

蛇紋岩の浸透率異方性と沈み込み帯での流体経路 Permeability anisotropy of serpentinite and fluid pathway in subduction zone

片山 郁夫^{1*}, 川野誠矢¹, 岡崎啓史¹
KATAYAMA, Ikuo^{1*}, Seiya Kawano¹, Keishi Okazaki¹

¹ 広島大学地球惑星システム学

¹Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

日本列島のような沈み込み帯で発生する火山や地震活動は、沈み込むプレートにより地球内部へ運び込まれる水と密接に関わっている。沈み込み帯での水循環は、これまで含水鉱物の相関係に支配されると考えられてきたが、本研究では水循環が岩石の浸透率に支配されるとの新しいモデルを提案する。含水鉱物の脱水分解によりマントルへ吐き出された水は、一般に浮力のため直上に移動すると考えられているが、蛇紋岩のように片理が発達した岩石では浸透率に異方性が生じ、流体移動が面構造に制約される可能性がある。本研究では蛇紋岩の浸透率異方性を検証する透水実験を行い、沈み込み帯での水循環と火山・地震活動の関連性を議論する。

実験試料は長崎県野母半島に産する片理の発達したアンチグライツ蛇紋岩を用い、容器内変形透水試験機（広島大学設置）により、蛇紋岩の浸透率を片理に平行方向と垂直方向でそれぞれ測定した。その結果、蛇紋岩の片理に垂直な浸透率は片理に平行なものに比べ系統的に低い値を示し、高封圧下では2桁程度の差が見られた。この結果は、蛇紋岩など面構造が強く発達した岩石では透水性に著しい異方性の効果が存在し、水の移動は浮力のみならず岩石の剪断面（応力場）に制約される可能性を示唆している。蛇紋岩化がみられるプレート境界では、沈み込みによる剪断変形のためプレート境界に平行な面構造が発達していることが期待される。その場合、脱水反応によりマントルへ放出された流体は蛇紋岩の面構造に沿ってプレート境界方向に選択的に移動することが予想される。

プレート境界での流体移動速度を、蛇紋岩の浸透率をもとに計算した結果、プレート境界方向では7cm/yearと見積もられる。西南日本では、この流体速度がフィリピン海プレートの沈み込み速度（~4cm/year）より速いため、マントルウェッジ内を流体は上方に移動すると期待される。一方、東北日本では、太平洋プレートの沈み込み速度（~10cm/year）が流体上昇速度より速いため、マントルウェッジへ吐き出された水は、上方へ移動するのではなく、コナフローによりさらに深部へ運び込まれる可能性が高い。日本列島での火成活動は均質ではなく、西南日本では東北日本に比べその活動度は著しく低い。西南日本では水循環が浅部で完了し、マグマの生成に至らないのに対し、東北日本ではより深部へ運び込まれた水が活発な火成活動を引き起こしていると考えられる。また、深部低周波微動の分布にも地域性があり、西南日本でその頻度が高いのはプレート境界上を上昇する水と関連があるのかもしれない。このように、水の循環様式が岩石中の流体移動速度に支配されることが、沈み込み帯での火山や地震活動の不均質性を生じている要因なのかもしれない。

キーワード: 浸透率, 蛇紋岩, 流体移動, 沈み込み帯

Keywords: permeability, serpentinite, fluid migration, subduction zone

沈み込み帯の地震：地震発生に果たす地殻流体の重要な役割 Earthquakes in subduction zones: An important role of aqueous fluids in earthquake generation

長谷川 昭^{1*}, 中島 淳一¹

HASEGAWA, Akira^{1*}, NAKAJIMA, Junichi¹

¹ 長谷川 昭

¹ Akira Hasegawa

沈み込み帯では、主として3つのタイプの地震、すなわち プレート境界地震、 スラブ内地震、 内陸地殻内地震が発生する。近年の研究により、これら3つのタイプの地震のいずれも、その発生に、沈み込んだスラブから供給された水が決定的に重要な役割を果たしているらしいことがみえてきた。

