

大分県温泉調査研究会報告

第 57 号

平成 18 年 8 月

目 次

別府浜脇地区のボーリングコア解析 —東別府駅前ボーリングコアの堆積相—	中西利典 外 2 名	(1)
姫島火山群の地球化学的研究	柴田知之 外 3 名	(7)
温泉地における空気イオン測定 (2)	網田和宏 外 2 名	(11)
全岩微量元素組成を用いた由布岳・鶴見岳における マグマ生成の解明	杉本健 外 3 名	(33)
別府地域の熱源となっているマグマの供給機構を探る	山本順司 外 1 名	(41)
最近の温泉 (権) 紛争について (続)	大野保治	(45)
皮膚病に効能のある温泉と湧水のORPを指標とした 研究	河野忠	(57)
慢性心不全患者の炎症性サイトカインに対する温泉浴 の効果について	尾山純一 外 2 名	(67)
関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化 (VI) —未加療活動性関節リウマチ患者に対する 機能訓練・温泉浴によるIL-6とIL-1raの変化. 2) 加療前後での比較—	安田正之	(69)
VLF-MT法を用いた由布岳・浅部比抵抗調査	宇津木充	(73)
鍋山・明礬地域における地熱貯留層の定量的理解に 向けた岩石ゼータ電位測定	長谷英彰 外 2 名	(79)

序

2004年夏以降、偽装温泉の存在や温泉の不当表示などが、あちこちの温泉地で露見し社会問題化したことは、記憶に新しいところです。これがきっかけとなって、温泉の適正利用や資源保護の機運が高まり、翌2005年には、温泉の適正表示を骨子として、温泉法の施行規則の一部が改正されました（5月24日施行）。また、今年（2006年）6月中頃の新聞報道によれば、環境省は、2008年度の温泉法改正を目指して、温泉施設での定期的な成分分析の実施や、源泉の掘削やくみ上げ量の制限などに関する検討を開始した、とのことでした。

大分県は、「温泉資源の保護と適正利用の推進」を目的として、平成13（2001）年3月に「大分県温泉管理基本計画」を策定・公表しましたが、その中で示されている理念や施策は、国の方針の先駆けであったとも言えるでしょう。この策定が可能となったのは、大分県温泉調査研究会が実施してきた事業とその成果、および、それらを通して培われた温泉に対する向上した意識の裏づけがあったからこそと思われる。

しかし、そうした計画や施策は、それが存在するだけでは不十分で、実効あるものとならねばなりません。それには、温泉に関する諸科学のさらなる進展と普及が肝要です。これまで、その役割を担ってきた大分県温泉調査研究会の存在意義は、ますます大きくなっているものと思われる。

本調査研究会は、昭和24年に発足以来、毎年欠かさずことなく報告書を発行してきましたが、ここに平成17年度の活動を記録した「大分県温泉調査研究会報告第57号」を出版する運びとなりました。本号には理学・医学・法社会学と多岐にわたる11編の報告が掲載されており、斬新な研究成果に接することができるのは大きな喜びです。

本報告を発行するに当たり、調査研究をご担当いただいた会員諸氏、ご支援いただいた関係行政機関並びに事務局の方々に深く感謝を捧げ、今後の研究の進展と本会の発展を期待し、引き続いてのご協力をお願いいたします。

大分県温泉調査研究会

会 長 由 佐 悠 紀

別府浜脇地区のボーリングコア解析

—東別府駅前ボーリングコアの堆積相—

独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門

中西利典

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

竹村恵二

応用地質株式会社

松山尚典

要 旨

別府扇状地南東縁に広がる海岸平野に位置する浜脇地区（東別府駅前）でボーリング調査を実施した。掘削されたコア試料には、厚さ約19mの沖積層とその基盤となる中部更新統の乙原溶岩流堆積物が観察される。沖積層は扇状地性の河川流路堆積物と氾濫原堆積物から構成される。また、沖積層からは鬼界アカホヤ火山灰が認定され、朝見川断層の完新世での活動を示唆する小断層も認められる。

1. 調査地点

大分県別府市浜脇地区（JR東別府駅前）でボーリング調査を実施して20m長のHBPコア試料を得た。試料の回収率はほぼ100%であった。掘削地点は、北緯33度16分5秒・東経131度30分35秒（世界測地系WGS84）・標高（T.P.）+3.86mで、別府扇状地南東縁部に広がる沖積平野に位置しており、朝見川から約250m、海岸からは約200mの距離にある（図1）。調査地点付近の最終氷期最盛期以降の堆積物は日本の典型的な沖積層（井関、1983；海津、1994）と比較すると厚さが薄く、旧別府市役所では地下11.1～11.6mから鬼界アカホヤ火山灰（町田・新井、2003）が確認されている（竹村、1994）。また、掘削地点南方の極近傍にはA級の活動度を持つ可能性のある（千田、1995）朝見川断層の存在が推定される。



図1 東別府駅前（HBP）ボーリング調査地点の位置。地図は国土地理院発行の2万5千分1地形図「別府西部」を使用した。活断層の位置は千田ほか（2001）と岡田ほか（2001）による。

2. 沖積層を構成する堆積物と堆積環境

HBPコアは、砂礫層とシルト層で構成される沖積層とその基盤となる乙原溶岩からなる(図2)。それらは粒度・堆積構造・含有物を基にして上位から堆積物①～⑦に区分される。以下に上位から順に堆積物の特徴とそれらから解釈した堆積環境を記載する。

- ①人工盛土(深度:0~1.59m): 礫質支持層と基質支持層からなる砂礫層から構成される。地表直下に位置しており、陶器片や炭化材を含むために、人工盛土である。
- ②礫質網状河川流路堆積物(深度:1.59~5.91m): 厚さ12~160cmの礫質支持層と厚さ5~32cmの基質支持層の繰り返しで構成される砂礫層である(図3A)。礫は主に花崗岩と安山岩の亜円~亜角礫からなり、径は最大で22cmである。基質は中粒~極粗粒砂からなる。上部ほど基質支持層が多く、下位ほど礫質支持層が多い。また、上位ほど礫径異が小さく円磨度がよいのに対して、下位ほど礫径が大きく円磨度が悪い。礫質支持と基質支持のセットで構成される砂礫層は網状河川流路堆積物の特徴であり、支持様式・礫径・円磨度の変化は水理営力の上方減少を示唆する可能性がある(Miall, 1992; 1996)。
- ③網状河川流路~後背湿地堆積物(深度:5.91~11.89m): 厚さ8~54cmの極細粒砂~細礫層と厚さ3~33cmの砂質シルト層の繰り返しから構成される。単層の層厚は薄く、粒度変化が顕著である。砂層中には軽石や砂鉄の濃集層やカレントリップルが認められる。砂質シルト層には有機質な部分がある。具化石を全く含まないため河川流路で形成された可能性が高く、単層の厚さが薄いのは流路の水深が浅かったためと考えられる(Miall, 1992; 1996)。一方、砂層や砂礫層に挟まれた有機質なシルト層(図3B)は流路間に存在する小規模な後背湿地堆積物と考えられる。一部で逆グレーディング構造が認められるために、自然堤防帯で形成された堆積物の可能性がある(伊勢屋、1982; 増田・伊勢屋、1985)。
- ④氾濫原堆積物(深度:11.89~13.80m): 主に有機質な砂質シルトから構成される。深度12.40~13.54mのシルト~極粗粒砂層ではリズミカルな葉理が発達する。木材片と植物片を多く含み、深度13.00~13.30mには植物根がある。以上の特徴から氾濫原堆積物と解釈する(Miall, 1992; 1996)。最上部(深度11.96~12.31m)には白色の細粒砂層がみられる(図3C)。この砂層の極細粒砂にはバブルウォール型の火山ガラスが高濃度に含まれており、褐色のガラスも認められる。これらのガラスの顕微鏡下での特徴とガラスの屈折率測定の結果、7300年前の指標広域テフラである鬼界アカホヤ火山灰と考えられる(町田・新井、2003)。この火山灰を挟んで堆積物④→③へと堆積相が急変したのは、大規模な火山灰の降灰がこの地域の河川システムに影響を与えた可能性を示す。
- ⑤河川流路堆積物(深度13.80~15.78m): 礫混じりシルト質中粒砂~粗粒砂層から構成される(図3D)。最上部と最下部は礫質支持の砂礫層からなる。最大礫径は3cmである。主に掃流運搬される粒子から構成され、貝化石を含まないために河川流路堆積物と解釈する。不淘汰な粒子から構成されるために土石流粒堆積物の可能性も考えられる。
- ⑥氾濫原堆積物(深度:15.78~18.68m): リズミカルな葉理が顕著なシルト層から構成される(図3E)。植物片を多産し、藍鉄鉱も含まれるために氾濫原堆積物と解釈する。逆断層型の小断層が深度16.96m・17.55m・17.80mにそれぞれ一条ずつ認められる(図3F)。深度17.80mの小断層には上下方向で15cmの明瞭な変位が認められる。これらは完新世に起こった断層活動によって形成されたと考えられる。基底の深度18.42~18.68mには長径7cmの乙原溶岩(堆積物⑦)の亜角礫からなる礫層が認められる。これは沖積層の形成開始時の基低礫と考えられるが、層厚が薄いために一括した。
- ⑦乙原溶岩(深度:18.68~20.00m): 激しく風化を受けた黄褐色~白褐色の泥質火山砂と長径最大8cmの安山岩とデイサイトの亜角礫から構成される(図3G)。中部更新統の乙原溶岩流堆積物(星住

ほか、1988) と考えられる。

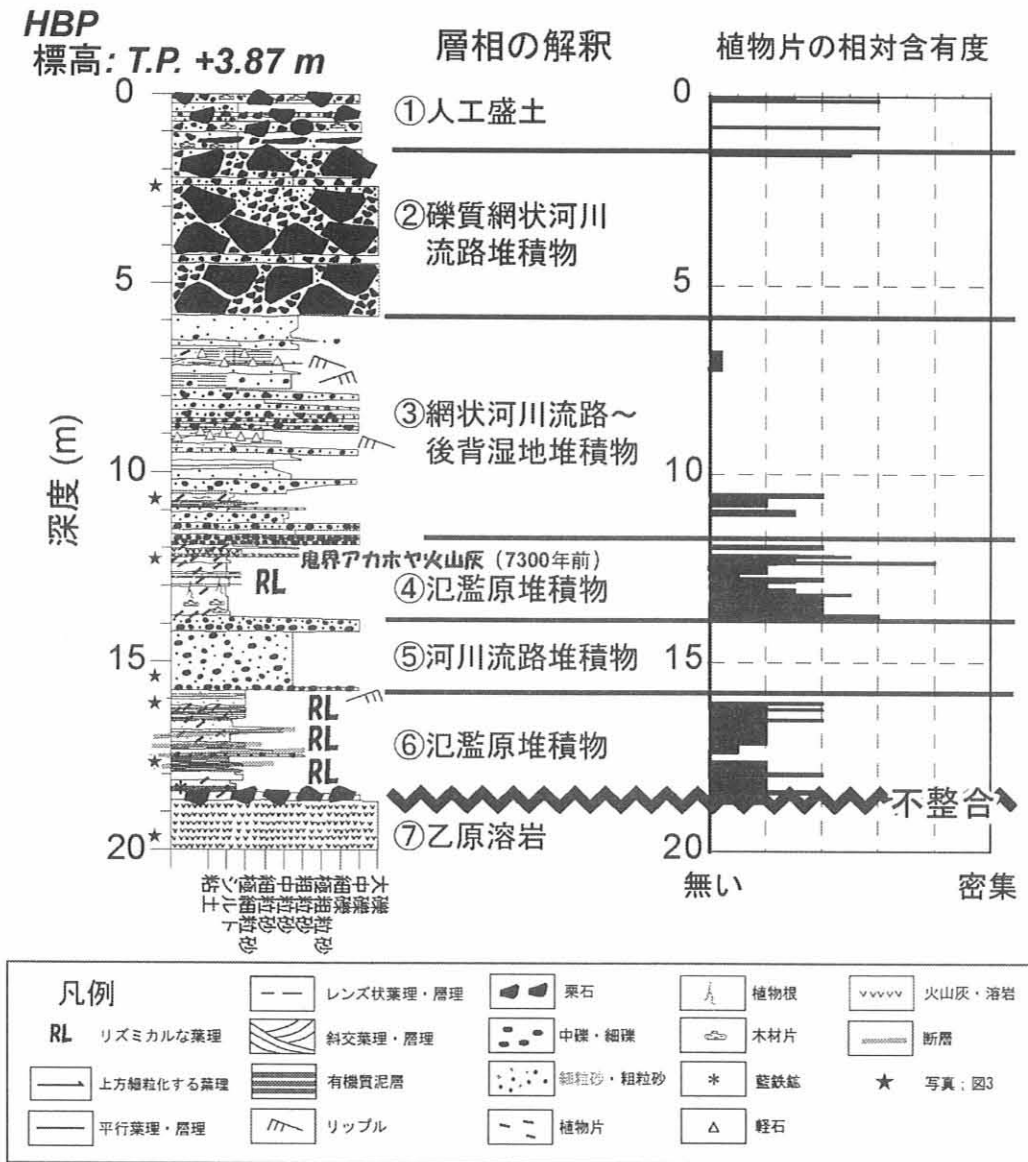
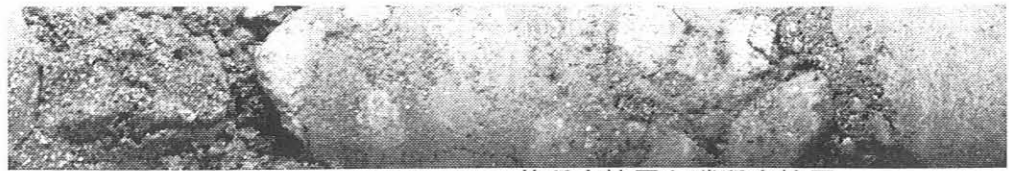
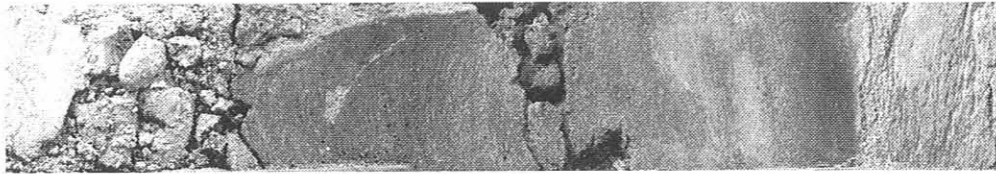


図2. 東別府駅前 (HBP) コアの柱状図と堆積相の解釈と植物片の相対含有度



A: HBP 02.30-02.70 m; 基質支持層と礫質支持層



B: HBP 10.50-10.90 m; 粗粒堆積物に挟まれたやや有機質なシルト層



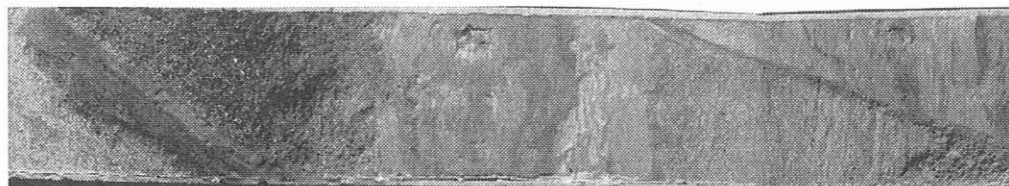
C: HBP 12.00-12.40 m; 鬼界アカホヤ火山灰



D: HBP 14.40-14.80 m; 礫混じりシルト質砂



E: HBP 16.05-16.45 m; リズミカルな葉理



F: HBP 17.48-17.88 m; 二条の小断層



G: HBP 19.55-19.95 m; デイサイト角礫を含む泥質火山砂

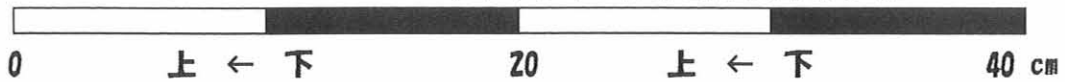


図3. 東別府駅前 (HBP) コアの写真

3. 今後の予定

今回は一本のボーリング試料（HBPコア）から過去の堆積環境を推定した。しかし、これだけでは広域的な地層の広がりやを考慮できないので、今後新たな試料を解析すると共に既存土質柱状図を収集して、三次元的な地質解釈をする予定である。これらの調査を実施すれば、今回の堆積相解析結果が洗練できる。特に、今回の報告では堆積物④や⑥を淡水環境で形成された堆積物と解釈したが、これらの地層中でみられたリズミカルな葉理は潮汐の影響を示唆する可能性がある。海水の影響を考慮するためには地層中に含まれる珪藻化石を検討する必要がある。

また、堆積物の形成年代が現在判明しているのは、標高約－8 mから得られた鬼界アカホヤ火山灰（7300年前）のみである。この地層は堆積相に基づくと当時の海水準よりも標高の高い氾濫原で形成されたと考えられる。この他の地層でも形成年代を推定するために、堆積物から得られた植物片を用いて加速器炭素14年代測定を実施する予定である。

上述した、地層の三次元分布と形成年代・堆積当時の海水準を踏まえて、日本の他の沖積平野で得られている相対的な海水準変動曲線（海津、1994）と照合しながら、断層沿いの沖積平野形成過程と朝見川断層の活動性との関連を考察したい。

文献

- 千田 昇・池田安隆・中田 高・岡田篤正・宇根 寛（2001）：2万5千分の1都市圏活断層図「別府」.
国土地理院.
- 千田 昇（1995）：別府扇状地の形成時期と堀田－朝見川断層群の活動. 地学雑誌, 104 (6), 895-898.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎（1988）：別府地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）, 地質調査所, 131p.
- 井関弘太郎（1983）：沖積平野. 東京大学出版会、152p.
- 伊勢屋ふじこ（1982）：茨城県, 桜川における逆グレーディングをした洪水堆積物の成因. 地理学評論, 55(9), 597-613.
- 町田 洋・新井房夫（2003）：新編火山灰アトラス[日本列島とその周辺]. 東京大学出版会, 336p.
- 増田富士雄・伊勢屋ふじこ（1985）：“逆グレーディング構造”：自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物の示相堆積構造. 堆積学研究会報特集号, 108-116.
- Miall, A.D. (1992) : Alluvial deposits. In Walker R.G. and James, N.P., eds., *Facies Models: Response to Sea Level Change*, Geological Association of Canada, Waterloo, Ontario, 119-139.
- Miall, A.D. (1996) : *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*, Springer-Verlag Inc., Berlin, 582p.
- 岡田篤正・池田安隆・中田 高・千田 昇・宇根 寛（2001）：2万5千分の1都市圏活断層図「大分」.
国土地理院.
- 竹村恵二（1994）：別府地域の地質. 「別府の自然」別府市自然環境学術調査報告書, 33-53.
- 海津正倫（1994）：沖積低地の古環境学. 古今書院、270p.

姫島火山群の地球化学的研究

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

柴田知之

産業技術総合研究所地質調査総合センター

伊藤順一

富山大学理学部

氏家治

京都大学地球熱学研究施設

竹村恵二

要 旨

国東半島北方沖に位置する姫島火山群のマグマの起源解明を目的に、姫島火山群火山岩類の微量元素組成を求めた。微量元素組成はHFSE元素に乏しくLIL元素に富む島弧マグマに特徴的な性質を示した。また、一般的島弧マグマと比べ、重希土類元素は枯渇し、Sr/Y比は高く、Y濃度は低い。これらの特徴は、沈み込む海洋地殻の部分溶融液が初成マグマであることを示唆する。

1. はじめに

姫島は九州国東半島北方沖合約4 kmに位置し、7つの第四紀単成火山によって火山群が構成されている。姫島火山群は角閃石デイサイト、黒雲母含有角閃石流紋岩およびざくろ石流紋岩の溶岩および火砕岩からなる姫島火山岩で構成される。また、南方の両子山火山、由布-鶴見火山、九重火山および阿蘇火山とともに中-北部九州の火山フロントを形成する（伊藤, 1990; 伊藤ほか, 1997）。当地域は沈み込むフィリピン海プレートが水平方向で屈曲している地点であるため、姫島火山群のマグマ起源の研究は、大山をはじめとする西南日本弧の火山と九州弧の火山のマグマ起源の違いを解明する上で重要であると考えられる。そこで我々は、姫島火山岩の微量元素組成を分析したので、それを報告する。

2. 試料および分析方法

試料は伊藤（1990）で岩石学的研究がなされたものの中から、矢筈岳・達磨岳・大海岳から採取された9試料を選択し用いた。分析はすべて京都大学理学研究科地球熱学研究施設で行った。微量元素組成は誘導結合プラズマ質量分析装置（VG PQ-3）でChang et al. (2003)の方法で測定した。

3. 結果と考察

微量元素組成の結果を図1に、Pb同位体組成を図3に示した。今回測定した試料の始源マントル規格化バ

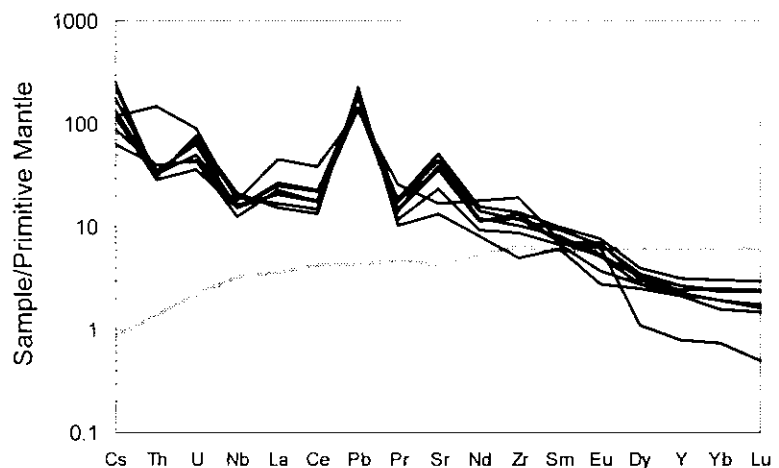


図1. 微量元素組成の始源マントル規格化図。

本研究結果は太線で示した。灰色実線はMORB、灰色破線はOIBの規格化パターンである。始源マントルの値はSun and McDonough (1989)をもちいた。

ターンは、中央海嶺玄武岩 (MORB) と比べ、マグマに濃集し易い元素 (液相濃集元素) に富み、かつ Nb に負の異常が認められる。これは、一般的な沈み込み帯のマグマに特徴とよく類似し、海洋等玄武岩 (OIB) とは異なる (図 2)。しかし、その絶対量は沈み込み帯のマグマより高い。また、沈み込み帯マグマの Zr/Nb 比は約 30 (Shibata and Nakamura, 1997) であるのに対し、姫島火山群では約 14 と著しく低い値を示す。OIB も低い Zr/Nb 比 (約 7) を示すことから、この特徴は九州北部においてこれまで指摘されていた OIB 型マントル (e.g. Nakada and Kamata, 1985) が、両子山の下にも存在する可能性も否めない。一方、暇島火山群の Sr/Y 比は約 >25 で 100 を超えるものもある (図 2)。これらは、アダカイトと呼ばれる岩石の領域にプロットされる (図 4)。一般的な沈み込む対においては、沈み込む海洋プレートが脱水反応を起し流体相を上位のマントルウェッジに付加するが、アダカイトとは海洋プレートが部分溶融を起し、液相をマントルウェッジに付加することで形成されると考えられている (Defant and Drummond, 1990)。したがって、フィリピン海プレートの水平方向の屈曲部近傍の国東半島直下では、沈み込んでいるフィリピン海プレートが部分用湯している可能性が高い。

5. まとめ

1) 姫島火山岩類の微量元素組成の始源マントル規格化パターンは、一般的な沈み込み帯マグマと類似する。

2) Sr/Y 比から姫島火山岩類のマグマの起源物質には沈み込む海洋地殻の部分溶融液が関与している可能性があることが示唆された。

謝辞

この研究を進めるにあたり、京都大学の芳川雅子博士、海洋研究開発機構の米沢由佳氏・Bogdan Vaglarov 氏のご協力をいただいた。記して感謝いたします。

参考文献

伊藤順一 (1990), 姫島火山群の岩石学, 岩鉱, 85, 541-558.

Defant and Drummond (1990), Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere, *Nature*, 347, 662-665.

Kamata, H. (1998), Quaternary volcanic front at the junction of the Southwest Japan Arc and the Ryukyu Arc. *J. Asian Earth Sci.*, 16, 67-75.

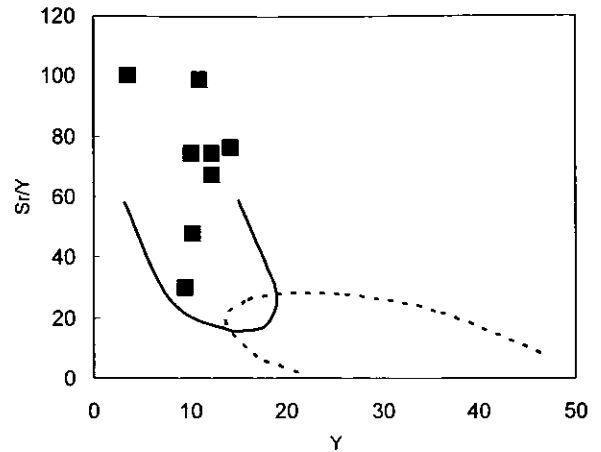


図 2. Y vs. Sr/Y 比変化図。

太実線の領域はアダカイト、細い実線の領域は一般的な沈み込み帯マグマの示す領域 (Defant and Drummond, 1990)。

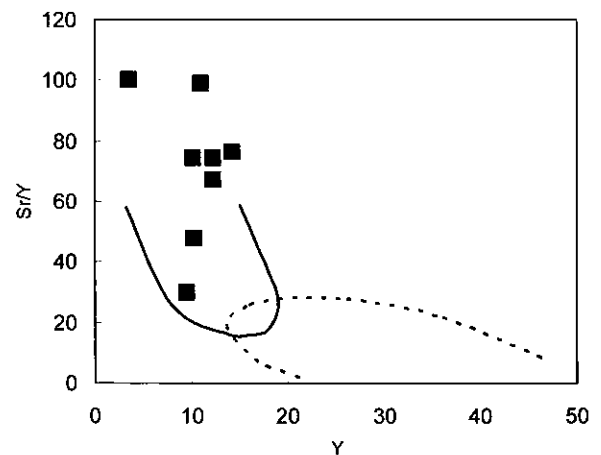


図 4. Y vs. Sr/Y 比変化図。

太実線の領域はアダカイト、細い実線の領域は一般的な沈み込み帯マグマの示す領域 (Defant and Drummond, 1990)。

-
- 鎌田浩毅・星住英夫・小屋口剛博 (1988), 中部九州—中国地方西部の火山フロントの形成年代, 月間地球, 10, 568-574.
- Nakada and Kamata (1985), Temporal change in chemistry of magma source under Central Kyusyu, Southwest Japan: Progressive contamination of mantle wedge, *Bull. Volcanol.*, 53, 182-108.
- Chang, Shibata, Shinotsuka, Yoshikawa and Tatsumi (2003) Precise determination of trace elements in geological standard rocks using inductively coupled plasma mass spectrometry, IFREE Rept. 2001-2002, 1, 357-362.
- Shibata and Nakamura (1997), Across arc variations of Pb, Sr and Nd isotopic compositions from Quaternary basaltic rocks in northern Japan: implication for interaction between subducted oceanic slab and wedge mantle, *J. Geophys. Res.*, 102, 8051-8064.
- Sun and McDonough (1989), Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, *Magmatism in the Ocean Basins (Saunders and Norry, eds)*, 42, 313-345.

