

HIGH RESOLUTION MULTI-TRACER STUDY OF WATER FLOW AND SOLUTE TRANSPORT IN THE GLACIAL TILL

*Edward Komla Pappah Bam¹

1. University of Saskatchewan

The aim of this study was to explore water flow and solute transport mechanisms in the unsaturated and saturated zone (aquitards) and how the mechanisms differ between uplands and lowlands in the Canadian Prairie glacial till. Past and recent studies on surface water-groundwater interaction involving physical measurements and stable isotope tracers show that prairie wetland ponds have distinctive isotope signatures from till aquitards and aquifers and that they may not play significant roles in groundwater recharge. Tritium data from aquitards and aquifers also suggest that aquifers are recharged with modern water. The observations suggests that uplands may play an important role in prairies groundwater recharge and possibly contribute more recharge water to aquitards and aquifers. We studied three soil profiles depths (0.2- 8 m, 0.2-10 m, and 0.2 -14 m) obtained from uplands and lowlands to identify the extent of deep percolation in the uplands and the lowlands and to test the established hypothesis of depression focused recharge, and critique it. We employed sets of tracers ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, Cl^- & SO_4^{2-}), line condition (lc)-excess, complemented by soil analysis and physical measurements from piezometers. The depth profiles show a steady increase in both $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ tracers and lc -excess below depth, from the ground surface to >2m in lowlands and >5m in both uplands and piezometers. The Cl^- and SO_4^{2-} also showed leaching to similar depths. The change in $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and lc-excess values below 7 m depth is muted and no significant evaporated water signals was found in the aquitards. It is suggested that the major process responsible for enhancing deep water flow and solutetransport into aquitards and intertill aquifers is not soil infiltrability beneath permanent recharge wetlands (i.e., depression focused) but rather preferential flow; since the former will lead to greater degree of evaporation before recharge.

Keywords: Glacial till, stable isotopes, lc-excess, chemical ions, water flow and solte transport, mechanisms

立山地獄谷の温泉水の同位体比

The isotopic ratios of the hot springs in the Jigokudani Valley,
Tateyama Volcano*関 香織¹、大場 武²、青山 慎之介¹、上野 雄一郎¹、神田 径¹、丹保 俊哉³*Kaori Seki¹, Takeshi Ohba², Shinnosuke Aoyama¹, Yuichiro Ueno¹, Wataru Kanda¹, Toshiya Tanbo³

1. 東京工業大学 理学院 地球惑星科学系、2. 東海大学 理学部 化学科、3. 富山県立山カルデラ砂防博物館

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of chemistry, School of Science, Tokia University, 3. Tateyama Caldera Sabo Museum, Toyama Prefecture

立山地獄谷は飛騨山脈に位置する活火山で、現在は地獄谷と呼ばれる場所で活発な噴気・温泉活動が行われている。地獄谷は4万年前以降に繰り返し発生した水蒸気爆発によって形成され、地獄谷の直下には水蒸気爆発の発生場である熱水系が発達していることが期待される。近年、火山ガス組成の変化や硫黄溶岩の流出が観測されるなど、地獄谷の火山活動は高まっている。そこで、地獄谷の熱水系を明らかにすることを目的として、比抵抗構造調査や温泉水の化学分析を行ってきた。本講演では、温泉水の化学分析に焦点をあてて報告する。

温泉水の採取は、2014年から2016年にかけて行い、陰イオン濃度の他、同位体比($\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$, $\delta\text{D}_{\text{water}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$, $\delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}$)を測定した。水の同位体比($\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$, $\delta\text{D}_{\text{water}}$)は、マグマ水と地獄谷周辺の天水を結ぶ混合線上に、全ての温泉水がプロットされた。水の同位体比と陰イオン濃度の特徴から、立山地獄谷の温泉水を、次の3つに分類した。①陰イオン濃度が大きく、その水の同位体比はマグマ水に近い値をとる温泉水。Cl⁻/SO₄²⁻濃度比は1に近い値を示す。②Cl⁻濃度の減少のためCl⁻/SO₄²⁻濃度比の時間的変動が大きく、水の同位体比はマグマ水と天水の間の値をとる温泉水。③Cl⁻を欠くSO₄²⁻が主体の温泉水で、陰イオン濃度も小さい。水の同位体比は地獄谷周辺の天水と変わらない値を示す。

地獄谷の温泉水の硫酸中の硫黄の同位体比($\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$, $\delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}$)を2015年と2016年の温泉水で測定した。一般的に、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$ の高い温泉水は、初生的な硫酸で、SO₂の不均化反応により形成される。一方で $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$ の低い温泉水は、二次的な硫酸でH₂Sの酸化によるものだと考えられている。地獄谷の温泉水の $\delta^{34}\text{S}$ は、-0.81%から19.93%の値をとった。③の温泉水の $\delta^{34}\text{S}$ は低いため、この温泉水中に含まれる硫酸はH₂S起源である。一方で、①と②の温泉水の $\delta^{34}\text{S}$ 値は、温泉水の陰イオン濃度や水の同位体比と相関が見られなかった。また、同位体分別は質量に依存するため、平衡状態において $\delta^{34}\text{S}$ と $\delta^{33}\text{S}$ の間に線形関係があることが知られている。立山地獄谷の温泉水は、この質量同位体分別からのずれ($\Delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}$)が-0.016%から0.058%に及んだ。更に $\Delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}$ と $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$ には負の相関が認められ、 $\Delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}=0$ (質量同位体分別の期待値)と、 $\Delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$ プロットの回帰直線とが交わる、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}} \approx +9\%$ が、地獄谷の温泉水を作る深部マグマの硫黄同位体比を表していると考えられる。

以上より、3タイプの温泉水の成因を考えると次のようになる。①熱水流体が地下浅部で気液二相にわかれ、その液相が天水とほぼ混じること無く湧出した温泉水。②気液二相の気相が、天水と様々な度合いで混合し湧出した温泉水。③地表水にH₂Sガスが溶けた温泉水。

温泉水の化学分析と、地獄谷の地下比抵抗構造(Seki et al., 2016)を比較した結果、地獄谷の温泉水は500mより浅い場所で作られていることがわかった。特に、②の温泉水は、比抵抗構造でイメージされた水蒸気爆発の誘発を促すキャップ構造の直下で作られていることが明らかになった。水蒸気爆発の発生は、地下浅部の温度や圧力状態が重要であるため、その変化を受ける浅部で形成された温泉水のモニタリングは、地獄谷の火山活動の推移を知る上で重要だと考える。

キーワード：熱水系、温泉水、水同位体比、硫黄同位体比

Keywords: Hydrothermal system, Hot spring, Water isotopic ratio, Sulfur isotopic ratio

同位体比と化学組成からみる、過去15年間の片貝川扇状地地下水の水質及び涵養状況

A study of water quality and groundwater recharge in Katakai River alluvial fan over the past 15 years based on isotopic composition and chemical concentration

*片境 紗希¹、張 勁¹、鈴木 麻衣¹、張 兵²

*Saki KATAZAKAI¹, JING ZHANG¹, MAI SUZUKI¹, BING ZHANG²

1. 富山大学理工、2. 天津師範大学

1. University of Toyama, 2. Tianjin Normal University

In the Katakai River alluvial fan located in Uozu City, Toyama Prefecture, groundwater is used extensively for tap water, agricultural and industrial purposes, etc. However, the quality of the groundwater has been, as it were, taken for granted, and monitored only partially and irregularly in the recent past. The aim of this study was to reanalyze the data from two previous studies in order to evaluate the groundwater quality in the area, based on the stable isotopes of hydrogen and oxygen and chemical composition.

Suzuki, who studied the groundwater from wells throughout the area and its relation to water from Katakai River, suggested that there are at least two layers of aquifers in the Katakai River alluvial fan –one shallower than 70 m from the ground surface and the other deeper than 80 m. By measuring tritium concentration, he also found that the residence time of groundwater is 10 to 20 years (Suzuki, 2002). Also in 2002, Uozu City conducted a groundwater research throughout the area, and has been conducting an annual monitoring of groundwater quality in the northern part of the river fan since 2004.

