

Investigation on the temporal change in attenuation within ruptured fault zone of the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake Investigation on the temporal change in attenuation within ruptured fault zone of the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake

MA, Kuo-fong^{1*}; WANG, Yu-ju¹
MA, Kuo-fong^{1*}; WANG, Yu-ju¹

¹Department of Earth Sciences, National Central University

¹Department of Earth Sciences, National Central University

Attenuation, noted as $1/Q$, had been considered as a geophysical parameter related to the fluid content, temperature and fracture of the medium. The attenuation parameter related to S-wave named as Q_s has more significant indication to the factors indicated above. The damage zone of a large earthquake was often considered as a fracture zone, especially the hanging wall of a thrust faulting earthquake, which suggests a zone with possible high attenuation (decrease in Q). Earlier Q_p and Q_s tomography studies revealed the feature with high attenuation on the hanging wall of the ruptured Chelungpu fault of the 1999 Chi-Chi earthquake. To examine the attenuation character in the rupture fault, we further investigate the temporal variation of the attenuation, specifically in Q_s , within the hanging wall before, following and after the earthquake. We observed a decreasing in Q_s within the fault rupture zone two years following the 1999 Chi-Chi earthquake by Q_s tomography images and an analysis of single-path Q_s near the Chelungpu fault. The synthetic and sensitivity tests of the Q_s determination were carried out accordingly to justify the temporal variation. A Q_s value within the hanging wall above the hypocenter was determined to be 157 two years following the Chi-Chi earthquake, which is significantly lower than the values of 238 and 289 prior to and two years after the main shock, respectively, from the Q_s tomography. Similar values using a signal-path Q_s analysis, from events within the ruptured fault zone to stations along the fault were obtained. The corresponding Q_s values were 247 prior to the Chi-Chi earthquake. After the earthquake, we obtained the Q_s values of 158 and 318 for the time, two years following and two years after the earthquake, respectively. Considering the two independent methods in determination of Q_s , the reduction in Q_s of 89 two years following the Chi-Chi earthquake in both method is significant. Along with 1% V_s reduction revealed by the analysis of repeating earthquakes, our studies suggested possible reduction both in V_s and Q_s within the fault zone after the Chi-Chi earthquake. The observation of temporal changes in Q_s after the Chi-Chi earthquake implies variations of pore fluid saturation in the ruptured fault zone. The reduction in Q_s two years following the Chi-Chi earthquake might indicate high pore-fluid saturation within fractured fault zone rocks due to post-seismic redistribution of the fluid.

キーワード: attenuation, fault zone, temporal variation, earthquake rupture

Keywords: attenuation, fault zone, temporal variation, earthquake rupture

台湾南西部に湧出する温泉の化学的性質について Chemical characteristics of hot springs in Southwestern part of Taiwan

菅井 秀翔^{1*}; 田中 秀実¹; 照沢 秀司¹; 角森 史昭²; 村上 雅紀³; 川端 訓代²
SUGAI, Shuto^{1*}; TANAKA, Hidemi¹; TERUSAWA, Shuji¹; TSUNOMORI, Fumiaki²; MURAKAMI, Masaki³; KAWA-
BATA, Kuniyo²

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 東京大学大学院理学系研究科附属地殻化学実験施設, ³ 応用地質株式会社
¹School of Science, The University of Tokyo, ²Geochemical Research Center, Graduate School of Science, The University of
Tokyo, ³OYO Corporation

台湾はユーラシアプレートとフィリピン海プレートの境界をなすマニラ海溝と琉球トラフの接合点に位置し、東部ではフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込んでいる一方で、台湾西部ではマニラ海溝においてユーラシアプレートがフィリピン海プレートの下に沈み込んでいる。このプレート境界は台湾南部の高雄市の付近で地上に乗り上げており、以北ではプレート境界が活断層として地表に現れている。多くの断層が北東-南西方向に発達しており、これらの断層からは多くの温泉が湧出し、特に南部の高雄県においては泥火山も見られる(浜田ほか, 2009)。

その中で本研究では台湾南西部、台南市や嘉義県に湧出する温泉に着目した。台湾西部ではプレート境界が陸上に活断層として表れており、この断層の東側 20 km 付近に列状に 34~70 °C の温泉が分布している。これらの温泉から採取された温泉水について各種化学分析を行った。本発表ではこれらの結果を報告する。

