

大分県温泉調査研究会報告

第 60 号

平成 21 年 7 月

目 次

関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(IX). -IL-17の変化-	安田正之	(1)
鶴見岳・伽藍岳の噴気活動と表層の電気伝導度分布に関する調査	鍵山恒臣 他3名	(3)
天然同位体をトレーサとした別府南部地域の温泉涵養域の推定 -京大温泉実験井の同位体データの利活用-	大沢信二 他3名	(7)
慢性心不全患者の血管内皮機能に対する温泉浴の効果について	尾山純一 他2名	(19)
温泉水流入による河川水中の溶存酸素量の変化 -大分川上流(湯布院)域について-	川野田實夫 他2名	(21)
温泉地における地域構造の変容に関する考察	中山昭則	(27)
数値シュミレーションを用いた鍋山・明礬の地熱系の解明	長谷英彰	(35)
伽藍岳及びその周辺域における比抵抗構造調査	宇津木 充 他4名	(43)
大分県に産する第四紀マグマの起源	柴田知之	(49)
2本のボーリングコア試料から推定した朝見川断層の活動性	竹村恵二 他2名	(51)
人物による温泉発見・開湯伝説からみた泉質と効能に関する研究	河野 忠	(57)

序

昭和23（1948）年に公布された温泉法に基づいて大分県温泉審議会（現、大分県環境審議会温泉部会）が設置され、これに呼応して昭和24（1949）年には「大分県内における温泉の科学的研究をして公共の福祉の増進に寄与することを目的」として、大分県温泉調査研究会が設立されました。以来毎年、途切れることなく調査研究事業が実施され、得られた成果は、本会の機関誌「大分県温泉調査研究会報告」に掲載・公表されてきました。

この間、わが国の社会状態は大きく変化しましたが、温泉を取り巻く環境にも大きな変化がありました。その一つは、1960年代を中心とした高度経済成長期に、全国的に進展した温泉利用の活発化と多様化です。これは当然のように、温泉需要量の増大につながりました。大分県においてもその動きは非常に活発で、多数の温泉井戸が掘削されました。たとえば、わが国最大規模の温泉地・別府温泉では、それまで千数百本であった源泉数が約三千本へと倍増しました。これには、自噴泉の減少・動力泉の増加・泉質の変化などが随伴することになりました。

もう一つは、地球科学の発展です。最も重要なのは、われわれの地球観に大きな変革をもたらしたプレートテクトニクスと呼ばれる概念の発展で、これによって、温泉の熱をもたらす火山現象への理解が進みました。他方、温泉の水源については、そのほとんどが天水起源であることが明らかになりました。こうして、温泉に対する自然科学的な描象が深化しましたが、それとともに更に追究すべき課題も登場しています。

こうした状況の変化に応じながら、本会では温泉の調査研究事業を続け、本年もここに、平成20年度の活動を記した機関誌第60号を出版する運びとなりました。本号には11編の報告が掲載されています。多岐にわたる研究課題は、いずれも会員諸氏が自主的に選択したものであり、医学・理学・社会科学・人文科学との境界分野など、斬新な観点と手法による研究成果に接することができるのは大きな喜びです。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の意を捧げる次第です。

本会の活動は、実に60年もの長きにわたって続いてきましたが、温泉に関わる事柄は、研究面においても行政面においても、新たな局面に向かっていくように思われます。このときにあたり、会員諸氏の研究の進展と本会の持続的発展を期待し、関係各位・諸機関の引き続いてのご協力をお願いいたします。

平成21（2009）年7月

大分県温泉調査研究会

会 長 由 佐 悠 紀

関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化 (IX).

—IL-17の変化—

白桦市医師会立コスモス病院リウマチ科

安田正之

要 旨

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告してきた。今回、リウマトイド炎症と関連するとして注目されているIL-17を測定した。その結果、IL-17濃度は20分間のリハビリテーション訓練（理学療法）と20分間の温泉入浴では変化していなかった。

緒言

関節リウマチの炎症の程度と炎症性サイトカイン血中濃度とは相関があるとされている。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濃度が低下し、気分の爽快感と関連することを示唆したが、IL-1ra、TNF- α は変化を認めなかった〔1-6〕。今回、リウマトイド炎症と関連するとして注目されているIL-17を測定した。

方法

既報のごとく、20分間のリハビリテーション訓練（理学療法）と20分間の温泉入浴を行い、前後で（10am, 11am）採血の後に-30℃で凍結保存されていた未解凍の血清を使用してIL-17を測定した。

結果

20分間のリハビリテーション訓練（理学療法）と20分間の温泉入浴により、IL-6がほぼ半減することを示してきた。よって、同一検体を用いてIL-17を測定したが、すべて測定感度以下であり、その変化を検討できなかった。また、リウマチ性多発筋痛症を始めとする強い筋肉痛や強張りを訴えた患者で高いIL-6値を示した症例においても同様であった。

IL-17高値を示した症例は、著明な膝関節滑膜の肥厚を示した2症例であったが、2症例とも20分間のリハビリテーション訓練（理学療法）と20分間の温泉入浴の研究対象に選出されておらず、その変化を評価できなかった。なお、両症例ともに生物学的製剤を投与されたが、7日から14日の後にIL-17値は半減しており、投与直後に低下したIL-6とは異なり、CRPとほぼ同様の変化と思われた。

考察

これまでの報告で、20分間のリハビリテーション訓練（理学療法）と20分間の温泉入浴により、関節リウマチ患者のIL-6濃度はほぼ半減し、気分の爽快感とこわばり感の軽減を得ていた〔1〕。IL-17は、TNF- α と同様に測定感度以下であり、その変化を観察できなかった。ともに高値を示すサンプルを含んでいることから、測定上の問題ではなく、IL-17がリウマトイド炎症と直接的な関連を有するのではないように思われた。むしろ、関節滑膜の肥厚のような病態と関連し、CRPとほぼ同様の緩やかな変化を示すのであろうと思われた。

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.
- [4] 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 (VI). 大分県温泉調査研究会報告 57 : 69-72, 2006.
- [5] 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 (VII). 大分県温泉調査研究会報告 59 : 印刷中, 2008.
- [5] 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 (VIII). 大分県温泉調査研究会報告 59 : 印刷中, 2008.

鶴見岳・伽藍岳の噴気活動と表層の電気伝導度分布 に関する調査

京都大学理学研究科地球熱学研究施設火山研究センター

鍵山 恒 臣・宇津木 充
吉川 慎・井上 寛之

要 旨

鶴見岳・伽藍岳周辺地域において表層の電気伝導度分布を調査した。その結果、伽藍岳の地熱活動中心（塚原）から鍋山を経て明礬温泉にいたる地域でもっとも電気伝導度が高くなっていることがわかった。これに対して、鶴見岳では山頂の噴気活動周辺に小規模な高電気伝導度領域が存在するほか、堀田温泉付近および鶴見岳南麓に高電気伝導度領域が認められる。

1. はじめに

地熱地域では、地下深部から供給される火山ガスが地表に噴出するとともに帯水層に付加されて周辺に拡散していると考えられる。鍵山（2006）は、霧島火山群において地下浅部の帯水層の比抵抗が火口中心から周辺に向かうにつれて高くなるとともに、通常は高比抵抗であることが一般的な表層の比抵抗も中心部ほど低くなる傾向が見られること、地熱活動の活発な火山ほど低比抵抗域の面積が広がることを示している。こうした傾向が鶴見岳・伽藍岳火山においても見られるかどうかは大変興味深い。こうした観点から鍵山・他（2008）は、伽藍岳周辺においてVLF-MTによる表層の比抵抗分布を調査し、伽藍岳の地熱活動の中心部である塚原から別府温泉にかけて低比抵抗領域が伸びる傾向を見出している。この結果が鶴見岳を加えた鶴見岳・伽藍岳火山群においてどうなるかは大変興味深いので、調査地域を南に拡大してVLF-MT調査を実施した。この地域の電磁気学的調査は、大羽・他（1997）による自然電位および電気探査、橋本・他（2003）による鶴見・伽藍岳の自然電位調査、田中・他（2003）による全磁力観測等が行われており、これらの結果も踏まえて、調査結果を報告する。

2. VLF-MTによる表層の電気伝導度分布

調査は、2009年4月に鶴見岳山頂部を含む周辺域、および伽藍岳・鶴見岳東麓にあたる別府温泉西部において実施した。本報告では、鍵山・他（2008）に報告している伽藍岳周辺の調査結果も合わせて報告する。調査結果は、図1に示すとおりである。前報では、比抵抗分布を示していたが、温泉・湧水の電気伝導度との整合性をとるために電気伝導度（単位は $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）で示す。10000/電気伝導度で $\Omega \cdot \text{m}$ に換算できる。同地域は、鶴見岳・伽藍岳等の溶岩ドームおよびその碎屑物に覆われており、大部分の地域は $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の電気伝導度を示し、地熱活動域や平坦な扇状地堆積域ではそれ以上の電気伝導度を示す傾向がある。こうした理由から、図1では $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上の領域についてコンターを描いている。全体的な傾向として、北部の伽藍岳周辺では、塚原およびその東に位置する明礬温泉、鉄輪温泉などにおいて、高電気伝導度域が分布しているのに対して、南部の鶴見岳周辺では、高電気伝導度域が比較的狭い地域に限られている。以下にそれぞれの地域ごとにその特徴を示す。



図1 VLF-MTによる鶴見岳・伽藍岳周辺の電気伝導度分布 (単位は $\mu\text{S}/\text{cm}$)

2-1 塚原-明礬温泉地域の電気伝導度分布の特徴

図1に示すように、塚原地熱地域の高電気伝導度領域は東西方向に延びる傾向があり、東側へは鍋山を経て明礬温泉・鉄輪温泉方向へと延びるようである。この傾向は鍵山・他(2008)において示されていたが、新たに測定点を増やしたことで、上記の大局的傾向は変わらないものの、細かく見ると、鍋山から明礬温泉の谷地形に沿って東に延びる領域と南の鶴見霊園の谷地形に沿って東に延びる領域とに分かれることが明らかになった。一方、伽藍岳北麓は $30\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の低電気伝導度を示しており、塚原地熱地域の高電気伝導度領域は北には延びていない。竹村・由佐(1989)は岩石の帯磁率の調査に基づいて、塚原地熱地域から鍋山、明礬温泉に至る地域で熱変質が進んでいることを示しており、本報告の

結果と調和的である。また、この東西方向に延びる高電気伝導度領域は、2007年に別府市において発生した群発地震活動の震源の並びと近い位置にあり、地下深部に存在する断層に規定されて火山流体が恒常的に上昇してきていることを示すものかもしれない。

2-2 伽藍岳山麓の電気伝導度分布

伽藍岳西麓および北麓には $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上のやや電気伝導度の高い領域が広がっている。西麓は由布岳と伽藍岳にはさまれた低地に対応しており、両火山に降った雨水がこの地域に集まり帯水層が発達しているためと考えられる。北麓の十文字原付近は別府北断層の南側に生じた低地が埋積された平坦地に対応しており、地下水がこの地域に集まった後に別府市方向に流れていることを反映しているように思われる。

2-3 鶴見岳山体部の電気伝導度分布

鶴見岳の山頂から北西に約500mの地点には赤池噴気活動が知られており、この噴気活動に伴う高電気伝導度域の広がりやどの程度であるかが注目される。山頂部一帯の調査結果を見ると、ほとんどの測定点で $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の低電気伝導度を示し、噴気地帯のごく近傍において高電気伝導度が観測されるにとどまった。噴気地帯の北側までの調査は時間の制約から行えなかったが、西側から南東側にかけての測定結果から類推すると、噴気から150m程度の限られた領域で高電気伝導を示すと思われる。橋本・他(2003)の自然電位調査によれば、ほぼ同じ領域に熱水の上昇域が推定されている。山頂部は放送施設の電磁気ノイズが強く、測定結果の信頼性がやや疑われるが、全ての地点で $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下を示した。鶴見岳中腹の測定は行われていないが、後に示す山麓部の測定において、標高が高くなると急速に電気伝導度が低下して $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下となることから、鶴見岳中腹部の電気伝導度は低いと予想される。

2-4 鶴見岳山麓部の電気伝導度分布

鶴見岳と由布岳にはさまれた西麓の電気伝導度は大部分の地点で $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の低電気伝導度を示している。鶴見岳の赤川噴気地域や鶴見岳の西側山腹を起源とする熱水が流下しているのであれば、高電気伝導度領域がこの地域に期待されるはずであり、観測される事実は、そのような熱水の流下が起きていないことを示している。南麓から南東麓にかけては、 $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上、ところによっては $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ を越える電気伝導度を示している。この地域は湯布院断層が由布岳の南麓から東北東方向に延びてくる場であり、基盤の北落ち地形を鶴見岳の噴出物が埋積しているため、鶴見岳に降る降水が集まる場となっていると思われる。また、鶴見岳東麓には、 $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ を越える高電気伝導度領域が見られる。この地域は朝見川断層が南東方向から鶴見岳に延びており、堀田温泉など多くの温泉が断層に沿って分布していることから、これらの温泉・地熱活動に対応した熱変質域をとらえたものと思われる。しかし、伽藍岳東麓の鍋山-明礬温泉の地域に比べると高電気伝導度領域は狭い範囲に限られる。これは、別府南部地域の温泉放熱率が別府北部地域の温泉放熱率の約半分であることと整合的である。この温泉・地熱活動と鶴見岳赤池の噴気活動との関連を示唆するような証拠は本調査では見られないが、測定点が必ずしも十分ではなく、鶴見岳東山腹の林道周辺の調査を行うことで、より明確な結果が得られると思われる。

3. まとめ

鶴見岳・伽藍岳周辺において表層の電気伝導度分布を調査した。その結果、伽藍岳の地熱活動中心である塚原から鍋山を経て明礬温泉にいたる地域に高電気伝導度の領域が東西に延びていることが明らかとなった。これに対して、鶴見岳では山頂の噴気活動周辺に小規模な高電気伝導度領域が存在するほか、鶴見岳東麓の朝見川断層付近において高電気伝導度領域が認められた。これらの領域は温泉・地熱活動

と関係している。このほかに、伽藍岳北側の別府北断層付近と鶴見岳南麓の湯布院断層付近、伽藍岳と由布岳にはさまれた地域に帯水層が発達した領域が見出された。鶴見岳山頂の噴気活動と東麓の温泉・地熱活動との関係を明らかにする証拠は見出せなかった。この問題は、観測点がまだ十分ではないので、鶴見岳中腹東側の林道等において調査を行う必要がある。

謝辞

調査に際して、塚原温泉関係者にご協力をいただいた。測定結果の解釈において、京都大学地球熱学研究施設竹村恵二教授との討議が有益であった。この誌面を借り謝意を表します。

参考文献

- 橋本武志・網田和宏・長谷英彰・田中良和 (2003) : 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, 91-96.
- 鍵山恒臣 (2006) : 火山噴火予知研究の課題と構造探査, 物理探査, 59, 539-548.
- 鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎・寺田暁彦 (2008) : 伽藍岳・塚原の地熱活動の周辺域への広がりに関する調査, 大分県温泉調査研究会報告, 59, 35-39.
- 大羽成征・田中良和・由佐悠紀 (1997) : 伽藍岳の地熱調査(3)-自然電位測定による熱水流動系解析の試み-, 大分県温泉調査研究会報告, 48, 13-20.
- 竹村恵二・由佐悠紀 (1989) : 別府地域の岩石の帯磁率測定 (その1), 大分県温泉調査研究会報告, 40, 15-19.
- 田中良和・宇津木充 (2003) : 地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究(3), 大分県温泉調査研究会報告, 54, 85-89.

天然同位体をトレーサとした別府南部地域の温泉涵養域の推定

—京大温泉実験井の同位体データの利活用—

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

大 沢 信 二・山 田 誠
三 島 壮 智

岡山理科大学理学部基礎理学科

北 岡 豪 一

要 旨

京都大学地球熱学研究施設構内で掘削された温泉実験井から深さ別に採取された熱水や冷地下水の同位体資料の利活用を計り、地下水の水素安定同位体比を用いてその涵養標高を知る同位体水文学的方法を適用して、別府温泉南部地域の温泉の元となる様々な熱水の涵養標高を求め、それら熱水の水の涵養域の推定を行った。その結果、「温泉の水の涵養は山間部で行われる」というこれまでの認識を一部裏付ける結果が得られる一方で、放射性水素同位体のトリチウム (^3H) のデータも参照することで、沸騰泉水の元となる熱水の水の涵養に断層の存在が関わっているという新知見を得ることができた。

1. はじめに

天然に存在する水の同位体（水素安定同位体； D/H 、酸素安定同位体； $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 、ならびに放射性水素同位体； ^3H （トリチウム））は、環境同位体とも呼ばれ、地下水の有用なトレーサであり、水の起源の解明、水系区分や混合関係、流動・流出プロセスの解析などに汎用されている。その背景には、測定装置（安定同位体分析では質量分析計が用いられる）の普及と、分析作業のルーチン化によって多数の測定が短時間で行えるようになったということがある。近年では、コンサルタント会社による受託分析で比較的安価にデータが入手できる状況になり、そのことも天然同位体利用の急速な普及とは無関係ではないであろう。このように、同位体分析では、水質データと同様に、だれもが自分のデータを容易に手に入れられる時代になったと言っても言い過ぎではない。その一方で、データ解析方法に関する進展もあり、その一例として、水素安定同位体を用いる火山地下水の涵養域同定方法の提案があり（風早・安原, 1994）、その利用が進んでいる（例えば、安原・風早, 1995；風早・安原, 1999；中村・他, 2002；安原・他, 2002）。私たちの研究グループも、その方法を九重火山南東麓の炭酸泉に応用し、温泉にも適用可能であることを示した（山田・他, 2005）。本研究では、温泉への適用性を確認することを目標とし、熱水流動経路等の地下情報の豊富な別府温泉南部地域を対象にして、京都大学地球熱学研究施設構内の温泉実験井から深さ別に得られた熱水の同位体資料の利活用を計り、南部地域の温泉の源となる熱水の涵養域の推定を行った。

2. 別府南部地域の温泉と京大温泉実験井

別府温泉は、標高1,375mの鶴見岳を主峰とする鶴見火山の東麓から別府湾に至る東西5km、南北8kmの火山性扇状地のほぼ全域に展開する一大温泉地である（図1）。別府温泉は、扇状地のほぼ南と北の縁に位置する別府八湯と呼ばれる自然湧出の温泉や地獄を核にして開発された温泉地であり、これまでに実に3,000口に及ぶ温泉井が掘削された。これらを活用した地道な調査の結果から、扇状地の地下を流れ下る熱水の流動・流出の物理プロセスや温泉の泉質形成機構などが明らかにされ、温泉からの一

日当たりの流出水量約5万トン、流出熱量約350MWの日本最大規模の温泉地であることが知られることとなった(吉川, 1972; 由佐・他, 1975)。

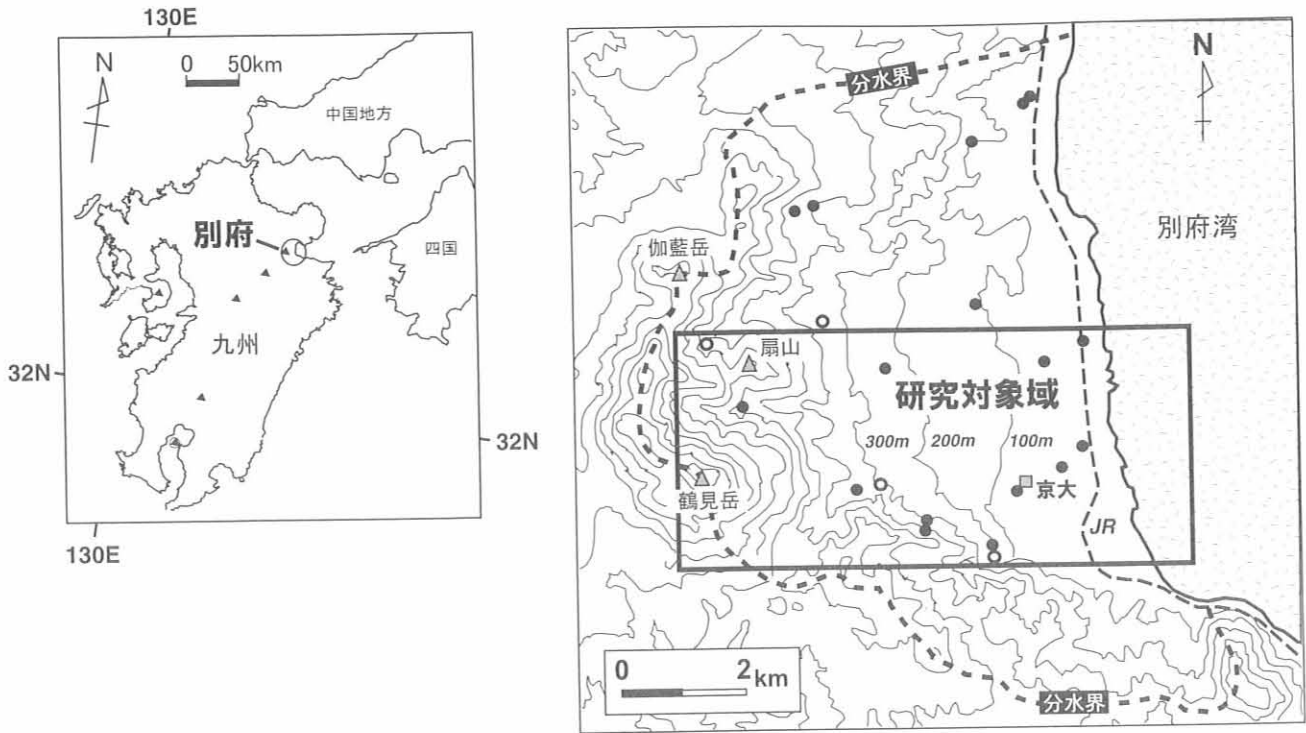


図1 別府地域の地形と研究対象域。丸印は、北岡・他(1993)が調査し、同位体データを得ている21ヶ所の湧水の位置を示す。

別府温泉の温泉水の元となる基本的な熱水は、塩化物イオン(Cl^-)を主成分とする深部熱水と、それより沸騰分離した水蒸気によって浸透水が加熱されてできた蒸気加熱型の熱水に大別される。後者は、水蒸気に含まれるガス成分の影響を受けて、北部地域では硫酸イオン(SO_4^{2-})、南部地域では炭酸水素イオン(HCO_3^-)に富むことで特徴づけられる(由佐・他, 1975)。このうち、南部地域においては、深部熱水および蒸気加熱型熱水に由来する温泉水それぞれの分布域がかなり明瞭に区別され、熱水の流動する方向や深度にも違いのあることが推定されており、地下の熱水流動系は錯綜した層状の構造を成しているものと考えられてきた(由佐・川村, 1971; 吉川・北岡, 1982)。

京都大学地球熱学研究施設では、地下熱水流動系の層構造検出を目的のひとつとして、熱水流動層が交錯すると予想される地点に当たる研究施設構内で、1987年11月から1988年2月にかけて、多段式に深さ300mの温泉実験井を掘削し(仕上がり深度は300mであるが、深度別の水を採取するために50m毎に径を細くしながら掘削するという特異な工法が取られた; 図2)、深度別水試料の採取と化学・同位体分析、深度別静止水位測定と揚水試験ならびに温度検層を実施した(由佐・他, 1994)。その結果、200m以浅と300m深度に蒸気加熱型熱水(ともに HCO_3 型水質であるが、後者の方が温度が高い)、250m深度に深部熱水(Na-Cl 型水質)という、少なくとも3層の階層的熱水流動の存在が確認された(由佐・他, 1994)。また、図3の熱水化学組成の鉛直プロフィールに現れているように、250m深度の深部熱水流動層を挟んで上下を流動する蒸気加熱型熱水は互いに水質が異なり(200m以浅は Ca, Mg-HCO_3 型、300m深は Na-HCO_3 型)、水質データを用いた混合に関する数値解析から由来が異なることが示された(大沢・他, 1994)。そして、この知見を踏まえた南部全域の温泉の水質分類がなされ、その分布状況から、 Na-Cl 型、 Ca, Mg-HCO_3 型、 Na-HCO_3 型それぞれの熱水の流動経路が推定された(大沢・他, 1994; 図4)。それらの流動経路は、地温分布ともおおむね調和的であり、3種類の熱水の源が扇状地

高地部の異なる場所にあり、扇状地堆積層内を別個の流動経路を形成して低地部へ向かって流動していく様子をうかがい知ることができるようになった。

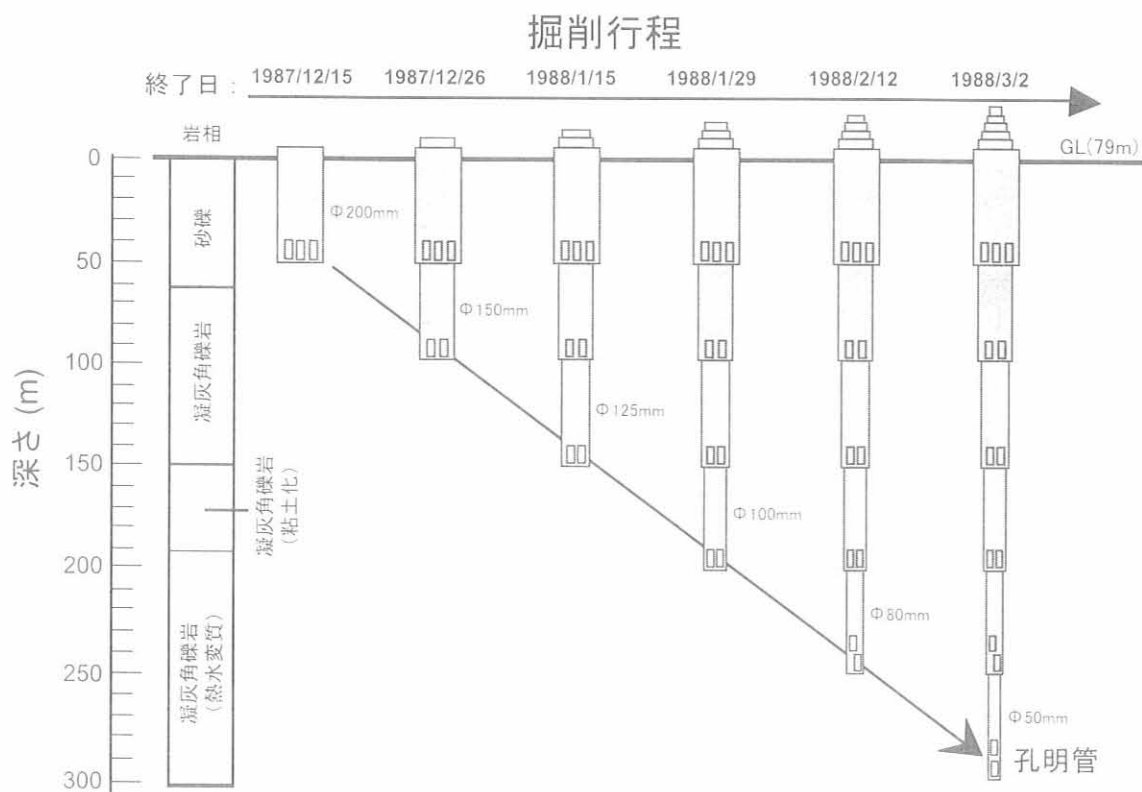


図2 京大温泉実験井（多段式井戸）の掘削行程

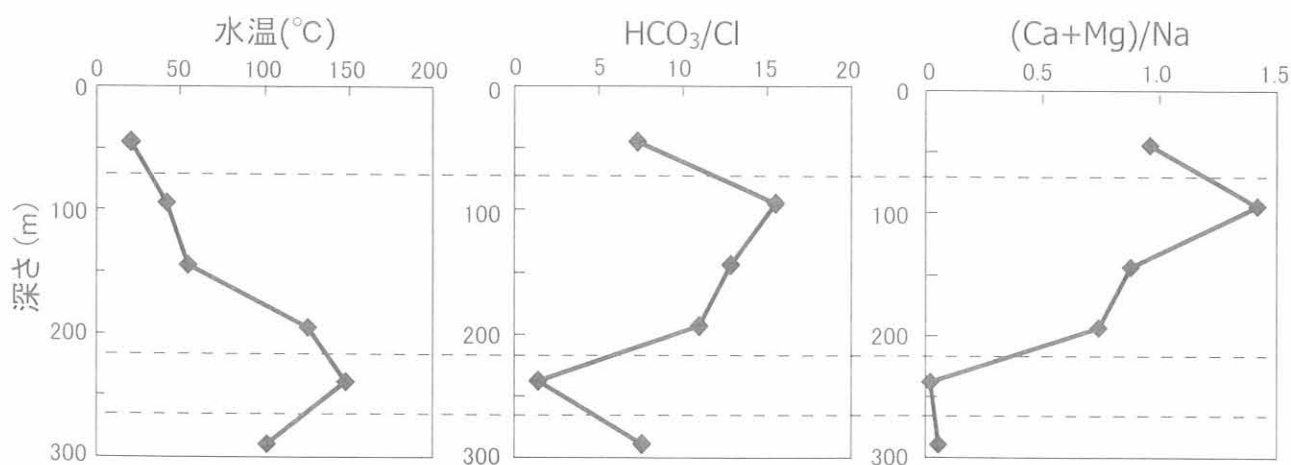


図3 京大温泉実験井における地温と水質の鉛直分布

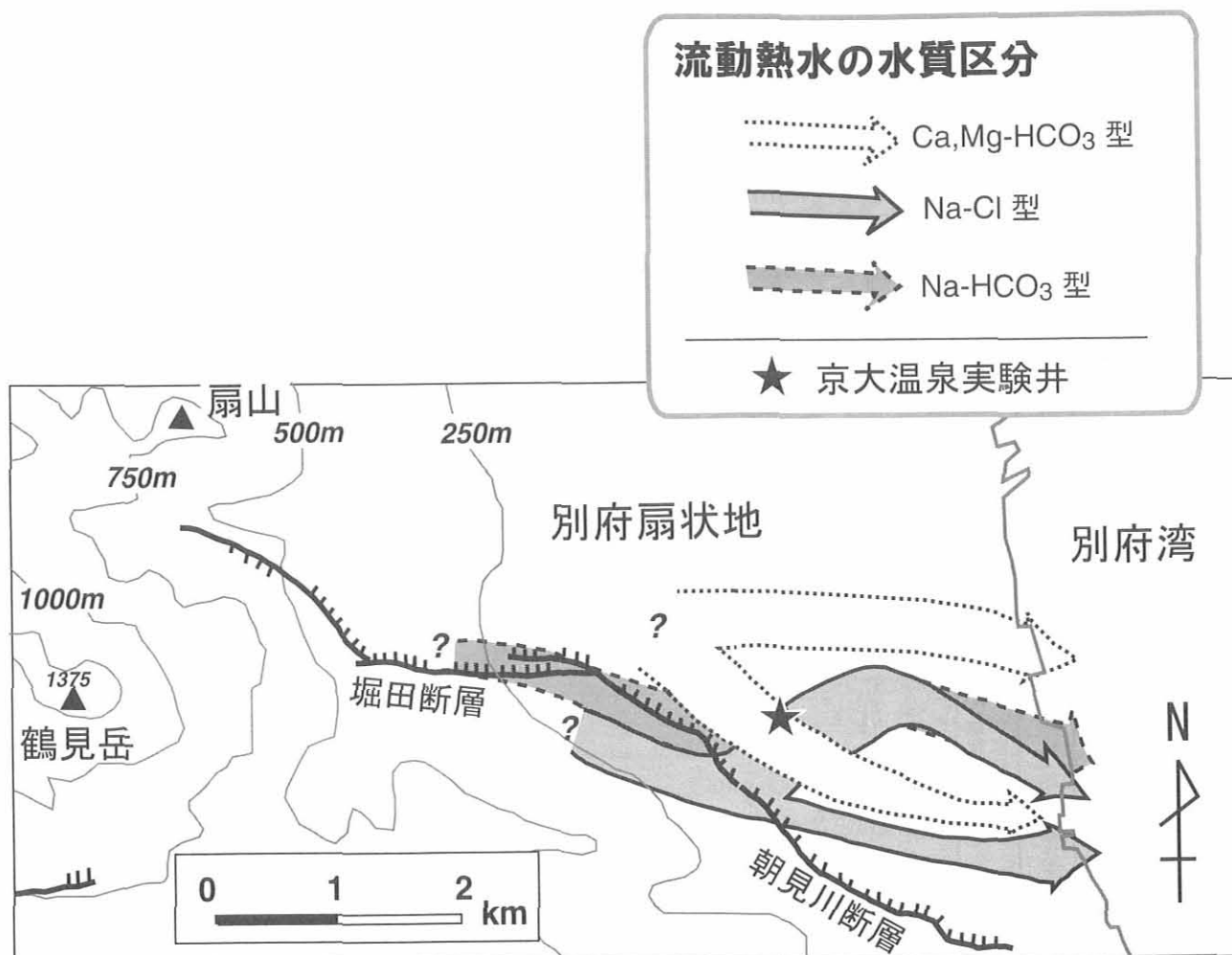


図4 別府温泉南部地域における熱水の流動経路

3. 温泉実験井から得られた水の同位体データ

温泉実験井から得られた深度別の水の同位体データ (δD , $\delta^{18}O$ および 3H) を、水温、塩化物イオン (Cl^-) 濃度、炭酸水素イオンと塩化物イオンの濃度比 (HCO_3^-/Cl^-)、アルカリ土類元素イオンとナトリウムイオンの濃度比 ($(Ca+Mg)/Na$) ならびに熱水の水質区分 (大沢・他, 1994) とともに表1に示す。なお、採水はケーシングパイプの最下部に設けられた間隔11mないし22mの孔明管 (表1を参照) を通してなされているが、以下では簡単のため、区切りのよい深さを冠した表記、例えば、278mから300mの間の水は300m深 (Dp300) の水と書くことにする。

