

関東平野における塩化物泉の水質形成機構－続成変質による間隙水の進化－

Fluid formation mechanism of deep chloride hot spring waters from the central Kanto Plain,
Central Japan

*村松 容一¹

*Yoichi Muramatsu¹

1.東京理科大学

1.Tokyo University of Science

関東平野中央部の上総層群相当層と安中・安房層群相当層を貯留母岩にする高塩泉の化学成分と酸素 ($\delta^{18}O$)・水素 (δD) 安定同位体比を分析した結果に、公表論文などの分析値を加えて (合計90地点)、埋没続成変質による海水起源の間隙水の進化の視点に立って塩化物泉の水質形成機構を検討した。

本地域の塩化物泉は化石海水とNa-HCO₃型降水起源水の混合によって形成されたものであり、化学成分をみると現海水に比してMg²⁺とSO₄²⁻に乏しくCa²⁺とNa⁺に富む特徴は両層の化石海水に共通するが、安中・安房層群相当層の化石海水のB濃度は高く、K⁺濃度は低い。一方、安定同位体比をみると上総層群相当層の化石海水の $\delta^{18}O$ 値は現海水より低いが、安中・安房層群相当層は高い。

このような化学成分および安定同位体比の特徴は、両層に閉じ込められた海水が埋没続成変質を受けて次のように進化することによって合理的に説明される。有機物を含む海底泥質堆積物に閉じ込められた海水は埋没過程で硫酸還元反応を受けるとともに、陸域で地下に涵養された降水が深部を側方流動する過程で火山性物質の風化作用を受けて変質した降水起源水によって種々の程度に希釈された。さらに、方解石セメント化、海底堆積物中の火山性物質およびNa-ス멕タイトのMg-ス멕タイト化を受けて、現海水よりMg²⁺とSO₄²⁻に乏しくCa²⁺とNa⁺に富む間隙水に進化した。その後、上総層群相当層より貯留層温度が高い安中・安房層群相当層ではMg-ス멕タイトのイライト化が進行し、間隙水のB濃度の上昇とK⁺濃度の低下が進んだ。上総層群相当層を貯留母岩にする化石海水における現海水に比した $\delta^{18}O$ 値のマイナスシフトは火山性物質のス멕タイト化、安中・安房層群相当層のプラスシフトはス멕タイトのイライト化にそれぞれ起因する。

キーワード：関東平野中央部、塩化物泉、続成変質

Keywords: Central Kanto Plain, chloride hot spring water, diagenetic evolution

群馬県南東部における地下水のヘリウム同位体に関する研究

Helium isotopes in groundwaters in the southeast part of the Gunma Prefecture, Japan.

*森川 徳敏¹、安原 正也²、稲村 明彦¹、高橋 正明¹、林 武司³、宮越 昭暢¹*Noritoshi Morikawa¹, Masaya Yasuhara², Akihiko Inamura¹, Masaaki Takahashi¹, Takeshi Hayashi³, Akinobu Miyakoshi¹

1.産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門、2.立正大、3.秋田大

1.Geological Survey of Japan, AIST, 2.Rissho University, 3.Akita University

関東平野には、高塩化物イオン濃度 (Cl^-) によって特徴づけられる地下水が、主に1) 埼玉県東部の平野部 (関東平野中央域)、2) 群馬県南東部の太田市から館林市にかけての地域、3) 茨城県南部から千葉県北部にかけての小貝川・利根川沿いの地域などにおいて認められる。

関東平野中央域のいわゆる元荒川構造帯内の水源井 (上部-中部上総層群相当層; 深さ200 - 430 m程度) においては、高塩濃度地下水はヘリウム-4 (^4He) 濃度が高い傾向にあり、 ^4He 濃度と Cl^- 濃度により正の相関が見られている。また、群馬県南東部の太田市から館林市にかけての地域の水位観測井においても、元荒川構造帯内の地下水と類似した ^4He - Cl^- 濃度の相関およびヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$) の特徴が観測された (森川ほか、2014)。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ の特徴は、帯水層起源Heとは異なり、ある程度のマントル起源Heを含む。また、He- Cl^- 濃度の相関は天水成分と類似したHe/ Cl^- 比を持つ高塩濃度成分との混合であることが示唆され、この2地域の高 Cl^- 濃度成分は共通の過程を経て形成されたものと思われる。ただし、群馬県南東部においては関東平野中央域に比べるとHe- Cl^- 間の相関はやや薄く、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ もややばらつく結果が水位観測井から得られていた。

本発表では、この群馬県南東部の地下水の Cl^- 濃度の分布、He同位体の特徴をより詳細に調べるために各市町村所有の水源井および、温泉掘削井について調査を行った結果を報告する。群馬県南東部の水源井より採取した地下水は ^4He 濃度と Cl^- 濃度に大まかな正の相関が見られ、観測井から採取した以前の結果 (森川ほか、2014) や、関東平野中央域 (森川ほか、2006) と類似した結果が得られた。ただし、この特徴は利根川左岸の西北西に延びる長さ約15km・幅5km程度で、それよりも東西および北方側ではこの関係がうすれ、 ^4He 濃度も低くなる傾向が見られた。関東平野中央部や群馬南東部に見られた高 ^4He 地下水の地下水はこのあたりを北限とし、この地域での深層の地下構造と関連していると思われる。

引用文献：森川ほか (2006) 日本地球惑星科学連合2006年大会, H121-004、森川ほか (2014) 日本地球惑星科学連合2014年大会, AHW25-12

キーワード：ヘリウム、地下水、利根川、関東平野、塩化物イオン、希ガス

Keywords: Helium, Groundwater, Tone River, Kanto Plain, Chloride Ion, Noble Gas

富士山麓の井水の安定同位体比および水質の特徴

Isotopic and chemical characteristics of well waters around Mt. Fuji

*谷口 無我¹、大場 武¹、三五 康介¹*Muga Yaguchi¹, Takeshi Ohba¹, Kosuke Sango¹

1. 東海大学理学部化学科

1. Department of Chemistry, School of Science, Tokai University

【はじめに】

富士山の地下水に関してはこれまでに多数の研究が取り組まれており、近年では従来難透水層と考えられてきた古富士火山体や第三紀の海成堆積岩・海底噴出の火山岩類で構成される富士山の基盤中にも地下水が賦存していることが分かってきた(例えば、安原ほか, 2007; Gmati et al., 2011; Yaguchi et al., 2016). 深部の地下水の起源や流動機構を明らかにするためには、温泉井の様な深井戸から得られる地下地質や地下水の水質、安定同位体比などの情報が有力な手がかりとなる。著者らは富士山麓の深層地下水の起源や水質形成の要因を考察することを目的として富士山麓の複数の掘削井や湧水試料の主要成分および水素・酸素-安定同位体比(δD ・ $\delta^{18}O$)を分析したので、その経過を報告する。

