

九州前弧域における地震波速度構造及び比抵抗構造から推定される地殻流体 Crustal fluids beneath Kyushu forearc region

*浅森 浩一¹、濱 友紀¹、梅田 浩司¹

*Koichi Asamori¹, Yuki Hama¹, Koji Umeda¹

1. 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. Japan Atomic Energy Agency

1. はじめに

沈み込み帯に位置する日本列島の火山フロント及び背弧側においては、火山に供給するマグマやそれに関連する流体の存在が地球物理学的な手法によって見出されている。地殻やマントル・ウェッジにおける流体の分布は、主として地震波トモグラフィーや電磁探査 (Magnetotelluric; MT法) によって推定されているが (例えば, Zhao et al., 1992; Asamori et al., 2010), これらと地殻変動との関連性が指摘されている (飯尾, 2009)。また最近では、前弧域においても地殻流体の存在が指摘されており (例えば, Zhao et al., 2015; Umeda et al., 2015), 日本列島における地殻変動を議論する上では、地殻流体の分布を把握することが重要であると考えられる。本研究では、九州地方を対象として、MT法探査により2次元比抵抗構造を推定するとともに、地震波トモグラフィーによって3次元地震波速度構造の推定することで、とくに前弧域における地殻流体の有無や分布について検討した。

2. MT法電磁探査

宮崎県川南町から熊本県八代市に至る約105kmの区間と、宮崎県日南市から鹿児島県湧水町に至る約94kmの区間においてファーリモートリファレンス方式のMT法探査を行なった。これらの二つの測線は、およそ火山フロントに直行し、2-10 kmの間隔で観測点40点を配置した。測定には、Phoenix社製MTU-5システムを使用し、磁場3成分、電場2成分の時系列を測定した。対象地域のノイズ環境を考慮して、測定時間は夜間を含む15時間とし、各測点で2日間以上の測定を行うとともに、リモートリファレンス点を岩手県沢内村 (調査地域からの距離約1200km) に設けた。リファレンス処理の結果、各観測点においてノイズ除去の効果が認められ、周波数320Hz-0.0003Hzの信頼性の高いインピーダンスを得ることができた。解析にあたっては、Ogawa and Uchida(1996)のアルゴリズムを用いた2次元インバージョンを行い、見掛比抵抗・位相の観測データから、九州地方中部及び南部の前弧域-火山フロント-背弧域における地殻の2次元比抵抗構造を推定した。

3. 地震波トモグラフィー

本解析には、気象庁一元化カタログによる2003年6月から2012年2月までに日本列島下で発生した2503個の地震データを使用した。また、地殻のみならずマントルの構造も推定するため、Hi-netで記録された51個の遠地地震データも合わせて解析に用いた。解析では、研究領域内にgrid pointを水平方向に約33km、深さ方向に15-30kmの間隔で設置し、Zhao et al. (1994)のアルゴリズムを用いた3次元インバージョンを行うことで、地殻及び上部マントルにおける3次元P波及びS波速度構造を推定した (Asamori and Zhao, 2015)。

4. 結果

本解析により、九州地方の前弧域において、以下に述べる特徴が明らかになった。

- (1)九州地方中部の前弧域において、水平方向に約30kmの拡がりを持つ低比抵抗体が認められ、地殻中部からモホ面付近まで連続しているようにイメージされた。一方で、九州南部の前弧域には、顕著な低比抵抗体は認められない。
- (2)九州地方中部-北部の前弧域において、低比抵抗体に対応すると考えられる低P波、低S波速度異常体が認められた。ただし、火山下に認められる低速度異常体とは異なり、上部マントル深部まで連続する傾向は認められない。
- (3)以上の結果は、九州地方の火山に供給する流体とは異なる起源の流体が、前弧域の地殻に存在することを示唆する。

Possible fluid-related earthquakes from seismic spectra analysis: detection and mechanism

*Kuo-Fong Ma¹, Hidemi Tanaka²

1.Institute of Geophysics, National Central University, Taiwan, ROC, 2.School of Science, University of Tokyo, Japan