The $\delta^{18}\text{O}$ value of the groundwater in the Katakai River fan in 2002 was similar to the $\delta^{18}\text{O}$ value of the river water from the Katakai River along the coast. Furthermore, the contribution ratio of river water to groundwater was about 80 %. The similar isotopic composition of river water and groundwater, indicates that the Katakai River discharged to groundwater through the ancient river course without being affected by precipitation.

Both the hexa-diagram of unconfined groundwater described in Suzuki (2002) and that obtained in my own study in 2016 were the type of Ca-HCO_3 . Therefore, it seems that water quality has not changed over these years. In addition, from the annual monitoring data of self-discharge quantity of confined groundwater in 2004-2016, it was found that the volume of water increased in summer and decreased in winter. The exploitation of groundwater for the snow melting on the roads may be causing the decrease of confined groundwater flux in winter. At one well with the depth of 100 m, a decrease was observed in the volume of confined water. Since this groundwater is the type of $\text{Na} \cdot \text{Ca-Cl}$, it may take a long time for water recharging from Katakai River. This seems to suggest the vulnerability of deep confined groundwater. Consequently, the reasonable utilization and conservation of deep groundwater should be considered for sustainable groundwater management in the future.

キーワード：地下水、片貝川扇状地、魚津市

Keywords: ground water, Katakai River alluvial fan, Uozu city

水安定同位体を用いた樹冠遮断蒸発推定の新たな手法

A new approach to estimate evaporation of canopy interception using stable isotope of water

*村上 茂樹¹、服部 祥平²、植村 立³

*Shigeki Murakami¹, Shohei Hattori², Ryu Uemura³

1. 国立研究開発法人 森林総合研究所 十日町試験地、2. 東京工業大学 物質理工学院、3. 琉球大学理学部 海洋自然科学科

1. Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute, 2. School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology, 3. Faculty of Science, Department of Chemistry, Biology, and Marine Science, University of the Ryukyus

Evaporation of canopy interception CI, accounts for around 20% of gross rainfall PG. However, it is strange that CI is proportional to PG on an hourly basis during rainfall (e.g. Murakami, 2006, J. Hydrol.; Saito et al., 2013, J. Hydrol.). To understand the mechanism of canopy interception we estimated evaporation of wet canopy surface EW using stable isotope of water.

Murakami and Toba (2013, Hydrol. Res. Lett.) measured CI in a plastic Christmas tree stand placed on a 180-cm square tray that was set outside under natural rainfall. We used the same system to measure PG and net rainfall PN to calculate CI (= PG - PN) using water balance. Manual sampling of gross and net rainwater was also conducted on an hourly basis. EW was estimated based on the difference of d18O (or d2H) values in gross and net rainwater using fractionation factor, and the results were compared with CI. In a rain event we focused on, PG and PN (runoff from the tray) were 28.0 mm and 22.7 mm, respectively, with CI of 5.3 mm (18.9% of PG). The d18O (or d2H) value in net rainfall was higher than that in gross rainfall because of fractionation by EW. Calculated EW by the values of d18O was 5.2% of PG on average. We tried to reproduce the results using a tank model (Yoshida et al., 1993, J. Japan Soc. Hydrol & Water Resour.). Firstly, evaporation rate is assumed to be constant, 20% of PG and the calculated PN was 23.1 mm, i.e. CI was 4.9 mm (17.5% of PG). Secondly, retaining the parameter of the model, we calculated PN based on hourly surface evaporation derived from the d18O values. The simulated PN was 25.6 mm that means CI was only 2.4 mm (8.6% of PG).

The difference between the two methods can be explained by rapid evaporation of micro-droplets produced by splash after rain impacts the canopy (Murakami, 2006). We will present the results using d2H data at the session.

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP15H40250.

キーワード：樹冠遮断、飛沫、水安定同位体

Keywords: Canopy interception, Splash, Stable isotope of water

NICAM-isotopeでシミュレートされた梅雨前線に関連する水安定同位体の挙動

Stable water isotope behavior associated with the Baiu front simulated by NICAM-isotope

*高野 雄紀¹、芳村 圭¹

*Yuki Takano¹, Kei Yoshimura¹

1. 東京大学 大気海洋研究所

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Stable water isotopes (SWI) are an observable water tracer that reflects integrated history of phase change and mixing. SWI are exploited not only for climate proxy (e.g. Dansgaard, 1993) but for studying precipitation systems.

The Baiu Front (BF) is stationary front during the late spring and early summer near Japan, which is the “boundary” between tropical and extratropical airmass. BF is characterized by large gradient of SWI as well as equivalent potential temperature. To study BF from the viewpoint of SWI, it is expected to improve our understanding about water cycle associated with the front.

From observational study by Kurita et al. (2015), highest isotope ratio in water vapor near surface correspond to the warm airmass advection by southerly flow, while abrupt isotopic depletion corresponds to cold air advection associated with southward migration of BF. Rainfall results in isotopic depletion of water vapor since heavy isotopologues (HDO) preferentially condensate and are taken away from water vapor by rainout. In this study, we attempt to quantify the effect of water vapor (airmass) advection and depletion by rainout on isotopic variability associated with the BF.

We developed isotope-incorporated microphysics scheme based on NSW6 (Tomita, 2008), which is a version of microphysics scheme by Lin et al. (1983). We simulate the isotopic behavior associated with BF using this scheme on global cloud-resolving model NICAM (Satoh et al. 2008; 2014).

To check validity of our isotope-incorporated model, simulated values in our model are compared with observation at paddy field in Tsukuba, Japan (Wei et al. 2015; 2016). Although there is some discrepancy between the observation and our simulation, our model successfully reproduced ascending/descending timing of dD.

From composite analysis against precipitation intensity by BF, dD contrast between north and south of BF reflects airmass difference in the case with weak precipitation, which is consistent with Kurita et al. (2015). On the other hand, heavy precipitation case is almost same with weak precipitation case except for “V-shape” depletion near BF region. This result is consistent with temporal V-shape change in isotope ratio of precipitation associated with front passing (e.g. Celle-Jeanton et al. 2004).

キーワード：梅雨前線、水安定同位体、雲解像モデル

Keywords: Baiu front, stable water isotopes, cloud resolving model

トウファ年輪 $\delta^{13}\text{C}$ に基づく火山活動の評価A possibility of annually-laminated tufa $\delta^{13}\text{C}$ record as a reflection of volcanic activity*勝田 長貴¹、阿部 理²、安田 敦³、内藤 さゆり¹、森本 真紀¹、村上 拓馬²、川上 紳一⁴*Nagayoshi Katsuta¹, Osamu Abe², ATSUSHI YASUDA³, Sayuri Naito¹, Maki Morimoto¹, Takuma Murakami², Shin-ichi Kawakami⁴

1. 岐阜大学教育学部、2. 名古屋大学環境学研究科、3. 東京大学地震研究所、4. 岐阜聖徳学園大学教育学部

1. Faculty of Education, Gifu University, 2. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 3. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 4. Faculty of Education, Gifu Shotoku Gakuen University

浅間火山は日本列島で最も活動的な火山のひとつであり、山体とその周辺には多くの湧水が存在する。山体南麓に位置する濁川源泉は高濃度の鉄質炭酸泉からなり、1180年の大噴火の際に生じた追分火砕流堆積層を侵食しながら流れ下っており、その河床には方解石を主体とする縞状堆積物（トウファ）が沈積している。また、濁川の段丘涯中にも、過去に河床で生成された古トウファが埋没する。トウファは一般に、石灰岩地帯の沢や湖沼などの淡水環境で生成されており、その縞状組織は水の化学成分、水温や降水量などの季節変動を反映することが知られている (Ihelnfeld et al. 2003; Kano et al., 2003)。我々は、活火山の湧水から湧出した沢で初めて確認されたトウファの形成過程とそこに記録される情報を解明するために、水文調査と同位体及び化学組成の分析を行っており、本発表ではこれまでの研究結果を報告する。

