

大分県内の火山岩類の化学・Sr-Nd同位体比（2）由布岳

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

芳川 雅子・柴田 知之
杉本 健*・竹村 恵二

(*現：地熱エンジニアリング株式会社)

1. はじめに

火山岩は天水の帯水層として働き、火山岩中の水に対する溶解度の高い化学成分が天水中に溶け込むため、それらの化学組成・Srなどの重元素同位体比は、温泉水流動過程を知る一つの手がかりとなる。

昨年度は鶴見岳・由布岳の火山岩の化学組成・Sr-Nd同位体比の文献調査を行い、不足しているデータを新たに得た。その結果、鶴見岳と由布岳のSr-Nd同位体比領域が異なる可能性が観察された。本年度は由布岳試料について、さらにSr-Nd同位体比分析を行い、由布岳と鶴見岳のSr-Nd同位体比領域の違いが明瞭になるかを検討することを目的として研究を行った。

2. 試料および分析方法

今年度の研究対象試料として、太田ほか(1990)の火山岩類の分類に従って、先行研究で得られていない火山岩類で、かつ、 $Sr/Y > 25$ のアダカイトに分類される可能性のある由布岳試料（91071702, 05040408）と、芳川ほか(2015)で他の由布岳試料と異なるSr-Nd同位体比を示した試料05040404と近接する露頭で採取された試料05040403を選択した（図1）。試料91071702と05040408は太田ほか（1990）の由布グループ前期火山岩類の湯の平溶岩といもりヶ城円頂丘溶岩に、それぞれ、分類される。試料05040404は由布グループ後期火山岩類塚原溶岩に分類される。

Sr-Ndの化学分離法は芳川ほか(2015)に従い、Sr-Nd同位体比は京都大学理学研究科附

属地球熱学研究施設に設置されている表面電離型質量分析計 (ThermoFinnigan MAT262) を用いて測定した。

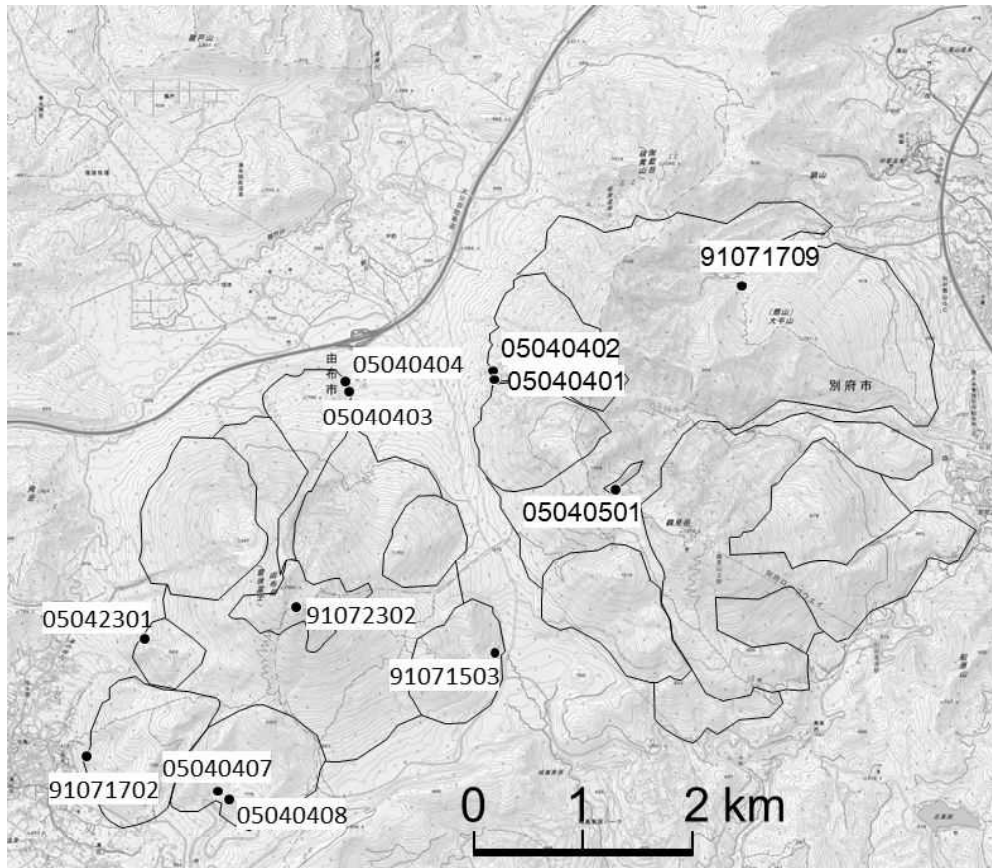


図 1. 分析試料採取地点. 国土地理院電子地形図 25000 の 1 を使用. 火山岩の分布は太田ほか(1990)に, サンプル採取地点は杉本ほか(2006)に従った.

3. 結果と考察

図 2 に, 由布岳と鶴見岳の文献値と本研究で新たに得た Sr-Nd 同位体比を示す。鶴見岳と由布岳はともに中央海嶺玄武岩 (MORB) と比べるとやや高い Sr 同位体比, 低い Nd 同位体比を示す。この特徴は, Sugimoto et al. (2006) が指摘した, 沈み込んだ海洋地殻, 及び, 堆積物を由来とする成分のマントルウェッジへの付加によると推測される。

新たなデータは、報告値の同位体比の組成範囲内にプロットされた。鶴見岳の Sr-Nd 同位体比領域は由布岳と比べ Sr 同位体比が高い傾向が認められる (図 2b)。また、鶴見岳の Nd 同位体比は比較的狭い範囲にプロットされるのに対し、由布岳では広い範囲を示す。これらの違いは、由布岳の試料 05040404 と鶴見岳の試料 91071709 と 05040401 によって規定されている(図 2b)。

試料 05040404 は Nd 同位体比がほかの由布岳の試料と比べ著しく低い値を示すが、試料 05040403 は試料 05040404 と近接する同一の溶岩流から採取されたものであるにも関わらず、Sugimoto et al. (2006)で報告された由布岳の同位体比領域に含まれる。近年、火山岩全岩と含まれる斑晶鉱物で Sr や Nd 同位体比が異なる事が観察され、マグマ溜りでの不均質なメルトの形成 (Reinhard et al., 2016) やマントル起源物質の不均質 (Jackson et al., 2008) などが提唱されている。このため、採取試料の斑晶鉱物の量比などによって同一溶岩でも同位体比の違いが観察される可能性がある。由布岳試料の同一溶岩での同位体比の不均質の原因についてはさらなる検討が必要であるが、試料 05040404 は姫島のアダカイトと四万十層群堆積岩の混合線 (Shibata et al., 2014) の近傍に位置しており(図 2a)、他の試料とは異なる成分が付加した可能性が考えられる。