温泉地における空気イオン測定 (2)

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 (別府)

網田和宏・大沢信二
馬渡秀夫

要 旨

温泉地の湯けむりや噴気が周囲の空気イオン環境に与える影響を調査する目的で、別府温泉において空気イオン濃度測定を実施した。今回行った別府温泉北部および中央部における観測結果から周囲に湯けむりや噴気のない測定地点では、ほぼ一様な空気イオン環境が形成されていることが明らかにされた。一方、湯けむりや噴気が周囲の大気中に常時供給されている測定地点では空気イオン濃度が不規則に増加・減少していることが確認された。これらの結果は、湯けむりや噴気の存在が空気イオン濃度の増加・減少を引き起こす重要な要因になっていることを示唆しているものであると考える。

1. はじめに

温泉や噴気井から立ち上る湯けむりの存在が周囲の空気イオン環境 (プラスイオン・マイナスイオン濃度および両イオンの存在比率など) に与える影響について調査することを目的として、2004年より別府の市街地における空気イオン濃度測定を行ってきた。昨年度は別府の南部域にあたる浜脇・観海寺・堀田エリアにおいて調査を行ない、その結果について報告したが、本年度はさらに調査エリアを広げ別府の北部域および中央部における調査を実施した。データの解析は現在も継続中であるが、本報告では今年度観測された測定データについて解説を行ない、昨年度の結果もふまえて別府地域の空気イオン環境に見られる特徴や傾向について簡単にまとめたい。

2. 測定の概要

空気イオン濃度の測定にはアンデス電器社製の空気イオンカウンター、ITC-201Aを使用した。この装置は大気1cc中に存在する空気イオン濃度を0.5秒間隔で測定でき、さらに測定モードを切り替えることでプラスとマイナスの両イオン濃度の測定が可能である。また空気イオン濃度以外にも気温・湿度の測定が可能であり、これらすべてのデータが専用のソフトウェア上で扱えるファイルとして本体内存のメモリに保存される。

今年度も測定に際しては装置 (ITC-201A) 2台を併用し、プラスイオン・マイナスイオン濃度の同時刻における変動記録を取得した。また測定データと比較・参照するためのデータとして地球熱学研究施設 (BGRL) 前庭における測定も行った。各観測点で測定を行なった時間は5分間~10分間であり、空気イオン濃度・温度・湿度のデータ以外に、大田式風向風速計を使用した風向・風速 (30秒間平均風速) 測定および、柴田科学社製パーティクルモニターGT-321型を使用したエアロゾルの粒径別濃度 (粒径0.3 μ m、0.5 μ m、1.0 μ m、2.0 μ m、5.0 μ m) 測定を昨年度に引き続き実施した。

測定を行った観測地点を図1に示す。図中では今年度に測定を行なった観測点を白丸で図示し、昨年度の観測点 (白抜きで表した) とは区別して表現した。また、今回あらためて2年間分の観測点を全てまとめ、観測点番号を通し番号にして付けなおした (04年度の観測点と観測点番号の対応については表1の備考欄を参照)。今年度の観測点は別府八湯のうち明礬温泉・鉄輪温泉・柴石温泉・亀川

温泉が位置しているエリアを通る別府市街地北部ルートと、山側の小倉地区から実相寺を経て観光港へと抜ける別府市街地中央部ルートの2ルートに沿って設定した。その他には海岸近くの3点でも測定を行っており、合計27地点でデータを取得した。

観測点番号と観測点名および5分間の平均気温・平均湿度と風向・風速のデータを表1にまとめた。測定に使用した空気イオンカウンターは、装置内に一定流量の空気を引き込んでイオンの移動度（イオンが電界による静電気力を受けながら移動する時の単位電界あたりの速度）を測定し、測定された移動度からイオン濃度を算出するという方式を採用している。この方式の場合、気流が安定しない環境下で測定を行うと測定誤差が大きくなるという問題が生じる。そこで、測定日は出来るだけ風の影響を受けにくい天気の良い日を選んだ。

また表2にはエアロゾルの粒径別濃度測定の結果を示したが、現段階ではエアロゾルの粒径別濃度と空気イオン濃度の関係についての十分な検討は行なえていない。そのため今回はエアロゾルのデータに関しては公表するのみにとどめ、詳細な議論・考察はまた別の機会にゆずりたい。

3. 別府市街地における空気イオン濃度の測定

前年度の調査より、(1) 観測地点が同じであれば一日を通じて空気イオン濃度がほぼ一定であること (2) 観測期間が数日以内であれば、比較的広い範囲で空気イオン環境が保たれること、などが確認されている。そこで今回は、各地点で測定されたプラス・マイナスイオン濃度の値から、同日に京都大学地球熱学研究施設の前庭で測定された空気イオン濃度の5分間分平均値を一様に差し引くことで、測定日が異なるデータ間の補正を試みた。表3に今回の測定が行われた全ての日の研究施設前庭におけるプラスイオン・マイナスイオン濃度の5分間平均値を示した。表3に示されているように、測定した時期が離れている2005年の11月と2006年の2月、3月ではプラスイオン濃度とマイナスイオン濃度の5分間平均値はそれぞれに異なっていたが、測定実施日の間隔に近い2006年3月の3日間についてはそれほど大きな差は確認されなかった。

前述したようにプラスイオンとマイナスイオンは全ての観測点で同時刻測定によってデータを取得しているが、測定開始の操作が手動で行なわれるため、両者の測定装置間の時間のデータに僅か（1秒以下）なずれが生じる問題を避けることができない。そこで各イオン濃度のデータについて、それぞれ前後2秒間のデータを用いて移動平均をとることにした。以上の2つの処理を施した後のプラスイオン・マイナスイオン濃度の時間変動データおよび、温度・湿度のデータを図2-1から図2-7に示す。なお、温度および湿度のグラフは、プラスイオンを測定した装置とマイナスイオンを測定した装置で別々に得られたデータの平均値を用いて作成した。

空気イオン濃度のグラフは縦軸を-1000（個/cc）～2500（個/cc）の範囲でとり、イオン濃度0（個/cc）の位置を点線で表示した。実際にはイオン濃度（1cc中の大気に含まれるイオンの数）がマイナスになるということはないが、これは前述の補正を行ったために計算上、生じる数値でありこのグラフで「イオン濃度がマイナスの値をとる」ということは測定器周辺の空気イオン濃度が「研究施設前庭の平均値よりも低い状態にあった」ことを意味している。また、幾つかのグラフではイオン濃度が数秒～10秒程度の間で急激に増加し、スケールオーバーしてしまっている箇所が見られるが、それらの箇所にはグラフの欄外にピーク時のイオン濃度を数値で記入した（以後、本報告においては数秒間で空気イオン濃度が数千個の単位で増加する場合を「イオン濃度の急増」と呼ぶこととする）。ただし、観測点No.10（鉄輪）だけは5分間の変動記録中にイオン濃度が急増する箇所が多かったため、プラスイオン・マイナスイオン共に縦軸の範囲を-1000個～9000個に設定している。以下では観測ルート別に得られた測定データに見られる特徴について述べていく。

3-1. 北部ルートにおける測定結果

別府市街地北部ルートにおいて測定された空気イオン濃度および気温（細線）・湿度（太線）の時間変動データを図2-1から図2-4に示す。得られたデータ全体にみられる傾向として、プラスイオン・マイナスイオン共にイオン濃度が0付近の値を基準として連続的な変動を示すという点を挙げる事ができる。典型的な例としては観測点5（鶴の湯）、7（平和園）、8（鉄輪地獄地帯公園1）、9（鉄輪地獄地帯公園2）、11（貴船城入り口）、12（ざぼん漬センター）などがそれにあたり、これらの観測点と地球熱学研究施設の空気イオン環境がほぼ同じであったことが示されている。観測点14（地の池地獄駐車場）、15（内籠）、16（亀川）などの地点では若干、マイナスイオン濃度が高めの値（500個/cc程度）をとっているが、イオン濃度は概ね0（個/cc）～1000（個/cc）の間で増減しており、緩やかに連続的に変動していることがわかる。また、後述するイオン濃度の急増がみられた観測点のデータにおいても、イオン濃度の急増が発生している箇所以外の時間帯ではイオン濃度が0付近（-500個/cc～500個/cc）の値を中心に連続性の高い変動を繰り返していることが示されていた。このように観測点や測定日の違い、あるいは空気イオンの極性の違いがあるにもかかわらず、多くの空気イオン濃度の変動が-1000（個/cc）～2500（個/cc）の範囲内に収まっているという結果は、風の影響が少ない日に測定を行なったことに加えて、研究施設前庭の平均イオン濃度を差し引くというデータ補正がある程度の効果を発揮したことを示しているものであると考えられる。

観測点2（明礬地獄遊歩展望台；写真2）、3（鍋山噴気地帯；写真3）、6（別府倶楽部西側タンク）、10（鉄輪；写真6）、13（柴石温泉；写真5）では5分間の記録中にプラスイオン・マイナスイオンのいずれかで少なくとも1回以上、イオン濃度の急増する箇所が見られた。これらの観測点は全て明礬小屋や温泉のタンク横、あるいは噴気地帯など、湯けむりが常に周囲に存在しているような場所であり、安定した空気イオン変動が記録された観測点とは測定環境が大きく異なる観測点ばかりであった。特に観測点2、6、10では湿度の急上昇に呼応するようにイオン濃度の急上昇がみられており、測定器周辺を湯けむりの塊が通過していくときに空気イオン濃度が上昇していることを示唆するようなデータが得られた。さらに細かく見ると、プラスイオン濃度のデータの方で湿度の記録とイオン濃度の増加の間に良い対応関係がみられていることがわかる。典型的な例としては、観測点2の2分過ぎ、3分過ぎ、4分付近や、観測点10の2分過ぎと3分半付近でみられるプラスイオン濃度の急上昇などがそれにあたる。一方、マイナスイオンの増加については、プラスイオンほどには湿度との間に良好な対応関係はみられず、むしろ観測点10の40秒付近のデータのように湿度上昇が明瞭でない時間帯であってもイオン濃度の急上昇が生じている箇所なども見受けられた。

また観測点3および観測点13ではマイナスイオン濃度のみで急増が見られるという、特徴的なデータが得られている。このうち観測点13についてはマイナスイオンとプラスイオンを測定した測定装置間で異なる湿度データが得られており、マイナスイオンを測定した装置の湿度データにのみ、3分付近や4分30秒過ぎ（マイナスイオンの増加が見られた時間帯）に数%程の湿度上昇が記録されていた。このことから観測点13では、マイナスイオンの測定装置には湯けむり塊の通過があったが、プラスイオン測定装置は湯けむり塊の通過がなかった、と考えることで測定データを説明することが可能である。しかし、観測点3については2台の測定装置間で得られた湿度の変動記録はほぼ同じであり、機器の違いによって湯けむりの存在など、測定環境に差が生じていたとは考えにくい。特に観測点3の4分付近に見られている湿度の増加割合（15%程度）は観測点2の4分付近のそれと同程度の変化であるが、観測点2がプラスイオン・マイナスイオン濃度共に急増を見せているのに対して観測点3ではプラスイオン濃度には顕著な変化が認められておらず、対称的な変動記録が得られている。

残りの観測点である1（湯山明礬小屋；写真1）と4（明礬グランド；写真4）についても、現時点でイオン濃度の変動の原因については良く分かっていないが、それぞれに特徴的なデータが得られてい

る。観測点1は一見すると最初に挙げた観測点5、8、9、11、12と同様に空気イオン濃度に大きな変動が認められず、これらの点との違いは明瞭ではない。しかし、この観測点1は測定装置を明礬小屋のすぐ横に設置して測定を行なった場所であり、周辺の空気に定常的に湯けむりの供給があるという点において、むしろ観測点2や6、あるいは観測点10などに近い測定環境にあった観測点である。実際、データをみても1分過ぎから4分までの間に数回、数%の湿度上昇が確認され、測定装置周辺に湯けむりが存在していたことが示唆されている。

一方の観測点4は、周囲に何もないグラウンドの真ん中で測定を行なった観測点であるが、数回にわたってマイナスイオンのデータが鋭いピークを伴った増加をみせている。増加したときの濃度そのものは1000 (個/cc) ~1500 (個/cc) 程度と決して高くはないが、周辺に噴気や湯けむりなどを供給するものが見当たらない中で測定を行なったにもかかわらず、このようなデータが得られたのは今回測定を実施した全観測点中この観測点4のみであった。

3-2. 中央部ルートにおける測定結果

別府市街地中央部において得られた測定結果を図2-5と図2-6に示す。このルートでは、観測点17 (測定装置設置点の周囲半径50m以内に複数の噴気井あり) と観測点18 (噴気井の数m横で測定) の2地点で周囲に湯けむりが存在するような状況下での測定となったが、それ以外の観測点については付近に湯けむりや噴気が見られない通常の市街地と同様の環境下において測定が行なわれた。

得られたデータは全観測点を通じてプラスイオン・マイナスイオン共に、濃度0付近の値を基準に取りながら1000 (個/cc) 以下の変動幅で安定した推移を示していた。このような変動記録は北部ルートのいくつかの観測点で得られたデータの特徴と一致しており、周辺に湯けむりや噴気のない場所で測定された空気イオン濃度に共通する変動パターンであるといえる。そこで以後、このような特徴がみられるデータ変動のパターンを本研究では「静穏型」と呼ぶことにする。

中央部ルートの観測点では、噴気井のすぐ横で測定を行なった観測点18 (小倉; 写真7) のみ、わずかではあるが湯けむりの影響を連想させるような変動データが記録されていた。この観測点では湿度のデータが1分過ぎに約7%上昇しているが、これとほぼ同時刻にプラスイオン・マイナスイオン濃度が共に増加を示している。それ以外にも、プラスイオンとマイナスイオンがほぼ同時刻に増加・減少を見せている箇所が5分間の記録中に数箇所も存在しているのがわかる。イオン濃度が数秒間のうちに1000 (個/cc) 程度の幅で増減すること自体は、湯けむりや噴気などが周囲に全く存在しないような観測点においても見られる特徴であり、現段階でこの変動の原因を湯けむりの影響と断定することはできない。しかしその一方で“ほぼ同時刻に両方のイオン濃度が共に鋭い立ち上がりを伴って増加する現象”は、湯けむりや噴気が存在する環境下でイオン濃度が測定されたときに見られる特徴の一つであり、湯けむりとの間に何らかの関係性があるデータのようにも見える。湿度のデータは1分過ぎの増加箇所以外に目立った変化は認められないが、この観測点は噴気井の孔口がかなり高所にあることに加えて噴気が上空に向かって勢い良く噴出している場所であった。そのため周囲の空気には多量の噴気が供給されているものと思われたが、湯けむり自体が地表付近まで漂って来ることはまれであった。そのような周囲の環境が観測点18のデータに影響を与えた可能性は高いのではないかと考える。

3-3. 海岸沿いの観測点における測定結果

最後に、海岸沿いで測定を行なった3地点での測定結果を図2-7に示す。図に示されているように海岸沿いの観測点で得られたデータはいずれも静穏型であり、これといった特長は見受けられない。一般に海岸付近では海水に含まれる塩がエアロゾルとして浮遊していることが知られており、そのような海水エアロゾルの存在もまた、空気イオン濃度の測定データに影響を与えるのではないかと考え測定を

行なったが、今回の測定結果からは他の観測点との明瞭な違いを見ることは出来なかった。しかし本研究の持つ性質上、測定日に風の影響が少ない日を選んだことや、海岸沿いとはいえ岩礁や波打ち際のような場所での測定ではなかったことなど、海水エアロゾルが良く生成されると言われている環境とはかなり異なる状況下で測定を行ったことも事実である。そのような点を考慮すると今回の観測点の選定や測定方法が、海水エアロゾルと空気イオン環境との関係を調べる上で必ずしも適切な手法となっていなかった可能性も考えられ、今回の結果だけで考察を行なうことは難しいと言わざるを得ない。この問題については別の機会に十分な準備のもとに研究を進めなければ、その詳細について述べることは出来ないように思われる。

4. 考察

ここまで別府市街地において行なった空気イオン濃度測定の概要と、その結果について述べてきた。この項では、観測データを評価する上で予察的に知っておく、あるいは確認しておくことが重要であると思われた事柄を2点あげ、それらの事柄を確認するために実施した観測より得られたデータを示しながら簡単な考察を行ないたい。

4-1. 別府市周辺地域における空気イオン濃度測定結果との比較

本研究では平成17年度から2年間に渡って別府市街地における空気イオン濃度の調査を行ってきた。しかし、全てのデータの参照点として使用してきた京都大学地球熱学研究施設の前庭も別府市内に設定された観測点の一つである。仮に温泉の湯けむりが空气中に常時放出され続けた結果、別府市街地の空気イオン環境が広範囲にわたって湯けむりの影響を受けた状態で平衡に達してしまっている場合には、参照用のデータを測定する場所は別府市の外側に設定するべきである。そこで、完全に別府温泉の影響が及んでいないと考えられる場所において空気イオン濃度の測定を行ない、それらのデータと研究施設前庭で得られたデータとの比較を行なった。

2005年11月9日と2006年3月11日に大分市、別府市および日出町の計8点で測定を行い、同日に得られた研究施設前庭におけるデータと比較した。今回得られた測定データを代表して、由布岳登山口・大洲総合運動公園・銭亀峠・日出グラウンドでそれぞれ得られた空気イオン濃度の時間変動データを図3に示す。グラフから由布岳登山口の測定結果以外の3点のイオン濃度については、濃度0付近で大きな増減もなく変動を繰り返す、いわゆる静穏型であることが示されており、これらの点が研究施設前庭とほとんど同じ空気イオン環境にあったことが分かる。今回は図示しなかった他の観測点においても全く同じ傾向のデータが示されていた。唯一、由布岳登山口のデータだけがマイナスイオンが若干高く、逆にプラスイオンが若干低くなるというデータが得られた。このようなデータが得られた原因としては、他の観測点が市街地や道路脇で観測を行なったのに対して由布岳登山口は雑木林の中に測定器を設置したことや、由布岳登山口が他の観測点よりも標高の高い場所に位置していることなど、一般的にマイナスイオンがプラスイオンより多くなると言われているような条件が整った場所で測定が行われたことによる影響を考えることができる。とはいえ、由布岳登山口のデータが研究施設前庭のデータと大きく異なる、といえる程の差を持っていないことも事実であり、基本的には同程度の空気イオン環境にあると言って良いものと考えられる。以上の結果から、研究施設前庭すなわち別府市街地の基準点と別府市の外側の空気イオン環境の間に有意な違いはない、としても差し支えないことが分かった。

4-2. 原尻の滝における空気イオン濃度測定結果との比較

本研究は「滝つぼや噴水の周辺など、水滴がより小さな水の粒子への分裂が引き起こされているような場においてマイナスイオンが生成される」という既知の現象に対して、温泉湯けむりや噴気でも類似

の現象が起こっているのではないか、という考えのもと調査を進めてきた。その結果、いくつかの観測点では湯けむりが存在することによって空気イオン濃度の急増が生じていると思われるようなデータの取得に成功した。そしてこれらのデータはほとんどの場合、イオン濃度が急激な増加を示した直後に濃度の減少がおり、数秒～十数秒後には増加前の濃度レベルに戻ってしまうというパターンを繰り返していた。このような変化の特徴は、実際の滝つぼなどで測定される空気イオン濃度の変動データにも見られるものなのか、あるいはそのようなパターンは滝でのデータには見られず、噴気・湯けむりの測定データにのみ特徴的に現れるパターンであるのかを確認しておく必要があると考えた。

そこで大分県豊後大野市緒方町の原尻の滝において、空気イオン濃度の測定を実施し、これまで測定してきたデータと比較した。観測は2004年7月20日に滝の下側の河原において行なったが、この時は測定器が1台しかなかったためプラスイオンとマイナスイオンは別々に測定されており、互いの測定時刻は異なっている。そこで各イオン濃度と測定時の湿度のデータをそれぞれ別けて表示した(図4)。また、この日の観測では研究施設前庭における測定は行なわれていないため、イオン濃度のデータには5分間平均濃度を差し引く補正は行なっておらず、移動平均をとっただけのデータを使用した。

得られたデータは、マイナスイオンとプラスイオンとではその濃度および変動幅に大きな隔たりが存在していたため、マイナスイオンのグラフの縦軸を18000(個/cc)まで取っておりプラスイオンのグラフとは縦軸のスケールが大きく異なっている。マイナスイオン濃度は平均的にはイオン濃度が2000(個/cc)から4000(個/cc)程度の濃度範囲での変動を示しているが、時おり急激な濃度増加が起こっており増加した際には多い場合で10000(個/cc)以上の濃度にまで達している。しかし濃度が極大値をとった直後にはやはり急激な減少がみられ、最終的には増加前のレベルにまで濃度が戻っていることが示されていた。このように原尻の滝のマイナスイオン濃度に見られた変動の特徴は、濃度そのものは非常に高い数値が示されていたが、濃度の急増時に見られた変動のパターンは別府市街地で得られてきた結果と同様なものであった。

一方のプラスイオンに関しては、濃度が500(個/cc)以下と非常に低い状態を保持したままで緩やかな変動を示すのみであり、マイナスイオンのデータと比較して対称的な結果が得られた。プラスイオン・マイナスイオン濃度に見られたこのような違いは、一般に言われている「滝周辺ではマイナスイオンが多量に生成されるため、マイナスイオンに富んだ空気イオン環境が形成される」という説明に対して調和的な結果であるといえる。その他に目立った特徴としては、両イオンの測定を通じて湿度のデータには大きな変動が見られず、いずれも数%程度の範囲内で変動するのみであったことを挙げるができる。このとき観測を行なった場所は、滝つぼから数十m離れた場所に測定機を設置していたので、この湿度データをもって別府で得られたデータとの比較を行なうのは難しいことかもしれないが、別府において観測された「湿度の変化に伴ってイオン濃度に急激な濃度変化が生じる」という現象と比べて異なる特徴であるといえる。特に湯けむりや噴気が存在するときにみられる空気イオン濃度の変動現象では、プラスイオン側で大きな変動が見られることが多かったが、この点は湯けむり・噴気に固有の特徴であると考えることができるのかもしれない。

5. まとめ

温泉地で放出されている湯けむりや噴気が、周辺の空気イオン環境にどの程度の影響を与えているのか調査するために別府北部地域および中央部地域において空気イオン濃度の測定を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 噴気や湯けむりのない環境下では空気イオン環境は市内の何処であってもほとんど同じレベルで安定しており、その変動は緩やかでかつ連続的である。

- (2) 噴気・湯けむりが付近に存在している観測点の多くではイオン濃度が急に増加・減少するような変動が記録された。特にいくつかの点においては湿度のデータの上昇と空気イオン濃度の急増が連動しているようなデータが認められており、湯けむりと空気イオン濃度の関係性があらためて示唆された。
- (3) 空気イオン濃度が短時間で増加を示した場合には、ほとんどの場合その後の数秒～十数秒の間にイオン濃度の減少が見られ、最終的にイオン濃度が急な変動を示す前のレベルに戻っていることが確認された。

昨年度および今年度の調査結果によって、別府地域における空気イオン環境の空間分布と特徴について、その概要を明らかにできたと考える。特に、噴気や湯けむりがごく近傍に存在しない観測点では空気イオン濃度に大きな違いがみられなかったことから、仮に噴気や湯けむりが周囲に空気イオンを供給し続けていたとしても、それらのイオンは比較的早い段階で中和されてしまい、通常の市街地の空気イオン環境と変わらないレベルにまで戻ってしまっていることが予想される。以上の結果から「温泉地における空気イオン環境」については局所的には特殊な空気イオン環境が形成されている場所も存在するが、噴気や湯けむりが付近に存在しない通常の市街地であれば特に温泉地であることによる影響は認められない、と結論付けることが可能であろう。

ただし噴気・湯けむりの存在と空気イオン濃度の変動との間に見られた関係性については、湿度の上昇率とイオン濃度の増加率の間関係や、プラスイオン・マイナスイオンとでは増加・減少の様子が違うことなど、いくつかの新たな問題点も提起された。これらの問題を明らかにするためには、野外において新たなデータを取得していくことも重要であるが、むしろ室内における実験が有効なのではないかと考えている。今後はこれまでに得られたデータの解析を進め測定データに対する理解をさらに深めると共に、室内実験を中心とした研究も展開していきたい。

