

昭和 47 年 10 月

原 著

さつ ま 硫 黄 島 の 温 泉

— 火 山 と 温 泉 —

鹿児島大学理学部化学教室 鎌 田 政 明

(昭和 47 年 8 月 26 日受理)

Hot Springs in Satsuma-Iwo-Jima, Kagoshima Pref., Japan

— Hot Springs as Volcanic Phenomena —

Masaakira KAMADA

Chemical Institute, Faculty of Science, Kagoshima University

ABSTRACT

In Satsuma-Iwo-Jima, small volcanic island (area is ca. 12 Km²), two central cones are found. Around of them very large amount of thermal water spout out (total discharge is ca. 6×10^2 l/sec and total thermal discharge amounts to ca. 2×10^7 cal/sec). In the summit crater of Iwo-Dake (703 m high), one of the central cones, very vigorous fumarolic activities are found. The highest temperature of fumarolic gas is ca. 750°C, and the gases effused from the fumaroles contain H₂O, HCl, HF, SO₂, H₂, H₂S, CO₂ etc. Especially relatively high content of HCl and HF in the gases is characteristic. Otherhand, hot spring waters spouted from the bottom of the cone are strongly acidic and contain high level of Cl⁻, SO₄²⁻ and F⁻. The close correlation is recognized between the fumarolic activity in the summit crater and the nature of thermal water activity at the bottom of the central cone.

1. 火山活動と温泉

火山もしくは火山活動と温泉との関連性については多くの議論がつづいているが、火山活動にはいろいろの形態のものがあり、また火山には個性といったものがあるので、これを一般的に論ずることはかなり困難なことである。しかしながらあらゆる火山活動に共通していることは「地表もしくは地表近くへの高温の岩体の接近、あるいはあふれだし、もしくは比較的浅所での居すわり」と考えることができる。ここで高温の岩体はマグマである場合もあり、その流動性はかなりの幅をもっている。このような高温の岩体の存在があれば、熱の流れ、水（マグマ性の水、地下水など）の流れ、化学成分（マグマの発散物、附近の岩石からの発散物、溶出物を含む）の輸送現象が起こるわけで、条件によってこの高温の岩体の近くに地熱地帯が形成

されたり、温泉が湧出したり、あるいは潜在していたりすることになる。時としてはいわゆる水蒸気爆発が起こって火山が活きていることを人に知らせたりもする。高温の岩体が地表に接近し、居すわってからの時間、その熱容量、熱あるいは水（溶存した化学成分を含めて）の流れがどのようにすすむかという条件により地熱地帯の寿命あるいは形態もきまってくる。典型的な火山活動—溶岩流の流出などともなっては温泉がながつづきして湧出しないことはよく知られており、このような高温の岩体—マグマに特に密接な関連性をもった温泉を直接、いわば生のかたちで観察する機会はかなり多くないであろう。熱は失なわれやすく、地表近くには地下水、海水なども多いのでマグマ性の水はそれらによってうすめられやすく、また本質的にマグマ性の溶存成分がかりに含まれていたとしても、その水質は壁岩との反応その他により変質してしまうことが多いからである。

2. “活”火山性温泉

筆者らは本邦各地の火山ガスの化学組成についての研究、いろいろな岩石—火山岩の加熱による揮発性成分の放出実験のふたつを総合し、火山性温泉のなかで次のような条件をそなえたものを“活”火山性温泉と分類することを提唱した²⁾。ここで特に注意したいのはこの中に含まれないからといって火山性温泉でないとはいえないことで、他にもいろいろな形態の火山性温泉がありうると思われる。

- 1). 源泉もしくは源泉群が比較的せまい地域に集中し、放出熱量（湧出量、泉温）も大きいこと。
- 2). 温泉の化学組成が $\text{HCl}_{aq} + \text{HF}_{aq} + \text{H}_2\text{SO}_{4aq}$ の組成に近いこと。

1) の条件は熱容量の大きい高温の岩体が存在していることに対応しており、2) の条件は各地の火山で高温の火山ガスの中に HCl , HF , SO_2 などが含まれている事実、火成岩の加熱実験の結果などと調和させたものである。

さてこのような“活”火山性温泉の例は本邦において秋田県玉川温泉（あるいは川原毛温泉）、群馬県草津温泉などにみられる。いずれも典型的とはいいがたいがそれに近いものと考えられる。条件 2) のほうが条件 1) によりはるかにきびしいことは HCl , HF , H_2SO_4 などの反応性を考えればすぐに理解できよう。2) の条件を満たして1) の条件を欠いているような温泉は全くみいだされていない。

ただ玉川、草津の温泉の地下浅所に先述したような高温の岩体が存在するという直接的な証拠はないのである。それぞれの温泉の近くには、焼山、草津白根山という火山があるが、いずれも時々水蒸気爆発を起す比較的活動的な火山とはいえ、現在その噴気孔活動は 100°C 前後のものに過ぎない。これらにくらべればさつま硫黄島の温泉は以下のべるようにきわめてユニークな存在と考えられる。

