

2011年東北地方太平洋沖地震後に発生した福島県浜通り～茨城県北部の群発地震：
震源域の深部比抵抗構造と地下水の溶存ガス組成
Triggering of earthquake swarms following the 2011 Tohoku megathrust earthquake

梅田 浩司^{1*}; 浅森 浩一¹
UMEDA, Koji^{1*}; ASAMORI, Koichi¹

¹ 日本原子力研究開発機構
¹ Japan Atomic Energy Agency

Earthquake swarms, often interpreted to result from fluids invading the brittle seismogenic zone, have seismicity patterns that are significantly different from an aftershock sequence. Following the Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake, an unusual, shallow normal-faulting swarm sequence occurred near the Pacific coast in the southeastern Tohoku district. An integrated approach combining geophysical and geochemical methods was utilized to establish the presence of aqueous fluids around the seismic source region and their derivation. Magnetotelluric inversion defined an anomalous conductor with a width of 20 km and clearly visible to depths of more than 20 km, extending to the base of the crust. Independent geophysical observations, including seismic, strongly support the suggestion that fluid-filled porous materials and fluids associated with slab dehydration are present in the convergent plate boundary. In order to provide geochemical constraints on the source of the fluids triggering the swarm activity, new helium isotope data were acquired from gas and water samples around the seismic source region. The observed $3\text{He}/4\text{He}$ ratios in these samples are significantly lower than the atmospheric value of 1.4×10^{-6} , indicating that the mantle helium contribution is less than 10% of the total helium. Plausible sources of the fluids can be attributed to waters produced by dehydration of accreted deep-sea sediments and/or seawater-altered volcanic rocks, rather than dehydration reactions in the subducted oceanic crust and/or hydrated mantle below the fore-arc mantle wedge. The swarm sequence would have been triggered by stress changes associated with the Tohoku-Oki earthquake, enhanced by vertical metamorphic fluid expulsion from the reaction zone.

電磁探査法による台湾南西部烏山頂泥火山周辺の地下構造の検討 Underground Structure of Wushanding Mud Volcanoes in Southwest Taiwan by Electro- magnetic Exploration

浅野 慶治^{1*}; 田中 和広¹; 鈴木 浩一²
ASANO, Keiji^{1*}; TANAKA, Kazuhiro¹; SUZUKI, Koichi²

¹ 山口大学, ² 電力中央研究所

¹ Yamaguchi University, ² Central Research Institute of Electric Power Industry

泥火山を形成する活動は自然災害を引き起こすことが予想されるため、重要構造物のサイト選定や長期的安全性を評価する上で重要である。台湾南西部には、活動的な陸上泥火山群が多く分布しており、それらは背斜軸沿い及び断層沿いに分布している。背斜軸沿いの泥火山では、電磁探査法 (CSAMT 法; Controlled Source Audio-frequency Magneto-Telluric method) により、低比抵抗帯の分布から地下に泥チャンバーが分布することが推定されている (鈴木ほか, 2009)。本研究では、断層沿いの泥火山の地下に関する情報を取得するために、CSAMT 法を用いて地下の比抵抗分布を求め、断層沿いに分布する台湾南西部烏山頂泥火山周辺の地下構造及び流体の移動経路について検討した。

本調査地域には、下位より新第三系の古亭坑泥岩、烏山層砂岩、蓋子寮頁岩が分布している。泥火山分布域の東側には NE-SW 方向に南東傾斜の逆断層 (旗山断層) が分布する。また、断層の西側には NNW-SSE 方向に褶曲軸をもつ背斜構造が認められ、背斜軸部に泥火山が多く分布する。

その結果、旗山断層が位置する場所において、深度 100~500m 区間に低比抵抗帯が分布している。また、泥火山直下の幅約 200m にわたり低比抵抗帯が深度 100~300m 区間に分布する。泥火山流体は旗山断層に沿って上昇し、そこから背斜軸へと移動し、一度地層にトラップされ泥チャンバーを形成する。そして再び上昇、噴出し、泥火山を形成していると考えられる。

