

Mon. Oct 21, 2024**Room C | Regular session : S04. Tectonics**

9:00 AM - 10:15 AM JST | 12:00 AM - 1:15 AM UTC | Room C Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S04] AM-1

chairperson: Masataka Kinoshita (ERI, UTokyo), Genti Toyokuni (Tohoku University)

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[S04-01] Local heat flow variations on the outer rise of the Japan Trench: Implications for heterogeneous structure of the oceanic crust*Makoto YAMANO^{1,2}, Masataka KINOSHITA³ (1. AORI, Univ. of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. ERI, Univ. of Tokyo)

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[S04-02] The Stealth Hotspot Volcanoes - Hotspot volcanoes nestled within island arc volcanic chains that cause catastrophic eruptions-*Genti TOYOKUNI¹, Dapeng ZHAO¹ (1. RCPEVE, Department of Geophysics, Tohoku University)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[S04-03] Deep structure of Java subduction zone: Comparing with Japan*Dapeng ZHAO¹, F. Xie², Z.W. Wang² (1. Tohoku University, 2. Southern University of Science and Technology)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[S04-04] A year continued sluggish slip along the Izu-Bonin plate boundary*Yoshio FUKAO¹, Tatsuya KUBOTA², Hiroko Sugioka³, Ryo Furue¹ (1. JAMSTEC Yokohama Institute, 2. NIED, 3. Kobe Univ)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S04-05] Toward detection of slow slips in Hyuga-Nada: Challenge with seafloor optical-fiber strainmeter*Masataka KINOSHITA^{1,2}, Eiichiro Araki², Rie Nakata¹, Tomohiro Toki⁴, Yoshitaka Hashimoto³, Yohei Hamada², Yusuke Yokota⁵, Yusuke Yamashita⁶, Michiyo Sawai⁷ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Kochi University, 4. University of Ryukyus, 5. Institute of Industrial Science, UTokyo, 6. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., 7. Chiba University)**Room C | Regular session : S12. Rock experiment, rock mechanics, and crustal stress**

10:30 AM - 11:15 AM JST | 1:30 AM - 2:15 AM UTC | Room C Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S12] AM-2

chairperson: Kentaro Omura (NIED), Hiroyuki NODA (Kyoto University, Disaster Prevention Research Institute)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S12-01] Simulation on sample-size dependency of dynamic weakening of friction due to thermoelastic instability and local temperature-weakening*Hiroyuki NODA¹ (1. DPRI, Kyoto University)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S12-02] Yielding and fracture of a complex fluid under accelerating shear*Osamu KUWANO¹ (1. JAMSTEC)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S12-03] In-situ stress at the basement under Osaka plain (8) - In-situ stress measurement at NIED Kyoto observation well by DCDA method -*Kentaro OMURA¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

Room C | Regular session : S05. Geothermal science

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC | Room C Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S05] AM-2

chairperson: Kentaro Omura(NIED), Hiroyuki NODA(Kyoto University, Disaster Prevention Research Institute)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S05-01] The first Seismic Exploration using the optical fiber DAS in the geothermal borehole at Kijiyama geothermal field in Akita, Japan

*Junzo KASAHARA^{1,2}, Yoko Hasada^{2,3}, Masaru Suzuki⁶, Tomohiro Takahashi⁶, Hitoshi Mikada^{4,2}, Hiroshi Ohnuma², Yoshihiro Fujise⁵ (1. Univ. Shizuoka, 2. ENAA, 3. Daiwa Exploration and Engineering, 4. Kyoto Univ., 5. WELMA, 6. TOUSEC)

Room C | Regular session : S04. Tectonics

📅 Mon. Oct 21, 2024 9:00 AM - 10:15 AM JST | Mon. Oct 21, 2024 12:00 AM - 1:15 AM UTC | 🏢 Room C
Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S04] AM-1

chairperson: Masataka Kinoshita (ERI, UTokyo), Genti Toyokuni (Tohoku University)

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[S04-01] Local heat flow variations on the outer rise of the Japan Trench: Implications for heterogeneous structure of the oceanic crust

*Makoto YAMANO^{1,2}, Masataka KINOSHITA³ (1. AORI, Univ. of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. ERI, Univ. of Tokyo)

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[S04-02] The Stealth Hotspot Volcanoes - Hotspot volcanoes nestled within island arc volcanic chains that cause catastrophic eruptions-

*Genti TOYOKUNI¹, Dapeng ZHAO¹ (1. RCPEVE, Department of Geophysics, Tohoku University)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[S04-03] Deep structure of Java subduction zone: Comparing with Japan

*Dapeng ZHAO¹, F. Xie², Z.W. Wang² (1. Tohoku University, 2. Southern University of Science and Technology)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[S04-04] A year continued sluggish slip along the Izu-Bonin plate boundary

*Yoshio FUKAO¹, Tatsuya KUBOTA², Hiroko Sugioka³, Ryo Furue¹ (1. JAMSTEC Yokohama Institute, 2. NIED, 3. Kobe Univ)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S04-05] Toward detection of slow slips in Hyuga-Nada: Challenge with seafloor optical-fiber strainmeter

*Masataka KINOSHITA^{1,2}, Eiichiro Araki², Rie Nakata¹, Tomohiro Toki⁴, Yoshitaka Hashimoto³, Yohei Hamada², Yusuke Yokota⁵, Yusuke Yamashita⁶, Michiyo Sawai⁷ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Kochi University, 4. University of Ryukyus, 5. Institute of Industrial Science, UTokyo, 6. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., 7. Chiba University)

Local heat flow variations on the outer rise of the Japan Trench: Implications for heterogeneous structure of the oceanic crust

