

## セッション情報

口頭発表

セッション記号 S (固体地球科学) » S-CG 固体地球科学複合領域・一般

## [S-CG63] 変動帯ダイナミクス

2016年5月23日(月) 09:00 ~ 10:30 A08 (アパホテル&amp;リゾート 東京ベイ幕張)

コンビーナ:\*深畑 幸俊(京都大学防災研究所)、重松 紀生(独立行政法人産業技術総合研究所活断層・火山研究部門)、加藤 愛太郎(名古屋大学大学院環境学研究科)、岩森 光(海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野)、池田 安隆(東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻)、竹下 徹(北海道大学大学院理学院自然史科学専攻)、座長:渡辺 了(富山大学大学院理工学研究部)、宇野 正起(東北大学大学院環境科学研究科)

変動帯のダイナミクスは、我々が身近に経験する地震・火山活動から、断層帯の形成やいわゆる造山運動など数百万年以上かけて起きる現象まで、極めて広いレンジにわたる地球表層の活動を対象としており、地球物理学・地形学・地質学の知見を総合して理解すべき重要な課題である。変動帯では、ミクロの破壊・流動からマクロの変形まで多様な時空間スケールの現象が重なり合って生起している。その変動機構を解明するためには、プレート運動に起因する応力など変動帯にかかる力と変動帯を構成する媒質の応答特性を観測(観察)・理論・実験等に基づいて時間的・空間的に明らかにする必要がある。さらに、地殻内の流体やそれに関わる反応も媒質特性に大きな影響を与えるため、岩石学・地球化学的アプローチも重要である。東北沖地震後は日本列島全体で応力・歪場の大規模な変化が生じ、地震活動の変化や活発な地殻変動が起こっていることが観測されており、変動帯ダイナミクスの研究を進める格好の機会である。本セッションでは、地震学・測地学・変動地形学・構造地質学・岩石学・地殻流体など変動帯ダイナミクスの解明を目指す様々な分野にわたる講演を歓迎する。

09:00 ~ 09:15

## [SCG63-01] 高温高圧下における弾性波速度測定と地殻構成岩石推定

\*山内 紘一<sup>1</sup>、石川 正弘<sup>2</sup>、佐藤 比呂志<sup>1</sup>、岩崎 貴哉<sup>1</sup>、豊島 剛志<sup>3</sup>

(1.東京大学地震研究所、2.横浜国立大学、3.新潟大学)

キーワード：弾性波速度、P波速度、S波速度、高温高圧条件、日高変成帯

リソスフェアのダイナミクスを理解する上で、構成岩石の推定は重要な問題である。地殻構成岩石の推定には、実際の地殻深部の条件下で、弾性波速度測定による岩石物性値と制御震源や自然地震による弾性波速度構造を比較する方法が有効である。これまで、地殻を構成する岩石についてはChristensen and Mooney (1995) などでまとめられてきた。しかしながら、地殻中・下部を構成する岩石についての、高温・高圧下での弾性

波測定については、未だ実測値が不足しており、今後も実験を重ねていく必要がある。そこで、中部地殻が露出する北海道・日高地方において岩石を採取し、横浜国立大学のピストンシリンダー型高温高圧発生装置を用いてP波速度 ( $V_p$ ) 及びS波速度 ( $V_s$ ) の同時測定を進めており、主要とされる構成岩石を対象に弾性波速度を測定した。弾性波速度と密度より算出した音響インピーダンスにおいて、トーナル岩と角閃岩の境界は中部地殻で明瞭な反射面となる結果が得られ、深部反射法地震探査データ (Iwasaki et al., 2014) と調和する。さらに、高温条件下の実験結果と合わせて、日高変成帯におけるP波速度構造モデル (Iwasaki et al., 2004) との速度比較を行うと、中部地殻・下部地殻に対してそれぞれ、トーナル岩、角閃岩が調和的であった。また、実験より算出した岩石の  $V_p/V_s$  比と  $V_p/V_s$  比構造 (Matsubara and Obara, 2011) との比較により同様の傾向が得られた。