【方法】

試料水は富士山麓の温泉井を含む掘削井14箇所(孔底深度4~1,500m)、自然湧水4箇所から採取した。試料水の HCO_3^- 濃度は塩酸滴定法によるメチルオレンジアルカリ度から算出し、主要な陰イオンはイオンクロマトグラフ法、陽イオンは原子吸光法で分析した。試料水の水素・酸素安定同位体比(δD ・ $\delta^{18}O$)の分析にはキャピティリングダウン分光分析法を使用した。

【結果および考察】

試料水の δD 、 $\delta^{18}O$ 値はそれぞれ-86.4 ~ -49.6‰, -11.6 ~ -7.6‰の範囲であり、同位体比と試料採取地の標高には負の相関が認められた。全ての試料水の δD と $\delta^{18}O$ 値の関係は $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 12$ であり、世界天水線($\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 10$; Craig, 1961)および富士山周辺の天水線($\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 15.1$; 安原ほか, 2007)に近く、 δD および $\delta^{18}O$ の高度効果はそれぞれ-3.5%/100m, -0.43%/100mと富士山山腹の雨雪で観測された高度効果(δD で-3.5%/100m, $\delta^{18}O$ で-0.4%/100m; 早稲田・中井, 1983)と同程度であった。トリリニアダイヤグラムに基づいた水質分類では試料水の水質は井戸深度や湧出地の地質によって異なり、湧水や比較的浅い井戸(~15m程度)ではCa- HCO_3 型、中程度の深度の井戸(~200m程度)ではmixed cation- HCO_3 型、さらに深い井戸ではCa-Na- SO_4 ・Cl型およびNa-Ca- SO_4 ・ HCO_3 型ないしそれらの中間的な水質型に属するものが多かった。深井戸の水質は本邦のグリーンタフ地域の熱水の化学的特徴(Sakai and Matsubaya, 1974)に類似しており、富士山地域の基盤岩を構成する海成の堆積岩・海底噴出の火山岩類に由来すると考えられた。今後は掘削井の温度検層の記録やスクリーン深度の解析、帯水層の構成鉱物の同定などに取り組み、地下水の涵養域や水質形成機構等を詳細に検討する必要がある。

キーワード：富士山、井水、温泉水、水素・酸素安定同位体、水質

Keywords: Mt. Fuji, well water, hot spring water, stable isotope ratio (δD ・ $\delta^{18}O$), water quality

河口湖で新たに見つかった湖底湧水とその同位体的特徴

Stable water isotope characteristics of the newly discovered lake bottom springs from Lake Kawaguchi, in the northern foot of Mount Fuji

*山本 真也¹、中村 高志²、内山 高¹

*Shinya Yamamoto¹, Takashi Nakamura², Takashi Uchiyama¹

1.山梨県富士山科学研究所、2.山梨大学大学院・国際流域環境研究センター

1.Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, 2.International Research Center for River Basin Environment, University of Yamanashi

河口湖では古くから湖底湧水の存在が示唆されてきたが、その分布や起源についてはいずれも推定の域を出ないのが現状であった。本研究ではこうした河口湖の湖底湧水の実態を探るため、CTD計による詳細な水質調査と底層水の水安定同位体比分析を行った。その結果、鵜の島東の湖底（水深約8m）、25メートル四方の範囲において、水質異常が確認され、湖底湧水の存在が示唆された。底層水の水同位体比は、湧水地周辺で概して低く、湖周辺の山地で涵養された地下水の影響を受けていることを示唆している。

キーワード：富士五湖、湧水、水安定同位体

Keywords: Fuji Five Lakes, springs, stable water isotopes

柿田川湧水における⁸⁵Krを用いた地下水年代の推定

Groundwater age determination by using ⁸⁵Kr in groundwater at the Kakitagawa spring water in Mt. Fuji spring discharge area

*利部 慎¹、松永 緑³、小野 昌彦²、町田 功²、井川 怜欧²、嶋田 純³、百島 則幸⁴

*Makoto Kagabu¹, Midori Matsunaga³, Masahiko Ono², Isao Machida², Reo Ikawa², Jun Shimada³, Noriyuki Momoshima⁴

1.長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科、2.産業技術総合研究所、3.熊本大学大学院自然科学研究科、4.九州大学アイソトープ総合センター

1.Graduate School of Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki University, 2.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 3.Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, 4.Radioisotope Center, Kyushu University

本研究は富士山地域を代表する湧水である柿田川湧水を対象として、数ヶ月～年スケールでの年代測定が可能で且つ人為的な濃度付加や流動過程での濃度分解の影響を受けないとされるクリプトン85（以下、⁸⁵Kr）による年代測定法を適用し、同地域における適用可能性を確認するとともに、詳細な地下水年代を明らかにすることを目的として実施した。その結果、柿田川湧水の⁸⁵Kr濃度として 1.022 ± 0.028 Bq/m³-airが得られ、地下水年代（平均滞留時間）は 5.2 ± 0.4 年と推定された。この地下水年代は、先行研究により他の手法（³H、希ガス、CFCs、³⁶Cl/Cl and ²²⁸Ra/²²⁶Ra）を用いて推定された年代と比較して、より年代幅が限定され、かつ精度の高い値であった。本手法の現地適用性が実証され詳細な年代推定が確認されたことから、当該地域の水循環・流動機構に対して時間スケールを定めることができ、今後の研究展開の可能性を大いに広げる結果といえる。

キーワード：クリプトン85、地下水年代、柿田川湧水

Keywords: Krypton-85, Groundwater age dating, Kakitagawa spring water

被圧地下水の塩水化に関する定量評価－硫黄および塩素安定同位体を指標として－

Investigation of salinization processes in a confined aquifer system; Application of sulfur and chlorine stable isotopes

