

地球熱学研究施設におけるフィールドワークについて

理学研究科附属地球熱学研究施設 三島 壮智

1. 地球熱学研究施設の概要

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設は、1924年に大分県別府市へ地球物理学教室附属地球物理学研究所として設置され研究業務を開始した。当時、火山や温泉などの研究フィールドとして九州は着目されていたものの、現在の様に手軽に京都から日帰り往復ができるような交通網や、インターネットの普及がなかったため、現地に研究拠点を設けて研究を進めることが最善と考えられ、遠隔施設として設置されたのではないかとされている。その後、1928年に熊本県阿蘇郡へ設置された火山研究施設（現：火山研究センター）と分離統合を繰り返す中で改称を行い、現在の地球熱学研究施設となった。

地球熱学研究施設では、これまでの細分化された研究対象と研究手法を融合し、独自に総合科学としての地球熱学を目指した研究が行われており、現在も変わらぬ目標を目指して研究が進められている。地球熱学研究施設に在籍する技術職員は、このような総合科学的な研究を進める教員や研究員、学生のパートナーとして様々な研究の遂行に携わってきた。

2. 地球熱学研究施設での研究支援の概要

地球熱学研究施設における研究では、火山や温泉などを相手に地球物理学や地球化学などの切り口から研究が進められている。このような自然を相手にする研究にフィールドワークは欠かせないもので、その時その瞬間の貴重な試料のサンプリングやデータ収集を行うことで様々な議論を行い、研究を進めている。

これまでに秋田大学の方が行った九重硫黄山での自然電位法を使った電気探査^{*1}や火山研究センターや防災研究所の方が行った桜島や阿蘇などでの水準測量^{*2*}^{*3}、神奈川温泉地学研究所の方が行った別府地域の微動アレイ探査などの地球物理学的探査にも参加してきたが、普段は地球化学的研究の支援を主として行っている。例えば、大分県主導の温泉資源量調査に関して行った温泉試料分析結果を使った別府温泉の温泉流動経路改訂^{*4}、大沢信二教授発案で実験を行ったガスクロマトグラフィを必要としない噴気の簡易ガス分析方法の構築^{*5}、学生さんの研究テーマで噴気ガス中には高濃度のラドンが存在することに着目して、その起源を調査から調べた研究^{*6}、信州大学と共同で行っている焼岳火山の噴気をモニタリングしている研究^{*7}、総合地球環境学研究所や龍谷大学、広島大学、福井県立大学と共同で行った別府温泉資源利用と河川水質や河川生態系のトレードオフの関係についての研究^{*8}など様々な研究支援を行ってきた。大分県主導の温泉資源量調査では温泉試料約1300検体を約5ヶ月かけて全試料の分析を行い、焼岳の噴気モニタリングでは信州大から噴気試料を持ってきた教員と学生に分析方法のレクチャーを行い、その後も学生と一緒に分析を行い、温泉資源利用と河川水質や河川生態系のトレードオフの関係については、総合地球環境学研究所や龍谷大学、広島大学、福井県立大学、神奈川温泉地学研究所の行う調査に同行して、河川の定期観測や陸域の湧水観測、海域のラドン曳航観測、先述した微動アレイ探査などで協力を行った。

このように様々な研究支援を、科研費や受託研究などの研究期間毎に出てくる新たなテーマを対象に行ってきた。

3. 地球化学的研究の調査準備

地球化学的調査の説明として、色々な手法を用いる噴気地での研究を例とし、どういったフィールドワークや分析を行うのかを紹介していく。まずは、事前の準備として、教員ら研究者と何を調べるのかを話し合い、それに合致する噴気のサンプリングや温泉水のサンプリング、現地測定項目の準備を行った。ガスの

サンプリングに関しては、図1中央の真空採気瓶のようなボトルを利用して噴気ガスのサンプリングを行う方法^{※9}、2口シリンジとコールドトラップを利用してサンプリングを行う方法^{※10}など、各研究施設や大学などによって様々な手法が代々受け継がれている。地球熱学研究施設では以前から埼玉大学名誉教授 小沢竹二郎氏が構築したサンプリング方法（小沢注射器法）^{※11}を改良した手法^{※12}を用いており、図1下部の200 ml シリンジに噴気ガスを吸引してサンプリングを行い、ガスクロマトグラフィなどを用いた噴気ガスの分析を行っている。そこで、小沢注射器法と同様にシリンジ内に5 molの水酸化カリウム溶液を15 ml程度封入して準備した。