*Makoto YAMANO^{1,2}, Masataka KINOSHITA³

1. AORI, Univ. of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. ERI, Univ. of Tokyo

日本海溝海側のアウターライズ上では、沈み込む太平洋プレートの年齢に対して異常に高い熱流量が広範囲で観測されている (Yamano et al., 2014)。高熱流量は海溝軸から150 km付近まで及んでいるが、この範囲での値は一樣ではなく、海底年齢に応じた50 mW/m²程度から100 mW/m²を超える値まで、大きな変動を示す。この地域では、海洋地殻～マントル最上部の地震波速度構造にも異常が見られ、沈み込みに伴う太平洋プレートの屈曲によって亀裂が生じ、水が入り込んだことを示すものと考えられている (Fujie et al., 2018)。熱流量と速度構造の異常の範囲がほぼ合致することから、海溝海側で海洋地殻が破碎されて浸透率が増加し、流体循環が発達して地殻深部から熱を効率的に汲み上げて高熱流量を生じる、というモデルが提案されている (Kawada et al., 2014)。

上記のように、このアウターライズ高熱流量帯での観測値には大きなばらつきが見られ、短い間隔での測定が行われた地域では、熱流量が数kmのスケールで変動することが判明している (山野・川田, 2017)。特に詳細な熱流量分布が得られているのは、北緯39.0度付近の海溝に直交する測線 (東西方向) である。海溝軸からの距離60～80 km付近 (正断層が発達していない領域) において、数百m間隔での測定により、3～5 kmのスケールで大きな増減 (60～110 mW/m²) を繰り返すという特徴が明らかになっている。このような短波長の変動を生じる原因は、変動のスケールから考えて、海洋地殻内にある。海洋地殻にはもともと不均質性があり、プレート屈曲による破碎も不均質に進行すると考えられる。そのため、破碎の及ぶ深さや浸透率が場所によって異なり、流体循環により汲み上げられる熱の量にも差があり、海底での熱流量の変動を生じていると推定される。

上に述べた変動は海溝に直交する方向のものであるが、海底地形に表れた断層の分布や走向にも見られるように、海洋地殻の構造や破碎過程は海溝に平行な方向にも不均質であると考えられる。これに対応して熱流量がどのように変化するかを調べるため、南北方向の2本の測線に沿って、数百m間隔の高密度での測定を行った。この2本の測線は、上記の東西方向測線 (北緯39.0度付近) と、熱流量の山近傍と谷近傍で交わっている。得られたデータから、両測線ともに、東西測線と同様に数kmのスケールで熱流量が変動することが明らかになった。変動の振幅は、東西測線の熱流量の山を通る測線では東西測線と同程度であり、谷を通る測線ではこれより小さい。このような熱流量分布は、日本海溝アウターライズにおける海洋地殻の破碎とそれによる流体循環の発達是非常に不均質で、海溝に平行な方向にも大きく変化することを示唆している。

The Stealth Hotspot Volcanoes -Hotspot volcanoes nestled within island arc volcanic chains that cause catastrophic eruptions-

*Genti TOYOKUNI¹, Dapeng ZHAO¹

1. RCPEVE, Department of Geophysics, Tohoku University

過去に発生した破局噴火（ $VEI \geq 7$ ）のほとんどは、プレート沈み込み帯の島弧火山列に位置する火山におけるものである。破局噴火を引き起こすメカニズムについては、これまで山体等の浅部構造や、浅部のマグマ輸送システムと関連づけて説明されることが多く、プレート下の上部マントル構造など深部構造を含めて議論されることはあまりなかった。

沈み込み帯における地震波トモグラフィーでは、沈み込むスラブの上のマントルウェッジ内と、スラブ下のマントルに低速度異常領域が見いだされるという共通した特徴がある。マントルウェッジ内の低速度は、コーナーフローや沈み込むスラブからの脱水で説明でき、通常の島弧火山の成因として盛んに議論が行われてきた。一方スラブ下の低速度の原因としては、沈み込みに伴うリターンフローである熱いマントル上昇流（SHMU; Subslab hot mantle upwelling）等が考えられている。近年はプレート境界型巨大地震やスロー地震の発生との関わりが議論されるなど注目度が高まっている[1]。

我々は東南アジア[2]、日本[3]、地中海東部[4]、オセアニア[5]、南米の5領域を対象に、地表から核・マントル境界までの詳細なP波トモグラフィーモデルを得て、破局噴火を引き起こす火山と上部マントル構造との比較を行った。用いたトモグラフィー手法は「マルチスケール・グローバルトモグラフィー法」と呼ばれるもので、対象地域下にグリッドを密に配置することで、グローバルトモグラフィーでありながらリージョナルトモグラフィーと同等の分解能を実現できる。またリージョナルトモグラフィーと異なり、全地球で絶対走時残差を取り扱うことができるため、遠地地震波線を用いる際に領域外不均質の影響を除去する仮定を必要としない。さらに直達P波だけではなく、4種類の後続波（ pP 、 PP 、 PcP 、 $Pdiff$ ）も用いることで波線密度を向上させた。5領域それぞれで、インバージョンに使った到着時刻データ数は500~700万個である。

結果として、破局噴火を引き起こす火山のうち少なくとも半数は、スラブ・ウィンドウ（スラブの穴や裂け目）の直上か極めて近傍で、かつSHMUが発達した場所に位置していることが明らかとなった。このような場所では、マントルウェッジ内のコーナーフローとSHMUが、スラブ・ウィンドウを通して混合していると考えられる。またスラブ・ウィンドウがボトルネックとして働くことで、間欠的に大量のマントル物質が湧昇する可能性が高い。したがって沈み込み帯における破局噴火は、島弧火山列の火山のうち、こうした特殊な条件が重なった場所で発生すると考えることができる。SHMUは、スラブ下にトラップされたホットプルームの一種と考えることができるため、SHMUに関連した火山は、島弧火山列に紛れ込んだホットスポット火山（＝「ステルス・ホットスポット火山」）と捉えられる。このモデルの妥当性は今後さらに検討する必要があるが、破局噴火のリスクを深部構造から制約できる可能性があり興味深い。

[1] Fan, J., Zhao, D., 2021. Subslab heterogeneity and giant megathrust earthquakes. *Nat. Geosci.* 14, 349–353.

