75	1.56
FeO	4.02	5.31	5.75	8.44
MgO	0.14	0.00	0.34	1.12
CaO	0.16	0.00	0.14	0.31
Na <sub>2</sub> O	0.18	0.13	0.08	0.53
K <sub>2</sub> O	0.12	0.05	0.03	0.01
	100.78	99.31	99.93	100.72
[Fe]/[Al]***	0.73/2	0.66/2	0.93/2	1.55/2

\* halotrichite : FeAl<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> · 22H<sub>2</sub>O\*\* alunogen : Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · 16.5H<sub>2</sub>O

\*\*\* "[Fe]/[Al]" means the molecular ratio of iron to aluminium.

でも分かる様に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > FeO であるため、ハロトリカイトの形成に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と FeO が 1 : 1 の割合で費やされ、それが進行すれば先に FeO が消費され尽くしてなくなり、原岩の成分は SiO<sub>2</sub>—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 線上に到達する。さらに変化が進めば、残った Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> でアルノーゲンを形成し、それが溶脱するので、原岩の成分は向きを変えて SiO<sub>2</sub>—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 線上を Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と反対の方向、つまり SiO<sub>2</sub> に向けて移動し、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> も消費され尽くした時には SiO<sub>2</sub> の頂点に達して、蛋白石 SiO<sub>2</sub> · nH<sub>2</sub>O のみが残留することになる。しかし実際には FeO がなくなってからアルノーゲンが生成するのではなく、最初の段階でハロトリカイトが生成して FeO が不足しはじめると、直ちにアルノーゲンの形成が始まり、ハロトリカイトと共生し、そのアルノーゲンが次第に増加し、この両者の混合割合が逆転しはじめるようになる。その時にはこの混合物の成分は図 4 (C) のようにハロトリカイトからアルノーゲンに向かって

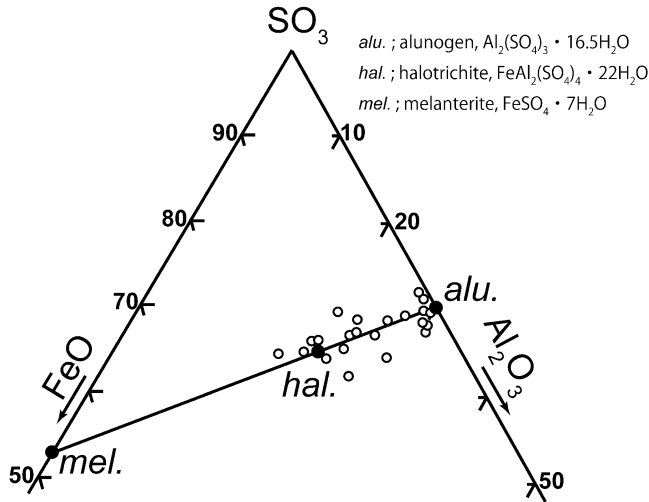


Fig. 1 FeO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SO<sub>3</sub> ternary plots for halotrichite and alunogen collected from several volcanic and hot spring areas in Japan.

図 1 ハロトリカイト、アルノーゲンの化学組成の三成分図

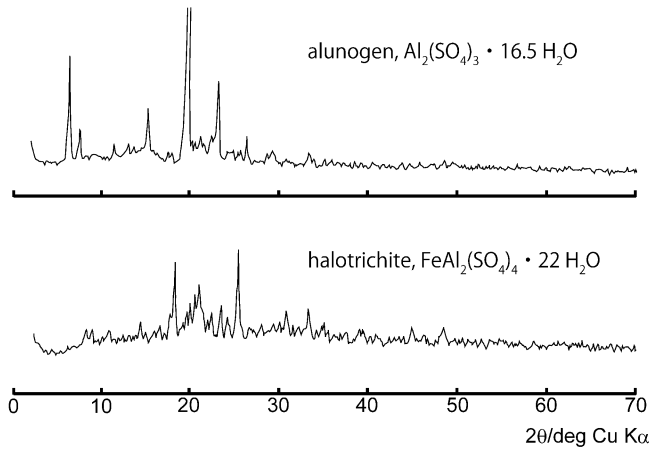


Fig. 2 XRD patterns of halotrichite and alunogen.