キーワード: 台湾, 温泉

Keywords: Taiwan, hot springs

有馬型流体の起源流体組成とフラックス推定 Estimate of isotopic composition and flux of Arima type fluid

田中 秀実^{1*}; 照沢 秀司¹; 菅井 秀翔¹; 角森 史昭²; 村上 雅紀³; 川端 訓代²
TANAKA, Hidemi^{1*}; TERUSAWA, Shuji¹; SUGAI, Shuto¹; TSUNOMORI, Fumiaki²; MURAKAMI, Masaki³; KAWA-
BATA, Kuniyo²

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設, ³ 応用地質 (株)

¹School of Science, University of Tokyo, ²Geochemical Research Center, Graduate School of Science, University of Tokyo,
³OYO Corporation

地下水の化学組成の変動は、地震を含む地殻変動の指標として古くから認知され、かつ世界の各地で現在も計測が続けられている。しかしながら、その目的に対する組成測定的位置、着目する組成等の必然性、すなわち地殻変動観測に対する化学測定の背景動機の必然性については、必ずしも明確ではなかったと考えられる。地震に関して言えば流体の前兆現象の存在がクローズアップされがちであるが、研究初期の段階が遙か昔となり、その後、地震流体分野自体が衰退してしまったことを考えれば、この戦略は現代では十分有効ではないと考えられる。本分野が再興するかどうかは、流体前兆現象的中／非的中を越えて、流体物理化学量の変動から断層等を含めた地殻の挙動を診断する診断学を確立させることができるか否かが鍵となるだろう。地殻変動を対象とした地殻流体の診断学を確立できるかどうかを調べるために必要な課題は、大きく分けて三つある(田中ほか 2012)。一つは、(1) 地殻変動を観察するために採取すべき流体の必然性、(2) 流体を観測、分析するための装置の必要な性能の想定と実装実現、最後には、(3) 測定された結果事例の解釈＝診断認知力の向上である。

以上のような理念に基づき、その中の小さな一つを取り上げて検討した結果を報告する。今回は、有馬温泉の湧泉を例として考える。有馬温泉は、複数の湧出源泉が存在し、掘削が行なわれた 1940～1950 年代以後、神戸市の管理のもと、一定の湯量と泉質を維持している日本でも数少ない温泉である。これまで多くの研究者の興味を引き、表層地質、地下構造、湧出源、湧出経路を始めとした種々の研究が行なわれ明らかにされてきた。表層および地下構造の物理探査の結果から、温泉水が断層を流路として上昇していることが明らかにされている。このような流体を我々は「断層流体」と呼び新たな流体分類カテゴリーとした。地殻変動の監視に特化した場合、断層流体かそうでないかは観測対象を明確化する際の重要な要素だからである。また、有馬温泉の起源については独特の同位体組成から、深部流体の混入が確認されている。本発表は、(1) なぜ、その位置で観察しなければならないのか? についての基礎的な課題と考えられる断層流体のフラックス定量を議論し、過去の解析結果と比較検討する。

キーワード: 地殻流体, 有馬型温泉, フラックス, 塩水, 同位体組成

Keywords: crustal fluids, Arima type Hot spring, fluid flux, saline water, isotopic composition

長距離用ガス採取管を用いたメタンガス測定 Basic experiments for continuous monitoring of CH₃ in the field by Mass spectrometer

川端 訓代^{1*}; 角森 史昭¹; 村上 雅紀³; 田中 秀実²

KAWABATA, Kuniyo^{1*}; TSUNOMORI, Fumiaki¹; MURAKAMI, Masaki³; TANAKA, Hidemi²

¹ 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ³ 応用地質株式会社
¹Geochemical Research Center, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ³OYO Corporation

野外におけるガスの連続観測は今後、科学的な目的や様々な場所の環境モニタリングなど幅広い分野で必要となると予測される。そのために、野外で環境ガス分析が可能な精密ガス分析装置の開発が行われている。本研究では分析装置から離れた箇所のガスの計測を可能とするための基礎実験を行った。ボアホール内や、トンネルなどある程度空間がある場所でのメタンガス放出を想定し、その発生源やガス量の推定を行った。本発表では実験室内での基礎実験結果を発表する。