表1の水の安定同位体データ (δD と $\delta^{18}O$) を、 δ ダイアグラム ($\delta D - \delta^{18}O$ 関係図) 上に表したものが図5である。それより、100m深と150m深および200m深の水のデータプロットは近接することから、同じ水系の水であること、そして、この一群の水と250m深、300m深の水とは由来が異なるということを読み取ることができる。これは、先行研究 (由佐・他, 1994; 大沢・他, 1994) において温泉実験井付近の地下を流動する熱水は、100m深から200m深の温度の低い HCO_3^- 型のもの、250m深の Cl^- 型熱水、300m深の温度の高い HCO_3^- 型熱水の3種類であるとされたことと整合性のあることからであり、大沢・他 (1994) が水質区分の妥当性の傍証とした内容である。

本研究に関わるさらに重要な点は、250m深の $Na-Cl$ 型水質の熱水を除く全ての水が、別府地域の降水や湧水の同位体組成から求められた天水起源の水が取る天水線 (Meteoric Water Line) と呼ばれる値の範囲 (北岡・他, 1993) におおむね分布しており、それらの水の起源が降水であることを示している

表1 温泉実験井で深度別に得られた熱水 (Dp100~Dp300)、冷地下水 (Dp50) の同位体データと孔明管位置、水温、水質

試料番号	孔明管の位置 (m)	水温 (°C)	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ /Cl	(Ca+Mg)/Na	δ D (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	³ H (TU)	熱水の水質
Dp50	39-50	20.9	17.5	7.3	0.96	-50.2	-7.82	8.7	[冷地下水]
Dp100	89-100	42.0	36.9	15.4	1.42	-54.8	-8.73	6.4	} Ca,Mg-HCO ₃
Dp150	139-150	54.4	42.1	12.7	0.88	-56.1	-8.88	1.6	
Dp200	189-200	125.6	65.7	10.9	0.74	-55.5	-8.78	0.6	
Dp250	228-250	147.9	282	1.4	0.02	-51.9	-7.18	11.2	Na-Cl
Dp300	278-300	101.8	64.6	7.5	0.05	-53.1	-8.17	12.0	Na-HCO ₃

ということである。天水線からはずれる250m深のNa-Cl型熱水も、天水起源の水と岩石の酸素同位体交換反応（酸素シフト）で説明できる値の範囲にあり、その水素同位体比（δD）は起源降水の値を保持しているとみてよい。このように、50m深にある通常の冷地下水だけでなく、いずれの熱水の水も降水に由来することは、風早・安原（1994）や山田・他（2005）などに示されている方法を使い、熱水の水の同位体データから、その涵養標高を知ることが可能であることを示している。なお、250m深のNa-Cl型熱水のCl⁻濃度は282mg/Lと、その直接的な起源水である同型の深部熱水のそれ1500mg/L程度（Allis and Yusa, 1989）の5分の1ほどであり、水そのものに対する深部熱水の寄与は小さく、250m深の熱水の水を天水起源とすることは近似的には間違いではない。

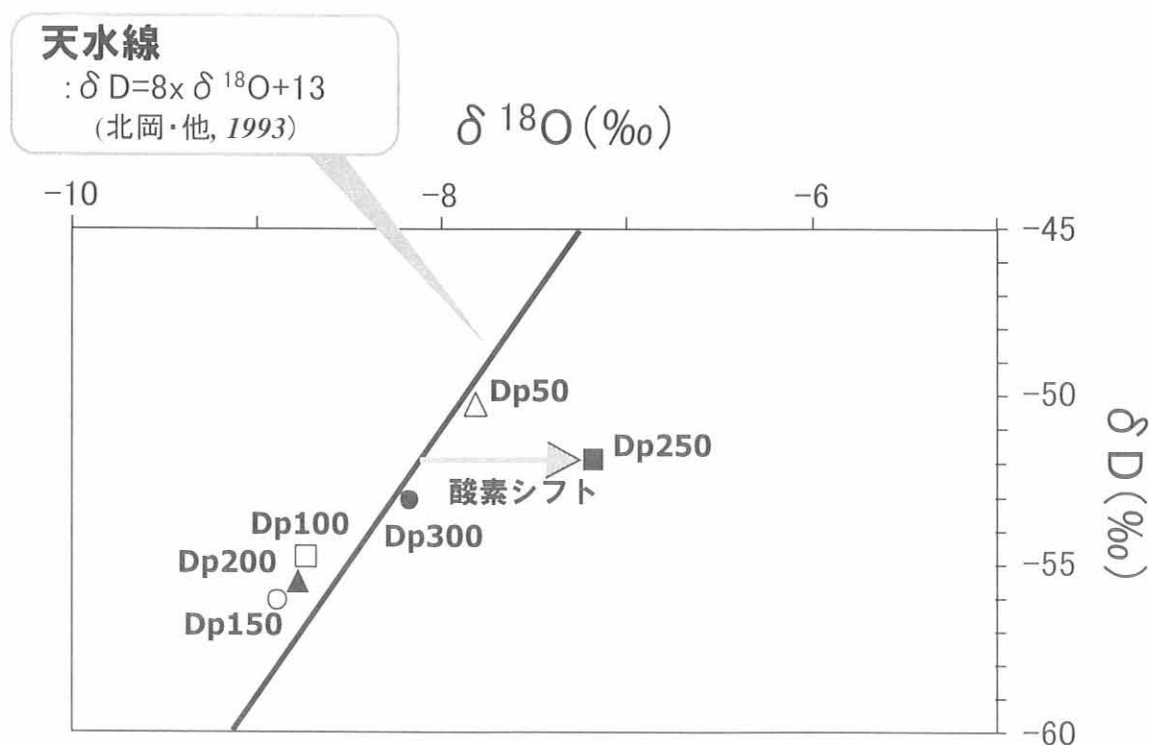


図5 温泉実験井で深度別に得られた熱水 (Dp100~Dp300)、冷地下水 (Dp50) の安定同位体組成、天水線は、雨や湧水の水の同位体データから求められた、降水起源の水が分布する範囲を表す線（北岡・他, 1993）。

4. 解析方法

データ解析のベースには、山地の斜面標高が増すに従って降水の同位体組成が小さくなるという高度効果があり、その同位体高度効果が涵養地下水に投影されるということを根拠としている。標高の高いところで涵養される地下水ほど低い同位体比を示す傾向にあるという関係が利用されるが、実際には、地形的あるいは地質的に涵養域が限定できる降水起源の湧水の同位体組成とその涵養域の標高の関係（地下水涵養線と呼ばれる）を求めておき、山麓各地点で採取した水試料の同位体組成とこれらの関係を対比することによって目的とする地下水の涵養標高を求めるという方法が取られる。

本研究では、北岡・他（1993）によって同位体データが得られている21ヶ所の湧水から（図1の丸印）、地形的に見て小さな涵養域をもつもの4点を選び出し（図1の丸印の内の白抜きの丸）、地下水涵養線を求めた。同位体としては涵養後の地下流動中に地層岩石との同位体交換の機会が無視できる水素同位体比（ δD ）を使い、涵養標高としては涵養域の中間標高を用いて、最小二乗法によって近似関数（直線）を導出し（ $r^2=0.9908$ ）、それを地下水涵養線とした（図6）。導出された地下水涵養線が示す別府地域の地下水の同位体高度効果は $-1.11\%/100\text{m}$ であり、日本の他の火山における値（ $-0.96\%/100\text{m}$ から $-2\%/100\text{m}$ ；中村・他，2002）の範囲にある。なお、単一山体でも地下水涵養線は斜面毎に求めることが推奨されているが（風早・安原，1994）、研究対象とする別府南部地域の熱水流動系、地下水涵養線の導出に用いた湧水のいずれも鶴見火山の東斜面に展開しており（図1と図4を参照）、問題ないと言える。

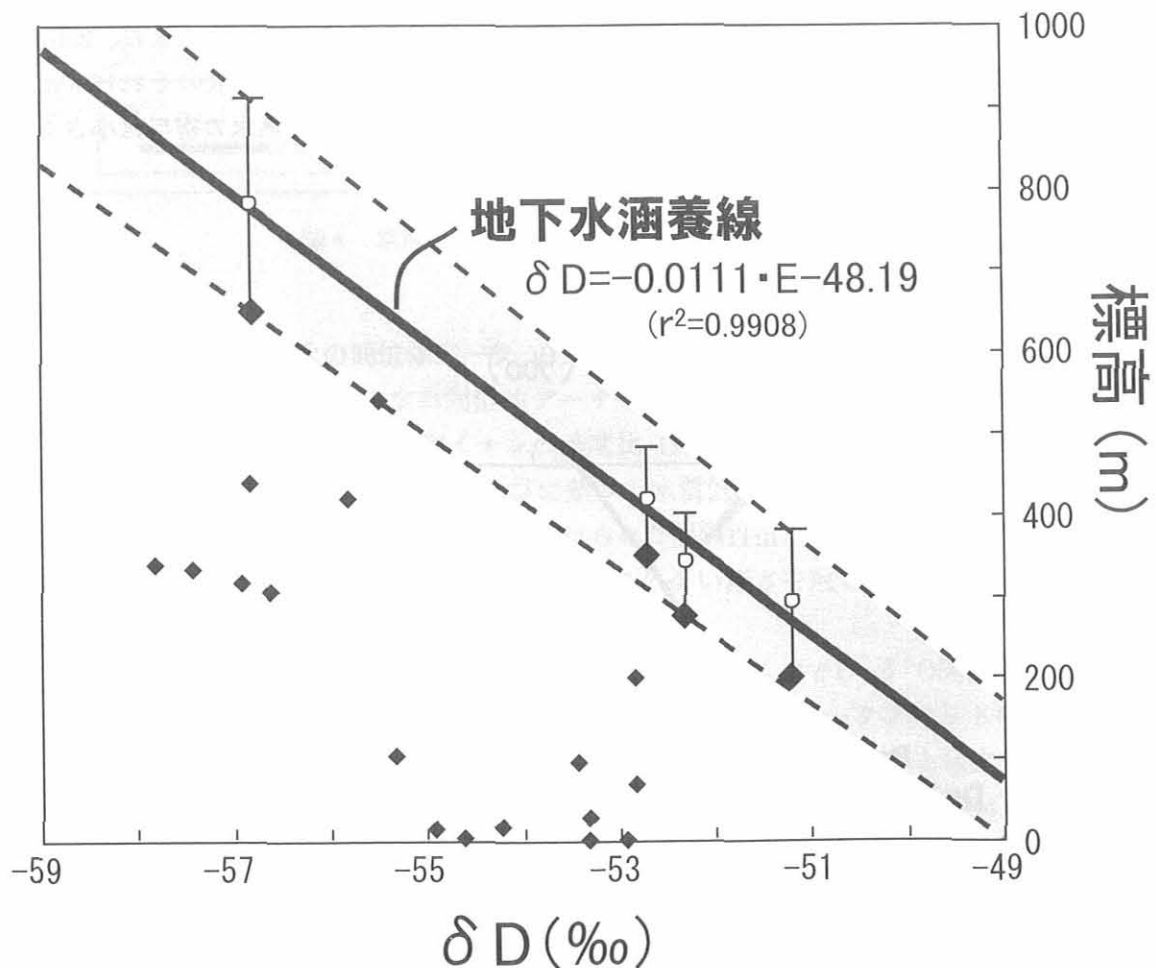


図6 地下水涵養線（北岡・他（1993）が調査した21ヶ所の湧水の内、地形的に見て小さな涵養域をもつ4点の平均涵養標高と水素同位体比から求めた線形関係）。地下水涵養線の上下の破線の説明については本文を参照。小さな菱形は、その他の湧水の湧出標高における水素同位体比を示す。

以上のようにして導き出された地下水涵養線に目的とする熱水の水素同位体比 (δD) を入力して涵養標高を求めることになるが、求まる値はあくまで平均的な涵養標高である。そこで、涵養域の最大標高と最小標高(湧出標高)をそれぞれ使った“地下水涵養線”も最小二乗法で求め(図6の地下水涵養線の上に引かれた破線)、地下水涵養線から求まる平均涵養標高にどの程度の見積り幅があるかの目安を得た。それによると、地下水涵養線から求まる涵養標高は、平均涵養標高 ± 100 m程度であると見るのが良く、このことを意識して結果の評価や考察を行うことにする。

5. 結果と考察

先に求めた地下水涵養線を使い、表1に示した温泉実験井の熱水および冷地下水の水素同位体比から、それらの涵養標高を求めた。計算結果を表2に示し、求まった涵養標高の差異が視覚的に捉えやすいように、グラフ化したものを図7に表す。

温泉実験井(井戸口の標高79m)付近の地下を流動する地下水は、涵養標高から見ると(図7)、50m深の冷地下水、100m深から200m深の間と250m以深の熱水の3つに大別されることがわかる。100m深から200m深の間にある熱水は、温度の低いCa, Mg-HCO₃型水質の熱水であり、浸透地下水が蒸気によって加熱されてできたものであるが、50m深にある冷地下水とは明らかに涵養域の異なる地下水から生じたものであることを表している。また、両者における涵養標高の高低関係は、深い流動をしている地下水ほど涵養標高が高いという一般的な火山体内の地下水流動系に合致した結果となっている。

得られた結果でさらに興味を引くことは、250m以深にある熱水が、それより浅部を流動する熱水よりも低い涵養標高をもつことであり(図7)、これは一般的な火山体内の地下水流動系に合致しない内容である。さらに、250m以深にあるNa-Cl型熱水とNa-HCO₃型熱水は別個の流動層を形成して流下していることが確かめられているにもかかわらず、涵養標高には有意な差が認められないことも興味深い。

後者に関しては、次のような推測が可能である。別府南部域では温泉開発に伴った温泉水のCl⁻濃度の減少とHCO₃⁻濃度の増加が観測され、水理モデルによる数値解析から、扇状地高地部における温泉開発によるNa-Cl型熱水の採取が原因であると説明されている(由佐, 1984)。熱水の過剰採取による水位低下では、熱水の蒸気化を伴うことが知られており(吉川, 1982)、その蒸気化に伴って蒸気加熱型のNa-HCO₃型熱水が形成されるようになったことは十分に考えられる。そうだとすると、開発以前には下流の熱水流動系への熱水の供給はNa-Cl型熱水だけで行われていた可能性があり、Na-HCO₃型熱水の流動層には、元々、Na-Cl型熱水が流れていたという考えも成立し、250m深と300m深の熱水の涵養標高に有意な差が認められなくても不思議ではない。そのあたりの解明は今後の課題にするとして、250m以深にある熱水が、なぜそれより浅部を流動する熱水(Ca, Mg-HCO₃型熱水)よりも低い涵養標高をもつかという重要な問題について、トリチウム(³H)のデータを基に議論しておきたい。

表2 温泉実験井で深度別に得られた熱水(Dp100~Dp300)、冷地下水(Dp50)の平均涵養標高と見積り幅

試料番号	δD (‰)	涵養標高(m)	
		範囲(幅)	平均
Dp50	-50.2	100-290	181
Dp100	-54.8	480-730	596
Dp150	-56.1	590-850	713
Dp200	-55.5	540-790	659
Dp250	-51.9	240-450	335
Dp300	-53.1	340-560	443

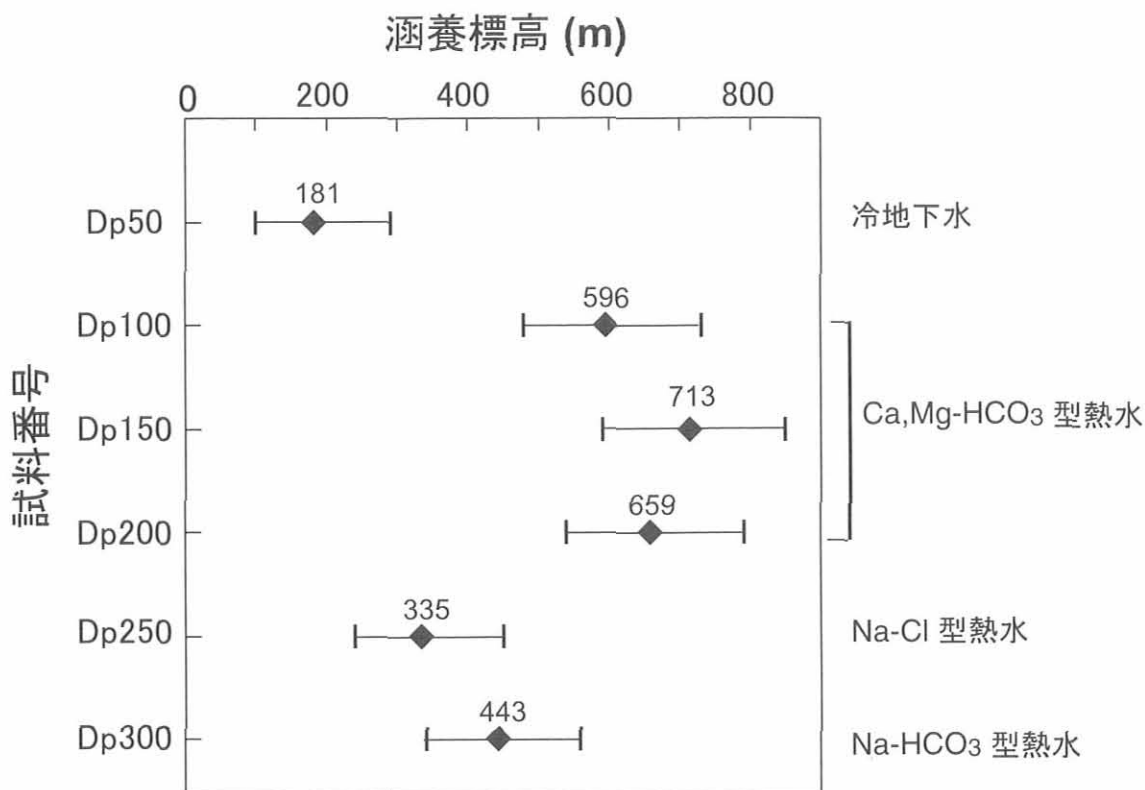


図7 温泉実験井で深度別に得られた熱水 (Dp100~Dp300)、冷地下水 (Dp50) の平均涵養標高と見積り幅

³Hは放射性の水素同位体であり (半減期12.33年)、自然界では成層圏で生成されたものが降水に取り込まれるため、降水起源の地下水にも含まれる。地中では新たな³Hの供給がほとんどなく、半減期に従って地下水中の³Hは濃度を次第に低下させていくため、同じ時期に涵養された地下水では地中の滞留時間が長いほど、そこに含まれる³Hは少なくなる傾向を示す。図8は、温泉実験井から得られた熱水、冷地下水の³H濃度と涵養標高の関係を表したものである。一般的な火山体内の地下水流動系では、前述のように深い流動をしている地下水ほど涵養標高が高いことが予想されるだけでなく、流動に要する時間も長いことが期待されるため、深度の大きな地下水ほど³H濃度は低くなる傾向があってもよいはずである。50m深から200m深の間ではおおむね予想通りの傾向を示すが、250m以深の熱水 (Na-Cl型とNa-HCO₃型) ではかえって³H濃度が高くなっており、50m深の冷地下水に近く、Na-Cl型とNa-HCO₃型の熱水の形成に浅層の地下水が関わっていることを強く示唆する。

求めた熱水の涵養標高を元に、熱水の流動経路や水文地形的な要素も考慮に入れて、流動熱水のおおよその涵養域を推定し、図4に書き込んだのが、図9である。囲みのAがNa-Cl型およびNa-HCO₃型の熱水の推定涵養域であり、それが活断層 (朝見-堀田断層系) 上に位置することは大変興味深い。Kitaoka (1990) は、南部全域の温泉水の³H濃度測定から、降水がNa-Cl型熱水へ速やかに混入していることをつかんでおり、そのタイプを含む熱水の涵養域が活断層と重なるということは、予見されていたように、浸透降水の混入が断層を通して行われていることを示唆している。一方、図9の囲みBはCa, Mg-CO₃型熱水の推定涵養域である。それは、鶴見岳と扇山間の深い峡谷に当たり、別府市民の水道水源のひとつである扇山水源の取水域にも相当する場所である。このような山間部で涵養される地下水の一部が、Ca, Mg-CO₃型熱水の水の元になっていることを示唆しており、山間部の環境保全は、生活用水の安定確保だけでなく、田の湯温泉脈に対応する温泉 (図9のCa, Mg-CO₃型熱水の南側の流動経路に沿って分布する温泉) や境川に沿うエリアの温泉 (図9のCa, Mg-CO₃型熱水の北側の流動経路に沿って分布する温泉) を維持していく意味でも重要であろう。

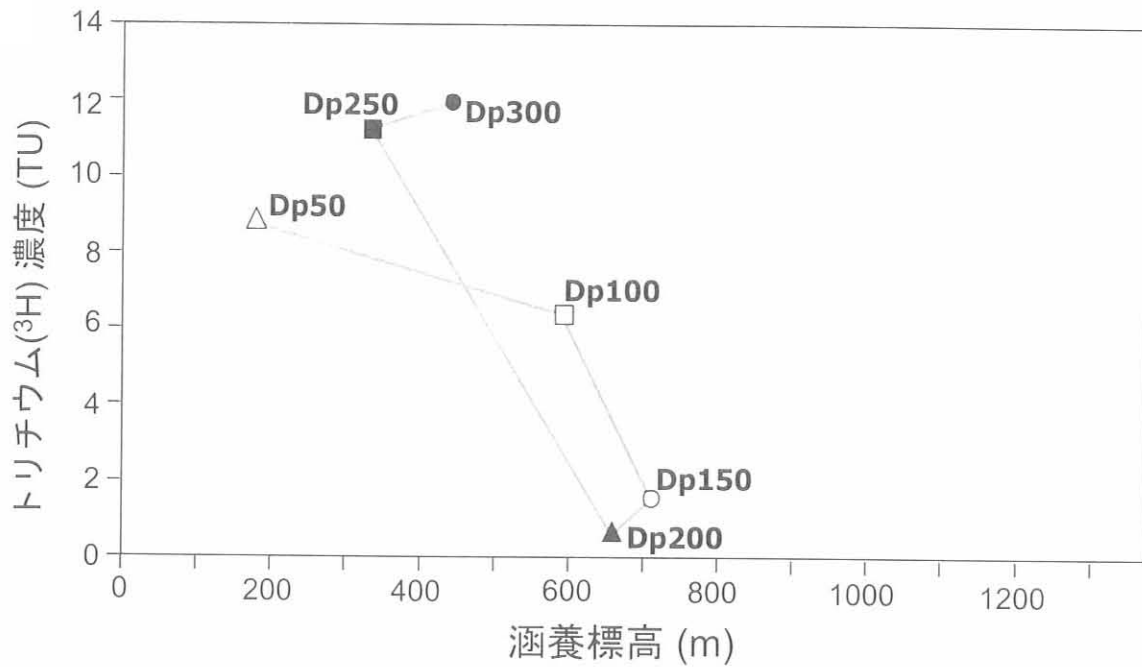


図8 温泉実験井で深度別に得られた熱水(Dp100~Dp300)、冷地下水(Dp50)の平均涵養標高とトリチウム(^3H)濃度の関係。濃度の単位は、トリチウムと質量数1の水素の割合($^3\text{H}/^1\text{H}$) $1/10^{15}$ を1としたTU(トリチウムユニット)である。

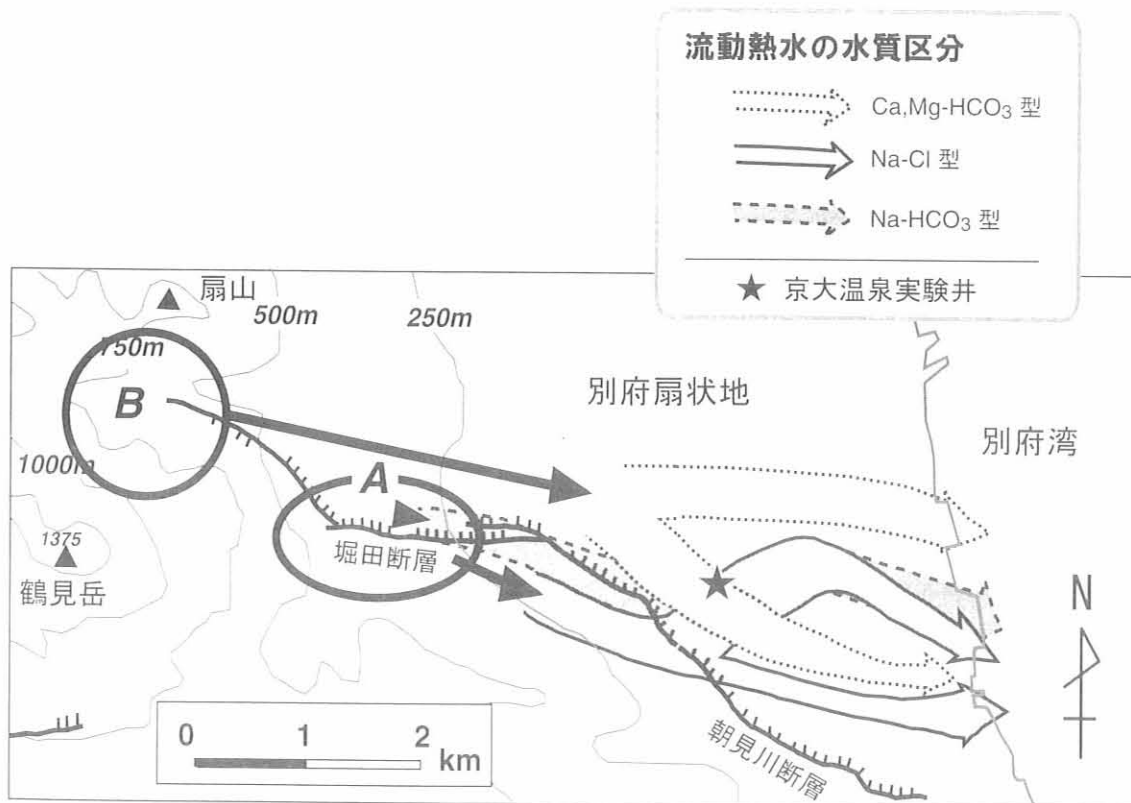


図9 涵養標高と熱水の流動経路等から推定した熱水の涵養域。囲みAはNa-Cl型およびNa-HCO₃型熱水の涵養域、囲みBはCa, Mg-HCO₃型熱水の涵養域を表す。涵養域の囲みはおおよその範囲を表すことに注意されたい。

考察の最後として、そのCa, Mg-HCO₃型熱水に熱と炭酸成分を与えている場所について推測をしてみたい。Ca, Mg-HCO₃型熱水も含めて別府南部域の扇状地地下を流れる諸熱水へ熱と化学成分を与えている大元には、Na-Cl型の深部熱水があり、それは先述の活断層（堀田断層）に沿って鶴見火山の地下深部（図1に示された鶴見岳と伽藍岳の中間辺り）より上昇してきていると考えられている（Allis and Yusa, 1989）。深部熱水の上昇には圧力低下による沸騰が伴い、そこからの分離蒸気もまた熱水へ熱と化学成分を与える。それが蒸気加熱型熱水を生み出すことはすでに述べたところであり、Ca, Mg-HCO₃型熱水もそうである（吉川・由佐, 1972）。そのような情報を念頭において図9を見てみると、Ca, Mg-HCO₃型熱水の涵養域付近の低地側に堀田断層の西縁部が位置することが目にとまる。Na-Cl型深部熱水から分離したCO₂を含む水蒸気がそれを通して上昇してきて、涵養されたばかりの地下水に流入し、熱水化しているというふうに見ることができまいか。その辺りの標高は高く、地下深部から上昇してくる深部熱水との距離もあり、そこから分離する蒸気は涵養地下水へ達する前に相応に冷却されるものと考えられ、このことが同じ蒸気加熱型熱水であるにもかかわらず、より低標高域で涵養・形成されるNa-HCO₃型熱水に比べて水温が低い理由になっているように思える。これも今後の研究課題としたい。