図 2 ハロトリカイト、アルノーゲンの粉末 X 線回折像

移動する。この混合物の溶脱により原岩の組成変化の方向も混合相の成分変化に沿ってその反対方向に向きを変えていくので、図のようにゆるい曲線となって、SiO<sub>2</sub>点に到達することになる。このように岩石の酸性変質の場合でも、その間に介在する二次鉱物の生成や成分変化を加味して考慮した方が、より理解し易いのではないかと考えられる。

天然の鉱物としてハロトリカイトやアルノーゲンが存在することは、たとえそれが水溶性で短命であっても、ある時期には化合物としてより安定であり、親和力も強いいため、このような酸性変質の過程においても、鉱物の生成が優先するのではないかと考えられる。

なおこの例では溶脱成分として Fe と Al を、また可溶性鉱物としてはハロトリカイトとアル

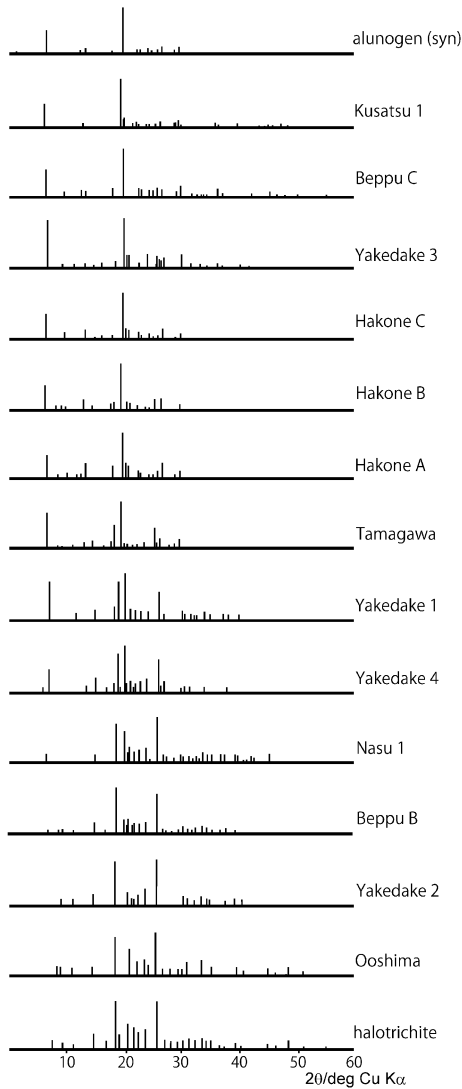


Fig. 3 Schematic XRD patterns of halotrichite and alunogen collected from several volcanic and hot spring areas in Japan.

図 3 本邦各地産のハロトリカイト、アルノーゲンと混合物の X 線回折図

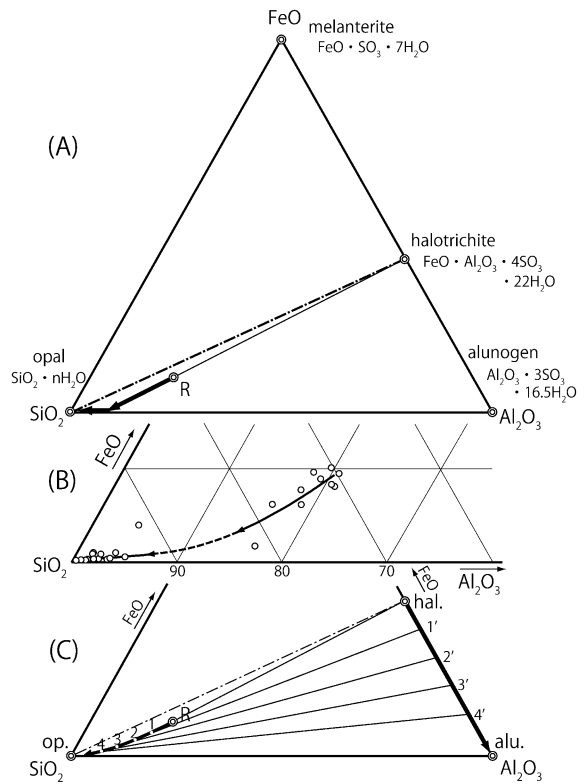


Fig. 4  $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—Fe}_2\text{O}_3$  ternary plots for rocks altered under strongly acidic environment.