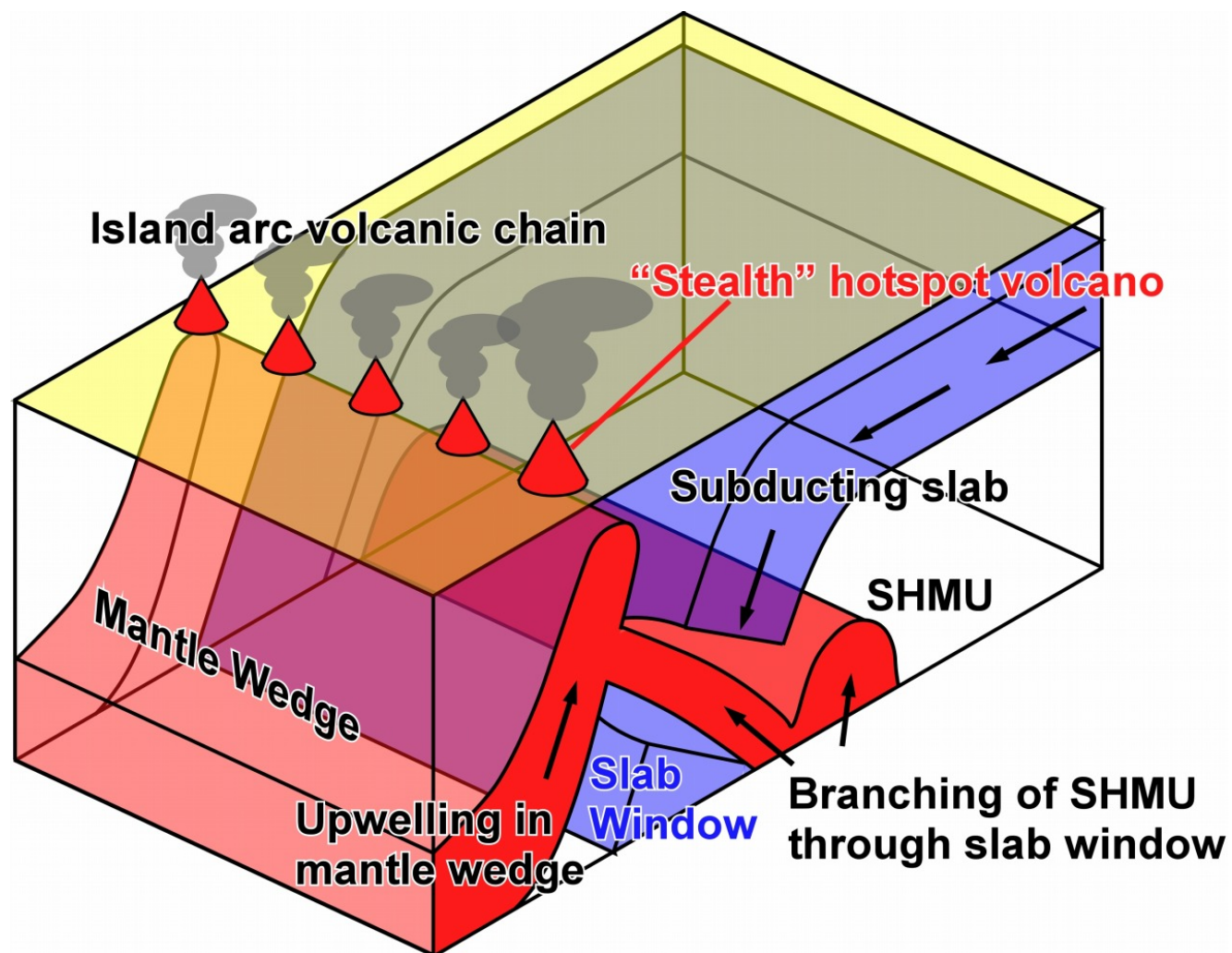
[2] Toyokuni, G., Zhao, D., Kurata, K., 2022. Whole-mantle tomography of Southeast Asia: New insight into plumes and slabs. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 127, e2022JB024298.

[3] Toyokuni, G., Zhao, D., Takada, D., 2024. Whole-mantle isotropic and anisotropic tomography beneath Japan and adjacent regions, in revision.

[4] Toyokuni, G., Zhao, D., 2024a. Whole-mantle tomography beneath eastern Mediterranean and adjacent regions, in revision.

[5] Toyokuni, G., Zhao, D., 2024b. Slab-plume interactions beneath Australia and New Zealand: New

insight from whole-mantle tomography, under review.



Deep structure of Java subduction zone: Comparing with Japan

*Dapeng ZHAO¹, F. Xie², Z.W. Wang²

1. Tohoku University, 2. Southern University of Science and Technology

The Java Island is located in the southern part of Southeast Asia, where the India-Australian plate is subducting beneath the Sunda plate. The strong plate convergence has resulted in clustered arc volcanoes and intense seismicity in Java. To better understand the arc magmatism and seismotectonics in the region, we use a tomographic method (Zhao 2015) to determine a high-resolution 3-D P-wave velocity (Vp) model of the crust and upper mantle down to 600 km depth beneath Java. The geometry of the subducting Australian slab is taken into account in the starting model to obtain a better tomographic result by inverting a large number of travel-time data of local and teleseismic events. Our results show lower intra-slab Vp anomalies at depths of ~100–200 km than other parts of the slab, which may reflect dehydration embrittlement and a slab hole. Weak low-Vp anomalies are revealed below the subducting Australian slab, which is probably due to the slab hole where subslab hot materials flow into the mantle wedge. This feature may be related to the occurrence of potassium-rich back-arc volcanoes and the lack of giant megathrust earthquakes (Mw 8.5) in Java. Our tomographic results also support the hot finger model for explaining the arc magmatism in Java, similar to that in Japan (Zhao *et al.* 1992, 2012). We also apply tilting-axis anisotropic tomography (Wang & Zhao 2021) to obtain a high-resolution 3-D Vp anisotropic model beneath the Java-Banda region. Our results show significant differences between Java and Banda in the pattern of anisotropy in both the subducting slab and its surrounding mantle, which reflect two distinctly different deformation modes in the two domains. Our results support the single-slab subduction model for the Banda region. In addition, trench-normal and upright fast-velocity-planes appear in the deep upper mantle, which may indicate material migrations in the big mantle wedge. Fast-velocity-planes in the shallow mantle exhibit a toroidal distribution, reflecting past counter-clockwise rotation and asthenospheric material extrusion.