6. おわりに

京都大学地球熱学研究施設構内で掘削された温泉実験井から深さ別に採取された熱水や冷地下水の同位体資料の利活用を計り、地下水の水の安定同位体組成（本研究では水素同位体比（ δD ）を用いた）からその涵養標高を知る同位体水文学的方法を適用して、別府温泉南部地域の温泉の元となる様々な熱水の涵養標高を求め、熱水の水の涵養域の推定を行った。その結果、「温泉の水の涵養は山間部で行われる」というこれまでの認識を一部裏付ける結果が得られる一方、放射性水素同位体のトリチウム（³H）のデータを参照することで、沸騰泉水の元となる熱水（Na-Cl型やNa-HCO₃型水質）の水の涵養に断層の存在が関わっているという新知見を得ることができた。これらを含め、知りえた情報を模式的な図にして図10に表した。この図には、熱水の温度や水質形成を考える上で不可欠な深部熱水の関わりも合せて表してあるが、深部熱水とそれから分離した蒸気がどのようにして涵養地下水へ流入し、Na-Cl型熱水とNa-HCO₃型熱水が形成されているかをうまく表現することができなかった。このような概念的な表現から脱するためには、断層系における熱水流体流動の研究（例えば、Fairley, 2008）が必要であると考える。また、そのような取り組みは、Ca, Mg-HCO₃型熱水の形成に係る深部熱水からの分離蒸気と涵養地下水の混合過程を詳しく知ることに有効であろう。

今回の研究では、トリチウム（³H）を水のトレーサとして利用しただけであったが、この放射性同位体は古くから地下水の年代決定に活用されており、地下水の平均滞留時間に関する情報を得るための強力なツールでもある。事実、別府温泉南部域においても、比較的浅層を流動する熱水（図9のCa, Mg-HCO₃型熱水に相当）に由来する温泉水の³Hデータの解析から平均滞留時間が得られており、おおよそ50年程度という結果が得られている（Kitaoka, 1990）。そこで、温泉実験井から得られた熱水や冷地下水についても同様な取り組みをして、それらの平均滞留時間を見積り、温泉資源の保護に役立てられる追加資料にしたいと考えている。

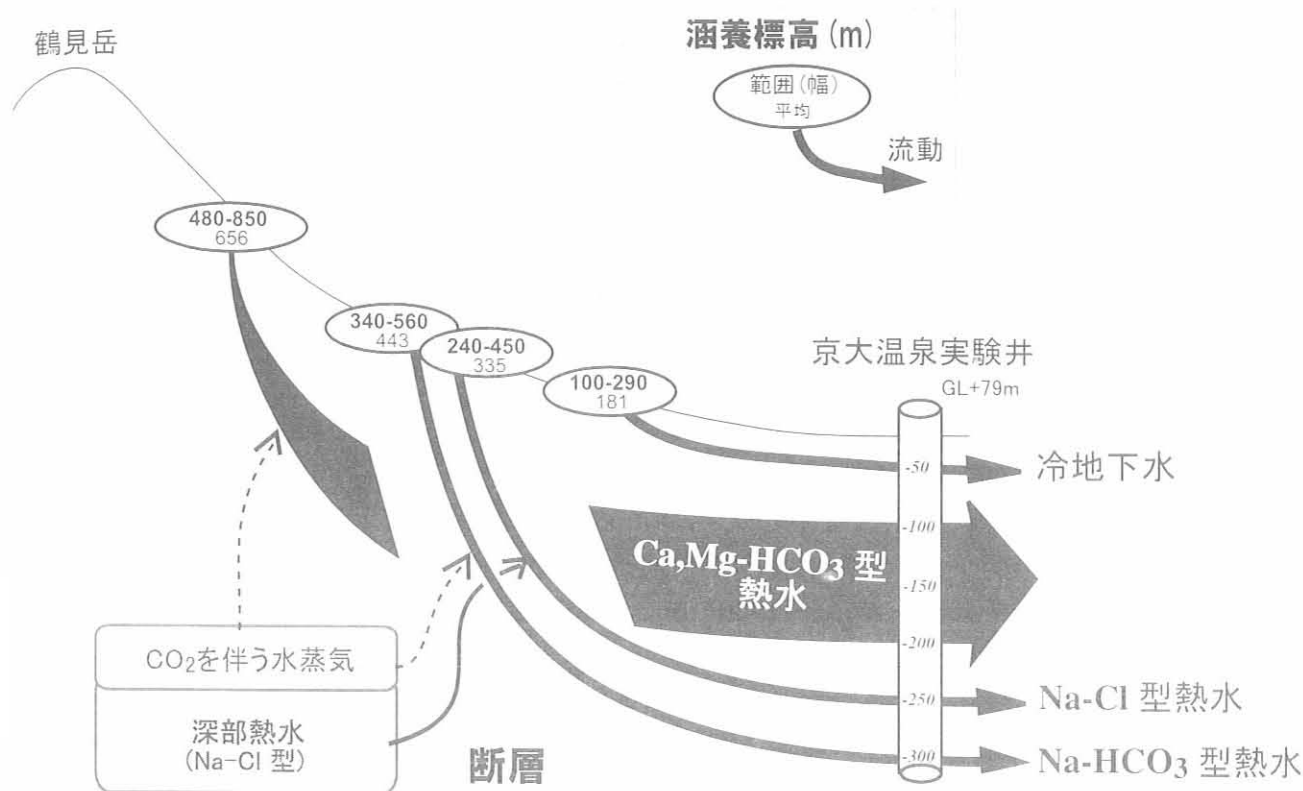


図10 別府温泉南部地域の流動熱水の涵養標高、深部熱水との関係を表した模式図

謝辞

京大温泉実験井の掘削を計画し、掘削時の採水等の作業に当たられた、由佐悠紀京大名誉教授、神山孝吉国立極地研究所教授、竹村恵二京大教授に敬意を表します。

引用文献

Allis, R. G., Yusa, Y. (1989) Fluid flow process in the Beppu Geothermal system, Japan. *Geothermics*, 18, 743-759.

Fairley, J. P. (2008) Modeling fluid flow in a heterogeneous, fault-controlled hydrothermal system. *Geofluids*, 9, 1-14.

風早康平, 安原正也 (1994) 湧水の水素同位体比からみた八ヶ岳の地下水の涵養・流動過程. *ハイドロロジー*, 24, 107-119.

風早康平・安原正也 (1999) 岩手火山の地下水流動-同位体水文学的手法による予察結果-. *月刊地球*, 21, 290-295.

Kitaoka, K. (1990) Water circulation rates in a geothermal field: A case study of tritium in the Beppu hydrothermal system, Japan. *Geothermics*, 19, 515-539.

北岡豪一, 由佐悠紀, 神山孝吉, 大沢信二, Stewart, M. K., 日下部実 (1993) 水素と酸素の安定同位体比からみた別府温泉における地熱流体の移動過程. *地下水学会誌*, 35, 287-305.

吉川恭三 (1972) 別府温泉の地下構造 (I). *大分県温泉調査研究会報告*, 23, 1-10.

吉川恭三, 由佐悠紀 (1972) 別府温泉南部域の炭酸成分. *大分県温泉調査研究会報告*, 23, 11-19.

吉川恭三, 北岡豪一 (1982) 別府南部温泉地域における熱水の流動経路と温泉水の形成. *大分県温泉調査研究会報告*, 331-10.

- 吉川恭三（1982）地下熱水の蒸気化による地熱現象への影響. 大分県温泉調査研究会報告, 33, 11-20.
- 中村太郎, 佐藤努, 安原正也（2002）御嶽山南東斜面における天水の高度効果. 日本水文科学会誌, 32, 135-147.
- 大沢信二, 由佐悠紀, 北岡豪一（1994）別府温泉南部地域における温泉水の流動経路. 温泉科学, 44, 199-208.
- 安原正也・風早康平（1995）富士山における天水の安定同位体組成と地下水の涵養高度. 文部省科学研究費総合研究（A）研究成果報告書「富士山の地下水流動の研究」, 42-55.
- 安原正也・風早康平・稲村昭彦・河野忠・大沢信二・由佐悠紀・北岡豪一・星住英夫・角井朝昭・宇都浩三（2002）雲仙火山の水力構造. 月刊地球, 24, 849-857.
- 山田誠, 網田和宏, 大沢信二（2005）同位体水文学的手法による九重火山南東麓に湧出する炭酸泉の形成機構の解明. 温泉科学, 54, 163-172.
- 由佐悠紀, 川村政和（1971）化学成分からみた別府市中央部の温泉. 大分県温泉調査研究会報告, 22, 55-65.
- 由佐悠紀, 野田徹郎, 北岡豪一（1975）地熱地域を含む温泉地からの流出水量, 熱量および化学成分—別府温泉の場合—. 温泉工学会誌, 10, 94-108.
- 由佐悠紀（1984）温泉水採取にともなう地下温泉水系の変化（2）別府温泉南部域における塩素イオン濃度低下と地下温泉水層の水理学的特性. 温泉科学, 34, 92-104.
- 由佐悠紀, 北岡豪一, 神山孝吉, 竹村恵二（1994）掘削による地下温泉水の層構造の検出—別府温泉南部地域での試み—. 温泉科学, 44, 39-44.

慢性心不全患者の血管内皮機能に対する 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血管反応について検討した。心拍数、心胸比に変化はなかったか平均血圧、内因性一酸化窒素合成酵素阻害物質の低下、左室駆出率の改善、脳性利尿ペプチドの低下に加え、大動脈波伝達速度の低下が認められた。温泉浴効果は心不全患者の血管反応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か、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末梢循環が悪化している事が報告されているか、温泉入浴により末梢血管反応が改善させられるか否かは明らかには無い。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血管反応に対する温泉浴効果について報告する。

方法 2週間毎日（週5回）40度の温泉に10分程度温泉浴をしてもらい、自覚的症狀（ニューヨーク心臓協会分類）、及び他覚的所見として、心胸比（CTR）、左室駆出率（LVEF）、血液検査（脳性利尿ペプチド・BNP、一酸化窒素代謝産物：NO_x、C反応性タンパク CRP）についての変化を検討した。（n = 22）。なお対照群として、シャワー浴のみのグループと比較した（n = 13）。

結果 慢性効果として、温泉入浴2週間後には、心拍数、平均血圧等に変化はなかったか、自覚的症狀、心胸比、左室駆出率の改善、さらに、BNP、NO_x、CRPの低下が認められた。BNPは心機能を反映する生化学的指標とされ、臨床の場でも用いられており、心機能低下とともに高値を示すようになる。事実本症例では400台であった数値が300台にまで低下した（正常値<30pg/ml）。また、血管内皮細胞より分泌されるNOの代謝産物であるNO_xは治療により有意に上昇した。

考察 従来より慢性心不全患者や高血圧症患者、動脈硬化患者では血管内皮機能が低下している事が報告され、従来の心血管疾患の発症リスクとされている。反復性入浴若しくは温熱効果に寄りshear stressが増加し血管内皮細胞よりのNO産生が増加した事により代謝産物も増加したものと考えられる。また、一般的に炎症反応の指標として臨床的に用いられるCRPも従来の心血管疾患の発症リスクを高める事が知られるようになって来たか、本研究において、有意に低下する事が明らかになった。以上より、温熱効果によって、末梢血管の拡張性が改善され、心負荷を減少させる事に寄り、心機能の改善効果が明らかになった。

結語 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、心負荷を軽減し、最終的に自覚的症状の改善を呈する可能性が示唆された。

Table

	温泉入浴群 (n=22)		シャワー群 (n=13)	
	治療前	治療後	治療前	治療後
年齢 (歳)	69.8 ± 3.2		78.4 ± 2.0	
男性/女性	11 / 11		6 / 7	
身長 (cm)	155.1 ± 2.3		152.5 ± 2.1	
体重 (kg)	56.0 ± 2.6		50.2 ± 1.9	
虚血性心臓病/拡張型心筋症	12 / 10		8 / 5	
ニューヨーク心臓協会分類	2.6 ± 0.1	2.1 ± 0.1**	2.61 ± 0.14	1.92 ± 0.07
心拍数 (bpm)	75.2 ± 3.1	73.7 ± 3.1	74.5 ± 3.8	74.7 ± 4.5
平均血圧 (mmHg)	84.7 ± 1.9	81.8 ± 2.1	95.3 ± 4.8	92.6 ± 4.5
心胸比 (%)	56.2 ± 1.8	53.3 ± 1.4**	55.3 ± 2.2	55.3 ± 2.0
左室駆出率 (%)	43.8 ± 3.6	57.0 ± 2.5**	47.8 ± 4.2	46.0 ± 4.2
脳性利尿ペプチド (pg/ml)	492.7 ± 126.5	360.2 ± 75.8*	410.0 ± 92.9	429.9 ± 91.6
一酸化窒素代謝物 (NOx)	78.4 ± 11.3	105.8 ± 17.0*	62.4 ± 10.2	72.6 ± 17.3
C反応性タンパク (mg/l)	4.4 ± 1.0	1.7 ± 0.5*	4.2 ± 1.0	4.8 ± 1.0

* P < 0.05, ** P < 0.01 vs 治療前、Mean ± SE

温泉水流入による河川水中の溶存酸素量の変化

—大分川上流（湯布院）域について—

大分大学教育福祉科学部科学教室

川 野 田 實 夫 ・ 倉 原 由 香 里

明豊中学・高等学校

大 上 和 敏

要 旨

「公共用水域及び地下水の水質測定結果・大分県」の中で、大分川・川西橋（由布市湯布院町）の溶存酸素量の値を検討したところ、かなりの頻度で不飽和の観測結果が出現していることが判明した。

そこで今回、川西橋より上流の大分川で水温、溶存酸素量さらにCOD等を測定して、この不飽和現象の要因を検討した。その結果、通常の河川では水温が流下に伴って上昇傾向を示すのに対して、大分川上流域では流下に伴って水温が低下する現象が観察された。またCODの測定結果から、溶存酸素量を低下させる要因となる還元物質（汚濁物質）量も軽微であることが判明した。このことから大分川上流域の溶存酸素量不飽和現象は、流下に伴う水温低下速度に対して、溶存酸素量に係わる気液交換速度の遅れていること、つまり水温の低下速度に対して、大気中の酸素が水に溶け込む速度が遅れる結果生じることが明らかになった。

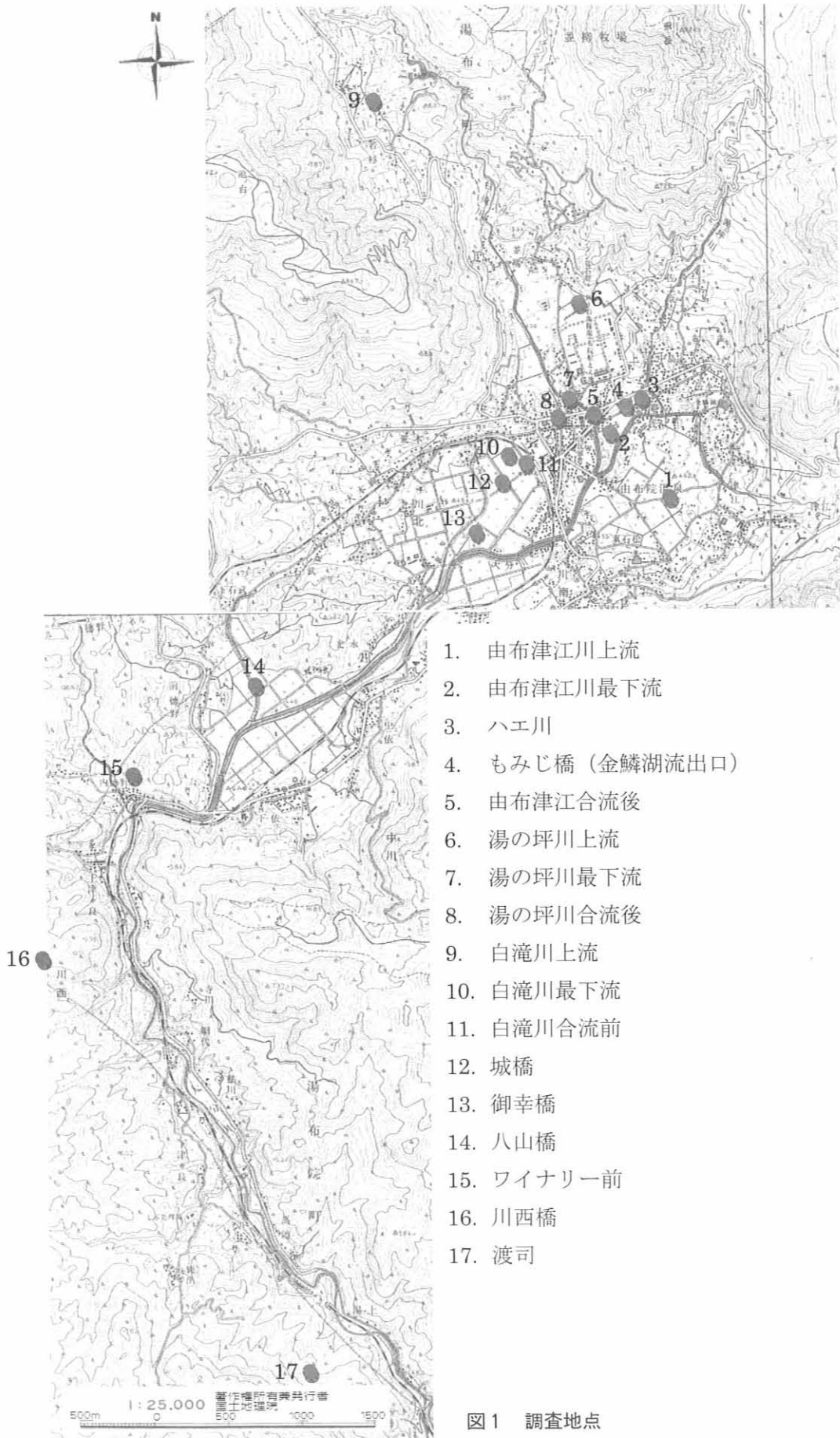
1. はじめに

大分川は大分県由布市湯布院町由布岳に源を発して別府湾に流入する、流路延長55km、流域面積650km²の一級河川である。上流域には単純泉で源泉の泉温が60℃を越える湯布院温泉が分布している。菊池は公共用水域及び地下水の水質測定結果から、この河川の観測点・川西橋での溶存酸素量の測定値について過去11年間のデータで酸素飽和度を計算し、44個のデータ中41個が不飽和である事を明らかにした¹⁾。因みに、同じく一級河川である大野川について、犬飼大橋で同様の検討をしたところ、この調査地点では120個のデータ中91個が飽和ないし過飽和を示している。

今回、大分川上流域の河川水中の溶存酸素量が慢性的不飽和現象を示す要因を明らかにすることを目的として、大分川上流域（湯布院盆地内）を中心に調査を行い一定の結果を得たので報告する。

2. 調査方法

調査地点を図1に示す。調査項目は気温、水温、電気伝導度の物理項目と溶存酸素量（ウインクラー法）とCOD（工場排水試験法、JIS K0102）である。現地調査は2008年9月9日、同年10月9日と12月18日に行った。いずれの調査日も天候が快晴の日を選んだ。



3. 結果と考察

図2に2008年9月9日に実施した全調査地点の測定結果を示し、図3には大分川本川のみ調査地点の水温とAOUを示した。

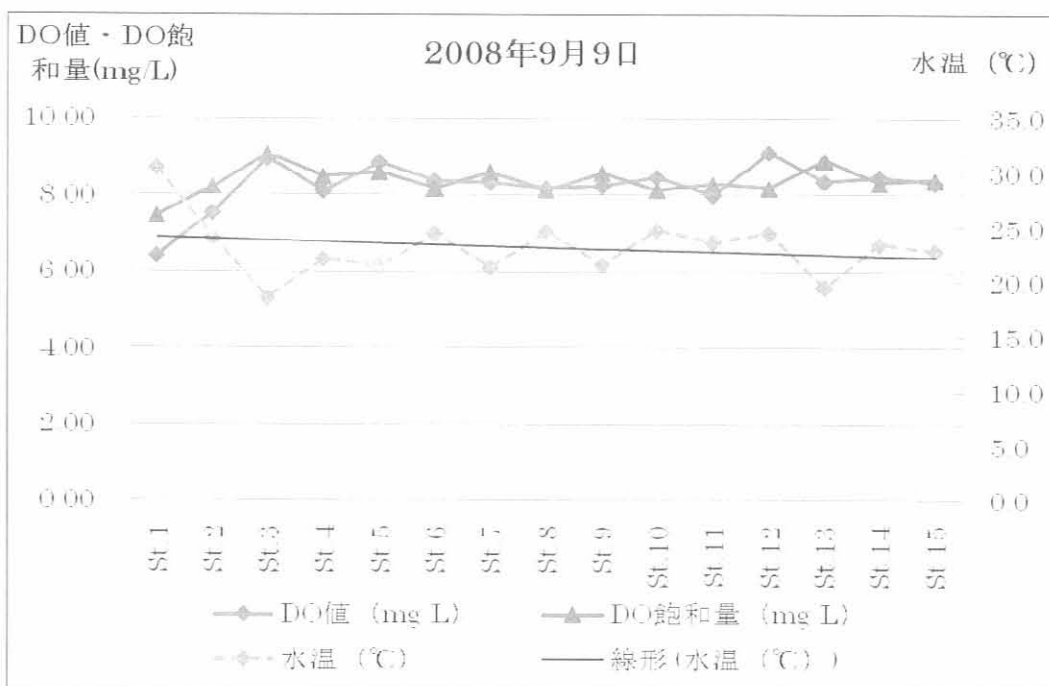


図2 2008年9月9日、上流域調査緒点のDO実測値、DO飽和量及び水温

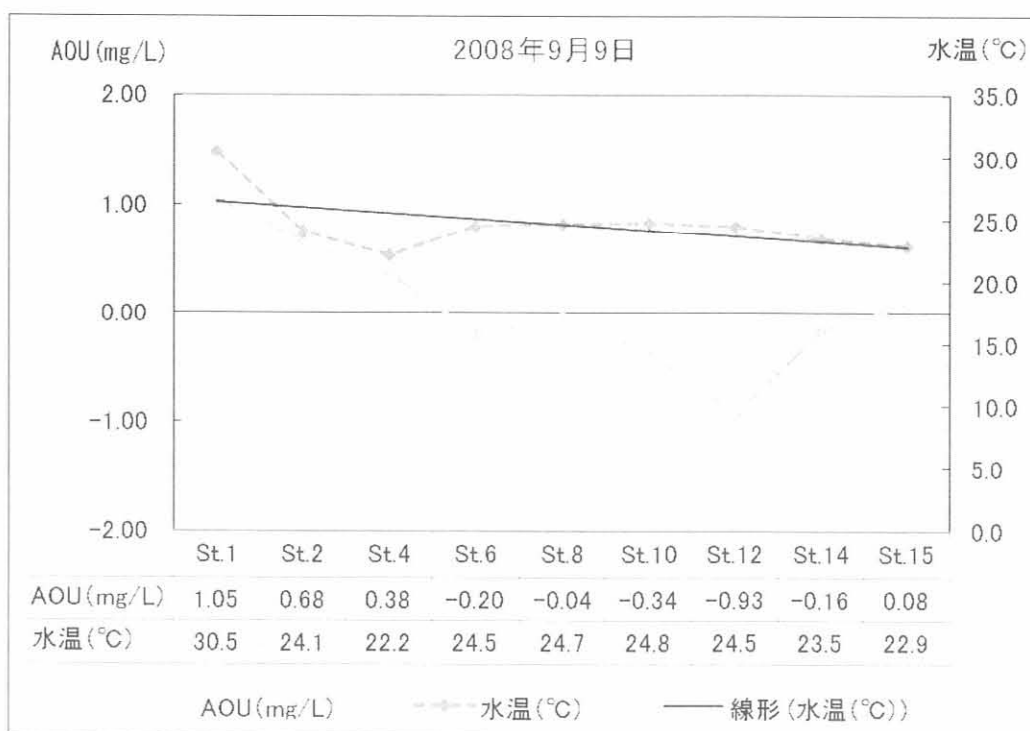


図3 大分川本川調査地点のAOUと水温

AOUとはApparent Oxygen Utilizationのことで「見かけの酸素消費量」と訳され、飽和酸素量と実測値との差で表示される。AOU がプラス (+) であれば溶存酸素量は不飽和、マイナス (-) であれば過飽和となる。

図3. は、湯布院温泉市街地域の河川水はDO値が不飽和で、流下に伴って飽和値からやや過飽和値を呈していることを示すものである。また、水温変化の傾向は流下に伴って下がる傾向をみせている。通常の河川水（地熱・温泉の影響を受けない）の水温はほとんど例外なく下流になるに従って水温は上昇する。そのことからいえば、湯布院盆地内（湯布院市街地）の河川水の水温は特異といえる。

図4. は2007年12月18日の観測結果で、水温は流下に伴ってしながらAOUはすべての地点でプラスを示し溶存酸素量は不飽和を示している。

このように大分川上流域では冬期（12月18日）不飽和を呈した調査地点も水温が高く日射量も多い9月では飽和もしくは過飽和が観測された。その要因は河床に繁茂している水草（オオセキショウモ）の光合成作用によるものであろうと推測された。そこで10月9日にSt. 8（御幸橋）とSt. 12（ワイナリー前）で溶存酸素量と水温の経時観測を試みた。

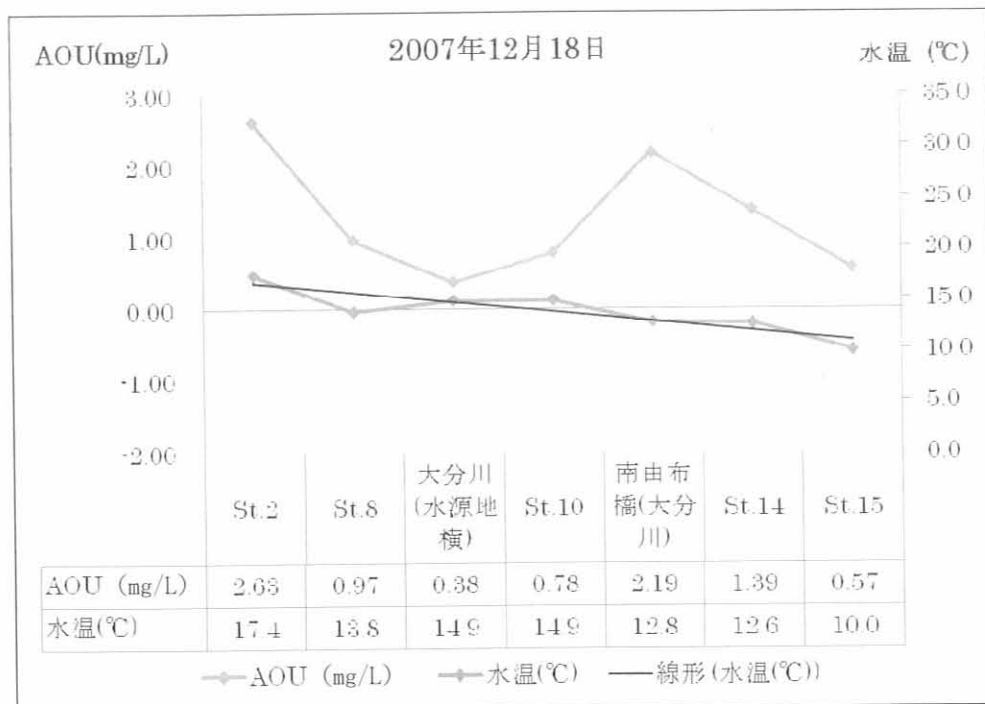


図4 2007年12月18日大分川上流域の水温とAOU（菊池、2008）

図5にSt. 12での観測結果を示す。13時30分のAOUはマイナスで17時にはプラス、20時30分にはプラス2.39mg/Lと不飽和の度合いが高くなっており、日射量が一定以上あれば水草の光合成によって酸素量は飽和ないし過飽和になるが、夜間では不飽和状態を呈することが観測された。

図6. は2008年12月18日の大分川上流域のAOUと水温の分布である。AOUはSt. 12のみがマイナスで他の観測点はすべてプラスで溶存酸素濃度は不飽和を呈し、水温も流下に伴って低下するパターンは夏季（9月9日）よりも顕著に表れている。

AOUを高める要素としては河川中に含まれる還元性物質が考えられるので、DOの測定時にはCODの測定を行った。この一例として図7. に9月9日の測定結果を示すが、ほとんどの調査地点の値が1mg/Lないしそれ以下で、酸素を消費する還元物質の影響は小さいことをうかがわせた。