3. さつま硫黄島の火山とその温泉

さつま硫黄島には後述するように多くの温泉があるがそれらのうちとくに中央火口丘硫黄岳の周辺に湧出する温泉は先述した“活”火山性温泉の条件 1) を完全に備え、また 2) の条件にも近い。とくに硫黄岳の山頂には温度 750°C にも達する高温の噴気孔活動が長期間にわた

ってつづいており、硫黄岳の地下浅所に高温の岩体が存在することは疑う余地がない。しかも山頂の噴気孔ガスの化学組成は典型的な $\text{HCl} + \text{HF} + \text{SO}_2 + \dots$ タイプのものである。1934年には硫黄岳の側火山として、300 m 余りの海深の海底から昭和硫黄島が噴火誕生し、現在海拔約 25 m の小島となっており、この火山が極めて活動的であることを示している。ただ玉川、草津の両温泉とはことなりこの火山は海中の火山島で、温泉には当然海水の影響が考えられるが、逆にいえばまわりには海水があるというこの条件がかえって問題の解析を単純化するのに役立つというメリットもある。

このように“活”火山性温泉が湧出する硫黄島にはさらに各種の温泉も湧出しておりきわめて興味ぶかいフィールドである。以下、この火山と温泉について概説し、最近の研究結果を紹介しておきたい。詳細は筆者の総説¹⁾および各論文を参照されたい。

硫黄島火山には鬼界カルデラの外輪山、ふたつの中央火口丘硫黄岳と稲村岳が含まれているが、活動的な噴気孔活動をつづけているのは硫黄岳だけで、稲村岳は全山緑でつまれていて、山麓に温泉活動がみられるにすぎない。1843年刊行の三国名勝図会⁶⁾には硫黄岳南面に温泉湧出……の記述がみえ、また海水の色黄なり……とも記されている。このような温泉活動、あるいは海水と温泉との混合による沈殿物の生成状況は現況とまったく同じと見てよい。硫黄岳山頂の噴気孔活動が激しかったことについても平家物語にその記述があり、かなり長期間つづいているものようである。1935年田中館博士は火口で約 500°C の温度を測定している。この火山の研究は松本唯一博士、田中館秀三博士らにはじまり早瀬喜太郎博士、松本幡郎博士、および演者らによってつづけられてきた。さらに近年多くの研究者の注目するところとなり、火山地質学的研究³⁾、岩石化学的研究⁴⁾のほか地球物理学的研究^{7), 1)}、地球化学的研究^{1), 5), 8), 9), 10), 11)}、同位体化学的研究¹²⁾が精力的にすすめられてきた。これらの成果のうち温泉に関係のとくに深いものを列挙すれば次のようなものがある。

1). 硫黄岳山頂に高温の噴気孔が存在するだけでなく、山体全体が高温である。これは地磁気の測定から推定されたもので、高温の岩体の熱容量の大きさを暗示している。

2). 硫黄岳全体からの熱の放出量はかなり巨大なもので^{7), 1)}、そのなかで温泉の占める役割はかなり大きい¹⁾。

3). 硫黄岳山頂からの噴気孔ガスの化学組成は、典型的な $\text{HCl} + \text{HF} + \text{SO}_2 + \dots$ タイプのものでとくに HCl 、 HF の含有量の大きいものがある。

4). 硫黄岳山頂の噴気孔ガスに HF (実際の存在状態にはこの他にいろいろなものがある) が多量含まれていることに関連して、山頂には硫黄島に特異的にみいだされる昇華物⁸⁾が存在する。

5). 硫黄岳山頂の高温部の地表に火山昇華物として青色のモリブデンブルーがみいだされるが、これはこの火口丘が相当長期間噴気孔活動をつづけていることと関連がある¹¹⁾。

6). 噴気孔ガス凝結水、温泉水、地下水などの水の酸素同位体、水素同位体の研究によると、硫黄岳山頂の噴気孔ガスの水は他にみられない特異な性格をもち、高温の岩体の影響を強く、かつ十分に受けているきわめて興味あるものであることが明らかにされた¹²⁾。

7). 硫黄島火山には大別して3種類の温泉が湧出しているが、それぞれの温泉の存在する地質学的環境によく対応している¹⁾。活動的な火口丘硫黄岳の周辺には酸性の(したがって鉄、アルミニウム等を相当量含む)温泉が湧出しているが、先述した活動的でない火口丘稲村岳の

周辺にはやや低温の炭酸鉄を含む温泉が湧出し、カルデラ壁の外側には中性にちかい食塩泉がみいだされる¹⁾。

以下各温泉について簡単に説明しておきたい。詳細は著者の総説¹⁾を参照されたい。その後の研究結果も続報する予定である。

4. さつま硫黄島の温泉各説

硫黄岳周辺の温泉

北平温泉

硫黄岳北側の中腹、北平の断崖の真下に湧出する温泉で泉温 79.2°C、pH 1.1 の強酸性泉である¹⁾。湧出量はごくすくない。化学的性質、山頂火口に近いことから、山頂の噴気孔活動との関連性をもっとも密接と考えられる温泉である。