キーワード: 泥火山, 台湾, CSAMT 法, 地下構造, 流体

Keywords: mud volcano, Taiwan, CSAMT method, underground structure, fluid

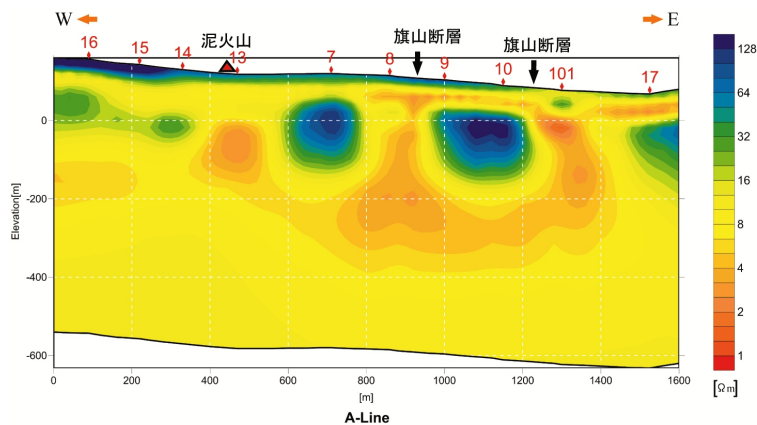


図.1 CSAMT法二次元解析による比抵抗断面

泥火山流体に寄与する鉱物脱水流体とその酸素・水素同位体組成 - 3成分混合モデルからの制約 -
Dehydration from hydrated minerals and its relation to the chemical and isotopic compositions of mud volcanic fluids

菅井 秀翔^{1*}; 田中 秀実¹
SUGAI, Shuto^{1*}; TANAKA, Hidemi¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科

¹ Graduate School of Science, The University of Tokyo

沈み込み帯前縁部にみられる泥火山は、間隙水や含水鉱物の形で沈み込んだ水が脱水され、それが地表面や海底面に湧出して形成されたもので、沈み込み帯の水循環の一部を担う。泥火山から湧出する流体の起源を理解することは、沈み込み帯の水循環とそれに関連して生じる地震活動や火山活動、および地球化学的循環を知る上で重要である。泥火山流体の主要な起源としては堆積物の間隙水やガスハイドレートの分解に伴って生じた水、天水、海水、鉱物脱水に由来する水などが知られている。このうち、鉱物脱水の主要な起源は約 60 - 160 °C の範囲でスメクタイトがイライトへ相転移する際に放出される間隙水であると指摘されている。泥火山流体の溶存イオンや同位体比が示す地球化学的異常を用いて泥火山流体の起源に迫る上で、鉱物脱水に由来する水の酸素・水素同位体比を知ることは極めて重要である。本研究では、泥火山流体が互いに独立な 3 成分の混合で表現できるとして、陸上・海底泥火山のそれぞれに対して 3 成分混合モデルを構築し、実測された泥火山流体の酸素・水素同位体比と Cl 濃度をパラメータとして用いることで、鉱物脱水に由来する水のもつ酸素・水素同位体比の範囲の制約を試みた。また、Rayleigh 分別式を用い、スメクタイトと水の間の同位体分別係数から、スメクタイト脱水流体の酸素・水素同位体比と温度の関係を計算した結果、脱水が完了する 160 °C での脱水流体の酸素・水素同位体比は $\delta^{18}\text{O} = +9.5\text{‰}$, $\delta\text{D} = -17.7\text{‰}$ と見積もられた。また、この結果を 3 成分混合モデルの計算結果と比較し、台湾の陸上泥火山とコスタリカ沖の海底泥火山の一部では 2 つの計算結果が良い一致を示した。一方で、台湾の CKF, LVF グループに属する泥火山、および種子島沖、東地中海の泥火山においては計算結果が合致せず、これらの地域においては 3 成分混合モデルが適当ではないことが推察された。これらのうち、LVF グループについては他の泥火山とは異なる端成分をもつ 3 成分混合系と考えるのが適当であると結論付けた。また、それ以外の泥火山に対しては 4 成分混合モデルを適用して検討し、有馬型温泉の起源水を 4 成分目として計算すると Rayleigh 分別式による計算結果をよく説明できることを示した。また、CKF グループでみられた同一泥火山における Cl 濃度、酸素・水素同位体比が時期によって異なっていることについて、有馬型温泉起源水の混合比の変化として表現することができた。沈み込み帯浅部の水循環において、有馬型温泉起源水のような、Cl 濃度と酸素同位体比が大きく、水素同位体比が小さい流体が寄与している可能性がある。