*山中 勝¹

*Masaru Yamanaka¹

1. 日本大学 文理学部 地球科学科

1. Department of Earth and Environmental Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University

塩水化が顕著に認められる濃尾平野南西地域の被圧帯水層を対象に、水質データに加えて硫黄および塩素安定同位体組成($d^{34}\text{S}$, $d^{37}\text{Cl}$)を指標とすることで塩水化プロセスの定量評価を試みた。深度50 m前後の帯水層では、高Cl濃度(>1000mg/L)の地下水が沿岸域から内陸部に向けて舌状に分布する。この塩水化地下水について SO_4/Cl 濃度比および $d^{34}\text{S}$ 値の関係から検討を行った結果、塩水成分としては大きく二つ存在すると解釈された。この一つは現世海水であり、もう一つは SO_4^{2-} を含まない海水である。この海水は粘土層中で硫酸還元反応により SO_4^{2-} が失われた古海水と解釈される。両海水起源のCl⁻濃度と $d^{37}\text{Cl}$ 値の関係を検討した結果、現世海水起源のCl⁻は $d^{37}\text{Cl}$ 値について同位体分別をほとんど受けていないのに対し、古海水起源のCl⁻は現世海水から同位体分別を受けた負の値を持つことが示された。拡散プロセスによるClの同位体分別の見積りを行った結果、本域で確認された塩水化地下水の $d^{37}\text{Cl}$ 値は古海水起源のCl⁻が淡水成塊状粘土層中で拡散を受けることで十分再現できることが示された。以上のことから、古海水は硫酸還元反応により SO_4^{2-} を失うとともに、淡水成粘土層である濃尾層中で拡散プロセスを受け、これが過剰揚水により絞り出されたと考えられる。

キーワード：古海水、拡散、被圧帯水層

Keywords: paleo seawater, diffusion process, confined aquifer

内陸で湧出するCl⁻に富む温泉の起源および流動経路—山口市湯田温泉の例—
Origin of saline hot spring and flow system of inland hot spring
- Case study on the Yuda hot spring in Yamaguchi City -

*西山 成哲¹、田中 和広¹、鈴木 浩一²、高橋 浩³

*Nariaki Nishiyama¹, Kazuhiro Tanaka¹, Koichi Suzuki², Hiroshi Takahashi³

1.山口大学大学院理工学研究科、2.電力中央研究所、3.産業技術総合研究所

1.Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University, 2.Central Research Institute of Electric Power Industry, 3.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

山口市の湯田温泉はアルカリ性単純温泉であり、1日の湯量が2,000 tと豊富である。湯田温泉の水質はNa⁺およびCl⁻に富むことが報告されており、この成分の起源は不明である。本研究では湯田温泉の水質形成プロセスや起源、温泉水の上昇経路を明らかとするために、温泉水の詳細な水質・同位体分析、地質調査および物理探査を行った。

湯田温泉の岩盤温泉水は全てNaCl型を、浅層温泉水はNaCl型およびNaHCO₃型の2種類の水質を示す。岩盤温泉水の酸素・水素同位体比は天水線付近にプロットされ、天水が起源と考えられる。岩盤温泉水および浅層温泉水の一般水質および酸素・水素同位体比の関係から、NaCl型の浅層温泉水は、岩盤温泉水とNaHCO₃型の浅層温泉水との混合により形成されたと考えられる。また、岩盤温泉水のLi/Cl比は0.001程度であり、泉源の深度や温度に依存することなく一定の値を示す。このLi/Cl比は現海水のLi/Cl比とは異なるため、現海水が湯田温泉の水質形成に関与しているとは考えにくい。また、岩盤温泉水中のHCO₃⁻の炭素同位体比は、土壌起源以外の炭素の混入を示しており、マグマ起源に近い値を取る。これらの特徴は火山性流体やスラブ起源の深部流体の特徴と類似する。しかし、He同位体比 (0.202 Ra; 安川・田中, 2008) やLi同位体比 (+10.84‰; 西尾 私信) は、現在、マントルなどの地下深部からの物質 (ガスおよび水) 供給がない事を示している。この地化学的特徴から、火山性流体もしくはスラブ起源の深部流体が天水起源の温泉水に供給された後、湯田温泉地下で停滞したため、岩石との同位体交換反応が進み、現在の湯田温泉の水質が形成されたと考えられる。また、Li同位体比から、温泉水が経験した最高温度は約70 °Cと求められ、現在の泉温とほぼ同じである事が明らかとなった。

温泉水の分布を明らかにするため実施したCSAMT (Controlled Source Audio frequency Magneto-Telluric) 法による比抵抗調査の結果、基盤面は比抵抗断面において可視化できたが、温泉水の分布を示す比抵抗分布は得られなかった。ボーリングコア観察の結果、コアの大部分を硬質な泥質片岩および砂質片岩が占めており、割れ目はほとんど認められなかった。一方、幅約1 mの貫入岩およびその周辺部で割れ目が卓越することから、貫入岩が温泉水の流動経路となっている可能性がある。岩盤と地下水の比抵抗値をそれぞれ仮定して数値解析を実施した結果、幅1 m程度の水みちをCSAMT法で検出する事は難しい事が明らかとなった。そのため、温泉水の分布がCSAMT法による比抵抗の分布に反映されなかったものと考えられる。

以上のことから、温泉水は、割れ目の発達した貫入岩などを通路として一気に上昇したのと考えられる。その際、過去に地下深部からもたらされたCl⁻を取り込み、温泉水の水質を形成しているものと考えられる。

キーワード：深部流体、塩化物泉、湯田温泉

Keywords: Deep-seated fluid, saline hot spring, Yuda hot spring

ナミビア北中部の季節湿地域における降水と浅層地下水の起源解析

Analyzing origin of rainwater and shallow groundwater in seasonal wetlands of north-central Namibia

*檜山 哲哉¹、金森 大成¹、Kambatuku Jack²、浅井 和由³、飯嶋 盛雄⁴

*Tetsuya Hiyama¹, Hironari Kanamori¹, Jack R. Kambatuku², Kazuyoshi Asai³, Morio Iijima⁴

1.名古屋大学宇宙地球環境研究所、2.ナミビア大学農業天然資源学部、3.株式会社 地球科学研究所、4.近畿大学農学部

1.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 2.Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Namibia, 3.Geo Science Laboratory, 4.Faculty of Agriculture, Kinki University