スラブ内稍深発地震の詳細な空間分布や解像度を上げたスラブ内の地震波速度構造の研究は、スラブ内稍深発地震の発生原因として脱水脆性化説を支持する観測的証拠を提供しつつある。水による間隙流体圧が有効法線応力を低下させ脆性破壊を可能とさせると推定される。プレート境界近傍の詳細な地震波速度構造の研究からは、プレート間カプリングが、プレート境界の間隙流体圧や直上のマンテルウェッジの蛇紋岩化に支配されていることを示唆する観測的証拠が得られている。スラブ沈み込みに伴う2次対流の上昇流部分に対応すると推定される、スラブにほぼ平行な傾斜した地震波低速度域が東北地方直下のマンテルウェッジ内に見出されていた。遠地地震の走時データをも用いた最近の地震波トモグラフィの研究は、東北地方だけでなく、この傾斜した低速度域が日本列島の他地域でも広域に認められることが明らかになった。スラブから吐き出された水は、その一部がプレート境界面を通り越し、やがてはこの上昇流に取り込まれ、最終的に島弧地殻にまで運ばれると推定される。運ばれた水は特定の場所に集中し、その下部地殻の強度を下げ、その結果、直上の上部地殻に応力集中が生じる。どうやら内陸地震は、そのような場所で選択的に発生しているようである。

キーワード: 沈み込み帯, 地殻流体, プレート境界地震, スラブ内地震, 内陸地震

Keywords: Subduction zone, aqueous fluids, interplate earthquake, intraslab earthquake, shallow inland earthquake

プレート境界断層の高間隙水圧による海溝域までの破壊の暴走－2011東北沖地震による津波発生メカニズム

Runaway slip to the trench due to rupture of highly pressurized megathrust, Tsunamigenesis of the 2011 Tohoku earthquake

木村 学^{1*}, 比名 祥子¹, 濱田 洋平¹, 亀田 純¹, 辻 健², 木下 正高³, 山口 飛鳥¹

KIMURA, Gaku^{1*}, HINA, Shoko¹, HAMADA, Yohei¹, KAMEDA, Jun¹, TSUJI, Takeshi², KINOSHITA, Masataka³, YAMAGUCHI, Asuka¹

¹ 東京大学, ² 京都大学, ³ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, ²Graduate School of Engineering, Kyoto University, ³IFREE, JAMSTEC

The gigantic 2011, March 11 Mw 9 Tohoku earthquake is examined from the viewpoint of the pre-seismic forearc structure, the seismic reflection properties of megathrust around the usual up-dip limit of the seismogenic zone, the thermal state of a shallow subduction zone, and the dehydration of underthrust sediments. At the Japan Trench the Pacific Plate is subducting westward beneath the northeast Japan at a dip angle of 4.6. The middle and lower slopes dip eastward at angles of ~2.5 and ~8.0, respectively. The forearc prism beneath the middle and lower slopes is inferred to be in extensionally and compressively critical states, respectively, based on the presence of clear internal deformation features and on the occurrence of aftershock earthquakes. The rapid uplift of the forearc that caused the 2011 Tohoku tsunami may have been associated with this internal deformation of the prism. The critical state of the prism indicates that the effective basal friction of the plate boundary megathrust is <0.03 for the middle prism and >0.08 for the lower prism. The megathrust, especially under the middle slope, is characterized by a prominent reflector with negative polarity; i.e., a landward-increasing wave amplitude. This observation suggests that the megathrust hosts highly pressurized fluids. Underthrust sediments in this part of the Japan Trench are dominated by pelagic and siliceous vitric diatomaceous silt with clay. The dehydration kinetics of opal-A to quartz, the clay transformation of smectite to illite, and the thermal structure of the Japan Trench suggest that maximum dehydration of the sediments would take place at 50-60 km horizontally from the deformation front, where the temperature along the megathrust is 100-120. The zone of maximum dehydration coincides with the prominent seismic reflector that has negative polarity. We hypothesize a possible free slip along this portion of the megathrust during the 2011 Tohoku earthquake, caused by anomalously high fluid pressure resulting from fluid accumulation over centuries.