The interpretation of this figure is described in the section 1.1.

図 4 強酸性下の岩石変質における  $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—Fe}_2\text{O}_3$  成分図。

(A), (B), (C) の各図の解釈は本文を参照。

ノーゲンを取り上げたが、その他の溶脱成分についても、例えば Ca ならば  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  の石膏、Mg ならば  $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$  のピケリンジャイト、Na ならば  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  のテナルダイトなど、いずれも水または酸に可溶な鉱物に置き換えて考察することができると思う。

### 1.2 岩石の酸性変質の再現実験

以上は本邦 2, 3 の火山荒廃地で得られた、天然産の変質岩について行われた観察、実験の結果であって、その変質現象はそれ以前の過去に行われたものであるため、その変質条件や期間などは必

ずしも正確に把握出来ているとは限らないものであった。そこで次にはそれらを明らかにするため、小坂 (1981) は箱根大涌谷において新たに人工再現実験を企画した。この地区では温泉造成のための多くのボーリング孔が掘られており、箱根温泉供給株式会社のご厚意によりそのうちの一つを借り受け、写真 5 のようにプラスチック製の反応槽をボーリング孔の噴気ガスを噴出している孔口の上にスッポリとかぶせた。その内部は写真 6 のようになっており、中央のガス導入口から入った噴気ガスは槽内に充満し、その蓋にあげた穴から放出される。反応槽の底には各種の岩石試料の小片を磁製の小皿に入れて並べておき、ガスと反応させるようにした。一定期間ごとにこの小皿を取り出し、中の試料の一部を取り、皿はもとの位置にもどして反応を継続させる様にした。

反応槽に導入された噴気ガスの温度と成分を表 2 に、また試料の原岩ならびに実験 8 日、38 日、71 日目に取り出した変質物の化学分析値を表 3 に、原岩および変質物の X 線粉末回折像を図 5 に示した。表 3 では変質による  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  の著しい減少により、残存する  $\text{SiO}_2$  の値が相対的に増加する様に見え、変質過程における成分変化を、相互に比較する事が困難になるため、最も溶脱しにくい  $\text{SiO}_2$  を一応変化のないものとして、一定とおき、それぞれの変化の段階での各成分の  $\text{SiO}_2$  との割合を求めて、その値を図 6 に示した。それによると、 $\text{SiO}_2$  とこれまた

Table 2 Chemical composition of fumarolic gas at Owakudani, Hakone, Japan.

表 2 箱根大涌谷噴気孔のガス成分の一例

Sampling date	Temp. °C	$\text{H}_2\text{O}$ Vol.%	Composition exclusive of $\text{H}_2\text{O}$ (Vol.%)				
			HCl	$\text{SO}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{CO}_2$	R*
December 23, 1965	100.4	98.9	3.4	9.2	7.2	79.0	1.2

\*“R” means the gas consisting of the components that can not be trapped by basic solution ( $5 \text{ mol dm}^{-3}$  KOH).

Table 3 Changes in the chemical composition of the andesitic rock (Kamiyama lava, Hakone volcano) subjected to the alteration experiment with the fumarolic gas at Owakudani, Hakone, Japan.