試料 91071709 は太田ほか (1990) では鶴見グループ前期火山岩類古鶴見岳火山岩類に、藤沢ほか (2002) では鶴見岳基底火山岩に分類される。試料 05040401 は太田ほか (1990) の分布図では鶴見グループの中期火山岩類内山溶岩類に位置するが、藤沢ほか (2002) の分布図では鶴見岳基底火山岩類に位置するよう見える。試料 05040402 は試料 05040401 と近接して産しているにもかかわらず、Sr-Nd 同位体比に大きな違いが認められる(図 2b)。一方、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Sr/Y 図(図 3)において試料 05040401 は試料 91071709 と同一のトレンド上に位置している。従って、試料 05040402 は内山溶岩類に分類され、試料 05040401 が鶴見岳基底火山岩類に分類される可能性が高いと思われる。

図 3 においては、Sr/Y 比の増加と共に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が増加するトレンドと Sr/Y 比の増

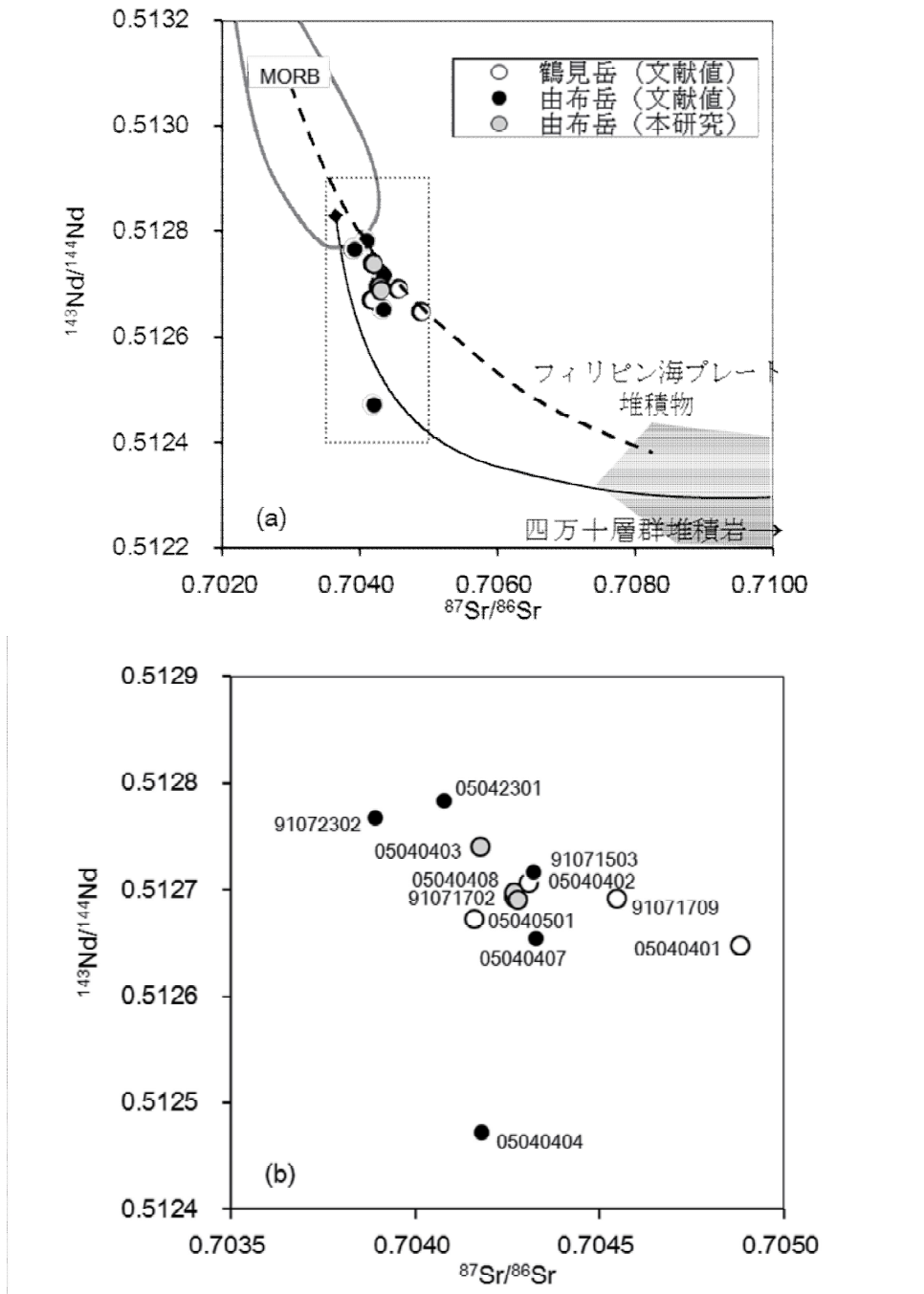


図 2. 由布岳・鶴見岳の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比. (a)公表値は Sugimoto et al. (2006)・芳川ほか(2015)参照. 破線: MORB (中央海嶺玄武岩) とフィリピン海プレート堆積物の混合線, 実線: 姫島アダカイトと四万十層群堆積岩の混合線 (Shibata et al., 2014). (b)(a)の点線で囲われた領域を拡大

加と共に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が減少するトレンドが観察される。同様のトレンドは北部九州の第四紀火山岩で観察されており、前者のトレンドはマグマが地殻物質によって汚染されることで、後者のトレンドはマントルウェッジを起源とするマグマに海洋地殻が溶融して生じたとされるアダカイトメルトの混合で説明されている(Shibata et al., 2014)。以上の結果から、由布岳の火山岩類の形成にはアダカイトメルト、四万十層群堆積岩、及び、フィリピン海プレート堆積物を起源とする3成分が、鶴見岳の火山岩類にはフィリピン海プレート堆積物の成分が、それぞれ、より多く上部マントルに付加したと推測される。

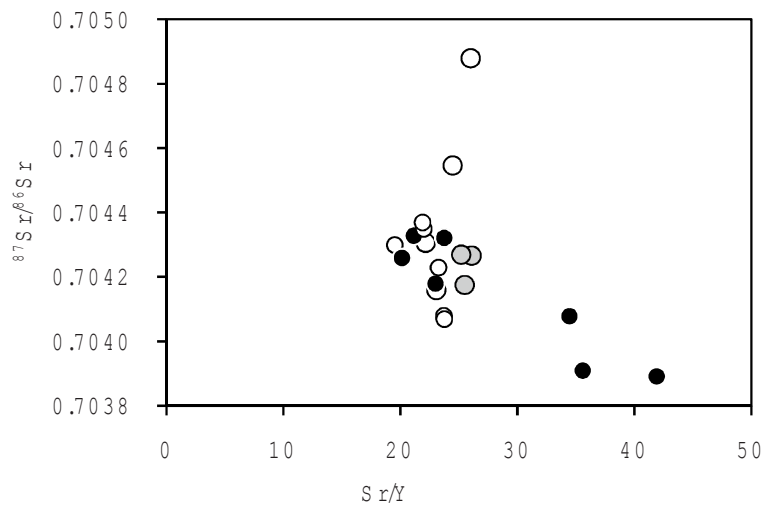


図3. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Sr/Y 図. 記号は図2と同じ.