09:15 ~ 09:30

## [SCG63-02] 3D Electromagnetic imaging of the deep structures and North Anatolian Fault in the Marmara Sea

\*Tulay Kaya<sup>1</sup>、Yasuo Ogawa<sup>1</sup>、Takafumi Kasaya<sup>2</sup>、Mustafa Kemal Tuncer<sup>3</sup>、Yoshimori Honkura<sup>1</sup>、Naoto Oshiman<sup>4</sup>、Masaki Matsushima<sup>1</sup>、Weerachai Siripunvaraporn<sup>5</sup>

(1.Tokyo Institute of Technology、2.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology、3.Istanbul University、4.Kyoto University、5.Mahidol University)

キーワード : Magnetotelluric, Marmara Sea, North Anatolian Fault, Resistivity, Crust/upper mantle, Tectonic

In this study, we perform 3D modeling of the electromagnetic data to investigate major tectonic structures beneath the Marmara Sea. The Marmara Sea and surrounding region located in northwestern Turkey were formed as a result of closure of the Tethys Ocean and following extension and strike-slip regimes. This region accomodates the northwestern branch of 1600 km long North Anatolian Fault (NAF) that represents the main transform boundary in Turkey. NAF runs parallel to the northern coast of Turkey and reaches to the Marmara Region as three branches. Historical seismicity catalogues suggest a westward migrating pattern of destructive earthquakes along the NAF as well as a seismic gap within the Marmara Sea. Following the last two devastating earthquakes (1999 Izmit and Duzce earthquakes) that occurred at the eastern edge of the Marmara Sea, an increase in seismic energy on the Marmara Sea branches of the NAF have been monitored. Although the NAF and its branches

on land are well investigated, their lateral and vertical extension within the Marmara Sea still remains elusive. Our knowledge of the continuation of tectonic structures in the Marmara Sea has a crucial role on understanding stress accumulation and geodynamic evolution after closure of the Tethys Ocean that has not been well uncovered yet. Earlier on- and off-shore magnetotelluric (MT) studies showed that MT method could be very efficient tool for the investigation of electrical resistivity variation that is now considered to be an important parameter to reveal tectonic structure of the Marmara Sea. Thus, we performed the MT method using ocean bottom electromagnetic (OBEM), wide-band and long period MT data set collected within and around the Marmara Sea. Totally at 27 sites continuous electric and magnetic fields were recorded. Phase tensor analysis and induction arrows show complexity of the structure especially at shallow depths and indicate that a 3D analysis of the data is required. They also represent existence of conductive anomalies beneath the Marmara Sea. 3D modeling results indicate high conductive anomalies, which are separated by resistive zones laterally, at crustal and upper mantle depths. Locations of these resistive-conductive boundaries clearly imply the trace of the NAF on land. Conductive and resistive zones can mark the regions with fluid rich and fluid free zones, respectively, and those regions are considered either to trigger easily a large earthquake or accumulate stress in the brittle zone of the crust. Resistivity variations resolved in this 3-D MT modelling study imply a continuation of the tectonic zones underneath the Marmara Sea in a similar fashion as observed from earlier 2-D modelling of land stations in the east.

09:30 ~ 09:45

### [SCG63-03] 岩石の空隙構造から考える上部・中部地殻の地震波速度と電気伝導度

\*渡辺 了<sup>1</sup> (1.富山大学大学院理工学研究部)