本研究では質量分析計に 25m 長のある間隔でガス取り入れ口がつけられたチューブを取り付け、それぞれのガス取り入れ口からガスを注入し、ガスを連続的に分析した。得られた連続ピークはガス取り入れ口の位置に応じてピークの値や形が異なる結果を得た。この結果はガスの移流・拡散モデルとよく合っている。この結果は、分析装置から離れた箇所で発生したガスの分析が可能である事を示すと考えられる。

キーワード: 質量分析計, メタン, モニタリング, 野外

Keywords: Mass spectrometer, methane, monitoring, in the field

地下水中 Rn-222 と Cl⁻による立川断層帯の地殻化学的調査 Geophysical Research of Tachikawa Fault Zone by Rn-222 and Cl⁻ Concentration in Groundwater

下舘 知也^{1*}; 角森 史昭²; 安原 正也³; 林 武司⁴

SHIMODATE, Tomoya^{1*}; TSUNOMORI, Fumiaki²; YASUHARA, Masaya³; HAYASHI, Takeshi⁴

¹ 国際基督教大学, ² 東京大学, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 秋田大学

¹International Christian University, ²The University of Tokyo, ³AIST, ⁴Akita University

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake enhanced the probability of earthquake in Tachikawa Fault Zone. To evaluate the physical condition of Tachikawa fault zone, we researched Rn-222 concentration in groundwater, which is known as a precursory anomaly of earthquake. Additionally, we focused on the connection between the concentration of chloride ion in groundwater and fault damage zone and measured chloride ion in groundwater as well. Our purpose in this paper is to detect suitable groundwater for continuous measurement: (1) The depth of aquifer is deep enough to reach the bedrock. (2) Water contains much enough radon to monitor. (3) Water contains chloride ion whose concentration is controlled by the condition of fault damage zone.

Radon concentration in confined aquifer is supplied by alpha decay of radium in the surface of the grain. If the specific surface area of the grain changes according to physical condition of fault, radon concentration in the groundwater would change. The upper edge of bedrocks, main source of radon, has a depth of under 2,000 m around Tachikawa Fault Zone and it deepens in the west.

We focus on the distribution of chloride ion around Ayasegawa Fault is similar to one around Tachikawa Fault Zone. Low concentration of chloride ion in groundwater around Ayasegawa Fault is affected by fault damage zone, and we expect that groundwater around Tachikawa Fault Zone also shows low concentration of chloride ion due to fault damage zone. We use RTM1688(SARAD) for radon measurement, and ion chromatography for chloride ion measurement.

As a result, samples around the fault show high concentration of radon and low chloride ion. This suggests that the well around fault reach the bedrock and contain low concentration of chloride ion due to fault damage zone. These samples would show concentration change according to earthquake.

キーワード: ラドン, 塩化物イオン, 立川断層帯, 温泉水

Keywords: radon, chloride ion, Tachikawa Falut Zone, spring water

東北地方太平洋沖地震前に観測された地下水ラドン濃度の先行現象について Precursory Change of Radon Concentration in Groundwater before 2011 Tohoku Earthquake

角森 史昭^{1*}
TSUNOMORI, Fumiaki^{1*}

¹ 東京大学理学系研究科
¹ Graduate School of Science, University of Tokyo

本講演では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の前に観測された、地下水ラドン濃度の先行的な濃度変化と後に観測された緩和的な濃度変化について報告する。

地下水中のラドン濃度は、地震の前後で異常変化をする場合があることが知られている。その現象の研究は、始まった当初は地震発生予測に利用できるのではないかという楽観的な見方をされてきたが、近年では様々な理由からほとんど行われていない。それでも、毎年多くの事例が報告されているので、地下水ラドン濃度の変動の機構を正しく理解する研究は重要である。本講演では、中伊豆に配置した連続観測点で実測された地下水ラドン濃度が、東日本東北沖地震の前後でどのような変動を示したかを報告し、それを理解するためのモデルについて議論したい。

中伊豆観測点のラドン濃度は、2010年11月ごろからラドン濃度の上昇が大きくなり、地震発生とともにラドン濃度のジャンプも観測された。その後、1年をかけて指数関数的にラドン濃度が減少し、現在では通常値に戻った。地震発生前にラドン濃度変化が起きるタイミングは1978年の場合と同じであるが、今回は上昇するという変化であったことが前回と異なる。地震発生後の変化は、1978年の時はすぐに通常値に戻ったが、今回は1年をかけて指数関数的に減少して通常値に戻ったことも特徴である。これまでに確からしい地震前兆現象は報告されていないので、これらの地震前後のラドン濃度変化が前兆現象であると確定できない。しかしもし、これらの変化が装置由来のゴーストであったならば、地震発生と同時の濃度変化や1年をかけての指数関数的な変動を説明することができない。このことから、今回観測されていたラドン濃度の地震前の変化は先行現象ではないかと考えている。

