



日本の火山観測と火山防災 —温泉観測から得られるもの—

野上 健治¹⁾

(平成 28 年 11 月 29 日受付, 平成 28 年 12 月 2 日受理)

Monitoring of Volcanic Activity in Japan —Significance through Observation of Volcano-Hydrothermal Water—

Kenji NOGAMI¹⁾

1. はじめに

日本列島とその周辺海域は、4つのプレートが闘ぎあう、世界的にも希有な大変動帯に位置しており、沈み込み帯のフロントゾーンにあるため地震活動や火山活動が非常に活発である。我が国では、概ね過去1万年以内に噴火したことが科学的に確かめられている火山、もしくは現在火山ガスを放出する噴気活動がある火山を活火山と定義しており、現在110の活火山がある。これは全世界の活火山の約7%に相当する。伊豆—マリアナ弧及び琉球弧上にも数多くの火山島・海底火山が分布しており、世界の火山の約6割が集中する環太平洋火山帯の一部となっている。活火山の多くは国立公園・国定公園内にあるため観光地化しているところも多く、小規模噴火でも大きな災害になる可能性が高い。また、大規模な噴火が発生すれば現代の高度に発達した高速鉄道・道路・航空網はその影響を避けられず、市民生活に与えるインパクトは決して小さくない。従って、火山活動の継続的な観測・研究は、国民の生命・財産を火山災害から守る為に極めて重要であることは論を俟たない。本講演では、我が国における火山観測と火山防災の現状を紹介する。

2. 熱水系卓越型火山における火山観測研究

火山活動が地震活動と混同されることがしばしばあるが、この二つの現象は本質的に全く異なる。地震活動は長期間蓄積された歪みエネルギーの瞬間的な放出現象であるのに対して、火山活動

¹⁾東京工業大学火山流体研究センター 〒152-8551 東京都目黒区大岡山 2-12-1. ¹⁾Tokyo Institute of Technology, Volcanic Fluid Research Center, 2-12-1, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8551

は長期間大量の物質と熱エネルギーを持続的に放出する現象である。火山噴火は、熱エネルギーや物質の放出が急激に高まる現象であると言える。火山噴火の原動力である火山ガスはマグマから放出される物質の中で最も速く地表に達することから、火山活動について多くの情報がそれらの化学組成や温度、放出量等の観測から逸早く得られる。火山ガスは、 H_2O と CO_2 , H_2S , SO_2 , HCl , HF などの所謂酸性ガス成分、 He , H_2 , Ar , N_2 などのアルカリ溶液に不溶な成分からなる。噴気温度が $100^\circ C$ 程度の場合、酸性ガスの主成分は CO_2 , H_2S であるが、温度が上昇するにつれて SO_2 , HCl , HF が含まれるようになり、これらの割合が高くなる。このような火山ガスが火山体の地下浅所で流動する地下水と接触することで様々な酸性熱水が生成する。同時に、これらの酸性熱水と火山体内部の岩石が反応し、岩石中の陽イオンの溶脱が起こる。温泉水は、陰イオンを火山ガスから、陽イオンを岩石から得て火山体から放出される。このような火山体内部における気体・液体・固体の反応系を火山熱水系と呼んでいる。水蒸気爆発を繰り返す火山では熱水系が発達していることが多く、火山体地下浅所に気液二相流体リザーバーが形成されていると考えられている。深部にあるマグマからの火山性流体の放出量の増大等によってリザーバーの耐圧限界を超えたときに水蒸気爆発が発生する。従って、火山体から常時放出されている火山性流体である火山ガスや温泉などとして放出される物質の“質”と“量”の変化を捉える地球化学的手法による観測は火山活動をモニターする上で本質的に不可欠である。

3. 草津白根山の火山活動と地球化学的観測

群馬県北西隅、東北日本弧と伊豆マリアナ弧の会合点付近に位置する草津白根山は、我が国における熱水系の卓越する火山の代表格である。山麓には高温・強酸性の温泉水が大量に湧出している草津温泉があり、山頂には北東—南西方向に北から水釜、湯釜、涸釜の火口湖がある(写真1)。湯釜湖底から火山ガスや熱水が噴出し、その湖水は pH 1 の強酸性である。水温は気温よりも $10^\circ C$ 以上高く、非常に活発な熱活動が認められる。火口湖水は火山ガス起源の成分に対してコンデンサーの役割を果たすため、その濃度や組成は地下深部から供給される火山ガスの性質を反映している。