表 3 大涌谷の噴気孔にさらした複輝石安山岩 (箱根神山熔岩) の成分変化

	0 day	8 days	38 days	71 days
$\text{SiO}_2$	56.33	59.72	69.32	77.67
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18.48	15.92	8.94	3.97
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.61	0.28	0.67	0.11
FeO	4.16	6.49	3.91	2.96
MgO	4.74	4.72	4.20	3.09
CaO	8.29	6.59	3.02	1.44
$\text{Na}_2\text{O}$	2.88	2.94	1.73	0.33
$\text{K}_2\text{O}$	0.74	0.61	0.65	0.15
$\text{H}_2\text{O}+$	0.13	1.64	2.63	3.67
$\text{H}_2\text{O}-$	0.02	0.84	3.75	5.81
$\text{TiO}_2$	0.85	0.79	0.90	0.94
MnO	0.15	—	0.11	0.08
Total	100.38	100.54	99.83	100.22

(wt.%)



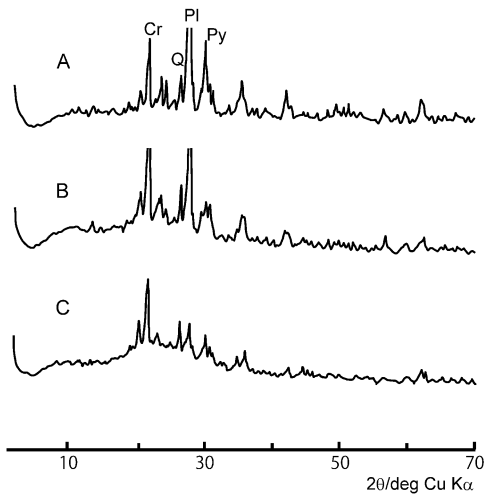


Fig. 5 Changes in XRD pattern of rocks subjected to the alteration experiment with the fumarolic gas at Owakudani, Hakone, Japan. A, original rock ; B, 38 days ; C, 71 days. Cr, cristobalite ; Q, quartz ; Pl, plagioclase ; Py, pyroxene.

図 5 箱根大涌谷の岩石変質実験における X 線回折像。  
A: 実験前, B: 38 日目, C: 71 日目. Cr: クリソバライト, Q: 石英, Pl: 斜長石, Py: 輝石.

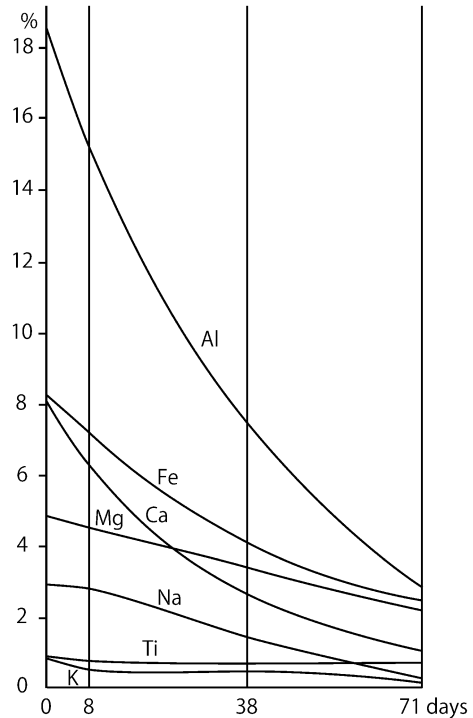


Fig. 6 Changes in the chemical composition of rocks subjected to the alteration experiment with the fumarolic gas at Owakudani, Hakone, Japan, regarding the content of SiO<sub>2</sub> had been constant through the experimental period.

図 6 大涌谷噴気ガスにさらした岩石の成分変化 (SiO<sub>2</sub>を一定として).

酸には溶け難い TiO<sub>2</sub>を除いた他の諸成分は、この実験の期間中でも、その溶脱により著しく減少する事が明らかになった。また図5により、原岩中の斜長石 Pl などが比較的早い段階で消滅し、酸に強い石英 Q やクリソバライト Cr が後まで残存する事が判明した。

なおこの一連の実験の前後に、この地域の地下の地熱活動がやや活発化したためか、ボーリング孔の温度が約 110°C 以上に上昇し、ガス成分も SO<sub>2</sub>が増加し、HF も若干加わったりしたため、岩石の変質も著しく進むのではないかと期待されたが、案に相違してこの間変質はほとんど進行しなかった。これは、後から考えると、噴出する火山ガス中には 90 数% 以上の水蒸気を含んでおり、それが高温のため反応槽中では一向に凝縮・液化しなかったためと考えられ、岩石の変質には、この液体の水が、変質の際の溶脱にいかに重要な役割を演じているかを痛感させられたものである。