キーワード: ラドン, 地下水
Keywords: Radon, Groundwater

敦賀地域江若花崗岩中に分布する破砕帯の冷却史：複数の熱年代学的手法による制約

Cooling history of a fracture zone in the Kojyaku granite, Tsuruga area: Constraints from multi-system thermochronology

末岡 茂^{1*}; 安江 健一¹; 丹羽 正和¹; 島田 耕史¹; 石丸 恒存¹; 梅田 浩司¹; 山田 隆二²; 檀原 徹³; 岩野 英樹³; 郷津 知太郎⁴

SUEOKA, Shigeru^{1*}; YASUE, Ken-ichi¹; NIWA, Masakazu¹; SHIMADA, Koji¹; ISHIMARU, Tsuneari¹; UMEDA, Koji¹; YAMADA, Ryuji²; DANHARA, Tohru³; IWANO, Hideki³; GOUZU, Chitaro⁴

¹ 原子力機構, ² 防災科技研, ³ 京都 FT, ⁴ 蒜山地質

¹Japan Atomic Energy Agency, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ³Kyoto Fission-Track Co., Ltd., ⁴Hiruzen Institute for Geology and Chronology Co., Ltd.

通常、断層の活動年代は、断層変位を受けた地形面や地層、または人工物などの変位指標の年代から推定される。しかし、基盤岩中の断層など、変位指標を持たない断層についてはこのような変動地形学的手法は適用できない。上記のような断層に対しては、断層活動時の摩擦発熱や岩石破砕に伴う放射年代のリセット（例えば、Ikeya et al., 1982; Murakami and Tagami, 2004; Yamada et al., 2013; 雁沢ほか, 2013）や、断層活動後に形成された粘土鉱物や熱水脈の形成年代（例えば、Zwingmann et al., 2004; Watanabe et al., 2008; Siebel et al., 2009; Yamasaki et al., 2013）に基づいた、地球年代学的なアプローチが試みられてきた。しかし、断層帯近傍における熱現象や物質移動は単純ではなく、決定的な方法は未だに確立されていない。同手法の今後の発展のためには、さらなる基礎研究と、様々な地形・地質条件と年代測定手法の組み合わせにおける事例研究の蓄積が必要である。

本講演では、敦賀半島北西部の露頭で見られた基盤岩中の断層破砕帯に対し、フィッション・トラック法 (FT法)、K-Ar法、U-Pb法といった熱年代学的手法を適用して冷却史を求め、活動年代の推定を試みた事例について紹介する。近畿三角帯の北頂部にあたる湖北地域～敦賀湾沿岸には、湖北山地断層帯や野坂・集福寺断層帯をはじめとした北東-南西または北西-南東方向の横ずれ断層が多数分布する（地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003a, b）が、山間部を通過する横ずれ断層では上載地層を利用した変動地形学的手法の適用は困難なことが多い。本研究で対象とした断層も江若花崗岩敦賀岩体（栗本ほか, 1999）中に形成された横ずれ断層で、人工改変の影響もあり上載地層や変動崖は認められない。年代測定は、1) 断層破砕帯を充填する粘土状物質、2) 断層破砕帯から10数m離れた断層破砕を受けていない花崗岩新鮮部、3) 断層破砕帯から数mの位置に貫入した玄武岩脈、の3グループについて行った。破砕帯試料と花崗岩試料では、ジルコン U-Pb 年代 (66.8±1.0Ma, 68.5±0.7Ma) とジルコン FT 年代 (58.7±11.2Ma, 71.6±4.8Ma) では有意な差が見られず、ジルコン FT 長 (11.04±0.71 μm, 10.84±0.66 μm) にも共に短縮は認められなかった。これは、約68Maの花崗岩貫入以降、花崗岩がジルコン FT法の閉鎖温度 (210~350℃) 付近に冷却されるまでの間、両者は冷却史を共有していたことを示している。一方、アパタイト FT年代 (閉鎖温度: 90~120℃) では、花崗岩で50.8±18.5Maに対して破砕帯で28.4±13.6Maという若い値が得られており、年代値の誤差が大きいため断定はできないが、破砕帯のみがより最近に被熱している可能性が否定できない。熱源の候補としては、新第三紀以降の断層摩擦発熱と、中新世の玄武岩脈の貫入 (斜長石 K-Ar年代と全岩 K-Ar年代で19.1~18.8Ma) が挙げられるが、いずれの場合もイベント年代よりアパタイト FT年代が古く、partial annealingの状態である可能性が考えられ、イベントとの対応には慎重な検討が必要である。講演当日は、FT長測定の結果も踏まえた検討結果を報告予定である。