This study discussed on origin of rain- and subsurface-water (or shallow groundwater) in seasonal wetlands of north-central Namibia, which is locally called as the Cuvelai system seasonal wetlands (CSSWs). In order to do this, stable water isotopes (SWIs) of hydrogen and oxygen in rain-water, surface-water and subsurface-water were analysed. Especially rain-water samples were taken from all rainfall events in a whole wet season from October 2013 to April 2014. Then the isotopic ratio of SWIs in each rain-water sample was analyzed and used to derive annual mean value of the isotopic ratio of SWIs in precipitation weighted by each rainfall amount. This annual mean value was revealed to be a good indicator in order to detect how subsurface-water in CSSWs formed in the region through the use of delta diagram. Consequently the SWIs analysis in rain-, surface-, and subsurface-water revealed that shallow groundwater of small wetlands in the region was very likely to be recharged from surface-water, source of which was local rain-water and was temporary pooled in the lowest part of each small wetland. This was supported from the tritium counting of the current rain- and subsurface-water in the region. In order to confirm the origin of rain-water, atmospheric water budget analysis was also conducted using an atmospheric reanalysis data. From this analysis, it was found that around three-fourths of rain-water was derived from recycled water in local-regional scales.

キーワード：大気水収支、水安定同位体、水-食料安全保障

Keywords: atmospheric water budget, stable water isotopes (SWIs), water-food security

Spatial and temporal variations of stable isotopes in precipitation across Cameroon: The first Cameroon Meteoric Water Line

*Mengnjo Jude Wirmvem¹, Brice Tchakam Kamtchueng², Engome Regina Wotany³, Wilson Yetoh Fantong², Justice Yuven Suila⁴, Asobo Nkengmatia Elvis Asaah⁵, Takeshi Ohba¹, Samuel Ndonwi Ayonghe³

1.Sch. of Sci, Tokai Univ., 2.IRGM, Cameroon, 3.Dep. of Environ. Sci., Fac. of Sci., Univ. of Buea, 4.GBHS Atiela, Nkwen, 5.Dep. of Earth & Planet. Sci., Tokyo Inst. of Technol.

Stable hydrogen and oxygen isotopes in precipitation are valuable tools in groundwater recharge studies and the study of atmospheric moisture sources/circulation. Despite their significance, the isotopic data on rainfall is limited in most regions of Cameroon. Accordingly, the stable isotopes in over 290 monthly rain samples from 2012 to 2015 in 15 locations/stations across Cameroon are being investigated. The rain sampling stations have been grouped into four regions as a function of distance from the Atlantic Ocean and elevation. These are the coastal (<100 km from the sea), inland (>100 km from the sea), highland (>244 km from the sea and >1000 m asl) and further inland (>600 km from the sea) regions. The primary objective is to produce local/regional meteoric water lines (L/RMWLs) over Cameroon and subsequently the Cameroon Meteoric Water Line (CMWL). Other goals are to describe the temporal and spatial variations in stable isotopes of the rainfall and their relationship to annual precipitation cycle and determine the main controls on isotopic variations. Present results reveal a very wide range in $\delta^{18}\text{O}$ and δD from -9.43‰ and -65.61‰ at high elevations in Kumbo (1715 m) to 3.86‰ and 38.61‰ in the Ndop plain, respectively. The significant variation suggests various controls on the isotopic composition of the rain. Rain stations (Mutengene, Douala, Lobe, Mundemba and Kumba) in the coastal region gives $\delta\text{D} = 7.87\delta^{18}\text{O} + 13.20$ ($R^2 = 0.96$, $n = 90$) as the RMWL. The relationship: $\delta\text{D} = 8.21\delta^{18}\text{O} + 14.40$ ($R^2 = 0.95$, $n = 51$) defines the RMWL for the inland stations (Mamfe, Yaounde and Bertoua). At the Bamenda Highland stations (Bamenda, the Ndop plain, Ndawara Tea Estate, Wum, Kumbo and Nkambe), the RMWL is defined by $\delta\text{D} = 8.07\delta^{18}\text{O} + 14.50$ ($R^2 = 0.98$, $n = 139$). Two stations (Ngaoundere and Garoua) further inland in northern Cameroon give a RMWL: $\delta\text{D} = 6.72\delta^{18}\text{O} + 5.21$ ($R^2 = 0.99$, $n = 10$) with a relatively lower slope and d-intercept. The low slope and d-intercept reflect partial evaporation of the falling rain drops under semi-arid conditions in northern Cameroon. Overall, the first CMWL is $\delta\text{D} = 8.08\delta^{18}\text{O} + 14.19$ ($R^2 = 0.97$, $n = 290$). The similarity of the slope to the Global Meteoric Water Line indicates equilibrium conditions during rain formation with a minor effect of evaporation during the fall of raindrops to the ground on a national scale. Additional inland sources of moisture other than the Atlantic Ocean explain the high d-intercept in rainfall across the country. High d-excess values (>>10‰) in coastal precipitation within the rainforest region of Cameroon reflect recycled moisture from the rainforest. Meanwhile, the high d-excess values in the high altitude rains in the Bamenda highlands suggest the interplay of altitude effect and inland recycled moisture from inland water bodies. Across the country, the stable isotopes show an inverse relationship between elevation and rainfall depths suggesting altitude and amount effects, respectively. However, there is no discernible decrease in the isotope values from the coastal to inland stations as would be expected; hence, a lack of continental effect. Enriched isotopic signatures clearly mark low convective activities at each site during the pre- and post-monsoon rains. Intense convection during the monsoon peak coincides with the most depleted isotope values in the precipitation. Thus, the generated rainfall isotopic data is useful as a marker of annual changes in rainfall patterns. Given the dependence of most Cameroonians on rainfed agriculture, such information from the isotopes offers an important monitoring tool for changes in rainfall patterns for subsequent remediation measures. The data is not only useful for groundwater recharge studies in Cameroon but

also for climatological research at a regional level (Central Africa).