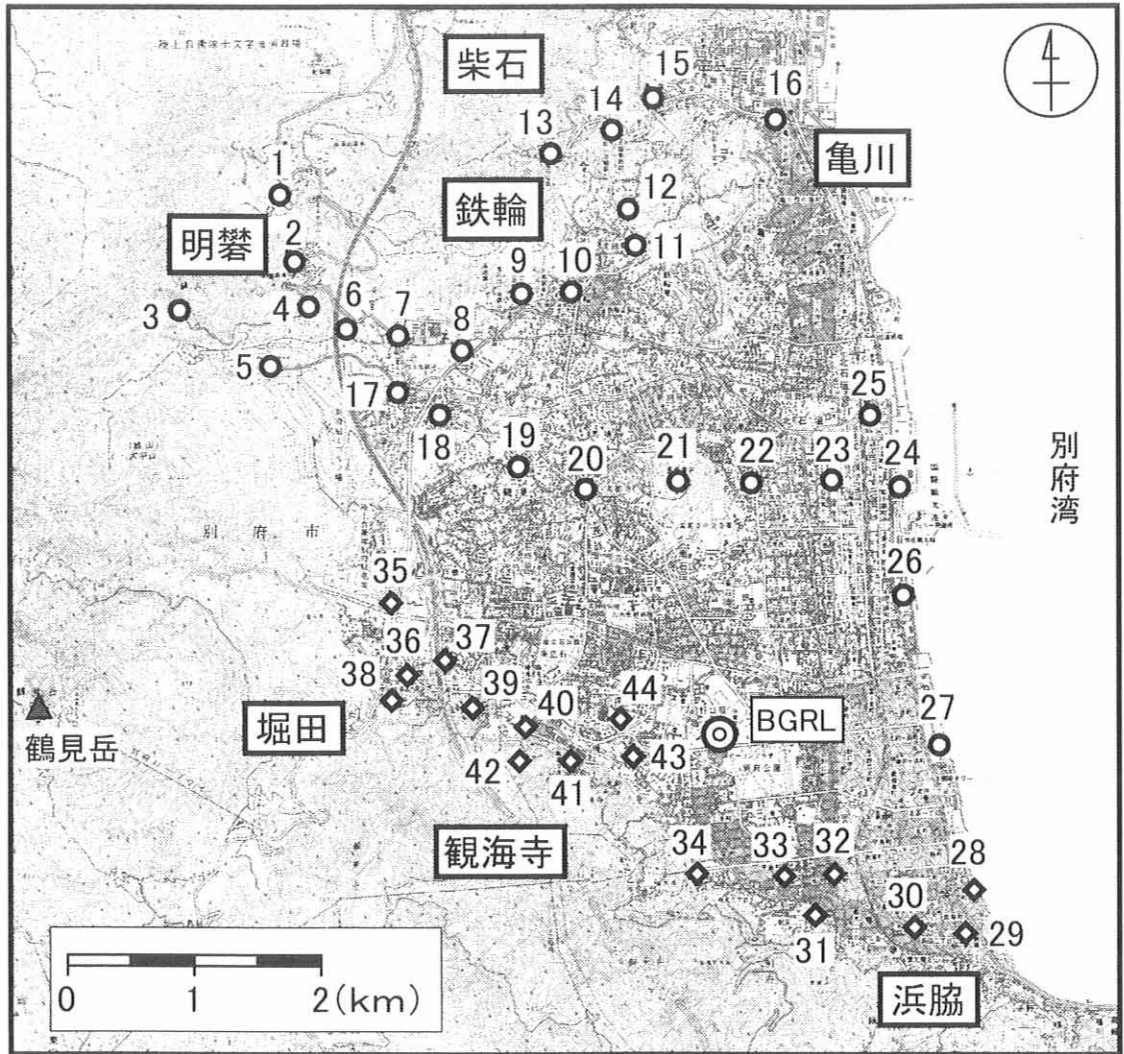


図1. 観測点位置図

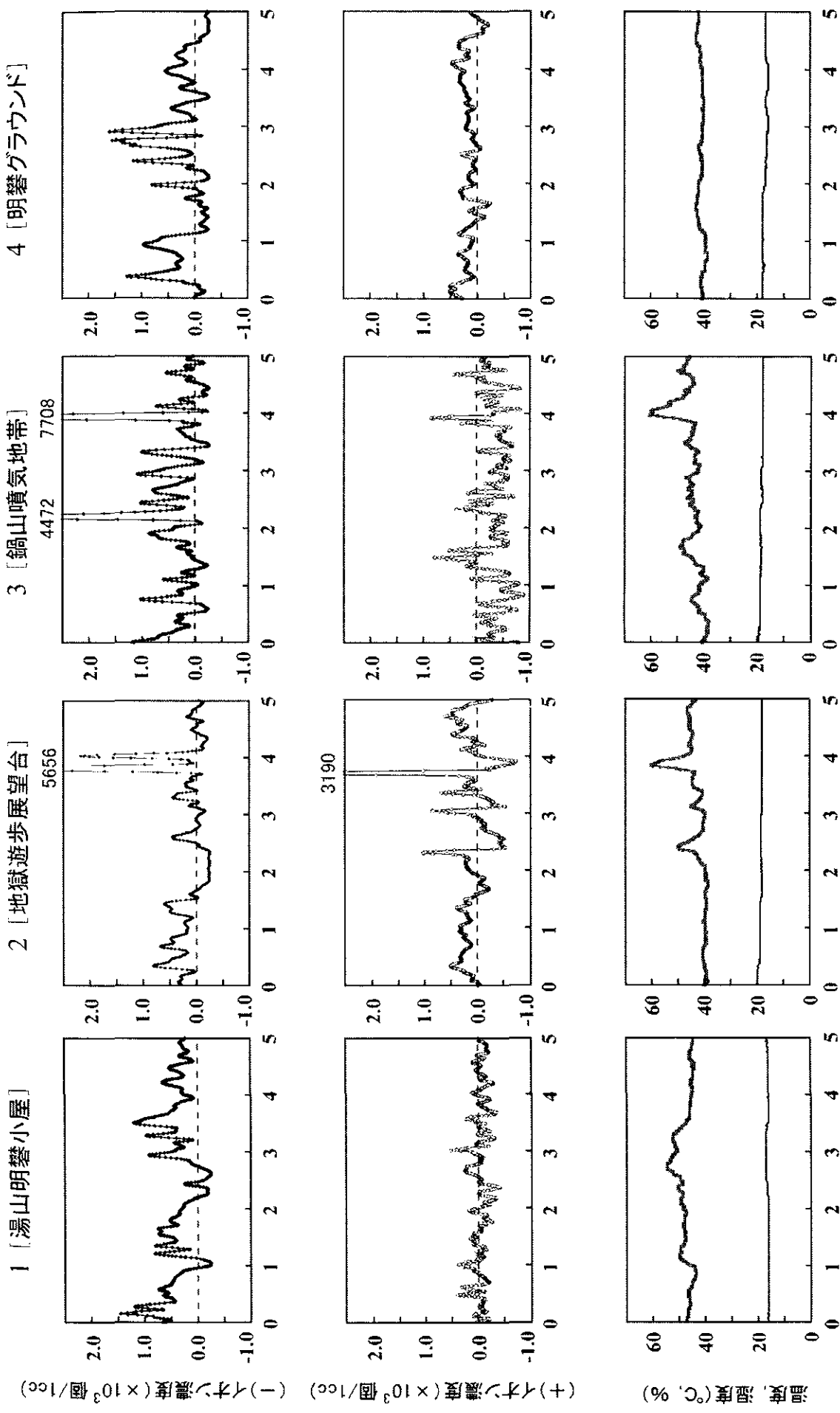


図2-1. 別府市街地北部ルートにおいて測定された空気イオン濃度および気温 (細線) ・湿度 (太線) の時間変動データ

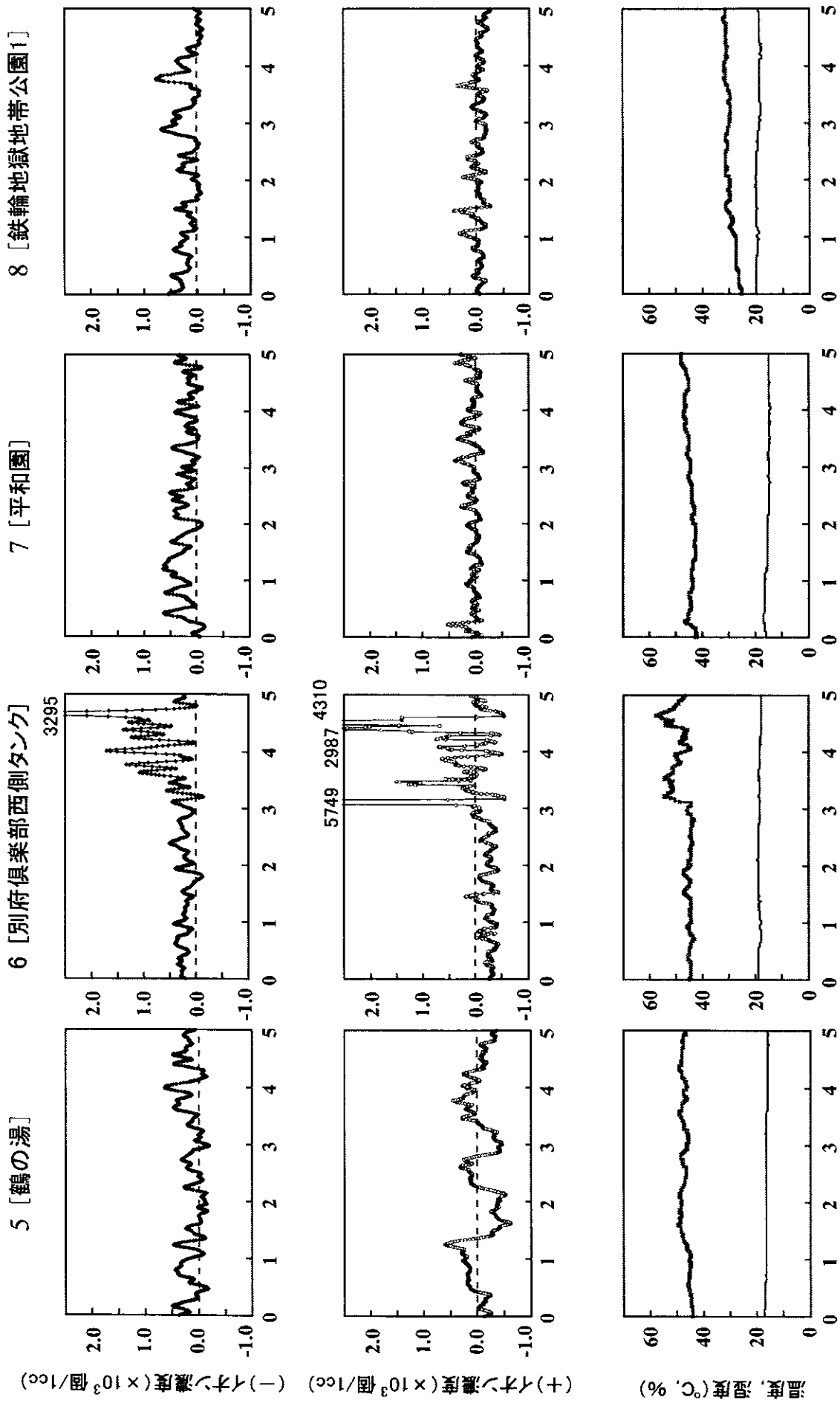


図2-2. 別府市街地北部ルートにおいて測定された空気イオン濃度および気温 (細線)・湿度 (太線) の時間変動データ

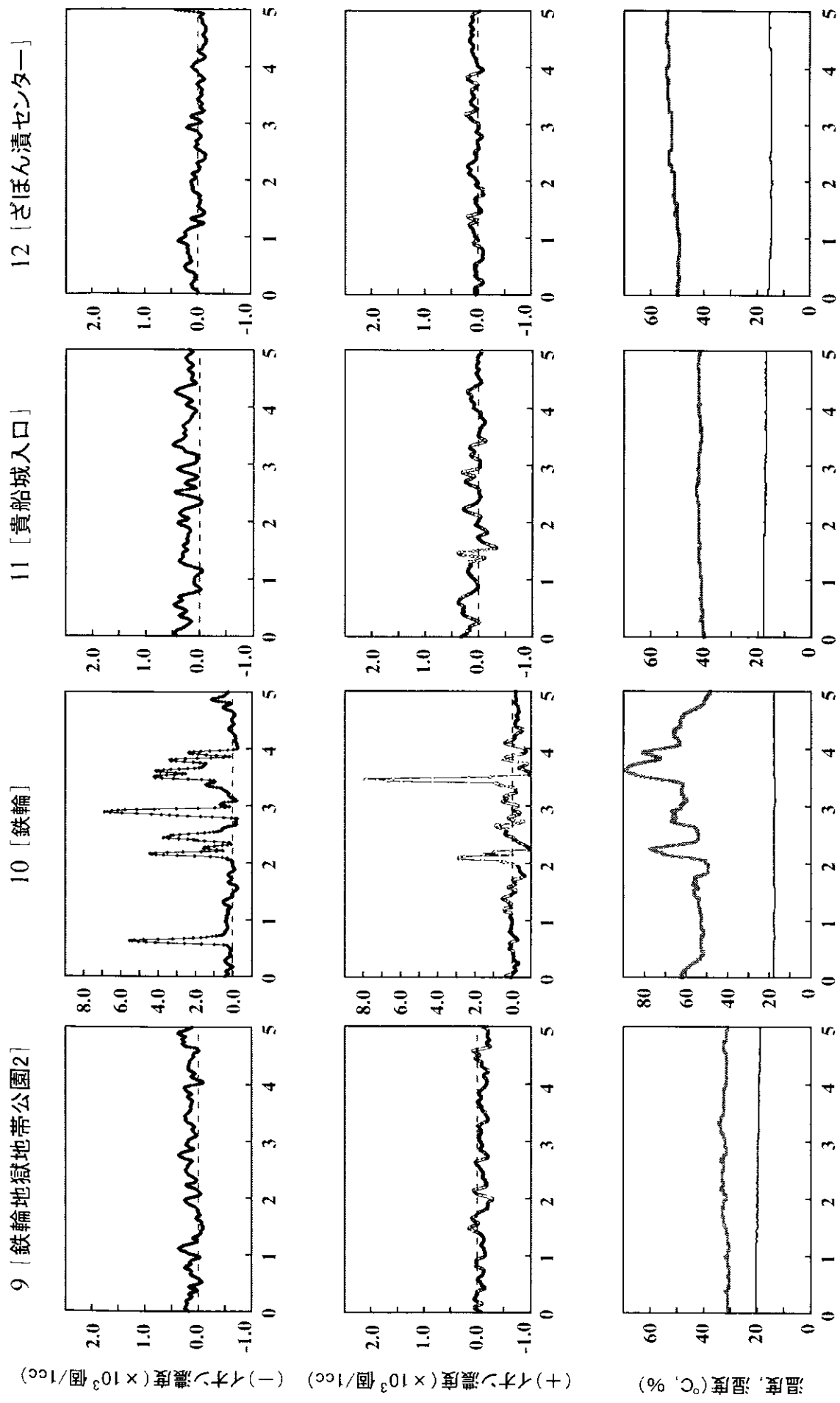


図2 - 3. 別府市街地北部ルートにおいて測定された空気イオン濃度および気温 (細線) ・湿度 (太線) の時間変動データ

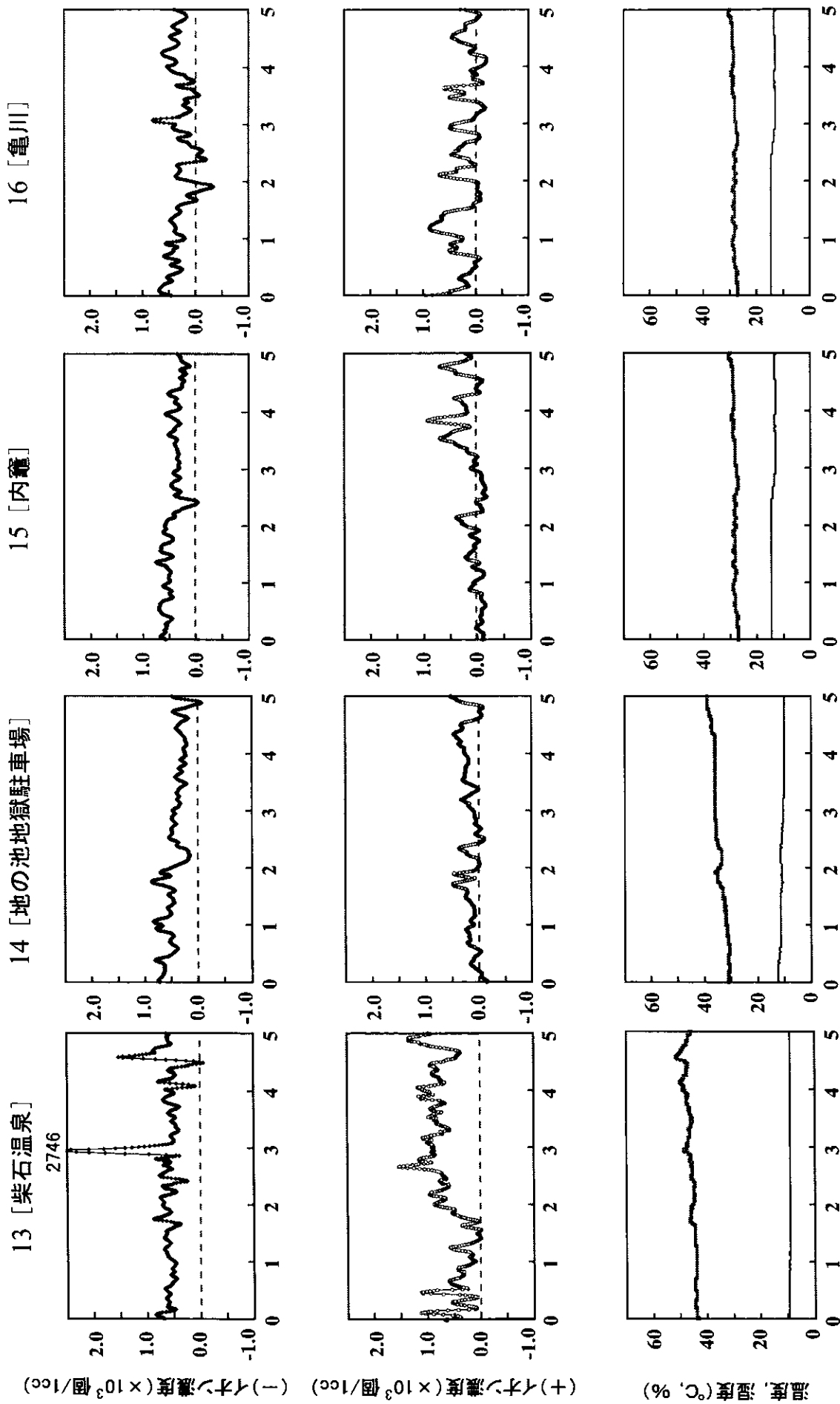


図2-4. 別府市街地北部ルートにおいて測定された空気イオン濃度および気温 (細線) ・湿度 (太線) の時間変動データ

17 [福寿園]

18 [小倉]

19 [竹の内住宅]

20 [原交差点]

(-)イオン濃度 ($\times 10^3$ 個/cc)

(+)イオン濃度 ($\times 10^3$ 個/cc)

湿度 (°C) (%)

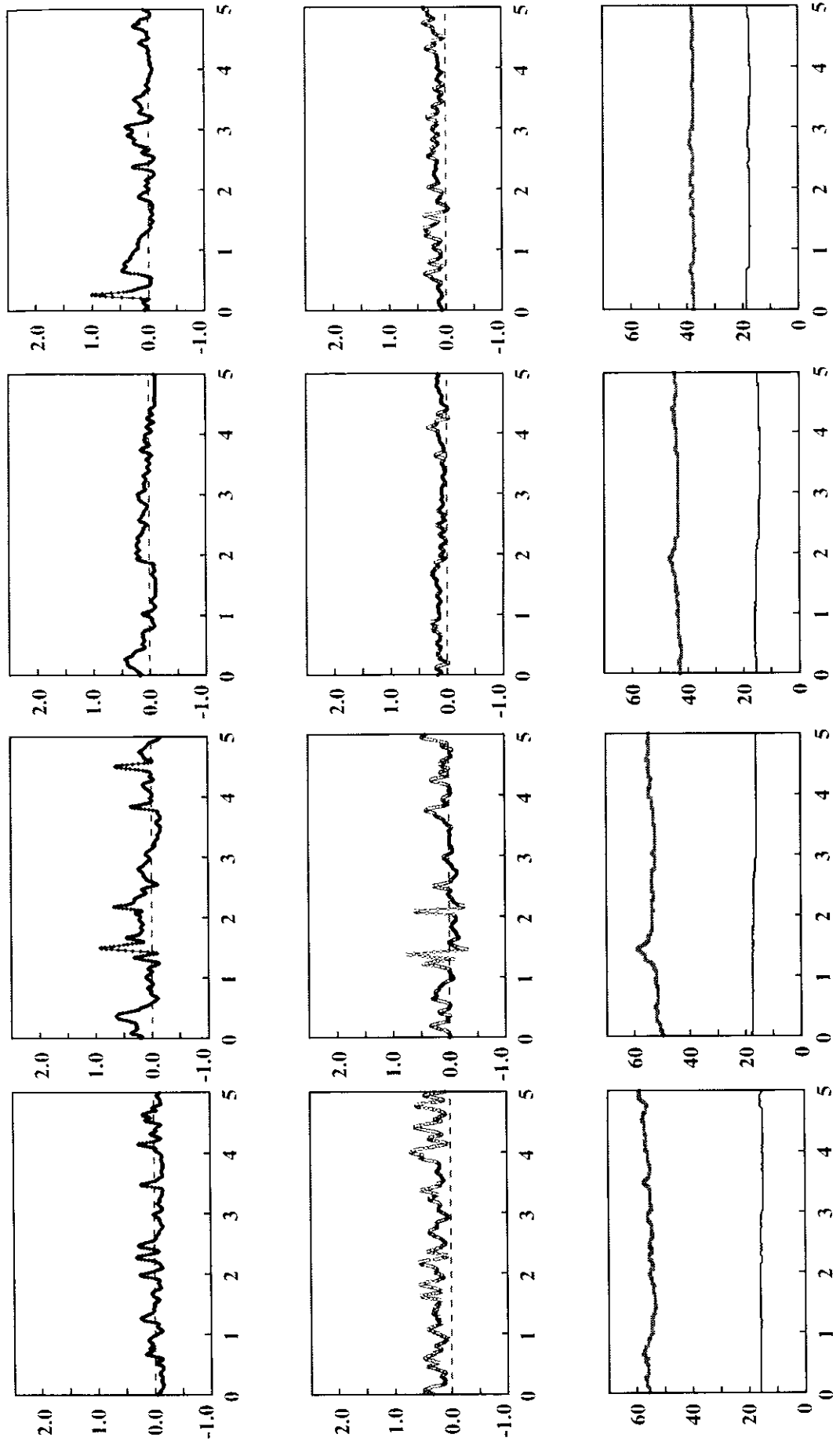


図2-5. 別府市街地中央部ルートにおいて測定された空気イオン濃度および気温 (細線)・湿度 (太線) の時間変動データ

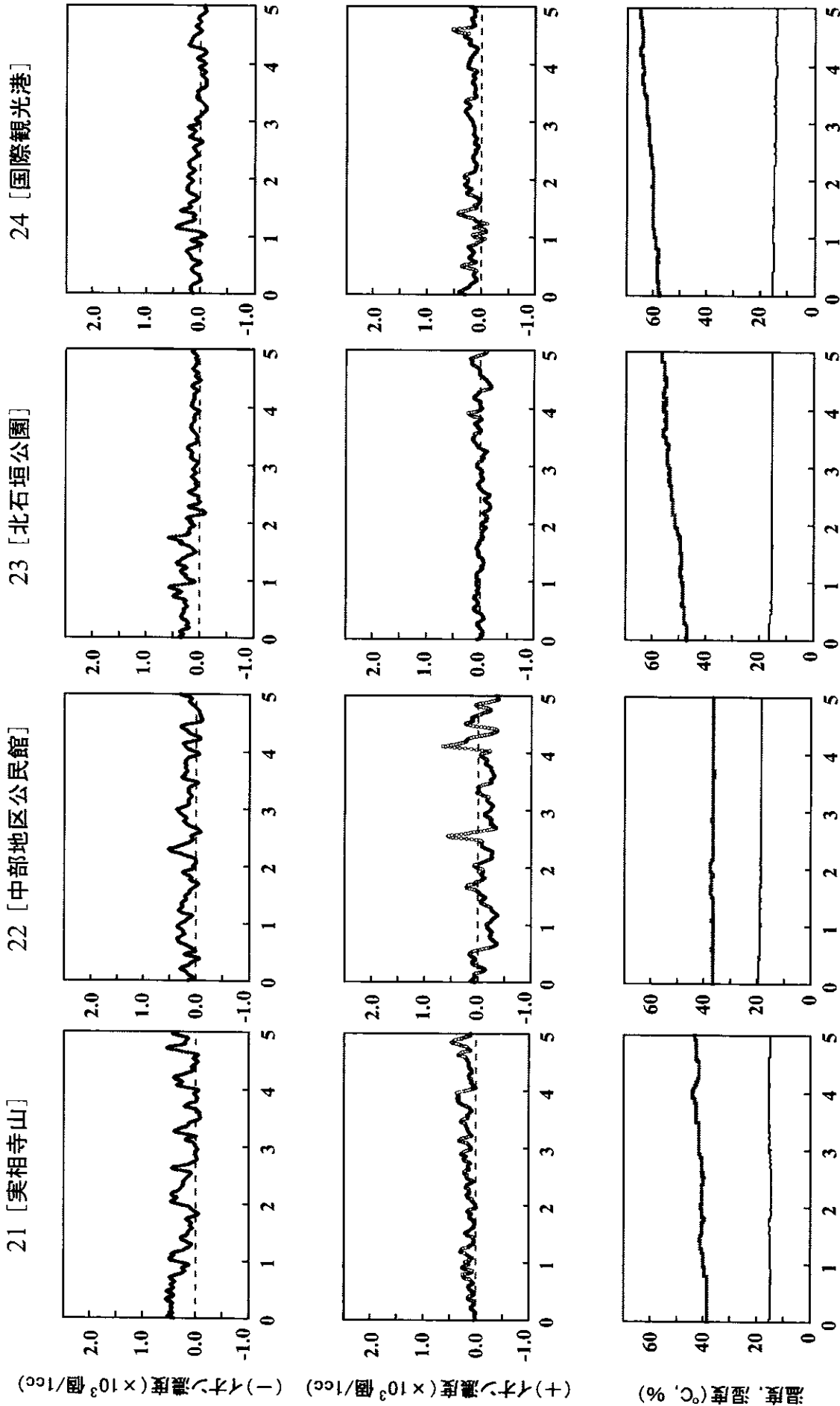


図2-6. 別府市街地中央部ルートにおいて測定された空気イオン濃度および気温 (細線) ・湿度 (太線) の時間変動データ

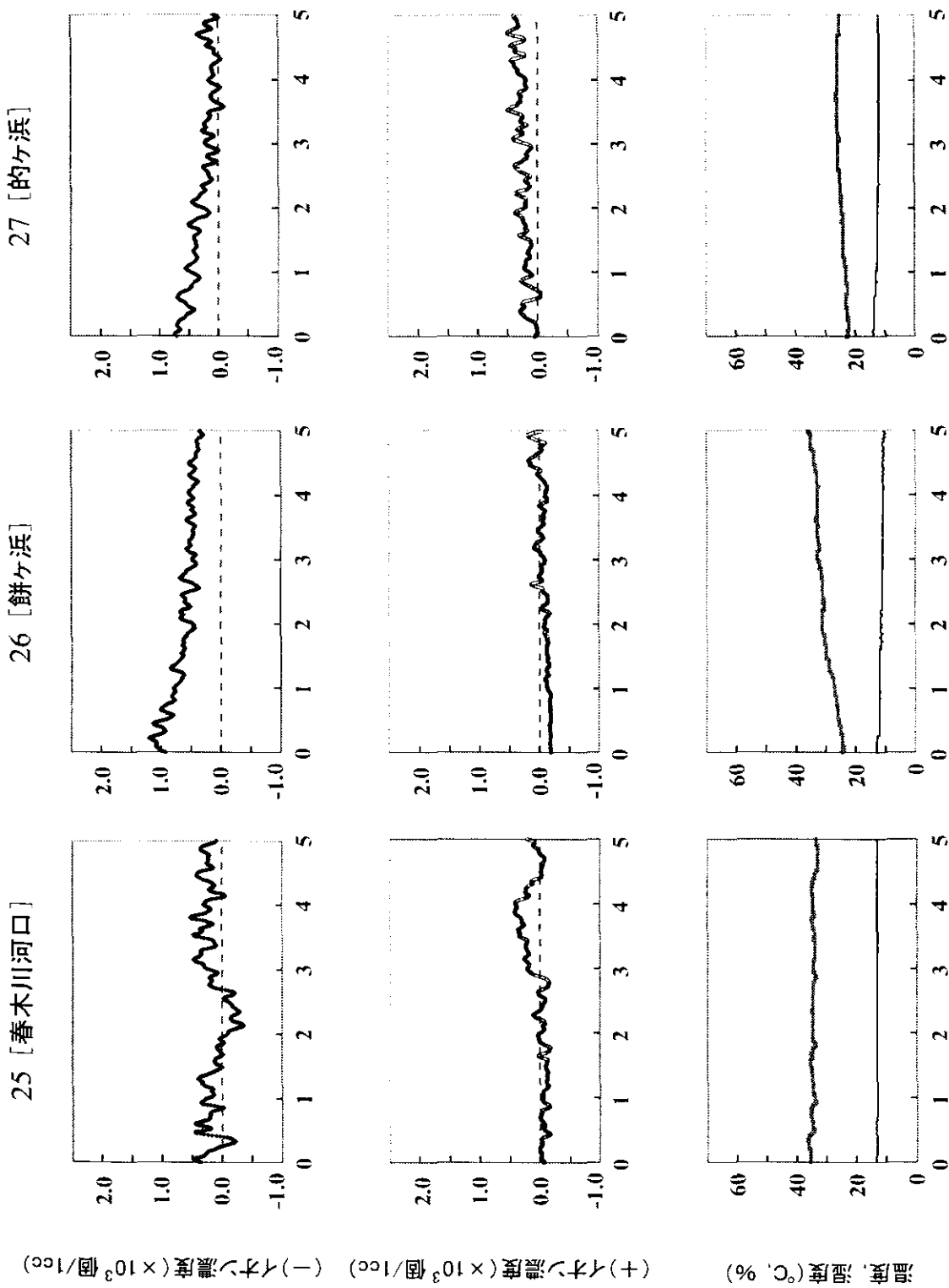


図2-7. 別府沿岸沿いにおいて測定された空気イオン濃度および気温 (細線)・湿度 (太線) の時間変動データ

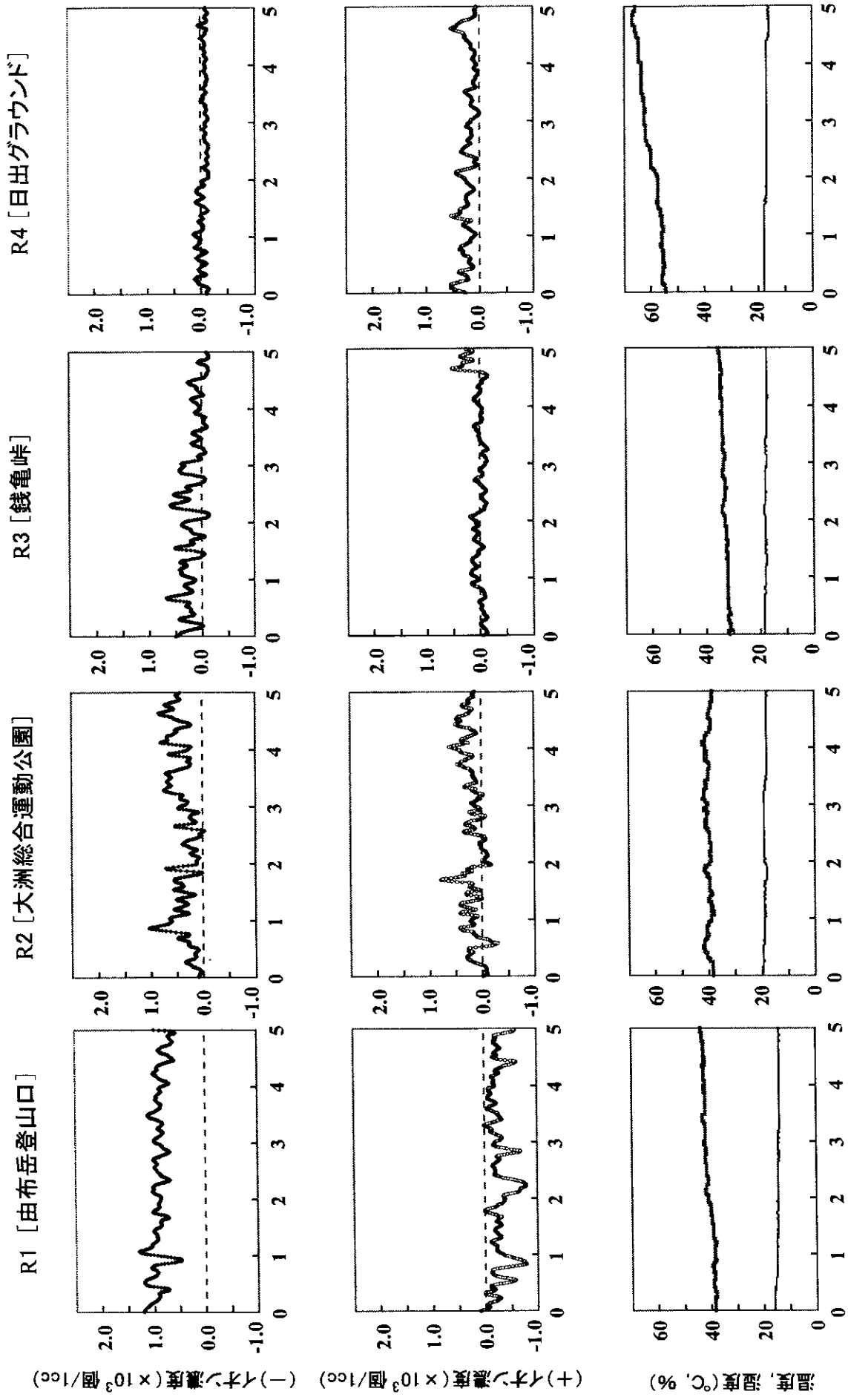


図3. 由布岳登山口・大洲総合運動公園・銭亀峠・日出グラウンドで得られた空気イオン濃度の時間変動データ (2005年11月9日、2006年3月11日測定)

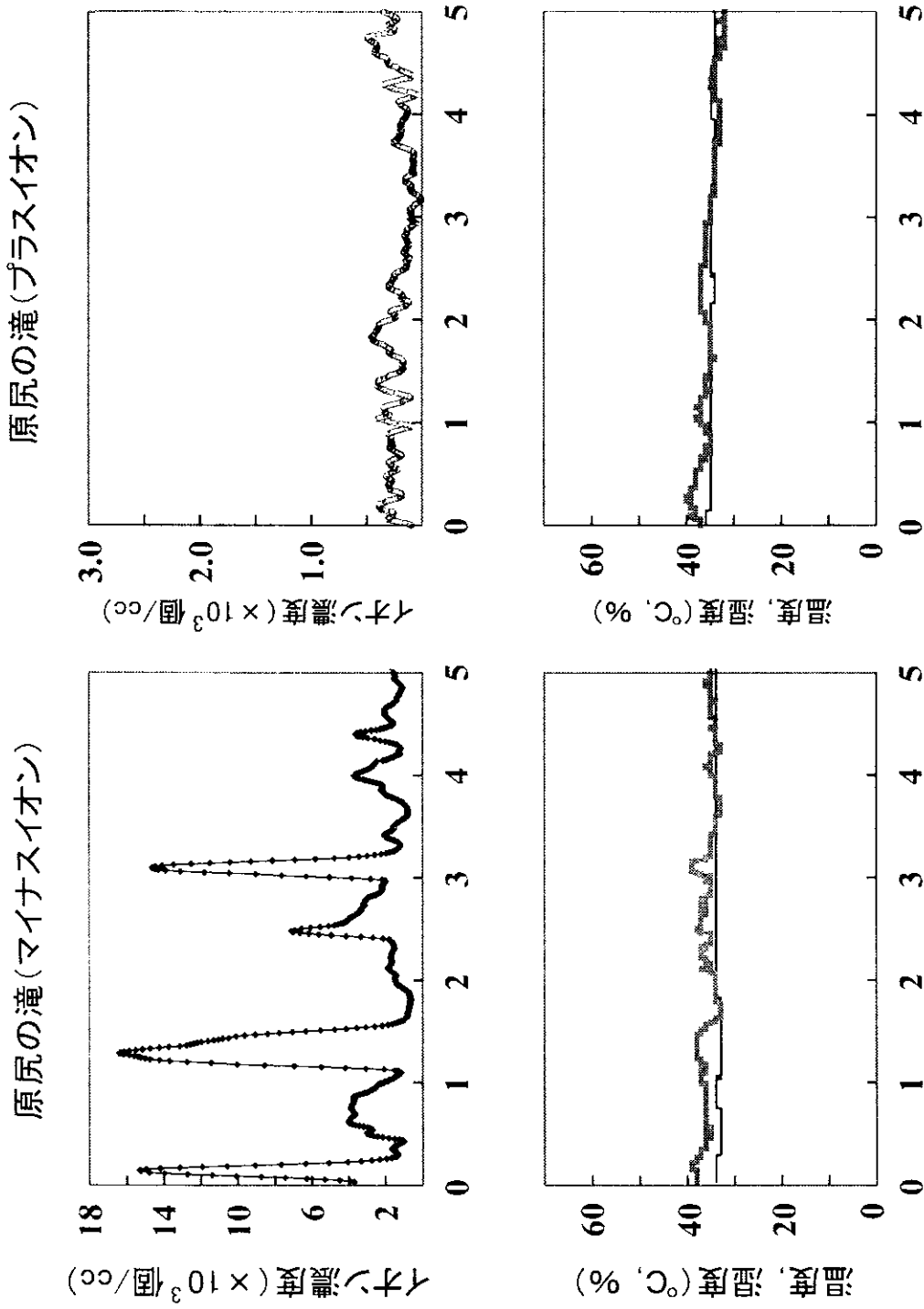


図4. 原尻の滝におけるプラスイオンとマイナスイオン濃度と測定時の湿度のデータ (2004年7月20日測定)

測定日	観測点No.	測定地点名	測定開始時刻	平均気温 (°C)*	平均湿度 (%)*	風向	風速 (m/s)**	備考
2005/11/9	1	湯山明礬小屋	11:37:00	16.3	47.7	—	0.0	時折、南東の風が吹く(最大で3.5 m/s)
2005/11/9	2	地獄遊歩展望台	12:03:30	18.5	42.5	—	0.0	測定器が完全に濡けむりまかれることも
2005/11/9	3	鍋山噴気地帯	13:19:00	18.5	44.6	—	0.0	時折、南西の風が吹く(最大で3.0 m/s)
2005/11/9	4	明礬グラウンド	13:43:30	17.2	41.0	—	0.0	
2005/11/9	5	鶴の湯	14:10:30	16.5	47.0	—	0.0	
2006/3/7	6	別府倶楽部西側タンク	14:08:00	18.9	45.8	SE	1.0	
2006/3/7	7	平和園	14:31:00	15.5	44.7	—	0.0	井戸口から霧状の水滴が落ちてくる
2006/3/8	8	鉄輪地獄地帯公園1	13:26:30	19.5	29.9	—	0.0	朝日中学校の道路反対側
2006/3/8	9	鉄輪地獄地帯公園2	13:45:30	19.9	32.0	—	0.0	山地獄の横
2005/11/9	10	鉄輪	14:37:00	17.9	60.5	—	0.0	
2006/3/8	11	貴船城入口	14:30:00	17.5	41.8	—	0.0	
2006/3/7	12	ざぼん漬センター	14:57:00	14.9	51.8	—	0.0	
2006/2/13	13	柴石温泉	16:21:15	9.12	46.1	—	0.0	
2006/2/13	14	地の池地獄駐車場	15:52:00	10.9	34.5	—	0.0	
2006/2/13	15	内籠	15:35:30	13.9	28.3	—	0.0	
2006/2/13	16	亀川	15:21:30	14.8	27.4	—	0.0	
2006/3/7	17	福寿園	15:33:00	15.6	55.7	—	0.0	
2006/3/7	18	小倉	15:01:00	16.8	53.4	—	0.0	
2006/3/8	19	竹の内住宅	10:26:30	15.0	44.0	—	0.0	
2006/3/8	20	原交差点	10:49:30	17.7	37.9	—	0.0	
2006/3/8	21	実相寺山	11:15:00	15.1	40.9	—	0.0	
2006/3/8	22	中部地区公民館	12:00:30	18.8	36.7	—	0.0	道路脇の歩道上、電線の真下
2006/3/8	23	北石垣公園	14:56:00	15.6	52.3	—	0.0	微風あり
2006/3/8	24	国際観光港	15:19:00	14.8	61.4	—	0.0	
2006/2/13	25	春木川河口	14:56:00	13.1	34.5	SE	3.0	
2006/2/13	26	餅ヶ浜	14:35:30	11.4	30.6	—	0.0	電線の真下
2006/2/13	27	的ヶ浜	14:01:33	12.4	24.7	—	0.0	微風(東)
2005/3/5	28	別府中央魚市場	9:44:00	11.4	33.3	—	0.0	04年度観測点 BS-01
2005/3/5	29	浜脇湯都ピア	11:05:00	10.2	30.0	東	3.7	04年度観測点 BS-02
2005/3/5	30	南小学校	11:27:00	10.7	28.6	西	2.0	04年度観測点 BS-03
2005/3/5	31	朝見神社鳥居前	11:47:00	11.6	25.2	西	1.0	04年度観測点 BS-04
2005/3/5	32	山本病院横	12:06:00	10.9	32.7	西～北	1.0	04年度観測点 BS-05
2005/3/5	33	西小学校	12:23:00	9.8	32.4	西	3.5	04年度観測点 BS-06
2005/3/5	34	ラクテンチ駐車場	12:46:00	11.2	27.2	北	1.0	04年度観測点 BS-07
2005/3/6	35	扇山浄水場入り口	10:27:00	11.5	21.4	西	1.7	04年度観測点 BS-08
2005/3/6	36	市営堀田温泉源泉	10:44:00	10.0	28.1	西	3.0	04年度観測点 BS-09
2005/3/6	37	高速高架下	11:02:00	8.8	31.4	西～北	3.3	04年度観測点 BS-10
2005/3/6	38	堀田温泉	11:24:00	12.1	27.4	北	2.2	04年度観測点 BS-11
2005/3/6	39	海雲寺上	11:47:00	13.3	21.6	西～南	2.2	04年度観測点 BS-12
2005/3/6	40	スギノイ駐車場	12:01:00	12.8	21.9	西	1.1	04年度観測点 BS-13
2005/3/6	41	観海寺温泉	12:19:00	12.5	26.9	東～南	2.5	04年度観測点 BS-14
2005/3/6	42	杉の井地熱	12:36:00	10.8	31.4	東～南東	1.6	04年度観測点 BS-15
2005/3/6	43	丸尾温泉	12:57:00	13.0	24.8	南西	1.1	04年度観測点 BS-16
2005/3/6	44	トキハ駐車場	13:09:00	14.2	21.4	北西～西	1.7	04年度観測点 BS-17