References

- Wang, Z.W., D. Zhao (2021). 3D anisotropic structure of the Japan subduction zone. *Science Advances* 7, eabc9620.
- Zhao, D. (2015). *Multiscale Seismic Tomography*. Springer, 304 pp.
- Zhao, D. et al. (1992). Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan. *J. Geophys. Res.* 97, 19909-19928.
- Zhao, D. et al. (2012). Imaging the subducting slabs and mantle upwelling under the Japan Islands. *Geophys. J. Int.* 190, 816-828.

A year continued sluggish slip along the Izu-Bonin plate boundary

*Yoshio FUKAO¹, Tatsuya KUBOTA², Hiroko Sugioka³, Ryo Furue¹

1. JAMSTEC Yokohama Institute, 2. NIED, 3. Kobe Univ

1. 序

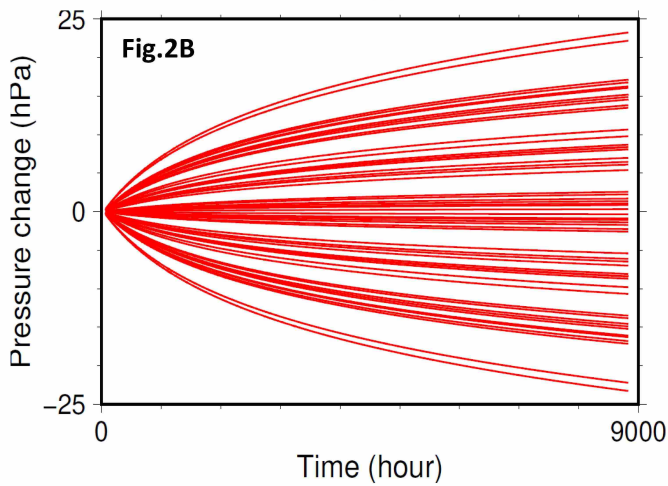
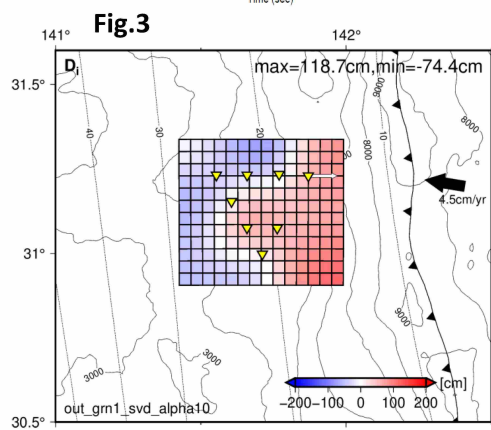
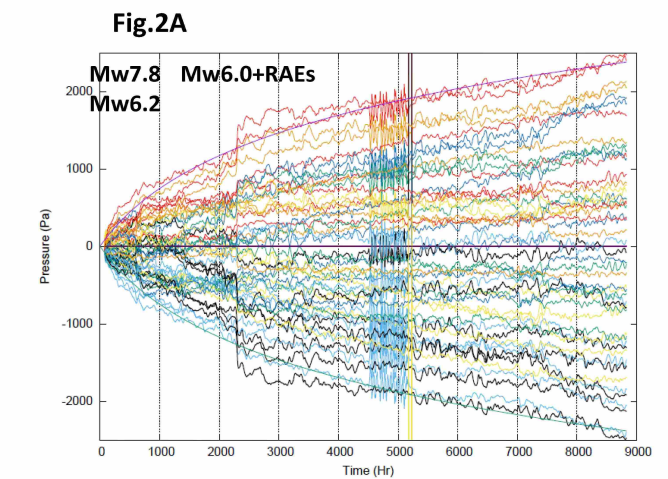
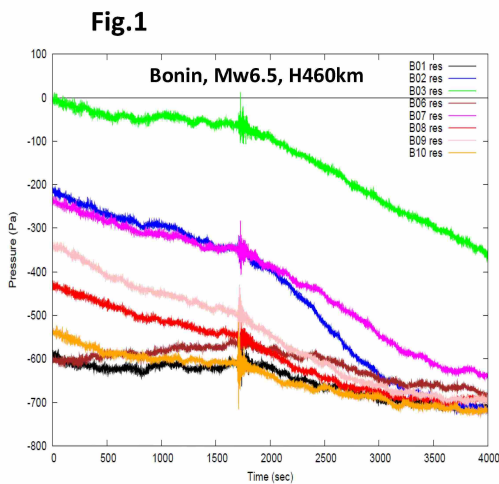
伊豆・小笠原海溝におけるプレート沈み込みは非地震性滑りの代表例である。2015-2016にかけて、この海溝の内側深海底で水圧計8台による1年間のアレー観測 (Fig. 3) が実施された。我々はこの記録を解析し、M6.0の地震がアレー直下に発生した (Kubota et al., 2021, GRL) 直後と3.5日後に、通常地震よりは遅く Slow Slip Eventよりは早い滑り (Rapid Aseismic Slip) が発生したことを見出した (Fukao et al., 2021, JGR)。また前年度地震学会では、これらに先立って非地震性の早い滑りが何回か先行していたことを指摘した。今回は、(1)こうしたイベント的滑りと重なって年スケールのズルズル滑る成分が存在し、その時間推移はなる対数型の時間関数でよく近似できること、(2)滑りの始まり ($t=0$ h) は 2015-05-30 の小笠原巨大超深発地震 (Mw7.9, $h=680$ km) の発震時に合致し、この巨大超深発地震を号砲として伊豆小笠原海溝のプレート間固着が広範囲に緩んだことを示す。