調査地域は、濁川の鉄質炭酸源泉群から下流約4 kmの範囲である。その河床には、源泉群付近から下流約1 kmで水酸化鉄、そこから下流約3 kmでトウファがそれぞれ堆積している。我々は、源泉群（2地点）、水酸化鉄の沈殿場（1地点）、トウファ堆積場（3地点）、非堆積場（1地点）の定点観測点を7地点設け、2011年12月～現在にかけて2ヶ月ごとの観測を行っている。現地では、採水及び水質測定（pH, ORP, DO, EC, 水温、アルカリ度）を行い、水の陽イオン濃度と陰イオン濃度の分析結果をもとに方解石の飽和度指数と *PWP-rate*（方解石沈殿速度）が求められた。また、河川水と天水の安定同位体比（ δD_w , $\delta^{13}C_w$, $\delta^{18}O_w$ ）、トウファ試料の安定同位体比（ $\delta^{13}C_c$, $\delta^{18}O_c$ ）、水とトウファの放射性炭素同位体比（ $\Delta^{14}C$ ）分析、EPMAを用いたトウファの化学組成分析が行われた。

濁川の水の $\delta^{18}O_w$ と δD_w は源泉からトウファ堆積場にかけて季節によらず誤差範囲内で一定に推移する（ $\delta^{18}O_w = -12.9 \sim -12.2\%$, $\delta D_w = -90.0 \sim -86.1\%$ ）。その $\delta^{18}O_w - \delta D_w$ 関係は天水線上に分布し、天水に比べて狭い範囲（ $\delta^{18}O_w = -12.9 \sim -12.2\%$, $\delta D_w = -90.0 \sim -86.1\%$ ）に分布することから、山体内部でよく混合された水が源泉から湧出しているとみなすことができる。

トウファ年輪方解石 $\delta^{13}C_c \cdot \delta^{18}O_c$ は共に、Mgに富む夏季の縞では相対的に低い値（ $\delta^{18}O_c = -10.1\%$, $\delta^{13}C_c = -6.5\%$ ）、Mnに富む冬季の縞では高い値（ $\delta^{18}O_c = -9.2\%$, $\delta^{13}C_c = -7.0\%$ ）を示す。トウファ $\delta^{18}O_c$ で見られる季節変動は、 $\delta^{18}O_w$ が時間的・空間的にほぼ一定であることから、水温効果で生じているとみなされる（ $\delta^{18}O_c - \delta^{18}O_w = -0.0051T + 3.2509$; $R = 0.75$ ）。Zheng (1999) に基づく $\delta^{18}O_c$ から推定される年平均水温は、エルニーニョ発生年の2003年と2010年で増加が認められた。

トウファ堆積場における $\delta^{13}C_w$ 起源を求めるために、河川水 $\delta^{13}C_w$ 、DIC濃度、 $\Delta^{14}C$ をもとに炭素収支計算を行った。結果、トウファ堆積場では夏季に有機物由来の炭素付加の増加が見られ、有機物付加がトウファ $\delta^{13}C_c$ 増減を決めていると推察される。さらに、そうした $\delta^{13}C_c$ の季節変動幅（年間の最大と最小値幅）は 0.57% （平均 5.6% ）であるのに対し、2004年晩夏に顕著な低値（ $\delta^{13}C = 4.8\%$ ）と $\delta^{18}O_c$ 増加（水温低下）が認められた。浅間火山では2004年9月に中規模噴火が生じており、トウファ $\delta^{13}C_c$ で見られた低値は山体内部の活動度の上昇で火山性起源の水の供給が一時的に増加したものと見なされる。

キーワード：トウファ、安定炭素同位体、安定酸素同位体

Keywords: Tufa, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$

鍾乳石中に流体包有物として保存された過去の水の同位体比分析 Isotope analysis of past drip water preserved as fluid-inclusions in stalagmites

*植村 立¹、仲本 壮志¹、三嶋 悟¹、儀保 雅一¹、浅海 竜司¹、Jin-Ping Chen²、Wu Chung-Che²、Chang Yu-Wei²、Shen Chuan-Chou²

*Ryu Uemura¹、Masashi Nakamoto¹、Satoru Mishima¹、Masakazu Gibo¹、Ryuji Asami¹、Chen Jin-Ping²、Chung-Che Wu²、Yu-Wei Chang²、Chuan-Chou Shen²

1. 琉球大学 理学部、2. 国立台湾大学

1. University of the Ryukyus, 2. National Taiwan University

過去の気候復元の研究では、ウラン-トリウム法によって絶対年代が測定できる鍾乳石は重要な記録媒体である。気候変動のプロキシとしては、CaCO₃の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_c$) が広く用いられている。しかし、 $\delta^{18}\text{O}_c$ は、二つの変数 (滴下水の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_w$) と生成時の気温) に支配されており、定量的解釈が困難なことが多い。

鍾乳石の流体包有物は、この点を解決する有望なプロキシとして注目されている。流体包有物とは、滴下水が結晶中の微小な空隙に保存されているものであり、過去の洞窟内の滴下水は、過去の地下水といえる。高湿度の洞窟内においては包有された時点での酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_w$) は、元の滴下水の同位体比を保存していると考えられる。

鍾乳石の流体包有物は、分析手法上の困難さからあまり研究が進まなかったが、近年開発された分光式の同位体比分析計によって研究開発が活発化している(e.g., Affolter et al., 2014; Arienzo et al., 2013)。我々のグループも、流体包有物中の水の水素・酸素安定同位体比を測定する手法を開発した(Uemura et al., 2016)。必要試料量は20-300ナノリットルであり、高感度かつ高精度である。発表では、沖縄県の鍾乳石に適用した結果を中心に最近の研究成果を紹介する。

Affolter et al., (2014) *Clim. Past*, 10, 1291–1304.

Arienzo et al., (2013) *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 27, 2616–2624.

Uemura et al., (2016) *Geochim. Cosmochim. Acta*, 172, 159-176, doi:10.1016/j.gca.2015.09.017

キーワード：安定同位体、鍾乳石、流体包有物

Keywords: stable isotope, speleothem, fluid inclusion

Controls on the isotopic composition of surface water and groundwater and hydrologic implications in the mid Merced River basin, Sierra Nevada, California, USA

*Fengjing Liu¹

1. Lincoln University

Isotopic composition in stream water, springs, groundwater, and precipitation was examined to understand the controls on the spatiotemporal variability from 2006 to 2008 in the mid Merced River basin (1,873 km²), Sierra Nevada, California. Mean isotopic values in small tributaries (basin area < 122 km²), rock glacier outflows and groundwater were correlated with mean basin elevation ($n = 16$, $p < 0.001$), suggesting an isotopic lapse rate of $-1.9\text{‰}/100$ m for $\delta^{2}\text{H}$ and $-0.22\text{‰}/100$ m for $\delta^{18}\text{O}$ in meteoric water. Evaporation had little effect on the isotopic signature of precipitation, springs, and groundwater, but affected stream water during low flows in summer and fall. The isotopic composition in stream water in the Merced River was most depleted during snowmelt. However, the isotopic composition-elevation relationship in tributaries and the Merced River did not vary much over seasons. A basin-characteristic isotopic value was established for each basin based on the relation between isotopic composition and the mean basin elevation to elucidate hydrometeorologic processes over seasons. It is suggested that flow and flow duration of Yosemite Creek are most sensitive to temperature increase due to its strong evaporation. Based on the isotope-elevation relation, groundwater in Yosemite Valley was recharge from the upper snow-rain transition zone (2,000-2,500 m), suggesting its strong vulnerability to temperature increase, shift in snow-rain ratio and the earlier onset of snowmelt. The information helps advance our understanding of hydrologic responses to climate change in snowmelt-fed river systems in the U.S. West.

Keywords: Stable isotopes, Isotopic lapse rate, Snow-rain transition, Merced River

Reanalysis, Stable Isotopes and the Age of Water: Improving Constraints for Model Identification at a Critical Zone Observatory

*Christopher Duffy¹, Kei Yoshimura², Evan Thomas¹, Gopal Bhatt¹

1. The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, 2. Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan

This paper presents a hydrologic model for an upland catchment constrained by climate observations and stable isotopes of oxygen and hydrogen at the Susquehanna/Shale Hills Critical Zone Observatory (SSH_CZO).