キーワード: 泥火山, スメクタイト, 同位体

Investigation on the fluid migration associated with the Chi-Chi aftershock sequence and Ontake eruption events

Investigation on the fluid migration associated with the Chi-Chi aftershock sequence and Ontake eruption events

MA, Kuo-fong^{1*}; TANAKA, Hidemi²
MA, Kuo-fong^{1*}; TANAKA, Hidemi²

¹Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan, ROC, ²School of Science, University of Tokyo

¹Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan, ROC, ²School of Science, University of Tokyo

Our previous studies in attenuation, noted as $1/Q_s$, for the 1999 Chi-Chi earthquake suggest that the fracture zone associated with fault zone could be considered as a fluid reservoir, which possibly yield to some observations/detections of phenomena associated with pre-, co- or post-seismic of a larger earthquake. The sudden changes in attenuation co-seismically with decay following a diffusion process indicated possible high pore-fluid saturation within fractured fault zone from fully to partial saturation, especially in the dilatational region. The migration of the fluid in the dilatational region might have the association of the aftershock sequences. Aftershock sequence following a mainshock often considered to be related to regional tectonic stress and stress triggering of a mainshock. For stress triggering, it is often considered to be in the stress increase region with some lapse time ($>$ one month) for the static stress triggering. In this study, we tried to deviate the possible fluid associated aftershocks by focusing on the region with dilatation stress (stress decrease) and one-month aftershock sequence to understand their possible association. The 2014 Ontake eruption had been considered as an eruption associated with fluid/gas within the magma chamber. We investigate the possible passage of fluid flux within the magma chamber from the observed seismicity and waveforms. The recorded waveforms near Ontake show several different types. Some waveforms exhibit the possible detection of the trap-waves from magma chamber. The simulation of the waveform might give the hints on the structure (geometry and velocity) of the magma chamber and the mechanism of the earthquake associated with 2014 Ontake eruption.

2007年及び2014年御嶽山噴火前後の産総研王滝観測点における地下水圧変化 Groundwater pressure changes at the Ohtaki observatory before and after the 2007 and 2014 eruptions of Mt.Ontake

小泉 尚嗣^{1*}; 佐藤 努¹; 北川 有一¹
KOIZUMI, Naoji^{1*}; SATO, Tsutomu¹; KITAGAWA, Yuichi¹

¹ 産業技術総合研究所地質調査総合センター 活断層・火山研究部門
¹ Geological Survey of Japan, AIST

産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、1998年に王滝観測点(GOT)で地下水の観測を開始した。GOTは、御嶽山山頂から南東へ約10kmの所にある。GOTでは、井戸を密閉して地下水圧を測定している。GOTの地下水圧は地球潮汐に応答した水圧変化を示すので体積ひずみ感度を計算したところ1-3mm/nstrainの値をとることがわかった。ここで、水圧は水位換算して、1nstrainは10の-9乗のひずみを意味する。測定に用いている水圧計の分解能は約2mmなので、検知できる最小の体積ひずみは約1nstrainということになる。GOTの観測井戸の標高は1040mで井戸のストレート位置は深さ645-663mなので、地表から深さ約650m(標高約390m)の体積ひずみを測定していることになる。