キーワード：地震波速度、電気伝導度、空隙構造

Geophysical observations have been conducted to study the composition, structure and dynamics in the island-arc continental crust. Detailed profiles of seismic velocity and electrical conductivity have suggested that fluids (mostly aqueous fluids) exist pervasively within the crust. Spatial variations in velocity and conductivity are primarily attributed to a spatial variation in the fluid

volume fraction. Cracks must be a key component of pores to govern velocity and conductivity at upper- and mid-crustal depths. Based on laboratory experiments, most of cracks have aspect ratios of less than  $10^{-3}$ . The variation in velocity must be caused by that in fluid volume fraction of 0.1%. The spatial variation in conductivity is often up to 4 orders of magnitude. This large conductivity change must occur within a narrow range of the fluid volume fraction. If the connectivity of fluid is identical, the conductivity is proportional to the fluid volume fraction. A small change in the fluid volume fraction cannot make a change of orders of magnitude. The large change in conductivity requires the increase in connectivity of cracks with increasing fluid volume fraction. I will discuss about the connectivity of grain boundary cracks and its implications for seismic velocity and electrical conductivity.

09:45 ~ 10:00

## [SCG63-04] 弾性波と電磁波のアクロスによる地殻構造のカラーホログラフィ：展望

\*熊澤 峰夫<sup>1</sup> (1.東京工業大学地球生命研究所)

キーワード：アクロス

ACROSS is an acronym of 'accurately controlled, routinely operated signal system', which is being used to detect the subtle temporal variation of the underground structures by elastic wave signal. Whereas seismic ACROSS has been deployed at several sites, complementary electromagnetic ACROSS has not been paid attention to be implemented. Furthermore, currently operating seismic ACROSS does not appear to exert its high potentiality expected theoretically. Recognizing the substantial potentiality of the simultaneous implementation of both seismic and electromagnetic ACROSS, the present author has kept working with several coworkers towards the better implementation strategy of ACROSS technology.

Recently (2014) we convinced to have found a reasonable way to utilize the potentiality of ACROSS, and started to work with ERI and ELSI (TITECH) to design the detailed tactics and strategy. We have a set of two important factors: (1) designing of implementation technology of ACROSS and (2) development of an 'operational digital wave theory' expected to enable us to invert the big data acquired by ACROSS to 'color holography movie of anisotropy'.

The current state of technology and its prospect are reported in this

presentation.

(1) A dense array of both seismic and magnetic sensors combined with a sparse transmitter array of seismic and electromagnetic waves would provide us with such observation data on anisotropy and color (frequency dependence) holography of the crustal structures. As a matter of course, spatial resolution of color and anisotropy depends on the designing of the observation system, frequency range of operation, and also on the time period of data acquisition.

(2) An operational digital wave (ODW) theory developed in this work is quite different from the routine method commonly used on the basis of finite difference approach on wave equation with a weak form. By introducing a hyper-function calculus, differential equations of both elastic and electromagnetic waves are converted to the algebraic equation in wavenumber space in ODW theory. By introducing a sequence of finite discrete coordinates, an efficient iterative innovation strategy is realized for both forwards and inverse computations.

A set of ACROSS technology and ODW theory would promote the transition of the current 'phenomenological dynamics' to the qualified dynamics based on the physical properties of material under tectonic stress with sound physics and observation background. A good test field may be the source area of the 2000 Western Tottori Earthquake, where fluid migration dynamics along the subsurface fault zone may be traced through the observation of temporal variation in the anisotropy of conductivity and polarized shear wave velocities. Note that the high quality observation is essential for the modern tectonics studies.

10:00 ~ 10:15

## [SCG63-05] 吸水反応における多結晶体の力学的応答-CaSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O系における反応誘起応力・歪の実験的研究-

\*宇野 正起<sup>1</sup>、増田 俊太郎<sup>1</sup>、平野 伸夫<sup>1</sup>、岡本 敦<sup>1</sup>、土屋 範芳<sup>1</sup>

(1.東北大学大学院環境科学研究科)