Keywords: Stable isotope variations, Precipitation, Cameroon Meteoric Water Line, Deuterium excess, Moisture recycling, Amount effect

白神山地核心地域における河川水の水素・酸素同位体組成

Stable isotopic compositions of river waters in the core area of the Shirakami Mountains, Japan

*網田 和宏¹、林 武司²

*Kazuhiro Amita¹, Takeshi Hayashi²

1.秋田大学大学院理工学研究科附属理工学研究センター、2.秋田大学教育文化学部

1.Research Center for Engineering Science, Akita University, 2.Faculty of Education and Human Studies, Akita University

白神山地は青森県南西部と秋田県北西部にまたがる山岳地帯の総称である。本山岳地域における純度の高い原生的なブナ林を主体とする独自の生態系が高く評価され、1993年12月には世界遺産（自然遺産）に登録された。また、1995年に策定された「白神山地世界遺産地域管理計画」によって核心地域（面積10,139 ha）は入山規制がなされており、現在は人間活動による直接的な影響を受けていない状況にある。

しかしその一方で、近年では酸性雨による生態系への影響等が懸念されるなど、大気降下物中に含まれる人為起源物質による山地・森林環境中への窒素付加量の増加が問題となりつつある。そこで我々は、2011年より白神山地南部地域（世界遺産登録地の周辺地域）を中心に河川水および湧水の主要化学組成および水素・酸素安定同位体比測定を行い、水の起源や涵養プロセスに関する検討を行ってきた。

これまでに得られた結果より、本地域の自然水の水素・酸素同位体組成は、 $D = 8 \times \delta D + 20$ の直線に沿うように分布しており、水の起源の多くが天水に由来するものであること、また涵養標高の高い試料、あるいは内陸側の試料ほど水素・酸素同位体比が低い値を示す傾向を持つことも明らかにされてきた。しかし、白神山地の山頂域にあたる核心地域については、これまで調査を行えてこなかったこともあり、水の化学組成および同位体組成についてはほとんど明らかにされていない状態であった。

そこで我々は、白神山地の核心地域において採水調査を実施し、水質および水の水素・酸素同位体比の測定を行った。調査は2015年10月に実施し、核心地域内の4地点において試料を採水することができた。採取された水の $\delta^{18}O$ 、 δD はそれぞれ、 $-9.1 \sim -9.9$ パーミル、 $-55.7 \sim -59.4$ パーミルの範囲にあり、 d 値は $+16.9 \sim +19.9$ を示した。この値は、これまでに得られてきた結果と比較し、白神山地の南部～南東部の同位体組成より、南西部～西部における組成に近いものといえる。また今回の試料の内、2試料は粕毛川の源流域において採水した試料であったが、過去、粕毛川の下流域において得られた水素・酸素同位体比（ $-9.9 \sim -10.4$ ‰、 $-58.4 \sim -60.2$ ‰）と比較して、源流域の水（ $-9.1 \sim -9.4$ ‰、 $-55.7 \sim -57.0$ ‰）の方が重い同位体に富むという結果が得られた。本講演では主要化学組成と同位体比との間にみられる関係やこれまでに得られてきた結果との比較なども示しながら、同位体組成からみた、本地域における水循環に関する考察などを行う予定である。

キーワード：白神山地、酸素・水素同位体比

Keywords: The Shirakami Mountains, oxygen and hydrogen isotopes

笛吹川における河川水の安定同位体比について

On stable isotope ratios of water in the Fuefuki River,
Yamanashi Prefecture, Japan

*笹岡 亮裕¹、中村 高志²、中西 玄樹³

*Akihiro Sasaoka¹, Takashi Nakamura², Genki Nakanishi³

1.立正大学地球環境科学部環境システム学科、2.山梨大学大学院・国際流域環境研究センター、3.山梨大学大学院医学工学総合教育部国際流域環境科学特別教育プログラム

1.Department of Environment Systems, Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University,
2.International Research Center for River Basin Environment, University of YAMANASHI, 3.Special Master Course Program on International River Basin Environmental Science The University of Yamanashi

本研究では、甲府盆地を流れる笛吹川の上流から下流にかけての河川水の安定同位体比の変化の調査を行った。その結果、河川水の同位体比に影響を及ぼす合流河川と地下水の流入の存在が明らかとなった。甲府盆地の北東部から盆地南東縁に沿って流れる笛吹川には、いくつもの合流する河川が存在している。また、盆地中央部から南部にかけては扇状地性の堆積物で覆われ、その一帯に自噴帯が存在している(高橋, 1970)。湖沼であった時期に堆積した粘土層が加圧層の役割を果たしているものと考えられる。また、地形や地質構造を考えると、盆地内で涵養された水の流出口は、釜無川と笛吹川の2つの河川が合流する場所でもある盆地南部の一か所しかないと考えられる。そのために、南アルプス・八ヶ岳・御坂山地からの表流水、地下水が集まってくる場所であると考えられる。

盆地南東縁部の自噴井の一般水質の明らかにされているものの、酸素・水素安定同位体比についての検討は行われていない。特に笛吹川左岸・下流域においては過去の文献からも水理地質を含む地下の情報も乏しく、一般水質などの研究も行われていない。そのことを念頭に置きながら、笛吹川上流域から下流域を主な調査対象地域とした。2015年11月に、河川水の採水を含む現地調査を実施し、同位体比の空間分布の把握を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

笛吹川の河川水は降水の高度効果に影響を受け、 δD は上流で軽く、下流に向かうにつれて重くなる傾向がみられた。しかし、山間部を抜けて盆地に入った直後の所で δD は軽くなる傾向が認められた(上流域 δD ; -72.3‰ → -75.3‰)。そして、釜無川との合流前の地点(下流域 δD ; -73.3‰ → -74.7‰)においても δD が軽くなる傾向がみられ、高度効果では説明できない現象が確認された。また、 δD が軽くなった上流域区間においては SiO_2 濃度が他地点よりも低い値(20.6 mg/L → 18.0 mg/L)を示した。これは、上流域ではより軽い同位体比を有した合流河川(琴川)の水が笛吹川に流入したものとする考え方と一致する。

下流域では、笛吹川(δD ; -74.7‰)よりも合流河川の芦川(δD ; -70.0‰)が重い値を示し、笛吹川左岸・下流域における扇状地地下水(δD ; -77.9‰ ~ -76.9‰)は笛吹川の -74.7‰ より軽い値を示している。このことから、御坂山地からの河川による影響は認められないが、より標高の高い周辺山間部で涵養され、広域流動系に従って流動する釜無川扇状地および芦川扇状地の地下水が笛吹川に流入し、その同位体比に影響を及ぼしている可能性も考えられる。