1998年以降、御嶽山は2度噴火した。2007年噴火(2007年3月発生)と2014年噴火(2014年9月発生)である。2007年噴火の際は噴火数ヶ月前に比較的大きな地殻変動(御嶽山を挟む基線長のゆっくりとした増加)が観測されたが、2014年噴火の時はそのような変化は観測されなかった。2007年噴火の際、上記の基線長の増加と同期して王滝観測点では水圧が20cm低下したが、2014年噴火の時は、そのような変化は認められなかった。20cmの水位低下は上記の体積歪感度を考慮すると約100nstrainの体積歪増加を意味し、基線長の前兆的増加をひずみに換算すると約300nstrainであり、2つの値はよく整合する。

これらの地下水圧変化と地殻変動の詳細について発表を行う。

キーワード: 御嶽山, 噴火, 地下水, 地殻変動

Keywords: Mt.Ontake, eruption, groundwater, crustal deformation

長野県北部地震に伴う神城断層近傍のコサイスミックな流体移動 Observation of co- and post-seismic fluid migration in and around Kamishiro Fault, Naganoken-Hokubu earthquake

田中 秀実^{1*}; 地殻流体 研究グループ¹
TANAKA, Hidemi^{1*}; GEOFLUID, Research group¹

¹ 田中秀実
¹ Hidemi Tanaka

平成26年11月28日、長野県北部北安曇郡白馬村の神城断層が活動し、同断層を震源断層としたM6.7の地震(長野県北部地震)が発生した。本地震により神城断層およびその北方延長の活動域において、約9kmに渡る地表活断層が露出した。

本地震に前後して、コサイスミックな流体(温泉)の湧出および水位低下が観測されている。我々のグループでは、地震の約1週間後から、平成27年2月現在まで、流体挙動の観測および化学組成の測定を行ってきた。

本公演では、長野県北部地震に伴って観察された流体移動の原因を考察し、神城断層の水利特性について考察する。

キーワード: 長野県北部地震, 神城断層, 流体, 温泉, 破碎帯, 水利特性

Keywords: Naganoken-Hokubu earthquake, Kamishiro Fault, Fluid, Hot spring, Fracture zone, hydrological characteristics

東濃地震科学研究所周辺岩盤の間隙弾性体的ふるまいについて Poroelastic behavior of bedrocks around Tono Research Institute of Earthquake Science

石井 紘^{1*}; 浅井 康広¹
ISHII, Hiroshi^{1*}; ASAI, Yasuhiro¹

¹ 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

¹Tono Research Institute of Earthquake Science ADEP

東濃地震科学研究所では現在、研究所周辺の10km四方の地域に約15カ所のボアホール総合観測装置を深部ボアホールに埋設・設置し、ボアホールには水位計も設置している。研究所の近くには原子力研究開発機構(JAEA)が直径6.5mと4.5mのそれぞれ主立坑と換気立坑を掘削し、地下水流動の研究を行っている。現在、深度500mに達している。両立坑は40m離れており、100mごとに立坑はステージと呼ばれる横坑で繋がっている。当研究所ではステージにも約20mのボアホールを掘削し応力計と水圧計を設置しデータを蓄積している。ボアホール総合観測装置は応力計、歪計、傾斜計、磁力計、地震計などを搭載しているので多種類のデータが蓄積されている。

この様な場において以下のような変動に伴うデータを記録することにより間隙弾性体的ふるまいや地下水流動に関して調べた。

1. 立坑内の湧水や排水に伴う変動
2. 地震波に伴う変動
3. 近傍のボアホールにおける揚水実験に伴う変動
4. 気圧変動に伴う変動
5. 立坑内のボーリング作業に伴う変動

これらのデータを解析することにより間隙弾性体に関していろいろ明らかになってきた。
主な結果は以下のようである。

1. 間隙弾性体のモデルを構築した。
2. 弾性体が原因の間隙圧の変化と間隙圧が原因の弾性体の変化の相違
3. 間隙の形とその分布
4. 断層を境にして変動の相違があること