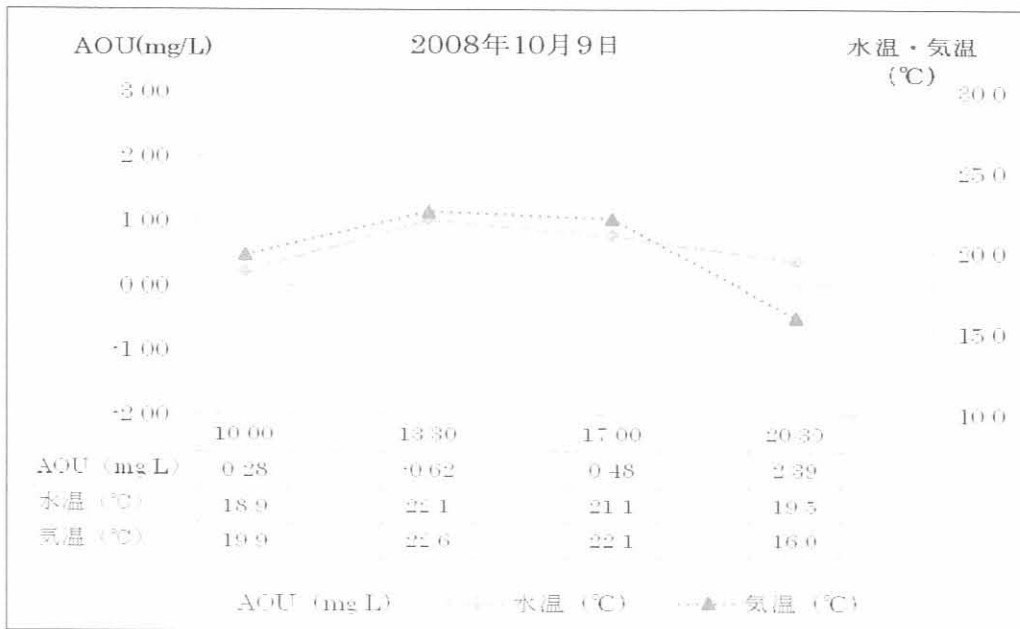


図5 St.12におけるAOU、水温、気温の経時変化

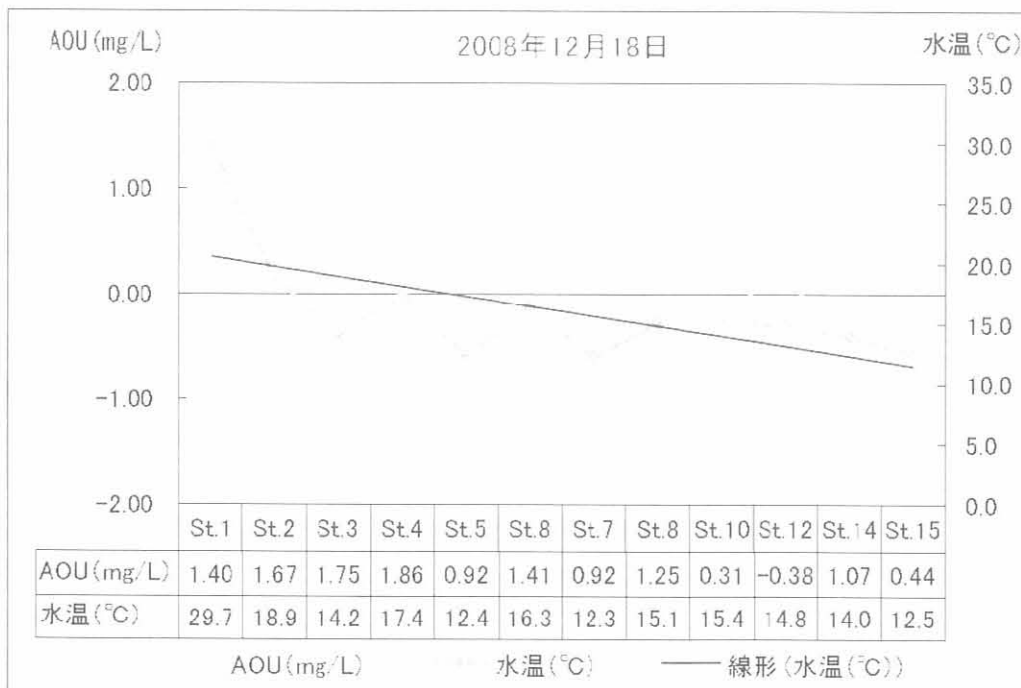


図6 大分川上流域の水温、AOUの分布

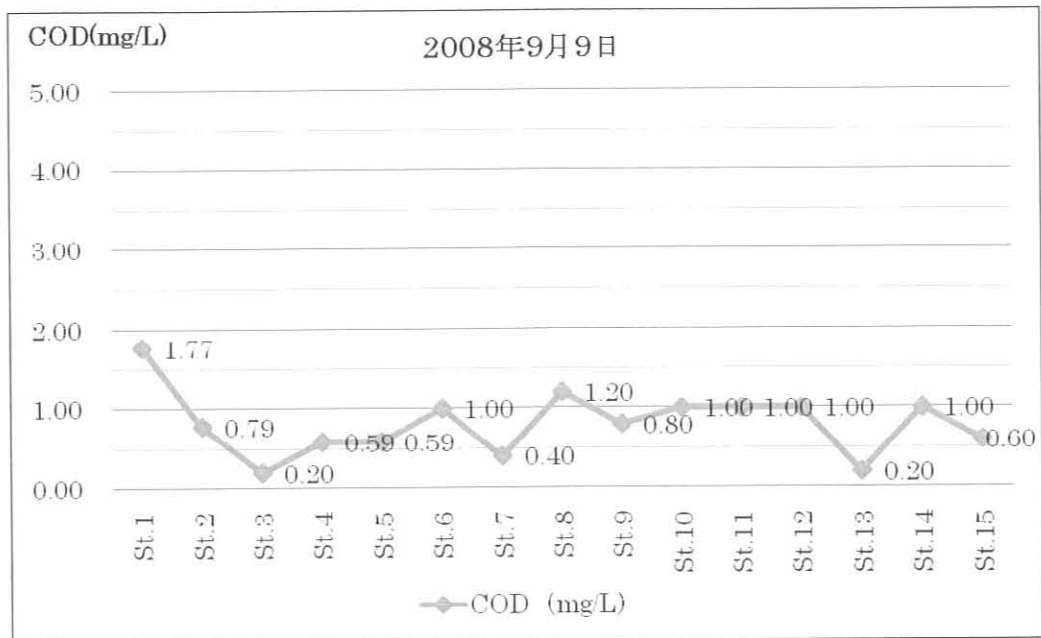


図7 大分川上流域のCODの分布

4. 終わりに

大分川上流域（湯布院盆地）の水温は流下に伴って低下するという特異な傾向を示し、溶存酸素量は不飽和を呈する場合が多い。これは源流域に分布する温泉が河川に流入し水温を高め、流下に伴って水温が下がるものである。水中に溶存する酸素量は水温と気相中の酸素分圧によって決まる。大気中の酸素分圧をほぼ一定と考えれば酸素飽和量は水温に依存する。大分川源流から上流域の不飽和現象は水温の低下速度に比べて気相から液相への酸素の溶解速度が遅れることによって見かけ上不飽和を呈しているといえる。Sugiuraは黒潮と親潮のAOUを検討し、黒潮の溶存酸素量が日本近海で不飽和を示すのは海水温の低下速度に比べて酸素の溶解速度が遅れることによる²⁾と述べている。大分川上流域で酸素濃度が不飽和を呈する現象も、この黒潮の場合と同様であると考えるのが妥当であろう。

今回の調査は、大分県の公共用水域測定結果定点・大分川・川西橋の酸素濃度の不飽和現象は河川水の汚濁によるものではなく、気相・液相の酸素交換速度の遅れに起因することを明らかにした。

最後に本研究を遂行するにあたり大分県温泉調査研究会に研究費の一部を負担して頂いたことに感謝する。

参考文献

- 1) 菊池みどり：温泉流入による河川水中の溶存酸素飽和度の動向—大分川上流湯布院地域について—, 卒業論文集第43集, 1-7, 大分大学教育福祉科学部化学教室 (2008年3月)
- 2) Yoshio SUGIURA: Distribution of AOU in the surface waters of Kuroshio and Oyashio and its oceanographical significance - The delay of gas exchange between air and sea (The oceanographical Magazine Vol. 21, No. 1, pp. 31 to 38, July 1969)

温泉地における地域構造の変容に関する考察

別府大学

中山 昭 則

要 旨

温泉地の立地は当然のことながら源泉湧出地の分布に大きく左右される。我が国の温泉地は地形的に自然湧出に有利な河川流域、具体的には溪谷・谷間に立地する事例が多い。こうした温泉地は宿泊施設等の立地という面では、建設用地の確保という点で大きな制約をうける。つまり、狭い谷あいの溪流に沿って旅館がひしめき、狭い路地がうねっているという構図の温泉街が数多くみられる。

しかし、一世帯に複数台の自家用車の保有が当たり前となり、さらに自家用車を利用した個人旅行が一般化した現在、こうした谷あいの温泉地にとって大きな課題が立ちはだかるようになった。第一に駐車場の確保といった難題である。第二には細い路地への自動車の進入といった問題である。こうした難題に直面した温泉地は様々な形で対応してきた。

本研究は、こうした状況下自動車利用の観光客に対応するために、駐車場の確保と新たな旅館経営を目指して旧来の温泉集落の周縁に次々と旅館が移転している大分県九重町筋湯温泉を事例地として取り上げ、やがて地域構造そのものが変質していく可能性を指摘しながら、今後の成り行きを考察してみたい。

I はじめに

我が国の温泉地の多くは湯治場としての機能を出発点としている。湯治場の多くは近在の農産漁民が「農閑期・休漁期」に訪れるいわゆる「骨休め」として利用されてきたところが多い。こうした湯治場利用者は当然のことながら時代的にも基本的には自家用車ではやって来なかった。

しかし、1960年代になると高度経済成長とともに、国内では都市部への人口移動と第2次、第3次産業へのシフトが顕著となった。これは湯治場を支えてきた農山漁業従事者の激減を意味し、全国各地の湯治場は温泉観光地として生き残りを図るか、衰退するかの瀬戸際に立たされた。

1969年当時、湯治場は甲信越地域の山間部に集中し、以下、南東北地方、九州地方、北東北地方と続いていた。宿泊定員からみても小規模な自炊宿やいわゆる「1軒宿」が多数存在していた。また、湯治場は依然として全温泉地の41%を占めていたが、延べ宿泊客数で見ると20%を占めるに過ぎなかった(小堀・山村2004年)。つまり、このような状況下すでに湯治場の温泉観光地がかなり進んでいたということになる。

高度経済成長期の旅行形態は団体旅行が大きなウェイトを占めていた。したがって、例え駐車場が宿から多少離れていたとしても、同行者全員が同一行動を取ることで参加者はさしたる抵抗もなく、旅館までの道のりを歩いたと思われる。さらに、鉄道やバス旅行が当然であったため、いわゆる「ドア・トゥ・ドア」といった認識も殆どなかったものと考えられる。その上、バス1台で大人数を運んでくるので、駐車場のスペースも大きな問題とはならなかったのではないかと。つまり、駐車場と宿との距離関係は極端な場合を除くと大きな問題とはならなかったものと思われる。このことは、今回筋湯温泉の旅館での聞き取り調査においても、団体客が押し寄せてきた時代にこのような苦情があったという話題は全く出てこなかった。

しかし、やがて自家用車が普及するとともに高速道路も整備されると、観光客の多くは自らの運転で旅をするようになった。さらに、自家用車1台ではせいぜい5人しか運べないので宿泊者が多ければ多

いほど駐車場のスペースは必要となる。こうして、温泉地の各旅館はモータリゼーションの高まりとともに駐車スペースの確保が大きな問題として顕在化してきた。その上、元来狭い路地に大量の自動車が進入してくるという未経験の事態にも対処しなければならなくなった。

こうした新しい局面下、全国各地の温泉地は廃業した旅館などの廃屋を買収して駐車場スペースにあてるケース、集落の外れに駐車場を設け自動車の移動は従業員が行うなどの対応をする処が多かった。しかし、今回調査事例地とした筋湯温泉は、旧来の温泉集落はそのままとして周縁部に新たに旅館を構えるケースが顕著な温泉地である。その結果、旧温泉集落は衰退しつつあるという皮肉な事態を迎えつつある。

全国の温泉観光地には立地環境的に筋湯同様に谷間の河川沿岸にへばりつくように旅館が成立していった所は多い。本研究は、全国の温泉観光地が抱える課題として筋湯温泉の事例を提示することによって、温泉観光地が今後向かう可能性のあるケースとして考察を加えていきたい。

II 事例地概要

大分県九重町筋湯温泉はくじゅう連山の麓に位置し、玖珠川の河岸に沿って旅館が集積する典型的な谷間集落であった。現在の旅館数は30軒であるが、具体的な宿泊者数を示すデータは公表されていない。しかし、2006年度の九重町全体の宿泊者数43万人と照らし合わせると、推計ではあるが筋湯温泉の年間宿泊者数は、10～15万人程度と思われる。

筋湯温泉は天徳2年(958)に開かれたとの記録があり、鉄輪温泉よりも古い歴史を持つことになる。藩政期には天領になる直前の日田藩主松平直矩によって温泉冥加金年銀20文を納める命令が下されたとの記録も残る。また、明治30年頃と1949年(昭和24)の2度にわたる大火に遭遇している。戦後間もない大火の復興によって現在の温泉街が形成された。古くから「打たせ湯」が有名で、共同浴場は「日本一のうたせ湯」として売り出している。

III 筋湯温泉の発展過程

1. 山間温泉集落としての展開

筋湯温泉の由来は古く、現地の人々の間では江戸時代には既に数件の旅籠があったといわれているが、言い伝えの域を脱していない。温泉地としては今から120年程前に「両筑屋」が開業したのが始まりといわれている。その後大正時代に本格的な温泉地として形成された。例えば、朝日屋旅館の先々代もこのころ久留米から湯治客としてこの地を訪れたのが契機となって旅館を開業している。戦前は交通の便が極端に悪かったため、福岡方面からの湯治客は日田まで鉄道で来て、そこからは歩いて来たといわれている。また、湯治客は熊本県小国町付近から多くの人々が尾根道を辿ってやって来たといわれている。しかし、昭和初期以降のこの地の様子を物語る詳しい資料は度重なる水害と、1949年(昭和24)の大火によって殆ど残されていない。

筋湯温泉はこの昭和28年大火によって筋湯の集落の大半は焼失してしまったといわれている。大火以前の温泉集落は旅館数軒のひなびた湯治場であったようである。大火以前から営業していた旅館は、聞き取り調査によって7軒判明した。また、大火を契機に新たに開業した旅館も数軒あったことが判明している(中山2008)。これらの旅館は全て地元住民の経営によるもので、商店経営者や農家が旅館経営に進出した例が多くみられた。

筋湯温泉の一つの転機をもたらせたのは1952年(昭和27)のバス路線の開通である。このバス開業によって福岡方面から慰安旅行客が来るようになったようである。しかし、バスは所々の急カーブは曲がり切れなかったので、枕木を用意して曲がっていたという。この当時の旅館経営形態は、大半は農家業との兼業で、農業経営形態は大半の農家は牛・馬も飼育していたという。一方、旅館経営は素泊まりを

基本としていたという。湯治客は春と秋にやってきて1週間から10日間滞在していたという。その他の主な客は登山客であったという。どこの旅館も常連客を多数抱えており、どこの旅館の湯治客なのかもお互いにわかっていたという。

また、この時期には1泊3食付きの協定料金を設定していたようであるが、各旅館とも独自のサービスを始めたことから協定料金の設定は長続きしなかったという。

このような湯治場が劇的に変化するのは、言うまでもなく1964年（昭和39）の九州横断道路の開業によるものであった。この道路開通によって交通アクセスが格段と向上するとともに、別府・由布院・飯田高原・阿蘇という観光周遊ルートが完成した。その結果、筋湯温泉には福岡県を中心とした企業の団体慰安旅行が押し寄せるようになった。当時は150~200人規模の団体が押し寄せたため湯治客は次第に敬遠するようになったといわれている。こうしたマス・ツーリズムの到来とともに、各旅館も専業・大型化していった。今日でも山間部に位置する旧来の温泉集落には、老朽化した鉄筋コンクリート造りの旅館が数件立ち並んでいる。

2. 温泉観光地としての発展過程

筋湯温泉の観光地としての発展過程については既に拙著で述べている（中山2008）。その中で観光地としての発展要因として、九州横断道路の全通とならんで1970年（昭和45）の瀬の本に抜ける県道の開通に依るところが大きいと述べているが、今日、旧温泉集落から移転してきている旅館はその県道沿いに立地している（図1）。この道路の開通によって筋湯へのアクセスは改善され、特に熊本・阿蘇方面からは牧の戸峠を経由することなく筋湯温泉に入れるということで新たな観光客の流入という展開を見ることになった。この道路整備による筋湯温泉の旅館開業の状況についても既に述べている。

この頃開業した旅館の多くは、共同温泉「うたせ湯」を中心として展開してきた筋湯由来の温泉街を取り巻く形で温泉集落は拡張した。その背景には、地熱発電所からの引湯が可能となったこととボーリングによる新たな掘削もあげられよう。また、筋湯温泉では入会地の売却で得た収入を元に旅館の増改築を進めた旅館経営者が多かった。旅館の新規開業にともない、宿泊客を相手とする商店や飲食店の出店もあり、筋湯温泉は旧来の湯治場機能とともに観光温泉集落の機能としても強化されたのであった。

一方、熊本県瀬の本高原に抜ける県道は、当初は玖珠営林署所管の林道として造成されつつあった。この道路は九州横断道路の脇道としての機能も持ち、この開通によって熊本方面からの宿泊客が増加したという。また、近年では後述するがこの県道沿いに温泉街から移転してきた旅館も多く、今日では筋湯の新たな旅館集積地になりつつある。

これらの道路が開通した1970年頃から1970年代後半の数年間が筋湯の最も賑わった時期ともいえる。当時は宿泊客相手の商店や飲食店が数軒あり、また共同浴場を利用する湯治客が日中も温泉街を散策していたという。1970年代も後半になると個人を主体とした「レジャーブーム」が起これ、宿泊客もバス主体の団体から個人へとシフトしてきた。これは、マイカーの普及とともに、大市場である福岡市から「程よい距離」にあったことが大きかったと地元では分析している。さらに、当時の筋湯温泉は「山間にある温泉地」として名が通っていたという。この知名度が当時全国的に沸き起こったいわゆる「秘湯ブーム」とリンクしたものと考えられる。さらに、個人客の多くは「かつて職場等の慰安旅行で筋湯を訪れていた人々」がかなり多かったとも聞く。また、当時流行り始めたゲートボールを睨んで現在の共同駐車場の場所に3面コートを整備している。

このように、1970年代は大型団体旅行客の到来とそれに続く個人レジャーブームと秘湯ブームが相まって、筋湯温泉は賑わいを見せていたようである。その当時入込客のピークは5月と8月であったという。

この流れは1980年代前半まで続いたようであるが、中頃から状況は大きく変化していった。

3. 温泉観光を取り巻く変化と筋湯温泉

1980年代中頃は我が国の観光を取り巻く状況が大きく変化した時期であった。その最大の変化は、海外旅行ブームの到来といえよう。1985年の「プラザ合意」によって円高ドル安は一気に進み、外国為替のドル相場が一時1ドル=80円前後にまでになり、海外旅行の割安感が広まり国内観光は低迷した。

海外旅行ブームの影響は何も筋湯温泉に限ったものではないが、ステレオタイプの分析だけでは地域構造の変化を検討する上では不十分であろう。鑑みるに、果たして1985年当時筋湯温泉がターゲットとしていた観光客層がこぞって海外旅行に出かけたのであろうか、精査な分析が必要となろう。

筆者は、海外旅行の影響は決して排除すべきではないと考えるが、1980年代に一般化していった、いわゆる「新しい温泉観光旅行」に少なからず乗り遅れたことが大きな要因と考えている。この時期は前述した「秘湯ブーム」に端を発したと言えそうであるが、そのブームに乗って売り込んでいた温泉地に筋湯がどの程度入っていたのか、筆者の知見の範囲では決して目立った動きをしていたとは言えない。また、当時の旅行者は海外旅行と温泉旅行を巧みに使い分けていたともいえる。さらに、当時の海外旅行ブームの先陣を切ったのは若者、特に大学生の「卒業旅行」と当時もてはやされた「独身貴族」の若い女性であった。したがって、地方の山間部に立地する温泉地に流入する観光客層と海外旅行の開拓客層が広く重複していたと考えにくい。

こうした背景よりも、温泉旅行がマスメディアによってイメージ化されたことの影響が大きいと考える。つまり、秘湯ブームによって若者層の温泉への関心が高まった。しかし、温泉に対する関心が高まったものの、実際に若者が大勢訪れた温泉地は一部であった。筋湯温泉も確かに一時的にはそのブームに乗りかかり、年10%程度観光客が増えた時期もあったとの証言も得ている。しかし、結果的にはそのブームを起爆剤として活かすことはできなかったといえよう。一方、由布院温泉などはそのブームにきっかけを掴んだ好事例といえよう。

他方、この時期九州各地に大型レジャー施設が相次いで誕生したことも大きかった。例えば、ハウステンボスの開業によって筋湯温泉の観光シーズンを担っていた5月の客足が大幅に減少したとの証言もある。地元では旅行会社がこぞってこの旅行適期にハウステンボスへのツアーを組んでいったと考えられている。

また一頃賑わった避暑を目的とした夏の観光シーズンも近年不振続きであるという。この要因としては地元では各家庭へのエアコンの普及が影響しているのではないかと考える向きもある。

確かにエアコンの普及によってわざわざ避暑のために移動する必要性はなくなったであろう。しかし北海道や軽井沢の相変わらずの人気ぶりをみると、原因を安易に外的要因に求めることもできまい。

本研究の目的は、地域構造の変遷を検討することにあるので、1980年代以降の観光客の減少の要因を精査に分析することは他の機会に検討する。地域構造といった視点から見れば、原因が何であろうと観光客は減少していったことは紛れもない事実である。その結果、1970年代の観光ブーム時に大型化した各旅館は苦慮することになる。その上、旧来の湯治客世代は高齢化するとともに、新たな湯治客層は形成されることはなかった。つまり、この時期を境に湯治客層の世代交代はついに起こらなかった。そして、現在では自炊施設を持つ湯治宿は僅か3軒のみである(図)。

今日、筋湯温泉を支えている客層は夏季のラグビー・陸上競技の合宿として利用する若者と、11月紅葉シーズンに訪れる観光客である。

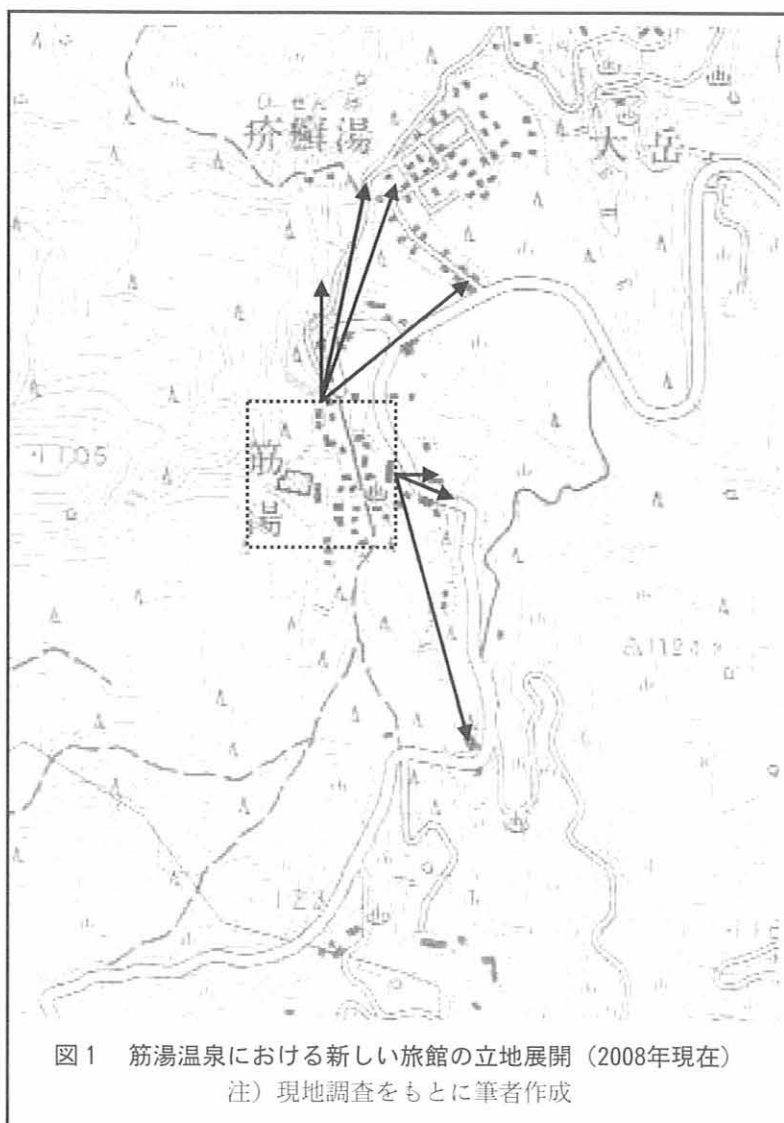
また、2006年10月、筋湯温泉から僅か10kmの山間に「くじゅう夢吊り橋」が開業し、開業一年目の場者数は200万人を越えるブームを巻き起こした。しかし、この施設は典型的な通過型観光施設で入者の大部分は湯布院・黒川といった温泉地で宿泊するため、観光バスの乗り入れができる一部の大型ホテルの利用者は増えたものの、筋湯温泉全体にはその効果は及んでいないようである。

IV 新たなタイプの旅館の展開と周縁部への広がり

年間200万人もの集客を記録した「くじゅう夢吊り橋」の開業も、結局筋湯温泉全体でそのチャンスを活かすことはできなかったといえよう。最大の要因は温泉集落が谷間に展開するというハンディキャップといえる。結局大型バスが進入できないという地形的なハンディキャップによって、吊橋に大量に観光客を送り込んでいる旅行エージェントが筋湯温泉に関心を向けなかったのである。日田市の天ヶ瀬温泉も同様の結末を迎えたといわれている。

だが、たとえ団体旅行客が訪れたと仮定しても、筋湯温泉の現況をみる限り特定の宿泊施設に集中したと考えられる。多くの旅館はもはや覆い隠すことが不可能なほど施設の老朽化が進んでいる。この状況は観光地の大競争時代を迎えて大きなハンディキャップとなろう。観光地は別府といえども老舗の大型宿泊施設が外部資本の手に渡る時代である。施設の見かけ（外観）は観光客さらには旅行エージェントの厳しい視線に晒されているのである。

一方では、近年筋湯温泉では旧来の温泉集落からその周縁部に移動するケースが増えている。新規展開の移動先は集落の北1キロメートルほどに立地する別荘地用として増設された所に集中している。さらに、こうした新しい旅館の多くは、個人客をターゲットにしたタイプの和風旅館で占められている。しかし、このように移転した旅館の多くは現在も温泉集落内においても旅館を営業している所が多い（表1、図1）。



これら多くの旅館は木造建てで、離れと個別の露天風呂を持つ和風旅館として営業している。客層は当然個人客を対象にしているが、若いカップルと熟年の連れ添いが主体という。規模は凡そ8～10室程度で家族経営が可能な規模としているようである（写真1、2）。こうして方法を取った背景の一つには木造建築の場合は固定資産税が安いということも無関係とは言えまい。経営は集落内の旧来の旅館との兼業もみられるが、大半は集落内の旅館は常連客のみを対象とするか、殆ど閉店状態といった状況である。

こうした周縁部への移転によって開業した旅館はマスコミにも度々取り上げられたという。その結果大きな宣伝効果を上げたのであるが、通常旅館経営は宣伝効果が徐々に表れ、それとともに宿泊客も段々と増えてきたといわれる。しかし、これらの旅館は開業初年度にいきなりピークがやってきたという。今後の顧客・リピーターの確保が既に大きな課題となっている。また、同様の和風旅館は由布院温泉や黒川温泉でも流行し、さらに別府温泉郷においてもこうした小規模な和風旅館が検討している。よって、近隣の温泉観光地との競合は避けて通れない。



写真1 2008年9月撮影



写真2 2008年9月撮影

表1 周縁部に立地する旅館

(2008年11月現在)

	旅館名	集落内の系列旅館
1	四季の宿 すじゅ	両筑屋
2	秀 月	きらく荘
3	山の宿 きやす屋	喜安屋旅館
4	旅荘 小松別荘	旅荘小松
5	山荘 やまの彩	宝珠ハイッホテル
6	ホテル 大高原	玉や旅館
7	名山 丸屋別館	丸屋旅館

注) 聞き取り調査により筆者作成

さて、ここでは聞き取り調査で得た知見から新しく展開している旅館の実情に触れてみたい。筋湯温泉という地域的な特徴ともいえるが、移転してきた旅館の経営者は殆どが温泉集落の系列旅館の家族もしくは親族である。加えて、展開する旅館同士も何らかの血縁関係であることが多い。筋湯温泉はこの40年間ほどは外部資本の参入は見られないという。僅かに近在の湯坪地区出身者が旅館経営に乗り出した程度である。

旅館の多くは家族経営であることは述べた通りであるが、ある旅館では、旅館開業にあわせて次女と三女に由布院温泉で修業を積ませている。

一方、後継者に関しては多くの旅館では既に後継者がいるようである。しかし、配偶者探しが困難という。また、現在は70歳代に差し掛かっている世代が社長として一線で活躍している旅館も多い一方、地域全体でみると30・40歳代の次世代が台頭してきているようである。さらに、女将たちによって「女将の会」が立ち上げられ、「観月祭」などのイベントも始めている。このように、筋湯温泉は少しずつ世代交代が進みつつあるといえる。

V 地域構造の変容 ～むすびに代えて～

以上みてきたように、筋湯温泉では近年旧来の温泉集落の周縁部において、新しいタイプの和風旅館が相次いで新規開業している。これら旅館の大半は旧来の温泉集落の旅館経営者の親族によるものである。よって、外来資本の参入は今のところ見られない。

旧来の温泉集落で展開しているかつての湯治宿は、小規模経営で苦境に立たされている。その一方、僅かではあるが大型ホテルとして展開するところもみられる。

筋湯温泉の地域構造は、湯治温泉→団体を受け入れる観光温泉地→個人客を主体とした小規模温泉地と変化してきている。このこと自体は全国の温泉地でみられるケースである。しかし、筋湯温泉の特異な状況は、旧来の温泉集落のスプロール化が急速に進んでいる点である。加えて、その移転は旧来の旅館経営者の家族によってなされている点もおさえておかなければならない。

以上の特徴点から、今後進行するであろう地域構造の変容は何をもたらすのか検討してみたい。

まず、筋湯温泉は地元の言うなれば人々の意思によって地域構造が帰られてきたといえよう。このことは外来資本が約40年間参入していないことから、明らかな事実といっても過言ではなからう。このように視点に立った場合、現在温泉集落内に立地する4か所の共同温泉を今後どのように活用しようとしているのか。日本一の「打たせ湯」を持つ温泉地でありながら、旅館はどんどん周縁部に移転していているという現実をどのように受け止めなければならないのか。まずは将来的に共同浴場をどのように管理し活用しようとするのか、そのビジョンを明らかにする必要がある。

旅館同士で露天風呂を開放しあっている黒川温泉、湯量の問題が根底にはあろうが各旅館とも原則内湯を持たず共同浴場を核として成り立っている山口県依山温泉、言うまでもないが「坊ちゃんの湯」を中心として温泉街が賑わっている道後温泉、現況をみる限り筋湯温泉が向かっている方向はこうした賑わっている温泉地とは明らかに異なっている。

さらに、豊富な湯量故に各旅館が独自に離れと個別の露天風呂をあつらえていく現況をみる限り、貴重な財産といえる共同浴場の将来を案じずにはいられない。この規模の温泉地において旅館が個別の対応で展開している状況を注視していかなければならない。

筋湯温泉は、旧来の温泉集落を舞台として、幾度かの大火に見舞われながらも湯治場として発展し、さらに高度経済成長期には団体客を受け入れながら乗り越えてきた。いよいよ周縁部に和風旅館が立地する新しい温泉地として展開しようとしている。地域構造が変化していこうとする形は見えてきた。しかし、どのような形で実際に地域構造は変化するのか、具体的に実証できる段階までには達していないと考えられる。その上、親族同士の経営という特殊な要素が地域構造の変容にどのような影響をあたえるのかについてもまだ検証の余地がある。

しかし、共同浴場が見直され始めている現在にあって、筋湯温泉の今後の展開は温泉研究上きわめて貴重なサンプルといえよう。

謝辞) 本研究を進めるにあたり、筋湯温泉の方々から多大なご協力を頂いた。ここに厚く御礼を申し上げます。また、現地調査は別府大学地理学研究室の学生たちに依るところが大きい。

【参考文献】

- 1) 小野喜美夫 (2007) : 『九重・飯田高原百話集』。九重・飯田ふるさと資料館、全228頁。
- 2) 中山昭則 (2008) : 「温泉資源を活かしたまちづくりに関する考察～鉄輪・筋湯温泉を事例として～」大分県温泉研究会研究報告第59号47～57頁。
- 3) 小堀貴亮・山村順次 (2004) : 「別府市鉄輪温泉における湯治場の地域変容」。温泉地域研究、第2号、49～54頁。