Model forcing uses NLDAS-2 reanalysis time series for daily weather forcing and IsoRSM regional atmospheric model (isotope-incorporated regional spectrum model) for simulating stable isotopes in precipitation and water vapor at 10 km x 10 km spatial resolution. The regional model is developed through a dynamical downscaling technique that applies the results of the global simulation and a spectral nudging technique to produce the higher resolution data (Kei Yoshimura & Kanamitsu, 2008). The regional model results were compared to 4 years of daily sampled stable isotope data in precipitation at the SSH/CZO and good agreement is found, extending the precipitation isotope data to the full reanalysis period (1979-2014).

The paper next develops the theoretical basis for simulation of flow, isotope ratios and “age” as water moves through the canopy, to the unsaturated and saturated zones and finally to an intermittent stream. The model formulation demonstrates that the residence time and age of environmental tracers can be directly simulated without knowledge of the form of the underlying residence time distribution function and without the addition of any new physical parameters.

The model is then used to explore the rapid attenuation of event and seasonal isotopic ratios in precipitation over the depth of the soil, and the impact on streamflow and stream isotope ratios. The results suggest the importance of mobile macropore flow on recharge to groundwater during the non-growing cold-wet season. The soil matrix is also recharged during this season with a cold-season isotope signature on recharge and baseflow. During the growing (dry) season, root uptake and evaporation from the soil matrix along with a declining water table determines the growing season isotope signature.

The paper concludes by illustrating how system memory, age and residence time estimation can be used to constrain the model through sensitivity analysis of parameters as a function of mean isotopic age.

Keywords: catchment hydrology, stable isotopes, dynamical model, isotopic age of water

An improved analytical method for determining radioactive ^{35}S in water/snow samples and its applications to snow and glacier hydrology

*Mang Lin¹, Kun Wang², Shichang Kang², Mark Thiemens¹

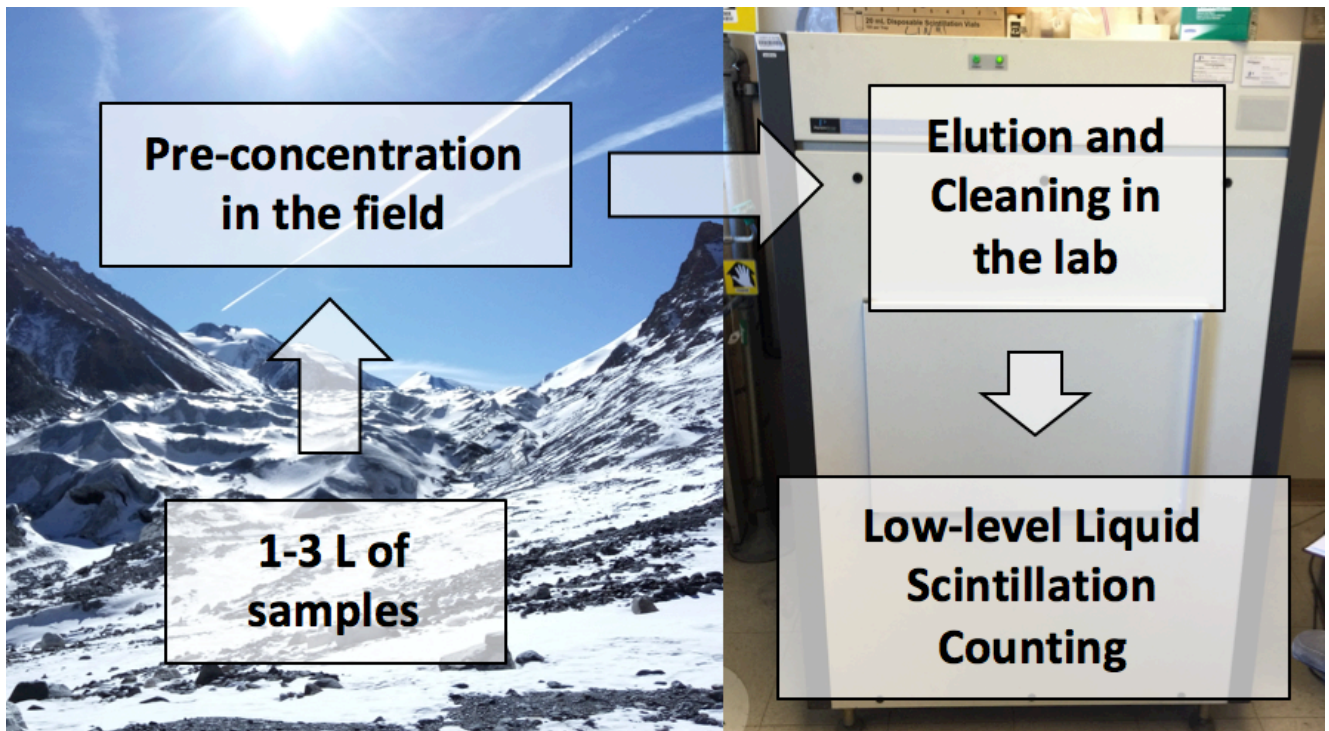
1. University of California San Diego, 2. State Key Laboratory of Cryosphere Sciences, Chinese Academy of Sciences

Cosmogenic ^{35}S is useful in understanding a wide variety of chemical and physical processes in the atmosphere, the hydrosphere and the cryosphere. The 87.4-day half-life and the ubiquity of sulfur in natural environments renders it an ideal tracer of many phenomena. For example, recent ^{35}S measurements in aerosol samples provided new insights into the vertical and horizontal transport processes in the atmosphere [1-2]. However, measurements of ^{35}S in snow and water samples remained scarce as existing analytical methods required a large volume of sample (>20 L) due to their high analytical activity background and low counting efficiency [3-4]. Here, we present a new set of snow/water sample collecting and handling procedures for high-sensitivity determination of cosmogenic ^{35}S using an optimized low-level liquid scintillation spectrometer technique [5]. The counting background and efficiency of this technique were ~ 0.9 counts per minute and $\sim 78\%$, respectively, and therefore we can easily analyze water samples as small as ~ 2 L, ~ 10 times smaller than previous methods. Laboratory experiments using diluted ^{35}S standards (with activities of <5 disintegrations per minute) showed a ^{35}S recovery percentage of $\sim 95\%$, demonstrating a relatively small deviation from the true value. This new method will provide a powerful tool in studying ^{35}S in small volumes of snow and water samples, especially those from remote but climatically important regions such as the polar regions and the Tibetan Plateau and Himalayas (also known as the Third Pole). The measurements are particularly important as the radioactive sulfur provides an actual clock of glacial melting processes. With the growing rate of glacial loss, the need for measurements from remote locations becomes all the more important. Using this method, we successfully measured ^{35}S in ~ 1 L of fresh snow sample collected from a glacier on the Tibetan Plateau (Laohugou Glacier No.12; $39^{\circ}05' -40' \text{ N}$, $96^{\circ}07' -97^{\circ}04' \text{ E}$; 4260–5481 m above sea level) to be 47 ± 7 mBq/L. We point out that the precision can be easily improved by collecting relatively larger amounts of samples (e.g. ~ 3 L) and measuring samples as soon as possible. Based on ^{35}S activities in 9 natural samples (fresh and aged snow, ice, runoff) made in this pilot study, a first proof-of-concept approximation for age determinations and source attributions will be presented. Along with water stable isotope measurements (dD and d ^{18}O), our ^{35}S measurements may assist in quantifying snow melting rates. More samples ($n > 100$) collected from Laohugou Glacier No.12 and other three glaciers across the Tibetan Plateau and Himalayas (East Rongbuk Glacier at Mount Everest, Xiao Dongkemadi Glacier at Tanggula Range and Baishui Glacier No.1 at Mount Yulong) during 2015-2016 are being measured and will be reported. We anticipate that these results will provide deeper insight into snow/glacier melting processes over the Tibetan Plateau and Himalayas.

References:

- [1] Lin, M., et al. (2016). PNAS, 113(40), 11131–11136.
- [2] Priyadashi, A., et al. (2011). PNAS, 108(35), 14422–14425.
- [3] Hong, Y. and G. Kim (2005). Anal. Chem., 77, 3390-3393.
- [4] Uriostegui, S., et al. (2015). Anal. Chem., 87, 6064-6070.
- [5] Brothers, L., et al. (2010). PNAS, 107(12), 5311-5316.