沈み込み帯地震発生領域における海洋地殻の脱水挙動

Diagenesis and dehydration of subducting oceanic crust within seismogenic subduction zones

亀田 純¹, 山口 飛鳥^{1*}, 濱田 洋平¹, 橋本 善孝², 木村 学¹

KAMEDA, Jun¹, YAMAGUCHI, Asuka^{1*}, HAMADA, Yohei¹, HASHIMOTO, Yoshitaka², KIMURA, Gaku¹

¹ 東京大学理学系研究科, ² 高知大学理学部

¹The University of Tokyo, ²Kochi University

Seismogenic plate-boundary faults at accretionary margins may lie within or close to the subducting oceanic crust, composed of basaltic rocks, in contact with the overriding plate of a lithified accretionary prism (Kimura and Ludden, 1995; Park et al., 2001; Matsumura et al., 2003). Therefore, diagenesis and dehydration of the oceanic crust within the seismogenic zone (normally defined as a temperature condition from ~100-150 to 350-450°C; Hyndman et al., 1993) is supposed to have a great influence on the interplate mechanical behaviors where great earthquakes occur. Our previous work showed that basaltic basement at the top of the oceanic crust is remarkably hydrated prior to reaching the trench axis, and pointed out a possibility to be a significant source of fluid in the seismogenic zone (Kameda et al., 2011). The aim of this work is to provide complementary dataset on the state and pathways of diagenesis in the subducting oceanic crust to verify the argument presented in the previous paper. In particular our focus is on a more validate quantification of the dehydration processes within the seismogenic zone. In this work, we analyzed 5 pillow basalt samples exposed in the Cretaceous to Tertiary accretionary complex, the Shimanto Belt, southwest Japan. Based on the vitrinite reflectance measurement of terrigenous sediments accompanied by these rocks, they are estimated to have been subjected to burial diagenesis at 150-300 °C. X-ray diffraction (XRD) analyses of the bulk samples revealed that they contain ~25wt% of hydrous clay minerals. Moreover, clay-fraction XRD exhibited a successive conversion of smectite (saponite) into chlorite as a function of diagenesis grade. In this talk, we will present an improved model of the dehydration behavior of subducting basaltic crust inferred from these data, and address its potential influence on the evolution and physical states of the seismogenic-plate boundary faults.

Keywords: seismogenic zone, dehydration, oceanic crust, saponite

南海トラフ付加体先端部デコルマ付近の10年間連続孔内間隙圧記録 10 years of ACORK: Continuous pressure from the decollement zone at Nankai Trough off Muroto

木下 正高^{1*}, 宮崎 淳一¹, Hulme, Samuel³, Davis, Earl E.⁴, Meldrum, Robert⁴, Becker, Keir⁵, 土岐 知弘², Wheat, Geoff⁶, 笠谷 貴史¹

KINOSHITA, Masataka^{1*}, MIYAZAKI, Junichi¹, Hulme, Samuel³, Davis, Earl E.⁴, Meldrum, Robert⁴, Becker, Keir⁵, TOKI, Tomohiro², Wheat, Geoff⁶, KASAYA, Takafumi¹

¹JAMSTEC, ²琉球大理, ³Moss Landing 海洋研, ⁴カナダ地質調査所, ⁵マイアミ大, ⁶アラスカ大

¹JAMSTEC, ²Univ. Ryukyus, ³Moss Landing Marine Laboratories, ⁴Geological Survey of Canada, ⁵Univ. Miami, ⁶Univ. Alaska Fairbanks

プレート境界断層面上の固着域では、間震期には断層面が固着しており、下盤のプレート運動がほぼそのまま上盤（陸側の付加体）に伝達していると考えられている。固着域よりも海側のプレート境界（デコルマ等）は、固着の性質は持っていないものの、運動学的には固着域とは区別できない、つまりまるで固着しているような挙動を示すと考えられる。実際のデコルマの状態は、堆積後の経過時間が短いことなどから有効差応力が大変小さく、破壊を生じやすい状態だろうと予想される。もしそうだとすると、大地震時に破壊が深部から伝搬してくると、動的破壊条件によっては一気に破壊が海底まで達する。東北地方太平洋沖地震（2011.3.11）ではまさにこれが起こったと考えているが、同様のことが、室戸沖の南海地震の震源域でも発生するかどうか、検討が必要である。

室戸沖デコルマにおける有効応力を規定する最大の要素である間隙圧・水理状態（排水・非排水）を現場で実測するために、孔内間隙圧長期計測装置（ACORK）が2001年に設置された。ACORKからのデータは2001年以来、先端部のデコルマ（808I孔）およびトラフ底（1173B孔）で取得されているが、808I孔では最深部のデコルマ（約950m）が水理的にシールされていなかったため、間隙圧の絶対値は取得できていなかった。平成20年（2008年）に孔口にパッカーを設置し、デコルマがシールされたと期待される。