4. まとめ

由布岳の新たなデータを加えたが低いNd同位体比を示すものは観察されず、今後のデータの蓄積が望まれる。由布岳火山岩類は、鶴見岳基底火山岩類と比較し、堆積物の影響があまり強くない事が分かった。

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.
- Jackson, M.G., Hart, S.R., Shimizu, N. and Blusztajn, J.S. (2009) The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ disequilibrium between Polynesian hot spot lavas and the clinopyroxenes they host: Evidence complementing isotopic disequilibrium in melt inclusions, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 10, Q03006, doi:10.1029/2008GC002324.
- 太田岳洋・長谷中利明・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.
- Reinhard, A.A., Jackson, M.G., Harvey, J., Brown, C. and Koornneef, J.M. (2016) Extreme differences in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ between Samoan lavas and the magmatic olivines they host: Evidence for highly heterogeneous $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in the magmatic plumbing system sourcing a single lava. *Chemical Geology*, (439), 120-131.
- Shibata, T., Yoshikawa, M., Itoh, J., Ujike O., Miyoshi, M., Takemura, K. (2014) Along-Arc Geochemical Variations in Quaternary Magmas of Northern Kyushu Island, Japan. In Gómez-Tuena, A., Straub, S.M., Zellmer, G.F. (Eds.), *Orogenic Andesite and Crustal Growth*. Geological Society of London, Special Publication. Geological Society, Special Publications, London, 385, pp. 15-29.
- 杉本健・柴田知之・芳川雅子・竹村恵二 (2006) 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, 大分県温泉調査研究会報告, 57, 33-39.
- Sugimoto, T., Shibata, T., Yoshikawa, M. and Takemura, K. (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. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 101, 270-275.
- 芳川雅子・柴田知之・公門駿・杉本健・竹村恵二 (2015) 大分県内の火山岩類の化学・Sr-Nd 同位体組成 (その 1) 鶴見岳・由布岳, 大分県温泉調査研究会報告, 67, 35-39.

大分県玖珠町周辺の表層電気伝導度分布

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

要旨

玖珠町周辺において表層電気伝導度調査を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。玖珠町周辺では、鹿伏山・崩平山等の火山群、万年山、青野山等の火山群、福万山、月出山岳等の火山体、耶馬溪等の山体域では、低電気伝導度を示しており、山体が緻密で地下水をあまり含まない岩石からなっていることを示唆している。一方、由布院断層から野上川流域を経て小倉岳にいたる東北東-西南西の構造線と、玖珠町から天ヶ瀬温泉にいたる東北東-西南西方向の構造線、およびその間を結び小倉岳とおおる帯状の領域で、高電気伝導度となっている。深部から熱水が供給されている可能性がある。

1. はじめに

大分県玖珠町には、玖珠川沿いおよびその周辺に温泉が分布している。また、東の九重町には、壁湯、宝泉寺などの温泉群が分布しているほか、西側にも天ヶ瀬温泉や日田温泉などが分布している。また、玖珠町南部の万年山をはじめとする古い火山体には、別府万年山断層系の西部を構成する断層が見られ、これらの構造と温泉活動との関係も興味を持たれる。鍵山・他（2014）、鍵山・他（2016）は、万年山周辺および九重火山群の周辺において表層電気伝導度分布を調査している。その結果、万年山の東側にあたる九重町では、小倉岳から玖珠川流域を経て硫黄山にいたる線と小倉岳から町田川流域を経て麻生鶴温泉に至る線に挟まれた三角地帯において高電気伝導度が計測され、この域内では、西北西-東南東方向に高電気伝導度が配列しており、温泉もこの線上に位置している。一方、これらの高電気伝導度および温泉の並びの延長上にあたる万年山の山体部では、明瞭な断層地形がみられるが、高電気伝導度域は見られない。こうした結果を考慮して鍵山・他（2016）は、九重火山群硫黄山付近から三角地帯に延びるなんらかの構造線が存在し、深部から地熱流体が浅部に供給され、既存の西北西-東南東方向の断層に沿って地熱流体が地表にまで上昇しているが、万年山地域では深部からの熱水の供給がないために古い断層地形だけが残されていると考えた。しかしながら、玖珠盆地中央部や伐株山周辺では高電気伝導度域が見られており、これらの領域がさらにその周辺にどのように続いているか興味を持たれる。こうした背景から、玖珠町北部において VLF-MT による表層電気伝導度調査を実施した。以下に調査および検討結果を報告する。

2. 玖珠町周辺の表層電気伝導度分布

調査は、玖珠町周辺において 2016 年 4 月から 2017 年 1 月にかけて順次実施した。図 1 には、以前に行った調査結果も加えた電気伝導度分布を示す。なお、緯度、経度 30 秒ごとにメッシュを切り、複数の測定点がメッシュ内に存在する場合は、平均値をそのメッシュ上の値としている。全体的な傾向と

して、以下に示す特徴があげられる。図の左下に位置する万年山や右下に位置する鹿伏山・崩平山などの山体部、図の中央から右端に位置する青野山や福万山、図の左に位置する月出山岳（かんとうだけ）周辺、図の上に位置する耶馬溪（裏耶馬溪，奥耶馬溪を含む）などの山体域では $50 \mu S/cm$ 以下の低電気伝導度を示している。一方，これらの山体部どうしの間では， $50 \mu S/cm$ 以上，ところによっては $100 \mu S/cm$ 以上の高い電気伝導度が見られる。たとえば，天ヶ瀬温泉から玖珠盆地に延びる領域，玖珠盆地から万年山と青野山の間を抜けて小倉岳にいたる領域，小倉岳付近から野上川に沿って東北東に延びる領域（この領域は由布院断層に続いている）などに高電気伝導度域が広がっている。また，小倉岳付近から南に延びる領域（鹿伏山・崩平山の低電気伝導度域の西縁に沿う線と町田川（万年山東縁）に沿って麻生鶴温泉まで南下する線に挟まれた三角地帯）や玖珠盆地の北側にも高電気伝導度域が認められる。しかし北側の耶馬溪の領域に入ると，立羽田から北西に延びる領域，福万岳北麓に高電気伝導度が見られるだけとなり，日出生ダムの北東に位置する院内町にも高電気伝導度域が見られる。