Keywords: Sulfur isotopes, Cosmogenic nuclides, Snow melt, Glacier retreat, Cryosphere, Tibetan Plateau and Himalayas



Continuous isotopic Water Sampling Cavity Ring-Down Spectroscopy (CWS-CRDS) for real-time measurements of water isotopes

*David Kim-Hak¹

1. Picarro, Inc.

Stable isotopes of water (d^2H , $d^{18}O$) are unique tracers of many hydrological processes including evaporation, precipitation, reservoir mixing and residence time. Historically, discrete water samples have been collected and analyzed via either Isotope Ratio Mass Spectrometry, or more recently laser-based spectroscopic methods, such as Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS). However, the analysis of discrete samples precludes the ability to construct high resolution water isotopes data sets through time and space. Previously, research groups have developed laboratory-built diffusive samplers for extracting water vapor from liquid [1,2] and then analyzed that vapor via CRDS instruments, whose continuous flow design and high frequency measurement interval (< 1 Hz) makes them uniquely suited to real-time, high throughput measurements. Here we present details of the first commercially-available and field-deployable Continuous isotopic Water Sampler (CiWS) coupled to a Picarro L2130-*i* for isotopic water analysis. The CiWS device utilizes an expanded polytetrafluoroethylene (ePTFE) membrane to extract water vapor into a dry air stream. The resultant water vapor is analyzed by a Picarro L2130-*i* for d^2H and $d^{18}O$. An automated software program provides user-specified time-averaged data and switches between four ports to enable easy calibration. Tight temperature and flow rate control regulates fractionation across the membrane. In-lab testing demonstrates that the system can achieve a raw precision (1s of 3 minute average) better than 0.05/0.15 ‰($d^{18}O/d^2H$), respectively, and a reproducibility of 0.15/0.5 ‰($d^{18}O/d^2H$) over seven days, even under variable ambient air and water temperature conditions.

Keywords: cavity ring-down spectroscopy, water stable isotope

沖縄島における降水の¹⁷O-excessの季節変動

Seasonal variation of ¹⁷O-excess of precipitation in East Asian Monsoon region, Okinawa, Japan

*上地 佑衣菜¹、植村 立¹

*Yuina Uechi¹, Ryu Uemura¹

1. 琉球大学理

1. University of the Ryukyus

近年、水の水素と酸素18の同位体比 (δD と $\delta^{18}O$)に加えて、酸素17($\delta^{17}O$)の高精度測定が可能になった。水循環のトレーサーとして、 $\delta^{18}O$ と $\delta^{17}O$ を組み合わせた¹⁷O-excessという指標が提案された (Barkan and Luz, 2005)。¹⁷O-excessは、海洋上の蒸発における分子拡散により生じると考えられ、d-excessと組み合わせることによって新たな情報を持つ指標として期待できる。

¹⁷O-excessの変動メカニズムは基本的にd-excess ($= \delta D - 8 \times \delta^{18}O$)と同様である。実際に、海洋上の水蒸気の¹⁷O-excessとd-excessには正の相関関係がある (Uemura et al., 2010)。しかし、南極のアイスコア (Landais et al., 2008)と雪 (Touzeau et al., 2016)、アメリカ大陸の地下水 (Li et al., 2012)では、¹⁷O-excessとd-excessの相関関係が低く、雪結晶成長や水蒸気循環の影響が指摘されている。また、アフリカモンスーン降水イベントの¹⁷O-excessが対流活動における再蒸発の影響が示唆されている (Landais et al., 2010)。本研究では、アジアモンスーン地域における¹⁷O-excess変動を明らかにするために、沖縄島での降水の測定を行った。

試料は、沖縄県南部(沖縄県環境衛生研究所)において、1週間ごとに2年間、採取した降水を用いた。同位体分析にはキャピティエーリングダウン式分光計(L2140-i, Picarro)を用いた。降水の¹⁷O-excessは夏に低く冬に高い値をとる季節変動がみられた。これは、d-excessの季節変動 (Uemura et al., 2012)と同様であり、水蒸気起源の相対湿度を反映していると考えられる。また、¹⁷O-excessとd-excessには強い正の相関関係がみられた。この結果は沖縄島の降水が海洋での蒸発時の分子拡散の情報を保存している事を示唆している。

キーワード：¹⁷O-excess、三酸素同位体、降水

Keywords: ¹⁷O-excess, the triple isotopic composition, precipitation

水試料の殺菌を代替する試料処理：炭素安定同位体測定に関する予察結果 Alternative to toxic substance for water sample preservation to measure stable carbon isotopic composition of DIC: preliminary result

*高橋 浩¹、半田 宙子¹

*Hiroshi A Takahashi¹, Hiroko Hanada¹

1. 産業技術総合研究所

1. Geological Survey of Japan, AIST

水試料の炭素同位体測定を実施する際には、試料中の微生物の活動によって炭酸成分が変化しないように殺菌処理を行うことが推奨されており、海洋研究では標準手法となっている。しかしながら、陸水試料では、殺菌のための塩化第二水銀やアジ化ナトリウムといった毒物を使用できないことも多くある。さらに毒物の使用によって、環境リスクを高めることになり、廃液処理に時間やコストを要する等のデメリットも大きい。

我々は、毒物を代替するような、水試料中の生物活動を停止させるための処理について、いくつかの手法を検証してきた。NaOHの添加が生物活動の低減には効果があったものの、試料の化学組成によっては沈殿が生成してしまい、DIC分析には適さないものであった。また、NaCl添加による効果の可能性について、2016年のゴールドシュミット国際会議で指摘した。その検証を行ったところ、DIC濃度が低い試料では、NaClの添加によって、炭素同位体比が低めの値に変化してしまうことがわかった。DIC濃度についても、NaClの添加で低くなることが示され、NaClを毒物の代替とすることはできないとの結論を得た。

一方、塩化ベンザルコニウム（BAC）を環境負荷の低い代替物質として用いることが試みられている。Kuo (1998) では飲料水の分析のためにいくつかの代替物質を用いており、そのなかのひとつがBACである。Gloël et al. (2015) では、海水試料の溶存ガス分析に対してBACの効果を検討しており、短期的な試料保管であれば使用できるとの報告がある。しかしBACによって微生物は細胞死する作用があるはずであり、DIC分析に効果があると期待される。我々はいくつかの水試料を採取して、微生物活動を高めるために糖を添加した上で、BACの有無によるDIC濃度や炭素同位体比の変化を検証した。

予察的な結果しか得られていないが、これまでのところ4週間程度の試料保管では、BAC添加によりDIC濃度や炭素同位体比の変化が抑えられており、BACの効果は十分に期待できると考えられる。今後、さらに多くの試料を用いて検証を重ねていきたいと考えている。

引用文献

Gloël, J., Robinson, C., Tilstone, G. H., Tarran, G. and Kaiser, J. (2015) Technical note: Could benzalkonium chloride be a suitable alternative to mercuric chloride for preservation of seawater samples? *Ocean Sci.* **11**, 947-952.

Kuo, C. Y. (1998) Improved application of ion chromatographic determination of carboxylic acids in ozonated drinking water. *J Chromatogr A.* **804**, 265-272.

キーワード：溶存無機炭素、炭素同位体、塩化ベンザルコニウム

Keywords: DIC, carbon isotope, benzalkonium chloride

マングローブ林からの水系を介した炭素流失の評価：溶存炭酸の濃度および炭素同位体比による解析

Estimation of DIC escape from a mangrove forest in Ishigaki Island inferred from using stable carbon isotopic analysis.