図1. ガスサンプリングの準備機材

水のサンプリングではよく湧水や河川調査などではポリエチレン瓶が利用されるが、温泉などの熱水のサンプリングが多い地球熱学研究施設では、ポリプロピレン瓶を利用するという違いがある。水のサンプリングも何を測定するかを考慮して各種類や各サイズの瓶を準備する。例えば、250 ml ポリプロピレン瓶は塩酸滴定によるアルカリ度分析やイオンクロマトグラフィ分析用の主成分分析試料、100 ml 瓶ポリプロピレン瓶は10% 塩酸を1 ml 加えてケイ素やアルミニウム、鉄といった金属元素分析用試料、10 ml ガラスバイアルは水素や酸素の同位体分析試料、100 ml PAN 製テクノボトル（現：30 ml PET ボトル）は溶存全炭酸と炭素の同位体分析試料、エアコンで使う銅管（約25 cm）はヘリウム同位体分析試料など、各種の解析時に決定打となりそうなデータを想定して準備を行った。

今回は事前に見下しを行った際に、噴気地の地面に多量に噴気昇華物が生成していたのを確認していたため、噴気昇華物もサンプリングして持ち帰るためにプラスチック容器も準備した。

そして、採水やガスのサンプリングで使うアルミパイプに断熱材を巻いて栓を工作したものや、水のサンプリングを行うための採水機材、噴気昇華物をサンプリングするためのスパチュラ、現地で測定を行う検知管、水質測定器、温度計、GPSなどの準備を行った。



図2. 大分県玖珠郡九重町野矢の調査地

4. 地球化学的研究のフィールドワーク

本発表で紹介する研究フィールドは大分県玖珠郡九重町にある噴気地帯である。こちらの地域は近年、地熱開発が盛んに行われてきており、温泉熱発電やその電力を使った水素プラントなどができている地域である。大分県からこの地域について大沢信二教授に問い合わせがあり、九州大学とも情報共有をしながら、地球熱学研究施設が調査を実施して確認することとなった。本調査は、大沢教授、楠本教授、齋藤研究員、馬渡技術専門員、学生の政本さんと私の6名で行った。調査地点は図2で示した元々この地域に存在して“地獄”という名が付けられていた野矢地獄2地点と、新しく噴気地となった新噴気地の合計3地点である。サンプリングする試料に関しては噴気ガス、温泉水、噴気

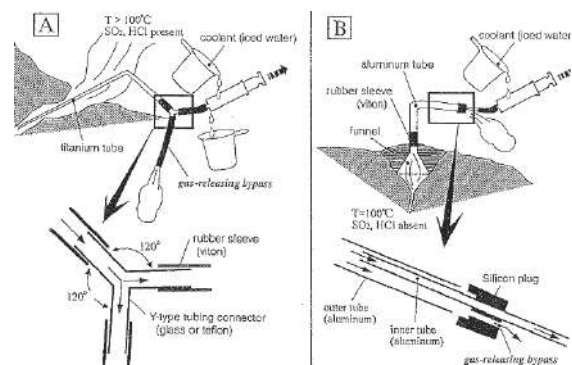


図3. ガスサンプリング手法
（網田・大沢（2001）より）

A：通常の噴気孔や蒸気井の場合

B：パイプ挿入が難しい小気孔の場合

昇華物の3つを対象とし、噴気の温度、温泉水の水温、電気伝導度やpHなどの現地測定を行った。

まずはフィールドワークについては最初に噴気ガスのサンプリングを行うので、そちらの作業を紹介する。噴気ガスのサンプリングは図3のように、噴気の形状などによって使い分けるのだが、今回の観測地では噴気にあまり勢がなく、パイプを挿入できるような形状ではないため図3-Bの様に漏斗を先に付けたアルミパイプを噴気孔に埋めて土や泥で密閉を行い、反対側に5 molのKOH溶液が封入されたシリンジを繋いでサンプリングを行った。この時、シリンジのピストンを適度に引いて噴気ガスをシリンジに導入するのだが、高温の噴気ガスや水蒸気の凝縮熱などの影響でシリンジが非常に高温になるので、効率的に水蒸気の凝縮や二酸化炭素、硫化水素などの酸性成分を水酸化カリウム溶液へ吸収させるためにシリンジを氷水で冷却しながら行った。その後、噴気の温度の測定や、検知管を用いた簡易測定をアルミ管の噴気出口部分で行った。