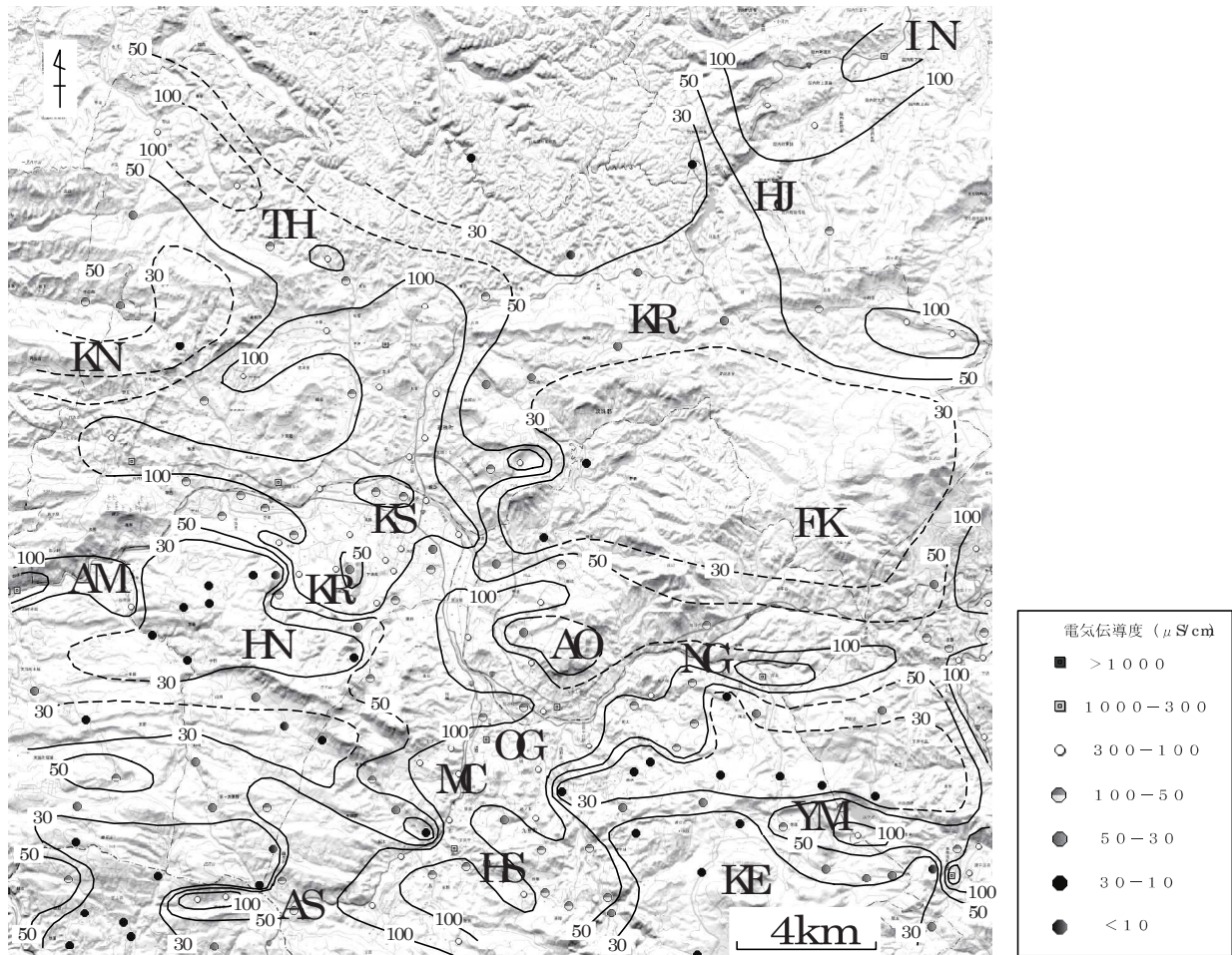


図1 VLF-MTによる万年山周辺の表層電気伝導度分布（単位は $\mu S/cm$ ）。

HN：万年山，AM：天ヶ瀬温泉，KS：玖珠町，KR：伐株山，AO 青野山，NG：野上川，YM：山下池
 KE：崩平山，OG：小倉岳，MC：町田川，HS：宝泉寺温泉，AS：麻生鶴温泉，FK：福万山
 KN：月出山岳，TH：立羽田，KR：黒岳，HJ：日出生ダム，IN：院内町
 （地図は，国土地理院のウォッチーズおよびカシミールによる）