写真 1 草津白根山山頂火口湖群

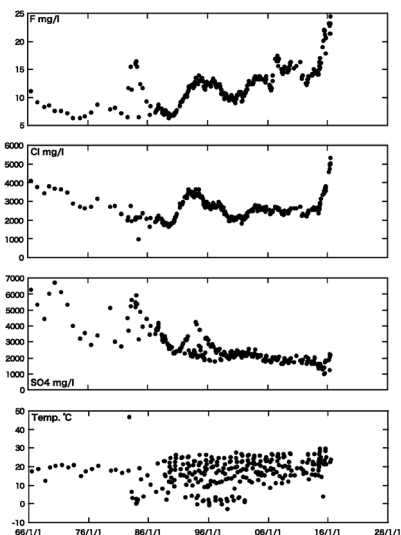


図 1 湯釜湖水の陰イオン濃度変化

1982年10月から1983年12月の間、湯釜火口を中心に5回の水蒸気爆発が発生した。噴火期間中、湖水中のフッ化物イオン濃度は大きく上昇した。その後、噴火活動が徐々に静穏化するとフッ素濃度が低下した。このことから、噴火期間中、湯釜湖水には塩化物イオンに比べてフッ化物イオンに相当富んだ、極めて高温の火山ガスが関与した熱水が供給されていたことが示唆された。2014年3月上旬からは湯釜付近及びその南側を震源とする火山性地震が増加し、湯釜付近の地下浅所の等方的膨脹を示す地盤変動が認められた。この変動は2015年冬まで継続していたが、現在は停滞している。一方、この期間の湯釜湖水のフッ化物イオン濃度及び塩化物イオン濃度上昇は極めて顕著で、現在でも上昇は継続しており、両成分の濃度は過去最高に達している(図1)。また、硫酸イオン濃度のみならずポリチオン酸の濃度上昇も顕著である。このような変化は、火山ガスの化学組成の特徴を考慮すると、地球物理学的変動が停滞している現在もSO₂、HCl、HFを含む非常に高温の火山ガスがこの熱水系に関与し続けていることを示しており、湖水の化学組成は水蒸気爆破場である草津白根山湯釜火口における火山活動のモニタリング指標として重要であると言える。

4. 立山弥陀ヶ原の火山活動

北アルプス立山連峰にある弥陀ヶ原火山は立山火山とも呼ばれ、富山県内に唯一ある活火山である。標高2450mの室堂平から標高1000m付近の美女平まで過去の噴火による火砕物が厚く堆積して台地を形成している。室堂平は立山黒部アルペンルートの最高峰に位置し、4月中旬から11月末の約7ヶ月間に100万人を越える登山客・観光客が訪れる。この付近にはミドリガ池やミクリガ池をはじめとする多数の爆裂火口が存在している。現在、噴気・熱活動が最も顕著なのは室堂平の北側、標高2300m付近に広がる地獄谷火口とその西側のソーメン滝付近である。立山については、歴史時代に明確な噴火記録は残されていないと考えられてきたが、1836年に小規模な水蒸気爆発が地獄谷火口で発生したことが古文書調査によって明らかにされている。2012年頃より地獄谷での噴気活動の活発化と組成変化が認められ、現在もそれが進行中である。