数値シミュレーションを用いた鍋山・明礬地域の地熱系の解明

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

要 旨

鍋山・明礬地域で行われた自然電位測定ならびに岩石のゼータ電位測定の結果を参照して、この地域の地下水流動分布ならびに地表の自然電位分布を数値シミュレーションから推定した。地下水流動の計算は、単純な重力による影響のみを考慮したものである。数値シミュレーションの結果から、鍋山噴気地帯や明礬温泉南縁地域の自然電位は、推定される地形効果から大きく外れていることが示され、他の要因による電位異常が存在することが示唆された。明礬温泉南縁地域の電位異常の原因は特定できなかったが、鍋山地域の電位異常は火山ガスの影響によって低比抵抗な変質帯が形成された影響であることが示唆された。

1. はじめに

地熱地域や活動的な火山地域では、地下に存在する熱水活動域を調査する目的でしばしば自然電位測定が行われる。地下の堆積層や岩石中を地下水が流動している場合、界面動電現象である流動電位が発生し地中や地表に自然電位を形成するため、この原理を応用して観測された自然電位から地下の流体流動を推定する試みが行われるようになった。近年では数値シミュレーションによる解析も行われるようになり、地下水流動地域の岩石物性測定結果を考慮した計算から、定量的な解釈が行われるようになってきた（長谷ほか，2008；長谷ほか，2009）。

別府温泉の源泉のひとつと考えられている鍋山・明礬地域では、これまで自然電位測定（長谷，2005）や岩石のゼータ電位測定（長谷ほか，2006）が行われ、地下の熱水系について議論されてきた。本報告では、これらの研究結果をもとに地下の流体流動と自然電位の数値シミュレーションを行い、鍋山・明礬地域の熱水系に関して、より定量的な解釈を行う。

2. 鍋山・明礬地域の自然電位概要

鍋山・明礬地域の自然電位は長谷（2005）によって行われている。測定範囲は鍋山の噴気地帯から明礬温泉南縁までの道路沿いで、およそ2 kmの測線長である。重力による単純な地下水流動が卓越している地域では、標高に対して負の線形相関を示す地形効果が見られることが多いが、鍋山・明礬地域ではそれほど明確にみられない（図1）。原因については、熱水上昇による高電位異常や低比抵抗帯が広範囲に分布している可能性や、岩石のゼータ電位の絶対値が小さいなど、いくつか考えられ議論されてきた。

また長谷ほか（2006）によって、この地域の岩石ゼータ電位測定が行われている。ゼータ電位とは固-液界面に発生する電気二重層内の電位をさしており、地下水流動によって発生する流動電位を評価する際に重要な要素である。長谷ほか（2006）は、鍋山地域や明礬温泉の温泉水の影響を受けていない地域ではゼータ電位がマイナスを示しており、プラス電荷が地下水とともに流動して流動電位が発生していると推察した。そのため鍋山地域では熱水上昇等によって高電位異常が形成されている可能性が考えられるが、自然電位測線が限定されていることや自然電位異常の空間分布がはっきりしていないため、これまで明確な解釈が行われていない。

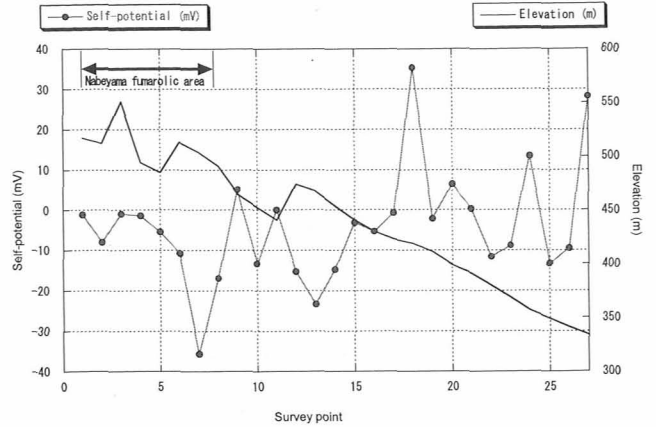
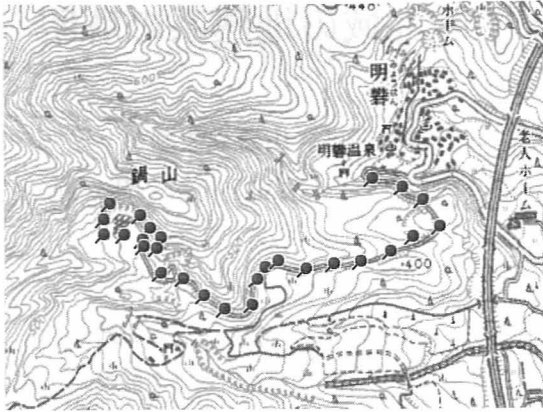


図1. 鍋山・明礬地域の自然電位測定点（左図）と測定結果（右図）

3. 数値シミュレーション

これまで鍋山・明礬地域で行われた自然電位測定や岩石のゼータ電位測定の結果のみでは、この地域の熱水系について議論を進めることが難しかった。そのため本報告では、流体流動と自然電位の数値シミュレーションを行い、観測データの定量的な解釈から鍋山・明礬地域の熱水系について議論を進めることにした。シミュレーションコードは、地熱開発の分野で広く用いられている汎用貯留層シミュレーターのSTARならびにEKPポストプロセッサーを使用した (Ishido and Pritchett, 1999; 當舎ほか, 2001)。熱水系の議論を進めるにあたっては熱源を含めたモデリングを行う必要があるが、本報告では三次元のシミュレーションを行う時間等の制約上、まずは単純な地下水流動から形成される自然電位の地形効果についてシミュレーションを行い、観測値との比較から議論を進める。

3-1 界面動電現象の方程式

流動電位などの地下の流体流動に伴う界面動電現象をあらわす方程式は、以下の式で示される (Ishido and Mizutani, 1981)。

$$I = -L_{ee} \nabla \phi - L_{ev} \nabla (P + \rho g z) \quad (2)$$

$$J = -L_{ve} \nabla \phi - L_{vv} \nabla (P + \rho g z) \quad (3)$$

ここで I : 電流密度 (A/m^2)、 J : 液体の流量密度 (m/sec)、 ϕ : 電位 (V)、 P : 液体圧 (Pa)、 ρ : 流体密度 (kg/m^3)、 g : 重力加速度 (m/sec^2)、 z : 標高 (m) である。また L_{ab} は現象論係数であり、式(2)の右辺第一項はオームの法則、式(3)の右辺第二項はポーラス媒質中の流体のダルシー則に相当する。式(2)の第二項と式(3)の第一項は界面動電効果を表しており、オンサガーの定理により $L_{ev} = L_{ve}$ である。式(2)の右辺第一項は伝導電流 (I_{cond})、第二項は携帯電流 (I_{drag}) を表しており、式(2)は

$$I = I_{cond} + I_{drag} \quad (4)$$

となる。この式に電荷の保存則が成り立つ場合、伝導電流のソースは以下のように表すことができる。

$$\nabla \cdot I_{cond} = \nabla \cdot (-L_{ee} \nabla \phi) = -\nabla \cdot I_{drag} \quad (5)$$

式(5)は電位についてのポアソン方程式であり、式を解くには I_{drag} の分布を求めなければならない。 I_{drag} を求めるためには、流体流動と電流がカップルした式(2)と(3)より流体圧分布を求めなければならないが、式(3)の右辺第一項は代表的な地質条件では無視できる (Ishido and Mizutani, 1981)。従って、式(3)で右辺第一項を無視したダルシー則を解けばよいことになる。

自然電位シミュレーションの計算手順は、第一段階で流体流動の計算は貯留層シミュレータSTARを用いて流体流動を計算し、第二段階でEKPポストプロセッサーを用いて電場を計算する。STARで計算

された温度、圧力、塩分濃度分布からEKPポストプロセッサーを用いてカップリング係数 (L_{ev})、携帯電流 (I_{drag}) および電気伝導度分布 (L_{ee}) を求め、式(5)を解いて電位分布を求める。カップリング係数 (L_{ev}) は、キャピラリーモデルを適応すると以下のように表される。

$$L_{ev} = L_{ve} = -\eta t^{-2} \varepsilon \zeta / \mu \quad (6)$$

ここで、 η ; 空隙率、 t ; トーチュオシティ (迂回率) である。

3-2 パラメーターセッティング

本報告の数値シミュレーションは直行座標三次元で行った。STARならびにEKPポストプロセッサーのグリッド数は、どちらも46×46×26、XY方向のグリッド間隔は中心から±700mでは50m、それより外側では順次間隔が広くなるように設定した。Z方向のグリッド間隔は、自然電位測定が行われた地域を含む標高300~1000mの間は50m、それより上部の領域では100m、下部の領域では順次間隔が広くなるように設定した。計算領域全体は10,000m×10,000m×5,500mとした (図2)。仮定した岩石層は海拔-500mより上に位置する上部層 (permeability : 5.0×10^{-14} (m²)) とそれより下に位置する下部層 (permeability : 1.0×10^{-14} (m²)) の単純な二層構造とし、比抵抗構造は流体の存在に合わせて変化するものとした (キャピラリーモデルを仮定)。STARでの状態方程式は計算対象に合わせていくつか用意されているが、本報告では三要素 (H₂O, Air, Salt) が扱えるBRAINGASを用いた。降雨として地表に供給される流体はこの地域の年間降水量 (1800mm) の100分の1の量が浸透すると仮定した。またこの流体はNaClを 6.0×10^{-3} (mol/l) 含む流体とした。

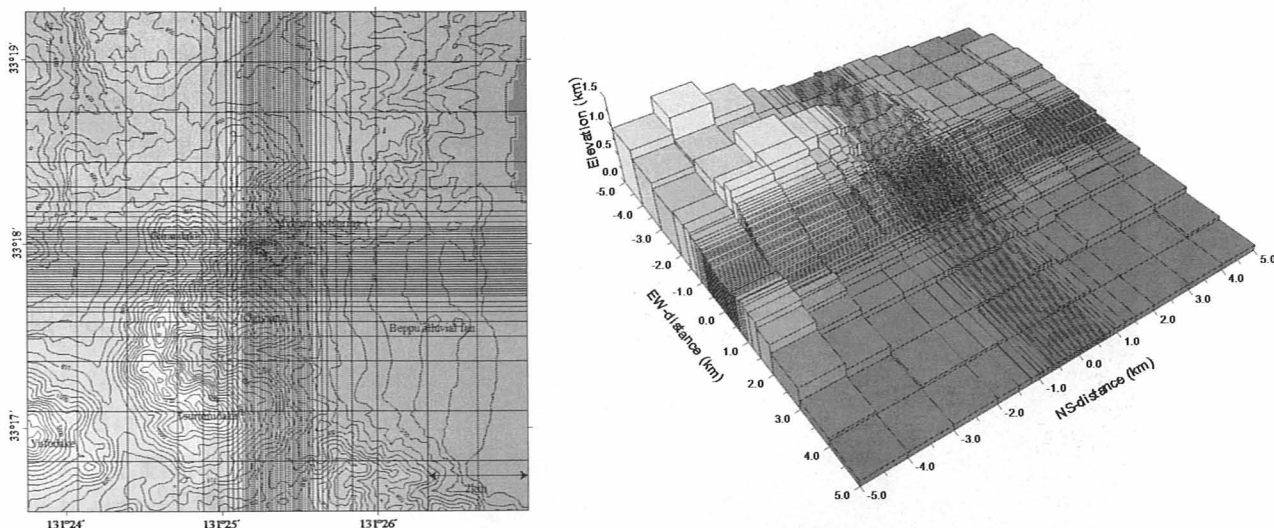


図2. シミュレーショングリッド (水平グリッド [左図] と垂直グリッドイメージ [右図])

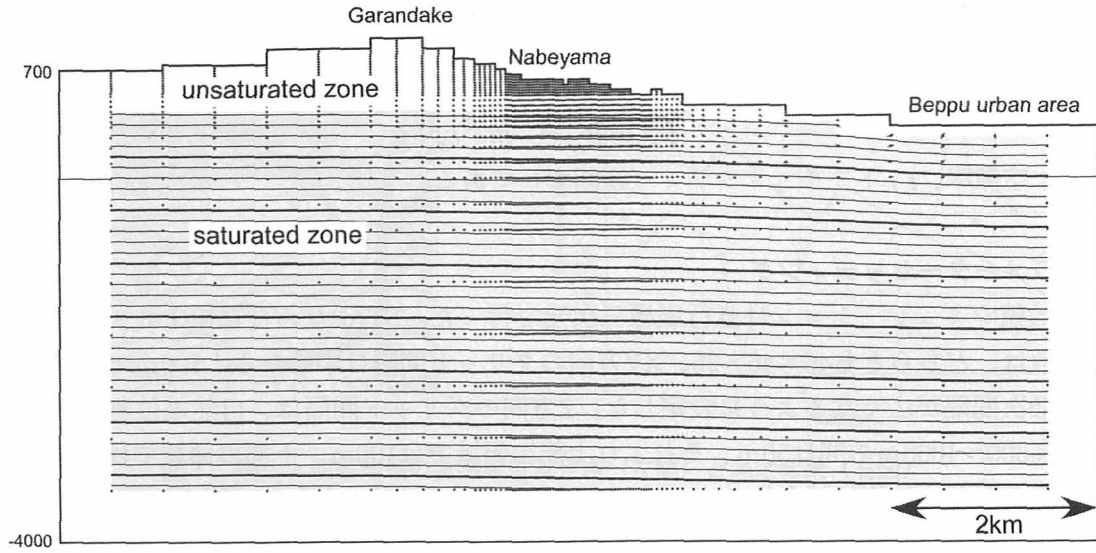


図3 シミュレーションから得られた流体分布（自然電位観測点付近の東西断面）

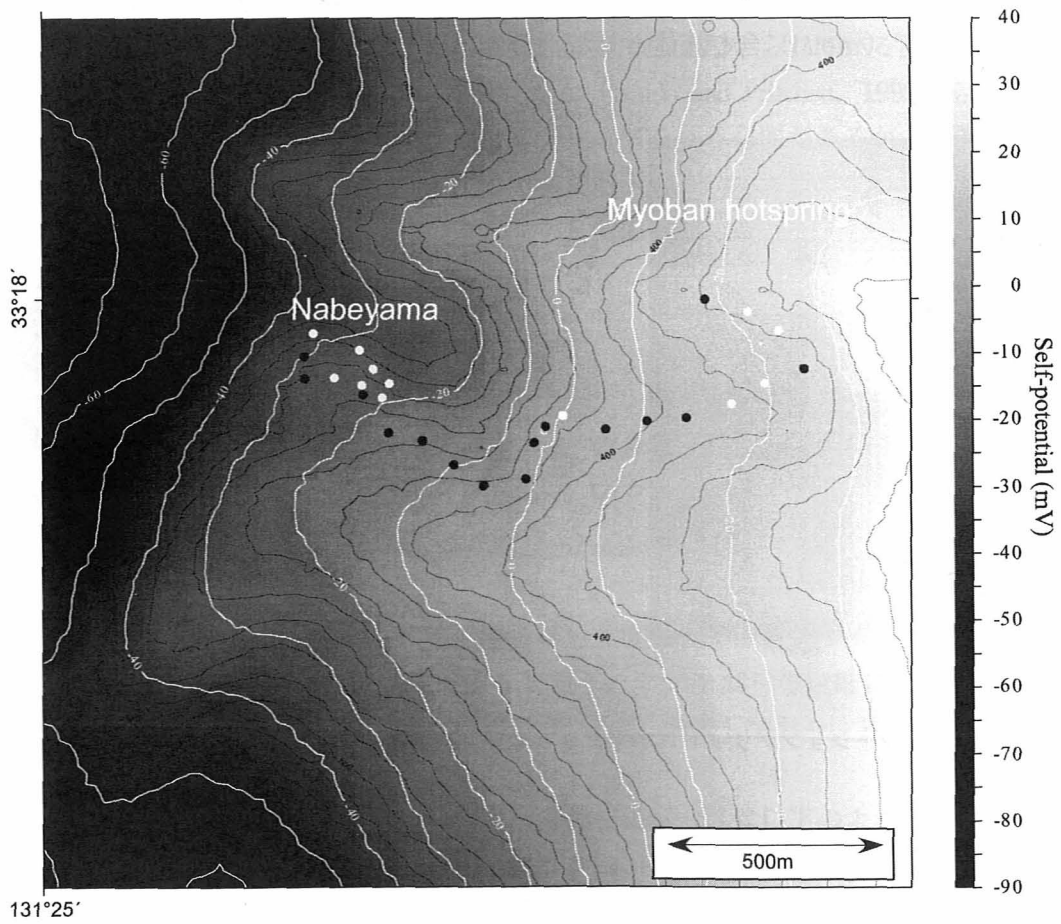


図4 シミュレーションから得られた地表の自然電位分布。黒のコンターは標高、白のコンターは自然電位を示す。丸印は自然電位観測点を示し、白抜きの点はシミュレーション結果から大きく外れた点を示す。

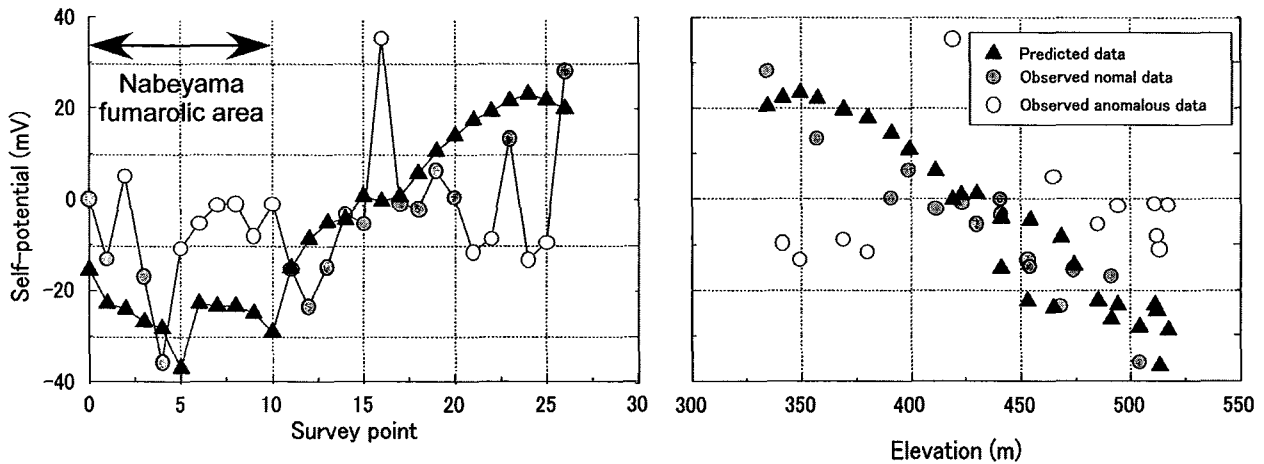


図5 観測された自然電位とシミュレーション結果の比較。左図は鍋山地域から明礬地域の観測路線に沿ったプロット。右図は標高に対する自然電位のプロットで直線的な右肩下りの分布は自然電位の地形効果を示していると考えられる。

4. シミュレーション結果

シミュレーションの最適結果を図3～5に示す。本報告のシミュレーションは熱源を考慮に入れていない計算であり、いわゆる自然電位の地形効果について計算したものである。そのため全体的に地下水は標高の高い地域から低い地域に流動しており（図3）、流体分布から計算された地表の自然電位分布は概ね地形に沿った形となっている（図4）。長谷（2005）で測定した自然電位の結果と比較し、シミュレーション結果との違いが大きい測点は白抜きで示してあるが（図4～5）、一点を除き鍋山の噴気活動が見られる地域と明礬温泉に近い標高300～350mの近くにまとまっている（図4）。

鍋山地域ではシミュレーションから推定される地形効果の値よりも電位が高いが、このような場合、地熱活動によって形成された熱水上昇流が存在していると解釈されることが多い（例えば、Zablocki, 1976, Sasai et al., 1997, Hase et al., 2005）。実際、鍋山地域は天然の自噴温泉が存在しており、地下からの熱水上昇が地表まで連続して存在していてもおかしくない。しかし、自然電位観測点がそれほど広域で行われていないので断定的なことは言いえないものの、その範囲が噴気活動場所に限定されているため、広範囲に電位異常が形成される熱水上昇の影響と判断するには電位異常の分布範囲が狭すぎる（噴気が存在している周辺に限定）と思われる。Ishido（2004）や長谷ほか（2009）では、火山や地熱活動に伴って形成される鉛直方向に伸びた低比抵抗体が地表に高電位異常を形成すること報告している。これは単純な地下水流動によって形成された地下深部の高電位を、低比抵抗体のコンダクターが地表付近まで押し上げる効果によって高電位異常を地表に形成するメカニズムである。このようなメカニズムがこの地域に存在しているならば、自然電位の解釈において必ずしも熱水上昇が地表付近まで存在している必要がない。例えば、地下深部からは火山ガスのみが供給されており、火山ガスの流路のまわりで変質した低比抵抗体が存在するとすれば、地表付近で高電位異常を形成することが可能である。このようなことを考慮すると、鍋山地域の自噴温泉は、地下深部から直接供給されたものではなく、表層付近で地下水と火山ガスが混合して形成されていることが推察される。このことは鍋山の温泉湧出量が季節変動している（冬になると枯れることがある）ことにも整合的である。

明礬温泉付近で観測された電位異常は、シミュレーション結果から推定される地形効果よりも電位が低く低電位異常となっている（図5）。このような低電位異常になる原因としては、(a)流体浸透のコン

トラスト、(b)酸化還元電位、(c)岩石ゼータ電位の違い等で解釈されることが多い。(a)は岩石種の違いや局所的なフラクチャーの存在など、局所的な浸透率の違いにより流体流動のコントラストが発生した場合である。流体流動のシミュレーション結果から、この地域は不飽和帯が地表から100m以上の深さまで発達しているため地表付近の比抵抗は比較的高いことが推察され、局所的な流体流動のコントラストが地表に電位異常を形成することも考えられる。(b)は配水管などの鉄パイプなどが地表付近に存在している場合などに発生する現象であり、酸化還元反応により地表に低電位異常を形成することがある(例えば、石戸, 2008)。(c)は局所的な岩石ゼータ電位の違いにより流動電位係数に変化し、電位異常を形成するメカニズムである。現段階で(a)や(b)の可能性はどちらも否定することはできず、また(c)は長谷ほか(2006)により議論されているものの残念ながらこの低電位異常が観測された場所からサンプル採取は行われておらず議論することはできない。この電位異常の発生原因を特定するためにはさらに広範囲の自然電位測定を行い、電位異常の空間分布を特定する必要がある。

5. まとめ

本報告では鍋山・明礬地域で測定された自然電位をより定量的に解釈するため、地下水の流体流動ならびに自然電位の数値シミュレーションを用いた検討を行った。数値シミュレーションの結果、大局的には重力による地下水流動によって形成された地形効果で説明できることが示唆され、観測値との電位差が大きい鍋山地域・明礬温泉の南縁地域は、それぞれ高電位異常、低電位異常になっていることが推察された。明礬温泉の南縁地域の低電位異常についてははっきりとした原因の言及ができなかったものの、鍋山地域の高電位異常は火山ガスの影響により形成された低比抵抗の変質帯の存在が大きく影響していることが推察された。本報告では熱源を含めた計算を行えなかったが、鍋山・明礬地域の熱水系をより明確にする目的で、今後は熱源を含めた計算を行っていくことが必要であろう。

謝辞

数値シミュレーションコードSTARならびにEKPポストプロセッサの使用に際しては、産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門の石戸経士氏に便宜を図っていただきました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 長谷英彰 (2005) : 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.
- Hase, H., Hashimoto, T., Sakanaka, S., Kanda, W., and Tanaka, Y. (2005) : Hydrothermal system beneath Aso volcano as inferred from self-potential mapping and resistivity structure, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 143, 259-277.
- 長谷英彰・石戸経士・網田和宏 (2006) : 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, 大分県温泉調査研究会報告, 第57号, 79-83.
- 長谷英彰・石戸経士・神田経・森真陽 (2008) : ゼータ電位を考慮した開聞岳の自然電位解釈, 物理探査, 第61巻, 301-312.
- 長谷英彰・橋本武志・西田泰典・宇津木充・井上寛之・佐波瑞恵 (2009) : 自然電位から推定される有珠火山の熱水系, 日本地熱学会誌, 31, 27-37.
- Ishido, T. and H. Mizutani (1981) : Experimental and theoretical basis of electrokinetic phenomena in rock-water systems and applications to geophysics, *J. Geophys. Res.*, 86, 1763-1775.
- Ishido, T., and Pritchett, P. W. (1999) : Numerical simulation of electrokinetic potentials associated with

subsurface fluid flow, *J. Geophys. Res.*, 104, 15, 247-15, 259.

石戸経士 (2008) : 酸化還元反応に起因する自然電位の変化, 地球電磁気・地球惑星圏学会第124回講演会予稿集.

Sasai, Y., Zlotnicki, J., Nishida, Y., Yvetot, P., Morat, P., Murakami, H., Tanaka, Y., Ishikawa, Y., Koyama, S., Sekiguchi, W. (1997) : Electromagnetic monitoring of Miyake-jima volcano, Izu-Bonin arc, Japan : a preliminary report. *J. Geomagn. Geoelectr.*, 49, 1293-1316.

當舎利之・石戸経士・中西繁隆・横井浩一 (2001) : 地熱地域における貯留層診断技術-熱水シミュレーションと組み合わせた解析方法, 物理探査, 第54巻, 433-454.

Zablocki, C. J. (1976) : Mapping thermal anomalies on an active volcano by the self-potential method, Kilauea, Hawaii, *Proc. 2nd U. N. Symp. On the Development and Use of Geothermal Resources*, 2, 1299-1309.

伽藍岳及びその周辺域における比抵抗構造調査

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・鍵山 恒 臣
井上 寛之・小豆畑 逸 郎
鈴木 淳

要 旨

我々は、伽藍岳及びその周辺域において地下比抵抗構造調査を実施した。その結果、伽藍岳北側・東側山麓で帯水層と見られる数 $\sim 10\Omega\text{m}$ 程度の低比抵抗層が地下600 $\sim 700\text{m}$ 付近に見られた。それに對し山頂南側、山頂火口地形内には、地表でも $10\Omega\text{m}$ 以下の極めて低い比抵抗値を示す領域があることが明らかになった。この低比抵抗域に對する層は、地熱地域中心部から離れるに従い急激に深くなり、火口地形の南東縁では地下400mに達していることが分かった。

1. はじめに

伽藍岳は、大分県東部、別府湾西に位置する活火山群の一部をなす火山であり、東西に伸びる別府地溝内に南北5kmにわたり連なる溶岩円頂丘群の最北端に位置する。伽藍岳山頂南側、径300mの円弧状の火口地形内には強い硫気孔活動が見られる。伽藍岳は約9500年前より若干古い時代に生成し、伽藍岳-3火山灰を噴出した（藤沢，2002）。また、西暦867年には伽藍岳で火山灰を放出する噴火が生じたとする記録があり、その噴火に對すると思われる変質物主体の火山灰分布が見出されている（星住ほか，1999，藤沢，2002）。近年でも山頂火口地形内では1995年に新たな泥火山が生成、また1999年には、山頂の東約3km、深さ5km付近を震源とする地震の増加が観測されるなど、活発な噴気活動・火山活動が続いている。伽藍岳周辺及び山頂火口の火口地形周辺では、地下の熱水分布についての情報を得ることを目的に、大羽・他（1997）による自然電位及び電気探査、橋本・他（2003）による自然電位観測、田中・宇津木（2003）による地磁気連続観測、鍵山・他（2008）によるVLF-MT調査が行われている。この結果、この地域における浅部の構造、熱水分布に関する情報が得られている。本研究では、これら従来の研究から得られている情報に、より深部の情報を追加することを目的に、この地域でAMT観測を行った。

2. AMT観測によって得られた探査曲線

我々は、2009年3月、伽藍岳北側林道に沿った4点、伽藍岳西側の1点及び山頂火口地形周辺の2点、計7点（図1）でAMT探査法による地下比抵抗調査を行った。MT（Magneto Telluric）法と呼ばれる地下探査法は、自然に生じる磁場擾乱と、それにより地中に誘導される電場の振幅から地下の電気特性を調べるもので、入力となる磁場擾乱の振幅と誘導電場の振幅の比（インピーダンス）及び両者の位相差が地下の電気抵抗（比抵抗）に關係することを利用する。特に、磁場擾乱（及びそれによる誘導電場）の周波数により探査深度が異なる（高周波ほど探査深度が浅く、長周波ほど深い）性質を利用し、一点の観測点データから地下の深さ方向の比抵抗分布を求めるものである。このうちAMT（Audio frequency Magneto Telluric）法と呼ばれるものは、使用する周波数帯が10kHz \sim 1Hz程度の比較的高周波を使用するもので、地下数km程度までの比抵抗を高い解像度で求めることが出来る。使用したデバイスは、カナダPhoenix Geophysics社製のMTU-5Aシステムで、測定機器はすべてGPSにより時刻同期を行い、一度に電場2成分と磁場3成分の時系列データを同時取得した。データ処理では、各測点の電場および磁

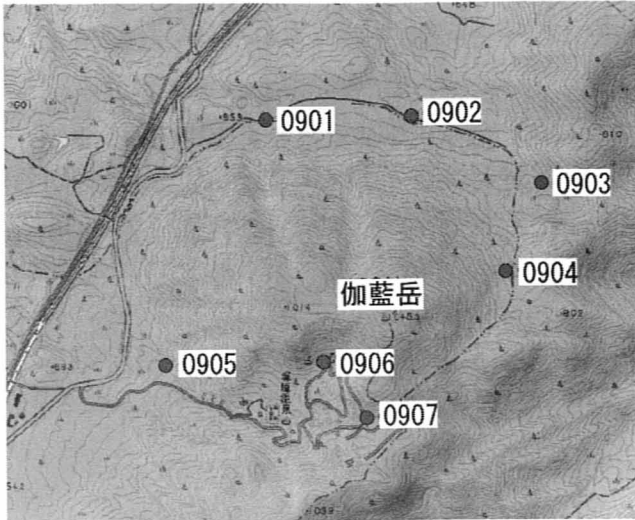


図1 観測点分布

場成分の時系列データを等間隔に多数のセグメントに分割、それぞれについて周波数解析を行い10.4k~0.35Hzの範囲の60周波数について、各成分のワースペクトルデータを求めた。また、同時刻に複数の点で観測を行い、それぞれのデータのリモトリファレンス処理を行った。この処理は、各観測点から得られた磁場データに対し、相関の高い信号のみを用いてインピーダンス、位相差を求めるものである。これにより、車が通ることによる磁場の乱れなど、観測点近傍におけるノイズの影響を除くことが出来る。こうした処理により得られた各観測点の探査曲線を図2-1、2-2に示す。各々の図の上段は見かけ比抵抗（インピーダンスの絶対値を周波数で割って得られる値：TMモード）、下段が位相差（TM、TEモード）を表す。ここで、観測点0905は塚原温泉へ続く私道沿いの原野に設置した点であるが、西側の高速道路に近いことと、塚原温泉へACを供給する電力線に近かった事などから良好なデータが得られず、8 Hz以下の周波数帯の探査曲線が求められなかったが、それ以外の点では概ね1 Hz程度までの探査曲線を求めることが出来た。