KR11-12航海では、「かいこう」による3潜航が予定通りに遂行された。シリアル通信速度の向上のおかげで、両サイトにおいて、3-4年間分のデータをそれぞれ1時間程度で取得することに成功した。これにより、我々は11年半におよび間隙圧連続データを得ることができた。両サイトとも、ここ4年間は圧力が一定であり、潮汐応答も記録されていた。また3月11日の東北地震時に、ほぼすべての圧力データが一斉に変動するなど、いくつか興味深い変動が記録されていた。一方、808I孔で、孔口のバルブを閉じることにより、シール状態が確認できる状態とすることができ、今後ようやくデコルマでの間隙圧値が取得できる見込みとなった。

2009年の潜航で、孔口のバルブから揺らぎを伴った流体が湧出していることが確認されていた。今回はその流体を保圧状態で採水し、また面積式（フロート式）流速計による流速測定を実施した。

観測は今後も継続するが、特に間隙圧の潮汐・地震応答データからデコルマや付加体の浸透率を推定するために、新型データロガーを用意し、1秒サンプリングを行って低周波地震の波形も検出できるようにする予定である。また流体が海底に湧出している証拠は、生物群集の存在が最も顕著であるが、熱流量異常や硫酸イオン濃度異常も良好な proxy となる。熱流量異常はこれまでトラフ底で観測されているが、数値解析からは断層に沿って海底に湧出する単純なモデルでは説明できないことが分かってきた。デコルマの水理状態把握のためには、海底への流体湧出量の正確な把握が不可欠であるので、熱流量計測・間隙水分析を継続して行う。

Keywords: ACORK, Nankai Trough, pore pressure, decollement

地震性滑りに伴う断層での高温流体発生の実験的再現

Experimental demonstration of high-temperature fluid generation during coseismic fault slip

本多 剛¹, 谷川 亘², 石川 剛志², 廣野 哲朗^{1*}

HONDA, Go¹, TANIKAWA, Wataru², ISHIKAWA, Tsuyoshi², HIRONO, Tetsuro^{1*}

¹ 大阪大学, ² 海洋研究開発機構高知コア研究所

¹Osaka University, ²JAMSTEC-Kochi

地震時の断層滑り挙動における流体の役割は重要である。例えば断層滑りに伴う摩擦発熱によって岩石中の間隙水が温められ、間隙水圧が上昇することで、断層の弱体化が生じる (thermal pressurization, 以下 TP)。また、温められた間隙水 (高温流体) が発生すると、断層にて岩石と流体が反応し様々な元素組成・同位体値異常が発生する可能性がある。例えば、台湾チェルンブ断層や房総付加体での断層では、fluid-mobile element として知られている Li, Rb, Cs, Sr などの濃度異常と Sr 同位体比の異常が報告されている。南海トラフの泥質堆積物を使った水熱実験での岩石 - 流体間の分配係数に基づき、先の組成変化を評価した結果、350 度以上の高温状態が明らかとなった。また、これらの断層の水理特性や微細組織も考慮に入れると、地震時に断層にて TP が機能したと言える。それゆえ、断層の微量元素・同位体の検出は地震時における断層の滑り挙動を特定する可能性があると言える。しかし、このような異常が断層滑り時に発生しうるかどうかの実験的な検証も必要である。そこで本研究では、高速摩擦試験機を使用、地震性滑り時の高温流体の発生を実験的に再現し、かつ実験前後の試料の微量元素・同位体分析を実施することによって、上記の問題についての検討を行った。

高速摩擦試験機は高知コア研究所に所有されている透水制御型回転式剪断摩擦試験機を使用した。岩石試料は台湾チェルンブ断層の母岩である泥岩を用い、粉末状にした岩石試料を 2 枚のステンレス製剪断プレート間に挟み、含水環境下にて試料に剪断応力を作用させた。実験時の試料温度は試料部に取り付けられた熱電対によって測定され、水圧は試料部外部の水圧ラインの途中に取り付けられた水圧計によって測定された。実験は開放系と閉鎖系の場合の 2 種類を行った。開放系は水圧を常に一定になるように維持し、閉鎖系は剪断による摩擦発熱で水圧が変動するようにした。両方の条件とも変位速度 0.2-0.4 m/s、垂直荷重 14-15 MPa、水圧 2-5 MPa のもと実験を行った。また実験前後の試料に関する微量元素組成は ICP-MS によって測定した。