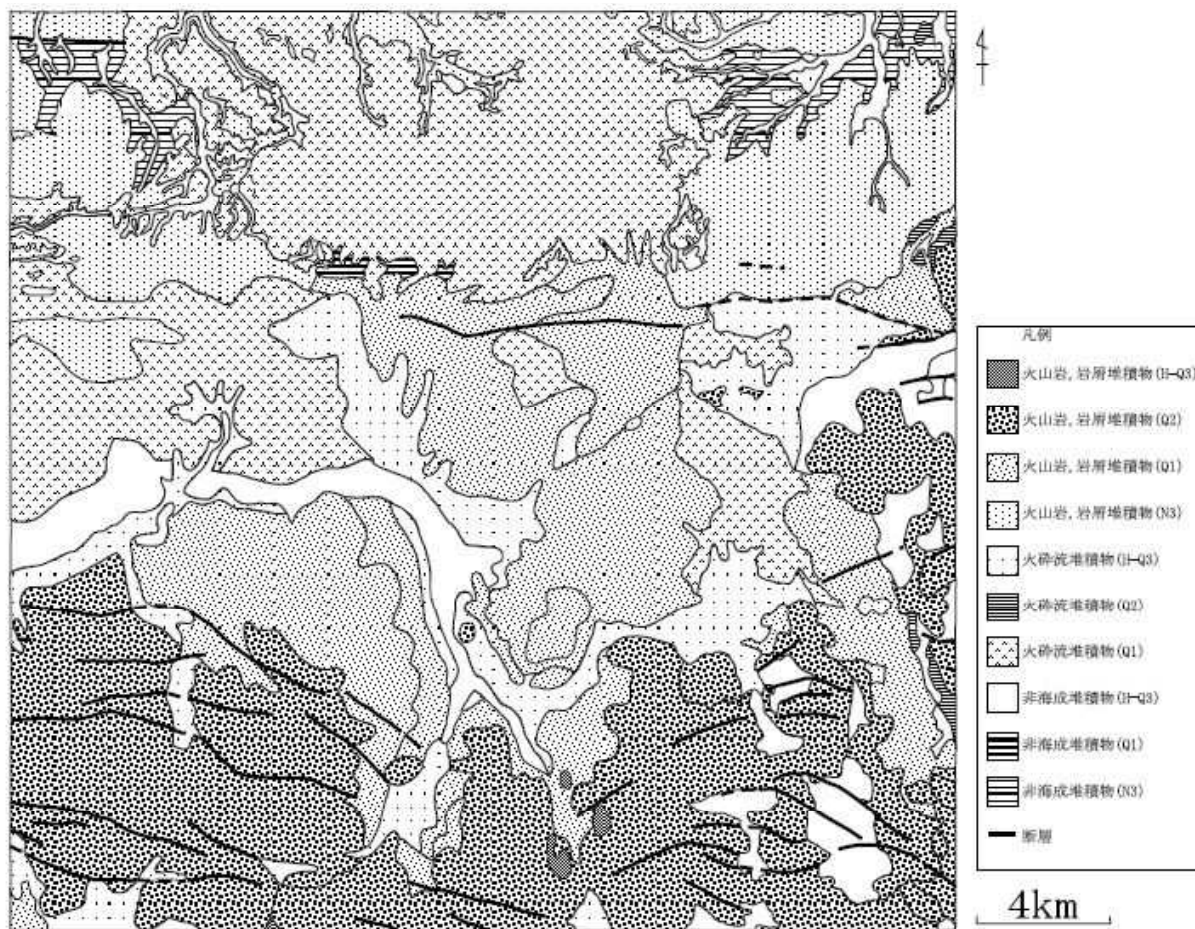


図2 調査領域の地質概略および断層（産総研シームレス地質図による）

3. 表層電気伝導度分布と地質・テクトニクスとの関係

図2に、調査領域の地質概略と断層を示す。この領域ではH（完新世、およそ1万8000年前以降）に噴出した火山岩は鹿伏牧場の西側に分布するのみである。一般的な傾向として、調査領域の南側ほど新しい噴出物・堆積物が分布しており、万年山の断層群以南、崩平山、福万山などは、Q2（中期更新世、約70万年前から15万年前まで）の火山岩である。図の中央部の万年山北部や青野山などは、Q1（前期更新世、約150万年前から70万年前まで）の火山岩、珍珠盆地の北側や青野山の東側、および領域の北側を占める耶馬溪などは、Q1の火砕流堆積物である。また、耶馬溪の東側および西側には、N3（後期中新世から鮮新世、約700万年前から150万年前まで）の火山岩が分布している。これらの領域の間の谷や低地の部分には、Q3（後期更新世、約15万年前から1万8000年前まで）の火砕流堆積物（主としてASO4）や完新世の非海成堆積物が見られる。Q1の火山活動は規模が大きく、火砕流堆積物も山体を形成しており、固結した堆積物となっている。記載されている断層の多くは、調査領域の南部にあり、別府万年山断層帯のうち野稻岳万年山断層帯と崩平山亀石山断層帯に分類されるが（地震調査研究推進本部, 2005）、北側の黒岳から福万山の北麓に記載されている日出生断層は、東の十文字原断層などにつながる別府湾日出生断層帯であり、松山伊万里構造線の一部になると考えられている。

図3は、図1の分布のうち100 μS/cm以上の領域にハッチを付けた図である。図1の特徴として指摘した低電気伝導度領域は、いずれも図2の火山岩の分布域に対応している。一方、高電気伝導度域は、

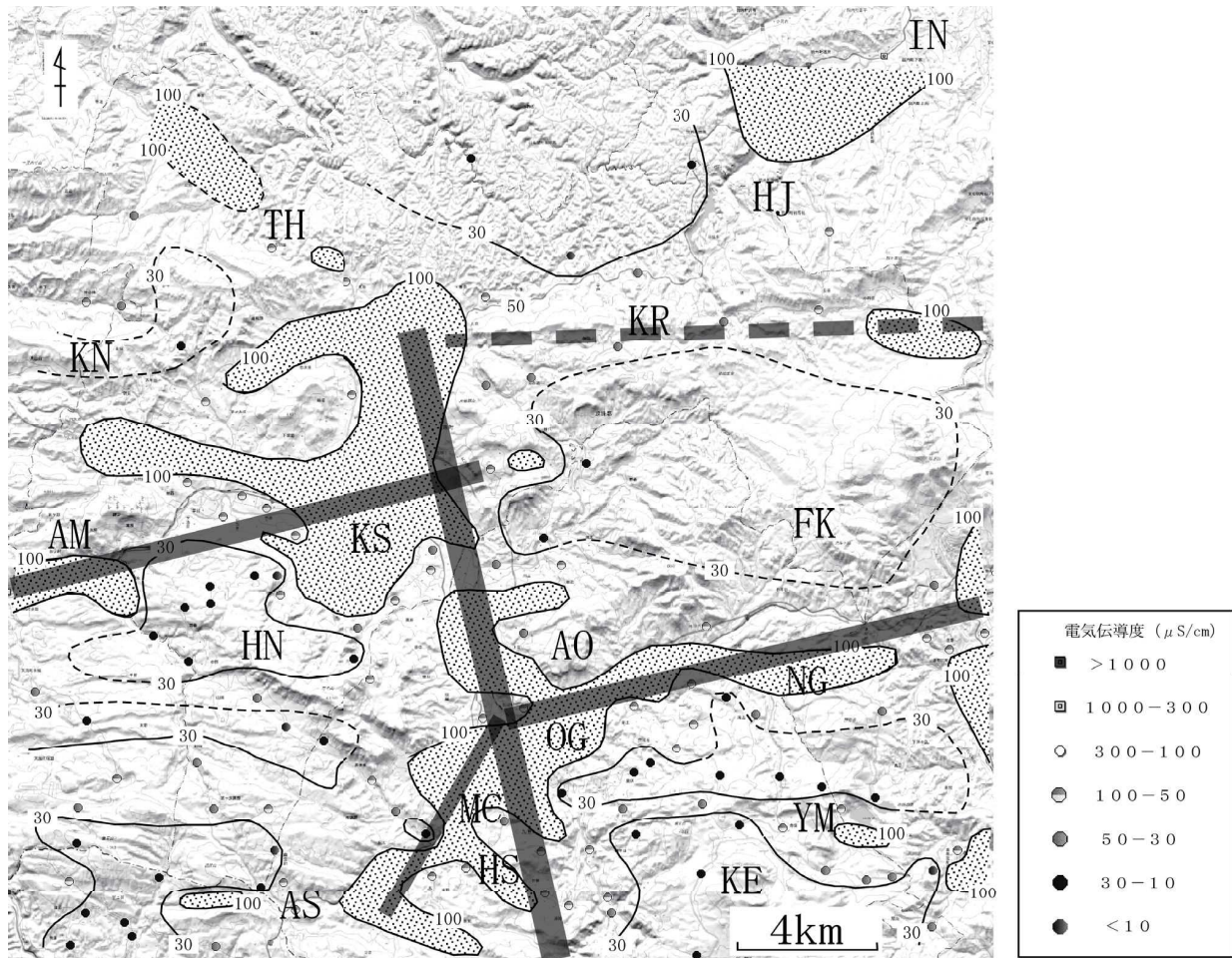


図3 万年山周辺の表層電気伝導度分布（単位は $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）と構造の概念図。