キーワード：反応誘起応力、吸水反応、力学挙動

沈み込み帯の水循環は脱水・吸水反応によりコントロールされ、そこから放出・吸収される水は沈み込み帯のダイナミクスに大きな影響を与える。特に吸水反応は固相の大きな体積変化を伴うため、反応のギブス自由エネルギー変化に伴い大きな応力を発生しうる。その圧力変化は熱力学的に見積もることができ、例えば蛇紋岩化反応では最

大~1 GPaにもなる。このように反応誘起応力は岩石の破壊強度を超えうるため、その挙動は反応に伴う流体流路形成や、反応の空間的広がり、変形の理解に重要である。しかしながら、吸水反応による体積増加が破壊を引き起こして流体流れを増加させ、さらなる吸水反応を促進するのか、あるいは、空隙を埋めて流体流れを減少させ、吸水反応を抑制するのか、実際の岩石の力学的応答は制約されていない。本研究では、反応による体積に変化に対する多結晶体の力学的応答様式を明らかにするために、蛇紋岩化反応と同じく水との反応で大きな体積変化(~+24%)のあるCaSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O系で、吸水反応による反応誘起応力・反応誘起歪を測定した。

定荷重試験では、空隙率が27%と大きいにもかかわらず、0.01-10 MPaのすべての条件で反応によるバルク歪生じた。荷重の増加とともに圧力溶解沈殿クリープなどの変形メカニズムが活性化するため、バルク歪の量は減少する。一方、定体積実験では、反応誘起応力は反応速度に線形に比例することが明らかになった。以上の結果から、吸水反応による岩石の力学挙動は、反応速度と変形速度の競合によって決定されることが示唆される。

10:15 ~ 10:30

## [SCG63-06] 下部地殻における流体の通路

\*飯尾 能久<sup>1</sup>、青木 将<sup>1</sup>、片尾 浩<sup>1</sup>、米田 格<sup>1</sup>、澤田 麻沙代<sup>1</sup>、三浦 勉<sup>1</sup>

(1.京都大学防災研究所)

キーワード：流体、下部地殻、低周波地震、断層、反射面

近畿地方中北部では、いわゆる「満点地震計」による稠密地震観測が行われている。2008年11月に「ひずみ集中帯」プロジェクトにより45点が設置され、2009年からは「地震・火山噴火予知のための観測研究計画」により順次増強され、現在88点が稼働している。本研究では、「満点地震計」および定常観測点、合計128点で得られた波形を用いて、S波の反射法解析を行い、下部地殻における流体の通路を推定した。片尾(1983)により有馬高槻断層帯の北側に、北落ちの反射面が推定されていたが、反射波の振幅をスタッキングすることにより、客観的に反射面の3次元的な分布を得ることが出来た。推定された反射面は、低周波地震の震源域から南上がりに、有馬高槻断層帯の直下まで続いている。これは、マントルから上がってきた流体が、低周波地震の震源域から地殻内に侵入し、活断層の深部へ到達していることを示唆している。さらに、上記の反射面以外に、花折断層付近の深さ30km付近に反射強度の大きな領域が見出され、その近傍に低周波地震の震源が決まっている。Nakajima and Hasegawa(2007)によると、低周波地震の震源域の付近にある反射強度の大きな領域の上には、S波速度が小さな領域がある。さらに、その直上において、地震分布の下限が20km程度と非常に深くなっていることがわかる。この下限の水平変化は温度構造の

不均質によると考えられていたが(例えば、Ito, 1990)、20kmという深部で局所的に温度を下げることは難しいことから、温度が原因ではなく、高間隙水圧により、断層の摩擦強度が局所的に下がったためである可能性が考えられる。

このように稠密観測網のデータを用いたS波の反射法解析により、地殻下部における1.5kmメッシュという高分解能の相対的な反射強度分布を推定することができた。得られた結果は、マントルから上がってきた流体が、低周波地震の震源域付近から地殻内に侵入し、活断層の下部延長付近に達していることを示唆している。また、トモグラフィにより得られている速度不均質構造は、流体の分布を空間的になめらかにしたものを見ていると解釈できる。