実験の結果、変位量増加に伴う剪断強度の弱体化が認められ、一部の run では試料温度が最高 300 度以上にまで達したデータが得られた。また閉鎖系の場合、温度上昇とともに、水圧の上昇、模擬断層における有効垂直応力の低下が認められた。これら変化は TP の機能を再現したことを意味する。さらに、実験前後試料の微量元素分析の結果、実験後試料には Li の濃度の有意な低下が認められた。Li は fluid-mobile element であり、300 度以上の高温環境における流体と岩石との反応によって岩石から流体側に移動する。以上の結果、地震性滑り時の高温流体の発生を示す直接的な証拠として、微量元素・同位体異常が有効であることを実験的に検証できたと言える。

日本海溝に沈み込む直前の海洋プレート構造の不均質性と含水量 Along-trench variation of the water contents within the incoming plate offshore north-eastern Japan

藤江 剛^{1*}, 小平 秀一¹, 佐藤 壮¹, 高橋 努¹

FUJIE, Gou^{1*}, KODAIRA, Shuichi¹, SATO, Takeshi¹, TAKAHASHI, Tsutomu¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

沈み込む海洋プレートの脱水やそこから放出される水は、沈み込み帯における地震・火山活動とその空間不均質性に強い影響を与えていると考えられている。したがって、沈み込み帯における諸活動を理解するには、海洋プレートが沈み込み帯に持ち込む水の量を把握することが不可欠である。

日本海溝沈み込み帯では、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)に代表されるようなプレート境界型大地震が繰り返し発生している。プレート境界型大地震の破壊域分布は海溝軸に沿う方向に不均質であり、海溝海側における海底地形の複雑さと興味深い相関があることが指摘されている。一方、近年の中南米における海溝域の構造研究では、プレート折れ曲りに起因する正断層の発達度合や、海山の存在など、海溝海側斜面における海底地形の複雑さが海洋プレートの含水量と相関がよいことも指摘されている。したがって、日本海溝域におけるプレート境界型大地震の不均質な分布は、沈み込む海洋プレートが持ち込む水の量の空間不均質性がと相関がある可能性が考えられる。

そこで、海洋プレートによって沈み込み帯に持ち込まれる水量の空間不均質性を把握することを目的として、我々は日本海溝北部の海溝海側において海底地震計(OBS)とエアガンを用いた大規模な構造探査観測を実施した。走時解析や重合前深度マイグレーションにより構築したP波速度構造、S波速度構造、 V_p/V_s 構造や反射断面は、いずれも海溝軸に沿う方向に顕著な不均質が存在することを示している。予期されたように、海底地形がもっとも起伏に富む北緯38°39'度付近では海洋地殻、海洋マントルとも低速度で、且つ、 V_p/V_s が高い。これは海底地形が複雑な場所では、海洋マントルまで多くの水が入り込んでいることを示唆している。すなわち、日本海溝に沈み込む直前の太平洋プレートは、場所により大きく含水量が異なっている可能性があるだろう。

キーワード: アウターライズ, 地震波速度構造, 水, 水和, 構造探査, 海底地震計

Keywords: outer rise, seismic velocity, water contents, hydration, wide-angle seismic survey, OBS

PS変換波から推定した東北地方における海洋性地殻の速度構造

Estimation of velocity structure in the oceanic crust of the Pacific slab beneath northeast Japan from PS converted wave

椎名 高裕^{1*}, 中島 淳一¹, 松澤 暢¹

SHINA, Takahiro^{1*}, NAKAJIMA, Junichi¹, MATSUZAWA, Toru¹

¹ 東北大・理・予知セ

¹ RCPEV, Grad. Sch. of Sci., Tohoku Univ.