すなわち、笛吹川の流下に伴う河川水中の δD の変化をみると、標高が低くなるにもかかわらず、下流に行くにしたがって軽くなる現象が認められた。その原因として、笛吹川上流域における合流河川による影響、そして下流域においては芦川扇状地および釜無川から扇状地を経由した地下水の流れの影響を考察することができる。

キーワード：笛吹川、安定同位体、河川涵養

Keywords: Fuefuki River, stable isotopes, rivers recharge

水文モデルのための甲府盆地の地下水涵養源の推定

Investigation of the groundwater source estimation in Kofu Basin for hydrological model

*中西 玄樹^{1,2}、西田 継²、中村 高志²、浅井 和由³

*Genki Nakanishi^{1,2}, Nishida Kei², Takashi Nakamura², Kazuyoshi Asai³

1.山梨大学大学院医学工学総合教育部国際流域環境科学特別教育プログラム、2.山梨大学国際流域環境研究センター、3.株式会社地球科学研究所

1.Special Master Course Program on International River Basin Environmental Science The University of Yamanashi, 2.Interdisciplinary Centre for River Basin Environment, University of Yamanshi, 3.Geo science Laboratory

The end member mixing analysis using hydrological tracers have been applied to identify the groundwater recharge sources in local area, such as scale of alluvial fan. However, it is difficult to apply to large scale, due to the wide values of temporal and special for the hydrological tracers. Objective of this study is investigating the groundwater recharge identification using hydrological tracers to adapt for the hydrological model for basin scale.

Groundwater samples were collected once a year from November 2010 to October 2012. Altogether 12 river water samples were collected in 2003, 2004 and 2006 from main rivers in Kofu basin. Rain water samples were collected once a month since 2008. All groundwater samples (n=50) are classified into three types based on recharge sources. Among them 20% of groundwater are mainly recharged by river water. Other 50% samples are river water mixed with local precipitation and 25% are river water mixed with mountain groundwater.

キーワード：地下水、甲府盆地、水の水素・酸素同位体比

Keywords: Geoundwater, Kofu Basin, Water Stable Isotopes

里山湧水における年代トレーサーの挙動

Behavior of the age dating tracers in Satoyama-spring

*浅井 和由¹、加藤 勇治¹、辻村 真貴²

*Kazuyoshi Asai¹, yuji KATO¹, Maki Tsujimura²

1.株式会社 地球科学研究所、2.筑波大学

1.Geo Science Laboratory, 2.University of Tsukuba

滞留時間60年未満の若い地下水の年代推定には、CFCs（クロロフルオロカーボン類）やSF₆（六フッ化硫黄）などの温暖化ガストレーサーが利用されるようになってきた。日本国内での事例も増えており、CFCsについては数十年オーダーの比較的長い滞留時間を有する火山山麓湧水に対して非常に有効であること、SF₆についてはインプット濃度の補正の必要はあるが、年代情報を得られる確率はCFCsよりも高いことが経験的に分かってきた。一方、CFCsやSF₆についての基礎的データの蓄積は不足しており、例えばトレーサー濃度の時間変動特性については良くわかっていない。本研究では名古屋市の東山公園地区に位置する小規模な里山湧水を対象として、2015年2月から2016年1月までの1年間にわたって週1回のサンプリングを実施した。湧水の水温は10.4~19.9°C、湧出量は0.02~1.33 L/sの範囲で大きく変動した。一方、pHは4.73~5.15、電気伝導度（EC）は2.77~3.72 ms/mの範囲にあり、比較的安定していた。発表では、温度環境や湧出環境が季節的に変化する湧水における溶存化学成分や年代トレーサーの変動特性や変動要因について報告する予定である。

キーワード：年代トレーサー、里山湧水、安定同位体、CFCs、SF6

Keywords: age dating tracer, Satoyama-spring, stable isotope, CFCs, SF6

マルチアイソトープ手法に基づく摩周湖からの漏水と周辺地下水の交流に関する研究
A study on caldera lake-groundwater system based on a multiple isotope approach

*安原 正也¹、稲村 明彦²、森川 徳敏²、高橋 浩²、高橋 正明²、大和田 道子²、風早 康平²、Gingerich Stephen⁴、尾山 洋一³

*Masaya Yasuhara¹, Akihiko Inamura², Noritoshi Morikawa², Hiroshi Takahashi², Masaaki Takahashi², Michiko Ohwada², Kohei Kazahaya², Stephen Gingerich⁴, Yoichi Oyama³

1.立正大学地球環境科学部、2.(国)産業技術総合研究所、3.釧路市教育委員会、4.USGS

1.Rissho Univ., 2.Geological Survey of Japan, AIST, 3.Kushiro Board of Education, 4.USGS

Lake Masyu (212 m deep; 19.6 km² in area; water surface at 352 m a.m.s.l.), eastern Hokkaido, Japan, is a seepage caldera lake with no surface outflow and inflow. The caldera lake-groundwater system was investigated to elucidate the effect of lake-water seepage from Lake Masyu on the hydrology and hydrogeochemistry of Masyu volcano and its adjacent areas. Previous studies on the lake indicated that, on the basis of a conventional water balance method, there is a large amount of seepage of some 65,000 km³/day to the surrounding volcanic aquifers. The analyses of ²H, ¹⁸O, ¹³C, ³He and water chemistry for samples from rivers, springs, and bores in 2009 and 2010 are reevaluated in detail to quantify the lake-water contribution to river and spring discharges and to the downgradient groundwater field. The water samples from Lake Masyu are markedly enriched in heavy isotopes and fall on a line with a slope of 5.0 in the δD vs. $\delta^{18}O$ diagram, which is characteristic of open-water bodies subject to evaporation. The lake water is also enriched in carbon isotope and in the range between 4 and 5‰ $\delta^{13}C$. The mixing proportion of lake water was calculated on the basis of δD and $\delta^{18}O$ by applying a simple two end-member mixing model. As a result, the lake-water contribution proved to be significant for the huge springs on the southeastern flank (Nishibetsu-Gawa Headwater Springs) and those on the southwestern flank (Biruwa Springs), consisting of 30% of their discharges. Taking into account their total daily discharge of 140,000 m³ measured in July 2009, some 65% of the lake-water seepage from Lake Masyu, that is 42,000 m³/day, is estimated to concentrate in these springs. In contrast, the Kaminoko-Ike Spring on the northern flank with a discharge of some 15,000 m³/day, water of which has long been considered to be of Lake Masyu origin, isotopically showed no evidence of lake water. It is also the case in the other medium-sized springs located on the northern and eastern flanks. The analyses of stable carbon isotope, high isotopic values of -9 to -7‰ $\delta^{13}C$ for Nishibetsu-Gawa Headwater Springs and of -9 to -8‰ $\delta^{13}C$ for Biruwa Springs, and a low value of -21‰ $\delta^{13}C$ for Kaminoko-Ike Spring, are consistent with these estimates. It is also the case with ³He: Nishibetsu-Gawa Headwater Springs and Biruwa Springs had a high content of ³He of magmatic origin, whereas there was no ³He of magmatic origin in Kaminoko-Ike Spring. Rivers that originate in the flanks of Masyu volcano showed little or no isotopic evidence of lake water. An overall estimate, therefore, is that approximately 23,000 m³/day of seepage from Lake Masyu is still unaccounted for. The hydraulic connection of volcanic aquifers to Lake Masyu is likely to account for this. The isotopic analyses show some hot springs and groundwaters from the 100-350m deep bores in the southern and southwestern flanks contain substantial proportions of lake water, indicating seepage water from Lake Masyu plays an important role in forming hydrothermal and groundwater system. A schematic diagram for the caldera lake-groundwater system in and around Masyu volcano is depicted on the basis of these data.