## 2. 海底火山活動に伴う変色海水の生成機構

### 2.1 海底火山活動と変色海水

写真 7 は日本近海の近年の海底火山活動の上空からの写真であるが、海底火山の活動時には、ほとんどと言ってよいほど、この様に海水が変色するのが認められる。以前はこの変色水の色が黄色

ないし黄褐色のものが多く認められたため、硫黄が噴出したものであろうと誤認されていた時もあった。しかし近年多くの変色海水が観測され、その中には褐色、茶褐色、赤褐色のものもある事が明らかになり、そのためこれら変色水は Fe を含む水酸化物ではないかと考えられる様になった。近年演者は海上保安庁などの協力を得て、我が国近海の海底火山で、各地、各時期に発生した変色海水を多数採取して、化学分析を行った結果、その成分は図 7 に示すように、いずれも Si, Al, Fe の各種割合の水酸化物であり(たとえば、小坂ら, 1986), それが細粒のため海水に懸濁して、発色して見える事が判明した。

2.2 変色海水の生成機構

これらの変色海水の水酸化物は図 8 に示すように、海底火山の活動に際して、海中の火口から強酸性の火山性湧水(温泉)が海水中に放出され、それに溶存している Si, Al, Fe 等の各成分がアルカリ性の海水と接触して反応し、水酸化物の沈殿を生じ、これが懸濁して発色するのではないかと想定した。しかしこの場合酸性泉の湧出孔はいずれも海中にあるため、酸性泉水そのものを海水の混入を避けて採取する事はほとんど不可能に近く、また時には海中噴火の危険も伴うため、この想定は全て推定の域を脱する事は出来なかった。

ところが鹿児島県薩摩硫黄島の海岸の崖の上から写真 8 のように強酸性の温泉が湧出しており、それが海に流れ込んで沈殿が発生し、海水に濁りが生じているのが認められた。また同島の海岸から沖にかけて写真 9 のような各種の変色海水が滞留していた。強酸性温泉水の温度や成分は表 4 に示すようなものであった。これはまさしく海底火山では海中で行われている反応現象が、陸上で再現しているものと考えられ、早速次の実験を試みた(小坂ら, 1977)。

すなわちこの温泉水と海水を各種の容量割合で混合し、生じた沈殿を濾別してその成分を分析す

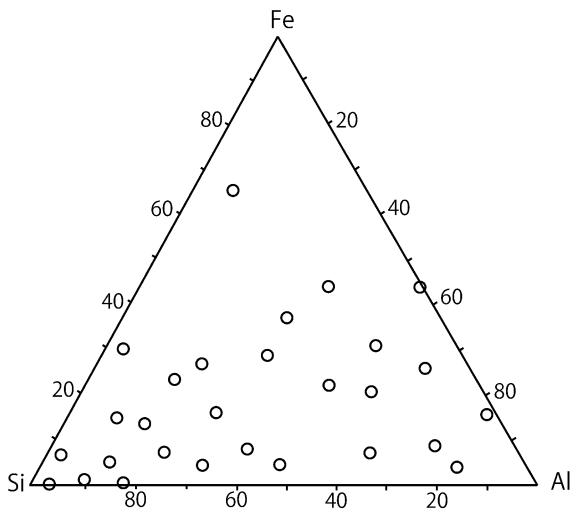


Fig. 7 Si-Al-Fe ternary plots for the suspended substances collected from colored seawater around submarine volcano in Japan.

図 7 本邦近海における海底火山の変色海水の Si—Al—Fe 成分図

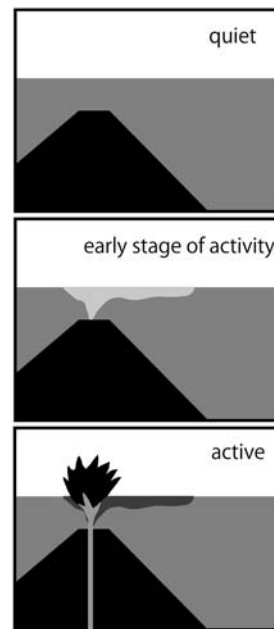


Fig. 8 Conceptual scheme for the formation of colored seawater at submarine volcanoes.