2. データ解析

小笠原巨大超深発地震の発生 ($t=0$) から7時間後に小笠原海溝のOuter-riseでMw6.2の地震が発生、4週間後にはMw6.5の深発地震が起きた。この更に3か月後にはアレー直下でMw6.0の低角逆断層地震 (Kubota et al., 2021, GRL) が発生した。アレー直下のプレート間滑りと小笠原深発地震との密接な関わりを示唆する記録例をFig.1に示す。この図はMw6.5の深発地震の発生を機にアレー直下の海底が一斉に隆起をしたことを示す。Fig.2Aは1年間にわたる海底の隆起沈降運動の経緯をまとめて示したものである。この図は、観測点間の水圧差を全ての観測点ペアについて求め、その1年を通じた推移をプロットしたものである。この推移にはなる対数型の時間関数が良くあてはまる。但し、 $t=0$ は2014-05-30 00:00:00、即ち、小笠原深発地震発生当日ゼロ時 (UT) に対応する。観測点(i)と(j)間の水圧差($P_j - P_i$)を観測値とし、設定した断層面を縦横12x15の要素に分割し、各要素kの断層変位ベクトル D_k を未知数とする逆問題を設定した。但し、観測点間の水圧差しかデータとして用いていないので、各要素断層変位の絶対値はユニークに決まらない。ここに得られている解は、プレート境界に沿って基本的には海溝側で大きな逆断層、陸側で相対的に小さな正断層のパターンである。得られた解に基づく海底水圧変化の推移をFig.2Bに示した。1年間の時間スケールと10-30kmの空間スケールの中で、観測とモデルが基本的に水圧差0-20hPaを識別していることがわかる。

3. まとめ

2015年伊豆小笠原海溝のずるずる滑り (Sluggish slip) は、5月30日のMw7.9小笠原巨大超深発地震をきっかけに始まった。・このずるずる滑りは1年近く続き、ときに高速滑りを伴った。最も顕著な高速滑りはMw6.0スラスト地震とそれに続く非地震性高速滑りである。ずるずる滑りにより観測点間の高低差は1年で最大20cmに達した。・滑りの時間推移はなる対数型の時間関数が良くあてはまる。このとき $t=0$ には小笠原巨大超深発地震の発震時に対応する。・小笠原巨大超深発地震の号砲によって、沈み込むスラブの先端から付け根のOuterriseまでがプレート間固着のタガを失い、我々の30kmアレーよりもはるかに大きなスケールでずるずる滑りが起きていたのではなかろうか？



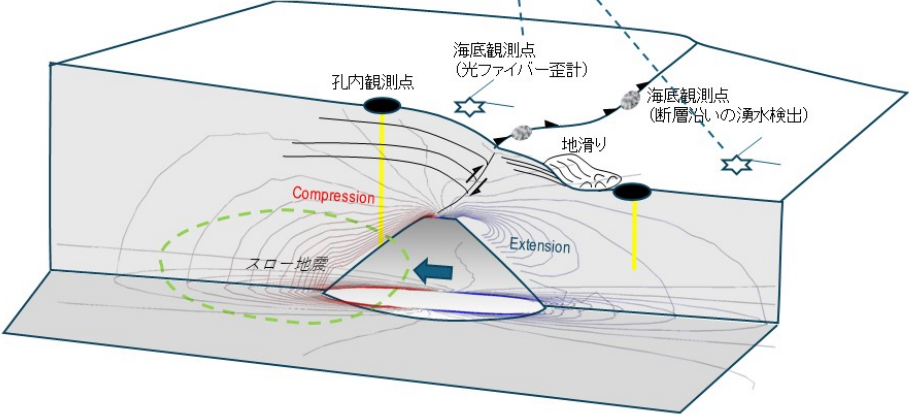
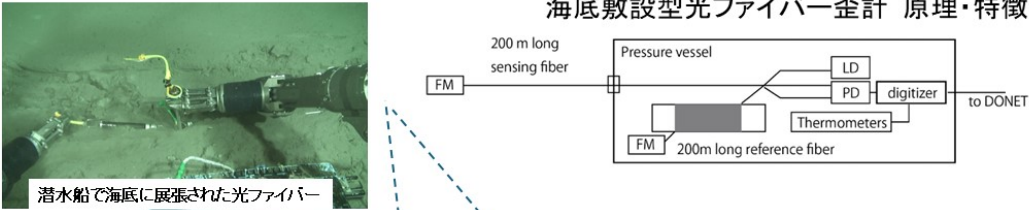
Toward detection of slow slips in Hyuga-Nada: Challenge with seafloor optical-fiber strainmeter

*Masataka KINOSHITA^{1,2}, Eiichiro Araki², Rie Nakata¹, Tomohiro Toki⁴, Yoshitaka Hashimoto³, Yohei Hamada², Yusuke Yokota⁵, Yusuke Yamashita⁶, Michiyo Sawai⁷

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Kochi University, 4. University of Ryukyus, 5. Institute of Industrial Science, UTokyo, 6. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., 7. Chiba University