キーワード：地下水システム、カルデラ湖、漏水、湧水、マルチアイソトープ

Keywords: groundwater system, caldera lake, lake-water seepage , spring, multiple isotope approach

枚方市の地下水中水銀の起源

Origin of mercury in the groundwater in Hirakata City, northeastern Osaka Prefecture

*坂本 裕介¹、益田 晴恵¹、武内 章記²、新谷 毅¹*Yusuke Sakamoto¹, Harue Masuda¹, Akinori Takeuchi², Tsuyoshi Shintani¹

1.大阪市立大学理学研究科生物地球専攻、2.国立研究開発法人国立環境研究所

1.Department of Geosciences, Faculty of Science, Osaka City University, 2.National Institute for Environmental studies

水銀は毒性があるために国際的に規制されている。日本国内では水質汚濁防止法第15条により、水道や河川水では総水銀として 0.0005mg/L (0.5ppb)、環境基本法第16条により、土壤中では 15mg/kg (15000ppb)と定め、規制されている。大阪府域では水質汚濁防止法に基づいて4513点で行われた地下水質調査により、総水銀が環境基準値 (0.5ppb) を超えたものが31地点で検出されている。地質や周辺の状況から汚染は自然由来のものであると推定された。また、その水銀の多くは大阪府北河内地区に出現しており、活断層である生駒断層系に沿って上昇していると考えられた (大阪府 2009)。しかし、水銀の起源は不明である。水銀の起源を明確にすることを目的として本研究を計画した。

先行研究で比較的高濃度の水銀が検出された大阪府枚方市で2015年7月～11月に15地点から地下水を採取し、主成分と水銀濃度を分析した。その中から、水銀濃度が高い試料を選び、水銀同位体比を測定した。地下水はすべて民家の丸井戸またはチューブ井戸で、井戸深度は10m以下、水位は1～2m程度であった。総水銀濃度測定は冷蒸気還元原子蛍光法 (CVAFS)、メチル水銀の濃度測定はガスクロマトグラフィー原子蛍光法 (GC-AFS)、水銀同位体比の測定は還元気化法により濃縮した後で還元気化試料導入系を備えた多重検出型ICP質量分析装置 (MC-ICP/MS) により行った。

調査地域の地下水の主成分化学は ($\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ 型) と ($\text{Na}-\text{Cl}-\text{SO}_4+\text{NO}_3$) に大別される。水銀濃度に関して、規制値 (0.5ppb) を超える試料はなかったが、最も総水銀濃度が高い試料で 133ppt であった。同一井戸から採取した水試料では水銀濃度が採水時期によって大きく変動する。しかし、変動には季節や降水量などと直接の関係は見られない。ある井戸の地下水には水銀含有量が低い (90ppt) 試料では、高い試料 (133ppt) よりも人為由来の SO_4^{2-} が多く含まれていた。また、別の試料では、同じ $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ 型の水質ではあるが、水銀濃度の高い (86ppt) 試料の方が低い (59ppt) 試料よりもこれら2成分の濃度が高かった。また同一日に約20m離れた同じ敷地内の井戸2ヶ所から採水した試料では深さは5m以上の井戸水の水銀濃度が 55ppt であるのに対し、2～3mの深度の井戸水は 2.0ppt であった。これらのことは、水銀が井戸周辺の表層から浸透する水に希釈されている、すなわち水銀の起源は地表にないことを示している。また、水銀の大部分は無機水銀であり、モノメチル水銀は総水銀濃度が極めて低い1試料を除いて1%以下であった。このことは、水銀の起源は人為的作用や生物化学作用によるものではないことを示唆する。

水銀同位体比は水銀の起源を推定するために有効である。水銀同位体比は生物化学作用による分別が比較的大きいことが知られており、生物濃縮過程や有機水銀形成過程の追跡に関する研究は比較的進んでいる (たとえば, Blum, 2013)。しかし、地殻内での水銀の挙動に関して同位体比を用いた研究は少ない。本研究では2地点の地下水について $\delta^{202}\text{Hg}$ が $-0.65\sim-0.85\%$ の値を得ている。これは熱水を除く地下水中水銀の同位体比としては初めての報告である。紀伊半島から四国にかけて多くの水銀鉱山が知られている。武内 (2011) は、辰砂の水銀同位体比を分析し、丹生鉱山から得られたものを $\delta^{202}\text{Hg}$ を $-0.68\pm 0.12(\%)$ 、大和水銀鉱山のものを $-0.19\pm 0.36(\%)$ 、水井鉱山のものを $-0.51\pm 0.47(\%)$ と報告している。本研究で得られた地下水の $\delta^{202}\text{Hg}$ はこれらに近い数値を与える。すなわち、本研究の水銀は地質体由来の可能性が高い。辰砂のわずかに大きい $\delta^{202}\text{Hg}$ は熱水から沈殿する際に重い水銀を濃縮した結果であると説明できる。本研究の地下水中の $\delta^{202}\text{Hg}$ はそれよりわずかに小さいことから、分別を受ける前の流体の値を保持している可能性がある。