Fluid had been considered as a possible factor in triggering earthquakes, but, the evidence in elucidating the behavior and mechanism is still unresolved. Fracture zone associated with fault zone after an earthquake could be considered as a fluid reservoir, which possibly yields to some observations/detections of phenomena associated with pre-, co- or post-seismic of a larger earthquake. The fluid might behave from high pore-fluid saturation within fractured fault zone from fully to partial saturation as a transient feature after a large earthquake. We suspect this process might yield the migration of fluid flow, and thus, related to the occurrence of some aftershocks. Considering that the fluid flow triggering events might have a mechanism from tensile cracks rather than tensile shear, the S/P spectra ratio would be around 2-0.7 rather than higher values of 6-2 for tensile shear. We investigate the spectra ratio of the selected events from the analysis of the recorded broadband waveforms, we found significant association of the S/P spectra ratio of 2-0.7 in about 10-60 days after the Chi-Chi earthquake. It might give the evidence of the tensile crack events in association to the fluid flow and give the migration of the seismicity. These events are mostly in the negative Coulomb stress regime of the mainshock and are in the depth f about 5-8km. Our assumption on this is that the migration of fluid flow increases the pore-pressure, which reduces the normal stress, and, thus, yield the co-seismic negative Coulomb's stress regime to become positive to trigger these fluid flow associated aftershocks. The migration of this aftershock to the distance of the fault is with a speed of about 220m/day for our Chi-Chi case study in about 10-60 days after the Chi-Chi earthquake. More profiles along the fault will be further examined to assure our understanding on fluid migration within the crust. Moreover, if the zone of the fluid triggered events could be constrained spatially and temporally, we might be able to estimate the possible amount of fluid involved during this process.

Keywords: aftershocks, fluid flow, S/P spectra ratio

地下坑道再冠水に伴って観測された顕著な歪／地下水位変化

Remarkable crustal strain and Groundwater level changes associated with reflood of the underground gallery

*浅井 康広¹、石井 紘¹*Yasuhiro Asai¹, Hiroshi Ishii¹

1.公益財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

1.Tono Research Institute of Earthquake Science, Association for the Development of Earthquake Prediction

[はじめに] 東濃地震科学研究所では、岐阜県瑞浪市と土岐市に9箇所のボアホール観測点を整備し地下水流動と地殻活動の関連性に関する研究を行っている。東濃鉱山（日本原子力研究開発機構）内にBH-1観測点がある（坑道からの深さ50mのボアホール；坑道の深度はGL-125m）。ボアホール孔底の土岐花崗岩内に地殻活動総合観測装置（石井式ボアホール歪計3成分、傾斜計2成分、温度計）が埋設・設置されている。東濃鉱山では閉山措置が進められており、2012年3月に地下坑道の充填作業（埋め戻し）開始、2014年12月9日に東濃鉱山坑道内に設置されていた排水ポンプの停止。この時点から坑道内の冠水が始まった。坑道の充填作業は2015年3月に坑道の閉鎖が完了している。本報告ではこの冠水に伴って観測されたBH-1およびその近傍の観測点（97FT-01, SN-1, SN-3）での顕著な地下水位および歪変化の紹介を行う。次に観測記録とJAEAによる作業記録の対比を行い、最後に歪解析結果およびその考察を述べる。

[観測] 排水ポンプ停止の時点ではBH-1の歪計各成分に大きな変化は見られなかった。12月27日18時50分頃からBH-1歪計各成分に急激な歪の縮みが始まり、急激な変化が終息の傾向になった2015年4月末までにBH-1 N347Eが約 5×10^{-6} 、BH-1 N107Eが約 3.6×10^{-5} 、BH-1 N107Eが約 4.9×10^{-5} の縮み変化が観測された。旧調査立坑には充填作業時に坑口（GL）から深度100mまで塩ビ管が設置され手測りによる1日1回の水位観測が行われている。2015年1月12日に水位観測が可能になった時点での水頭はGL-98.4m、5月21日現在約GL-35.7mに水頭が位置している。（1月12日からの水位上昇約62.7m）。BH-1の各歪計の縮み変化はこの水位上昇に応答していることは記録の比較から明らかである。同様に12月27日18時頃から東濃鉱山の北約400mに位置する賤洞地殻活動観測点SN-1およびSN-3の水位記録が急激な変化を始め、5月21日現在約3.5mの水位上昇が観測されている。この変化と同期して、BH-1ほど顕著ではないが、97FT01の歪記録 97FT01 N111Eが縮み、97FT01 N351Eと97FT01 N231Eが伸びの変化が観測されている（それぞれ 10^{-6} オーダー）。これらの観測記録は東濃鉱山での水位上昇の影響が北へ約400m離れた賤洞観測点に及んでいることを示している。