* 平均気温、平均湿度は測定を行った5分間分のデータの平均値

** 風速は30秒間の平均風速

表1. 観測点における測定時(5分間)の平均気温・平均湿度、風向・風速データ

測定点	測定地点名	エアロゾル濃度 (個/立方メートル)				
		0.3 (μm)	0.5 (μm)	1.0 (μm)	2.0 (μm)	5.0 (μm)
1	湯山明礬小屋	157828	23580	3227	1399	150
2	地獄遊歩展望台	134407	17427	2995	15553	141
3	鍋山噴気地帯	117277	15384	3162	1840	136
4	明礬グラウンド	84478	14365	2787	1155	107
5	鶴の湯	102153	11956	2560	1134	111
6	別府倶楽部西側タンク	345086	45637	2768	326	37
7	平和園	370903	53043	2877	753	60
8	鉄輪地獄地帯公園1	444705	61217	4976	1555	177
9	鉄輪地獄地帯公園2	421342	55575	5704	1517	184
10	鉄輪	102808	10288	34530	38890	100
11	貴船城入口	378495	56787	5350	1493	160
12	ぎぼん漬センター	337893	46079	3492	930	60
13	柴石温泉	54976	5347	803	195	24
14	地の池地獄駐車場	57798	5298	794	234	19
15	内籠	69613	5700	764	281	26
16	亀川	78474	5634	740	291	28
17	福寿園	359716	47827	2968	745	69
18	小倉	436343	50549	2700	859	66
19	竹の内住宅	406814	62827	5101	1341	147
20	原交差点	417025	52436	5135	1349	149
21	実相寺山	471308	73514	6280	1566	168
22	中部地区公民館	468827	85289	6342	1984	198
23	北石垣公園	426179	66074	6384	1907	169
24	国際観光港	437996	83129	6422	2080	170
25	春木川河口	94834	7570	1120	352	51
26	餅ヶ浜	64218	5574	862	280	27
27	的ヶ浜	107755	10079	1416	440	42
28	別府中央魚市場	233387	19828	1417	308	39
29	浜脇湯都ピア	233387	19828	1417	308	39
30	南小学校	194621	16079	557	128	9
31	朝見神社鳥居前	98669	7123	433	102	16
32	山本病院横	135496	8285	485	94	18
33	西小学校	114103	4505	243	55	4
34	ラクテンチ駐車場	104308	4392	351	87	8
35	扇山浄水場入り口	21060	763	92	110	1
36	市営堀田温泉源泉	64480	5707	21491	41690	5
37	高速高架下	5349	424	31	8	1
38	堀田温泉	98877	3207	592	72	14
39	海雲寺上	65306	6235	432	80	7
40	スギノイ駐車場	76418	4166	374	99	8
41	観海寺温泉	65338	4570	443	86	5
42	杉の井地熱	70524	4023	394	100	6
43	九尾温泉	58517	3673	346	101	5
44	トキハ駐車場	71360	2958	355	97	2

表2. エアロゾルの粒径別濃度測定の結果

測定日	空気イオン濃度5分間平均値 (個/cc)		同日に測定を行なった観測点
	マイナス	プラス	
2005年11月9日	250	922	1, 2, 3, 4, 5, 10, R1
2006年2月13日	516	200	13, 14, 15, 16, 25, 26, 27
2006年3月7日	153	541	6, 7, 12, 17, 18
2006年3月8日	101	390	8, 9, 11, 19, 20, 21, 22, 23, 24
2006年3月11日	137	540	R2, R3, R4

表3. 今回の全測定実施日における研究施設前庭でのプラスイオン・マイナスイオン濃度の5分間平均値



写真1 湯山明礬小屋(観測点No. 1)



写真2 地獄遊歩展望台(観測点No. 2)



写真3 鍋山噴気地帯(観測点No. 3)



写真4 明礬グラウンド(観測点No. 4)



写真5 柴石温泉(観測点No. 13)

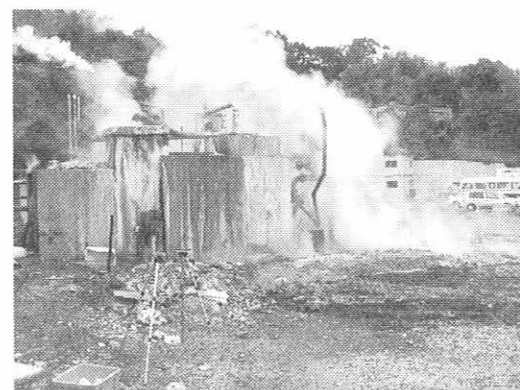


写真6 鉄輪(観測点No. 10)

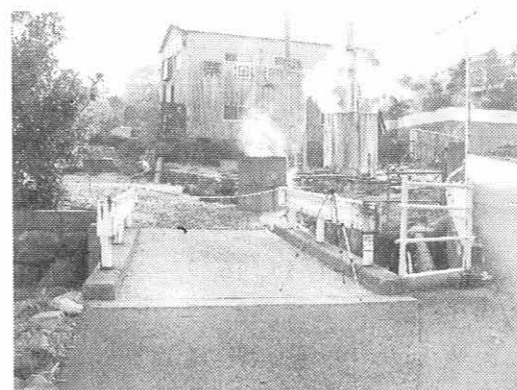


写真7 小倉(観測点No. 18)

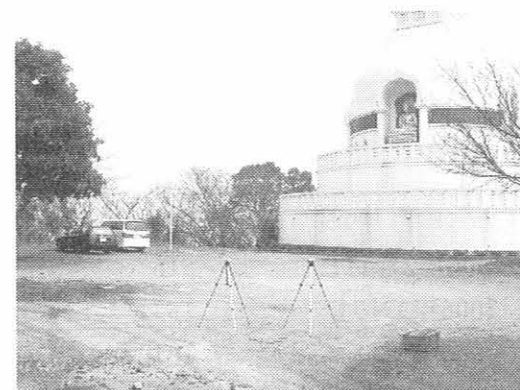


写真8 実相寺山(観測点No. 21)

参考文献

- 網田和宏、山田誠、馬渡秀夫、大沢信二（2004）：温泉地における空気イオン測定（1），大分県温泉調査研究会報告，第56号，11-24.
- Colbeck, I. Edited, (1998) : Physical and chemical properties of aerosols, Blackie academic & professional, 465p.
- 本間克典 編著（1990）：実用エアロゾルの計測と評価、技報堂出版、310p.
- 北川信一郎 編著（1996）：大気電気学、東海大学出版会、200p.
- 日本大気電気学会 編（2003）：大気電気学概論、コロナ社、237p.
- 大分県生活環境部生活環境課（2001）：大分県温泉管理基本計画.
- 琉子友男、佐々木久夫 編著（2003）：空気マイナスイオン実用ハンドブック — バイオ・農畜産・医療・環境生理、491p.
- 高橋幹二（2003）：エアロゾル学の基礎、森北出版、221p.

全岩微量元素組成を用いた由布岳・鶴見岳におけるマグマ生成の解明

京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設

杉本 健・柴田 知之
芳川 雅子・竹村 恵二

要 旨

蛍光X線分析装置およびICP-MS分析装置を用いて、由布岳および鶴見岳火山岩類のREE元素を含めた微量元素組成の分析を行った結果、東北日本弧の第四紀火山でみられるような、典型的な沈み込み帯の火山とは異なる地球化学的特長をとらえた。この原因として、沈み込むフィリピン海プレートの部分熔融液が、本地域のマグマ発生に関与した可能性を挙げることができる。

1. はじめに

由布岳・鶴見岳火山は、九州北東部に位置する溶岩ドームを主とする第四紀火山であり、姫島火山・両子山火山・九重火山・阿蘇火山と共に中部～北部九州の火山フロントを形成する。両火山の活動は3万5千年前以前から現在まで活動を続けており、噴出物は角閃石安山岩～デイサイトに区分されている(例えば、小林, 1984; 星住ほか, 1988; 太田ほか, 1990; 藤沢ほか, 2002)。これまで由布岳・鶴見岳火山岩類については、REE元素を含むICP-MS分析の報告が行われていない。このため今回、両火山岩類に属する25試料について、蛍光X線分析装置およびICP-MS分析装置を用いた、全岩主成分元素および微量元素組成の測定を行うと共に、由布岳・鶴見岳火山のマグマの起源の検討を行った。

2. 分析試料および分析方法

分析試料は、図1に示した地点より、既存の調査(竹村・由佐, 1993; 竹村ほか, 1994)で得られた12試料に加え、今回新たに採取した13試料を加えた、合計25試料である。これらは太田ほか(1990)および藤沢ほか(2002)で示された、由布岳・鶴見岳火山を構成する、全ての溶岩ドームおよび溶岩流をカバーする。なお図1中の英文字は、太田ほか(1990)の各ユニットの略称に相当する。分析試料の記載岩石学的特徴は、総斑晶量25～38 vol.%の角閃石単斜輝石安山岩である。以上の25試料について、蛍光X線分析およびICP-MS分析により、全岩主成分元素および微量元素組成を測定した。分析は全て京都大学理学研究科付属地球熱学研究施設で行った。なお、分析試料中にはしばしば数cm～十数cm大の暗色包有物が認められたが、これらは全て取り除いて分析を行った。蛍光X線分析については全試料について、1:4に希釈したガラスビードを使用し、波長分散型蛍光X線分析装置(RIGAKU, System3070)を用いた。ICP-MS分析については10試料について、酸分解処理を行った溶液試料を使用し、四重極型ICP-MS装置(Thermo Electron, PlasmaQuad 3)を用いた。

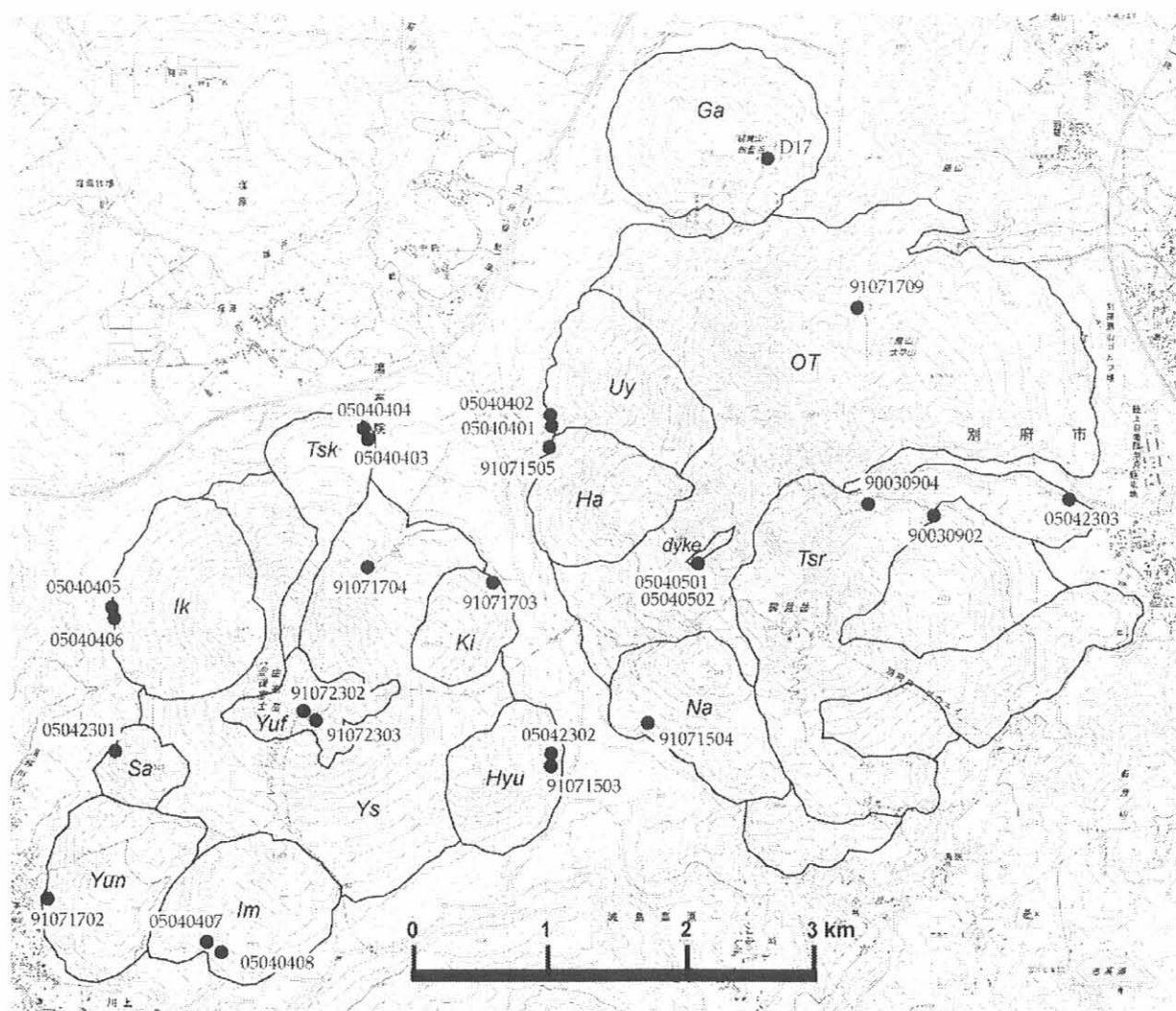


図1. 分析試料採取地点 (国土地理院発行25,000分の1地形図「別府西部」「日出生台」を使用)

3. 分析結果と考察

由布岳・鶴見岳火山岩類の主成分元素組成については、ハーカー図上で、 $\text{SiO}_2 = 58.3 - 65.8 \text{ wt.}\%$ の範囲で連続した直線的な組成分布を示す (図2)。この組成分布は、太田ほか (1990) および、太田・青木 (1991) によって、玄武岩質マグマとデイサイト質マグマの二端成分マグマ混合モデルで説明されている。

由布岳・鶴見岳火山岩類の微量元素組成の特長は、以下の通りである。N-MORB規格化図上で、すべての試料についてNbの負異常を伴うarc signatureが認められる (図3)。また、両火山岩類はNb vs Zr図上で、原点を通る直線上にプロットされ (図4)、由布岳・鶴見岳火山マグマは同一の起源マグマから一般的な沈み込み帯におけるマグマ生成プロセスを経て噴出したと考えることができる。しかし、本火山群の岩石のNb/Zr比 (0.06~0.09) は一般的な島弧マグマ (~0.03; Shibata and Nakamura, 1997) と比べ高い。また、両火山岩類はChondrite規格化図上で、典型的な沈み込み域と考えられる東北日本弧の珪長質火山岩類と比較して、HREE元素に乏しいREEパターンを有する (図5)。さらに、両火山岩類はY vs Sr/Y図上で、アダカイトの領域と、島弧珪長質火山岩類の領域の境界 (Defant and Drummond, 1990) をまたいでプロットされる (図6)。

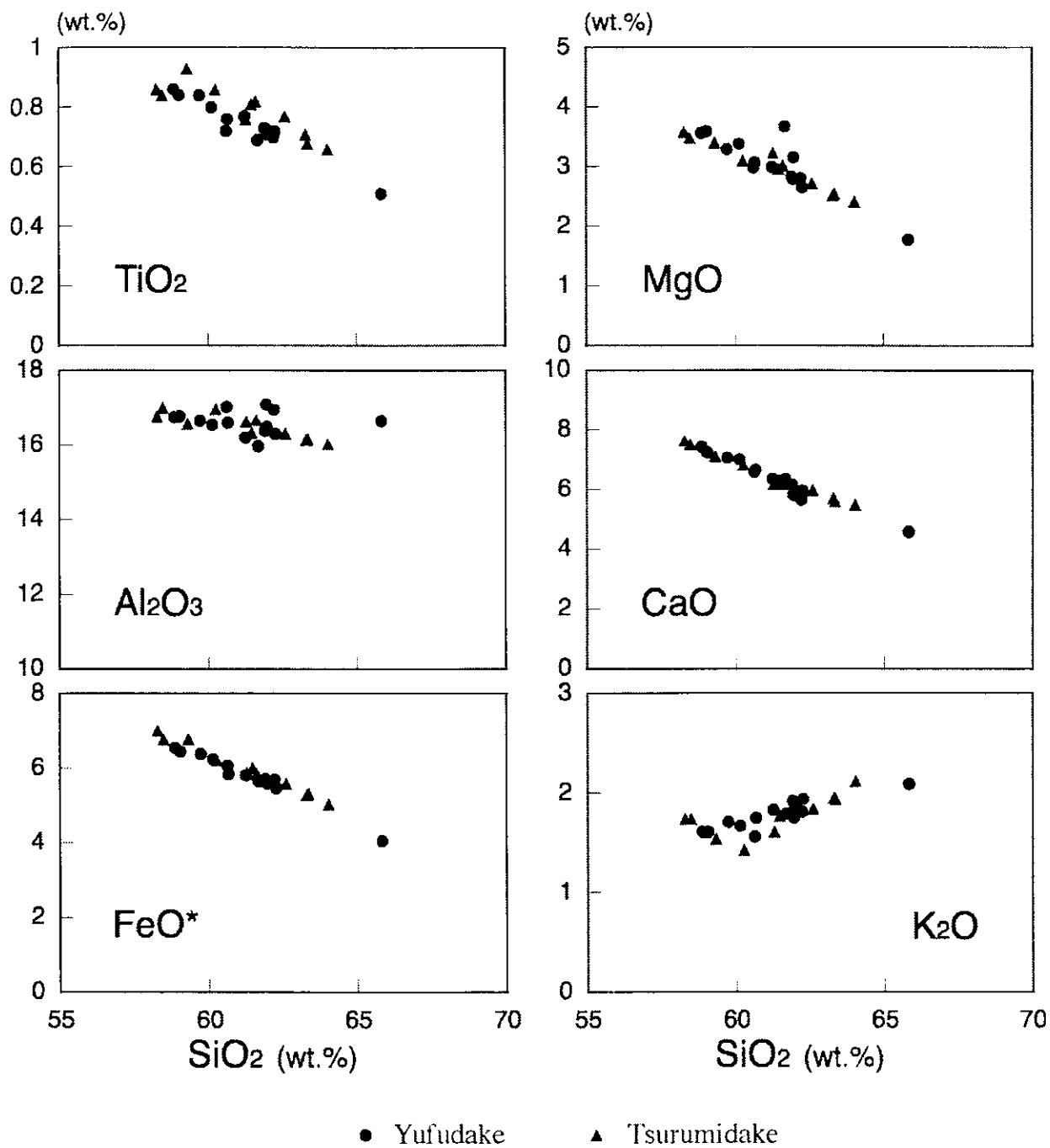


図2. 由布岳・鶴見岳火山岩類の主成分元素組成 (ハーカー図)

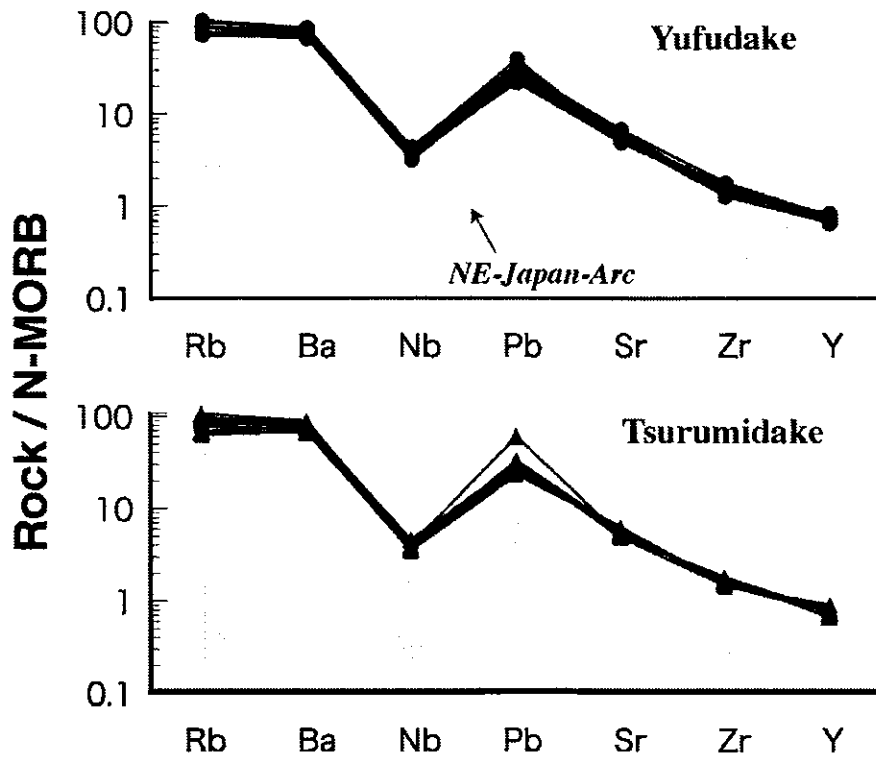


図3. 微量元素組成のN-MORB規格化図

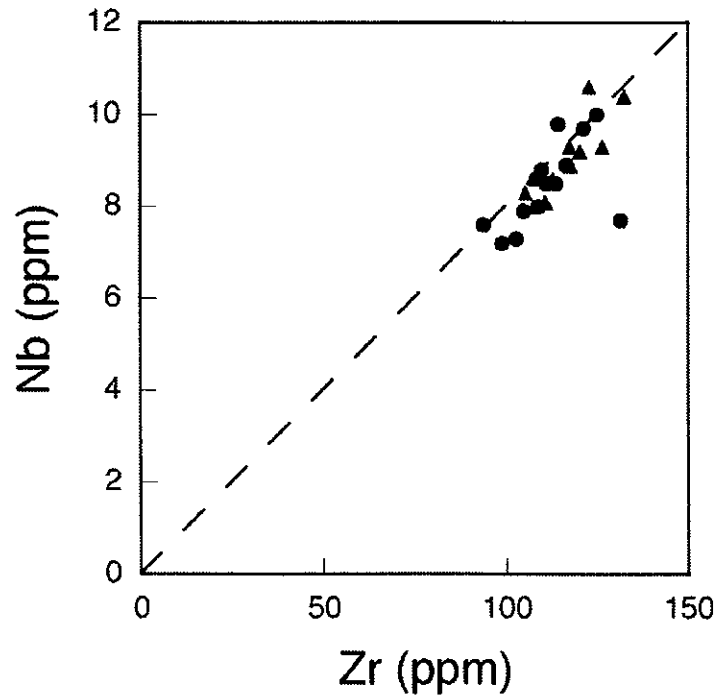


図4. Nb vs. Zr変化図。点線は原点を通る直線。

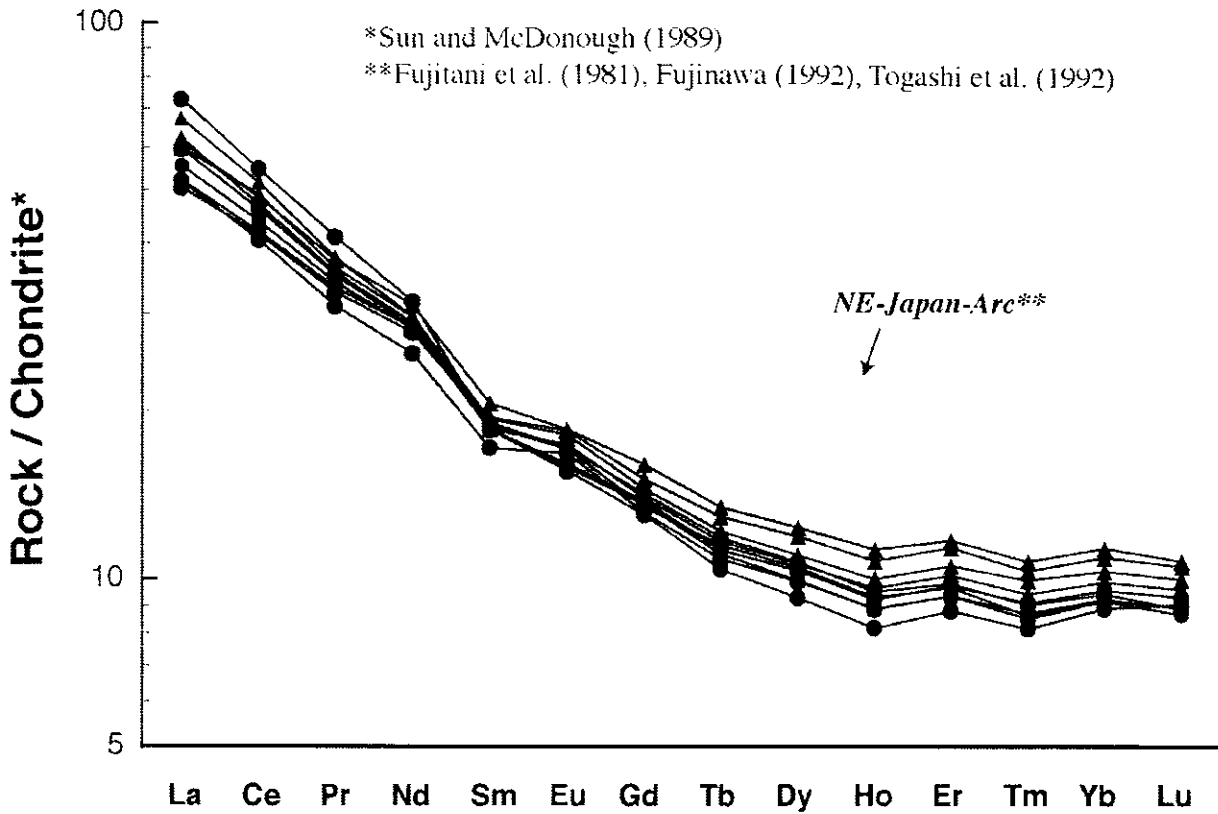


図5. REE元素組成のコンドライト規格化図

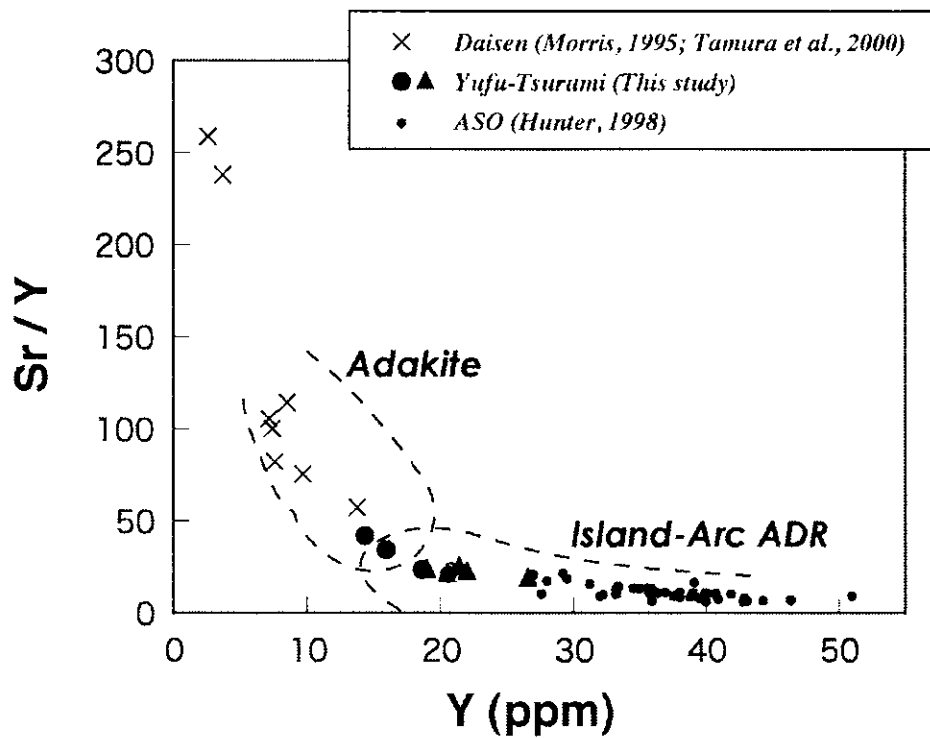


図6. Y vs. Sr/Y比変化図。点線の領域はDefant and Drummond (1990) による

これらの特徴の説明には、一般的な沈み込むスラブ由来の流体相が付加したMORB タイプのマントルウェッジを起源とする島弧マグマの成因だけを単純に適用することはできず、スラブ融解によるマグマ生成 (Defant and Drummond, 1990) が関与した可能性が高い。西南日本地域においては、フィリピン海プレートの沈み込みによるスラブ融解が議論されており (例えば、Morris, 1995; 柴田, 2005)、由布岳・鶴見岳火山についても同様のマグマ発生プロセスが関与したのかもしれない。

4. まとめ

蛍光X線分析装置およびICP-MS分析装置を用いて、由布岳および鶴見岳火山岩類のREE元素を含めた微量元素組成の分析を行った結果、東北日本弧の第四紀火山でみられるような、典型的な沈み込み帯の火山とは異なる地球化学的特長をとらえた。この原因として、沈み込むフィリピン海プレートの部分溶融液が本地域のマグマ発生に関与した可能性を挙げることができる。今後、起源マグマについての議論をさらに進めるために、地表近くのマグマプロセス (結晶分化作用など) の影響を受けにくいと考えられる、同位体組成データを揃えていく必要があると考えられる。

引用文献

- Defant, M. J. and Drummond, M. S. (1990) Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347, 662-665.
- Fujinawa, A. (1992) Distinctive REE patterns for tholeiitic and calc-alkaline magma series co-occurring at Adataro volcano, northeast Japan. *Geochem. J.*, 26, 395-409.
- 藤沢康弘・奥野充・中村俊夫・小林哲夫 (2002) 九州北東部、鶴見火山の最近3万年間の噴火活動. *地質学雑誌*, 108, 48-58.
- Fujitani, T., Masuda, A. (1981) Light REE inclination and distance from volcanic front: A case of volcanic rocks in northeastern Japan. *Geochem. J.*, 15, 269-281.
- Gust, D. A., Arculus, R. J., Kersting, A. B. (1997) Aspects of magma sources and processes in the Honshu arc. *Can. Mineral.*, 35, 347-365.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹朗 (1988) 別府地域の地質. *地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅)*, 地質調査所, 131p.
- Hunter, A. G. (1998) Intracrustal Controls on the Coexistence of Tholeiitic and Calc-alkaline Magma Series at Aso Volcano, SW Japan. *J. Petrol.*, 39, 1254-1284.
- Kimura, J. I., Tanji, T., Yoshida, T., Iizumi, S. (2001) Geology and geochemistry of lavas at Nekoma volcano: Implications for origin of Quaternary low-K andesite in the north-eastern Honshu arc, Japan. *Island Arc*, 10, 116-134.
- Kimura, J. I., Yoshida, T., Iizumi, S. (2002) Origin of low-K intermediate lavas at Nekoma volcano, NE Honshu arc, Japan: Geochemical constraints for lower-crustal melts. *J. Petrol.*, 43, 631-661.
- 小林哲夫 (1984) 由布・鶴見火山の地質と最新の噴火活動. *地質学論集*, 24, 93-107.
- Morris, P. A. (1995) Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in southwest Japan. *Geology*, 23, 395-398.
- 太田岳洋・長谷中利昭・藤巻宏和 (1990) 大分県中部、由布・鶴見火山群の地質と岩石. *岩鉱*, 85, 113-129.
- 太田岳洋・青木謙一郎 (1991) 由布・鶴見火山群における安山岩マグマの成因、二端成分マグマ混合モデル. *岩鉱*, 86, 1-15.

- 竹村恵二・由佐悠紀 (1993) 別府地域の火山岩調査. 大分県温泉調査研究会報告, 44, 15-24.
- 竹村恵二・由佐悠紀・馬渡秀夫 (1994) 別府地域の火山岩調査 2、北部地域. 大分県温泉調査研究会報告, 45, 11-14.
- Sakuyama, M. and Nesbitt, R.W. (1986) Geochemistry of the Quaternary volcanic rocks of the northeast Japan arc. *J. Volcanol. Geother. Res.*, 29, 413-450.
- Shibata, T. and Nakamura, E. (1997) Across arc variations of Pb, Sr and Nd isotopic compositions from Quaternary basaltic rocks in northern Japan: implication for interaction between subducted oceanic slab and wedge mantle. *J. Geophys. Res.*, 102, 8051-8064.
- 柴田知之 (2005) 両子山火山の地球化学的研究. 大分県温泉調査研究会報告, 56, 29-31.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of ocean island basalts: implications for mantle compositions and processes. In Saunders, A.D. and Norry, M.J. (eds). *Magmatism in the Ocean Basins*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 42, 313-345 pp.
- Tamura, Y., Yurara, M. and Ishii, T. (2000) Primary arc basalts from Daisen Volcano, Japan: equilibrium crystal fractionation versus disequilibrium fractionation during super-cooling. *J. Petrol.*, 41, 431-448.
- Togashi, S., Tanaka, T., Yoshida, T., Ishikawa, K., Fujinawa, A., Kurasawa, H. (1992) Trace-elements and Nd-Sr isotopes of island arc tholeiites from frontal arc of northeast Japan. *Geochem. J.*, 26, 261-277.