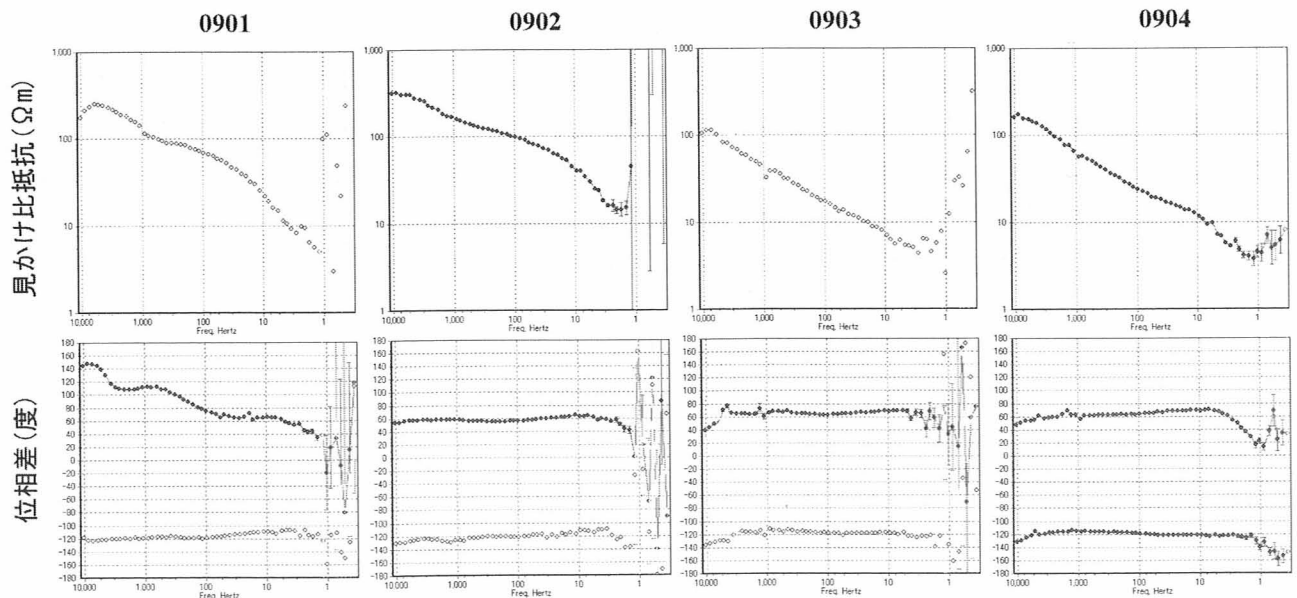


図2-1 探査曲線（サイト0901-0904）

これらのデータを元に、インダクションベクトルの分布を求めた。インダクションベクトルとは、観測から得られた磁場の鉛直成分と電場水平成分の比及び両者の位相差から計算されるもので、水平方向の比抵抗不均質が存在する場合、インダクションベクトルの方向は地下の良導層の方向を指し、ベクトルの大きさは構造のコントラストの強さを表す。本調査で得られたインダクションベクトルについて、100Hz及び10Hzの結果を図3に示す。いずれの周波数帯においても、インダクションベクトルは山頂火口地形内の中心部を指し、この地域の地下浅部～深部にかけて低比抵抗層が存在することが示唆される。

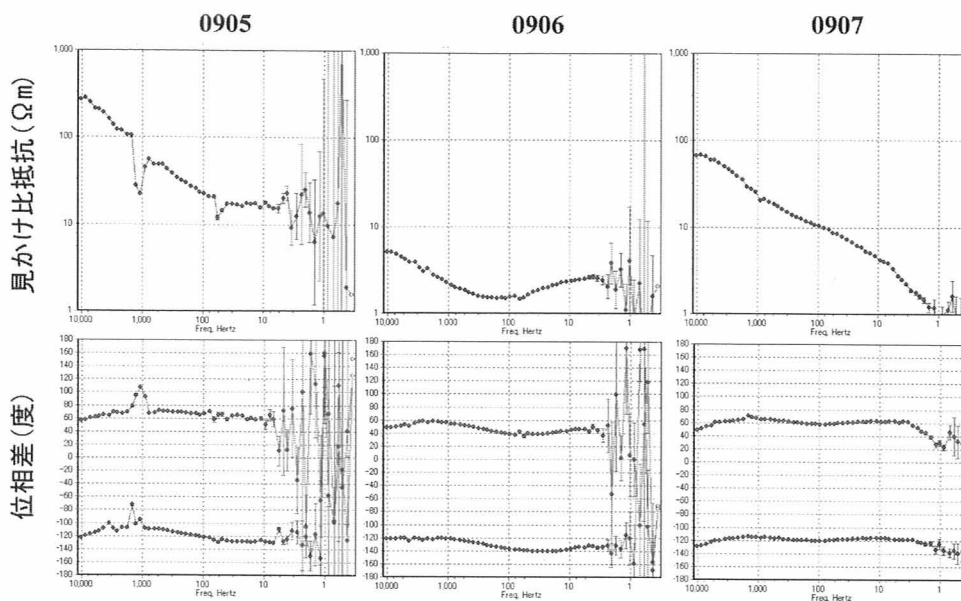


図 2 - 2 探査曲線 (サイト0905-0907)

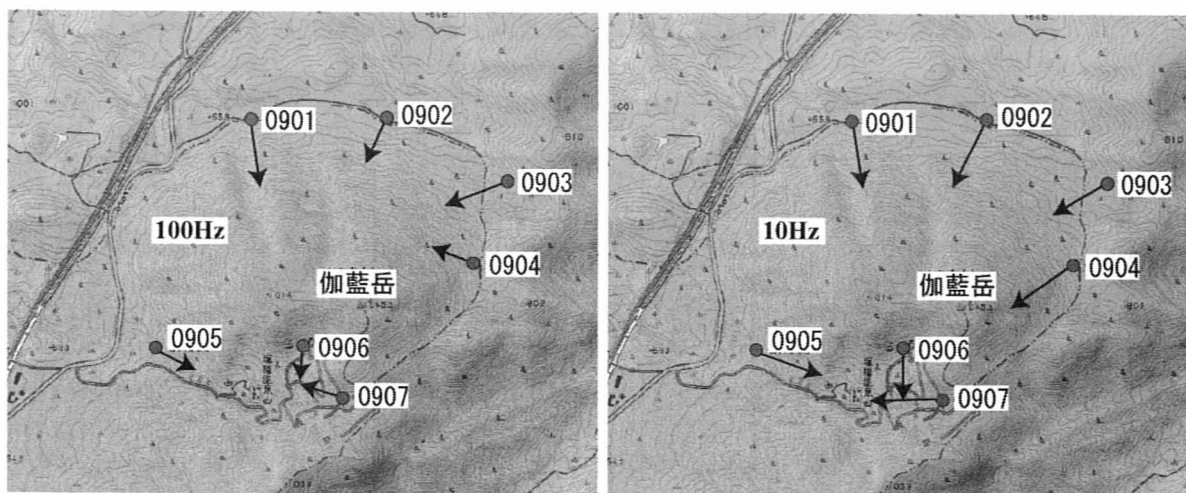


図 3 インダクションベクトルの分布 (100Hz及び10Hz)

3. 地下比抵抗構造解析の結果

得られた探査曲線から、各観測点の地下比抵抗構造を求めた。この解析にあたっては各観測点地下の比抵抗構造が水平成層であることを仮定し、各々の層の比抵抗値、上端深度及び層厚を未知変数とし最小自乗的にそれらの値を求めた。ここで地下の水平成層が何層からなるか (仮定する層の数) は任意であるので、これを求めるため赤池情報量規準 (AIC: Akaike Information Criterion、詳細は例えば下平・他 (2004) 参照) の方法による最適な層数を用いた。

得られた地下比抵抗構造を図 4-1、4-2、4-3 に示す。これらを比較すると、伽藍岳北麓-東麓林道沿いの点 (0901-0904) では傾向が似ており、表層で100~数百Ω mの比抵抗値を示し、深部になるに従い緩やかに比抵抗値が低下、地下500~700m付近で10Ω m前後の低い比抵抗値を示す。一般に、火山体の地下には帯水層を示すと思われる低比抵抗層が見られるが、これらの観測点で得られる最下層の低比抵抗層が地下の帯水層に当たるものと考えられる。長周期側の探査曲線が得られていない伽藍岳西麓の観測点0905でも、表層から地下に向かい緩やかに比抵抗値が下がる傾向は共通している。得られた比抵抗構造をみると、探査深度が帯水層まで達していないものの、少なくとも帯水層上端深度は600 m以深で、北麓、東麓と殆ど変わらないと考えられる。これに対し、山頂火口地形中心部の観測点0906

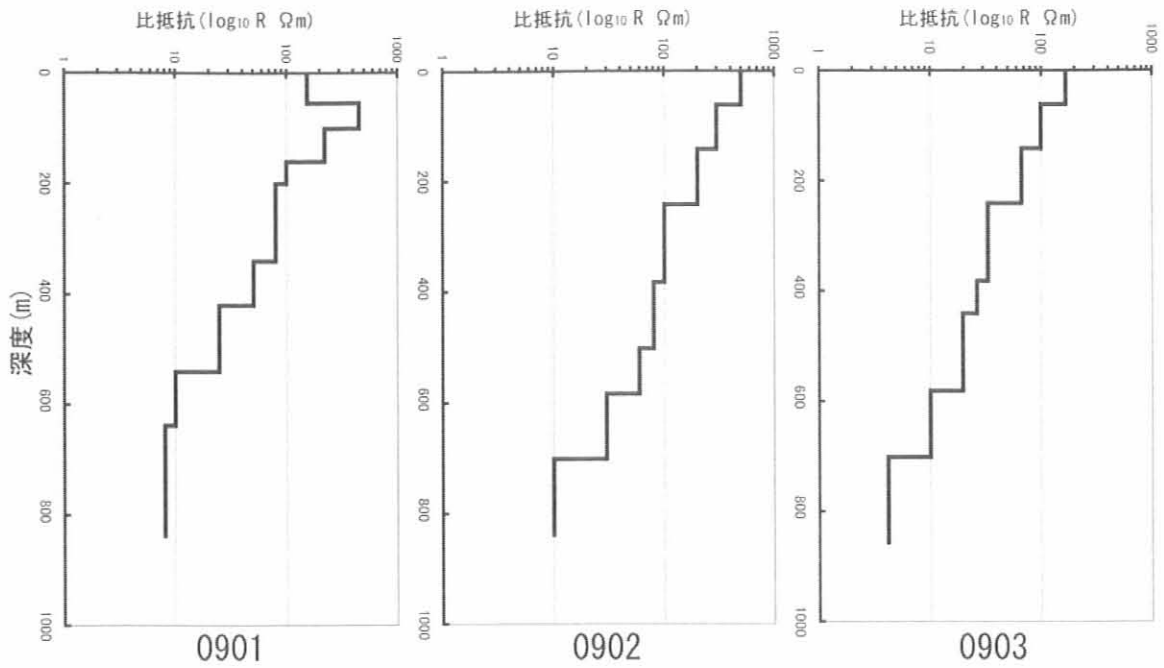


図4-1 地下比抵抗構造解析の結果 (サイト0901-0903)

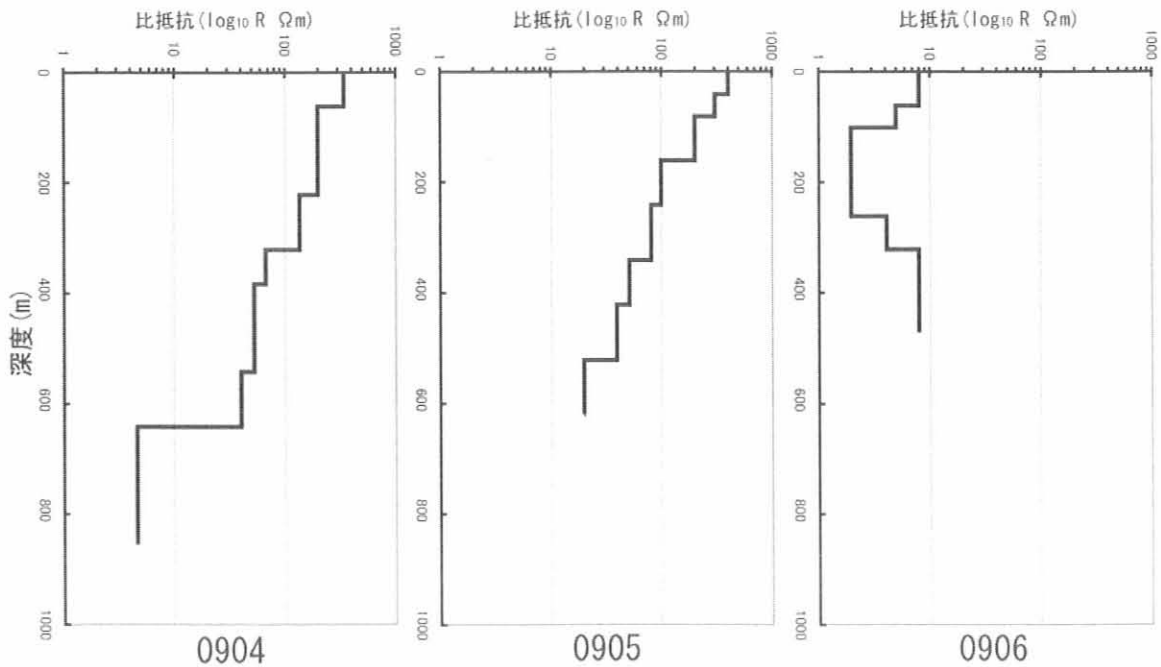


図4-2 地下比抵抗構造解析の結果 (サイト0904-0906)

では全体的に比抵抗が極めて低い。表層でも $8 \Omega m$ 程度の低比抵抗値を示し、その下位、地下100m付近には $2 \Omega m$ 程度の極めて低い比抵抗層が存在する。そのさらに下層、地下300m以深では多少比抵抗値が上昇するが、それでも $10 \Omega m$ 以下の低比抵抗値を示す。一般にMT法の場合、地下の比抵抗が低い場合探査深度は浅くなるが、観測点0906での探査深度は地下400m程度である。この結果から山頂火口地形内では、熱水が地下浅部まで達している事が伺える。実際、0906観測点のごく近傍には熱水が湧出する場所があり、伽藍岳西腹の塚原温泉の源泉として利用されている。こうした、火山ガス中の溶存成分を豊富に含んだ熱水の影響、及びその影響で地下岩石が熱水変質を受けることで、この地域で比抵抗値が低くなっていることが考えられる。

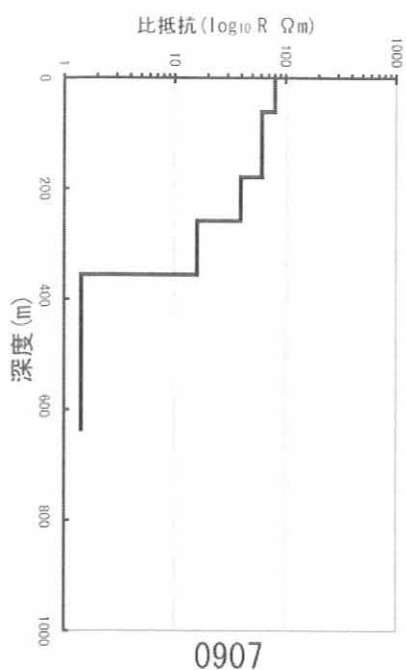


図4-3 地下比抵抗構造解析の結果(サイト0907)

0905の南東500m、山頂火口地形南東縁に当たる観測点0907では、伽藍岳北側の観測点と同様、表層から深部に向かい比抵抗値が減少する傾向が見られるが、伽藍岳北側観測点に比べ全体的に低い比抵抗値を示す。浅部比抵抗が低めの値を取る事については、山頂の火口地形及びその周辺部では、広範囲にわたり熱水変質を受けた変質層が分布していることに対応すると考えられる。また、地下の帯水層に対応すると思われる低比抵抗層は地下400m付近に見られ、0905観測点に比べ急激に深くなっている。

以上の結果から、伽藍岳地下の火山性流体の流動として図5に示すモデルが考えられる。

伽藍岳北麓、東麓では、地下500~700m(海拔100~300m)に帯水層が見られる。山頂火口地形内には、局所的な上昇流が存在し熱水が表層付近にまで達している。この事は、大羽(1997)の自然電位観測、電気探査の結果からこの地下に熱水の上昇流の存在が示唆されている事、鍵山・他(2008)による浅部比抵抗調査の結果から、山頂火口地形内に低比抵抗域が見出されている事とも調和的である。

また、この熱水上昇は、山頂の火口地形直下に局在化しており、その東側では顕著な熱水上昇は見られない。これは、観測点0907地下の低比抵抗層の深度が急激に深くなっていること、鍵山・他(2008)の結果から浅部比抵抗値が火口地形より東に行くに従い急激に増加していることによる。

鍵山・他(2008)の調査によれば、山頂火口地形内の低比抵抗域は西側の沢に沿って遠方まで伸びていることが見出されている。この事から、火口地形直下に上昇流により運ばれた熱水が西側に流下している事が推察される。但しこの事を検証できるデータは今回の観測では得られておらず、今後より詳細な調査を行う必要がある。

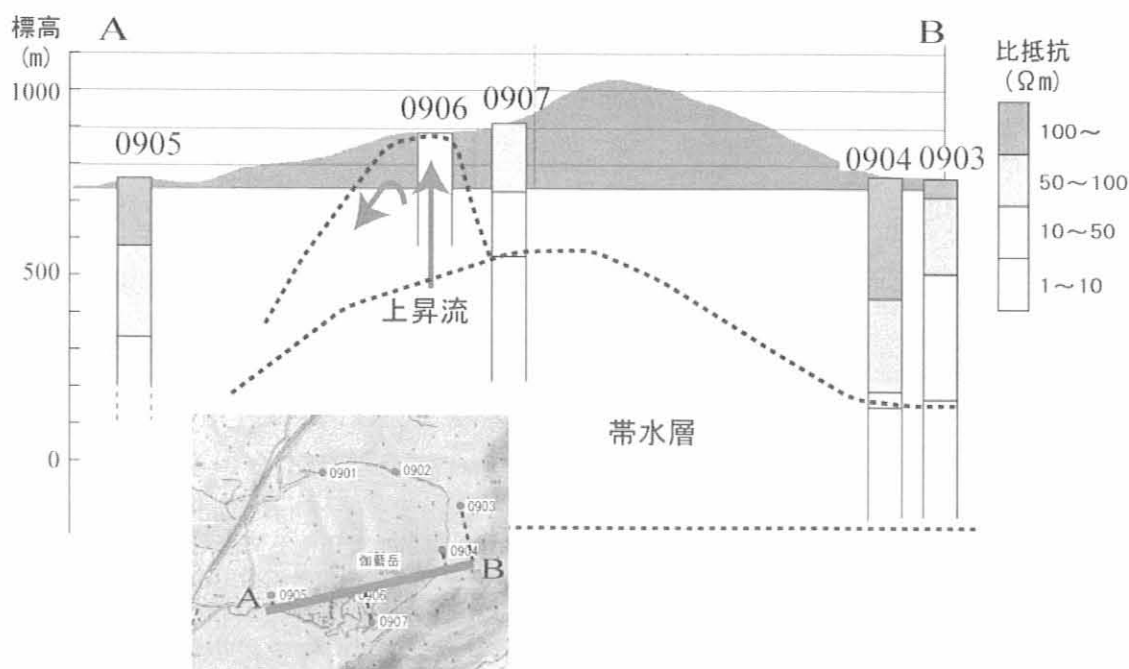


図5 伽藍岳地下の比抵抗断面と地下水分布概図

謝辞

本調査を行うに当たり、塚原温泉関係者の皆様にご協力を頂きました。この場をお借りして謝意を表します。

参考文献

- 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.
- 橋本武志・網田和宏・長谷英彰・田中良和(2003)：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，54，91-96.
- 星住英夫・伊藤順一・川辺禎久(1999)：由布-鶴見火山群北部，伽藍岳火山の水蒸気爆発堆積物，日本火山学会講演予稿集，106.
- 鍵山恒臣・宇津木充・吉川慎・寺田暁彦(2008)：伽藍岳・塚原の地熱活動の周辺域への広がりに関する調査，大分県温泉調査研究会報告，59，35-39.
- 大羽成征・田中良和・由佐悠紀(1997)：伽藍岳の地熱調査(3)-自然電位測定による熱水流動系解析の試み-，大分県温泉調査研究会報告，48，13-20.
- 下平英寿・伊藤秀一・久保川達也・竹内啓(2004)：モデル選択，統計科学のフロンティア3，岩波書店.
- 田中良和・宇津木充(2003)：地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究(3)，大分県温泉調査研究会報告，54，85-89.

大分県に産する第四紀マグマの起源

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

要 旨

大分県には第四紀マグマの活動で形成された火山が、姫島、両子山、由布・鶴見、及び九重連山に分布している。これまで行ってきた一連の地球化学的研究から、大分県に産する第四紀マグマは、当地域下に沈み込むフィリピン海プレートがその起源に関与する沈み込み帯のマグマであることが明らかになった。また、フィリピン海プレート由来物質はプレートの部分溶融を起源とし、それとプレート上部に位置するマンタルウェッジとの反応も観察された。プレートの部分融解を示唆する高いSr/Y比は、北から南に向けた島弧縦断方向で減少する傾向を示す。

1. はじめに

大分県直下に沈み込むフィリピン海プレートの沈み込み角度は、他の沈み込み帯に比べ著しく急である。沈み込み帯では、火山直下にプレートの沈み込みによる深発地震が観察されるのが一般的である。しかし、大分県の第四紀火山直下には、深発地震がほとんど観察されない。多くの沈み込み帯のマグマは、沈み込むプレートが脱水反応を起こし流体層をマンタルウェッジに付加することをきっかけに発生すると考えられている (e. g. Shibata and Nakamura, 1997)。しかし、プレートの部分融解がマグマの起源であるときは、深発地震が起きない可能性が指摘されている (Morris, 1995)。したがって、大分県の第四紀マグマの成因も、沈み込むフィリピン海プレートの部分融解に関連している可能性がある。このことを明らかにするため、2005年度から姫島、両子山、由布・鶴見、及び九重連山の地球化学的研究を行ってきた。

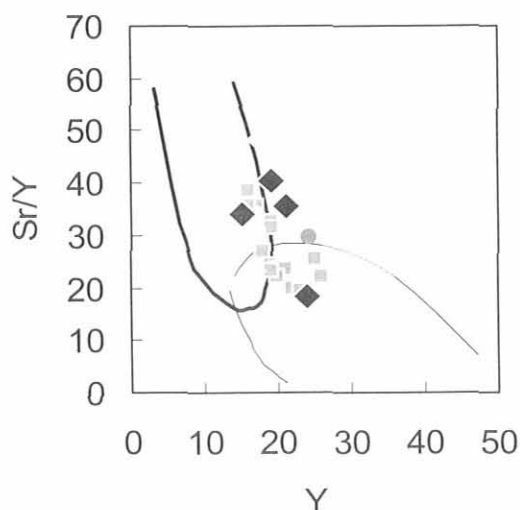


図1. Y vs. Sr/Y比変化図。黒ダイヤモンドが九重連山 (Kita et al.(2001)、灰色ダイヤモンドは姫島(伊藤, 1990)、灰色円は両子山灰色四角は由布・鶴見。太実線の領域はアダカイト、細い実線の領域は一般的沈み込み帯マグマの示す領域(Defant and Drummond, 1990)。

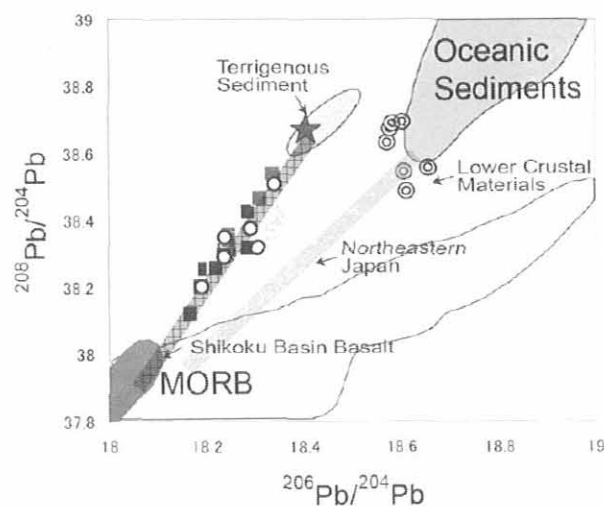


図2. 鉛同位体組成

2. 結果と考察

大分県に産する第四紀マグマの地球化学的データのうち、沈み込むフィリピン海プレートが部分溶融の可能性を最も良く示す、Sr/Y比とY濃度の関係を図1に示した。Defane and Drummond (1990) によれば、Sr/Y比が高くY濃度が低いのは、沈み込むプレートの部分溶融をマグマの起源とし、そうでないものはプレートの脱水がマグマ発生を引き起こしていると考えられている。大分県に産する全ての第四紀火山から、これら両者の領域にプロットされるデータが得られた。また、プレートの部分溶融を示す高いSr/Y比は最北部の姫島で最も著しい。このことから、大分県の第四紀マグマの起源には、フィリピン海プレートの部分溶融が関与していて、その程度は北部で大きいことが示唆され、Sr/Y比よY濃度から考えられるマグマの成因を指示する。

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.
- Kita, Yamamoto, Asakawa, Nakagawa, Taguchi and Hasegawa (2001) Contemporaneous ascent of within-plate type and island-arc type magmas in the Beppu-Shimabara graben system, Kyushu island, Japan; *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **111**, 99-109
- 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.
- Sugimoto, Shibata, Yoshikawa and Takemura (2006) Sr - Nd - Pb isotopic and major and trace element compositions of the Yufu-Tsurumi volcanic rocks: implications for the magma genesis of the Yufu-Tsurumi volcanoes, northeast Kyushu, Japan, *J. Min. Petrol. Sci.*, **101**, 270-275.

2本のボーリングコア試料から推定した朝見川断層の活動性

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

朝見川断層の活動性評価を目的として別府扇状地の南東縁に広がる海岸平野において二本のボーリングコア試料を採取して解析をおこなった。その結果、別府市浜脇地区の地下-20mには上部から順に盛土・河川層・浅海成層・河川層・乙原溶岩おとぼるで構成されることが判明した。両コアで得られた堆積相と堆積年代を比較して、完新世における朝見川断層の上下方向の活動性を推定した。

1. はじめに

大分県別府市浜脇地区には北東落ちの正断層である朝見川断層（千田，1995）の活動によって変形・変位を受けた地層が分布している。地表の断層崖から約30m海側の地点でHBPコアを、そこから約100m海側でBHMコアを掘削して、両コアの堆積相とAMS炭素14年代値を検討した（図1）（中西ほか，2006-2008）。今回の報告では、HBPコアの土色を基にして堆積相の解釈を一部変更した上で、BHMコアと対比する。そして、両コアの堆積環境と堆積年代を対比して朝見川断層の完新世における活動性について推定する。最後に今後の研究課題について記載する。



図1 朝見川断層とボーリング調査地点の位置。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）を参考にした。

2. 別府市浜脇地区の地下地質

HBPコアとBHMコアの解析結果（中西ほか，2006-2008）によると、浜脇地区の地質は上位から人工盛土・沖積層・乙原溶岩流堆積物からなり、沖積層は上位から河川層・浅海成層・河川層で構成される。それらの堆積層と堆積年代の概略を記載する。なお、年代値はAD1950年から何年前かを示す暦年較正值（cal yr BP）を用いる。

人工盛土（HBPコア；標高3.87～2.28m；BHMコア；標高2.30～0.80m）

礫質支持層と基質支持層からなる砂礫層で、陶器片やレンガ片、コンクリート片を含むので、人工盛土であると考えられる。HBPコアの標高2.32mの木炭からは 390 ± 90 cal yr BPの年代値が得られた。

河川堆積物（HBPコア；標高2.28～-2.04m；BHMコア；標高0.80～-6.20m）

HBPコアは主に礫質優勢の砂礫層からなるのに対して、BHMコアは砂泥互層によって構成される。前者は礫径が22～2 cmの亜角礫を主体とするので礫質網状河川堆積物であると解釈した。一方、BHMコアの砂泥互層には増田・伊勢屋（1985）が自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物の示相堆積構造とした逆級化する砂層が認められるので蛇行河川流路～氾濫原堆積物であると考えられる。なお、中西ほか（2007）でBHMコアの同層の一部を人工盛土であると解釈したが、盛土層が海水面下にあるのは不自然なので解釈を改める。BHMコアの標高-2.90～-4.32mにおいて $580 \pm 65 \sim 1730 \pm 125$ cal yr BPの年代値が得られた。

浅海成堆積物（HBPコア；標高-2.04～-8.02m；BHMコア；標高-6.20～-13.13m）

砂質シルト～細礫層の互層から構成される。両コアで硫化物の析出が認められ、BHMコアではリズムカルなラミナやマッドレイプ、巣穴、二方向流を示すカレントリップル葉理がみられるので、浅海成堆積物であると考えられる。なお、中西ほか（2006）では同層を網状河川流路～後背湿地堆積物であると解釈したが、同コアの標高-2 m付近で硫化物の析出を確認したので、上記のように解釈を改める。HBPコアの標高-5 m付近とBHMコアの標高-10 m付近には大礫～中礫からなる厚さ1 m程度の砂礫層が認められる。BHMコアの標高-7.65mにおいて 2790 ± 55 cal yr BPの年代値が得られた。

河川堆積物（HBPコア；標高-8.02～-16.13m；BHMコア；標高-13.13～-20.00m）

有機質シルト層と粒径バラツキが多い砂礫層との互層からなる。シルト層には根や葉などの植物片や藍鉄鉱が多く含まれており、粗粒な部分においては逆級化構造が認められるので、氾濫原～礫質な河川の流路堆積物であると考えられる。なお、同層においても硫化物の析出が認められたが、堆積当時の化学組成とは異なる間隙水が寄与したものと判断した。HBPコアでは標高-8.5m付近に鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah；町田・新井，2003）の降灰層準が観察されたが、BHMコアでは20m掘削しても観察されなかった。両コアからは $5130 \pm 160 \sim 8480 \pm 95$ cal yr BPの年代値が得られ、それらは鬼界アカホヤ火山灰の噴出年代である7300 cal yr BPと調和的な値であった。なお、HBPコアの標高-14m付近には3条の断層がみられる。この層準の堆積年代は8000～8500 cal yr BPであるので、それ以降に朝見川断層が活動したと考えられる。

乙原溶岩流堆積物（HBPコア；標高-16.13～-20.00m）

黄褐色～白褐色の泥質火山砂からなる基質と最大礫径8 cmの安山岩とデイサイトの亜角礫からなる。こうした特徴は中部更新統の乙原溶岩流堆積物で認められる（星住ほか，1988）。BHMコアでは認められない。