HN：万年山，AM：天ヶ瀬温泉，KS：玖珠町，AO 青野山，NG：野上川，YM：山下池 KE：崩平山，
OG：小倉岳，MC：町田川，HS：宝泉寺温泉，AS：麻生鶴温泉，FK：福万山，KN：月出山岳
TH：立羽田，KR：黒岳，HJ：日出生ダム，IN：院内町
(地図は、国土地理院のウォッチーズおよびカシミールによる)

福万山北麓，黒岳付近を東西に走る別府湾日出生断層帯よりも南側では，大部分はHの非海成堆積物およびQ3の火砕流堆積物に覆われた領域であり，火山岩からなるブロックとブロックの間に生じた低地に対応している．一方，小倉岳から南に延びる領域は，宝泉寺温泉や麻生鶴温泉の例に見られるようにQ2の火山体を切る断層に沿って高電気伝導度域が分布している．別府湾日出生断層帯以北の高電気伝導度域は，この断層帯に沿うもののほか，耶馬溪溶岩の周辺部において侵食された低地に対応している．特に，院内町に見られる高電気伝導度域は，北東方向に延びる傾向が見られ，宇佐市周辺の温泉分布とも関係していると予想される．

以上の結果をふまえて，玖珠町周辺の高電気伝導度域と構造線との関係を検討し，あわせてこの地域の地熱活動の熱源について検討した．第1の特徴として，玖珠町周辺は，由布院断層から野上川流域を経て小倉岳にいたる東北東-西南西の構造線と，玖珠町から天ヶ瀬温泉にいたる東北東-西南西方向の構造線が電気伝導度分布から示唆される．この2本の線は，調査域の南に位置している大分-熊本構造線とほぼ平行であることから中部九州のテクトニクスを反映した構造と考えられる．一方，この2本の

線とほぼ直交し小倉岳をとおる線（1本の線というよりもやや幅の広い帯状の領域）に沿って高電気伝導度が分布している。2本の構造線が右横ずれ的な動きをしているとすれば、小倉岳を通る帯状の領域にはプリアパート的な動きが期待され、ここに深部から熱水が供給される可能性が考えられる。一方で第2の特徴として、宝泉寺温泉の並び、麻生鶴温泉から川底温泉を経て町田牧場にいたる領域のほか、調査領域外であるが、岳湯からハゲノ湯を経て涌蓋山西側の山体崩壊部にいたる領域、奴留湯から山川温泉にいたる領域などの方向は西北西－東南東方向である。また、万年山や鹿伏山・崩平山等の火山体を切る構造線の方向も西北西－東南東方向である。この方向は、第1の特徴とした構造線の方向とは違っている。この違いがどのような理由で生じているか結論は得られていないが、西北西－東南東方向のテクトニックな運動がより古い時代を反映しており、現在の動きが東北東－西南西であるとすれば、上記に示した地下深部から供給された熱水が既存の古い構造線に沿って地表まで上昇していると解釈することが可能である。以上の議論で示してきた「構造線」は、断層として記載されていない。その理由は、これらの「構造線」が比較的新しい噴出物、堆積物に覆われた領域にあるため、断層として認識されていないと考えられる。たとえば野上川の沿う構造線は、断層と認識されていないが、最近地熱開発が始められている。

ここまでの議論では、当該地域においては、小倉岳から野上川に沿う構造線と玖珠盆地から天ヶ瀬温泉にいたる構造線、および両者を結び小倉岳を通る北北西－南南東方向の構造線において高電気伝導度が見られ、熱水が供給されていると考えている。しかしながら、北北西－南南東方向の高電気伝導度域はさらに北に伸びており、南にも伸びている（鍵山・他, 2016）。北への伸びは、別府湾日出生断層にぶつかる地点で止まっている。この断層は、松山伊万里構造線の一部であり中部九州のテクトニクスの境界部であると考えられていることから、本報告で議論している熱水の供給などは、この断層以南において起きているものと思われる。

4. まとめ

玖珠町周辺において VLF-MT による表層電気伝導度調査を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

玖珠町周辺では、これまでに明らかとなっている鶴見・伽藍・由布岳火山群、九重火山群および鹿伏山・崩平山等の火山群、万年山（鍵山・他, 2016）などと同じように、青野山等の火山群、福万山、月出山岳等の火山体、耶馬溪等の山体域では、低電気伝導度を示しており、山体が緻密で地下水をあまり含まない岩石からなっていることを示唆している。

一方、由布院断層から野上川流域を経て小倉岳にいたる東北東－西南西の構造線と、玖珠町から天ヶ瀬温泉にいたる東北東－西南西方向の構造線、およびその間を結び小倉岳をとおる帯状の領域で、高電気伝導度となっている。2本の構造線が右横ずれ的な動きをしているとすれば、小倉岳を通る帯状の領域にはプリアパート的な動きが期待され、ここに深部から熱水が供給される可能性が考えられる。宝泉寺温泉や麻生鶴温泉などは西北西－東南東方向の分布を示すが、西北西－東南東方向の運動がより古い時代を反映しており、地下深部から供給された熱水が既存の古い構造線に沿って地表まで上昇していると考えられる。

当該地域は、北の別府湾日出生断層（松山伊万里構造線）と南の大分熊本構造線にはさまれた中部九州のテクトニクスを反映した分布を示していると考えられる。

謝辞

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、大沢信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

鍵山恒臣・吉川 慎・宇津木 充・井上寛之 (2010) : 由布岳・由布院盆地周辺の表層電気伝導度分布, 大分県温泉調査研究会報告, **61**, 3-6.

鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎 (2014) : 大分県九重町周辺の表層電気伝導度分布, 大分県温泉調査研究会報告, **65**, 51-56.

鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎 (2016) : 大分県万年山周辺の表層電気伝導度分布, 大分県温泉調査研究会報告, **67**, 41-46.

地震調査研究推進本部 (2005) : 別府万年山断層帯の評価, 73p.