別府地域の熱源となっているマグマの供給機構を探る

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設
山本 順 司・竹 村 恵 二

要 旨

温泉活動の本質を理解する方途の一つとして、マグマの地球化学的性質や発生機構の解明が有用であろう。我々は別府地域において数万年以内に噴出したマグマの地球化学的特徴から長期間に渡って別府地域の熱源として機能してきたマグマの供給源を究明した。

別府地域で現在最も活動的な領域は伽藍岳近辺であるが、数万年前から鶴見岳や由布岳の噴火が始まり、一万年前には鬼箕（おにのみ）玄武岩と呼ばれる火山岩が噴出している。これらのマグマが別府地域の温泉活動の熱源になっていると考えられるため、希ガス同位体組成を用いてその地球化学的特徴とマグマ供給機構を探った。

我々は鬼箕玄武岩に見られるカンラン石斑晶の希ガス同位体組成を分析した。 $^4\text{He}/^3\text{He}$ はマントル最上部を代表する中央海嶺玄武岩の値よりわずかに低い。これは地殻から由来した放射起源 ^3He の影響を示唆している。一方、 $^{39}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ は大気 ^{39}Ar の値より高いが、中央海嶺玄武岩の値に比べると明らかに低い。これは鬼箕玄武岩のマグマ源に大気由来のアルゴンが影響していることを意味している。 $^4\text{He}/^3\text{He}$ の結果と考え合わせて鬼箕玄武岩中の希ガスの由来成分を計算すると、マントルの他に大気や地殻由来の希ガスが寄与していると分かった。

地殻から由来した希ガス成分に関しては二つの起源が考えられる。一つはマグマ噴出域の島弧地殻であり、もう一つは沈み込んだ海洋地殻である。もし島弧地殻が影響しているならば、その放射起源同位体比である $^4\text{He}/^{39}\text{Ar}$ や $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ は生成比に収束するべきだが、測定結果は著しく低い値を示した。これは鬼箕玄武岩に見られる希ガスの地殻成分が日本直下へ沈み込んだ海洋地殻由来であることを示唆する。つまり、別府地域の熱源として機能していると考えられる鬼箕玄武岩は、マントル深部から突発的に上昇してきたブルーム的なマグマではなく、海洋プレートの沈み込み域に普遍的に見られるマグマ生成場から由来したものであることを示している。

緒言

古くから、地球の化学的進化を追う指標として同位体比が用いられている。特に希ガス同位体比は地球内部や大気の進化に関する議論において重要な役割を担ってきた。例えば、マントル最上部から由来した中央海嶺玄武岩の希ガス同位体組成は世界中で一様な値を示すが、海洋プレートの沈み込み域に産するマントル起源物質の希ガス同位体組成は海洋地殻成分の影響を反映している。また、ハワイのようなプレートの動きと直接関係しない地球深部由来のマグマは地球生成初期の希ガス同位体組成を保持していると考えられている。それ故、別府のように特異な地熱地帯の熱源となっているマグマの供給源を探るには地球内部の様々な端成分を識別できる希ガス同位体組成を用いることが極めて有用であろう。

試料及び測定法

測定試料は大分県由布市に産する鬼箕玄武岩中のカンラン石斑晶である。鬼箕玄武岩は凡そ一万年前に噴出した単成火山であり (Ohta et al., 1992)、現在、別府地域で最も活発な地熱活動を見せる伽藍岳の麓に位置している。

カンラン石斑晶は超高真空対応鉋物破砕器に封入し、150度で10時間ほど超高真空下に曝した。希ガスの抽出には真空破砕法を採用し、東京大学地震研究所の希ガス用質量分析装置により抽出、精製及び

測定を行った。

結果

測定結果はTable 1.にまとめた。鬼箕玄武岩のカンラン石斑晶は中央海嶺玄武岩に比べてわずかに低い $^3\text{He}/^4\text{He}$ を見せる。 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ もかなり低いが大気の数よりは高い。ネオン、クリプトン及びキセノン同位体組成に関しては大気の数に比べて有意な違いが見られなかった。

Table 1. Noble gas isotopic compositions of olivine phenocrysts in the Oninomi Basalt

weight (g)	^3He (10^{-14})	^4He (10^6)	^{20}Ne (10^{-11})	^{22}Ne (10^{-11})	^{36}Ar (10^{-11})	^{40}Ar (10^{-11})	^{84}Kr (10^{-12})	^{136}Xe (10^{-14})
1.088	1.72 ± 0.25	1.74 ± 0.16	2.16 ± 0.22	7.37 ± 0.44	3.97 ± 0.23	1.94 ± 0.19	6.34 ± 0.43	
	$^3\text{He}/^4\text{He}$ (F/R _A)	$^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$	$^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$	$^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$	$^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$ (10^7)	
	6.74 ± 0.85	9.96 ± 0.35	0.0340 ± 0.0037	538.0 ± 2.1	0.1883 ± 0.0010	0.097 ± 0.010	1.6 ± 1.2	

N.B., Unit for abundance is cm³STP/g. All tabulated data were corrected for blanks.

議論

鬼箕玄武岩に見られる $^3\text{He}/^4\text{He}$ は中央海嶺玄武岩の数より ^4He に富む。これはUやThなどの放射性元素の放射壊変に由来する放射起源 ^4He の影響を示唆する。マントルにおける放射性元素濃度は地球表層物質に比べてはるかに小さいため、放射起源成分は地殻由来であると考えられる。また、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ は大気とマントルの間の値を示す。それ故、鬼箕玄武岩中の希ガスの起源はマントルと大気、地殻に由来するものと考えられる。鬼箕玄武岩中の希ガス、特にアルゴンに対するこれらの端成分の寄与を計算するとFig. 1のようになり、鬼箕玄武岩を単純にマントル由来のマグマと考えてはならないことが分かる。

また、マグマに影響する地殻成分には二つの因子が考えられる。一つは島弧地殻であり、もう一つは日本直下へ沈み込んだ海洋地殻である。この両者の区別も希ガス同位体組成を用いれば容易である。島弧地殻中の放射起源の希ガス同位体の割合は長い滞在期間によって一定値に収束している。例えば、UやTh起源の ^4He とK起源の ^{40}Ar の比 ($^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$) はモル比で2から20程度の値に収束する。同様に $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$ もモル比で 10^7 から 10^8 程度の値に収束する。しかし、鬼箕玄武岩の値は収束値より明らかに低い (Fig. 2)。鬼箕マグマの生成場である日本直下のマントル内では、繰り返し通過するマグマによってマグマへの溶解度が高いHeが選択的に取り去られ、Heの枯渇が生じている。それ故、鬼箕玄武岩に見られる特異な放射起源同位体比はマントルの値を反映しており、島弧地殻の影響は小さいと推定される。つまり、鬼箕玄武岩に影響した地殻成分は日本直下に沈み込んだ海洋プレート由来と考えられる。

以上のことから鬼箕玄武岩中の希ガスはマントルと大気、海洋地殻の3つの成分から由来したと考え

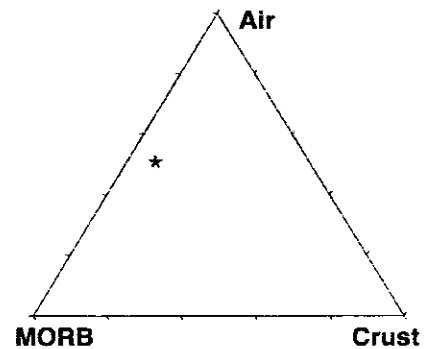


Fig. 1. Estimated argon contributions from mantle (MORB), atmosphere and crust in gas extracted from olivine as calculated following the procedure and assumptions of Patterson et al. (1994).

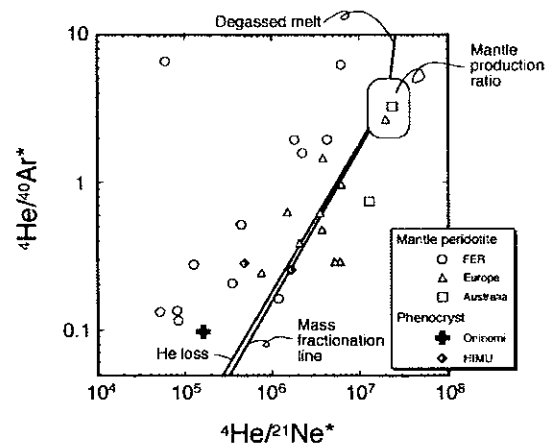


Fig. 2. $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}^*$ versus $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}^*$ diagram of the phenocrystic olivine of the Oninomi basalt with data obtained by crushing olivine in mantle peridotites and basaltic rocks. The production ratio of $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$ is constant in the mantle at 2.2×10^7 (Yatsevich and Honda, 1997; Leya and Wieler, 1999). The production ratio of $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$ in the mantle is around 4. Data sources for the continental mantle xenoliths are as follows: FER (Far Eastern Russia) (Yamamoto et al., 2004), Europe (Gautheron et al., 2005, Australia (Matsumoto et al., 1998; 2000) and Japan (Matsumoto et al., 2001). Data source for the basaltic magma in Italia and HIMU are Marty et al. (1994) and Hanyu et al. (1999), respectively. The solid lines show elemental fractionation caused by He loss, mass-dependent fractionation and solubility-controlled mass fractionation from the original mantle source having mantle production ratio of $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$ and $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$.

ることができる。これは鬼箕玄武岩が海洋プレートの沈み込み域に普遍的に見られるマグマ生成場から由来したことを示しており、ハワイのような地球深部から由来したマグマとの関連を示唆しない。

別府地域には鬼箕玄武岩の他にも由布岳や鶴見岳のような活火山が見られる。由布岳や鶴見岳を形成したマグマ活動も海洋プレートの沈み込みに由来すると考えられており (Ohta et al., 1992)、本研究によって明らかとなった鬼箕玄武岩の起源と考え合わせると、別府地域の熱源に特異なマグマ供給系を想定する必要性は排除されよう。

謝辞

三浦弥生博士、羽生毅博士及び平野直人博士には希ガス同位体組成の分析を手伝って戴くとともに多くの有益な御意見を戴いた。

引用文献

- Gautheron C., Moreira M. and Allegre C. (2005) *Chem. Geol.* 217, 97-112.
- Hanyu T., Kaneoka I. and Nagao K. (1999) *Geochim. Cosmochim. Acta* 63, 1181-1201.
- Leya I. and Wieler R. (1999) *J. Geophys. Res* 104, 15439-15450.
- Marty B., Trull T., Lussiez P. and Tanguy J.C. (1994) *Earth Planet. Sci. Lett.* 126, 23-39.
- Matsumoto T., Honda M., McDougall I. and O'Reilly S. Y. (1998) *Geochim. Cosmochim. Acta* 62, 2521-2533.
- Matsumoto T., Honda M., McDougall I., O'Reilly S. Y., Norman M. and Yaxley G. (2000) *Chem. Geol.* 168, 49-73.
- Matsumoto T., Chen Y. and Matsuda J. (2001) *Earth Planet. Sci. Lett.* 185, 35-47.
- Ohta T., Hasenaka T., Ban M. and Sasaki M. (1992) *Bull. Volcanol. Soc. Japan* 37, 119-131.
- Patterson D.B., Honda M. and McDougall I. (1994) *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 4411-4427.
- Yamamoto J., Kaneoka I., Nakai S., Kagi H., Prikhod'ko V.S. and Arai S. (2004) *Chem. Geol.* 207, 237-259.
- Yatsevich I. and Honda M. (1997) *J. Geophys. Res.* 102, B5, 10291-10298.

最近の温泉（権）紛争について（続）

（元大分大学）

大野保治

要 旨

本報告シリーズの題目は、別府八湯の1つで源泉群に恵まれて旧別府市街地域（一部石垣地区を含む）に配湯している西南山手に位置する「堀田温泉」を対象とした温泉権紛争である。郷土紙（大分合同新聞や別府今日新聞）や全国紙でも、ここ3、4年にわたり当該堀田温泉での確認請求訴訟事件の報道がなされたことから、温泉行政担当者や研究者、温泉団体などの関心を集めた。そのため、本研究報告誌で、その概況にアプローチを試みた次第である。だが、当該訴訟がながびき係争中のこともあって、私見を述べるのが憚られた。

今一つは、私的なことながら20年来の持病が再発し、1部を残して完稿しなかったことを深く陳謝したい。

目 次

- | | |
|--|---|
| <p>I 温泉権紛争と温泉法の現状</p> <p>(1) 温泉権紛争と温泉法学の現状</p> <p>(2) 私法上の立法が立ち遅れた法社会学的理由</p> | <p>III 温泉の権利の基礎的法理</p> <p>(1) 温泉というもの</p> <p>(2) 温泉にかかわる民法上の法理</p> <p>(3) 権利の分類</p> <p>(4) 民法上の「物権」と「債権」</p> <p>(5) 温泉に対する物権的支配と債権的支配</p> |
| <p>II 最近の全国での「温泉騒動」</p> <p>(1) 温泉騒動の発端－長野県白骨温泉</p> <p>(2) 全国の温泉地に飛び火－源泉、ブームで不足</p> <p>(3) 大分県での浴場衛生検査－指導を重ねる</p> <p>(4) 宮崎県日向市の温泉施設を強制捜査へ－レジオネラ菌感染事件</p> <p>(5) 温泉には「透明性」が大切－加水表示義務つける(環境省)</p> <p>(6) 大分県での「温泉実態調査」(調査結果)</p> <p>(7) 環境省改正方針－入浴剤・加温も</p> <p>(8) 別府温泉明るいニュース2題</p> | <p>参考資料 (1)</p> <p>参考資料 (2)</p> <p>参考資料 (3)</p> |

[以上は本題シリーズとして第54号～第56号＝平成15～17年度号で報告済]

IV 本号（第57号）で報告

IV 温泉権紛争の概要

(1) 温泉権紛争の構成要因

そもそも温泉の権利は、その歴史的生成からみて、一方には旧来の社会慣習（旧慣）に拠る温泉権、すなわち法社会学界で称する「旧慣温泉権」が存し、他方では明治期以降の近代法＝国家法体系のもとに展開するに至った「近代法的温泉権」が在って、両者は2つの異質の法体系の中に対抗する存在として発展を遂げてきたのである。

要するに、それは明治期以降、社会変動に影響を受けながら、自然（環境）的・経済的要因に規定されて法体系の一元化と権利の近代化への途をたどって来たとも言えよう。

このような発展のプロセスで、両者の性格を異にする温泉権が調和的に存在する限り、温泉利用の社会秩序は平穏が保持される。ところが一旦、不調和音が奏されるとき社会的に惹起するのが本主要テーマの「温泉権紛争」なのである。

このような温泉の権利をめぐる温泉紛争を歴史的事実に即して認識するなら、私見ではあるが、次のような「六時期」に分類することが出来るかと思う。

「第1期」旧慣温泉権が社会生活にあって支配的であった時期（明治以前～明治前半期）。「第2期」は近代法的温泉権の出現にも拘らず、なお、旧慣温泉権が継続・温存されていた時期（明治後半期）。「第3期」は近代法的温泉権の抬頭と併行して旧慣温泉権が解体、もしくは変質を始める時期（大正期）。また、「第4期」は近代法的温泉権がしだいに優位に立ち始めた時期（大正末期～昭和前期）。つづいて「第5期」は旧慣温泉権が衰退に向かう時期（第2次大戦終了～昭和40年頃）。最後の「第6期」は、現代のように近代法的権利が支配的となってきた時期である。

もっとも如上の時代（時期）区分は私見であり、全国に数多い（9000とも？）温泉場の発展過程は画一的に進行したわけではない。全国の各温泉地（場）はそれぞれが千差万別の態様、それぞれの“顔”をもって展開を遂げてきたことは、前年度会誌で報告したところである。なお、詳細については、本誌No. 43（平成4年度号）の拙稿を参照して頂きたい。

以上のような時期的区分が認められるなら、温泉権紛争の態様もまた、それに従って変容する。いま、それを2つの異質の権利主体に視点を向けて把握するなら、次のような分析（モデル型分類）も可能であろう。

- ①旧慣温泉それ自体をめぐる紛争
- ②旧慣温泉権の解体ないし変質のプロセスで見られる紛争
- ③近代法的温泉権の出現過程で起きた紛争
- ④近代法的温泉権自体にかかわる紛争
- ⑤近代法的温泉権相互にかかわる紛争

つづいて紛争の視点を温泉権主体と地域（地区）利用集団との関連に向けると、次のような分類も可能となろう。

- ①温泉権主体（権利主体）にかかわる紛争
- ②温泉権主体と周辺の源泉の利用集団相互にかかわる紛争
- ③温泉利用集団の構成メンバーの資格要件にかかわる紛争
- ④同上で構成メンバー相互の紛争
- ⑤温泉権主体と地域社会にかかわる紛争など

(2) 旧慣温泉権の解体・変質過程に現れる紛争（具体的事例）

温泉権、それもとりわけ温泉権紛争で注目すべき、また重要な法社会的意味をもつ紛争は、旧慣温

泉権の解体ないし変質の過程に見られるものである。(後述—堀田温泉権訴訟)

ここで再び要旨のみ摘記しよう。——

旧慣温泉権にとって替わる近代法上の権利主体は、基本的には個人（または複数の共有）・会社（法人）・温泉組合（源泉が民法上の組合と温泉利用権のみの温泉利用者組合）・配湯会社・財産区などが挙げられる他、歴史的に見ても最も支配的なものとしては、全国的にも数の多い市町村有（ごく一部では県有）の支配管理する「公営温泉」である。

これらの公営による温泉利用は公共性を帯びる点に特徴があり、広く公共の名のもとに特定多数（地域住民）・不特定多数（地域外の湯治客・宿泊客）に利用される。全国的に概観して著名な温泉地では、明治21—22年に採用された町村制で総有による集団利用が解体ないし変質のプロセスで再編成されたもの、に他ならない。

具体的事例として県下の温泉地のそれは、本会誌No. 42—46号に記述しているので、ここでは若干の紛争発生地名と利用温泉名のみ摘記するに留めたい。

<事例1>

別府温泉の鶴見地区（小字ムラ北中）の「谷の湯温泉」（部落共浴場で江戸幕府時代の鶴見七湯の1つ）

<事例2>

同上の鶴見小倉地区の「照湯」・「丘の湯」、それに民有化した「神の湯」（歴史的には事例1に同じ）

<事例3>

別府八湯の1つ、鉄輪温泉の公営温泉「蒸し湯」「洪ノ湯」「元湯」「熱の湯」—歴史的には事例1・2が久留嶋藩（旧豊後森町）の領地であったのに対し、鉄輪温泉は天領であった。

<事例4>

由布院温泉（合併して現由布市）での生活共同ムラが所有する5温泉と町営の3温泉など

<事例5>

旧直入郡長湯町（現竹田市）の町営温泉「長生湯」他

<事例6>

湯平温泉（現由布市）での町営温泉の源泉と旅館所有の個人有源泉（複数）との温泉権（源泉権）訴訟—ちなみに、同温泉場は集中管理方式で著名な温泉場である。

<事例7>

筋湯温泉場（旧玖珠郡九重町、現在も九重町）所在の財産区所有の源泉をめぐる紛争は財産区管理の源泉利用として全国的にも珍しい。

<事例8>

宝泉寺温泉（事例7と同じく玖珠郡九重町）における「石ビツの湯」「川端の湯」

<事例9>

旧日田郡天瀬（現在は日田市）の河川敷（玖珠川底のものも含む）に湧出の源泉取得をめぐる紛争で県の認定を受けている源泉数は約15件。

<事例10>

阿蘇・くじゅう国立公園（特別地域）内の自然湧出泉の利用をめぐる紛争は、国有財産使用法規に基づく許可条件や林野庁通達をめぐる要点が指摘できる。具体的には、地方公共団体の営む町営（現竹田市営）国民宿舎や民間資本による観光ホテルや休養レジャー施設での温泉権紛争など。

V 堀田の温泉権紛争

(1) 堀田温泉の歴史的沿革

泉都、別府市の前身は第二次世界大戦前、旧市街地を領域とした狭義の「浜脇温泉」と「別府温泉」であり、それが広域の大別府市として広範な観光温泉都市として形成され、その結果、新たな温泉行政のスタートは、周辺1町（亀川町）2村（石垣・朝日の両村）との合併が実現した1935年（昭和10年）9月4日のことであった（昭48年版『別府市誌』（共同執筆））。

御越町^{おごし}を改称して亀川町になったのは明治44年（1911）10月で海岸部、山間部とも温泉が湧出しており（その核的地区は海岸部の亀川温泉と溪谷沿いの柴石温泉）、朝日村（明治22年町村制で成立）のそれは鉄輪温泉の噴気（地獄）地帯が主であり、石垣村にあっては海岸農村部（南・中・北の小字村）には湧出泉はなく、のちに石垣村に合併した観海寺温泉と堀田温泉が存在していた。

これらの温泉群は鎌倉期に入る以前より温泉の湧出をみており、それは地域住民による自然湧出泉の温泉利用が基本的形態であり、山林原野の入会権や沿岸漁業の原初的な入浜（磯）権のような地域住民の共同利用権であったと考えられる。

堀田温泉での往古の史料は少なく、近世（徳川期）に入ってから初見は元禄7年（1694年）貝原益軒^{えきけん}の著作に成る『豊国紀行』である。

「立石村の上、西の方3町斗^{ぼかり}、・・・・山麓に近き所に温泉あり。広さ方八尺斗、極めて清潔にして温和なり。湯の色淡白にして蛤^{はまごり}の汁の如し。・・・・（略）・・・・」

この他、享和3年（1803年）の『豊後国志』が見られる。豊国紀行の著作者、貝原益軒が筑前福岡藩の藩士（儒学者・教育家）であったのに対して、当該豊後国志は豊後国・岡（竹田）藩士^{かつはしせいさい}の唐橋世済の編纂に成る全国地誌（徳川幕府の企画に因る）の豊後版であった。両者の詳細については、昭和48年版『別府市誌』（第2章周辺町村の歴史とその合併の安部徹氏論稿）を参照して頂きたい。

(2) 戦前（昭和元年～同20年）の源泉利用の情況

昭和前期頃までの温泉利用状況にあっては、個々独立の閉鎖的な自治体の存在が広域の温泉行政の推進に障害となっていたことは、当時も戦後の今日も、さして変わらない。

狭義の旧別府市域を主要なエリアとした別府温泉にあって1町2村の合併で「大別府市」（当時の呼称）となった。これを端緒^{たんじゆ}に本市では早速、昭和12年（1937年）鶴見山麓南方の1集落にある堀田（旧石垣村大字堀田）に新源泉を開発し、旧市街地と石垣地区への配湯を企画したものである。とりわけ石垣村地区は古来、源泉の湧出が見られず、ために南石垣の最南部地区の1部住民は境川を越えて朝夕に別府村の共同温泉を利用していたといわれる。

往時、速見郡^{ごみ}の湯といえ、それは浜脇温泉のことであった。古くは『豊後風土記』にも見られ、のちの大友家史料にも「速見の湯」、即ち浜脇温泉のことが記録されている。浜脇村に属する浜脇温泉と別府村海岸に湧く別府温泉（狭義）とは個々独立の湯治場であり、当初は浜脇温泉のほうが優位に立っていた。全盛を誇っていた浜脇町（村から町へ昇格したのは別府町と同じく明治26年4月）と北の位置に隣接する別府町とが合併したのは漸く明治も末期の同39年（1906年）である。こうして浜脇温泉はしだいに凋落^{ちようらく}の色を濃くしていった。その両町の発展の経過は、郷土史誌『別府史談』（第1号～第18号）と大分県編纂の『大分県史』（全21巻中、第16巻～20巻）近代編の中でも拙者が何回か寄稿しているので参照して下されば幸甚である。

(3) 堀田温泉の温泉利用状況

堀田温泉地区（現在別府八湯を形成する1温泉場）に開発された新源泉の利用状況について概況に触れる。前節に論述した衰退傾向にあった浜脇温泉地区への配湯と、今1つは古来、温泉が湧出しないとされてきた石垣地区への配湯がある。

その主要な配湯幹線としては、現在もなお利用されているのが「浜脇線」と「石垣線」である。

前者のそれは、堀田温泉から北田位－前八幡－（現）別府税務署角－旭日通り－朝見川左岸－浜脇高等温泉に達する全長、実に5,969メートルにおよぶ一大配湯路線網である。この施設工事により、とかく退潮気味にあった浜脇温泉街は先の大戦以後もしばらくの間（昭和40年代前半ごろまで）は、どうか蘇生をみていたのであった。それ以降、当該地区の源泉は全くといってよいほど湧出源泉は見られなくなっている。

つづいて「石垣線」の概要を見よう。――

町村合併時（昭和10年）より北支事変（日中戦争の始まり）を経て第二次世界大戦に突入した昭和17年（1942年）8月、物資不足の困難ななかで第2次配湯工事として石垣線が敷設された。この路線について述べるなら－堀田温泉から南立石（旧大字）－生目神社－境川（川沿いに東方へ下る）－旧国立・西別府病院（戦時中に陸軍病院）－光の園団地（戦後当初は国立療養所「光の園」）－（現）市営サッカー場－別府市石垣支所・市農協石垣支店周辺に達する、これまた全長4,674メートルの一大配湯網である。ここに初めて石垣地区市民への待望の温泉利用が実現したのであった。

この二大配湯路線の工事は、明治期以降の大別府温泉郷、いわゆる「温泉八湯」の名で全国に周知される泉都・別府の画期的な快挙であったと言ってよいであろう。二大配湯路線の図解は後掲の表のとおりである。もっとも、当該資料（市温泉課提供）は昭和40年代後半の頃のものであるから、爾来30余年が経過した今日、多少とも路線径路の変更などがあることは付言しておこう。詳細は昭和48年刊『別府市史』の拙稿の温泉行政の章節を参照して頂きたい。

VI 堀田地区住民の温泉入湯権確認等請求訴訟事件

(1) 堀田温泉権訴訟（略称）の概略

別府八湯の1つ、堀田温泉地区の住民50名（代表、荒金馨氏ほか49名）が戦前から無償で利用し会ってきた「堀田東温泉」の温泉の権利の確認と、それに併せて別府市（担当は市温泉課）による給湯停止や入浴制限など、地区住民の温泉利用を妨害する行為を禁止する請求の両訴訟を平成13年4月に提訴した。これが当該温泉権訴訟の概要である。

この当時、別府市（温泉課）では、すでに前掲の堀田東温泉の共浴施設を廃止する代償として、近くに大型温泉場を建設する事業の計画が進展していた。当該訴訟の提訴を新聞やテレビで知った市観光経済部長は「（新温泉浴場の建設は）これまでも地区住民と協議を重ねた上で進めてきたのであり、（訴訟の提起は）大変残念だ」と語っている（平成13年4月4日付き郷土新聞）。

これに先立っての地区住民の対応状況はどうであったのであろうか。

－堀田地区住民でつくる「堀田の共同温泉を残す会」では同年4月3日夜、堀田地区公民館で緊急集会を開き、来週中にも別府市に旧慣の温泉権に基づいて地区住民用の温泉を残すよう求める訴訟を起こすことを確認している。集会には約30名が出席、代表世話人（3人）と原告団代表者（1人）が選ばれた。この集会には、すでに2人の弁護士が出席し、訴訟内容について事情を説明している。すなわち、①旧慣温泉権の確認と②給湯停止や建物の取り壊しの妨害排除請求、③その他である。

ここで、別府市の“田園保養型”の大型温泉建設の概要を、やや具体的に郷土新聞の取材記事により紹介することとしよう。

(2) 市有源泉の概要

① 市有源泉数 (昭46. 3 現在)

地 域	源 泉 数
堀 田	16口
鉄 輪	50
亀 川	24.5
石 垣	8
別 府	73
合 計	171.5

(市温泉課提供資料)

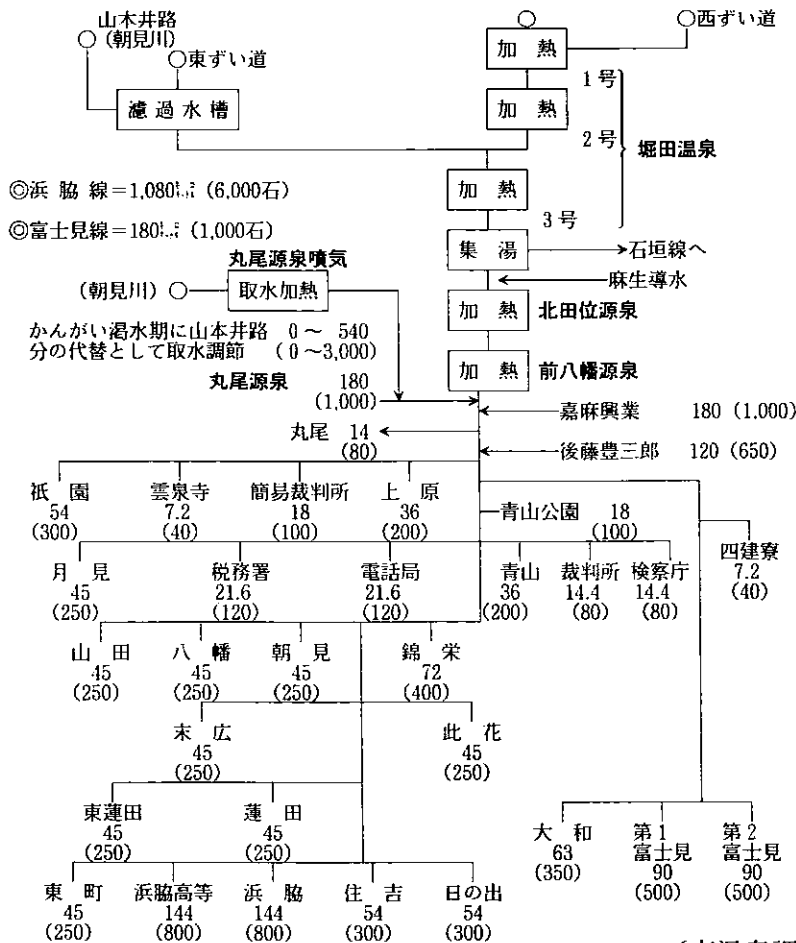
② 市有源泉配湯状況

(昭46. 3 現在)

地 区	源泉数	配湯路線	配湯量	配湯件数
堀 田	14	浜脇線 (支線) 富士見線	1,080 ^{リットル} (6,000石) 180 (1,000)	27件 5
		石垣線	540 (3,000)	
		鉄 輪	1	鉄輪線
春木線	108 (600)			3
中須賀線	54 (300)			1
松本線	36 (200)			1
前田線	67 (370)			3
亀 川	6	亀川線など	216 (1,200)	4
計	21			72

[以上 S48. 8. 31刊『別府市誌』]
(第4編温泉行政担当の拙稿)