図 8 海底火山活動による変色海水の生成予想図

るとともに、残液の濃度も分析して次のような結果を得た。図9は混合実験の結果である。横軸に温泉水の1に対する海水の混合量を、縦軸にその時の混合液のpH値とAl, Feの濃度を示した。それによるとpHは海水の混入量が増加するに従って上昇し、海水のそれに近い値に達する。また液中のAl, Feの濃度は海水混入量の増大と共に、希釈により点線のように減少するが、沈殿の生成により、それよりさらに低い実線のような濃度変化をたどる事が明らかになった。また

Table 4 Chemical composition (mg/L) of the strongly acidic hot spring water at Satsuma-Iwo Jima.

表4 薩摩硫黄島の強酸性泉の化学成分 (mg/L)

Eastern hot spring	
Sampling date	August 2, 1975
Water Temp. (°C)	56.0
pH	1.6
Na <sup>+</sup>	324
K <sup>+</sup>	57.6
Mg <sup>2+</sup>	65.7
Ca <sup>2+</sup>	143
Mn <sup>2+</sup>	4.4
Fe <sup>2+</sup>	85.9
Fe <sup>3+</sup>	62.3
ΣFe	148.2
Al <sup>3+</sup>	545
Cl <sup>-</sup>	906
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4980
ΣCO <sub>2</sub>	52.0
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	300

図10では、海水の混入により変化したpH値を横軸にとり、その時の母液中のAl, Feの沈殿率を縦軸にとってその経過を示した。それによるとpH 2~3でSiが沈殿し、pH 3でFe<sup>3+</sup>が沈殿を始め、これに伴ってAlが一部共沈する。さらにpH 4.3位でAlが大量に沈殿し、今度はそれに影響をうけてFe<sup>3+</sup>の一部が共沈し、Alがほとんど沈殿した後に、pH 6.5位からFe<sup>2+</sup>が沈殿すると言う様に、それぞれの成分が、その固有の沈殿率よりも、双方が影響し合って、かなり異なった沈殿曲線を示す事が明らかになった。これはそれらの各成分が沈殿するにあたって、ほとんど非晶質に近い低結晶質の鉱物であるアロフェン SiO<sub>2</sub> · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · nH<sub>2</sub>O やヒシゲライト SiO<sub>2</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · nH<sub>2</sub>O の生成が関与して共沈現象を起こすものと推定される。

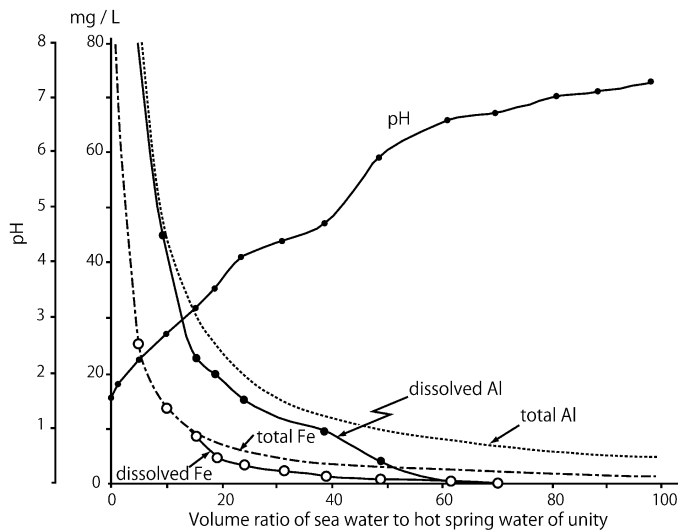


Fig. 9 Changes in chemical composition of mixtures of seawater and strongly acidic hot spring water in Satsuma-Iwo Jima.