これらに関して結果の詳細を報告する。

キーワード: ボアホール地殻活動総合観測装置, 応力・歪・傾斜・水位・地震, 間隙弾性体, 応力・歪地震波形, 断層の動き
Keywords: Multi-component borehole instrument, stress, strain, tilt, water level, poroelastic behavior, stress and strain seismograms, movement of fault

重力変化を説明できる TRIES・MIU 周辺の地下水流動モデル Water flux model around TRIES/MIU to explain the gravity change

本多 亮^{1*}; 大久保 慎人¹; 柳澤 孝一²; 田中 俊行¹
HONDA, Ryo^{1*}; OKUBO, Makoto¹; YANAGIZAWA, Kouichi²; TANAKA, Toshiyuki¹

¹ 東濃地震科学研究所, ² 日本原子力研究開発機構
¹TRIES, ²JAEA

The absolute gravity measurement by FG-5 has been operated in and around the Tono Research Institute of Earthquake Science (TRIES) since 2003. During this period, two types of ground water level change was observed. One is the water level decrease more than 70 m in 12 years, which along the drilling of the 500 m deep shafts of the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU). The other is the coseismic water level increase in many events. Generally, the gravity value increases if the water level just beneath increases, and vice versa. Nevertheless, the gravity values in 3 stations show the same trend; show no decrease along with water level decrease in 12 years and the gravity decrease along the coseismic water level increase. The distinct coseismic gravity change was observed only in two cases. One is in the 2004 off Kii Peninsula Earthquake (Tanaka et al., 2006, G3), and the other is in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. We introduce the model of the groundwater flow, which is explicable for both gravity and ground water level.

The interspaces of these stations are 1 to 2 km. The coseismic gravity decrease in these stations were about 10 micro gals which suggest that the mass moved away from these three stations equivalently. Based on former researches of geology and hydraulic geology, which clarified the permeable and impermeable layers well, we reached the model as follows for the coseismic case. 1) The subsurface structure is constructed by three permeable and two impermeable layers 2) The seismic wave or stress propagation causes the high permeable path through the deeper impermeable layer. 2) The water reserved in the middle reservoir flows down to the bottom reservoir driven by gravity force. Geologic fault plays an impermeable role for a lateral flow, however, the high permeable region are generated by the seismic event, along fault plane.

キーワード: 重力, 地下水, 地下水流動

Keywords: Gravity, Ground water, Ground water flux

水理試験と連続水位観測による断層帯の透水係数の原位置での測定 In-situ measurement of permeability of fault zones by hydraulic tests and continuous groundwater-level observation

松本 則夫^{1*}; 重松 紀生¹
MATSUMOTO, Norio^{1*}; SHIGEMATSU, Norio¹

¹ 産業技術総合研究所
¹GSJ, AIST

産総研では南海・東南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備の一環として、三重県松阪市飯高町で観測井を掘削した。中央構造線を貫くコアサンプルを取得し検層・水理試験などの各種試験を実施した。掘削完了後は地下水位・ひずみ・傾斜・地震等を連続観測している。孔1のスクリーン深度は547.6-558.5mであり、中央構造線の断層帯のうち三波川帯側下部に相当する。孔2のスクリーン深度は145.5-156.4mであり、中央構造線の断層帯のうち、領家帯側に派生する断層に対比される。

掘削直後の水理試験および地下水位の連続観測から、透水係数は、孔1では $1.8\sim 8.5 \times 10^{-16}$ 、孔2では $1.8 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ と推定した。これらの透水係数は、Wibberley and Shimamoto(2003)による中央構造線の露頭サンプルを用いた岩石実験による透水係数の結果と矛盾しない。

キーワード: 透水係数, 断層帯, 水理試験, 地下水位
Keywords: permeability, fault zone, hydraulic test, groundwater level