日向灘には、四国海盆と西フィリピン海盆の境界である九州－パラオ海嶺（KPR）が沈み込んでいる。KPRとして沈み込んだ海山の周囲でスロー地震（微動・VLFE）が時折発生し、震源位置が数十 km/day 程度で移動することが知られている。一方、2024年8月8日16:43に発生した日向灘地震(M7.1)をはじめとするM7級地震の震央は、微動域のNW約50kmにあり、KPRの延長上にある。スロー地震の発生原因の一つが間隙水圧異常とされる。一方海山や突起の沈み込みがスロー地震発生に大きく影響することも認識されてきた。海山等の沈み込みにより周囲の応力場が乱れ、破碎帯が形成され強度が低下して固着が弱まることを、海山直上の海底・掘削・陸上の観測により検証することを目的とした科研費（基盤研究S）「海山の沈み込みは巨大地震域の固着を弱めるか：南海トラフの2海山での検証」が、2024年から5年計画として採択された。海山沈み込みとスロー地震の関係を議論する上で、日向灘（海山・微動あり、SSE未検出）、室戸沖（海山・微動・SSEあり）、熊野沖（海山なし、微動・SSEあり）といったケースを比較検討する。日向灘ではこれまでYokota & Ishikawa (2019) による海底GNSS観測があるが、連続観測が存在しないため、SSEが存在するかどうかは不明である。そこで本プロジェクトでは、荒木らが開発し、南海トラフで設置実績のある海底設置型の光ファイバー歪計（OFS）2基を、日向灘に設置する計画である（図）。底設置型OFSは、光ファイバー200mを海底面上に展開し、その微小な長さ変化を計測してピコstrainの分解能を実現する。室戸沖では、 $7\text{e-}7$ strain の変化が約3週間かけて観測され、SSEが発生したと解釈された（荒木、2022）。沈み込んだ海山周辺のSSEは、1kPa程度の水圧変動（約 $1\text{e-}7$ の体積歪変化）に相当すると予想している。ただし、海山付近で $1\text{e-}7$ strainが生じたとしても、海底に到達するまでに減衰する可能性があり、それも併せて検出可能性を探っている。設置地点として、微動・VLFEが密集している場所を中心に検討している。Araki et al. (2017)などによれば、より放出エネルギーが大きいSSEの発生に伴い、その周縁部で微動が発生する場合があるが、両者の関係はいまだ議論がある。設置にあたっては、限られた台数を、どこで起きるかわからないSSEに対して「敏感な」地点を選んで行うことが重要である。平坦性、斜面堆積物や基盤岩露出、断層帯の有無が判断の基準になる。海底地形図と合わせて、これまでに日向灘でえられた反射法地震探査測線データを詳細に検討した結果、日向灘の前弧域斜面には、海山が沈み込む前から存在した付加体の断層が、海山沈み込みにより再活動したと予想される背斜構造が見つかった。流体移動に関する情報としては、沈み込んだ海山周囲での微動の移動や、地震波低速度異常（Arai+2023, Akuhara+2023）が手掛かりとなる。海山の東に微動集中域があるが、流体が集中しているのであればSSE検出の重要な候補となる。一方我々は、KPRの東側で熱流量が高く、その西側では熱流量が極めて低いことを示した。特に熱流量が海山の周囲で特に低いことが判明した。海山沈み込みによる周囲の応力異常・水理擾乱に起因する流体循環により冷却されたと考えられる。その場合、海山の通過跡では上盤が破碎され、間隙率や浸透率が高く、また断層や破碎帯を流路とした、活発な流体移動が起きていることが予想される。いずれにせよ、SSEと流体移動を区別するために、OFS設置点付近には、明らかな流体湧出がないことが重要と考えている。これらを考慮した結果、予稿執筆時点では、沈み込んだ海山の斜め前方（北東）が最適であろうと考えている。圧縮応力が卓越し、流体移動による低熱流量とスロー地震の発生の可能性が高いと想定される。なお、IODP3（次期国際深海掘削計画）で掘削予定の地点は、同じく沈み込んだ海山の北東側を想定している。OFS等の計測により、8月8日の日向灘地震に起因する地殻変動などが検出されるかもしれない。それが南海トラフ地震域に及ぼす影響を評価するためには、そもそも震源域の状態（応力や流体圧など）を知ることが必須である。本調査は、そのような基礎データ取得に主として貢献する。

海底敷設型光ファイバー歪計 原理・特徴



Room C | Regular session : S12. Rock experiment, rock mechanics, and crustal stress

📅 Mon. Oct 21, 2024 10:30 AM - 11:15 AM JST | Mon. Oct 21, 2024 1:30 AM - 2:15 AM UTC | 🏢 Room C
Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S12] AM-2

chairperson: Kentaro Omura(NIED), Hiroyuki NODA(Kyoto University, Disaster Prevention Research Institute)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S12-01] Simulation on sample-size dependency of dynamic weakening of friction due to thermoelastic instability and local temperature-weakening

*Hiroyuki NODA¹ (1. DPRI, Kyoto University)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S12-02] Yielding and fracture of a complex fluid under accelerating shear

*Osamu KUWANO¹ (1. JAMSTEC)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S12-03] In-situ stress at the basement under Osaka plain (8) - In-situ stress measurement at NIED Kyoto observation well by DCDA method -

*Kentaro OMURA¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

Simulation on sample-size dependency of dynamic weakening of friction due to thermoelastic instability and local temperature-weakening

*Hiroyuki NODA¹

1. DPRI, Kyoto University

室内摩擦実験と大地震が繰り返す天然の断層挙動を繋げる上で、岩石摩擦のスケール依存性の解明は非常に重要な課題である。Tsutsumi and Shimamoto (1997) による高速摩擦実験以来、実験室の条件で摩擦発熱が重要となる 0.1 m/s 程度以上の高速摩擦時の摩擦強度の急激な低下（動的弱化）に関して、cm サイズの試料に対して多くの実験的研究が行われてきた（例えば Di Toro et al., 2011）。Yao et al. (2016) は母岩の熱物性を変化させた摩擦実験を行い、動的弱化が滑り速度よりもむしろ温度上昇に伴う現象であることを突き止めた。一方 Yamashita et al (2015) は長さ 1.5 m、幅 0.1 m を持つ大試料の摩擦実験を行い、動的弱化が 0.01 m/s 程度の比較的低速で発生する事を報告し、摩擦面における垂直応力 σ の不均質によって局所的な動的弱化が発生した可能性を議論した。最近 Noda (2023) は、垂直応力の不均質がそれに伴う摩擦発熱と熱膨張の不均質により自発的に増大する「熱弾性不安定」（Thermoelastic instability, TEI (Barber, 1967; Dow and Burton, 1972)）に着目し、臨界滑り速度 V_{cr} が試料サイズに反比例し、室内実験で用いられる速度範囲内となる事を指摘した。ただし、摩擦実験で実際に発生する動的弱化は $V/V_{cr} = 10$ 程度で発生しており、より詳細な議論のためには数値シミュレーション等を援用した研究が必要であった。本研究では TEI を効率的に計算する手法を開発し、局所的には温度弱化の性質を持つ摩擦面に対して数値シミュレーションを行い、摩擦実験中における TEI の可能性をより定量的に議論する。