大阪平野周辺には活断層に沿って時おり、地下水中に水銀が検出されることがある。紀伊半島～四国に分布する水銀鉱床などと合わせると、水銀は地殻深部に由来する流体との関連が疑われる。今後、水銀同位体比を系統的に分析することで、水銀の起源とテクトニクスとの関連が明らかにできる可能性がある。

キーワード：水銀、地下水、同位体

Keywords: mercury, groundwater, isotope

Systematic estimation and correction of Ba induced interference in ICP-MS for direct and quick analysis of REEs in geothermal waters

Systematic estimation and correction of Ba induced interference in ICP-MS for direct and quick analysis of REEs in geothermal waters

*常 青¹、中村 仁美^{1,2}、千葉 紀奈¹、岩森 光^{1,2}

*Qing CHANG¹, Hitomi Nakamura^{1,2}, Kotona Chiba¹, Hikaru Iwamori^{1,2}

1.独立行政法人海洋研究開発機構、2.東京工業大学・地球惑星

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Tokyo Institute of Technology

High barium concentration and Ba/REE ratios are commonly observed in geothermal waters such as Arima-type brines, making it difficult to precisely determine REE characteristics, e.g., Eu, Ce anomalies and REE patterns of this kind of high matrix (major solutes) and ultra-low REE waters. We systematically evaluated Ba induced molecular ions in ICP-MS operated at solution mode and established a new correction method for direct determination of REE in high salinity geothermal waters.

Ba has seven isotopes from ¹³⁰Ba to ¹³⁸Ba with natural abundance of 0.1% to 71.7%, each of them will produce molecular ions in forms of oxide, hydroxide, hydride and argide in argon plasma. These molecular ions cover a mass range from 139 (¹³⁸BaH) to 178 (¹³⁸BaAr), theoretically overlapping with most of REE isotopes in complicated combinations. For example, both BaO and BaOH overlap the masses of light to middle REE isotopes, especially Eu. Conventional correction method simply considers that bulk interfering on Eu is contributed by BaO, and may result in large uncertainty or erroneous of REE anomalies and patterns. In this work we separately evaluated production rates of Ba oxide, hydroxide, hydride and argide for each of Ba isotopes in solution mode ICP-MS. Our data show that BaOH and BaO are major interfering species over Nd, Sm, Eu and Gd peaks. BaH and ¹³⁸Ba peak tailing seriously overlap with La and Ce signals. Argides are ignorable. Heavy REEs and Pr are free from a significant overlapping with any of the Ba induced interference. All the interference can be quantitatively estimated and reliably corrected for REE analysis.

We demonstrated the correction strategy by analysis of reference riverine water (SLRS-4) doped with Ba to Ba/Eu=125,000 similar to Arima-type brines. Determined REE data of Ba-doped SLRS-4 agrees very well with certified values. The method was also applied to determine REE compositions of various spring waters including Arima-type brine of the Arima area in southwest Japan (Nakamura et al, 2015). In this case, Ba induced interferences contributed to La, Ce, Nd, Sm, Eu and Gd raw signals for 92%, 24%, 48%, 78%, 96% and 75%, respectively. The intra REE interferences, e.g., PrO, NdO and SmO overlapping over middle and heavy REE signals, were less than 2.7% (mostly <1%), thus ignorable for discussion.

キーワード : Ba-induced interference、REE、geothermal waters、ICP-MS

Keywords: Ba-induced interference, REE, geothermal waters, ICP-MS

神奈川県西部におけるイベント降水の酸素同位体比特性

Characteristics of event-based oxygen isotopic composition in precipitation at western part of Kanagawa prefecture

*杉本 惇¹、鈴木 秀和²、宮下 雄次³

*Jun SUGIMOTO¹, Hidekazu Suzuki², Yuji Miyashita³

1.駒澤大学大学院人文科学研究科地理学専攻、2.駒澤大学文学部地理学科、3.神奈川県温泉地学研究所
1.Graduate Division of Arts and Sciences, Komazawa Univ., 2.Dep. of Geography, Komazawa Univ.,
3.HSRI, Kanagawa Pref.

水循環を説明する有効なツールとして広く知られているのが、降水の同位体比である。神奈川県西部箱根山東麓に位置する神奈川県温泉地学研究所では、降水イベントごとに採水を行い、同位体分析を行っている。本研究では、神奈川県西部における降水の同位体比の変動要因について明らかにするため、温泉地学研究所の2012年12月から2013年11月までの計79回の降水イベントの酸素同位体比データ及び、降水量データを使用し解析を行った。2013年の酸素同位体比の年間加重平均値は、-7.62%であった。1年を6つの季節に分け、各季節の加重平均値を求めたところ、冬に-11.10%、春に-5.76%、梅雨季に-8.52%、夏に-6.63%、秋霖季に-7.02%、秋に-5.81%を示した。これらの値は、年間加重平均値からみると、冬と梅雨季に低く、それ以外の季節に高い値を示し、明らかな季節変化が認められた。本研究では、同位体比の季節変化の要因を解明する手始めとして、冬と梅雨季に同位体比が低くなる要因について検討を行った。最も同位体比が低い値を示した冬は、低気圧による降水が多かった。勢力の強い南岸低気圧が通過するとき、-10%以下の非常に低い同位体比を示す傾向がみられた。冬季の同位体比低下要因として、温度効果の影響が考えられる。次に低い値を示した梅雨季は、そのほとんどが梅雨前線による降水で降水強度が強かった。そのため、雨量効果が大きく影響したと考えられる。降水量と酸素同位体比の関係には、全てのイベントを対象とすると、明瞭な相関関係 ($R^2=0.83$) がみられ、雨量効果が明瞭に認められた。しかし、秋霖季の台風の際の、降水量100mm以上3回のイベントにおいては、それらの同位体比がそれぞれ-5.2%、-6.5%、-9.3%と必ずしも低い値を示さない例が認められた。降水量が多いにも関わらず、同位体比は低くなっていないことから、台風時の同位体比の形成プロセスは他の原因とは異なることが予想される。

キーワード：箱根山、酸素同位体比、雨量効果、降水イベント

Keywords: Mt. Hakone, oxygen isotope, amount effect, precipitation event