[歪解析と考察] BH-1と97FT-01の歪記録を解析するに当たって、2014年11月1日0時0分の記録をそれぞれ初期値とした。また歪変化がほぼ収まったと考えられる2015年5月1日0時0分の記録を変化終了時とした。歪解析の結果、BH-1では最大主歪 -1.075×10^{-6} strain、最小主歪 -5.448×10^{-5} strain、面積歪 -5.556×10^{-5} strainと縮みの場である。特に東北東－西南西方向に縮みが卓越する。これは2014年12月9日に排水ポンプを停止したことにより坑道内の冠水が進行するとともに、BH-1の歪計周辺の土岐花崗岩中の間隙水圧が上昇したことが原因と考えると観測事実を説明することが出来る。一方 97FT-01では、最大主歪 $+2.658 \times 10^{-6}$ strain、最小主歪 -4.692×10^{-6} strainであり北北東－南南西方向に伸び、西北西－東南東方向に縮みの変化である。変化量はBH-1よりオーダー1小さい。面積歪としては縮みの場であり（ -2.035×10^{-6} strain）これはBH-1と同様、97FT-01の歪計周辺の土岐花崗岩中の間隙水圧上昇が原因と考えられる。講演では歪解析結果の詳細を述べ、鉱山周辺の水理地質構造との対比・考察を行う予定である。

キーワード：地下坑道再冠水、歪観測、地下水位観測

Keywords: reflood of the underground gallery, Strain observation, Groundwater level observation

断層帯の水理属性の見積もり - 長野県北部地震に伴う湧泉を用いた例

Estimate of hydraulic properties of the crust - An example from water discharge by Naganoken-Hokubu earthquake

*田中 秀実¹、Ma Kuo-Fong²、佐藤 努³、角森 史昭¹、松本 則夫³、梅田 浩司⁵、風早 康平³、藤澤 和謙⁴、楠原文武¹

*Hidemi Tanaka¹, Kuo-Fong Ma², Tsutomu Sato³, Fumiaki Tsunomori¹, Norio Matsumoto³, Koji Umeda⁵, Kohei Kazahaya³, Kazunori Fujisawa⁴, Fumitake Kusuhara¹

1.東京大学大学院理学系研究科、2.台湾国立中央大学地球物理研究所、3.産業技術総合研究所地質調査所、4.京都大学農学部、5.日本原子力開発機構東濃地科学センター

1.School of Science, The University of Tokyo, 2.Institute of Geophysics, National Central University, Taiwan, ROC Institute of Geophysics, National Central University, Taiwan, ROC, 3.Geological Survey, AIST, 4.Graduate school of Agriculture, Kyoto University, 5.Tono Geoscience center JAEA

On November 28, An M 6.7 earthquake occurred at northern part of Nagano Prefecture, Central Japan. The Kamishiro Fault, which has been well known as to be a part of Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, was activated by the earthquake and surface rupture about 9 km in length was appeared along its trace.

Post-seismic fluid discharge was observed from the fracture zone of the Kamishiro Fault. Our team has been observed and monitored the flow amount and chemical characteristics of the fluid for about 5 months from one week after the earthquake.

In this presentation, we describe the occurrence of earthquakes and its relation to the hydraulic properties and discuss about the governing equations of fluid flow in fracture zone of the Kamishiro Fault.

キーワード：長野県北部地震、神城断層、湧泉、断層破碎帯、水理属性

Keywords: Naganoken-Hokubu earthquake, Kamishiro Fault, Fluid discharge, Fracture zone, Hydraulic property

東北地方におけるスラブ起源深部流体の上昇について

Distribution of slab-derived fluid mixed into groundwater system in NE Japan arc

*風早 康平¹、東郷 洋子¹、高橋 浩¹、高橋 正明¹、安原 正也¹、佐藤 努¹、堀口 桂香¹、森川 徳敏¹、岩森 光²、田中 秀実³

*Kohei Kazahaya¹, Yoko Togo¹, Hiroshi Takahashi¹, Masaaki Takahashi¹, Masaya Yasuhara¹, Tsutomu Sato¹, Keika Horiguchi¹, Noritoshi Morikawa¹, Hikaru Iwamori², Hidemi Tanaka³