日本シームレス地質図, 産業技術総合研究所地質調査総合センター,
<https://gbank.gsj.jp/seamless/seamless2015/2d/>

後期高齢者の高濃度炭酸泉入浴と 筋トレによる高血糖者の糖代謝改善の基礎的研究

大分産業保健総合支援相談員
青野 裕 士

1. はじめに

筆者は、長湯温泉入浴による、高血糖者の糖代謝改善に関心を持ち、人工的に高濃度炭酸水を発生させ、有酸素運動と組み合わせて、高齢のⅡ型糖尿病患者で、糖代謝が改善するかの検討を行った。

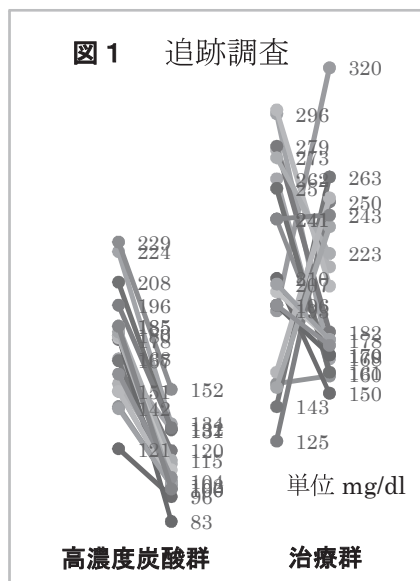
2. 対象と方法 あらかじめ診断のなされているⅡ型糖尿病り患の高齢者を対象として、週3回、1000ppm炭酸水の足湯と下腿中心の筋トレを行う介入群（高濃度炭酸群）とスルホニル尿素系、ビッグアニド系、DPP-4阻害剤を組み合わせた従来の薬物投与群（治療群）との比較を行い、介入開始から7週間後の糖代謝改善状況を比較した。対象者は、少なくとも2月以上療養して、特定の食事療法を行い、重大な合併症（感染症 肝障害 腎障害 心不全）を有しない高齢のⅡ型糖尿病患者であった。高濃度炭酸群、治療群はそれぞれ20人で、性差及び、前者86.6歳±8.9、後者86.6歳±9.9年齢差もなかった。糖代謝の指標は、空腹時血糖、総コレステロール、中性脂肪、遊離脂肪酸として、調査開始から介入7週目までに行い、必要な項目を図表に示した。人工高濃度炭酸水は、三菱ケミカルアクア・ソリューションズのカーボセラミニを使用し、下腿中心の筋トレは足ふみ歩行を中心に行った。

3. 結果

表 追跡調査での開始時から7週間後までの糖代謝の指標

高濃度炭酸群					治療群						
性別	既往歴	血糖値 mg/dl	総コレステロール mg/dl	中性脂肪 mg/dl	遊離脂肪酸 mEq/l	性別	既往歴	血糖値 mg/dl	総コレステロール mg/dl	中性脂肪 mg/dl	遊離脂肪酸 mEq/l
男	65 糖尿病 腎臓病 腎臓病	166 ↓ ↓ 131	156 ↓ ↓ 146	145 ↓ ↓ 119	0.363 ↓ ↓ 0.331	男	66 糖尿病 脳梗塞 脳梗塞	262 ↓ ↓ 160	146 ↓ ↓ 154	131 ↓ ↓ 145	0.352 ↓ ↓ 0.342
男	70 糖尿病	151 ↓ 104	168 ↓ 155	120 ↓ 130	0.352 ↓ 0.331	男	74 糖尿病	193 ↓ 320	152 ↓ 152	120 ↓ 135	0.351 ↓ 0.364
女	85 糖尿病	155 ↓ 113	168 ↓ 154	140 ↓ 145	0.373 ↓ 0.341	女	98 心不全	277 ↓ 216	152 ↓ 140	118 ↓ 145	0.350 ↓ 0.389
女	83 糖尿病	224 ↓ 134	173 ↓ 153	117 ↓ 118	0.364 ↓ 0.350	女	88 糖尿病	296 ↓ 168	168 ↓ 163	82 ↓ 95	0.374 ↓ 0.373
女	86 糖尿病 心不全	143 ↓ ↓ 102	152 ↓ ↓ 146	118 ↓ ↓ 108	0.395 ↓ ↓ 0.374	女	101 糖尿病	155 ↓ ↓ 159	170 ↓ ↓ 157	118 ↓ ↓ 120	0.385 ↓ ↓ 0.341
女	87 糖尿病	229 ↓ ↓ 152	165 ↓ ↓ 159	140 ↓ ↓ 116	0.394 ↓ ↓ 0.380	女	70 糖尿病	241 ↓ ↓ 170	162 ↓ ↓ 165	100 ↓ ↓ 117	0.368 ↓ ↓ 0.410
女	92 糖尿病	178 ↓ ↓ 120	162 ↓ ↓ 146	120 ↓ ↓ 106	0.454 ↓ ↓ 0.451	女	89 糖尿病	279 ↓ ↓ 182	140 ↓ ↓ 153	85 ↓ ↓ 119	0.342 ↓ ↓ 0.386
女	90 糖尿病	208 ↓ ↓ 131	163 ↓ ↓ 154	108 ↓ ↓ 100	0.364 ↓ ↓ 0.350	女	96 糖尿病	257 ↓ ↓ 161	147 ↓ ↓ 168	96 ↓ ↓ 104	0.345 ↓ ↓ 0.358
女	76 糖尿病	196 ↓ ↓ 132	155 ↓ ↓ 140	104 ↓ ↓ 100	0.364 ↓ ↓ 0.342	女	91 糖尿病	125 ↓ ↓ 250	162 ↓ ↓ 157	80 ↓ ↓ 82	0.407 ↓ ↓ 0.423
女	98 糖尿病 心不全	167 ↓ ↓ ↓ 100	162 ↓ ↓ ↓ 162	120 ↓ ↓ ↓ 107	0.398 ↓ ↓ ↓ 0.368	女	85 糖尿病 心不全	143 ↓ ↓ ↓ 263	157 ↓ ↓ ↓ 152	93 ↓ ↓ ↓ 100	0.420 ↓ ↓ ↓ 0.427
女	85 糖尿病	121 ↓ ↓ 96	168 ↓ ↓ 175	109 ↓ ↓ 100	0.421 ↓ ↓ 0.397	女	86 糖尿病	210 ↓ ↓ 150	140 ↓ ↓ 147	85 ↓ ↓ 99	0.342 ↓ ↓ 0.346
女	99 糖尿病	180 ↓ ↓ ↓ 83	167 ↓ ↓ ↓ 177	115 ↓ ↓ ↓ 100	0.380 ↓ ↓ ↓ 0.364	女	95 糖尿病	196 ↓ ↓ ↓ 170	162 ↓ ↓ ↓ 165	70 ↓ ↓ ↓ 82	0.444 ↓ ↓ ↓ 0.451
女	93 糖尿病	161 ↓ ↓ 104	157 ↓ ↓ 140	85 ↓ ↓ 82	0.366 ↓ ↓ 0.345	女	85 糖尿病	298 ↓ ↓ 206	167 ↓ ↓ 168	106 ↓ ↓ 109	0.407 ↓ ↓ 0.427
女	83 糖尿病	185 ↓ ↓ 115	190 ↓ ↓ 140	82 ↓ ↓ 70	0.385 ↓ ↓ 0.354	女	88 糖尿病	273 ↓ ↓ 223	171 ↓ ↓ 180	90 ↓ ↓ 100	0.407 ↓ ↓ 0.423
女	87 糖尿病	179 ↓ ↓ 110	169 ↓ ↓ 153	83 ↓ ↓ 85	0.341 ↓ ↓ 0.354	女	87 糖尿病	203 ↓ ↓ 178	153 ↓ ↓ 174	88 ↓ ↓ 115	0.451 ↓ ↓ 0.454
女	93 糖尿病	180 ↓ ↓ 103	171 ↓ ↓ 140	82 ↓ ↓ 80	0.423 ↓ ↓ 0.410	女	67 糖尿病	161 ↓ ↓ 252	162 ↓ ↓ 177	100 ↓ ↓ 120	0.398 ↓ ↓ 0.423
女	80 糖尿病	162 ↓ ↓ 104	168 ↓ ↓ 153	85 ↓ ↓ 80	0.398 ↓ ↓ 0.390	女	92 糖尿病	163 ↓ ↓ 237	153 ↓ ↓ 165	93 ↓ ↓ 110	0.358 ↓ ↓ 0.386
女	87 糖尿病	142 ↓ ↓ 102	155 ↓ ↓ 147	99 ↓ ↓ 93	0.421 ↓ ↓ 0.407	女	91 糖尿病	207 ↓ ↓ 178	177 ↓ ↓ 175	109 ↓ ↓ 107	0.350 ↓ ↓ 0.385
女	89 糖尿病	160 ↓ ↓ 108	174 ↓ ↓ 157	105 ↓ ↓ 96	0.344 ↓ ↓ 0.380	女	95 糖尿病	196 ↓ ↓ 175	140 ↓ ↓ 171	90 ↓ ↓ 100	0.410 ↓ ↓ 0.427
女	93 糖尿病	185 ↓ ↓ 100	171 ↓ ↓ 140	110 ↓ ↓ 85	0.368 ↓ ↓ 0.331	女	90 糖尿病	241 ↓ ↓ 243	174 ↓ ↓ 190	82 ↓ ↓ 115	0.447 ↓ ↓ 0.454