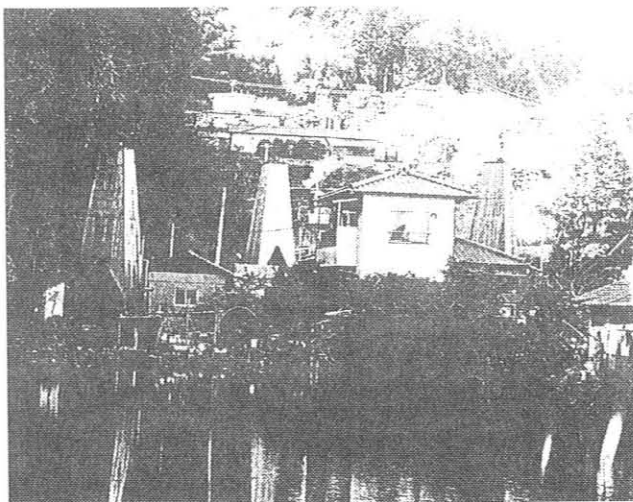
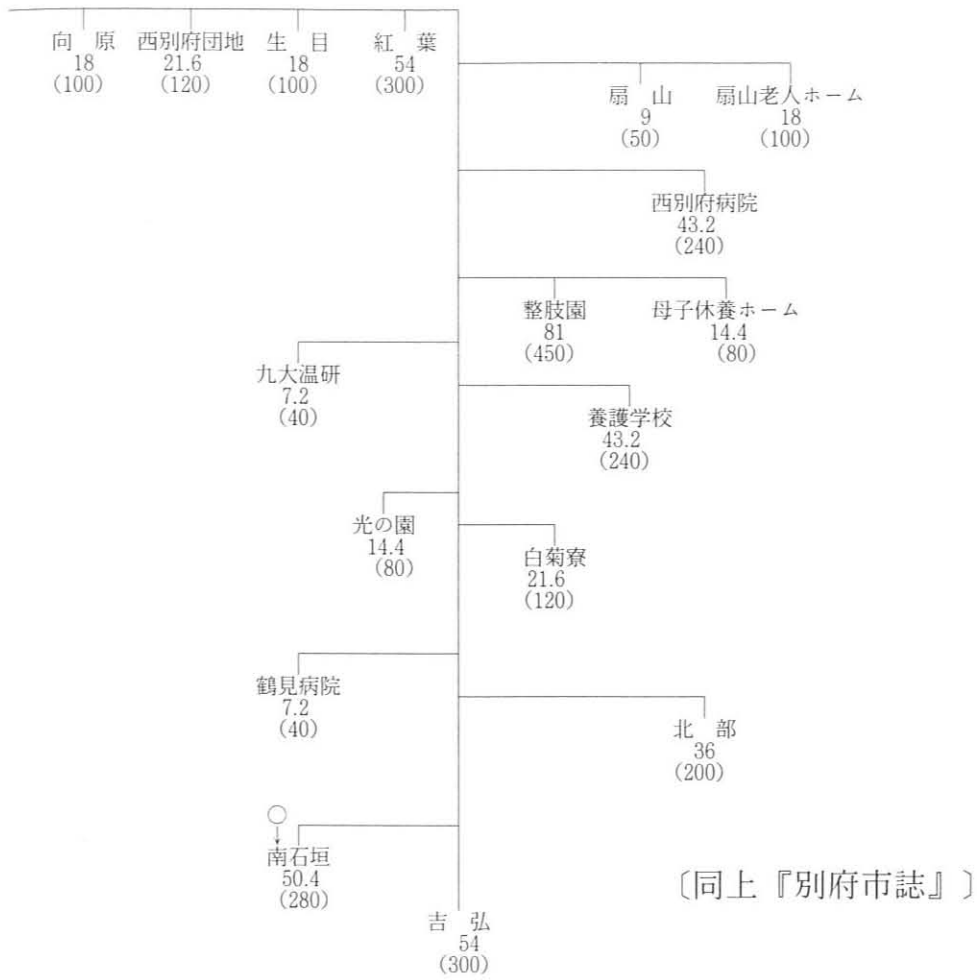
③- 1 浜脇線・富士見線 (堀田温泉)



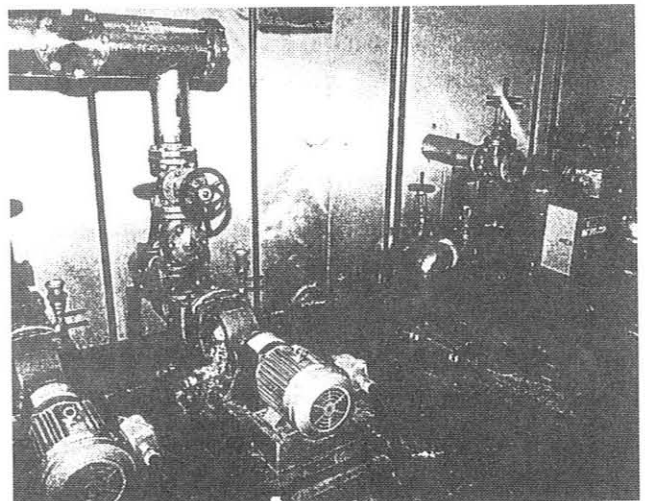
(市温泉課提供)

③-2 石垣線（堀田源泉）

堀田源泉より540m (3000石)



堀田源泉の全体状況（原告側提供）



揚湯・送湯の機械ポンプ室（左同）

—南立石堀田地区の市有源泉2カ所のうち、堀田西共同温泉は建物の老朽化が進んだため平成3年度にすでに廃止済み。残る東温泉も県道別府・庄内線の拡幅工事にかかるため、市は現在地から約150メートル北側（堀田2組）に新しい大型施設を建設する。すでに用地買収と造成工事は平成12年度に完了しており、平成13年度に着工の予定が県道の拡幅工事の遅れでズレ込んだ。市の計画によると—

「別府八湯活性化の一環として、別府の出入口の1つである堀田地区の特性を考慮しながら、地域住民や別府市民はもとより、観光客にも利用できる田園保養型の温泉施設を建設することにより、地域活性化や住民福祉の増進を図るとともに、市民や観光客のコミュニティーの場として整備することに努める」

としている。

・総事業費—約3億4,200万円　・敷地面積1,740平方メートル　・鉄筋コンクリート平屋建て　・男湯と女湯も普通浴槽と露天風呂を併置　・駐車場—25台収容可

当時（平成13～14年）、東温泉を利用している人たちのうち「堀田に共同温泉を残す会」（代表世話人は3氏—省略）は「堀田の共同温泉に無料で入浴する権利（旧慣の権利継承）がある」として市を相手取って大分地裁で係争中であった。だが、「新しい大型温泉施設の建設そのものには反対はしない」立場を採っている。一方、市温泉課でも「実施設計が近日中に終わるので、着工までに地元住民に対する説明会を開く予定です」としている（以上 郷土紙より）。

(2) 堀田温泉権訴訟の判決—「無料入湯権」認めず、住民の請求棄却

別府市が堀田地区の堀田東温泉を廃止し、新たに建設した「堀田温泉」を有料化したことに対し、住民50人が旧温泉に無料で入湯する権利「温泉入会権」の確認を認めた訴訟の判決言い渡し平成15年1月27日、大分地裁であり、住民側の請求を棄却した。

住民側は「古くから地域住民が管理、共同使用してきた沿革と慣行から『温泉入会権』がある」と主張していた。しかし、担当裁判長は「かつては住民の温泉入会慣行があったことを認める余地はあるが、1928年（昭和3年）に温泉を旧石垣村に売却した際に、温泉の専用使用権も譲渡したと認められる」と判断した。判決によると、堀田東温泉は県道拡幅工事の用地内にあるため、別府市は新たに堀田温泉を建設し、堀田東温泉を廃止することを決定。原告の住民らは無料で旧温泉を利用していたが、新温泉の建設に伴ない他の利用者と同じ入湯料を支払うことになった。

旧温泉は今年（平成15年）3月の市議会で廃止条例が可決され、同年4月に旧温泉への給湯を停止。市は新温泉の営業を開始した。住民側は、営業開始前に旧温泉への給湯を停止しないよう求める仮処分を申請したが、同地裁は却下した。判決について、別府市浜田市長は「別府市の主張がおおむね認められ妥当な判決であると考えている。今後とも温泉行政を一層充実させたい」とのコメントを出した。一方、原告代表者の荒金氏は「納得できない判決。他の住民と相談するが、控訴したい」と話している。

(3) 控訴審(福岡高裁)判決—第2審も住民側が敗訴、優先的入湯権認めず

当該控訴審判決は平成17年1月27日、原告側敗訴の1審大分地裁判決を支持し、原告の控訴を棄却した。担当裁判長は1審判決を引用し、「住民は共同浴場の清掃などをしたにすぎず、実体として同温泉の権利が帰属しているとは言えない。市は永年にわたり、住民以外の市民の税金で同温泉を維持、管理してきた」と判断。同温泉を含む堀田地区の温泉が旧石垣村（昭和10年9月、1町2村の合併で現別府市域成立）に売却された際の経緯などから、地元住民に優先的な入湯権があるとした原告側主張を退けた。

判決によると、同温泉は1931年（昭和6年）旧石垣村が共同浴場を建設し、無償で利用できる温泉として運営。別府市は2003年、県道工事の範囲内に同温泉施設が立っていたため移転用の新温泉施設

を建築し、堀田東温泉の廃止を決定した。これについて、浜田市長は「市の主張がおおむね認められた妥当な判決だ」とのコメントを発表。一方、福岡高裁の決定に出向いた原告の1人は「これまで主張してきた主張が認められず、非常に残念」と紙上に語り、「・・・今後は原告住民らが納得できるような形で、我々の主張を市に訴え続けてゆきたい」と話している（平成17年＝05年1月28日付け郷土紙等より取材）。

(4) 当該訴訟の判決の評釈（執筆者—大野）

これについては①旧慣温泉権生成の歴史的背景からする問題点、②温泉の権利の存否を問う確認訴訟のもつ学問（法社会学）的意義、③堀田温泉での温泉専用権と利用権の推移、④温泉入会権という名称の社会的意味と批判、⑤別府八湯の市温泉行政の推進・展開とその実情、⑥その他について私なりの評釈（批評と解釈）を試みる予定であった。

—この拙稿報告書は今年（2006年）2月初旬に着手した。ところが4月に入って20年来の持病が再発し机に着けないほどの鈍痛が電流のように走り、執筆が困難になった。整形外科の医師からデスクワーク時間はせいぜい3時間、半日ていどにし、1時間ごとに10～15分のストレッチ体操を試みることなど助言を戴いた。

付記ながら、持病のヘルニア性腰痛は作家や画家などの芸術家、各研究者や設計などの技師らに多いようだ。わたしの場合、今から21年ほど前の確か昭和60年4月新学期が始まる直前、年齢は大正13年生れで昭和元号と符合することから60歳、定年（大分大は満63歳）3年前のことであった。歩行困難におちいり、急処亀川の国立病院に入院、約1カ月近く療養したのが腰痛の第一歩であった。病院で検査した結果は、—5個から成る腰椎の第4と第5番目のクッション役を果たす筋肉が磨り減っており（レントゲン写真）、脊髓や神経根を圧迫して神経症状をおこすのが原因、と説明された。病名は椎間板ヘルニアとのこと。教訓は「この病気は1にも2にも静養・安静が大切、決して慌てず焦らないこと。進行しないように努め、70歳以上の人の手術はあまり勧められない。必ず再発するのでムリをせず、医師の指導を遵守し、リハビリに精出すこと」など。定年退職後に罹患者が多いので「とにかく身体を動かし運動を充分にすること」「どうも怪しいと感じた時は身体を動かさずに静養を」などは私自身が痛感した次第。同病者のいちようの叫びは「この鈍痛ばかりは経験者でないと判らない」。老境に入った会員の方々は、自己の健康管理にくれぐれも留意して欲しいと念願している。

如上的ような次第で、今回での報告内容が「完稿」せず、重ねて会員諸兄のご了承を頂きたい。

〔後 記〕

わたしが大分県温泉審議会委員を依嘱された（当時の知事は立木 勝氏）のは、別府大学から大分大学教育学部へ移籍した昭和43年春の翌正月、同44年1月1日付けであった。爾来、30数年が経ち昨年春に職を解かれ、自由の身になった。齢81歳と8ヶ月、今秋には戦前の年齢のとなえ方では数え年83歳となり、いささか体力も気力も衰えた感を拭えない。温泉権の研究がいつしかライフワークとなり、少々しんどかったが、生涯の楽しい思い出が余生を飾ってくれた。

本調査研究会の益々のご発展と会員のご活躍を祈って擱筆する次第です。原稿が毎年遅れ執行部に迷惑をおかけした点も重ねてお詫びします。（平成18年5月25日 A. M記）。

なお、著者の本誌『大分県温泉調査研究会報告』誌上で発表した論稿は次のとおりですので、参考にして下されば幸甚です。なお、大分県温泉調査研究会では過去2回、記念行事として『30年のあゆみ』（昭和54年3月刊）と『50年のあゆみ』（平成11年7月刊）を総括して発刊しています。両書とも、巻末に〈文献抄録〉が載せられていますので、併せて活用されることを希望します。

会誌 No	報 告 題 名	会誌 No	報 告 題 名
第23号 (S45)	湯平における温泉権の実態	第39号	集中管理の法律問題(下)
第24号	温泉法の問題点の考察	第40号	九重温泉群の現状と問題点(上)
第25号	宝泉寺における温泉権の実態(上)	第41号	同 上 (下)
第26号	同 上 (下)	第42号	温泉権紛争の調査と研究(I)
〃	別府温泉の「集中管理」構想	第43号	同 上 (II)
第27号	筋湯における温泉権の実態(上)	第44号	同 上 (III)
第28号	同 上 (下)	第45号	同 上 (IV)
第29号	長湯温泉の温泉権の実情	第46号	同 上 (V)
第31号	天ヶ瀬における温泉権の実情	第47号	同 上 (VI)
第33号	温泉法と地熱開発の諸問題(上)	第48号	環境行政と温泉法・温泉権 (I)
第34号	同 上 (中)	第49号	同 上 (II)
第35号	同 上 (下)	第50号	同 上 (III)
第36号	大分市における温泉開発の現状	第51号	同 上 (IV)
第37号	集中管理の法律問題(上)	第52号	同 上 (V)
第38号	同 上 (中)	第53号 (H14)	同 上 (VI)

(続きは第54号～第57号 当題シリーズ)

[追記]

温泉法・温泉権関係の参考(引用)文献は次号に掲載する予定です。(校正終了——8月9日PM記)

皮膚病に効能のある温泉と湧水のORPを指標とした研究

日本文理大学

河野 忠

要 旨

大分県に存在する皮膚病に効能のある水の中で、「イボ水」と呼ばれる伝説の水がある。この水の真偽を確かめるために大分県をはじめとした日本各地のイボ水を洗い出し、そのいくつかについて水質分析を実施した。日本各地には155ヶ所ものイボ水が存在し、大分県にも19ヶ所存在することが判明した。また、イボ水は、湧水タイプとイボ石タイプに分類できることが分かった。このイボ水の効能を確認するために、日本各地にある皮膚病に効能のある鉱泉水やイボ水の水質を比較した。その結果、イボ石タイプのORP値がマイナスとなることが認められた。これは皮膚病に効能のある温泉水や鉱泉水のORPと同じ傾向を示すことから、イボ水として伝えられた伝説には、科学的根拠が存在する可能性を示すことができた。

1. はじめに

皮膚病に効能があるといわれる温泉・鉱泉は日本各地に知られているが、その科学的、医学的研究はそれほど行われていなかった。しかし、大河内（1999・2000・2003a）は温泉水の水質と皮膚病との関係について、その温泉のpHやORP（酸化還元電位）を指標として、密接な関係があることを指摘した。更に大河内（2003b・2004）はその研究を発展させ、温泉水の効能は還元された新鮮な状態から、老化し酸化された状態になるに従って低下することをエージング指標（AI：Aging Index）として示した。したがって皮膚病に効能のある温泉水の水質は、ORPによって間接的に判断できると考えられる。

一方、河野（2002）は日本各地には「イボ水」と呼ばれるイボの取れる水の存在があり、その中には、皮膚病に効能のある温泉と同じ様に、ORPがマイナスを示し、弘法大師伝説が伝えられている水が多いことを明らかにした。

以上のことは、皮膚病に効能があると伝えられる水に温泉同様の効能を示す可能性があることを示唆している。そこで、大分県を中心に日本各地の皮膚病に効能のある温泉とイボ水を調べ、ORPや無機主要成分を分析することで、イボ水が皮膚病に効能のある温泉水と同様の水質を示すかどうかを明らかにすることを本研究の目的とする。

昨年度は、予算の関係で皮膚病に効能がある代表的な鉱泉、寒の地獄（大分県九重町）を調査する機会に恵まれなかったことと、数多く上陸した台風による降雨により、後述するイボ石タイプの測定ができなかったことから、イボ水の文献調査や過去のデータの基づく予察的な研究に留まった。そこで、本年度は、寒の地獄や県外の皮膚病に効能のある鉱泉やイボ水を含めて解析した。

2. 皮膚病に効能のある温泉水・湧水とイボ水

イボ水とは、その水を患部につけ祈禱すれば、イボが取れると言われている水で、中にはイボやアザに苦しむ女性が、夢や神のお告げのあった水で顔を洗うと絶世の美女になったという伝説の水の一つである。

本研究を始めるきっかけは、岡山県津山市の鉾立石（写真1）を調べたことにある。神社遺跡の礎石に空いた直径10cmほどの窪みに溜まった水がイボや皮膚病に効能があるという伝説があり、そのORP

が-133mVを示したのである。主な溶存成分のバランスもかなり異常な値を示したので、当初よりこれらの水の水質異常にはその伝説と関係があるのではないかと考えていた。しかし、同様の例を調査する機会が無く、そのままになっていたが、伝説の水の一種「弘法水」には、ある特定の薬水伝説に基づく水質を示す例が多数見つかったのである（図1）。その中には皮膚病に効能のある水が幾つかあり、特定の水質パターンを示すことが明らかとなった（河野、2002）。また、その多くが「弘法の湯」と称して、皮膚病に効能のある温泉(沸かし湯)として利用されている。

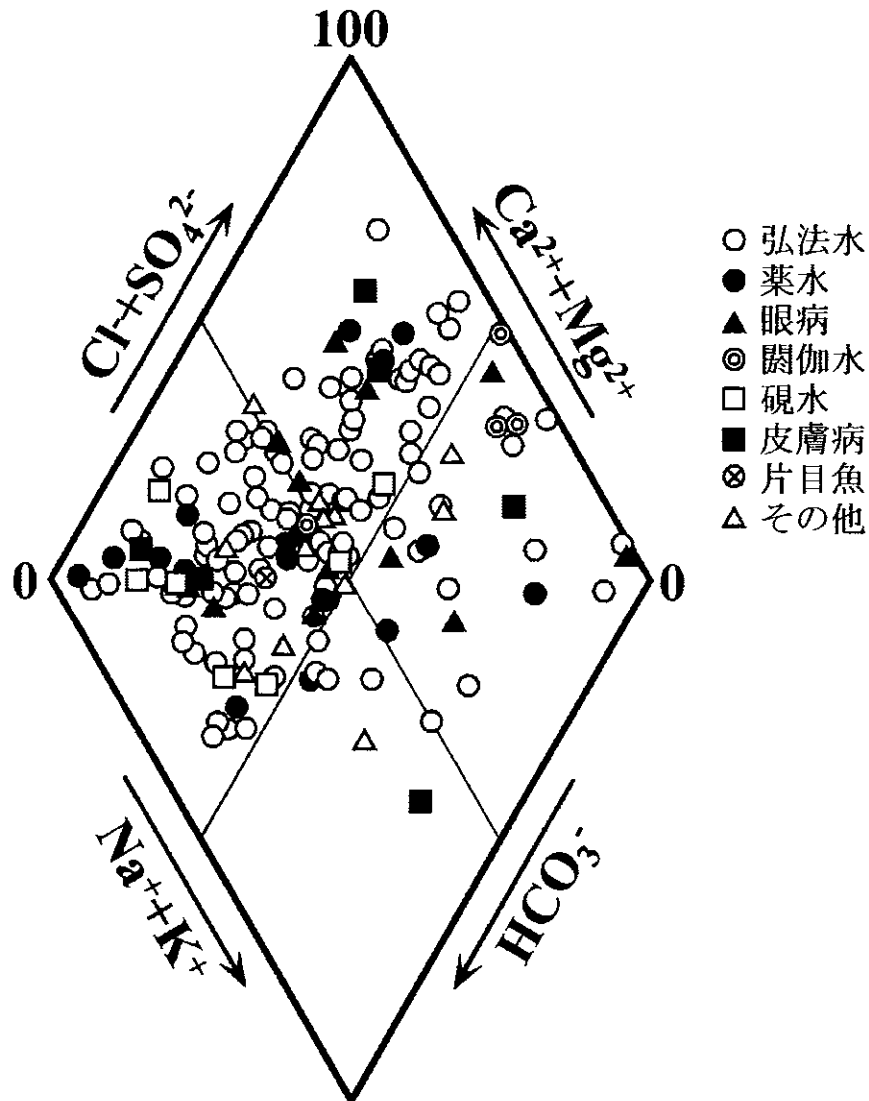


図1 弘法水の水質キーダイアグラム（河野、2002）

3. 日本各地に存在するイボ水

皮膚病に効能のあるといわれる伝説の水の代表的存在であるイボ水は日本各地に知られている。平松（2005）はイボ神様を精力的に調べ、全国に555ヶ所（2006年3月20日現在）存在することを明らかにしている。そのうちイボ水として存在しているものが69カ所あるが、伝説の水の中にイボに効能がある水も多数あるので、伝説本や市町村誌などの資料から抽出する作業を行った。その結果、日本全国に155ヶ所存在することが判明した（表1）。

本調査におけるイボ水の把握はまだその一部に過ぎないと考えられるが、長野県や静岡県、大分県に多く存在している傾向が認められる。これらの県に多数存在する共通した理由は不明であるが、おそら

表1 各都道府県のイボ水数

都道府県	数	都道府県	数	都道府県	数
北海道		石川県	4	岡山県	4
青森県		福井県	2	広島県	8
岩手県		山梨県	5	山口県	6
宮城県	1	長野県	18	徳島県	2
秋田県	1	岐阜県	4	香川県	2
山形県		静岡県	21	愛媛県	1
福島県	4	愛知県	6	高知県	3
茨城県		三重県	2	福岡県	5
栃木県	1	滋賀県	1	佐賀県	3
群馬県	8	京都府	3	長崎県	1
埼玉県	1	大阪府	1	熊本県	2
千葉県	1	兵庫県	2	大分県	17
東京都		奈良県		宮崎県	1
神奈川県	2	和歌山県	1	鹿児島県	1
新潟県	4	鳥取県	6	沖縄県	
富山県	1	島根県			
				合計	156

2006年3月20日現在

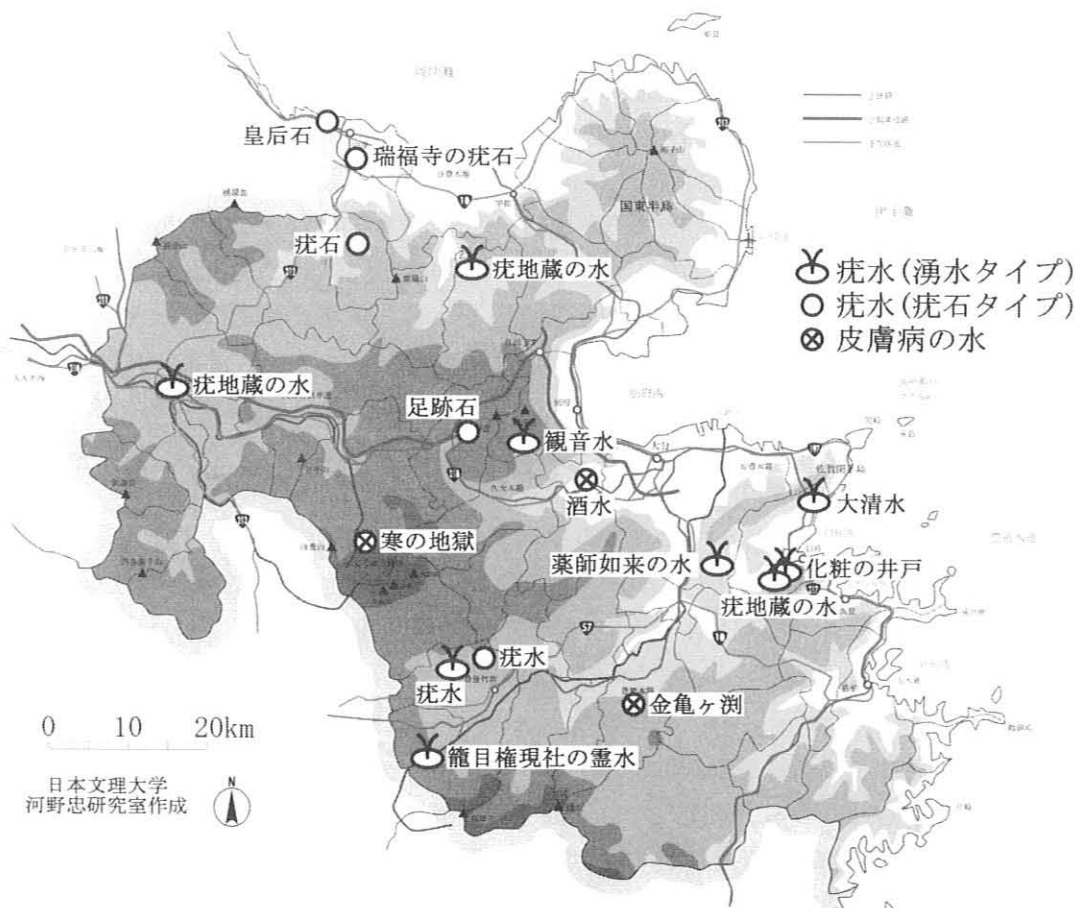


図2 大分県におけるイボ水の分布

人々は経験的に知っていた。また金魚の鱗に寄生虫が付いたりしたときには塩を魚皮に擦りつけたり、小鳥が弱って飛べなくなったとき塩を溶いた水を含ませたりすると元気を取り戻すなど、気付薬としても利用された。塩湯は神経痛やリウマチあるいは皮膚炎などに効能がある。これはいわゆる温泉学でいう塩化物泉の効能そのものに他ならない。また火傷をしたとき塩を患部においたり、焼塩を頭痛や腰痛、あるいは腹痛や痔病にも用いたりする民間療法がある。また皮膚炎の時は塩で洗ったり、塩そのものを擦り込んだりするとよく効くという伝承もある。この他にも、下剤や解毒剤、歯磨き、美顔術にと塩の利用範囲は多岐に亘っている。

5. 酸化還元電位ORPとイボ水の水質

ORPは酸化還元電位の略で、プラスであれば酸化状態にあり、マイナスでは還元状態になっていることを示す。通常の湧水では200~300mV前後の値を示す。水道水では300~500mV程度にもなることがある。マイナスの水は、皮膚病に効能のある温泉水や湧水、井戸水などに希に存在する。大河内(1999・2000・2003a)は、皮膚病に効能のある温泉水はORPが低く、pHが酸性の水であることを指摘している。

イボ水の水質分析結果を表2に示す。その結果、イボ石タイプのイボ水のORPが低い傾向にあることが認められる。特に、竹田の疣水が-90mV、岡山県津山市の鉾立石が-133mVと非常に低い値を示すことが特徴的である。皇后石の水も降雨直後の測定であったにもかかわらず、比較的低い値を示している。イボ石タイプのイボ水は、窪みに溜まった水に落葉などが入り込み、それらが分解する過程で還元状態になっているものと考えられる。また、落葉から抽出された有機酸や、溶結凝灰岩からの湧出成分にも特徴づけられていることが推察できる。

次に、皮膚病に効能があるとされる鉱泉水とイボ石タイプと湧水タイプの水質を比較するために、タイプ別に算出した水質の平均値を表3に示す。皮膚病に効能のある鉱泉水とイボ石タイプのイボ水は、ORPがマイナスを示すことで一致している。したがって大河内(1999・2000・2003a)が示したとおり、皮膚病とORPとの関係が明らかであるので、イボ石タイプのイボ水も実際に効能が期待できることが示唆される。しかし、鉱泉は塩分濃度が異常に高いNa-Cl型の水質であることが明らかであり、皮膚病に対するその効果が強いことも否定できないが、皮膚病に効能の期待できる代表的な鉱泉である寒の地獄はCa-SO₄型であることから、皮膚病に効能のある水はORPがマイナスを示し、Na-ClあるいはCa-SO₄型のどちらかのパターンの水質を示すと考えられる。

そこで、それぞれの水質パターンを比較するためにトリリニアダイアグラムを作成した(図4)。鉱泉は、ほぼ塩化物イオンと硫酸イオンの割合が高いパターンとなっていることがわかる。湧水タイプ、イボ石タイプに特定のパターンを見出すことはできないが、いくつかの水で鉱泉と同じパターンを持っている場合がみられる。

以上の結果から、基本的にはイボ石タイプのイボ水で、Na-ClあるいはCa-SO₄型の水質を示し、かつORPがマイナスを示す場合には皮膚病に効能のある鉱泉水と同じ水質パターンとなる。この場合には、イボ水が実際に効能を発揮することが期待できる可能性があるといえるだろう。

6. プラシーボ効果とイボ水

プラシーボ効果とは、医学的に次のように説明されている。臨床医学において薬物の効力を検定する場合に、対照薬として、またときには暗示的效果を期待して、薬理作用のない物質を用いる。この作用のない物質を偽薬とかプラシーボと呼ぶ。偽薬は、薬効を検討する薬物と外観的な形・大きさ・色をはじめ、味、匂いなども同じように作られている。一般に、内服薬では乳糖を、注射薬としては生理食塩水を用いる。薬理作用によらない暗示的治癒効果をプラシーボ効果というが、これは偽薬を患者に与え

表2 皮膚病に効能のある鉱泉とイボ水の水質

No.	名称	所在地	測定日	種類	湧出量 t/day	水温 ℃	EC(25) μS/cm	pH	ORP mV	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SiO ₂
										mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	寒の地獄	大分県玖珠郡九重町飯田高原	05/08/27	鉱泉	2.592	14.1	334	4.5	-218	12.0	3.0	36.5	6.2	118.6	15.2	1.2	1.0	
2	疣石の水	大分県中津市相原瑞福寺	03/02/16	溜水		8.0	90	7.1	27	7.1	4.1	6.2	1.0	4.1	9.4	26.8	0.0	6.2
3	疣地蔵の水	大分県宇佐郡安心院町飯田	03/02/12	湧水	1	5.9	169	7.0	125	19.3	14.0	3.6	1.7	14.7	17.1	36.6	3.7	58.2
4	柔師如来の水	大分県大分市宮尾字斗代	01/09/30	湧水	0	18.2	70	6.6	181	6.8	2.9	2.4	1.8	2.8	5.2	30.3	0.0	56.2
5	塚野鉱泉	大分県大分市廻栖野	02/07/04	鉱泉	-43	18.2	14380	6.1	-5	2400.3	74.2	87.1	252.6	0.0	4015.3	1562.1	11.1	43.9
6	潮元神社鉱泉	大分県大分郡野津原町下原	04/02/08	鉱泉	-1	7.3	20000	6.5	31	4589.3	240.9	757.2	144.6	0.0	6322.7	4765.7	0.0	28.3
7	楯ヶ城原始の水	大分県大野郡野津町白岩	03/04/06	湧水	-864	12.6	331	7.6	8	9.8	0.8	43.6	7.1	65.2	3.1	122.2	0.0	18.9
8	金亀ヶ淵	大分県大野郡三重町内山観音	04/02/14	河川	-864	7.6	157	7.7	222	3.7	0.0	23.4	4.4	8.3	4.2	91.0	1.6	7.1
9	籠目権現社の水	大分県竹田市九重野字籠目	98/10/11	湧水	432	15.1	132	6.8	194	8.6	0.7	23.9	2.5	8.6	7.5	73.2	2.2	10.8
10	疣水	大分県竹田市植木字疣水	03/02/20	溜水		6.1	397	5.8	-90	3.9	15.3	44.9	6.9	0.0	13.0	174.5	0.0	34.6
11	大清水	大分県臼杵市大野字大清水	95/05/02	湧水	104	16.8	290	6.1		19.3	7.4	23.2	6.5	31.6	17.3	58.8	37.2	62.2
12	化粧の井戸	大分県臼杵市深田	97/11/04	湧水		12.7	145	7.1		8.6	5.0	7.2	3.3	13.7	6.6	27.3	19.0	53.0
13	疣地蔵の水	大分県日田市刃連町会所山麓	03/11/01	不明		20.2	150	7.6	295	12.2	4.3	16.7	3.9	11.0	9.0	86.3	2.5	38.7
14	弘法発見の泉	秋田県北秋田郡鷹巣町七日市	00/01/05	鉱泉	1	12.6	149	6.3	108	10.5	2.1	9.6	5.8	13.3	15.9	14.5	1.2	34.7
15	切石の塩井	秋田県山本郡二ツ井町切石	00/01/05	鉱泉		15.3	19100	7.4	-2	6701.5	43.8	244.8	48.9	0.0	10491.2	264.7	0.0	19.8
16	大師湯	三重県多気郡勢和村丹生	00/01/24	鉱泉		8.7	4470	6.4	-23	820.8	30.3	101.6	25.3	8.5	621.8	1582.0	1.3	24.4
17	御符井戸の水	島根県大原郡大東町東阿用	00/02/01	湧水		9.6	92	5.8	200	10.4	0.5	1.3	1.2	5.3	11.8	13.9	0.1	16.0
18	鋒立石の水	岡山県津山市小原大築神社跡	00/05/09	溜水		25.3	282	7.4	-133	8.4	33.4	8.5	7.5	8.1	21.8	77.1	0.0	165.0
19	イボ取り水	高知県幡多郡大月町小才角	99/03/18	湧水		14.1	155	5.9	235	20.7	2.3	3.1	3.6	14.7	27.2	14.6	0.0	23.0
20	皇后石の水	福岡県築上郡吉富町広津	03/02/16	溜水		7.7	309	6.5	124	38.1	9.0	7.7	3.7	26.3	45.1	23.2	15.1	5.8
21	イボ石の水	熊本県阿蘇郡一の宮町福岡	06/03/10	溜水		溜濁												
22	落岩観音の水	長崎県諫早市落	05/10/08	湧水	43	16.2	90.6	7.6	185	5.9	1.7	6.9	2.7	1.7	5.0	42.1	0.3	
23	田の浦温泉	長崎県平戸市田の浦	05/10/10	鉱泉		20.6	379	7.2	-6	18.6	1.8	31.8	6.5	24.3	44.2	75.1	0.0	
24	イボ神様の水	鹿児島県姶良郡加治木町里	05/12/23	湧水		7.9	352	7.1	181	22.1	3.5	18.2	9.1	100.5	26.4	0.0	0.1	