1.産業技術総合研究所活断層・火山研究部門、2.海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野、3.東京大学大学院理学系研究科

1.Geological Survey of Japan, AIST, 2.Geochemical Evolution Research Program, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3.School of Science, The University of Tokyo

Li/Cl指標をスラブ由来の塩水検出に用いることにより、西南日本弧においては、広域に深層地下水にスラブ起源水が混入していることがわかっている(風早ほか, 2014)。本発表では、東北日本弧におけるスラブ起源水の分布について地下水の分析結果を用いて検討を行った結果を示す。東北日本弧では、西南日本弧におけるスラブ起源水の分布特徴が異なる。また、スラブ起源の端成分についても、分布特徴同様に違いがある。その原因は、主にプレート及びその沈み込み様式の違いにより説明が可能である。一方で、Li/Clを用いる手法には問題点が挙げられる。東北日本弧では、内陸においても古い海水が堆積盆地に存在し、スラブから地表付近の塩水地下水系に供給される熱水流体は検出できないという問題がある。東北日本弧では、天水-海水-続成水-スラブ起源水の複雑な混合を生じているため、より詳細かつ正確な地下水のLi, Cl, Br, Iの分析によるスラブ水の混合率を示すための手法について示す。

キーワード：スラブ起源深部流体、東北日本弧、地下水

Keywords: slab-derived fluid, NE Japan arc, groundwater

曹長石のメカノケミカル粉碎による表面ラジカルの生成とその定量

The behavior of surface radicals on mechanochemically activated silicates

尾張 雄太¹、*稲生 千咲²、増本 広和²、亀田 純³Yuta Owari¹, *Chisaki Inaoi², Hirokazu Masumoto², Jun Kameda³

1.北海道大学 理学部 地球惑星科学科、2.北海道大学 大学院理学院 自然史科学専攻、3.北海道大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門

1.Department of Earth Sciences, School of Science, Hokkaido University, 2.Department of natural history sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, 3.Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University

活断層近傍の土壌中には、高濃度の水素ガスが胚胎されていることが知られている (Wakita et al., 1980; Sugisaki et al., 1983)。このような水素ガスは、断層活動によって生成される鉱物の新生表面と流体との反応 (メカノケミカル反応) により発生していると考え (Wakita et al., 1980)、その後、多くの実験により鉱物の破壊に伴う水素ガスの発生が確認された (e.g., Kita et al., 1982, Kameda et al., 2003)。しかしながら、実験により生成される水素ガスがラジカル反応によって生成されたものであるのかは十分に検討されているとは言えなかった。

DeLogu (2011) は、ラジカル捕捉剤である2,2-ジフェニル-1-ピクリルヒドラジル (DPPH) を溶かしたエタノール溶液を粉碎媒体とする石英の破碎実験を行い、試料の破碎に伴う水素ラジカル発生量を吸光分析により直接的に評価した。本研究では、この手法を、断層に含まれるその他の鉱物種として曹長石にも適用し、鉱物の破壊に伴う水素ラジカル生成量の定量化を試みた。

石英および曹長石を用いた実験の結果、試料破碎により水素ラジカルが発生することが確認された。また粉碎の進展に伴う比表面積の増加とともに、水素ラジカル発生量が増加することが確認された。石英と曹長石における水素ラジカル発生量を比較すると、後者では発生量が大幅に少なかった。水素ラジカルは、ケイ酸塩鉱物中のSi-O結合が切断されSiラジカルが新生表面上に生成した際に、H₂O (本研究ではエタノール) と反応して生成されると考えられる。曹長石において劈開の発達しやすい(010)および(001)面におけるSiラジカル密度は、石英のおよそ1/6程度と見積もられるので、この結果は妥当であると言える。また、Hochstrasser and Antonini (1972) はアルカリ金属によりラジカル生成量が抑制されることを報告しており、このことも先の実験結果と調和的である。

また、本研究の結果から算出される新生表面の単位面積あたりの水素ラジカル発生量を、Kameda et al. (2003) が報告した水素ガスの発生量と比較すると、水素ラジカル発生量の方が一桁以上大きいことが分かった。このことは、発生した水素ラジカルの大部分が水素分子として結合することなく消失していることを示唆している。

キーワード：ラジカル反応、メカノケミストリー、水素ガス

Keywords: radical reaction, mechanochemistry, hydrogen gas