地獄谷火口には西から“百姓地獄”・“鍛冶屋地獄”・“紺屋地獄”の熱水・噴気地帯がある。1988年～1999年の観測では、噴気地帯の分布に殆ど変化は認められなかった。百姓地獄周辺では噴騰泉が点在し、熱水系の発達著しい。これに対して、主な噴気孔は鍛冶屋地獄に集中していた。2011年に観測を再開した際には、鍛冶屋地獄の噴気活動は若干衰えていたが、それまでは噴気活動が認められていなかった紺屋地獄より東側のエリアで噴気活動が確認された。2012年以降、紺屋橋の南東の斜面に勢い噴気が出現、その規模を拡大して巨大な硫黄チムニーを形成し、噴気帯も更に南斜面上方に拡大している。2014年の観測では、熔融硫黄が南斜面から流れ出していることを確認しており、このエリアがかなりの高温になっていると考えられる。1988年～1999年の観測では、噴気温度は殆どが100℃を越えていたが、最も温度が高い噴気でも120℃であった。組成に顕著な変動はなく、水蒸気以外の成分としてはCO₂が最も高く、H₂Sがそれに次ぐ。比較低温の噴気であるが、HClの濃度がSO₂の濃度よりも高いことが特徴である。2011年以降の観測では、紺屋橋付近の噴気温度は殆どが100℃以上で、硫黄チムニーでは2014年の観測では149℃に達している。更に、SO₂とHClの濃度上昇が非常に顕著であり、これはmagmaticな火山ガスが熱水系の影響を受けずに放出している事を意味する。これらの結果から、少なくとも2011年以降高温の火山ガスの寄与が非常に高まった状態が継続しており、火山活動は活発化していると考えられる。

5. 海域火山活動観測

世界の活火山の大部分は海域またはその近傍に偏在しており、我が国においても南方諸島海域及び南西諸島海域には多数の海底火山・火山島が存在している。活火山島でも硫黄島や西之島のような絶海の無人島はむしろ少なく、伊豆大島や三宅島、薩摩硫黄島、口永良部島、中之島など多くの火山島嶼で人々が生活を営んでいる。また、南方諸島海域及び南西諸島海域は好漁場であるだけでなく、タンカーや貨物船の主要航路であり、我が国の経済活動を支える物流の大動脈である。更に、海域火山の上空は日本の主要都市とアジア・オセアニアを結ぶ主要な航空路である。国民が享受している豊かな経済活動は海域火山観測抜きには成立しないといっても過言ではなく、海域火山の活動の状況を把握することは防災上極めて重要である。

陸上の火山では、地震活動や地盤変動などの連続観測が行われているが、無人島や海底火山では観測機器を常設する事自体がきわめて困難であり、連続観測は行われていない。更に、火山体から放出される火山性流体も海水の混入なく採取することは不可能であると言っても過言ではない。火口が海面下にあるために直接的な目視観測によって活動状況を把握できないために、海底火山観測は陸上の火山に比べて非常に困難を伴う。

海底火山活動に伴って噴火口直上付近の海面が淡青～乳白色～黄褐色を呈する現象がしばしば観測されている。この現象は変色海水と呼ばれ、変色の原因は海面に浮遊したゲル状の $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ 系の低結晶質沈殿物であり、これは海底火山から放出された Si, Al, Fe を含む酸性熱水が弱アルカリ性の海水によって中和され、これらの 3 成分が共沈して生成したものである。海底火山活動の静穏期には変色海水の色調は淡青色～乳白色で、化学組成も Fe, Al に比べて Si の割合が高い。これに対して、活動期には黄色～褐色を呈し、Si に比べて Fe, Al の割合が高い。変色海水の化学組成と色調は海底火山から放出される熱水の組成を反映したものであり、静穏期と活動期で明瞭に差異がある。更に、変色海水の面積は、海底火山からの熱水の放出量を反映しており、変色海水の目視観測と化学分析は海面下で起っている火山活動の状況を把握する上で有効な手段である。海域火山の噴火は海上・航空交通に多大な影響を及ぼすだけでなく、場合によっては領土の拡大にも影響が及ぶため、その監視観測と活動状況の把握は我が国にとって極めて重要なミッションである。南方諸島及び南西諸島の海底火山活動は海上保安庁による定期監視観測や哨戒、海上自衛隊や民間航空会社からの情報提供によって活動の把握がなされている。

6. 今後の課題

地球化学的手法による観測で火山から放出される物質の“質”と“量”の変化を捉えることが噴火予知には不可欠である。リアルタイム観測を目指した時間的高密度観測手法を構築できれば地震活動などの地球物理学的観測諸量との対比が可能になり、噴火予知の精度向上が期待できる。また、噴火に対応した高精度迅速化学分析も重要な課題であるが、何よりもこれらを推進する後継者の育成が急務であり、それ抜きでは画餅に帰すことは言うまでもない。