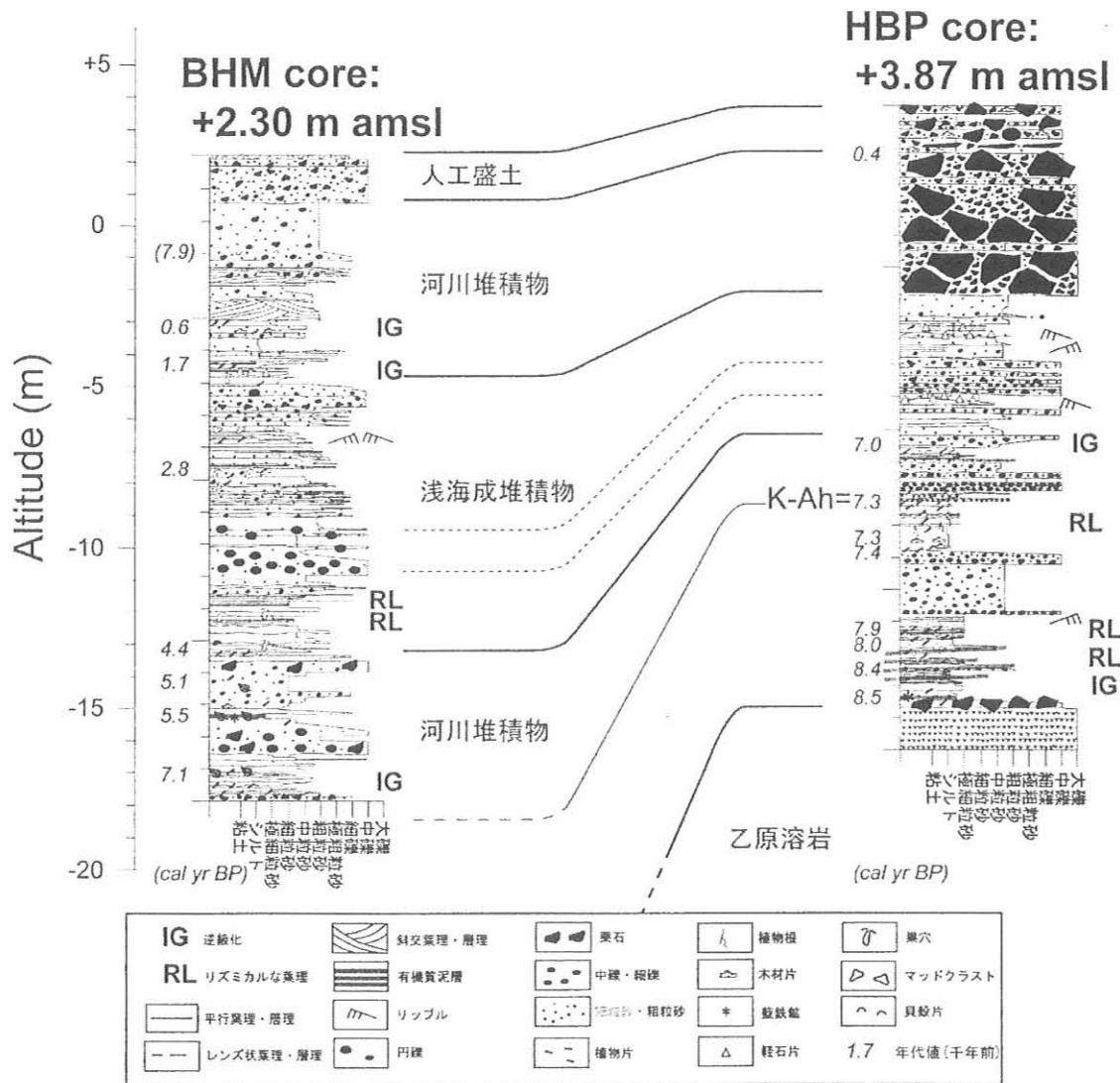


図2 HBPコアとBHMコアの堆積相と堆積年代に基づく対比。

3. 朝見川断層の活動性

HBPコアとBHMコアを対比すると、K-Ahで約9 m以上、浅海成堆積物の基底面で約5 m、人工盛土の基底面で約1.5mの上下方向のズレが認められる(図2)。このように下位ほど地層のズレ量が大きくなる特徴は、朝見川断層の活動の累積性を示唆していると考えられる。一方、河川堆積物に挟まれているK-Ahの上下変位量が示す断層の平均変位速度は、1.4mm/yr程度に相当すると推定されるが、図3に示したように両コアが得られたのは断層の沈降側であるので、断層の隆起側の変動量を加味すると断層全体の値はもっと大きい可能性が高い。

BHMコアの標高-17~-13mと標高-4~-3 mの平均堆積速度は、0.15cm/yr程度と他の層準と比較して非常に小さい。断層の沈降側において堆積速度が小さいことは、断層活動による沈降が無かったことを反映している可能性がある。これらの層準の堆積年代は7100~4400cal yr BPと1700~600cal yr BP頃に相当し、これら以外の時期に断層活動を反映した急激な堆積作用があったと推定される。また、後者の層準には氾濫原洪水堆積物の指標となる逆級化構造がみられている。こうした氾濫原堆積物が標高-4~-3 mにあることは、地盤沈下が軽微であったと仮定すると、600cal yr BP頃以降の朝見川断層による沈降を示している可能性がある。したがって、地域の地下水揚水や地盤沈下の記録や、古地図など

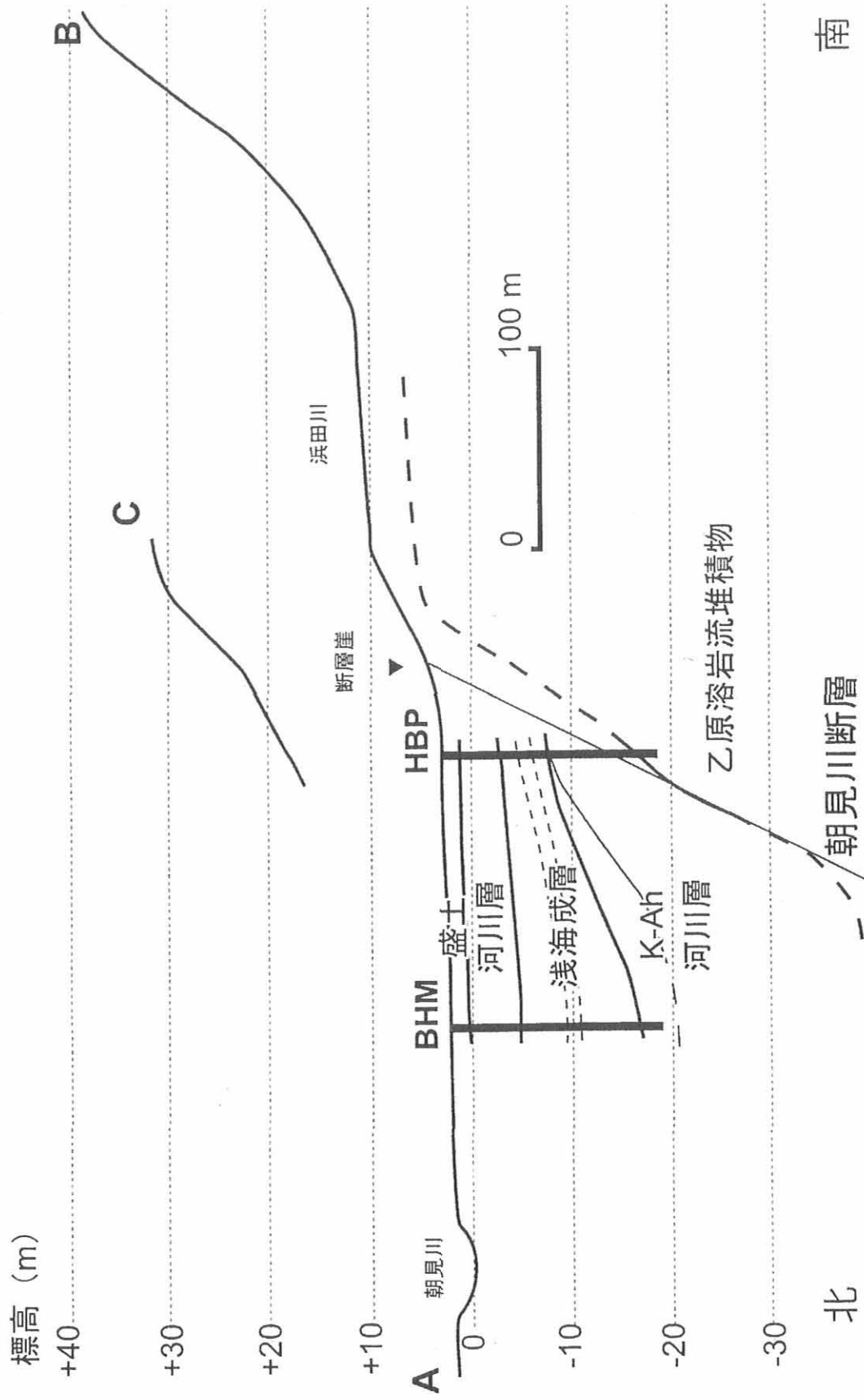


図3 別府市浜脇地区付近の南北方向の地質・地形断面図。断面測線を図1に示す。

を検討する必要がある。

浜脇地区の沖積層を構成している砂礫質な堆積物は、流速が大きな環境で堆積しているため、密度が小さな植物片が混入しにくい。また、同地区の浅海性堆積物からは貝化石がほとんど産出しない。こうした炭素14年代測定用試料が少ない堆積物からは、正確な堆積年代を推定しにくい。断層の活動履歴を詳しく検討するためには、堆積相と堆積年代の詳細な検討が必要であるため、今後の研究において朝見川断層の完新世の活動履歴を詳細に議論するためには、もっと内陸側においてボーリングコアを得て検討する必要がある。

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.
- 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, 336pp.
- 増田富士雄・伊勢屋ふじこ(1985)：“逆グレーティング構造”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.
- 中西利典・竹村恵二・松山尚典(2006)：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-, 大分県温泉調査研究会報告, 57, 1-5.
- 中西利典・竹村恵二・齋藤武士・松山尚典・柴田康行(2007)：大分県別府浜脇地区の沖積層ボーリングコア解析, 大分県温泉調査研究会報告, 58, 11-19.
- 中西利典・竹村恵二・齋藤武士・松山尚典・柴田康行(2008)：朝見川断層付近のボーリングコアの堆積環境と堆積年代の対比, 大分県温泉調査研究会報告, 59, 3-11
- 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。

人物による温泉発見・開湯伝説からみた 泉質と効能に関する研究

立正大学
河野 忠

要 旨

人物に関わる開湯伝説を持つ温泉が、日本各地にどれほどあるか調べたところ、203湯あることが判明した。そのうち、弘法大師(66)、行基(22)、坂上田村麻呂(10)、慈覚大師(8)、武田信玄(7)、上杉謙信(5)、役行者(5)、源頼朝(5)、日本武尊(5)、源義家(4)、泰澄大師(4)、円智上人(2)、空也上人(2)、神功皇后(2)、坂田金時(2)、佐久間象山(2)、用明天皇(2)らが複数の開湯伝説に登場し、他にも多数の歴史上の人物が登場することがわかった。開湯伝説と泉質の間に明確な因果関係は認められなかったものの、ある程度、理由を説明できる例が存在することを示すことができた。

1. はじめに

大分には温泉がたくさんあり、その泉源数は日本一といわれている。そのうちボーリングによって新たに見出した温泉も多いが、自然に湧出している天然温泉も数多く知られている。そこには、動物が発見した温泉や、歴史上の人物にまつわる温泉も存在している。日本各地にも様々な発見伝説に由来する温泉が存在する。

河野(2002)は弘法大師伝説のある温泉水を悉皆調査したが、これまでの研究の中で、怪我や傷に効能のある温泉は動物が発見した伝説が多く、眼病や皮膚病は弘法大師などの歴史上の人物である場合が多いことに気付いた。そこで、開湯伝説と泉質、効能には関係が認められると仮定し、手始めに開湯伝説の収集作業を行ったところ、288の温泉に開湯伝説が存在することを見出すことができた(河野、2007)。また、動物と泉質との間にいくつかの因果関係が認められることを述べた。

これらの開湯伝説に登場するのは、人物、動物、神仏などである。そこで、今年度は人物による開湯伝説のある温泉に焦点を当て、人物と開湯伝説、および泉質との間に何らかの因果関係を見出すことができるかどうか検討した。

2. 調査方法

様々な伝説本や市町村誌、民俗関係書、HPなどから、人物に関わる温泉開湯伝説を渉猟し、まとめたものを表1に示す。これまでの調査で、203ヶ所の開湯伝説を見出すことができた。複数以上の開湯伝説を持つ人物は、17人を特定することができた。泉質は新旧温泉法に基づく複雑な分類があるが、主に現在公表されている泉質をそのまま表記してある。

複数以上の伝説を有する人物に関して、泉質ごとに集計したものを表2に示す。なお、表1の泉質はあまりにも複雑なので、温泉揭示用泉質名で集計し直している。また、一つの温泉に対して複数の人物が関与している例があるので、その場合は、それぞれ重複してカウントしている。

3. 温泉発見・開湯伝説の分類

黒川(1997)は、発見伝説を「鳥獣」、「高僧・修験者」、「神仏のお告げや示現」の3種類に分類して、それぞれいくつかの温泉を例示している。温泉の持つ性質を暗示するような考察をしているものの、発見伝説と泉質とを結びつける考察までには至っていない。

表1 開湯伝説のある温泉と泉質および人物

	温泉名	県	所在地	泉質	人物
1	薬師湯	2	青森県上北郡七戸町宇曾利山	硫黄泉	弘法大師
2	新湯	2	青森県上北郡七戸町宇曾利山	硫黄泉	弘法大師
3	冷湯	2	青森県上北郡七戸町宇曾利山	硫黄泉	弘法大師
4	湯段温泉	2	青森県中津軽郡岩木町湯段	塩化物泉	弘法大師
5	浅虫温泉	2	青森県青森市浅虫	ナトリウム・カルシウム硫酸塩塩化物温泉	慈覚大師
6	酸ヶ湯温泉	2	青森県青森市荒川南	酸性硫黄泉	横内村の狩人
7	大鱒温泉	2	青森県南津軽郡大鱒町	ナトリウム・カルシウム・硫酸塩泉	円智上人
8	薬研温泉	2	青森県下北郡大畑町薬研	単純泉	慈覚大師・豊臣落武者
9	弘法水	3	岩手県九戸郡		弘法大師
10	台温泉	3	岩手県花巻市	単純硫黄泉, 含硫黄ナトリウム硫酸塩硫化物泉	坂上田村麻呂, 湯本の獵師
11	大沢温泉	3	岩手県花巻市	アルカリ性単純泉	坂上田村麻呂
12	志戸平温泉	3	岩手県花巻市	含食塩芒硝泉, ナトリウム硫酸塩塩化物温泉	坂上田村麻呂
13	夏油温泉	3	岩手県北上市和賀町	ナトリウム・カルシウム塩化物泉, 硫黄泉	慈覚大師
14	藤七温泉	3	岩手県八幡平市	単純硫黄泉	坂上田村麻呂, 木こりの藤七
15	繫温泉	3	岩手県盛岡市繫字湯の館	硫黄泉	源義家
16	湯の原温泉	4	宮城県宮城郡松島町松島	低張生中性冷鉱泉	弘法大師・慈覚大師
17	作並温泉	4	宮城県仙台市青葉区作並	単純泉, 硫酸塩泉, 含食塩芒硝泉	行基・源頼朝
18	小原温泉	4	宮城県白石市小原字湯元	単純泉	常陸坊海尊
19	男鹿温泉	5	秋田県男鹿市北浦湯本	塩化物泉, 二酸化炭素泉	坂上田村麻呂
20	鷹の湯温泉	5	秋田県雄勝郡雄勝町秋の宮	塩化物泉	行基
21	赤湯温泉	6	山形県南陽市赤湯	硫黄泉, ナトリウム・カルシウム塩化物温泉	弘法大師・源義家
22	吾妻温泉	6	山形県米沢市大平温泉	含硫黄泉, アルミニウム・カルシウム硫酸塩泉	弘法大師
23	温海温泉	6	山形県西田川郡温海町	ナトリウム・カルシウム硫酸塩塩化物泉	弘法大師・役行者
24	蔵王高湯温泉	6	山形県山形市蔵王高湯温泉	強酸性硫黄泉	吉備多賀由
25	瀬見温泉	6	山形県最上郡最上町	ナトリウム・カルシウム塩化物泉	弁慶
26	赤倉温泉	6	山形県最上郡最上町	ナトリウム・カルシウム硫酸塩泉	慈覚大師
27	肘折温泉	6	山形県最上郡大蔵村	塩化物泉, 炭酸泉	僧侶
28	飯豊温泉	6	山形県西置賜郡小国町	ナトリウム・カルシウム塩化物炭酸泉, 放射能泉	マタギ
29	上山温泉	6	山形県上市市	ナトリウム・カルシウム硫酸塩泉	月秀
30	小野川温泉	6	山形県米沢市小野川町	硫黄泉	小野小町
31	さわの湯鉱泉	7	福島県いわき市平字高月	アルカリ性単純泉	弘法大師
32	熱塩温泉	7	福島県耶麻郡熱塩加納村	塩化物泉	弘法大師
33	熱塩温泉	7	福島県耶麻郡熱塩加納村熱塩	塩化物泉	源翁和尚
34	大塩温泉	7	福島県大沼郡金山町	含二酸化炭素/ナトリウム塩化物・炭酸水素塩泉	弘法大師
35	東山温泉	7	福島県会津若松市東山町	硫酸塩泉	行基
36	湯本温泉	7	福島県いわき市常磐湯本町	硫黄泉	日本武尊
37	飯坂温泉	7	福島県福島市飯坂温泉	単純泉, 硫酸塩泉	日本武尊
38	芦ノ牧温泉	7	福島県会津若松市	塩化物泉・単純泉	行基・弘法大師
39	土湯温泉	7	福島県福島市土湯温泉町	単純泉・硫黄泉・単純炭酸泉・重曹泉	聖徳太子・秦野川勝
40	母畑温泉	7	福島県石川郡石川町	アルカリ性単純泉, ラジウム含有泉	源義家

	温泉名	県	所在地	泉質	人物
41	岳温泉	7	福島県二本松市	単純酸性泉	坂上田村麻呂
42	磐梯熱海温泉	7	福島県郡山市熱海町	アルカリ性単純泉	菽姫
43	経文石の鉱泉	8	茨城県東茨城郡御前山村伊勢畑		弘法大師
44	弘法大師温泉	8	茨城県日立市留町	炭酸水素塩泉	弘法大師
45	空海踏止の水	8	茨城県笠間市大淵金澤	カルシウム・ナトリウム塩化物泉	弘法大師
46	湯宮	9	栃木県黒磯市湯宮温泉神社		弘法大師
47	塩原温泉	9	栃木県那須郡塩原町	含硫黄アルミニウム硫酸塩泉, 塩化物泉, 硫黄泉	弘法大師
48	湯本温泉	9	栃木県那須郡那須町	硫黄泉	円智上人
49	日光湯元温泉	9	栃木県日光市湯元	硫黄泉	勝道上人
50	湯西川温泉	9	栃木県日光市湯西川	アルカリ性単純温泉	平家の落人
51	消えた温泉	10	群馬県勢多郡富士見村原之郷		弘法大師
52	薬師の湯	10	群馬県勢多郡富士見村原之郷		弘法大師
53	川場温泉	10	群馬県利根郡川場村湯原	単純温泉	弘法大師
54	法師温泉	10	群馬県利根郡新治村	石膏性苦味泉	弘法大師
55	湯宿温泉	10	群馬県利根郡新治村湯宿	含石膏芒硝泉	弘法大師
56	沢渡温泉	10	群馬県吾妻郡中之条町	カルシウム・ナトリウム硫酸塩塩化物泉	源頼朝
57	四万温泉	10	群馬県吾妻郡中之条町	ナトリウムカルシウム塩化物硫酸塩泉	坂上田村麻呂・碓氷貞光
58	鹿沢温泉	10	群馬県吾妻郡嬬恋村	単純泉, 炭酸泉	清和天皇の第四王子
59	草津温泉	10	群馬県吾妻郡草津町	含硫黄アルミニウム硫酸塩塩化物温泉	日本武尊・行基・源頼朝
60	川端温泉	10	群馬県		弘法大師
61	宝川温泉	10	群馬県利根郡みなかみ町藤原	弱アルカリ性単純泉	日本武尊
62	やぶ塚温泉	10	群馬県太田市	含炭酸重曹泉	新田義貞・行基
63	花敷温泉	10	群馬県吾妻郡六合村入山	塩化物泉	源頼朝
64	川原湯温泉	10	群馬県吾妻郡長野原町川原湯	含食塩石膏硫化水素泉	源頼朝
65	猿ヶ京温泉	10	群馬県利根郡みなかみ町	ナトリウム・カルシウム硫酸塩泉塩化物泉	上杉謙信
66	赤城温泉	10	群馬県前橋市苗ヶ島町	カルシウム・マグネシウム・ナトリウム炭酸水素塩泉	国定忠治
67	梨木温泉	10	群馬県桐生市	含食塩炭酸泉	坂上田村麻呂
68	姥子温泉	14	神奈川県足柄下郡箱根町強羅	単純温泉, カルシウムナトリウム硫酸塩泉	坂田金時
69	湯河原温泉	14	神奈川県足柄下郡湯河原町	単純泉, 弱食塩泉, 石膏泉	行基
70	箱根湯本	14	神奈川県足柄下郡箱根町	弱アルカリ性単純泉	浄定坊
71	塔ノ沢温泉	14	神奈川県足柄下郡箱根町	アルカリ性単純泉	神誓上人
72	堂ヶ島温泉	14	神奈川県賀茂郡西伊豆町仁科	硫酸塩泉	夢想国師
73	弘法の授け湯	15	新潟県中魚沼郡中里村田沢	硫黄泉	弘法大師
74	金剛霊泉	15	新潟県南魚沼郡大和町大		弘法大師
75	燕温泉	15	新潟県中頸城郡妙高村関山	含土類石膏泉	弘法大師
76	関温泉	15	新潟県妙高市関温泉	ナトリウム塩化物炭酸水素塩泉	弘法大師
77	五頭温泉	15	新潟県阿賀野市村杉温泉	単純放射能泉	弘法大師
78	出湯温泉	15	新潟県北蒲原郡笹神村	単純温泉	弘法大師
79	清津峡温泉	15	新潟県十日町市清津峡	硫黄泉	弘法大師
80	弥彦温泉	15	新潟県西蒲原郡弥彦村	アルカリ性単純泉	源義家
81	蓮華温泉	15	新潟県糸魚川市本町	単純酸性泉	上杉謙信

	温泉名	県	所在地	泉質	人物
82	貝掛温泉	15	新潟県南魚沼郡湯沢町三俣	ナトリウム・カルシウム塩化物泉	上杉謙信・白雲禪師
83	観音寺温泉	15	新潟県西蒲原郡弥彦村観音寺	含イオウ・ナトリウム塩化物冷鉱泉	源頼義
84	緒立温泉	15	新潟県新潟市黒鳥	含重曹食塩水	皮膚病の娘
85	湯捨曾温泉	15	新潟県利根郡水上町湯捨曾	単純泉	阿部孫八郎貞次
86	瀬戸口温泉	15	新潟県十日町市西田尻辛	ナトリウム塩化物泉	弘法大師
87	伊豆宮の湯	16	富山県富山市栗山		弘法大師
88	大牧温泉	16	富山県南砺市利賀村大牧	ナトリウム・カルシウム塩化物硫化塩泉	平家落人・木曾義仲
89	生地温泉	16	富山県黒部市生地	含硫酸若土食塩泉	上杉謙信
90	ねふた温泉	17	石川県輪島市大野町	単純泉	弘法大師
91	山代温泉	17	石川県加賀市	ナトリウム・カルシウム硫酸塩化物泉	行基
92	山中温泉	17	石川県加賀市	カルシウム・ナトリウム硫酸塩泉	行基
93	深谷温泉	17	石川県金沢市深谷町	炭酸泉	行基
94	粟津温泉	17	石川県小松市	硫酸塩泉	泰澄大師
95	中宮温泉	17	石川県石川郡吉野谷村	含重曹弱食塩泉	泰澄大師
96	片山津温泉	17	石川県加賀市	ナトリウム・カルシウム塩化物泉	泰澄大師・前田利明
97	湯涌温泉	17	石川県金沢市湯涌町	石膏含有弱食塩泉	泰澄大師
98	弘法の湯	19	山梨県甲府市湯村温泉	ナトリウム塩化物泉	弘法大師
99	吉池温泉	19	山梨県富士吉田市		弘法大師
100	鬼の湯	19	山梨県甲府市湯村町湯村温泉	塩化物泉・硫酸塩泉・単純泉	鬼、武田信玄
101	西山の湯	19	山梨県南巨摩郡早川町奈良田		孝謙天皇
102	湯村温泉	19	山梨県甲府市湯村	ナトリウム・カルシウム塩化物硫酸塩泉	弘法大師・武田信玄
103	下部温泉	19	山梨県南巨摩郡身延町下部	単純泉	日蓮上人
104	増富温泉	19	山梨県北杜市須玉町比志	放射能泉	武田信玄
105	川浦温泉	19	山梨県山梨市三富川浦	アルカリ性単純泉	武田信玄
106	塩山温泉	19	山梨県塩山市上於曾	アルカリ泉	向嶽寺の僧侶
107	海の口温泉	20	長野県南佐久郡南牧村	含重曹アルカリ性単純泉	弘法大師
108	鉱泉	20	長野県小諸市水		弘法大師
109	野沢温泉	20	長野県下高井郡野沢温泉村	硫黄泉	行基
110	別所温泉	20	長野県上田市別所温泉	硫黄泉	日本武尊・慈覚大師・真田幸村
111	葛温泉	20	長野県北安曇郡八坂村南鷹狩山	単純硫黄泉	葛を採りに行った人
112	皇泉	20	長野県飯田市川路初澤の湯		ある人物
113	渋温泉	20	長野県下高井郡山ノ内町	単純泉・塩化物泉	行基
114	鹿塩温泉	20	長野県下伊那郡大鹿村	含硫黄ナトリウム塩化物冷鉱泉	弘法大師
115	熊ノ湯温泉	20	長野県下高井郡山ノ内町	硫黄泉	佐久間象山
116	硯川温泉	20	長野県下高井郡山ノ内町	硫黄泉	佐久間象山
117	五色温泉	20	長野県上高井郡高山村	硫黄泉	役行者
118	中坊温泉	20	長野県南安曇郡穂高町	アルカリ性低張性高温泉	坂上田村麻呂
119	田沢温泉	20	長野県小県郡青木村田沢温泉	硫黄泉	坂田金時
120	蓼科温泉	20	長野県茅野市蓼科温泉	単純泉	武田信玄・坂上田村麻呂
121	大塩温泉	20	長野県小県郡丸子町	硫酸塩泉	武田信玄
122	仙仁温泉	20	長野県須坂市仁礼	硫黄泉, 単純泉	上杉謙信

	温泉名	県	所在地	泉質	人物
123	山田温泉	20	長野県上高井郡高山村	含硫黄ナトリウムカルシウム塩化物泉	福島正則
124	千古温泉	20	長野県上田市真田町長	単純硫黄冷鉱泉	霧隠才蔵
125	中ノ湯温泉	20	長野県南安曇郡安曇村上高地	鉄泉	塚原卜伝
126	湯田中温泉	20	長野県下高井郡山ノ内町	塩化物泉・硫黄泉	行基・智由
127	角間温泉	20	長野県上田市真田町長	ナトリウム・塩化物硫酸泉	蓮如
128	塩壺温泉	20	長野県軽井沢町中軽井沢塩壺	弱アルカリ炭酸泉	源頼朝
129	霊泉寺温泉	20	長野県小県郡丸子町	石膏性苦味泉	平朝臣維茂
130	中房温泉	20	長野県安曇野市	単純硫黄泉	坂上田村麻呂
131	平湯温泉	21	岐阜県高山市奥飛騨温泉郷	炭酸泉, 塩化物泉	武田信玄
132	独鈷の湯	22	静岡県高田郡修善寺町	含芒硝食塩泉	弘法大師
133	伊豆山温泉	22	静岡県熱海市伊豆山	塩化物泉	弘法大師・役行者
134	土肥の湯	22	静岡県田方郡戸田村	カルシウム・ナトリウム硫酸塩塩化物泉	隣仙大和尚
135	木立温泉	22	静岡県田方郡天城湯ヶ島町	硫酸塩泉	源頼朝
136	嵯峨沢温泉	22	静岡県田方郡天城湯ヶ島町	ナトリウム硫酸塩泉	ある人物
137	走湯	22	静岡県熱海市走湯山走湯権現		木花香初木姫
138	熱海温泉	22	静岡県熱海市	ナトリウム・カルシウム塩化物硫酸塩温泉	万巻上人
139	平左衛門湯	22	静岡県熱海市大湯		平左衛門
140	法斎湯	22	静岡県熱海山下町古屋旅館		法斎
141	蓮台寺温泉	22	静岡県下田市蓮台寺	単純泉	行基
142	谷津温泉	22	静岡県賀茂郡河津町谷津	単純泉・食塩泉	行基
143	吉奈温泉	22	静岡県伊豆市吉奈	アルカリ性単純泉	行基
144	三谷温泉	23	愛知県蒲郡市三谷町	塩化物泉	行基
145	蒲郡温泉	23	愛知県蒲郡市	アルカリ性単純泉	行基
146	行基の湯	23	愛知県豊川市形原温泉	アルカリ性単純泉	行基
147	赤引温泉	23	愛知県南設楽郡鳳来町大野	放射能泉(トロン温泉)	弘法大師
148	弘法温泉	24	三重県度会郡玉城町	ナトリウム塩化物冷鉱泉	弘法大師
149	大師湯	24	三重県多気郡勢和村丹生神宮寺	ナトリウム塩化物泉	弘法大師
150	甲南温泉	25	滋賀県甲賀郡甲南町深川	塩化物泉	弘法大師
151	雄琴温泉	25	滋賀県大津市雄琴	アルカリ性単純泉	最澄
152	木津温泉	26	京都府京丹後市網野町木津	アルカリ性単純泉	行基
153	有馬温泉	28	兵庫県神戸市北区	含鉄ナトリウム塩化物泉	行基
154	うわなりの湯	28	兵庫県神戸市北区湯山谷の池	含鉄ナトリウム塩化物泉	女性
155	城崎温泉	28	兵庫県豊岡市城崎町城崎温泉	塩化物泉	慈覚大師・道智
156	湯村温泉	28	兵庫県美方郡新温泉町湯	炭酸泉	慈覚大師
157	籠坊温泉	28	兵庫県篠山市後川新田	含炭酸食塩泉	平家落人
158	弘法の湯	30	和歌山県東牟婁郡古座町姫	単純泉	弘法大師
159	大師の湯	30	和歌山県東牟婁郡古座川町	単純イオウ泉	弘法大師
160	龍神温泉	30	和歌山県田辺市龍神村西	ナトリウム炭酸水素塩泉	役行者・弘法大師
161	白金の湯	31	鳥取県東伯郡関金町関金温泉	放射能泉	弘法大師・行基
162	湯原温泉	31	鳥取県八頭郡若桜町湯原	単純泉	性空上人
163	三朝温泉	31	鳥取県東伯郡三朝町	含放射能/ナトリウム塩化物泉	役行者