*近藤 美由紀¹、高橋 浩²、吉竹 晋平³、友常 満利⁴、金城 和俊⁵、大塚 俊之³

*Miyuki Kondo¹, Hiroshi A Takahashi², Shinpei Yoshitake³, Mitsutoshi Tomotsune⁴, Kazutoshi Kinjo⁵, Toshiyuki Ohtsuka³

1. 国立環境研究所、2. 産業技術総合研究所、3. 岐阜大学、4. 神戸大学、5. 琉球大学

1. National Institute for Environmental Studies, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 3. Gifu University, 4. Kobe University, 5. University of the Ryukyus

マングローブ林は、森林生態系の中で最も炭素貯留量が大きく（Donato et al. 2011）、特異的に高いCO₂吸収能を持つため（Rivera-Monroy et al. 2013）、近年、温暖化問題を背景にその機能に注目が集まっている。高いCO₂吸収能は、熱帯環境での高い純一次生産量と、冠水による低い分解呼吸量により説明されているが、炭素収支について未解明な部分が多く、CO₂吸収の報告には大きな誤差がある。本研究では、従来の方法では定量されてこなかったマングローブ生態系からの水系を通じた炭素流出に着目し、土壌中の地下水に形成される溶存無機炭素（DIC）プールと潮汐による地下水移動に伴うDICの流出について、炭素同位体を用いた解析を実施した。生態学的な調査が実施されている沖縄県石垣島吹通川のマングローブ林の河口域において、2017年8月に河口からマングローブ林内の河川の4地点にて1時間毎に河川水を採取し、pH、塩分、DIC濃度および炭素同位体比を測定した。これらは、潮位変動に伴った変化を示し、特に、干潮時に高いDIC濃度が示された。その濃度は、上流の河川水や付近の海水を上回っており、マングローブ林からのDIC供給が示唆されるものであった。このとき、DICの炭素同位体比の変動は、マングローブ林下流の河口では0.37～-10.33%、マングローブ林周辺では-1.97～-13.87%であり、海水起源のDICよりも明らかに低い値であった。このことは、マングローブ林地下における有機物分解に由来する炭素同位体比の低いDICを含んだ地下水が、マングローブ林から河川へ流出したことを示している。

マングローブ林からの炭素流出の影響を定量するために、塩分と炭素同位体を指標とした混合を仮定して、分析値の評価を行った。マングローブ林からの炭素成分の寄与があっても、塩分には影響しないと考えられることから、塩分を指標とした計算では、河川水と海水が混合したときの状態が再現でき、そのときのDIC濃度と炭素同位体比を計算上の値として求めることができる。この計算値と実測値のずれを利用すれば、マングローブ林からの炭素成分の寄与を見積ることが可能となる。この解析により、おおよそ最大3割程度の炭素がマングローブ林由来であると推定された。

キーワード：炭素循環、マングローブ生態系、DIC、炭素安定同位体

Keywords: Carbon cycle, Mangrove forest, DIC, 13C

阿蘇火山から浅層地下水系を通して放出されるマグマ起源物質質量（予察）

Preliminary study of volatile flux from magma of Aso volcano through shallow groundwater layer, Kumamoto Prefecture, Southwest Japan

*高橋 正明¹、風早 康平¹、佐藤 努¹、高橋 浩¹、宮越 昭暢¹、戸崎 裕貴¹、森川 徳敏¹、稲村 明彦¹、大丸 純¹、半田 宙子¹、仲間 純子¹、清水 日奈子¹、竹内 久子¹

*Masaaki Takahashi¹, Kohei Kazahaya¹, Tsutomu Sato¹, Hiroshi A Takahashi¹, Akinobu Miyakoshi¹, Yuki Tosaki¹, Noritoshi Morikawa¹, Akihiko Inamura¹, Jun Daimaru¹, Hiroko Handa¹, Atsuko Nakama¹, Hinako Shimizu¹, Hisako Takeuchi¹

1. 産業技術総合研究所

1. The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

阿蘇カルデラから浅層地下水系を通して放出されるマグマ起源物質質量を検討するため、阿蘇カルデラ及びその周辺の河川（白川、黒川、緑川）及び地下水調査を行った。

黒川（大淵橋、阿蘇谷赤水）での流下量は、硫黄53.7ton/day、塩素25ton/day、白川（妙見橋、南郷谷河陰）での流下量は硫黄12.3ton/day、塩素流下量は5.4ton/dayであった。

降雨あるいは地層から供給される硫黄、塩素の量の把握、あるいは温泉（深層地下水）の浅層地下水への影響を考慮した、浅層地下水系を通して放出されるマグマ起源物質質量について検討する必要がある。

本研究は平成28年度原子力施設等防災対策等委託費（火山影響評価に係る技術的知見の整備）の成果の一部である

キーワード：阿蘇カルデラ、河川・地下水調査、マグマ起源物質放出量、水素・酸素同位体比

Keywords: Aso caldera, groundwater and river survey, volatile flux of magma, hydrogen and oxygen isotopic ratio

御嶽山北東麓における湧水の流出機構

Runoff processes of volcano springs in the northeast foot of Mt. Ontake

*浅井 和由¹

*Kazuyoshi Asai¹

1. 株式会社 地球科学研究所

1. Geo-Science Laboratory

第四紀火山の山麓部には湧水が多く集中し、地域住民にとって重要な水資源となっている。滞留時間が20年を超えるような湧水は質・量ともに安定しているが、比較的規模の小さな湧水は降水量の季節変化に対応して、質・量ともに変動することが知られている。本研究では、滞留時間が10年程度未満の湧水が分布する御嶽山の火山山麓湧水を対象として、継続的に流量観測や採水を実施し、安定同位体や年代トレーサーの分析を実施した。これらのデータに基づいて、湧水の流出プロセスについて検討した結果を紹介する。

キーワード：火山山麓湧水、御嶽山、流出特性

Keywords: Volcano springs, Mt. Ontake, Runoff-processes

富士北麓・河口湖の湖底湧水と周辺地下水の水同位体比の比較 Comparison of stable water isotopes between lake bottom springs and groundwater around Lake Kawaguchi at the northern foot of Mount Fuji

*山本 真也¹、中村 高志²、芹澤 如比古³

*Shinya Yamamoto¹, Takashi Nakamura², Yukihiro Serisawa³

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、3. 山梨大学教育学部

1. Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, 2. Interdisciplinary Graduate School, Research Center for River Basin Environment, University of Yamanashi, 3. Faculty of Education, University of Yamanashi

河口湖では、2015年の調査により、鵜の島の東、水深約8mの湖底に湧水が発見された。この湧水の水同位体比は、湧水地周辺の直上水に比べ低い値を示しており、周辺の山地からの地下水の影響が示唆されたが、湖水との混合によりその詳細な起源については明らかでなかった。そこで、本研究では2016年7月、潜水調査により湖底湧水を直接採取し、その水同位体比を同時期に採取した湖周辺の地下水と比較した。その結果、湖底湧水の水同位体比は、湖南岸の地下水に比べ高く、湖北岸の地下水に近い値を示した。このことは湖底湧水が主に、御坂山地を起源とする地下水であ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

川崎市の都市化地域における浅層地下水の起源と窒素汚染に関する同位体的研究

An isotopic study on origins of water and nitrogen pollution of shallow groundwater in densely populated areas of Kawasaki City, central Japan

*二神 孝憲¹、安原 正也¹、李 盛源¹、中村 高志²

*Takanori Futagami¹, Masaya Yasuhara¹, Seongwon Lee¹, Takashi Nakamura²

1. 立正大学地球環境科学部、2. 山梨大学国際流域環境研究センター

1. Risscho Univ., 2. Yamanashi Univ.

都市域の地下水環境は人為的な影響を強く受けており、そこでは自然状態よりもはるかに複雑な水・物質循環システムが形成されている。この都市域の地下水の水・物質循環システムに関する研究はいまだに少なく、研究事例の蓄積が待たれているところである。そこで、本研究では神奈川県川崎市高津区とその周辺の都市化地域を対象として、同位体的手法に基づき、地下水の起源の解明と特に窒素に焦点を当てた地下水汚染の実態・プロセスを明らかにすることを目的とした。

井戸水と湧水を対象に、2016年の夏季に合計約30地点から地下水試料を採取した。台地部の井戸は相模層群・新期段丘堆積物中の地下水を、低地部の井戸は沖積層の地下水を対象としており、井戸の深度はいずれも15m以浅である。一般水質組成からは、地下水は大局的には台地部、低地部ごとにそれぞれ似た水質組成あるいは濃度を有する傾向が認められた。その一方で、同じ台地、低地部でも隣接する地点間で水質に著しい違い（不均質性）があることも分かった。この濃度の不均質性は硝酸イオンにおいて特に顕著であった（0.0-95.8 mg/L）。