図9 薩摩硫黄島の強酸性泉と海水の混合による成分変化

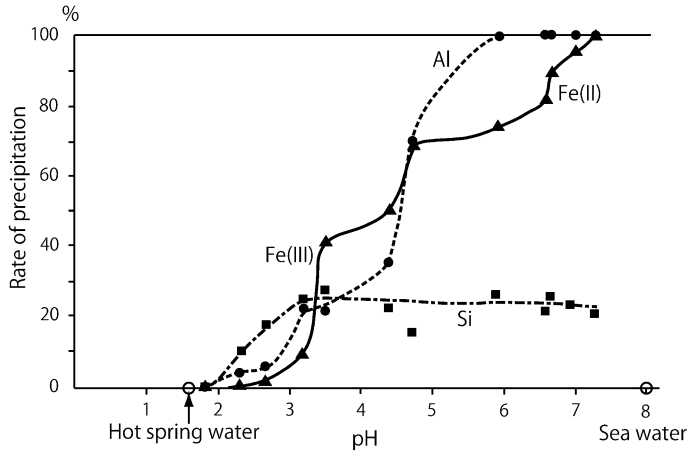


Fig. 10 Changes in pH and the degree of precipitation in the mixture experiment with seawater and hot spring water.

図 10 混合実験における pH の変化と各成分の沈殿状況

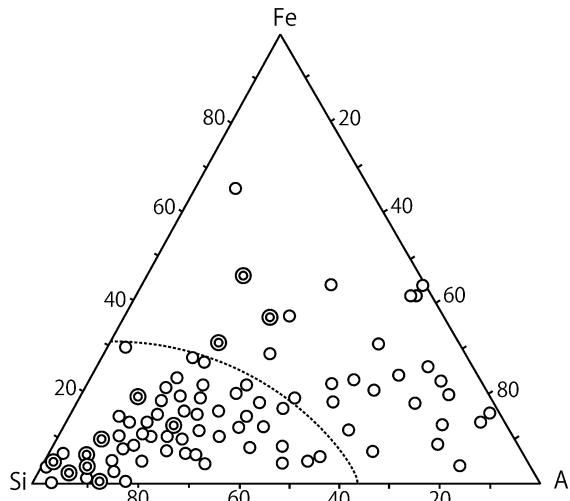


Fig. 11 Si-Al-Fe ternary plots for the suspended substances collected from colored seawater around submarine volcano in Japan.

The double circles show the samples collected from Fukutoku-Okanoba.

図 11 海底火山活動と変色海水の化学成分.

⊙は福徳岡の場海底火山.

### 2.3 変色海水の成分変化と海底火山の活動度

さらに変色海水の成分変化と、その時の海底火山の活動度を対比して検討したところ、図 11 の Si-Al-Fe の 3 成分図で、点線に示したよりも Si 側にあるものでは、その活動度が弱く、比較的穏やかな噴火をしているものであり、それより Fe, Al に富む成分の場合には、海中噴火が強く激しいものである事が経験的に明らかになって来た (小坂, 1991). 小坂 (1986) によれば、例えば同じ福徳岡の場海底火山の場合でも、図 11 中の ⊙印のように平常はその成分が点線内にあり、その時に

は火山活動も弱く穏やかであるが、時期によってはその成分が変化して、点線より外に出る事があると、その時には火山活動は激化して、海中から火山弾を放出したり、火山島を形成したりした事もあった。

また変色海水の沈殿物中の Fe の増加によって、変色海水の色が、白色から黄色、黄褐色、茶褐色、赤褐色と微妙に変化するので、たとえ海底噴火の危険性などにより、変色水の採取や分析が行えない場合でも、遠方からか或いは上空から変色水の色調が視認出来れば、海底での火山活動の状況がある程度推定できるようになって来た (小坂ら, 2000)。

これらの研究や観測結果の集積により、我が国の海上保安庁では、日本近海の海底火山の活動状況の認定をする試みを行っている。

### ま と め

この講演での 1 の話は、岩石 (固相) から変質現象によりその含有成分が温泉水 (液相) に移動する場合、2 の話は、逆に強酸性泉 (液相) 中の溶存成分が海水との接触により沈殿 (固相) に移行する場合である (図 12)。これまで示してきたように、いずれの場合においても、そこに介在する鉱物の生成や消滅の果たす役割を考慮に入れると、その化学成分変化が理解しやすい場合もあるのでないかと考えられ、温泉科学の研究法の一つとして、このような考え方を提案したいと思う次第である。これは温泉の地球化学的研究と言うより、鉱物化学的研究と言った方がよいのかも知れない。