	温泉名	県	所在地	泉質	人物
164	岩井温泉	31	鳥取県岩美郡岩美町岩井	硫酸塩泉	藤原冬久
165	弘法鉢泉風呂	32	島根県大田市久手町	塩化物泉	弘法大師
166	有福温泉	32	島根県江津市有福温泉町	単純温泉	法道上人
167	奥津温泉	32	岡山県苫田郡鏡野町奥津	アルカリ性単純泉	藤原審爾
168	湯原温泉	32	岡山県真庭市湯原温泉	アルカリ性単純温泉	性空上人
169	湯郷温泉	32	岡山県美作市湯郷	ナトリウム・カルシウム・塩化物泉	国仁
170	湯船溪温泉	34	広島県呉市清水町		弘法大師
171	湯野温泉	35	山口県徳山市湯野	放射能泉	神功皇后
172	川棚温泉	35	山口県豊浦郡豊浦町	塩化物泉	怡雲和尚
173	薬王寺温泉	36	徳島県海部郡日和佐町奥河内	単純硫化水素泉	弘法大師
174	大師湯	36	徳島県美馬郡貞光町長瀬		弘法大師
175	弘法の湯	37	香川県坂出市常盤町	単純弱放射能冷鉱泉	弘法大師
176	塩江温泉	37	香川県高松市塩江町	単純硫化水素泉	行基
177	美霞洞温泉	38	香川県仲多度郡琴南町川東	単純硫化水素泉	平賀源内
178	鷹の子温泉	38	愛媛県松山市鷹子町	アルカリ性単純泉	弘法大師
179	弘法の滝	39	高知県安芸郡東洋町野根明徳寺		弘法大師
180	桑田山温泉	39	高知県須崎市桑田山乙	硫化水素	弘法大師
181	二日市温泉	40	福岡県筑紫野市二日市	放射能泉	大伴旅人
182	熊の川温泉	41	佐賀県佐賀郡富士町上熊川	放射能泉	弘法大師
183	古湯温泉	41	佐賀県佐賀郡富士町古湯	放射能泉	徐福
184	武雄温泉	41	佐賀県武雄市武雄町	単純泉, 炭酸泉	行基
185	波佐見温泉	42	長崎県東彼杵郡波佐見町志折郷	炭酸水素塩泉	弘法大師
186	田の浦温泉	42	長崎県平戸市田の浦	単純冷鉱泉	弘法大師
187	杖立温泉	43	熊本県阿蘇郡小国町杖立温泉	弱塩, アルカリ性泉	弘法大師・神功皇后
188	大師湯	43	熊本県阿蘇郡南小国町満願寺	塩化物泉	弘法大師
189	地蔵の湯	43	熊本県阿蘇郡小国町小国黒川	硫黄泉	細川藩家臣本田時十郎
190	浜脇温泉	44	大分県別府市浜脇1丁目	単純泉	用明天皇
191	三日月温泉	44	大分県別府市浜脇		用明天皇
192	二条泉	44	大分県別府市北浜	不明	関白二条義実
193	鉄輪温泉	44	大分県別府市御幸	単純泉, 食塩泉, 炭酸鉄泉	一遍上人
194	柴石温泉	44	大分県別府市野田字柴石	硫酸塩泉・炭酸泉・単純泉	醍醐天皇・後冷泉天皇
195	永石温泉	44	大分県別府市南町	ナトリウム・マグネシウム炭酸水素塩・塩化物泉	弘法大師
196	壁湯温泉	44	大分県玖珠郡九重町	単純泉	空也上人, 仙女
197	宝泉寺温泉	44	大分県玖珠郡九重町	単純泉	空也上人
198	川底温泉	44	大分県玖珠郡九重町菅原	単純泉	菅原道真
199	臭い水	44	大分県直入郡久住町朽網		景行天皇
200	御夢想湯温泉	44	大分県大分郡湯布院町川南	弱アルカリ単純泉	弘法大師
201	塚野鉱泉	44	大分県大分市廻栖野	含炭酸重曹食塩泉	弘法大師
202	妙見温泉	46	鹿児島県霧島市隼人町嘉例川	ナトリウム・カルシウム・マグネシウム炭酸水素塩泉	坂本龍馬
203	日当山温泉	46	鹿児島県霧島市隼人町姪城	炭酸泉	西郷隆盛

表2 人物別泉質集計表

人物名	単純泉	二酸化炭素泉	炭酸水素塩泉	塩化物泉	硫酸塩泉	含鉄泉	含アルミニウム泉	含銅鉄泉	硫黄泉	酸性泉	放射能泉	不明	計
弘法大師	11	3	5	20	6				4		5	12	66
行基	6		2	5	2		1		3		3		22
坂上田村麻呂	4	1	1	2					1	1			10
慈覚大師	1		1	3	1				1	1			8
武田信玄	2	1			1				1	1	1		7
源頼朝	1			1	1		1		1				5
上杉謙信				3					1	1			5
役行者			1	2					2				5
日本武尊	2						1		2				5
泰澄大師				3	1								4
源義家	2								2				4
空也	2												2
佐久間象山									2				2
坂田金時					1				1				2
円智上人					1				1				2
神功皇后	1										1		2
用明天皇	1											1	2
その他の人物	17	1	3	11	8	1			9		3	7	60
全体	50	6	13	50	22	1	3	0	31	4	13	20	213

(1) 動物発見による温泉

白鷺や鶴、猿をはじめとした温泉発見伝説は多い。その多くが、傷ついた動物が入っているのを村人が見つけるという話である。

(2) 歴史上の人物にまつわる温泉

今回の調査で、歴史上の人物にまつわる開湯伝説のある温泉は、203湯あることが判明した。もっと時間をかけ、詳細な調査をすればまだまだ増加すると考えられるが、今回はこのデータを用いる。

歴史上の人物にまつわる伝説で、湧水は圧倒的に弘法大師伝説の水「弘法水」が多い(河野, 2002)。これは温泉でも同様で、日本各地に弘法温泉の伝説が存在している。

開湯伝説ではなく、歴史上の人物が湯治や湯浴みに行ったとされる温泉も数多く存在する。武田信玄がよく通った石和温泉、日本三古湯とされる有馬、道後、白浜温泉には数多くの歴史上の人物が登場する。

開湯伝説が二つ以上ある人物は、弘法大師(66)、行基(22)、坂上田村麻呂(10)、慈覚大師(8)、武田信玄(7)、上杉謙信(5)、役行者(5)、源頼朝(5)、日本武尊(5)、源義家(4)、泰澄大師(4)、円智上人(2)、空也上人(2)、神功皇后(2)、坂田金時(2)、佐久間象山(2)、用明天皇(2)であった。湧水にまつわる伝説もそうであるが弘法大師が圧倒的に多いことは興味深い事実である。しかし、武田信玄や上杉謙信は湧水伝説には全く登場しない人物である。両名が温泉に湯治に行く話はよく伝えられているので、湧水と異なってくるところが興味深いところである。

逆に湧水伝説に登場するにもかかわらず、開湯伝説を見いだすことのできない人物には、安倍晴明、平将門、源義経、菅原道真、柿本人麻呂、後醍醐天皇、鎌倉権五郎、源為朝、西行、明治天皇、和泉式部がいる。安倍晴明、平将門、菅原道真、鎌倉権五郎などは、おどろおどろしい湧水伝説が多いことから、開湯伝説とは全く結びつかない人物なのであろう。

1つだけ登場する人物では、一遍上人、阿部孫八郎貞次、白雲禅師、円智上人、大伴旅人、小野小町、勝道上人、神誓上人、関白二条義実、木花香初木姫、吉備多賀由、智由、霧隠才蔵、国定忠治、

国仁、景行天皇、源翁和尚、西郷隆盛、伝教大師、湯本の獵師、木こりの藤七、碓氷貞光、坂本龍馬、豊臣の落ち武者、道智、浄定坊、聖徳太子、秦野川勝、菅原道真、性空上人、清和天皇第四王子、仙女、ある僧侶、醍醐天皇、後冷泉天皇、塚原ト伝、月秀、日蓮上人、新田義貞、真田幸村、萩姫、皮膚病の娘、平朝臣維茂、平賀源内、木曾義仲、平左衛門、弁慶、法斎、法道上人、細川藩家臣本田時十郎、マタギ、万巻上人、源頼義、夢想国師、蓮如、円智上人、横内村の狩人、葛を採りに行った人、向嶽寺の僧侶、孝謙天皇、徐福、常陸坊海尊、性空上人、前田利明、藤原審爾、藤原冬久、福島正則、隣仙大和尚、怡雲和尚らが挙げられる。

① 弘法大師

774年～835年。平安初期の僧、空海のことをいう。空海は真言宗の開祖であり、天台宗の開祖の最澄とともに平安仏教を代表する僧である。能書家としても知られ、嵯峨天皇・橘逸勢と共に三筆のひとりに数えられる。

弘法大師の水に関係する伝説は、日本各地に1600以上知られている(河野, 2006)が、そのうち温泉は約70程伝えられている。

代表的な弘法大師開湯伝説に伊豆修善寺温泉の独鈷の湯がある。修善寺温泉のHPによると、「大同2年(807年)に弘法大師がこの地を訪れたとき、桂川で病みつかれた父の体を洗う少年を見つけ、その孝心に心を打たれ「川の水では冷たかろう」と、手にした独鈷杵(仏具)で川中の岩を打ち、霊泉を湧出させたという。そして、大師が父子に温泉治療を教えたところ、不思議なことに父の十数年来の固疾はたちまち平癒したと伝えられ、その後この地には温泉治療が広まったという。いわゆる修善寺温泉発祥の温泉で、伊豆最古のものといわれている。」と紹介している。

② 行基

668年～749年。677年に生まれたという説もある。奈良時代、社会事業に尽力した法相宗の僧。土木技術の知識を学び、各地に橋を架け、堤を築き、池や溝を掘り、道をつけ、樋を渡し、船息をつくった。

③ 坂上田村麻呂

785年～811年。平安初期に活躍した武官。桓武天皇の二大事業の一つとして活発に行われた蝦夷征討において、武将としての器量を大いに発揮して活躍した。

④ 慈覚大師

794年～864年。最後の遣唐僧として唐にわたり、日本の天台宗を大成させた。また、最初に朝廷から「大師号」を最初に授けられた高僧でもある。

⑤ 武田信玄

1521年～1573年。戦国時代の武将、甲斐の守護大名・戦国大名。領地を広げながら様々な政策を行っていた。その政策として特徴的なことは、早くから領国内の交通路を整備し伝馬制度を確立させたことや、治山・治水に力を入れて信玄堤などを築いたことである。また占領地に旧城主や重臣を配置して支城領を形成していったこと、さらには、領国内の農民支配のための検地の実施や人返し法、商人・職人などを甲府へ集めて城下町を建設したことなどがあげられる。

⑥ 上杉謙信

1530年～1578年。戦国時代の越後(新潟県)の武将、戦国大名。軍事能力に卓越しており、「越後の龍」や「軍神」などと後世で評されている。内政面に関しては、綿密に計画された金山運営で大きな利益をあげることに成功しており、また日本海側の海上交易の要衝としての利益も大きかった。

⑦ 役行者

634年～706年。飛鳥時代から奈良時代の呪術者で、修験道の開祖とされている。17歳の時に元興寺で学び、孔雀明王の呪法を学んだと言われる。その後、葛城山(金剛山)で山岳修行を行い、熊野

や大峰(大峯)の山々で修行を重ね、金峯山(吉野)で金剛蔵王大権現を感得し、修験道の基礎を築いた。

⑧ 源頼朝

1147年～1199年。平安時代末期、鎌倉時代初期の武将である。鎌倉幕府の初代征夷大將軍として知られる。

⑨ 日本武尊

記紀伝説上の英雄。景行天皇の皇子。気性が激しいため天皇に敬遠され、九州の熊襲、東国の蝦夷の討伐に遣わされたといわれ、風土記なども含めてさまざまな伝説が残っている。

⑩ 源義家

1039年～1106年。平安時代後期の武将。岩清水八幡宮で元服したので「八幡太郎」と称する。『前九年の役』では父・頼義と共に参加、苦戦の末に康平5(1062)年に平定する。翌年功賞として従五位下、出羽守に叙任される。『前九年の役』の戦後、京の藤原頼通邸でしていた戦功話が大江山房の耳に入り、兵法を知らないことを諭され、自らの及ばない点を恥じ兵法を大江匡房から大いに学んだという。

⑪ 泰澄大師

682年～767年。717年に、白山を開山した後、越前・加賀に50余の寺を創建したと言われている。

⑫ 円智上人

建久年間(1190年～1198年)に東国を行脚していた円智上人が大鱈温泉を発見したと伝えられている。円智上人は行脚の道行き、この地で病に倒れ、大日如来に全快の願を掛けたところ、夢枕に童子が現れ、「土用の丑の日の、丑の刻に温泉に入ると治る」と告げられた。このお告げにより上人は温泉を発見し、病を癒したと言われている。

⑬ 空也上人

平安時代中期の僧。天台宗空也派の祖。民間における浄土教の先駆者と評価される。

⑭ 神功皇后

170年～269年。201年から269年まで政事を執りおこなった。朝鮮半島に出兵して新羅の国を攻め、新羅は戦わずして降服して朝貢を誓い、高句麗・百済も朝貢を約したという(三韓征伐)。

⑮ 坂田金時

956年～1012年。頼光四天王の一人。「金太郎」のモデルとなった。

⑯ 佐久間象山

1811年～1864年。日本の武士、兵学者・思想家。松代藩主・幸貫に「海防八策」を献上し高い評価を受けた。また、江川や高島秋帆の技術を取り入れつつ大砲の鑄造に成功し、その名をより高めた。また、象山は兵学のみならず、西洋の学問そのものに大きな関心を寄せており、ガラスの製造や地震予知器の開発に成功し、更には牛痘種の導入も企図していた。

⑰ 用明天皇

～587年。第31代天皇。欽明天皇の第四皇子であり、聖徳太子の父である。天皇は仏教を受容したいことをめぐって、物部守屋と蘇我馬子が対立した。

(3) 大分の人物が関与する開湯伝説のある温泉

柴石温泉は醍醐天皇が敦仁親王時代に湯治し、後冷泉天皇も親仁親王時代に湯治したと伝えられている。また、景行天皇が熊蘇を西征のみぎり湯浴みされたという話も伝わっている。

永石温泉には次のような開湯伝説が伝わっている。弘法大師が西国巡錫の際に日照り続きのこの地を訪れ、一杯の水を所望したところ老婆が水を恵んでくれた。その老婆に感謝し、空に投石をすると、落ちた場所より湯水が湧き出したことから「投石の湯」と呼ばれ、後に永石温泉と呼ばれるようになった。

4. 考察とまとめ

図1に、開湯伝説登場人物と泉質、図2に、開湯伝説登場人物と泉質の構成比を示す。その結果、単純泉に関与する人物の数は少なく、多様な物質を含有する温泉に関与する人物が非常に多いことが明らかとなった。これは、動物による開湯伝説も同じような傾向を示す。

開湯伝説には様々なパターンがあるが、主に動物の場合は傷を癒しに温泉を利用していたことを里人が見つけたという伝説となっている。このような場合、動物たちは、酸性や高温の温泉では傷に染めることから、比較的低温な単純泉を傷の治療に用いることを覚えたのではないかと考えれば、開湯伝説に一定の根拠があると推定できる。また、狸は皮膚が非常に不潔で、皮膚病になりやすいといわれている。従って、狸が発見伝説となっている場合は、皮膚病に効能のある硫酸塩泉や塩化物泉となっていると考えられる。

人物の場合は、弘法大師開湯伝説が圧倒的に多く、しかもその効能は、眼病や皮膚病等が多い傾向が認められる。また、人物の職業はほとんどが武士と僧侶である。武士は比較的単純泉の開湯伝説が多く、僧侶はそれ以外の泉質が多い傾向がみられる。これは、武士は戦で怪我を負い、それを癒すためには、傷にしみる温泉ではなく、単純泉が適していたように考えることができる。源頼朝は単純泉の開湯伝説が少ないが、頼朝は戦の最前線に立つことはなく、弟の義経に任せることが多かったので、自らはほとんど戦に参加していないことに関係するのではないだろうか。

僧侶は弘法大師に代表されるように、その法力で病気などに効能のある温泉を湧出させた、などという伝説が多いことから、病気などの効能が期待できる泉質を有する温泉が、高名な僧侶の業績に摺り合わせられて開湯伝説が成立したと考えられる。

以上のように考えると温泉の発見伝説、開湯伝説は、そのパターンによって、泉質と密接に関係してくる例がかなり多いのではないかと考えることができる。

今後の課題の一つとして、更なる開湯伝説の掘り起こしがある。これまでも多くの文献を渉猟してき

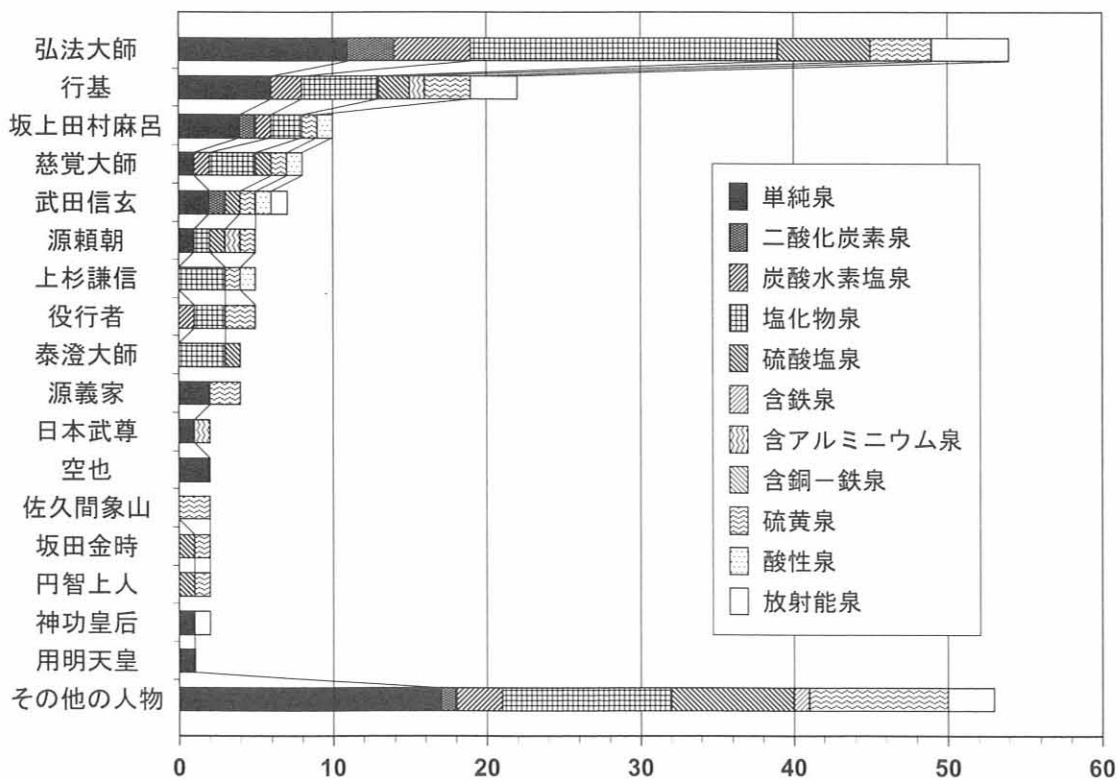


図1 開湯伝説登場人物と泉質

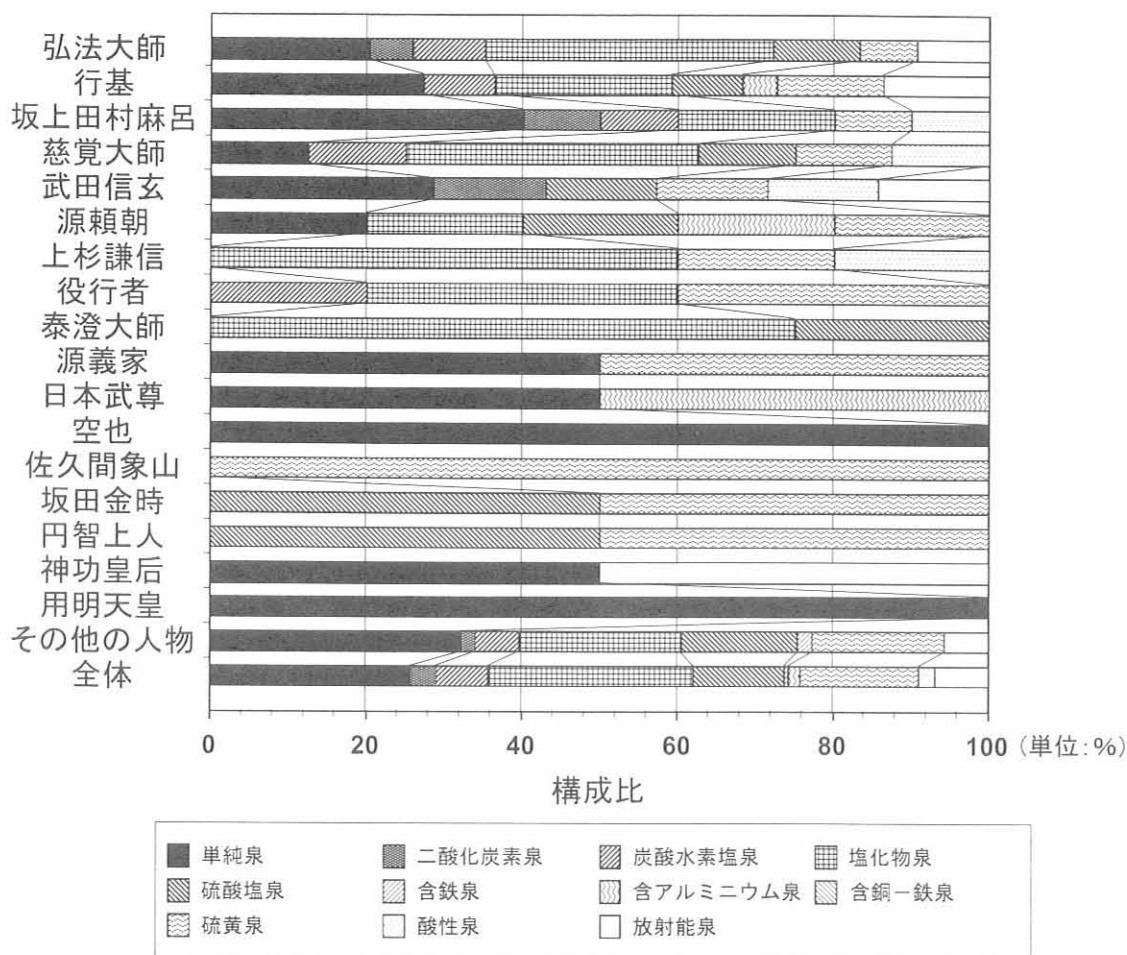


図2 開湯伝説登場人物と泉質の構成比

だが、温泉場として機能しておらず、見捨てられているような温泉・冷鉱泉などの掘り起こしが不十分である。二つ目の課題として、動物の行動パターンから怪我のし易い部位の特定をすることや、動物の分布を調べ温泉伝説が一致するかどうか、一致しない場合は特殊な事情を考慮することなどが必要である。更に、動物の病気に罹りやすい部位を特定し、発見伝説と一致するかどうか等についても考察していきたいと考えている。

また、人物を職業で分類した場合の開湯伝説と泉質の違いや、歴史年代なども考慮する必要があるだろう。

5. 参考文献

荒木博之編(1987)：『日本伝説体系 全十四巻』みずうみ書房。
 石上 堅(1964)：『水の伝説』雪華社。
 井上香都羅(1988)：『別府温泉入門案内』別府の温泉を考える会，pp. 210。
 植垣節也校注・訳(1997)：『風土記』小学館，pp. 629。
 小田富士雄編(1995)：『風土記の考古学④ 豊後風土記の巻』同成社，pp. 299。
 大分県温泉調査研究会(2006)：『大分県鉱泉誌 第1集』大分県，pp. 618。
 大分県温泉調査研究会(2006)：『大分県鉱泉誌 第2集』大分県，pp. 1156。
 大分県立歴史博物館編(1999)：『湯浴み～湯の歴史と文化～』大分県立歴史博物館，pp. 111。
 大分県教育会編(1931)：『大分県郷土伝説及び民謡』大分県教育会，pp. 308。
 大分県総務部総務課編(1986)：『大分県史 民俗編』大分県，pp. 560。

- 大分合同新聞社(1974)：『大分の伝説 上・下巻』大分合同新聞社。
- 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。
- 郷土史蹟傳説研究会編(1932)：『増補 豊後傳説集』郷土史蹟傳説研究会，pp.119。
- 蔵田延男(1951)：日本の井戸とその歴史。地学雑誌，Vol.60，No.682，183-190。
- 黒川達爾(1997)：『いで湯の国・鹿児島県—かごしま文庫41—』春苑堂出版，pp.228。
- 厚生省大臣官房国立公園部編(1954)：『日本鉱泉誌』青山書院，pp.785。
- 河野 忠(2002)：『弘法水の水文科学的研究』立正大学学位論文，pp.135。
- 河野 忠(2006)：伝説伝承のある湧水と水文化。生活と環境，Vol.51，No.4，50-55。
- 河野 忠(2007)：温泉発見・開湯伝説から見た泉質と効能に関する予察的研究，大分県温泉調査研究会報告，No.58，31-40。
- 佐藤四信(1980)：『おおいた文庫①豊後風土記』アドバンス大分，pp.267。
- 島津光夫(2001)：『新潟温泉風土記』野島出版，pp.140。
- 白倉卓夫編著(1997)：『草津温泉—草津白根火山・気象・微生物・歴史・医学—』草津町温泉研究会，pp.148。
- 高村弘毅(1998)：オーストラリアの先住民アボリジニが愛用した霊泉“ミネラル冷泉”について。立正大学文学部論叢，No.108，89-99。
- 竹国友康(2004)：『韓国温泉物語』岩波書店，pp.253。
- 田中熊雄ほか(1986)：『九州・沖縄地方の水と木の民俗』明玄書房，pp.224。
- 恒松 栖(2000)：『西暦2000年 別府風土記』クリエイツ，pp.197。
- 内務省衛生局編(1886)：『日本鑛泉誌 上巻』衛生局，pp.482。
- 内務省衛生局編(1886)：『日本鑛泉誌 中巻』衛生局，pp.466。
- 中村 昭(1997)：『温泉百話』青弓社，pp.338。
- 日本温泉科学会編(2004)：『温泉科学の最前線』ナカニシヤ出版，pp.236。
- 日本温泉科学会編(2006)：『温泉科学の新展開』ナカニシヤ出版，pp.234。
- 日本温泉科学会編(2005)：『温泉学入門—温泉への誘い—』コロナ社，pp.128。
- 日本地下水学会編(1994)：『名水を科学する』技法堂出版，pp.299。
- 日本地下水学会編(1999)：『続名水を科学する』技法堂出版，pp.246。
- 八岩まどか(1993)：『温泉と日本人』青弓社，pp.197。
- 平野富雄(1994)：『箱根二十湯—やさしい温泉入門—』かなしんブックス，pp.259。
- 平野富雄(1998)：『水の風景』オールプランナー，pp.239。
- 平松 洋(2005)：『いぼとり神様・仏様』羽衣出版，pp.191。
- 淵 敏博編(2003)：『べっふ八湯と地獄 湧く湧く百科』地域文化出版，pp.77。
- 堀藤吉郎(1956)：『別府の傳説と情話』別府民間伝承研究会，pp.197。
- 柳田国男(1930)：『日本の傳説』三国書房，pp.270。
- 柳田国男(1940)：『伝説』岩波新書，pp.180。
- 柳田国男監修(1971)：『日本伝説名彙』日本放送出版協会，pp.523。
- 吉野 裕訳(1969)：『風土記』東洋文庫145，401p。
- 和歌森太郎編著(1973)：『弘法大師空海』雄渾社，pp.361。

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たとき、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21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
大分県生活環境部 生活環境企画課 課長	坂 本 美智雄	副 会 長
大分県生活環境部 生活環境企画課 課長補佐	鷹 居 鋭 兒	常務理事
大分大学教育福祉科学部 教授	川 野 田實夫	理 事
臼杵市医師会立コスモス病院 院長	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 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	
立正大学地球環境科学部 教授	河 野 忠	
明豊高等学校	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 准教授	大 沢 信 二	理 事
京都大学地球熱学研究施設 助教	山 本 順 司	
京都大学地球熱学研究施設 助教	柴 田 知 之	
京都大学地球熱学研究施設 研究機関研究員	三 好 雅 也	
京都大学地球熱学研究施設 研究機関研究員	山 田 誠	
京都大学地球熱学研究施設	三 島 壯 智	
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	
東京大学地震研究所 地震予知研究推進センター	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	
株式会社日鉄大分テクノサポート	植 木 和 宏	
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	

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
(株)住化分析センター大分事業所	板 井 清 美	
大分大学医学部 精神神経医学 教授	寺 尾 岳	
大分大学医学部 医員	塩 月 一 平	
別府大学文学部文化財学科 准教授	中 山 昭 則	
(株)住化分析センター大分事業所 グループリーダー	樋 口 秀 臣	
(株)住化分析センター大分事業所 主任技師	加 藤 昭 司	
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	佐 藤 陽 一	理 事
臼 杵 市 長	中 野 五 郎	
竹 田 市 長	首 藤 勝 次	理 事
杵 築 市 長	八 坂 恭 介	
宇 佐 市 長	是 永 修 治	
由 布 市 長	首 藤 奉 文	理 事
国 東 市 長	野 田 侃 生	
九 重 町 長	坂 本 和 昭	理 事
玖 珠 町 長	後 藤 威 彦	
別府市役所ONSENツーリズム部次長兼温泉課長	安 部 強	監 事
別府市役所ONSENツーリズム部温泉課 補佐	宮 崎 徹	
大分県東部保健所 所長	大 神 貴 史	監 事
大分県東部保健所 次長	加 藤 博 美	
大分県衛生環境研究センター 所長	渡 邊 克 廣	理 事
大分県衛生環境研究センター水質担当 専門研究員	宮 崎 博 文	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 専門研究員	小 河 正 雄	
大分県衛生環境研究センター 水質担当 主幹研究員	牧 克 年	
大分県産業科学技術センター 製品開発支援担当 主任研究員	齊 藤 雅 樹	

(会員数 59名)

書 記

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
大分県生活環境部 生活環境企画課 主幹	御 沓 稔 弘	
” 主事	熊 野 真 二 郎	

(2名)

大分県温泉調査研究会報告 第60号

平成21年7月 印刷
平成21年7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
景観自然室内(事務局)

電話 097-506-2139
FAX 097-506-1730

印刷者 〒870-0022 大分市大手町2丁目3番4号
有限会社 舞鶴孔版
電話 097-532-4231