キーワード: 断層帯の年代測定, フィッション・トラック法, K-Ar法, U-Pb法, 江若花崗岩

Keywords: dating of a fault, fission-track thermochronology, K-Ar dating method, U-Pb dating method, Kojyaku granite

西南日本における有馬型温泉の探索と検証 Chemical and isotopic examinations of Arima-type high saline hot spring water in south-west Japan

田中 秀実^{1*}; 照沢 秀司¹; 菅井 秀翔¹; 角森 史昭²; 村上 雅紀³; 川端 訓代²
TANAKA, Hidemi^{1*}; TERUSAWA, Shuji¹; SUGAI, Shuto¹; TSUNOMORI, Fumiaki²; MURAKAMI, Masaki³; KAWABATA, Kuniyo²

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設, ³ 応用地質株式会社
¹School of Science, University of Tokyo, ²Geochemical Research Center, Graduate School of Science, University of Tokyo,
³OYO Corporation

日本には 30000 点近くの源泉が存在し、古くからその成分や熱源、水源を探る研究が多数行われてきた。Matsubaya et al.,(1974) は、温泉水中の水素と酸素の同位体比及び地質から日本中の温泉の起源を (1) 火山温泉型, (2) 有馬温泉型, (3) 海岸温泉型, (4) グリーンタフ型の 4 つに分類した。この中で, (2) 有馬型温泉は深部流体を起源とした温泉で水素・酸素同位体比は起源が天水とマグマ水の混合であることを示唆している。また, He 同位体比は有馬温泉では 10Ra 程度で深部起源のガスが上昇してきていると言える。

杉本 (2012) は、日本全国の温泉 6058 点のデータを温泉分析書から収集し、微量元素を用いて約 180 点の有馬型温泉と思われる温泉を抽出した。この中で用いられた Li/Cl, Br/Cl はそれぞれ、水が経験した最高温度 (You et al., 1996), 海水や生物の影響 (Hurwitz et al., 2005 上村ら 1999) の指標となっており、より高温を経験し、海水・生物の影響の少ない温泉を有馬型温泉の候補としている。しかし、温泉分析書をもとにした議論であるため、元々の定義付けに用いられた水素・酸素同位体比に関する議論は行われていない。

そこで、本研究では杉本 (2012) での基準を踏襲し、データ数を約 9887 件に増やした上で、有馬型温泉の再抽出をした。その結果全国で 185 点の候補を抽出し、その中から西日本を中心に 67 点を現地に赴き、採水、水素・酸素同位体比及び溶存イオン濃度測定を行った。

その結果、四国中央構造線沿い、鹿塩、石仏を含む近畿中央構造線沿いで有馬温泉と同様に同位体シフトのある温泉が見つかった。水素・酸素同位体比におけるそれぞれでの天水と起源水との混合線を外挿すると 1 点に収束し、これを有馬型温泉の起源水とした。塩化物イオン濃度と水素同位体比の関係でも 1 点に収束することから、起源水の組成を $\delta D = -35\text{‰}$, $\delta^{18}O = 5\text{‰}$, $Cl^- = 42\text{g/l}$ と見積もった。今までの最も塩濃度の高い温泉での水素・酸素同位体比を起源水のものであるという起源水の決め方に比べ、複数地域からの同位体シフト線が 1 点に集まった今回の結果は起源水の組成にかなり強い成約を与える。

キーワード: 有馬温泉, 酸素同位体, 水素同位体, 塩水, 起源組成

Keywords: Arima hot spring, Oxygen Isotope, Hydrogen Isotope, Brine fluids, original composition