酸素・水素同位体比は水道水が最も低く、湧水が最も高い値を示した。そこで、それぞれを水道漏水と降水浸透水の同位体比を代表するエンドメンバーとして、地下水中に占める水道漏水の割合（混入率）を算出したところ、全域において地下水への水道漏水の相当量の混入が確認された。この地下水涵養に果たす水道漏水の寄与は多摩川沿いの低地部で顕著であった（最大で約40%）。続いて、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比から窒素の起源を検討した結果、台地部の地下水ならびに農地に近い一部の低地部の地下水中の窒素は主に肥料起源、そのほかの低地部（市街地）のそれは下水漏水起源であると推定された。また、台地、低地部の地下水とも、一部で脱窒プロセスの進行が認められた。

本研究の結果、水道漏水が都市の浅層地下水涵養に重要な役割を果たしていること、さらに公共下水道が完備されて久しい都市化地域であるにもかかわらず、調査地域全域で窒素による地下水汚染が生起していることが明らかになった。特に下水漏水による地下水汚染の発生が強く示唆された。水道漏水と下水漏水の果たす水文学的な役割について、さらに正確な定量的評価が今後の課題となる。

キーワード：都市化地域、川崎市、浅層地下水、水道漏水、下水漏水、硝酸イオンの窒素・酸素同位体

Keywords: urbanized area, Kawasaki City, shallow groundwater, leakage from water mains, sewage leakage, nitrogen and oxygen isotopes of nitrate ion

熊本地震後に発生した地下水・温泉の変化

Anomalous changes in groundwater and hot spring water after the 2016 Kumamoto earthquake

*佐藤 努¹、高橋 浩¹、川端 訓代²、高橋 正明¹、戸崎 裕貴¹、宮越 昭暢¹、稲村 明彦¹、半田 宙子¹、松本 則夫¹、風早 康平¹

*Tsutomu Sato¹, Hiroshi A Takahashi¹, Kuniyo Kawabata², Masaaki Takahashi¹, Yuki Tosaki¹, Akinobu Miyakoshi¹, Akihiko Inamura¹, Hiroko Handa¹, Norio Matsumoto¹, Kohei Kazahaya¹

1. 産業技術総合研究所 地質調査総合センター、2. 鹿児島大学

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Kagoshima University

2016年4月14日から始まった一連の熊本地震の活動による地下水や温泉への影響を調べるため、熊本県内の8か所の湧水（図1のA~H）における調査を行った。また、21ヶ所の温泉施設における聞き取り調査と、阿蘇地区で新たに発生した湧水（図1のJ）の調査も行った。

調査を行った8ヶ所の湧水のうち6ヶ所（A~D, G, H）は、地震の1ヶ月前の2016年3月6-10日に湧出量測定や採取調査を行っていた場所である。また残りの2ヶ所（E, F）についても、2014年に同様の調査を行っている。このような地震前の調査によって、熊本地震に伴う湧出量や主成分濃度の変化が明らかになった。

湧出量は、3ヶ所（A~C）において増加（増加率は地震前の2-6倍）、2ヶ所（G, H）において減少（減少量は地震前の50-80%）が見られた（Fig.2）。残りの3ヶ所（D~F）は変動幅が地震前の30%以内であった。湧出量の増加および減少が見られた湧水は、地震を引き起こした布田川・日奈久断層から7km以内の距離に位置する湧水であった。

湧出量の増減と地震で発生した地殻の伸縮とを比較するため、国土地理院（2016）の断層モデルを基にして、地殻変動解析支援プログラムMICAP-G（Okada, 1992, 内藤・吉川, 1999）を用いて地表面で予想される体積歪変化量を計算した。両者の分布を図1上で比較したところ、明確な関係は見られなかった。

湧出量が増加した3ヶ所は、いずれも2016年11月の湧出量は地震前のレベルには戻っていない（図2）。一方、湧出量が減少した2ヶ所のうち1ヶ所（H）は2016年9月に地震前のレベルに戻ったが、残りの1ヶ所（G）は2016年9月には逆に地震前の7倍に増加し、その後減少が見られている。このように湧出量の時間変化は場所によって様々であり、地下水の混合比の変化といった地域性を重視しながら、変化の要因について考察する必要があると考えられる。

主要化学組成については、多くの成分ではほとんど変化が見られなかったが、唯一硝酸イオン濃度に明らかな変化が観測された（図3）。具体的には、8ヶ所の湧水すべてにおいて、2016年5月に10-90%の増加が生じ、2016年9月までに地震前と同程度かそれ以下の濃度に減少している。湧出量の増減とは関係なく、すべての湧水において同様の変化が起きていることは興味深い。地下水の混合や地殻歪のような地域性に強く依存する要因ではなく、強い地震動のようなすべての湧水に共通して影響する要因について考察する必要があると考えられる。

温泉施設における聞き取り調査の結果、自噴が発生したり自噴量が顕著に増加した源泉や地域があることが判明した。この分布を上記の地殻歪変化の分布と比較すると、いずれも縮みの地殻歪変化が予想される地域と重なることが分かった。

参考文献

国土地理院（2016）平成28年（2016年）熊本地震，地震予知連絡会会報，96，557-589.

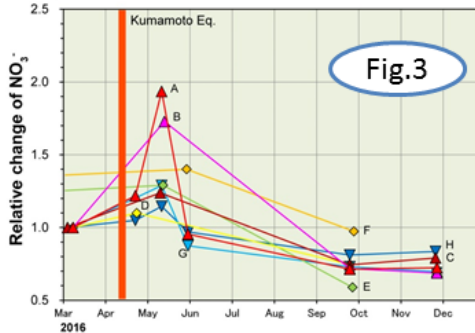
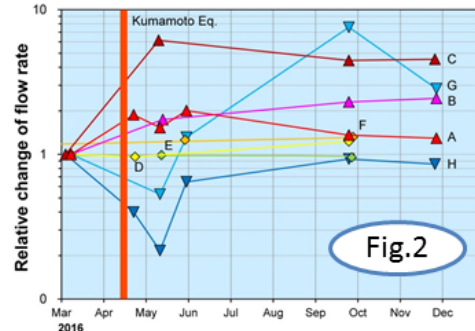
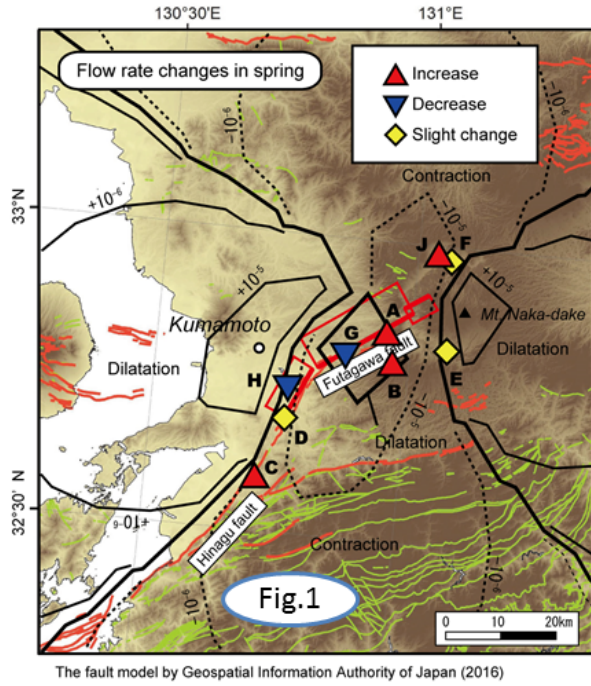
Okada (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. AM., 82, 1018-1040.

内藤宏人・吉川澄夫（1999）地殻変動解析支援プログラムの開発，地震2, 52, 101-103.