湧出量のマイナスは推定値

表3 タイプ別にみた水質

タイプ	水温 ℃	EC(25) μS/cm	pH	ORP mV	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
湧水	13.1	178	6.9	183	12.3	3.6	14.4	4.0	23.2	11.7	49.7	5.6	34.4
イボ石	13.8	269	6.7	-18	14.4	15.4	16.8	4.8	9.6	22.3	75.4	3.8	52.9
鉱泉	13.8	8402	6.3	-16	2079.0	56.6	181.2	70.0	23.5	3075.2	1180.7	2.1	30.2

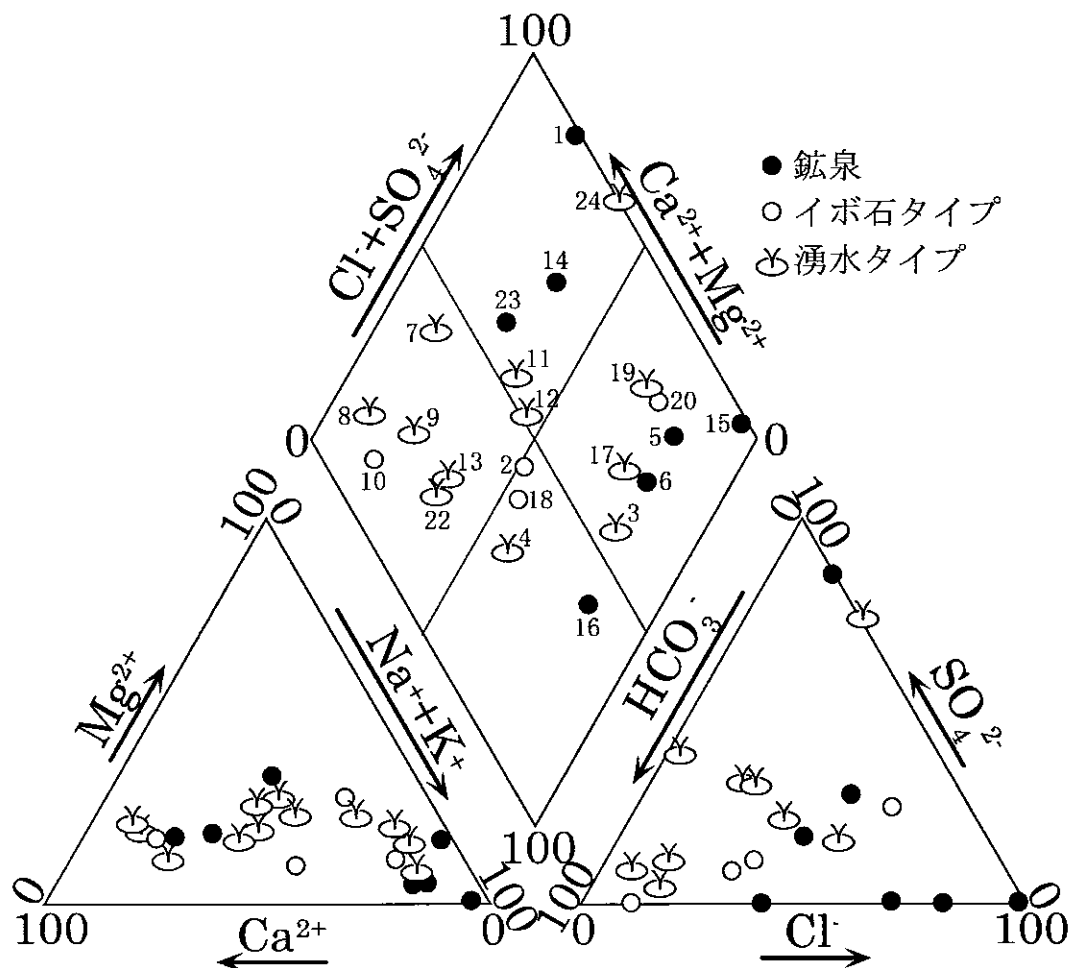


図4 イボ水のトリリニアダイアグラム

たときの治癒効果である。プラシーボ効果は疾患によって異なり、精神疾患、リウマチ疾患、各種の痛み、高血圧、消化性疾患では強く現れる。また、プラシーボ効果がよく現れる人と現れない人がいる。

池見（1963、1973）によると神経性の胃腸病や皮膚病には、非常に大きな効果が認められるとしており、有名なフランスの「ルルドの泉」の効能もプラシーボ効果によるものであろうと述べている。したがって、弘法水のような伝説の水は大師信仰に基づく非常に強いプラシーボ効果が期待でき、更には水質的にも温泉と同様の効果があることから、医者から処方される薬よりもより高い効能が期待できる場合があると考えられる。

田上（1999）、池見（1963・1973）、平松（2005）によると、イボはヒト乳頭腫ウイルスの感染で起きる病気でありながら、自然に消えてゆくことが知られている。おまじないをしたり、各地にある「イボ地蔵」にお参りしたりしても治癒することが知られており、海外でも、古くから疣を治す様々な儀式や信仰がある。また、プラシーボ効果により、3割が治癒することが知られている。ただし、この場合は、ヒューマンパピローマウイルス（人乳頭腫ウイルス）による伝染性のイボだけが暗示療法で治るだけで、その他の原因により発症するイボにはプラシーボ効果はあまり望めない。

しかし、イボ水はこれまでに述べたように非常に特異な水質を示すことから、鉱泉や温泉などとほぼ同じ性質を持つ湧水、地下水である考えることができる。もっとも、温泉水ほど高濃度の溶存成分が溶けているわけではないので、プラシーボ効果が期待できる特定のイボが完治した経験が伝説へと結びついて成立したのであろう。

7. まとめ

大分県に存在する皮膚病に効能のある水の中で、イボ水と呼ばれる伝説の水がある。この水の真偽を確かめるために大分県をはじめとした日本各地のイボ水を洗い出したところ、日本各地には155ヶ所ものイボ水が存在し、大分県にも19ヶ所存在することが判明した。そのイボ水には弘法大師伝説が多く、湧水タイプと大きな石の窪みに水が溜まっているイボ石タイプに分類できることが分かった。また、大分県のイボ水は阿蘇火砕流（ASO4）による溶結凝灰岩堆積地域に存在するが、その因果関係は不明であり、今後詳細な検討が必要であろう。

このイボ水の効能を確認するために、日本各地にある皮膚病に効能のある鉱泉水やイボ水の水質を比較した。その結果、イボ石タイプのORP値がマイナスとなることが認められた。同時にNa-ClあるいはCa-SO₄型の水質を示す場合には皮膚病に効能のある鉱泉水と同じ水質パターンとなることが判明した。この場合には、イボ水が実際に効能を発揮することが期待できる可能性があるといえるだろう。

伝説は迷信に過ぎないといわれるが、先人たちは経験的にその水の効能を知り、伝説を摺り合わせて後世に伝えた可能性が高いことが考えられる。この結果を鑑み、今後、日本各地に存在する皮膚病に効能のある温泉、鉱泉、湧水の水質を調べ、皮膚病とORPとの関係を検討することで、身近な民間療法が温泉医学的な見地からも検討されることを期待している。

参考文献

- 池見酉次郎（1963）：『心療内科』中公新書、pp215.
- 池見酉次郎（1973）：『続・心療内科』中公新書、pp245.
- 大河内正一他（1999）：温泉水および皮膚のORP（酸化還元電位）とpHの関係、温泉科学、Vol.49、No.2、59-64.
- 大河内正一他（2000）：二酸化炭素泉のORPとpHの関係、温泉科学、Vol.50、No.2、94-101.
- 大河内正一他（2003a）：電解還元系の人口温泉について、温泉科学、Vol.53、No.1、1-9.
- 大河内正一（2003b）：『生きている温泉とは何か』くまぎ出版、pp75.
- 大河内正一（2004）：「21世紀に期待される温泉」、日本温泉科学会編『温泉科学の最前線』ナカニシヤ出版所収、206-231.
- 沖田一彦・星野 晋（2004）：塚野鉱泉の特異的飲泉パターンに関する医療人類学的考察、温泉科学、Vol.53、No.4、151-161.
- 小野晃司（1984）：火砕流堆積物とカルデラ、アーバンクボタ、No.22.
- 河野 忠・長田美智子（1999）：大分県臼杵市の名水 ～その現状と水文学的特徴～、日本文理大学環境科学研究所報告、No.2、20-29.
- 河野 忠（2002）：『弘法水の水文学的研究』立正大学学位論文、pp135.
- 河野 忠（2005a）：ORPを指標としたイボ水の子察研究、大分県温泉調査研究会報告、No.56、69-79.
- 河野 忠（2005b）：「沈み橋王国大分」辻野 功編：『大分学・大分楽Ⅱ』明石書店.
- 河野 忠（2006）：「磨崖仏に湧水が存在する謎を解く」辻野 功編：『大分学・大分楽Ⅲ』明石書店.
- 田上八郎（1999）：『皮膚の医学』中公新書、pp272.
- 平松 洋（2005）：『いぼとり神様・仏様』羽衣出版、pp.191.
- 広瀬弘忠（2001）：『心の潜在力プラシーボ効果』朝日選書、pp201.
- ハワード・ブローディ（2004）：『プラシーボの治癒力』日本教文社、pp372.
- 平松皮膚科医院HP：<http://www2.tokai.or.jp/hiramatu/iboibo/iboindx.htm>



写真1 鋒立石（岡山県津山市小原大築神社跡）



写真2 大清水（大分県臼杵市大野）



写真3 瑞福寺の疣石（大分県中津市相原）

慢性心不全患者の炎症性サイトカインに対する温泉浴の効果について

九州大学病院別府先進医療センター

慢性疾患治療部

尾山 純一・工藤 義弘

老化制御学部門

牧野 直樹

要 旨

慢性心不全患者を対象に温泉浴による炎症性サイトカインに対する効果について検討した。単純泉に毎日10分間2週間温浴してもらい、前後の心血管動態について検討した。平均血圧、心拍数、心胸比等に変化はなかったが、左室駆出率の改善、BNPの低下に加え、炎症性サイトカイン濃度の減少が認められた。温浴効果は心不全の病態改善に寄与する可能性が示唆された。

目的

慢性心不全に対する非薬物治療の一つとして運動療法は以前から知られているが、最近では温熱療法が慢性心不全患者の自覚症状の改善、予後の改善等に有効であることが示唆されている。慢性心不全患者において以前より炎症性サイトカインの上昇が報告されており、心不全の病態悪化及び遷延化に寄与していると考えられている。温泉入浴により、炎症性サイトカイン濃度を改善させる効果が得られるか否かは明らかでは無い。本施設では、充実した温熱療法施設が備わっており、患者の治療に役立てることを目的としている。今回我々は当病院で行っている慢性心不全患者の免疫能に対する温泉浴効果について報告する。

方法

慢性心不全患者（拡張型心筋症：n = 5 及び虚血性心臓病：n = 11, NYHA II～III度）を対象に、2週間毎日（週5回）40度の温泉に10分以上温泉浴（半身浴）をしてもらい、心行動態及び心胸比（CTR）、左室駆出率（EF）、脳性利尿ペプチド（BNP）、炎症性サイトカイン（IL-1 β , IL-6, L-8, TNF- α ）についての変化を検討した。

結果

平均血圧、心拍数、心胸比に変化はなかったが、左室駆出率、BNPの改善が認められた。さらに炎症性サイトカイン濃度脈圧の改善を示唆する結果が認められた。

	温泉入浴前	温泉入浴後	統計
左室駆出率 (EF:%)	47.69 \pm 4.36	55.83 \pm 3.56	P < 0.05
脳性利尿ペプチド (BNP:pg/ml)	597.78 \pm 178.26	302.71 \pm 84.61	P < 0.05
IL-1 β (pg/ml)	1.47 \pm 0.24	1.22 \pm 0.21	P < 0.05
IL-6 (pg/ml)	3.51 \pm 0.69	2.86 \pm 0.53	P = 0.09
IL-8 (pg/ml)	8.20 \pm 3.74	5.47 \pm 1.08	有意差は認めず
TNF- α (pg/ml)	42.74 \pm 6.47	35.03 \pm 6.28	P = 0.07

考察

温泉浴療法は、末梢血管反応を改善し血管抵抗を低下させる事により心負荷を軽減すると同時に、心不全の状態を改善する事による炎症性サイトカインの増加を抑制する可能性が示唆された。今後、さらに症例数を増やし結果を報告したいと考えている。

関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化 (VI).

—未加療活動性関節リウマチ患者に対する機能訓練・温泉浴によるIL-6とIL-1raの変化。2) 加療前後での比較—

独立行政法人国立病院機構別府医療センター
リウマチ・膠原病センター

安田 正之

要 旨

我々は、リハビリテーション訓練や温泉浴により、関節リウマチ患者で高値を示すIL-6濃度が低下することを報じてきた。平成16年度報告書では、リハビリテーション未開始の入院後間もない3名のRA患者に対しリハビリテーション訓練と温泉浴を行い、前後でIL-6とIL-1ra濃度を測定したところ、起床時の強い強張りを訴えていた2例のRA患者はかえってきつくなると訴え、IL-6濃度の上昇を認めた。今回、この2症例に対し加療・改善後に再検するとともに、新規1症例に対し、加療前に軽度のリハビリテーション訓練と温泉浴を行い、数日後に通常の強さのリハビリテーション訓練と温泉浴を負荷した。

その結果、前2者ではIL-6はリハビリテーション訓練と温泉浴により低下したが、後1者では軽度のリハビリテーション訓練と温泉浴ではIL-6の低下を認めたが、通常のリハビリテーション訓練と温泉浴ではIL-6の上昇をもたらした。したがって、未加療の症状の強い時期にはリハビリテーション訓練が軽度の負荷となるように配慮し、十分な改善を得て後にその強さを増すように考慮すべきことを示唆している。

緒言

血中IL-6濃度は、関節リウマチの炎症の程度を反映するとされている。我々は、リハビリテーション訓練や温泉浴により、関節リウマチ患者のIL-6濃度が低下することを報じてきた[1]。平成16年度報告書では、消炎鎮痛剤(NSAID)のみが投与されていてリハビリテーション未開始の入院間もない患者に対し、リハビリテーション訓練と温泉浴を行なった結果を報告した。すなわち、リハビリテーション訓練と温泉浴前後でIL-6とIL-1raを測定したところ、患者のIL-6は上昇しており、患者は症状がかえってひどくなると訴えた。したがって、今回はリハビリテーション訓練と温泉浴による変化を加療前後で比較観察した。

方法

既報のごとく、リハビリテーション訓練と温泉浴を行った。前後で(10am, 11am)採血し、IL-6およびIL-1ra濃度を測定した[1]。対象は、4名の活動性関節リウマチ患者である。そのうち3名は平成16年度報告書の患者(RA-1, RA-2, RA-3)である。RA-1, RA-2および新規患者1名(RA-4)は、入院間もなく、NSAIDのみが投与されていたリハビリテーション未施行の患者である。

結果

図1左に加療前の変化を示す。RA-1, RA-2のIL-6値はリハビリテーション訓練と温泉浴により上昇している。この変化とかがえってひどくなると患者が訴えたことから、RA-4では加療前には通常より軽度のリハビリテーション訓練と温泉浴を行った。その結果、RA-4ではIL-6値の低下を認めた。IL-1raには特段の変化を認めていない。

図1右にRA-1, RA-2, RA-4の加療後の変化を示す。RA-1とRA-2では加療後にはIL-6値の低下を

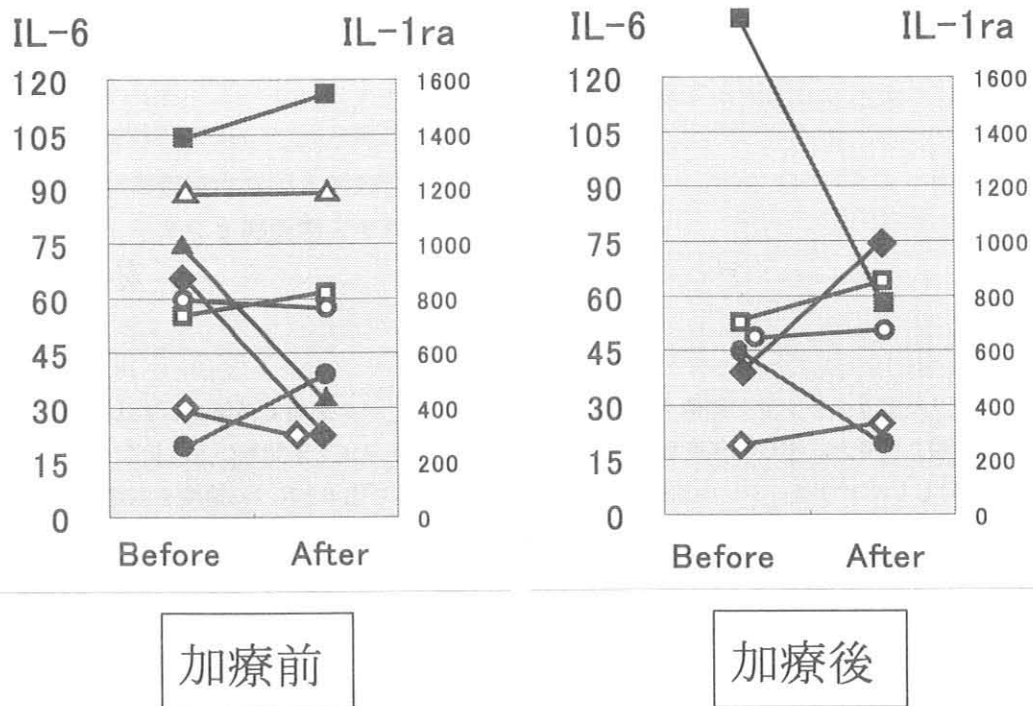


図1： IL-6/IL-1raの変化に対する加療の影響

- ：RA-1、■□：RA-2、▲△：RA-3、◆◇：RA-4
- ▲◆：IL-6 pg/ml
- △◇：IL-1ra pg/ml

示した。一方、RA-4には通常のリハビリテーション訓練と温泉浴を行ったところ、IL-6値の大幅な上昇を認めた。

考察

RA-1、RA-2、RA-4は、いずれもCRP高値であり高い疾患活動性を有しており、起床時の強い強張りを訴えていた。また、リハビリテーション訓練と温泉浴は未施行の入院患者である。RA-1とRA-2はリハビリテーション訓練と温泉浴後も気分がよくなったとは言わず、むしろ“きつかった”と訴えた[3]。強い強張りを有し多関節の疼痛と腫脹を訴える時期にリハビリテーション訓練と温泉浴を行うことは、身体的ストレスとなり、強張りを増強させ、何故このようなつらい運動をせねばならないかとの不満をもたらしたのであろうと考察した[3]。したがって、RA-1とRA-2が加療され、炎症と臨床症状が改善されてから同様の負荷を加えられたならば、既報の患者たちのようにIL-6値の低下と気分の改善を認めるか否かは興味深いと思われたので、RA-1とRA-2と新規患者（RA-4）に対し、加療後の変化を検討した。

その結果、RA-1とRA-2では加療によりCRPがRA-1:8.08mg/dlより0.53mg/dlに、RA-2:9.97mg/dlより2.15mg/dlに低下しており、臨床症状も改善した。この時期にはリハビリテーション訓練と温泉浴によりIL-6が半減しており、既報のようにその有効性を認めることが出来た[1,2]。RA-4では4日後に再検したが、CRPは1.52mg/dlから1.54mg/dlと変化を認めなかった。「安静が取れたので気分が良くなった」と患者が述べたので、通常のリハビリテーション訓練と温泉浴にも耐えられるであろうとの想定のもとで施行した。患者は「ちょっときつかったね」と述べたが気分は良く、不満を訴えることはなかった。意外なことに、IL-6は図のように倍増した。すなわち、RA-1とRA-2の経験に基づいて通常よりも軽度の訓練を負荷したことが加療前でもIL-6の低下を得たが、CRP値から判断しても改善が不十

分な時点で強い負荷がかかるとIL-6の上昇をもたらすのであろう。炎症が十分に改善されるまでは軽度の訓練を心がけ、十分な改善を得てからその量を増すことの必要性を示していると思われる。

文献

- [1]安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変 (II)。大分県温泉調査研究会報告 52 : 45-47、2001。
- [2]安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化 (IV)。大分県温泉調査研究会報告 55: 27-28、2004。
- [3]安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化 (V)。大分県温泉調査研究会報告 56: 67-68、2005。

VLF-MT法を用いた由布岳・浅部比抵抗調査

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究センター
宇津木 充

要 旨

われわれは2004年に、火山体地下における地下水系及び熱水対流系を明らかにすることを目的に、由布岳において自然電位測定を行った（宇津木、田中2004）。この観測から、由布岳を東西に横断する側線に沿った自然電位は、阿蘇火山のような活動的火山に特徴的に見られるW字型の自電位プロファイル（長谷ほか、2000）を持つ事が明らかとなった。しかし、由布岳は近年活発な火山活動は行っておらず、また地表での地熱兆候なども殆ど見られないため、由布岳で観測されたW字型プロファイルは、山頂部付近での地下の電気伝導度異常により見かけ上作り出されるものではないかとの可能性を示唆した。この推論を補足するため、今年度において、由布岳山頂から西側へ下る登山道に沿って、VLF-MT観測を行い、山体浅部域の比抵抗分布の調査を行った。本報告書では、その観測の結果を示すと共に、前回の観測で得られた自然電位測定の結果について議論する。

1. 自然電位観測

2004年における自然電位観測では、由布岳西側の登山口（A点）から山頂東嶺（C点）を経て東側登山道（E点）までのコース、及び南側登山道からB点までを結ぶコース（図1）について測定を行った。測定は、total field法と呼ぶ計測法で行った。この計測方法では、基準となる点を確保し、そこからある程度の長さの電線を伸ばしつつ或る間隔（本観測では100m、一部150m）おきに基準点との間の電位を計測する。電線を伸ばし終えたら終点近くに新たに基準点を設け、前測線の終点との間の電位を計測、また電線を伸ばしながら新たな基準点との間の電位差を計測する。これを測線全体について繰り返して、基準点間の電位差を補正して全体の電位分布を見積もる。図1の点Aを基準とした、A-B-C-D-

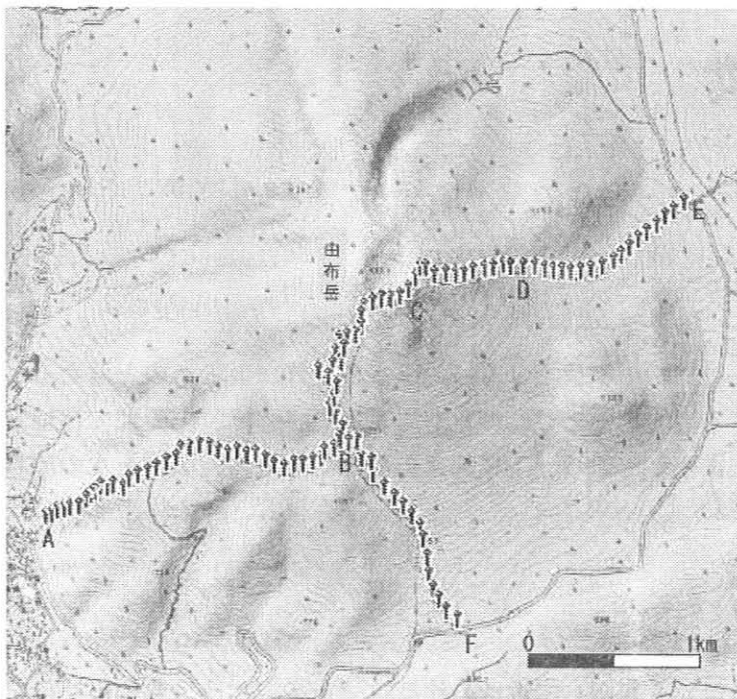


図1 2004年自然電位観測の観測点分布

E測線の測定結果を図2に示す。山麓から山腹部に掛けて（A-B, C-E）の領域では、地形標高と逆相関の電位分布がみられる。図1, A-B, C-D及びB-E間の電位について標高-電位の相関をとった結果を図3に示す。これを見ると、電位-標高間にはほぼ直線的な関係がみられ、この変化が地形効果による電位プロファイルであると考えられる。その傾きは約 -1.1mV/m で他の火山と比較しても地形効果として整合的な値を示している。一方、山頂付近のB-C, C-D間では、山麓部とは逆に電位が高まる傾向を示しており、いわゆるW型の自然電位分布を示しているように見られる。しかし、B-C, C-D間の電位の増加量はおよそ 200mV 程度と比較的小さく、かつ由布岳山頂部

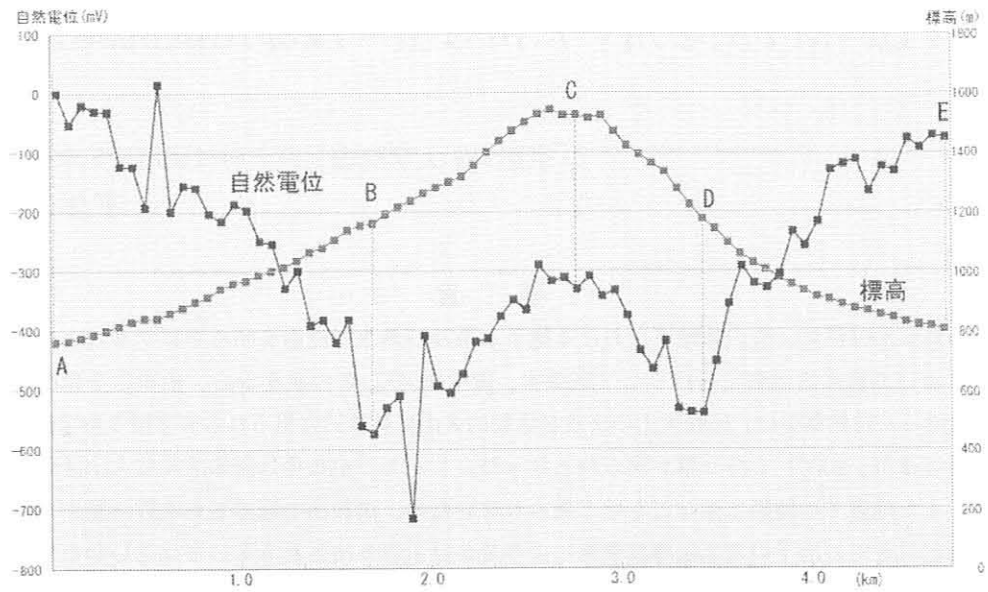


図2 測線A-B-C-D-E間の自然電位プロフィール

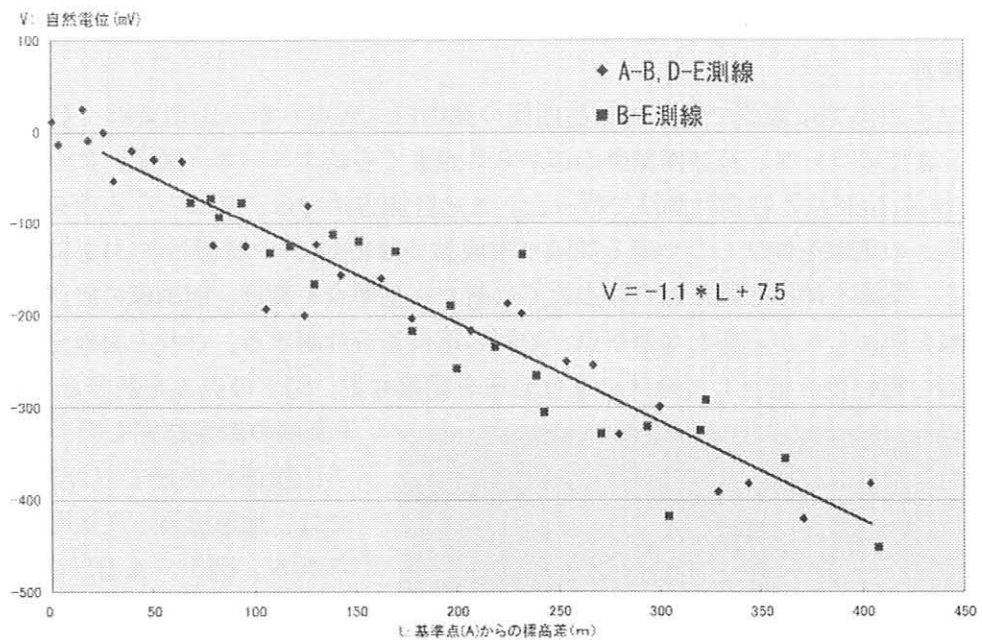


図3 A-B,D-E間及びB-E間の標高-電位図

では現在地熱兆候が見られないことから、この領域の電位上昇を、地下水の上昇によるものとするよりは地下構造に依存した流水系の変化によるものとしたほうが考え易い。実際、山麓部では地表が表土に覆われているが、山頂部では溶岩が露出しており、山頂部と山麓部で地表付近の地下水の流れが大きく異なっていることが想像できる。こうした事を踏まえ、VLF-MT法を用い、山体浅部域の比抵抗分布の調査を行った。

2. VLF-MT法による浅部比抵抗調査

MT法による探査では、地球の電磁気的な現象を利用して大地の比抵抗分布を調べ、地質構造を推定する物理探査の一手法である。雷放電などによる自然発生的な電磁波や人為的に発生させた電磁波が空

中から地表に入射し、地下の地層や岩石などの媒質を透過するとき、その媒質の電気的性質（導電性）に応じた磁場と電場が大地に形成される。地表でこの磁場の強さと電場の強さを測定することで、地下の媒質の導電率（又は比抵抗値）を求めることが出来る。地中に入射した電磁波は周波数により透過する深さが異なるため、広い範囲の周波数帯域（ $10^{-2} \sim 10^3$ Hz）の電磁波を利用することで、異った深さについて比抵抗が求められ、その変化から地下の地質構造が推定出来る。この探査法の考えはCagniard（1953）により示され、電磁気-地電流法（Magneto-Telluric method: MT法）と名づけられている。今回用いたVLF-MT法は、宮崎県えびの市から放射される単一周波数（22.2kHz）の電磁波を利用したMT法の一つであり、探査深度（100Wmの比抵抗媒質で表皮深度が約35m）が固定される反面測定が簡便という利点がある。

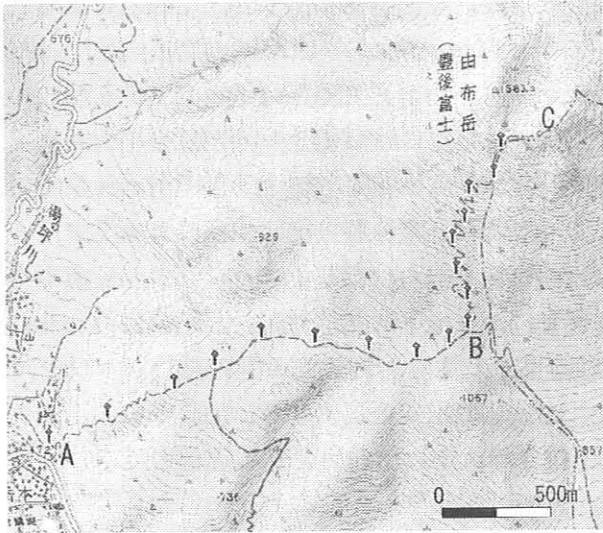


図4 VLF-MT測点分布

今回のVLF-MT観測における測線を図4に示す。これは自然電位測定のア-B-C測線と同じ経路で、西側登山道口から山頂までの登山道に沿って約300m、山頂付近（B-C間）では約100mおきに観測を行った。