2つの半無限媒質の境界に平面の摩擦面を設定し、面外方向の一樣滑りを考える。熱弾性に関しては uncoupled thermoelasticity の 2 次元準静的面内問題を考える。試料サイズのプロキシとして、摩擦面に垂直な周期境界を間隔 W で仮定する。Noda (2023) は σ の時間発展に関して、スペクトル境界積分法を多数のメモリー変数を用いて近似する事により常微分方程式の逐次積分として計算する手法を見出した。今回はこれに加え、温度 T の時間発展の計算を、スペクトル法と摩擦面と垂直方向の波数を対数的に取る (Noda and Lapusta, 2010) 工夫を用いて実装した。また摩擦面は引張の垂直応力を支えないので、各時間ステップにおいて静的熱弾性問題を解き局所的な開き分布についても計算した。

Yamashita et al. (2015) の摩擦実験と同様の σ の平均値 6.7 MPa、および総滑り量を 0.4 m とした数値計算を行った。初期の垂直応力不均質として、Hurst 指数 0 で 0.1 m の波長の振幅を平均値の 2.5% として数値計算を行った。摩擦係数は常温で 0.75、温度弱化の割合は $3 \times 10^{-4} / K$ とした。その結果、 $W = 1$ mm では $V = 0.1$ m/s でも動的弱化は発生せず、不均質の存在しない場合の一樣解とほぼ変化がなかった。 $W = 1$ cm では $V = 1.8 \times 10^{-2}$ m/s ($V/V_{cr} = 1.44$) 程度、 $W = 0.1$ m では $V = 7.9 \times 10^{-3}$ m/s ($V/V_{cr} = 6.43$) 程度で一樣解からの乖離（弱化）が認められたが、弱化が顕著になるにはより大きな V が必要となる。特に、弱化は部分的な摩擦面の開きが発生した辺りから目立つ様になった。部分的な開きは σ の不均質の振幅が σ の平均値と同程度になった事を示しており、不均質の振幅が重大となった事の現れと解釈する事ができる。ただし今回の数値計算では摩擦抵抗は σ に比例するので、 σ 不均質のみでは一樣解からの弱化を引き起こす事は出来ない。また線形温度弱化を仮定しているので、 T の不均質のみでは弱化の原因とならない。摩擦が温度弱化の性質を持つ場合、TEI によって引き起こされる σ と T 正の相関が、一樣解からの弱化の原因となる。本研究によって摩擦実験中に TEI が発生している事が強く示唆された。今後、摩擦実験中の温度分布や垂直応力の分布の測定等を通じた実証が重要な課題である。

Yielding and fracture of a complex fluid under accelerating shear

*Osamu KUWANO¹

1. JAMSTEC

火山噴火におけるマグマの流動・破碎やプレート境界地震におけるスロー地震・断層の高速破壊のように、物質の流動から固体的な破壊への遷移は、固体地球科学において重要かつ未解明の現象である。われわれは流動状態にある物質が変形速度の増加によって固体的に破壊する現象に注目し、粘弾性効果の観察しやすいソフトマター材料を使用した室内実験を実施した。実験試料にはひも状ミセル溶液と合成スメクタイト水分散液を使用した。回転式レオメーターを用いて、粘弾性測定の後、せん断歪み速度を一定の加速度(0.1, 1, 10, 100 s⁻²)で増加させる加速せん断試験を実施した。その結果、流動から破壊への遷移は、従来のひずみ速度による規準では説明できないことがわかった。むしろ、流体の脆性破壊と降伏は、固体のように降伏応力や降伏ひずみによって記述された。微小歪みでのレオロジー測定による弾性的挙動の確認は、流体が脆性的に破壊するという解釈に不十分である。

In-situ stress at the basement under Osaka plain (8) - In-situ stress measurement at NIED Kyoto observation well by DCDA method -

*Kentaro OMURA¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

絶対的にデータの少ない日本列島の原位置地殻応力、特に地表の地形の影響の少ない深さ500mを越える深部データをはばひろく取得することを目指し、掘削で採取された既存の岩石コアを用いた測定法による地殻応力測定を続けてきた。当測定では、Funato and Ito (2017, IJRMMS)で設計され、防災科研に整備された装置でコア形状を計測し、コア変形法（DCDA法, Diametrical Core Deformation Analysis法）を適用して応力値を推定した。コア変形法では、地下深部から採取された岩石コアが、応力解放により弾性変形(膨張)することから、その変形量を計測し、岩石の弾性定数と掛け合わせて応力値を推定する。先行研究により、1000mを超えるような深部岩石コアでは、採取後の弾性変形が大きく、コア変形法の適用できることが示されている。

これまで、防災科学技術研究所の大阪平野にある深層地殻活動観測井における一連の原位置地殻応力測定の結果を報告してきた。今回、大阪平野からははずれるが、隣り合う京都盆地にあたる、京都府の防災科研京都観測井(北緯35°00'34.0", 東経135°43'49.6", 掘削深度706.9m)を対象にした。深度40mまで礫質土からなる扇状地堆積物があり、そこから深度352mまでは第四紀大阪層群上部相当層となる堆積岩(含礫粘土, シルト, 礫層狭在シルト)がおおい、その下に中生代丹波層群となる基盤岩(砂岩泥岩互層)が分布している。そこで、深度700.8-9mで採取された基盤岩石コアを用いた。採取後、15年以上経過したものではあるが、外周にそって直径がおおよそサインカーブ状に変化し、岩石コア断面が応力開放にともない楕円状に弾性変形しているものと解釈した。岩石コアの弾性定数は、直接岩石コアの室内岩石試験による測定データ(ヤング率89.4GPa, ポアソン比0.21)とあわせて、同じ掘削井で実施されたPS検層による地盤のP波速度(4.82km/s), S波速度(2.77km/s)と、孔内密度検層による密度(2.71g/cm³)を用いて計算される弾性定数を適用することを試みることにした。