- 図1 熊本地震に伴う湧水の湧出量の変化
- 図2 湧水の湧出量の相対変化
- 図3 湧水の硝酸イオン濃度の相対変化

キーワード：熊本地震、地下水、湧出量、硝酸イオン、地殻歪変化、温泉

Keywords: The 2016 Kumamoto earthquake, groundwater, flow rate, nitrate ion, crustal strain changes, hot spring



Groundwater flow system in Fukushima Prefecture traced by tritium-³He and ¹²⁹I dating methods

Groundwater flow system in Fukushima Prefecture traced by tritium-³He and ¹²⁹I dating methods

*桜庭 真依子¹、角野 浩史¹、丸岡 照幸²、松崎 浩之³、楠野 葉瑠香³、川本 万里奈³、徳山 裕憲³、小豆川 勝美¹、堀 まゆみ⁴

*Maiko Sakuraba¹, Hirochika Sumino¹, Teruyuki Maruoka², Hiroyuki Matsuzaki³, Haruka Kusuno³, Marina Kawamoto³, Hironori Tokuyama³, Katsumi Syouzukawa¹, Mayumi Hori⁴

1. 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻、2. 筑波大学生命環境系、3. 東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室、4. 東京大学教養学部

1. Department of Basic Science, Graduate school, Arts and Sciences, University of Tokyo, 2. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 3. Micro Analysis Laboratory, Tandem Accelerator, University of Tokyo, 4. College of Arts and Sciences, University of Tokyo, Komaba

For developing and effective utilizing of groundwater resources, it is necessary to understand the large circulation of water from precipitation to use by residents (Mahara *et al.*, 1993). In particular, studying the residence time and source (recharge area) of the water is important in evaluating the groundwater flow system. In Fukushima Prefecture, although environmental behaviors of various radionuclides released by the accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant have been analyzed, there are few reports on the behavior and contamination status of groundwater by radionuclides, which are necessary to be assessed for safety use of groundwater resources in the future.

In this study, we investigated the groundwater flow system in Fukushima Prefecture and the anthropogenic contamination of groundwater caused by the nuclear accident using ³H-³He dating method, which is possible to acquire not only the age of groundwater but also the information on the water source based on the initial ³H concentration, and ¹²⁹I, one of the radionuclides released by the nuclear accident.

Sampling was conducted in September 2016 and January 2017 mainly on groundwater and spring water at the Hama-dori region, Fukushima Prefecture. The water samples for ³H-³He dating method were collected and sealed in copper tubes with special care to atmospheric contamination and analyzed using a noble gas mass spectrometer at Department of Basic Science, University of Tokyo. After the first extraction of originally dissolved helium, the sample water was sealed in the copper tube again and stored for about a month, and then the amount of ³He produced by the decay of ³H was extracted by the second degassing and analyzed to obtain the initial ³H concentration and the residence time. Water samples for iodine analysis were sampled in 1-L plastic bottles. Iodine in the sample water was extracted and back-extracted to yield silver iodide pellet, and then ¹²⁹I/¹²⁷I ratios and concentration of stable isotope ¹²⁷I was measured using an accelerator mass spectrometer and ICP-MS at Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator, University of Tokyo.

For example, in Minami Soma Sports Park located about 30 km north of the nuclear plant, the concentration of tritium-derived ³He was approximately 2.2×10^{-18} mol/g. The current ³H concentration has been determined by liquid scintillation counter to be 9.3 TU for a sample collected from the same locality (Yabusaki *et al.*, 2015). These values give the initial ³H concentration of 10.1 TU and the residence time of about 1.5 years. This suggests the groundwater system in this region has already been almost completely refreshed since March 2011 due to the short residence time.

For ¹²⁹I/¹²⁷I ratios, most of the samples measured so far showed values below 1.0×10^{-11} , which is the

lower limit of the isotope ratio including radioactive iodine of anthropogenic origin (Fehn, 2012). The low $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ ratio of water from Minami Soma Sports Park is in the range of natural background, which is consistent with the short residence time obtained with the ^3H - ^3He method.

Up to the present, it is not possible to confirm the apparent contamination due to the nuclear accident, but depending on the residence time of the groundwater, the possibility that polluted water will discharge in the future cannot be ruled out. We are planning to carry out further sampling to estimate the residence time and water source by the ^3H - ^3He method and combine it with the ^{129}I results to investigate the environmental impact.

References

- Y. Mahara, T. Igarashi, and Y. Tanaka (1993) *J. Groundwater Hydrol.*, **35**, 201-215.
S. Yabusaki, N. Shibasaki, Y. Takagi (2015) *J. Center Regional Affairs, Fukushima Univ.*, **27**, 37-46.
U. Fehn, (2012) *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **40**, 45Rev.

10-Beryllium-contents of sediments in mountainous catchments topographically constrained by shallow landslides

*池見 洋明¹

*Hiro Ikemi¹

1. 九州大学大学院工学研究院

1. Faculty of Engineering, Kyushu University

Recently, it is being important to understand sediment dynamics in a river basin for a well-balanced sediment management in the entire basin at view points of the national flood control and water resources. However, it is still unclear how much sediment has been produced in a mountainous stream, which is a basic information of the sediment dynamics. In this study, 10-beryllium-contents have been analysed for sediment samples of mountainous catchments in Fukuoka, Japan in order to fundamentally examine the sediment dynamics in the river basin. Since the late 1980s, beryllium isotopes of quartz extracted from rock or river sediment have been analysed to estimate rock- or catchment-scale denudation rates [1].

A lot of slope collapses are observed in the study area, of which the geology mostly consists of Mesozoic granites. Most of those failures were explained as a shallow landslide under around 1m in depth, which accompanied with an infiltration of rains and an increase of a groundwater table in weathering granite [2]. The sediment samples have been collected at four riverbeds and one hillslope in two different sub-catchments (A and B).

The samples that originated from weathering granite are composed of quartz, feldspar, mica and some organic materials. Firstly, they were washed by pure water and sieved over 250 μm to avoid a contamination from aeolian deposits. Then, the quartz was purified with acids and beryllium oxide was produced based on the method of Kohl & Nishiizumi [3]. Finally, beryllium isotopes were analysed with the accelerator mass spectrometer equipped by JAEA (JAEA-AMS-TONO).

As a result, the sample of the catchment B shows a little bit higher value in 10-beryllium-content that is 8.7 ± 1.9 ($\times 10^4$ atoms/g), than those of catchment A that show similar values ranging from 3.1 ± 0.5 to 5.5 ± 0.9 ($\times 10^4$ atoms/g). This result indicates that the river sediment in the catchment B includes quartz grains that have been exposed on a ground surface for a long time compared with the catchment A because topographical settings of these two catchments are similar. It is also possible to think that the river sediment in the catchments A contains more landslide materials because the landslide materials, which have come from a deeper part, might have a lower value in 10-beryllium-content. This result is consistent with distribution of the shallow landslides in 2003.

References:

- [1] Portenga & Bierman (2011) GSA Today, v. 21(8):4-10
- [2] Kyushu Branch of JAEG (2004) Get Kyushu, 25:14-40 (in Japanese)
- [3] Kohl & Nishiizumi (1992) Geochim.Cos.Acta 56:3583-3587

キーワード：地形、ベリリウム同位体、土砂動態

Keywords: topography, beryllium isotopes, sediment dynamics

Dynamics of Lake and Groundwater

*Meseret Dawit Teweldebrhan¹

1. Delft University of Technology

Soils and forests are deteriorating; grazing lands are degraded; water points, sources and lakes are drying, and underground water levels are lowered. This could largely be attributed to the employed traditional inappropriate resource management methods; severe soil erosion and degradation reducing infiltration and resulting in sedimentation of water sources and lake basins. Bad cultivation practices, burning and cutting of perennial vegetation, overgrazing and grass fires increase the runoff causing soil erosion and consequently sediment transport to the lake resulting to decrease its storage capacity and quality of stored water.

The present investigations also include the runoff-rainfall studies combined with estimation of sediment transport, pollution of water and rating decrease in storage capacity. The lake discharge has been decreased according to preliminary analysis. The main aim of this research is to quantify the interactions between groundwater and surface water. A multi-disciplinary approach will be used to quantify interactions between groundwater and surface water in the catchment. The methods include modelling, isotopes, hydrochemistry, hydraulic, and temperature approach. These methods will be applied at various spatial and temporal approach. With the help of different GIS/Remote Sensing equipment' s, different maps and imageries will be developed and further investigation will be done to evaluate the present mode of land situation and its degradation. Hydrological data and other related data will be collected from the different sources. Analysis of soil samples for different physico-chemical properties and water sample for testing its quality will be done by standard procedures and methods.

The status of land and water surface will be counter checked by ground truth. The results will provide a solid scientific basis on integrated approach of groundwater and surface water. Moreover, depending on the analysis and result, suggestions can be made for adopting some strategies to improve water resource management.

Keywords: lake, groundwater, SWAT & MODFLOW