図1 追跡調査



空腹時血糖は、血糖自己測定装置を利用でき、容易に測定可能なレベルであった。空腹時血糖値は足湯開始1月後に効果を示し、図1に示す介入開始から、7週間には、高濃度炭酸群では、62.1mg/dlも降下を示し、治療群に比べ、有意な降下を見た。同様に、総コレステロール、中性脂肪、遊離脂肪酸も、それぞれ、15.5mg/dl、8.45ng/dl、0.168mEq/lと介入開始から、7週間の間に有意な降下が見られた。

下腿中心の筋トレは、図2示す模式図のような足ふみ運動を行った。

図2 足ふみ運動

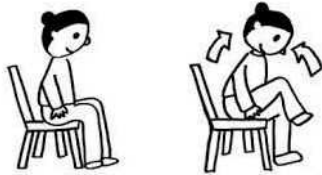


図3



図4



週3回、1000ppm炭酸水の足湯と下腿中心の筋トレを行う追跡群の中で、特に、心不全も合併した87歳女性ではあったが、高濃度炭酸水と筋トレの感受性が高く、介入開始1月後から、左足の腫れが引き、足背にも皺ができ(図3)、さらに、介入開始2月後には、左下腿と左足の腫れも引き、右側とほぼ同じ大きさとなった(図4)。足背に皺が十分にできるようになって、空腹時血糖値も100ng/dlを切った。歩行も、自発的に行えるようになった。

当該者は、4年前に、脳出血を発症し、3年前には、左大腿部脛部骨頭骨折に伴う人工関節修復していて、機能回復には、相当の経過を要すると考えられおり、予想外の回復でした。

糖代謝改善の状況は、高濃度炭酸群と治療群との比較でも明らかで、介入開始から、7週後に、後者の平均空腹時血糖203.11ng/dlに対し、前者112.1ng/dlと有意に低い値($p<0.001$)となった。同様に、後者の平均総コレステロール166.3ng/dlに対し、前者151.8ng/dlと有意に低い値($p<0.01$)であった。後者の平均中性脂肪は、110.5ng/dlに対し、前者100.9ng/dlと有意に低い値($p<0.05$)であった。さらに、遊離脂肪酸では、後者の平均値0.396mEq/lに対し、前者0.366mEq/lと有意に低い値($p<0.05$)であった。

4. 考察

高齢のII型糖尿病患者を対象として、人工的に高濃度炭酸水を発生させ、有酸素運動と組み合わせで足湯をすることで、糖代謝が改善するかどうかの介入研究を行った。幸いに、希望者を募ることができ、高齢者を対象とした糖代謝改善のメカニズムを検討することができた。空腹時血糖は、介入開始1月後には降下を示し、36.4mg/dl(26.4%)の降下を見た。総コレステロールも同様に、介入開始前は167.3ng/dlで、1月後に降下のピークを示し、前後で24ng/dl(10.9%)を示した。中性脂肪も同様に介入開始前109.4ng/dlだったが、介入開始後、週を追うごとに降下を示し、8週間後では、30%程の高い降下度を示し、血糖降下よりも1週間遅れた降下現象がみられた。遊離脂肪酸介入開始時0.382でmEq/lで、7週間後には、30%の下降を示した。遊離脂肪酸の下降は、中性脂肪、空腹時血糖の下降と平行性があった。高濃度炭酸水と有酸素運動と組み合わせによる、短時間の介入により、糖代謝の改善へと導かれた。過剰なサイトカインの活動が抑えられ、脂質代謝の改善につながったことが示唆された。

長湯温泉の1300ppmの単純二酸化炭素泉(温度33.8℃ pH.6)に泉浴するとCO₂の気泡が肌に付着し、泉浴に浸った部分では皮膚の血液量が増加し、肌が赤くなり(皮膚潮紅)、末梢血管拡張作用、皮膚血液量増加が起こり、温感持続作用も起こること、さらに、冷感麻痺作用(暖かさも冷たさも感じない不感温度の低下による効果)も明らかにされている。すでに、末梢血管の内皮細胞の柔軟性が起こることも証明されており、結果として、降圧剤なしで、高齢者にもなじんだ血圧が保持されることも明らかにされている。さらに、炭酸泉は、泉浴による血圧の上昇を抑制し、疲労回復の促進などの効果があることも知られている。糖尿病患者の虚血に対して血流量改善効果や褥瘡の改善に効果的であることも次第に明らかになってきている。

参考文献

大河内正一 生きている温泉とは何か。身体にやさしい生体に近い水を検証する くまざさ出版