次に温泉水の調査作業について紹介する。温泉水に関しては普段の温泉調査の場合、プラスチック製カップを共洗いして採水容器として使うが、自然噴気などの場合は噴気や熱水の影響で地盤が風化されてグズグズになって足元が悪いことが多く危険なため、図4のように柄杓を使うことが多い。そちらを共洗いして採水し、ゴミが見える場合はディスクフィルターで濾過しながら各ボトルに詰めていく。

しかし、この噴気地の試料は図4でもわかるように泥粒子が細かくコロイド状の泥水になっており、現地での濾過は不可能と判断して、そのままサンプリング時の試料汚染に気をつけながら、共洗いをしてボトルに詰めた。また、温泉の水温、電気伝導度、pHなどの測定を合わせて行った。

最後にこの調査地点では、野矢地獄と新噴気地の両地点で共に図5のような噴気昇華物が発達していた。噴気昇華物は高温の噴気ガスが地表に出て急冷された際に析出する鉱物で一般に硫黄を含んだ鉱物が多い。図5は山吹色～茶色の噴気昇華物であるが、その他に白色のものなどが存在していた。今回は噴気昇華物の同定を行うため、スパチュラを用いて、それぞれの色ごとに分けてプラスチック容器に回収した。



図4. 野矢地獄での温泉水のサンプリング



図5. 野矢新噴気地での噴気昇華物の様子

5. 試料分析

試料の分析については、サンプリングした試料毎に様々な分析を行っているので紹介する。

まず、シリンジに採取したガス試料は、試料採取前のシリンジ重量と、サンプリング後のシリンジ重量から凝縮した水蒸気量を求めた。続いて、アルカリ溶液に溶解しない残留ガスの容積を測定した後、図6の株式会社大倉理研製のガスクロマトグラフィ AFG-555 で分析（水素、ヘリウム、アルゴン、窒素、メタン、酸素、一酸化炭素）した。その際に、空気によって試料を汚染しないように水を駆使してガラスシリンジからガス試料を抽出した。また、アルカリ溶液に溶解した二酸化炭素は東亜 DKK 株式会社製二



図6. ガスクロマトグラフィ AFG-555

酸化炭素ガス電極 CE-2041 によって測定を行い、残る硫化水素に関しては図 7 の東亜 DKK 株式会社製イオンクロマトグラフィ ICA-7000 で測定を行った。

ボトルに採取した温泉水は 2 時間程度遠心分離器にかけた後、上澄みを 0.1 μ m 孔径のフィルターで濾過し、濾液をイオンクロマトグラフィによって主成分分析（ナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオン、塩化物イオン、硫酸イオン）を行った。また、塩酸滴定分析（4.8 アルカリ度）によって、重炭酸イオンの分析を行い、島津理化学製の紫外可視分光光度計 UV-1850 を利用した比色分析によって鉄イオン（ α -フェントロリン法）、アルミニウムイオン（ピロカテコールバイオレット法）の分析を行った。

噴気昇華物については、各色事に分けて塩酸で溶液化してイオンクロマトグラフィと比色分析による金属元素の分析を行い、その濃度比から鉱物の同定を試みた。しかしながら、決定打としては完璧ではなかったため、今度は瑪瑙乳鉢で粉末にし、蛍光 X 線分析法の代わりに X 線分析顕微鏡によって元素分析を行い、粉末 X 線回折法による分析から鉱物の同定及び、溶液化分析結果との擦り合わせを行った。

この分析と解析の結果については発表の際に紹介する。



図 7. イオンクロマトグラフィ ICA-7000

6. 最後に

地球熱学研究施設でのフィールドワークは自然を相手にして、試料のサンプリングやデータ収集を行っている。こうした火山性噴気地や温泉のフィールドワークや、その他のフィールドワークでも危険な場面は多く、本発表で紹介したサンプリングする噴気ガスは 100 $^{\circ}$ C を超え、図 4 の池は 90 $^{\circ}$ C ほどの高温であり、新噴気地は地盤が風化されて地面の様に見える高温の泥沼もあった。こうした自然を相手にするので、常に作業には安全マージンを取り、無理をして作業を進めない、危険個所に近づきすぎない、事前に高温対策装備を使う、ガスマスクを着用する、高所作業はヘルメットやロープで安全を確保する、船上作業は救命胴衣を付けるなどの当たり前の対策を過信せずに行うことが、事故を起こさない秘訣であると考えている。