本測定例では、岩石コアの採取深度が500mを越える深部であったことから、コア変形法により有意な応力値が得られそうで、今後の議論に活用できるものと期待される。しかし、一方で、これまで、同じ方法を適用した他の観測井の岩石コアと同様に、コア採取から時間が経過しており、経年の影響も慎重に検討する必要があるだろう。

Room C | Regular session : S05. Geothermal science

📅 Mon. Oct 21, 2024 11:15 AM - 11:30 AM JST | Mon. Oct 21, 2024 2:15 AM - 2:30 AM UTC | 🏢 Room C
Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S05] AM-2

chairperson: Kentaro Omura(NIED), Hiroyuki NODA(Kyoto University, Disaster Prevention Research Institute)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S05-01] The first Seismic Exploration using the optical fiber DAS in the geothermal borehole at Kijiyama geothermal field in Akita, Japan

*Junzo KASAHARA^{1,2}, Yoko Hasada^{2,3}, Masaru Suzuki⁶, Tomohiro Takahashi⁶, Hitoshi Mikada^{4,2}, Hiroshi Ohnuma², Yoshihiro Fujise⁵ (1. Univ. Shizuoka, 2. ENAA, 3. Daiwa Exploration and Engineering, 4. Kyoto Univ., 5. WELMA, 6. TOUSEC)

The first Seismic Exploration using the optical fiber DAS in the geothermal borehole at Kijiyama geothermal field in Akita, Japan

*Junzo KASAHARA^{1,2}, Yoko Hasada^{2,3}, Masaru Suzuki⁶, Tomohiro Takahashi⁶, Hitoshi Mikada^{4,2}, Hiroshi Ohnuma², Yoshihiro Fujise⁵

1. Univ. Shizuoka, 2. ENAA, 3. Daiwa Exploration and Engineering, 4. Kyoto Univ., 5. WELMA, 6. TOUSEC

1. はじめに2018年からNEDOの研究開発の一環として、地熱域の地下構造を調べるとともに将来の地熱開発に最適な場所を示す目的で、光ファイバーをセンサーとする分布型振動計測(DAS: Distributed Acoustic Sensing) (Hartog, 2017)と分布型温度計測(Distributed Temperature Sensing)を用い国内5か所(メディポリス、大沼、森、澄川、滝上)の地熱発電所周辺において地熱構造調査を行ってきた。今回は、2022年8月~9月秋田県木地山地区において東北自然エネルギー(株)が所有する地熱坑井内に挿入した光ファイバーシステムを用いた地熱地域の物理探査を実施した。2. 木地山での調査の概要今回調査した木地山地区の地質と比抵抗坑内などの結果は佐藤他(2011)、岡部他(2012)にまとめられており、地表から深さ500 m程度までには砂岩・シルト・凝灰岩が分布し、その下にデイサイト質溶結凝灰岩があり、深さ1,000 mより深部には安山岩質火山礫凝灰岩が分布するとしている。本調査ではKJ-5地熱坑井を用い、光ファイバーを坑底に近い深さ2,000 mまで挿入した。坑内井の北側では12か所の震源による起震を行った。地表には地震計26台を設置した。KJ-5坑井に挿入された光ファイバーを用い温度と地震波振動をDTSおよびDASにより計測した。中型震源の波形を480回重み付きでスタックした。IVI社製MiniVibによってKJ-5の伸長方向に振動する水平加振も行いS波を発生させた。3. 得られた結果KJ-5坑内の温度プロファイルを求めた。坑底2,000 mでは288℃と高温であった。坑口の北側に位置する12か所震源に対するKJ-5坑内の光ファイバーによるDAS記録と地表地震計による地震波形記録を得た。坑口付近での起震(SP-2)のDAS記録と地質との対比しP波平均速度をもとめた。ここでのDAS波形には深さ1,000 m付近に V_p 走時の折れ曲がりがあり、これは地層境界と考えられる。皆瀬川層と泥湯層の境界とであろう。今回は水平加振機によるS波をDASによって記録した。1,200 mまでS波の到達がわかり、 V_p と V_s の比 V_p/V_s は約1.75と求まった。測線に沿ったKJ-5のDAS記録中のP波初動、および地上地震計のP波初動記録を用いA-A' 測線に沿った V_p の深さ分布をP波初動走時トモグラフィにより求めた。地表から深さ1.3 km付近までは V_p は3.5 km/s~4.0 km/sである。 V_p ~3.5 km/s層は北側で厚い。4. 議論とまとめKJ-5の坑底付近の温度は288℃であり、1,000 m付近で温度勾配の変化が見られた。その深さは坑口での起振に対するDAS記録中で V_p 速度勾配の変化する皆瀬川層と泥湯層の境界にも相当する。KJ-5の坑跡を含む断面A-A' に沿った V_p の深さ分布を求めた結果、北側は南側にくらべより遅い V_p (3 km/s程度)を持つ層が厚い。深さ1 km までの V_p の構造は地質構造と調和的であると考えられる。また東北自然エネルギー(株)の保有する坑内井内の地質構造ともほぼ調和的である。水平加振により求めたS波とP波による V_p/V_s を求めたところ約1.75であった。この値は通常の岩石の持つ V_p/V_s と同じであることから、1,200 mまでの深さではS波の水平振動方位に直交する断裂は著しくないと考えられる。謝辞本研究はNEDO「地熱発電導入拡大研究開発・超臨界地熱資源技術開発・光ファイバーDASによる超臨界地熱資源探査技術開発」(JPNP21001)として実施した。謝意を表す。また、本調査にご協力いただいた東北自然エネルギー(株)(株)WELMA、(株)阪神コンサルタンツに感謝する。