この観測の結果得られた見掛け比抵抗値分布を図5に示す。この図の縦軸は観測された見かけ比抵抗値（単位は Ωm ）、横軸は各観測点を、A-Cを結ぶ直線に投影したときのA点からの水平距離（単位はkm）を示す。この図から、B点付近で見かけ比抵抗の値に大きなギャップがある事が見受けられる。B点より低い部分では、見かけ比抵抗の平均はおおよそ500 Ωm となっているのに対し、B点より山頂側では1400 Ωm 程度となっている。山頂の見かけ比抵抗が高い領域は、地下から貫入したマグマが存在する、もしくはマグマが流下し表層

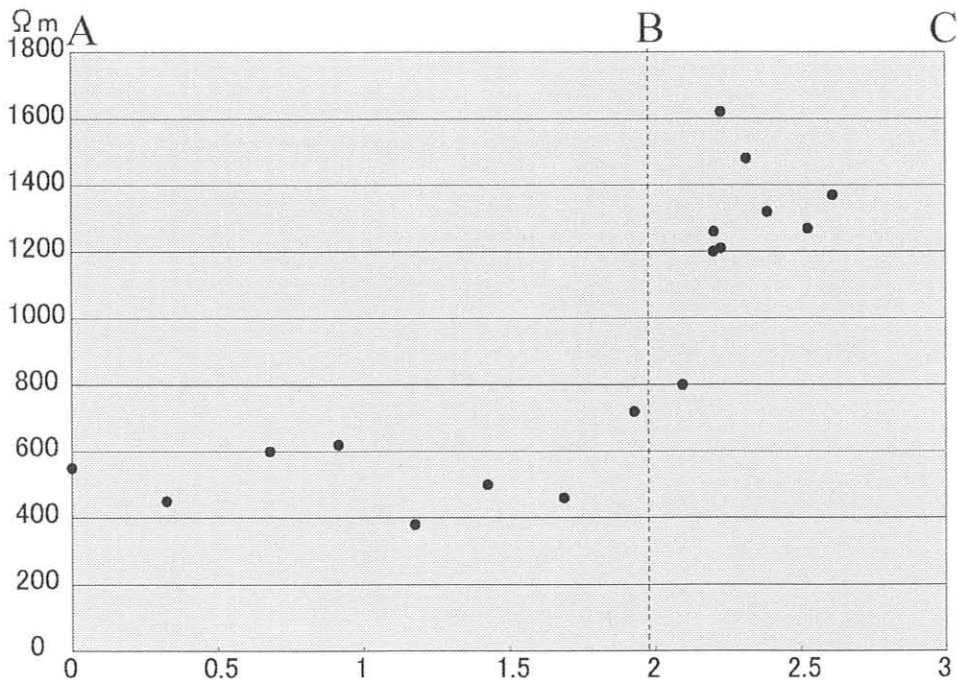


図5 VLF-MT観測の結果得られた見かけ比抵抗プロファイル

覆っている部分であり、この部分では地下水の浸透量が少ないと考えられる。

3. 自然電位計算

このように、地下の比抵抗値に大きなギャップがあり、地下水系分布の不均衡がある場合、比抵抗境界付近に電荷が集中し、それによりその付近に大きな電場が作られる。ここで、地表面も非常に顕著な比抵抗境界であるから、雨水の浸透、地下水の湧出が生じる領域付近にそれぞれ負、正の電荷集中が起こり自然電位のソースとなる。こうした状況を等価電流源モデルで模式的に表現する場合、山頂付近に地下水の浸透、山麓に地下水の湧出を等価的に表現するための電流ソースを置くことで自然電位プロファイルの説明が可能になる。ここで由布岳では、山頂部での雨水の浸透量は非常に少なく、山腹部からほとんどが浸透し始めると仮定し、雨水の浸透を表す負電荷を山腹部に置くことで表現できると考えられる。VLF-MTから得られる比抵抗値は、あくまで見かけ比抵抗値で、現実の比抵抗値ではないが、図6の結果からB点付近に、地下の比抵抗値に大きなギャップがあることは示されている。この計算では、B点より低い領域で地下比抵抗値を $500\ \Omega\text{m}$ とし、山頂部についてはその10倍を与えた。また大地はA-C間の地形を持つ2次元媒質と仮定して計算を行った。なお、こうした計算はHase (2004)で行われた電位計算の手法と同じものである。図6に、こうした等価電流源モデルで電位プロファイルの説明した例を示す。この図で示された数値計算結果は、由布岳で得られた電位プロファイルをよく再現できていることが分かる。活動的火山では、地下のマグマにより地下に熱水対流系が形成され、それにより山頂部で自然電位の高まりが現れる。それと地形効果との重ねあわせでW型の電位プロファイルが形成されることが考えられている。しかし由布岳の場合、山頂部の電位の高まりは、山腹部の地下水の浸透に伴い生じる負電荷による電位降下が緩和され、電位0の状態に戻ろうとする過程の見かけ上のものであると考えられる。

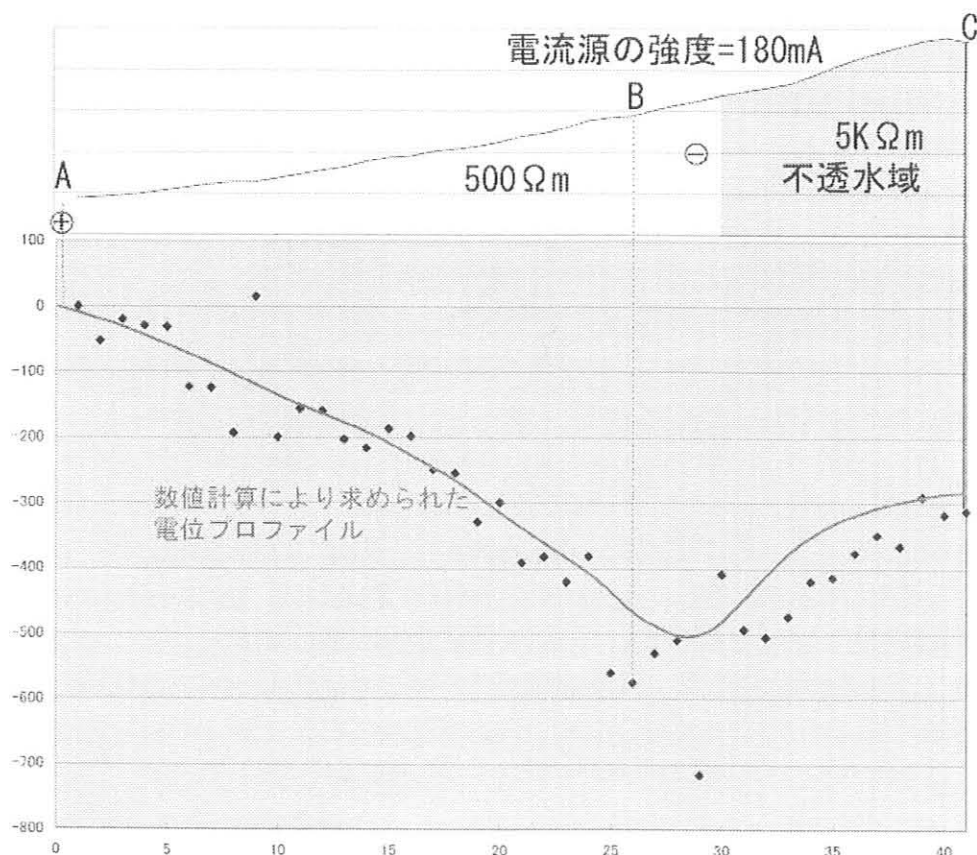


図6 数値計算により推定される等価電流源モデル（上図）及び計算された電位プロファイル（下図）

4. まとめ

今回、得られたVLF-MT及び自然電位データの解析から、由布岳浅部における地下水系の推定、及び地下構造に関する簡単な議論を行った。しかし、こうした議論は、詳細な地下の比抵抗構造といった地球電磁気学的な情報や、由布岳における地下水の流量の推定値といった陸水学的データを元にした議論を経なければ確たる結論に至ることは難しい。今後この地域におけるこれまでの諸研究から得られた成果を統合して、より具体的な地下水系についての議論を進める必要がある。

参考文献

- Cagniard, C. (1953) : Basic theory the magnetotelluric method of geophysical prospecting, *Geophysics*, 45, 1-16.
- Hase, H. (2004) : Self-Potential Studies for Volcano-Hydrology -Constraint from Field Observations and Laboratory Experiments-, PHD thesis for Division of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Kyoto University.
- 長谷英彰・田中良和・橋本武志・坂中伸也 (2000) : 阿蘇火山中央火口丘における自然電位観測, 京都大学防災研究所年報, 43, B-1, 47-53.
- 宇津木充, 田中良和 (2004) : 自然電位調査による鶴見岳周辺域の地下熱水系の推定, 大分県温泉調査研究会報告, 54, 23-27.

鍋山・明礬地域における地熱貯留層の 定量的理解に向けた岩石ゼータ電位測定

産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門

長谷 英 彰・石 戸 経 士

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

網 田 和 宏

要 旨

昨年行った鍋山・明礬地域の自然電位結果を評価するため、この地域から岩石サンプルを採取してゼータ電位の測定を行った。測定の結果、岩石ゼータ電位は鍋山地域と明礬地域で異なる傾向を示しており、地下水（温泉水）のpHを考慮すると、鍋山地域ではマイナス、明礬地域はプラスのゼータ電位であることが明らかとなった。

1. はじめに

多くの火山や地熱地域では、自然電位法を用いた地下流体の推定が行われている。例えば温泉などの地熱流体が地下で上昇流を形成している場合、その地表では一般的にポジティブな自然電位異常を形成すると考えられている。この自然電位異常の主な発生原因は、岩石などの多孔質媒質を流体が流動することによって発生する流動電位であると考えられている。ゼータ電位はこの流動電位を決定する要素のひとつであるが、これまでの石英や代表的な火山岩の室内実験の結果から、通常のフィールド環境ではいずれもマイナスの値を示す結果が得られていた (e.g. Ishido and Mizutani, 1981)。ところが最近のゼータ電位の室内実験によると、火山岩の種類によって値にかなりの差があり、プラスを示すものも多く存在することが判ってきた (e.g. Hase et al, 2003)。ゼータ電位が異なれば流動電位係数も異なり、特に符号まで異なる場合には、これまでの定性的な解釈（例えば、プラスの自然電位異常が地下の上昇流を示す）でさえ成り立たなくなる。このような場合、ゼータ電位測定の結果がなければ完全に間違った自然電位データの解釈を行ってしまう危険性がある。阿蘇の高岳周辺ではゼータ電位がプラスの岩石が多数発見されており、その影響と思われる通常とは逆センスの自然電位地形効果も観測されている (Hase et al, 2003)。

別府市の鍋山・明礬地域では、長谷 (2005) によって自然電位測定が行われているが、特徴的な自然電位異常は見出せなかった。原因はいくつか考えられるが、その中のひとつに温泉水のpHや岩石のゼータ電位環境から、流動電位がほとんど発生していない可能性が挙げられる。この問題を検証するためには、流体流動域の岩石ゼータ電位を測定して、流動電位を正確に見積もり、自然電位分布を注意深く解釈することが必要である。本研究では鍋山・明礬地域で岩石サンプルを採取して岩石ゼータ電位の室内実験を行い、その結果から測定された鍋山・明礬地域の自然電位を再考察する。

2. ゼータ電位

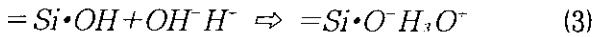
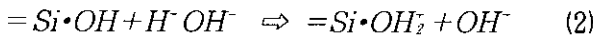
固体と液体が接しているとき、一般的にその界面ではイオンの分離が起きている。例えばSiO₂のような酸化物が電解質溶液の中にある場合を考えると、固体表面に負イオンが、また液体側には正イオンが集まり、全体としては正負イオンの中性が保たれているような電荷分布を形成している。このような構造は一般的に電気二重層と呼ばれている。電気二重層中における対イオンの広がり程度はDebyeパラメーター (κ) で表され、電気二重層の厚さは κ^{-1} で定義されている。また固体表面の外側に接する

液体側第1層目イオンの中心面 (ϕ_0) をシュテルン (Stern) 面または外部ヘルムホルツ (Helmholtz) 面と呼んでいる。実際に測定されるゼータ電位 (ζ) は、これよりさらに外側の滑り面での電位である (図-1)。シュテルン面に存在するイオンは固体表面イオンに吸着して動くことができないが、シュテルン面から離れるに従って自由度が高くなりイオンの流動性も高くなる。このような電気二重層を形成している液体が流動すると液体中の分離イオンも一緒に運ばれ、結果的に流動した液体の流れ先と元の間で電位差が発生する。これが流動電位である。流動電位 (Φ) とゼータ電位 (ζ) の一般的な関係式は次のようになる。

$$\Delta \Phi = \frac{\epsilon \zeta}{\sigma \mu} \Delta P \quad (1)$$

ϵ : 水の誘電率 (F/m)、 σ : 水の電気伝導度 ($\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$)、
 μ : 水の粘性率 (Pa · s)、 P : 水の圧力 (Pa) である。地中では地下水の流動などにより、このような流動電位が発生していると考えられ、流動電位によってつくられた地表の電位分布を測定することが可能である。

岩石などの金属元素を多く含む固体表面は金属酸化物であるため、水と接すると水和を起こして必ずOH基を有することが知られている。このような系の場合、媒質中のpH値によって界面における電位が変化するため、ゼータ電位の変化はpH依存が高いことが知られている (e.g. Ishido and Mizutani, 1981)。例えばSiO₂を例にとると



となる。低いpHではプロトン付加により正の電位を帯び (式(2))、逆にpHが高くなるとOH基からプロトンの引き抜きで負に帯電する (式(3))。このような酸化物表面は、あるpHで見かけ上ゼータ電位がゼロになる等電位点 (isoelectric point; IEP) が存在するが、その値は酸化物の酸性度によって異なる (北原ら、1995)。

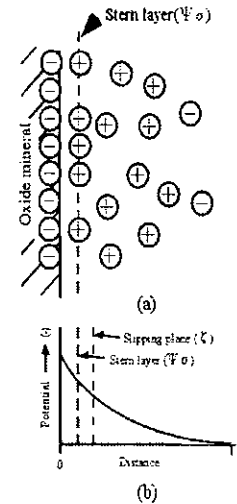


図-1 固液界面の電気二重層概念図

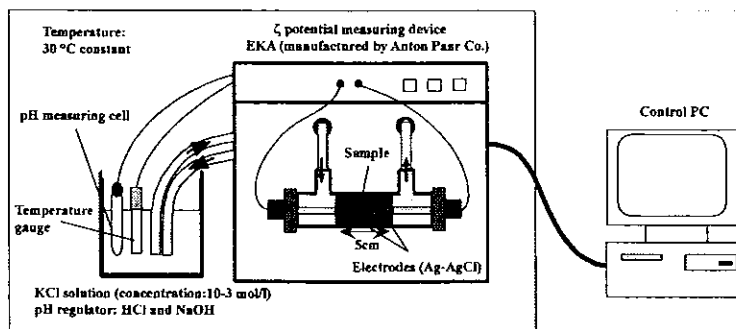


図 2

3. サンプルと測定条件

ゼータ電位を測定する方法はいろいろと考案されているが、本研究では流動電位法による測定法を採用した。測定装置は産業技術総合研究所のEKA (Anton Paar社製) (図-2) を使用して、サンプルを約 $300\mu\text{m}$ の粒径に粉碎したものを使用した。サンプルは鍋山地域で二ヶ所 (NBY01, 02)、明礬温泉地域で一ヶ所 (MYB01) から採取した (図-3)。溶液はKCl (10^{-3}mol/l) を用い、溶液温度 30°C 一定の環境で測定を行った。ゼータ電位はpHに強く影響するため、研究で $\text{pH}=3\sim 10$ の範囲でpHを調整して測定を行った。

4. 測定結果

各サンプルのゼータ電位測定の結果を図-4から6に示す。今回測定を行った3つの各サンプルについてゼータ電位がプラスを示すpHの範囲は、NBY02が $\text{pH} < 3$ でMYB01が $\text{pH} < 4.6$ 、NBY01は測定範囲全域でゼータ電位がマイナスであった。鍋山地域の地下水は温泉水を含め $\text{pH} > 3$ であるため、この地域フィールドにおけるゼータ電位は常にマイナスであることが推察される。そのためこの地域では地下水流動に伴ってプラスの電荷が運ばれることになり、流体の流動先でポジティブな電位異常を形成することが期待される。それに対して明礬地域の温泉水は pH がおよそ2であり、MYB01の結果からこの地域のフィールドにおけるゼータ電位はプラスであることが推察される。そのためこの地域では地下水流動に伴ってマイナスの電荷が運ばれることになり、流体の流動先でネガティブな電位異常を形成することが期待される。つまり、鍋山地域と明礬地域では同じように地下水流動が発生しても、地表に形成する自然電位のプロファイルが全く異なることを意味している。

昨年行った鍋山・明礬地域の自然電位測定の結果は、一見すると熱水上昇を示すポジティブな自然電位異常や重力ポテンシャルに伴った地下水流動によって形成される自然電位の地形効果などはみられない。しかしこの解釈は岩石ゼータ電位が一様である仮定の下での話であり、測定地域内にゼータ電位の符号までも異なる岩石が混在してい



図-3 サンプル採取地点 (四角点). ピンマークは昨年行った自然電位測定点を示す

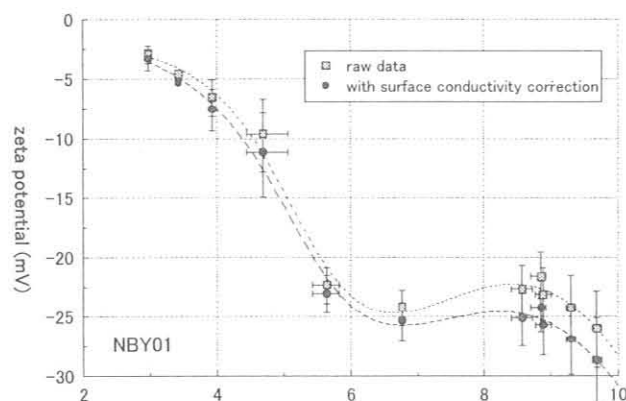


図-4 NBY01のゼータ電位測定結果

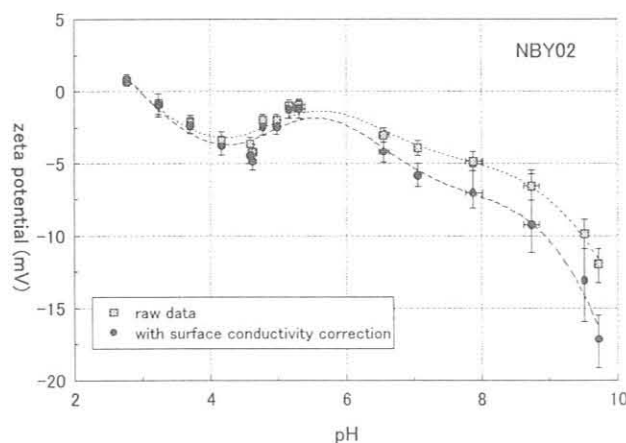


図-5 NBY02のゼータ電位測定結果

た場合、そこで発生する流動電位は上記に述べた単純な定性的解釈が成り立たなくなる。

5. ゼータ電位結果を含めた自然電位の解釈

鍋山地域と明礬地域での地下水のpHを考慮すると、鍋山地域ではゼータ電位がマイナス、明礬地域ではゼータ電位がプラスで、符号まで異なっていたため、それぞれの地域で地下水流動に伴って発生する流動電位も異なると推測される。またNBY02はpH<5の範囲でゼータ電位は0～-5 mVであり、値そのものが小さい。鍋山地域の地下水pHはこの範囲内である可能性が高いため、この地域で発生する流動電位も小さいと考えられる。

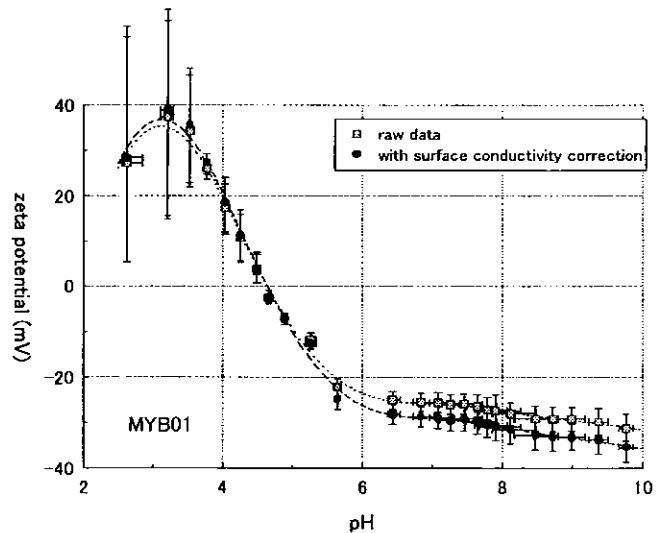


図-6 MYB01のゼータ電位測定結果

昨年行った鍋山・明礬地域の自然電位測定の結果は、熱水上昇を示すポジティブな自然電位異常や重力ポテンシャルに伴った地下水流動によって形成される自然電位の地形効果などはみられなかった。本研究のゼータ電位測定の結果から推測すると、鍋山地域周辺では岩石ゼータ電位の値が小さいことにより、地下水流動が発生しても流動電位の発生が小さく、その結果地表の自然電位に顕著に現れなかった可能性が考えられる。

それに対して明礬地域のゼータ電位はプラスで値も20mV前後であるため、地下水流動に伴って発生する流動電位の値も大きくなると推測される。しかし、温泉水の上昇に伴い発生する流動電位は地表にネガティブの自然電位異常を形成することが予想されるものの、鍋山地域から流れてきた地下水に伴って発生する流動電位（鍋山地域でネガティブ異常、明礬地域近傍でポジティブ異常を形成することが期待される）と相殺され、結果的に自然電位異常が明確に見られない可能性も考えられる。

6. まとめ

鍋山・明礬地域で行われた自然電位測定の結果を評価するため、岩石のゼータ電位測定を行った。測定の結果、鍋山地域と明礬地域の岩石でゼータ電位の傾向が異なることが明らかとなり、この地域の地下水pHを考慮すると、岩石ゼータ電位は鍋山地域でマイナス、明礬地域でプラスであることが示唆された。また鍋山地域では岩石ゼータ電位の絶対値が小さいことから、そこで発生する流動電位も小さく、地表で観測される自然電位も小さくなることが推測された。また明礬地域では温泉上昇によって地表にネガティブの自然電位異常が形成されると期待されるが、鍋山方面からの地下水流動によって形成される自然電位の地形効果と重なり、結果的に自然電位異常が明確に現れない可能性が指摘された。以上のことから、昨年行われた自然電位調査で顕著な自然電位異常が見出されなかったと推察される。

しかし自然電位調査が行われた地域は鍋山地域と明礬地域を結ぶ一測線だけであり、また明礬地域に中心部まで達していない。そのため明礬地域を評価するにはデータが不十分である可能性も考えられ、今後はさらに測定地域を広げて調査を行って評価を行う必要があると考えられる。

参考文献

北原文雄・古澤邦夫・尾崎正孝・大島広行, ゼータ電位—微粒子界面の物理化学, サイエンティスト社, 1-180, 1995.

長谷英彰, 自然電位法を用いた鍋山・明礬地域の熱水調査, 大分県温泉調査研究会報告, 第56号, 33-

37, 2005.

Hase, H., T. Ishido, S. Takakura, T. Hashimoto, K. Sato and Y. Tanaka, ζ potential measurement of volcanic rocks from Aso caldera, Vol. 30, No. 23, 2210, doi:10.1029/2003GL018694, 2003.

Ishido, T. and H. Mizutani, Experimental and theoretical basis of electrokinetic phenomena in rock-water systems and its application to geophysics, J. Geophys. Res. Vol. 86, 1763-1775, 1981.

大分県温泉調査研究会会則

第1条 この会は大分県温泉調査研究会（以下「会」という。）という。

第2条 会の事務所は大分県企画振興部景観自然室内に置き、調査研究の必要に応じては出張所を設けることができる。

第3条 会は大分県内における温泉の科学的調査研究をして公共の福祉の増進に寄与することを目的とする。

第4条 会は前条の目的を達成するために下記の事業を行う。

- (1) 温泉脈及び温泉孔の分布状況調査
- (2) 噴気に関する研究調査
- (3) 温泉に対する影響圏の調査
- (4) 化学分析による温泉調査
- (5) 療養的価値よりみたる温泉の調査
- (6) 温泉に関する図書及び機関紙の発行
- (7) その他会の目的達成に必要な事業

第5条 会は下記の構成員をもって組織する。

学識経験者

県及び温泉所在地市町村の代表

関係行政庁の吏員

第6条 会の役員は下記のとおりとし、総会によって選任する。

会 長	1 名
副 会 長	2 名
常務理事	1 名
理 事	若干名
監 事	2 名

2 役員任期は2年とする。ただし、役員に欠員を生じた場合の補欠役員任期は前任者の残任期間とする。

第7条 会長は会務を総理し、会議の議長となる。

2 会長に事故のあるときは副会長が、会長及び副会長に事故があるときは常務理事がその職務を代理する。

3 常務理事は会長を補佐して会の常務に従事する。ただし、会の出納事務は常務理事が処理するものとする。

4 理事は会務に従事する。

5 監事は会計及び会務を監査する。

第8条 会に顧問を置くことができる。

- (1) 顧問は役員会の承認を得て会長が委嘱する。この場合、総会に報告しなければならない。
- (2) 顧問は会の事業について会長の諮問に応ずるものとする。

第9条 役員は名誉職とする。ただし、常時会務に従事しておる者及び職員はこの限りでない。

第10条 会に下記の職員を置く。

- (1) 書記 若干名
- (2) 書記は会長が任命又は委嘱する。
- (3) 書記は上司の指揮を受け庶務に従事する。

第11条 会議は総会及び役員会とする。

第12条 総会は会長が招集する。

- 2 総会は通常総会及び臨時総会とし、通常総会は毎年4月、臨時総会は会長が必要と認めるとき、又は会員の5分の1の請求があったときに招集する。
- 3 総会の招集は開会の5日前までに会員に届くように会議に付議する事項、日時及び場所を通知しなければならない。

第13条 総会において下記の事項を議決する。

- (1) 会則の変更
- (2) 役員を選出
- (3) 予算及び事業計画
- (4) 解散
- (5) その他重要事項

第14条 総会は会員の過半数が出席しなければ議事を開き議決することはできない。

- 2 議事は出席会員の過半数で決し、可否同数のときは議長の決するところによる。
- 3 議事に関しては議事録を調整し、会長の指名した2名以上の者がこれに署名しなければならない。

第15条 下記の事項について会長は専決することができる。

- (1) 総会の議決事項であっても軽易な事項
- (2) 臨時急を要する事項
- (3) 会員の入会・退会

2 下記の事項については総会に報告し、承認を得なければならない。

- (1) 前項の専決事項
- (2) 前年度の事業及び決算

第16条 役員会は会長が招集する。

2 役員会は総会に付議する事項、顧問の推薦、その他会長が必要と認める事項を審議する。

第17条 第14条第1項及び第2項の規定は役員会に準用する。

第18条 会は議事遂行上必要がある場合は、専門委員会を設けることができる。

2 前項の委員会に関する事項は総会で定める。

第19条 会の経費は負担金及び補助金、委託料、寄附金等その他の収入をもってこれにあてる。

第20条 会の会計年度は毎年4月1日から始まり翌年3月31日に終わる。

2 年度における余剰金は翌年度に繰越することができる。

附 則

前条の規定にかかわらず、昭和24年度の会計年度は6月1日から始めるものとする。

附 則

この会則の改正は、昭和46年4月1日から適用する。

この会則の改正は、昭和48年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成2年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成7年5月1日から適用する。

この会則の改正は、平成9年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成16年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成18年4月1日から適用する。

大分県温泉調査研究会会員名簿 (順不同)

(平成18年7月1日現在)

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
京都大学 名誉教授	由 佐 悠 紀	会 長
九州大学 名誉教授	矢 永 尚 士	副 会 長
大分県企画振興部 景観自然室長	末 成 祐 二	副 会 長
大分県企画振興部 景観自然室 参事	渡 辺 政 治	常務理事
大分大学教育福祉科学部 教授	川 野 田 實 夫	理 事
国立病院機構別府医療センター リウマチ科 部長	安 田 正 之	理 事
九州大学 名誉教授	古 賀 昭 人	
九州大学 名誉教授	延 永 正	
大分大学 名誉教授	志 賀 史 光	
元大分大学	大 野 保 治	
大分総合検診センター 会長	辻 秀 男	
九州大学生体防御医学研究所気候内科 教授	牧 野 直 樹	
岡山理科大学理学部基礎理学科 教授	北 岡 豪 一	
京都大学火山研究センター 教授	田 中 良 和	
日本文理大学建設都市工学科 教授	河 野 忠	
大分大学工学部 研究員	大 上 和 敏	
京都大学地球熱学研究施設 教授	竹 村 恵 二	理 事
京都大学地球熱学研究施設 助教授	大 沢 信 二	理 事
京都大学地球熱学研究施設 助手	山 本 順 司	
京都大学地球熱学研究施設 助手	柴 田 知 之	
京都大学地球熱学研究施設 研究機関研究員	杉 本 健	
秋田大学工学資源学部地球資源学科	網 田 和 宏	
京都大学地球熱学研究施設 教務補佐員	芳 川 雅 子	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 火山研究センター	宇津木 充	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 火山研究センター	鍵 山 恒 臣	
北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター	長 谷 英 彰	
九州大学病院別府先進医療センター循環呼吸老年病内科 助手	尾 山 純 一	
別府ONSEN地療法研究会 (畑病院)	畑 洋 一	
別府ONSEN地療法研究会 (畑病院)	畑 知 二	
株式会社エスピーシーテクノ九州技術グループ チーフ・マネージャー	植 木 和 宏	

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
大分県薬剤師会検査センター水質計量課 課長代理	炭 本 悟 朗	
(株)住化分析センター大分事業所	板 井 清 美	
大 分 市 長	釘 宮 馨	理 事
別 府 市 長	浜 田 博	理 事
中 津 市 長	新 貝 正 勝	
日 田 市 長	大 石 昭 忠	理 事
臼 杵 市 長	後 藤 國 利	
竹 田 市 長	牧 剛 尔	理 事
杵 築 市 長	八 坂 恭 介	
宇 佐 市 長	時 枝 正 昭	
由 布 市 長	首 藤 奉 文	理 事
国 東 市 長	照 山 俊 一	
九 重 町 長	坂 本 和 昭	理 事
玖 珠 町 長	小 林 公 明	
別府市ONSENツーリズム局 局長	吉 本 博 行	
別府市ONSENツーリズム局温泉振興室 室長	浜 口 善 友	監 事
別府市ONSENツーリズム局温泉振興室 主査	土 井 弘	
大分県別府県民保健福祉センター 所長	安 達 国 良	監 事
大分県別府県民保健福祉センター 次長	真 部 健 二	
大分県衛生環境研究センター 所長	堤 平 治	理 事
大分県衛生環境研究センター化学担当 専門研究員	山 下 秀 門	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 専門研究員	澗 祐 一	
大分県衛生環境研究センター 化学担当 主幹研究員	溝 腰 利 男	
大分県産業科学技術センター 地域資源担当 主任研究員	齊 藤 雅 樹	

(会員数 54名)

書 記

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
大分県企画振興部 景観自然室 自然交流班 室長補佐	森 さつき	
” 主査	山 田 剛	

(2名)

大分県温泉調査研究会報告 第57号

平成18年8月 印刷
平成18年8月 発行

発行者 大分県温泉調査研究会
〒870-8501 大分市大手町3丁目1番1号
大分県企画振興部
景観自然室(事務局)
電話 097-536-1111 内線2121
FAX 097-534-5022

印刷者 〒870-0026 大分市金池町5丁目7番18号
有限会社 大分出版印刷
電話 097-532-4078