このように、地球熱学研究施設では危険と隣り合わせのフィールドワークもあるが、実験室では経験できない、生の自然現象に対峙する研究支援を行うことができる。また、技術職員の皆さんがそうであると思うが、私自身も自分の持てる技術に誇りを持ち、教員らの最新の研究成果に常にコミットしていけるように、海洋曳航調査やドローンを利用した調査、通常とは異なる気象観測など、現在も学び新たな技術の習得を目指して自己研鑽を積んでいっている。今後も変わることなく、研究に使えるフィールドワーク技術を更に習得して研究の発展に貢献したいと考えている。

7. 参考文献

- ※1. 網田和宏・大沢信二：“九重硫黄山における自然電位観測”，大分県温泉調査研究会報告 72. 1-12 (2021)
- ※2. 山本圭吾，吉川慎，松島健，大倉敬宏，横尾亮彦，井上寛之，三島壮智，内田和也，園田忠臣，関健次郎，小松信太郎，堀田耕平，藤田詩織：“水準測量によって測定された桜島火山の地盤上下変動—2014 年 11 月測量の結果—” 京都大学防災研究所年報 58(B). 70-75 (2015)
- ※3. Masayuki Murase, Fumiaki Kimata, Yoshiko Yamanaka, Shinichiro Horikawa, Kenjiro Matsuhiro, Takeshi Matsushima, Hitoshi Mori, Takahiro Ohkura, Shin Yoshikawa, Rikio Miyajima, Hiroyuki Inoue, Taketoshi Mishima, Tadaomi Sonoda, Kazunari Uchida, Keigo Yamamoto, Harushisa Nakamichi：“Preparatory process preceding the 2014 eruption of Mount Ontake volcano, Japan:

Insights from precise leveling measurements" Earth, Planets and Space DOI: 10.1186/s40623-016-0386-4 (2016)

- ※4. 齋藤 圭・三島壮智・大沢信二：“別府市における 2019 年の最新温泉泉質データに基づく地下熱水流動経路の推定” 地学雑誌, 投稿中
- ※5. 大沢信二, 三島壮智, 齋藤武士, 網田和宏：“分析機器を用いない噴気の簡易ガス分析” 大分県温泉調査研究会報告 72. 23-33 (2021)
- ※6. 大沢信二, 豊嶋美優, 三島壮智, 網田和宏：“別府温泉の熱水系におけるラドンの挙動” 大分県温泉調査研究会報告 71. 29-37 (2020)
- ※7. 齋藤武士・澤村俊・田村理納・関晋・網田和宏・三島壮智・大沢信二：“焼岳火山の噴気の化学・同位体組成” 火山, 64, 1-9 (2019)
- ※8. Makoto Yamada, Hisami Honda, Taketoshi Mishima, Shinji Ohsawa, Jun Shoji：“Tradeoff Between Hot spring Use and River Ecosystem: The Case of Beppu City, Oita Prefecture, Japan" The Water-Energy- Food Nexus. 133-142 (2018)
- ※9. S. ARNORSSON, J. O. BJARNASON, N. GIROUD, I. GUNNARSSON AND A. STEFANSSON：“Sampling and analysis of geothermal fluids” Geofluids. 203-216 (2006)
- ※10. 代田 寧・大場 武・谷口無我・十河孝夫・原田昌武：“箱根火山大涌谷北側斜面で 2017 年に観測された噴気組成 (C/S 比) の変動” 神奈川県温泉地学研究所報告, 51, 37-44 (2019)
- ※11. 小沢竹二郎：“多量の水蒸気およびハロゲン化水素, 亜硫酸ガス, 硫化水素, 炭酸ガスなどを含む噴気孔ガスの分析” 日化, 87, 848-853 (1966)
- ※12. 網田和宏・大沢信二：“噴気ガス採取用改良注射器法”九大地熱・火山研究報告, 10, 158-167 (2001)