地震波速度トモグラフィー (e.g., Nakajima et al., 2009) やレシーバー関数解析 (Kawakatsu and Watada, 2007) により、東北日本弧下の太平洋スラブ表面付近には地震波速度の遅い海洋性地殻が存在することが明らかになってきた。しかしながら、これらの方法では海洋性地殻の詳細な速度分布を推定することは難しく、その空間分布の特徴はまだよくわかっていない。

スラブ内で発生する地震には、スラブの上部境界面での変換波が観測されることが知られており、Matsuzawa et al. (1986) では、スラブ表面直下に低速度域を仮定することにより、スラブ境界面でのPS変換波の走時や振幅が説明できることを示した。そこで、本研究では非常に密に展開されている基盤地震観測網で観測されたPS変換波を用いて、東北地方下に沈み込む太平洋プレートの海洋性地殻の速度構造の詳細な空間分布の推定を試みた。

本研究では、太平洋スラブ内で発生した地震の波形について、理論走時や振動軌跡を参考にスラブ境界面でのPS変換波を同定し、その到達走時の読み取りを行った。そして、プレート形状や速度構造を仮定した上で、読み取ったPS変換波の走時から海洋性地殻のP波速度を推定した。結果として、火山フロント付近を境に、前弧側では6.5-7.0 km/s程度、背弧側では7.5-8.5 km/s程度の速度が得られた。この速度変化は、海洋性地殻内部での相転移によって生じていると推測され、スラブ内地震の発生と深く関わっていると考えられる。今後は、海洋性地殻の密度や含水率の推定に加え、速度分布と地震活動との関係の詳細な検討などを行う予定である。

キーワード: PS変換波, 海洋性地殻, 太平洋スラブ

Keywords: PS converted wave, oceanic crust, Pacific slab

沈み込み帯の脱水作用と非火山性群発地震の発生 Fluids dehydrated from the subducting oceanic crust and non-volcanic seismic swarms

加藤 愛太郎^{1*}, 雑賀 敦², 武田 哲也³, 岩崎 貴哉¹

KATO, Aitaro^{1*}, SAIGA, Atsushi², TAKEDA, Tetsuya³, IWASAKI, Takaya¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 東濃地震科学研究所, ³ 防災科学技術研究所

¹ERI University of Tokyo, ²Tono Research Institute of Earthquake Science, ³National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

A non-volcanic seismic swarm is often assumed to be tied to fluid movements, based on earthquake migrations obeying a diffusion equation. However, seismological observations that relate to the presence and driving force of fluids are not well documented. One of the most intensive non-volcanic seismic swarms in Japan is located in the Wakayama district, SW Japan, and quite distant from the present volcanic front.

It is important to fully describe the crustal heterogeneity originating in crustal fluids. We have deployed a very dense seismic array with a length of about 100 km at the western edge of the Kii Peninsula. The dense seismic observations were conducted from December in 2010 to June in 2011. The linear array consists of 86 seismometers with 1 Hz natural frequency, those continuously recorded three-component signals. Both P- and S-wave arrival times from local earthquakes including some low-frequency earthquakes (LFEs) were manually picked from waveforms observed by both dense temporary stations and permanent stations. The dense and well-covered ray-paths from local and teleseismic events afford us precious opportunities to investigate the fine-scale seismic structures.

The most striking feature of the fine seismic image is low-velocities with low Poisson ratios beneath the seismic swarm region. This low-velocity feature is also supported by the receiver functions. In addition, the corner of mantle wedge is characterized as low velocity, leading to an inverted inland Moho at depth of about 30 km. This low velocity mantle seems to extend to deeper depths.

At depths shallower than 40 km, a depth-section of receiver functions shows that the oceanic crust, of which the top and bottom (plate interface and oceanic Moho) are outlined by strong negative and positive amplitudes, respectively, is subducting at a dip angle of approximately 15-degree. In contrast, the polarity of the plate interface changes from negative to positive at depths greater than 50 km. The dip-angle of the oceanic crust increases with depth. We interpret the transitions of the polarity as indicating the onset of eclogitization of the oceanic crust. The subducting oceanic crust beneath LFEs is characterized by low-velocities and high Poisson ratios, which are commonly observed at Tokai or Shikoku regions.

We propose that fluids dehydrated from the subducting oceanic crust could infiltrate into the mantle wedge and crust, leading up to the intensive non-volcanic seismic swarms in Wakayama and high-helium isotopes widely observed in the Kii Peninsula.

Keywords: seismic swarm, crustal fluid, non-volcanic, velocity structure, receiver function, dehydration