北平下海岸温泉（平家城下温泉）

平家城の南、ケツ（穴）の浜の北端の海岸、汀辺の砂の中から湧出している。湧出が直接観察できるのは干満の間、限られた時間だけにすぎないが、海水と混じて黄白～黄褐色の沈殿物をつくり、湧出量も莫大と推定される。泉温 70°C 前後、pH 1.3～1.5 の強酸性泉である¹⁾。

東温泉

古くから知られた温泉であることは既述したとおりで田中館博士も泉温 57°C と記載している。演者らの研究によると、泉温、湧出量、化学組成にはかなりの変動がみとめられる。たとえば1源泉で泉温は 51.5～58.0°C の間を変化しその変動の幅はかなり大きい¹⁾。海面上 1～2 m のところから湯滝となって海中に落下しているから観測、採水等も容易である。北平海岸温泉と同様強酸性で海水と混じて黄白色～白色の沈殿物を生成している。この沈殿物は古くから“イオウ”と考えられ記載されてきたようであるがイオウは全く含まれていない。これは鉄分をいくらか含有する無定形の含水ケイ酸アルミニウムである¹⁾。

稲村岳周辺の温泉

赤湯

著者らによりはじめて記載された温泉で泉温 55.0°C、pH 5.4（満潮直前の値）、炭酸鉄含有の食塩泉である¹⁾。稲村岳南麓にあり、汀辺にある稲村岳の熔岩流のあちこちの割れ目から潮の干満の間、限られた時間だけ CO₂ を主成分とする温泉ガスとともに湧出するのが観察できる。湧出量はそれほど多くないようである。硫黄岳南麓の東温泉とは数百メートルしか離れていないのに性質は全くことなり、海水を染めている沈殿物も赤色の鉄質沈殿物である。

長浜温泉

古くからよく知られ、船着場のあたり一面から湧出する。湧出点の確認、採取が困難である。泉温 48.0°C、pH 4.6 の測定例がある。泉温、泉質などは赤湯のそれに似ている¹⁾。湧出量はそれほど多くないようである。

カルデラ壁の外側に湧出する温泉

坂本温泉

硫黄島の北岸、カルデラ壁の外側にある。海岸の丸石の間から湧出し、液性はほぼ中性、pH 6.3、泉温 49.5°C の食塩泉である。海水と混じて沈殿物を生じることもない。カルデラ壁によって中央火口丘とくに硫黄岳の影響をさえぎられた感じがある¹⁾。

ウタン浜温泉

カルデラ壁の外側にありながら硫黄岳に近い位置にあり、しかもこの温泉のちかくのカルデラ壁が一部欠損し、硫黄岳の影響を受けている温泉である。1963年著者らによってはじめてみいだされた¹⁾。泉温 64.9°C, pH 2.1 の測定例があり、平家城をはさんで位置している北平下海岸温泉の性質に近い。

昭和硫黄島の温泉

昭和硫黄島が誕生してすでに 40 年ちかくなるがなおこの小火山島には泉温 50~60°C の温泉が湧出し火山活動の余勢のあることを示している。海水の影響も当然大きいが pH は 5.4 である¹⁾。

5. 今後の問題

以上さつま硫黄島の火山と温泉について、火山活動と温泉との関連性に焦点をあてて概説してきたのであるが残された問題もなお多く、ひきつづき研究をすすめている。たとえば温泉水中の微量成分の問題、温泉の性質の変動の問題、温泉と噴気孔活動との関連性のより精細な吟味、この火山島の水理学的な調査、海水の影響の解析、岩石の変朽現象と温泉の化学組成との関係の吟味などいずれをとっても、火山性温泉の問題の解決に直接寄与すると期待されるものばかりである。多くの研究者各位がこの特異な火山とその温泉になお一層の関心を寄せられるよう切望する。

文 献

- 1) 鎌田政明: 地熱 3, 1 (1964).
- 2) 鎌田政明: 火山 第 2 集 10, 214 (1965).
- 3) T. Matsumoto: Jap. Jour. Geol. & Geogra. 19, 57 (1943).
- 4) H. Matsumoto: Kumamoto Jour. Sci., Series B. No. 4 96 (1954).
- 5) T. Ōnishi: Bull. Chem. Soc. Jap., 42, 127 (1969).
- 6) 坂元盛久(編) 三国名勝図会(復刻版)(1966).
- 7) 横山 泉他: 北大地球物理学研究報告 16, 33 (1966).
- 8) 吉田 稔, 小沢竹二郎, 小坂文予: 岩石鉱物鉱床学雑誌 55, 201, 262 (1969).
- 9) 吉田 稔, 小沢竹二郎, 鎌田政明: 日化 90, 163 (1969).
- 10) M. Yoshida et al.: Bull. Chem. Soc. Jap. 44, 1844 (1971).
- 11) 吉田 稔, 小沢竹二郎, 小坂文予: 日化, 1972, 575 (1972).
- 12) 松尾禎士他: 私信による (1972).