この講演の機会をお与え下さった、日本温泉科学会の関係各位に深く感謝申し上げる次第である。

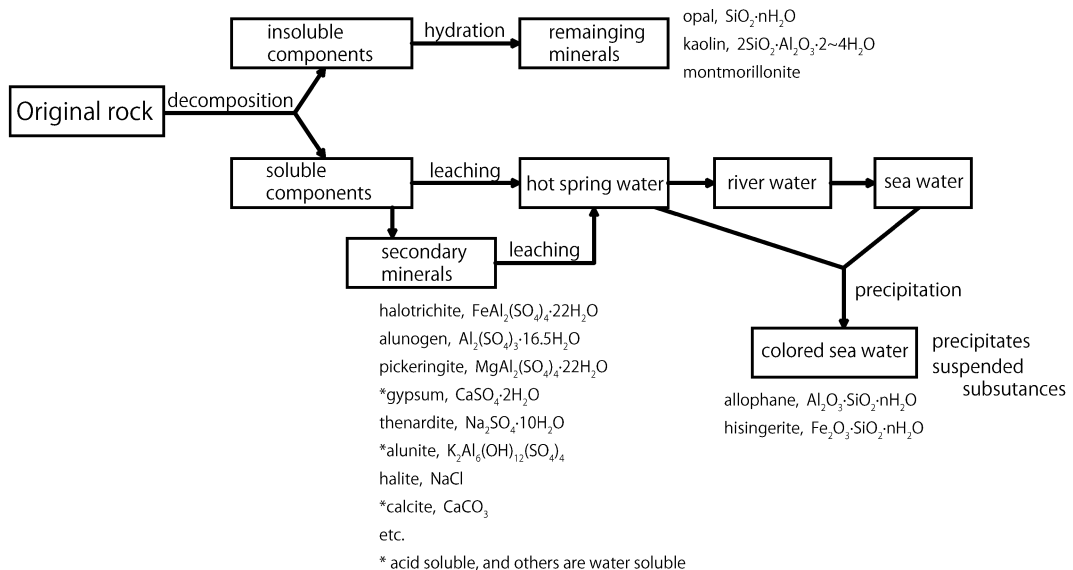


Fig. 12 Schematic flowchart of transport of rock components to hot spring waters by rock alteration and formation of colored seawater.

図 12 岩石の変質による温泉水への成分供給と変色海水の沈殿物への成分移動の概念図

## 参考文献

- 南 英一, 小坂知子, 小坂丈予 (1966): 本邦 2, 3 の火山, 温泉地域における Halotorichite, Alunogen 鉱物の生成と母岩の変朽現象について, 温泉科学, **17**, 28-35.
- 小坂丈予 (1968): 火山温泉地域における岩石の変質現象について, 地熱, **17**, 65-79.
- 小坂丈予 (1981): 火山温泉作用による岩石の変質と建造物の被害対策, 近藤連一先生追悼記念誌, 165-183, 故近藤連一先生記念事業会, 竹田印刷, 東京.
- 小坂丈予 (1986): 伊豆小笠原諸島近海に於ける海底火山活動とその温泉化学的研究, 温泉科学, **46**, 75-84.
- 小坂丈予 (1991): 日本近海における海底火山の噴火, 264, 東海大学出版, 東京.
- 小坂丈予 (1995): 岩石の変質と温泉の化学成分, 温泉科学, **45**, 159-166.
- 小坂丈予, 足立紀佳, 土出昌一, 野上健治 (2000): 1986 年伊豆大島噴火に伴う変色海水の化学成分, 火山, **45**, 271-280.
- 小坂丈予, 大平洋子, 平林順一, 森 彰 (1977): 海中で生成したシリカーアルミナ含水低結晶物質と沈殿アロフェンとの比較, 鉱物学雑誌, **13**, 特別号, 178-186.