

Tue. Oct 31, 2023

Room D | Special session : S22. Earthquake swarms and M6.5 earthquake in/around the northeastern Noto Peninsula

9:30 AM - 10:40 AM JST | 12:30 AM - 1:40 AM UTC | Room D F204

[S22] AM-1

chairperson: Yoshihiro Hiramatsu, Takuya Nishimura

9:30 AM - 9:50 AM JST | 12:30 AM - 12:50 AM UTC

[S22-01] [Invited] Central Japan as a cold subduction zone and its implications for deep dehydration of subducted slab beneath the Noto peninsula*Hikaru Iwamori¹, Hitomi Nakamura² (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))

9:50 AM - 10:10 AM JST | 12:50 AM - 1:10 AM UTC

[S22-02] [Invited] Subsurface resistivity structure and its heterogeneity around the earthquake swarm region in the Northeastern Noto Peninsula*Ryokei YOSHIMURA¹, Yoshihiro Hiramatsu², Tada-nori Goto³, Takafumi Kasaya⁴, Rintaro Miyamachi¹, Jun Nakagawa¹, Nagi Yamashita³, Rei Amano³, Masato Fukata², Amane Sugii², Taisei Inui¹, Ken'ichi Yamazaki¹, Shintaro Komatsu¹, Takuya Iwahori¹, Masahiro Yoshikawa¹, Ayako Namigishi¹, Airi Nagaoka¹, Yasuto Tatsuyama¹, Akihiro Sawada², Ce Zhang², Mitsuteru Fukuoka², Yuya Jinde², Yuki Oshima², Momoka Kanazawa³ (1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Kanazawa University, 3. University of Hyogo, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

10:10 AM - 10:25 AM JST | 1:10 AM - 1:25 AM UTC

[S22-03] Immediate aftershocks following the 2023 M6.5 earthquake in the Noto Peninsula, central Japan: Implication of fault valve model*Aitaro KATO¹ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

10:25 AM - 10:40 AM JST | 1:25 AM - 1:40 AM UTC

[S22-04] Recent seismic activity in Noto region of Ishikawa Prefecture, including the M6.5 earthquake on May 5, 2023.*Kazuhiro IWAKIRI¹, Issei SUGANUMA¹, Masahiko NODA¹, Kazuki MIYAOKA¹, Minoru FUNAKOSHI¹, Kana AKIYAMA¹, Nobuyuki HIROTA¹, Shigeki AOKI¹ (1. Japan Meteorological Agency)

Room D | Special session : S22. Earthquake swarms and M6.5 earthquake in/around the northeastern Noto Peninsula

11:00 AM - 12:15 PM JST | 2:00 AM - 3:15 AM UTC | Room D F204

[S22] AM-2

chairperson: Kimuyuki Asano, Masatoshi Miyazawa

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

[S22-05] Temporal variations of the shear wave polarization anisotropy around the source area of the swarm earthquakes in the Noto peninsula

*Osamu MURAKAMI¹ (1. JAEA, Tono Geoscience Center)

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

[S22-06] Fault slip distribution due to Mw 6.2 Earthquake at Noto peninsula on 5 May 2023 based on InSAR analysis

*Yohei Kinoshita¹ (1. University of Tsukuba)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S22-07] Strong ground motion associated with seismic swarms at Noto Peninsula recorded by Distributed Acoustic Sensing (DAS) technique

*Masatoshi MIYAZAWA¹, Eiichiro ARAKI², Yoshiyuki TANAKA³ (1. Kyoto Univ., 2. JAMSTEC, 3. Univ. of Tokyo)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S22-08] Source rupture process of the M6.5 earthquake in the Noto Peninsula on May 5, 2023, estimated from strong motion records

*Kimiyuki ASANO¹, Tomotaka IWATA¹ (1. DPRI, Kyoto University)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[S22-09] Source Processes of the May 2023 Off Noto Peninsula Earthquake and These Strong Ground Motions

*Kazuhito HIKIMA¹, Tomiichi UETAKE¹ (1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. Tepco Research Institute)

Room D | Special session : S22. Earthquake swarms and M6.5 earthquake in/around the northeastern Noto Peninsula

1:30 PM - 2:45 PM JST | 4:30 AM - 5:45 AM UTC | Room D F204

[S22] PM-1

chairperson:Tomotaka Iwata, Michihiro Ohori

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[S22-10] Ground motion characteristics and underground velocity structure at K-NET Shoin station

*Tomotaka IWATA¹, Kimiyuki Asano¹, Takeshi Miyamoto² (1. Disaster Prevntion Research Institute, Kyoto University, 2. Graduate School of Science, Kyoto University)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[S22-11] Ground Motion Records of Temporary Observation Stations in Suzu City for the May 5, 2023 Noto Earthquake (M6.5)

*Michihiro OHORI¹, Haruhiko SUZUKI², Tomotaka IWATA³, Kimiyuki ASANO³, Osamu ISHITUKA², Akira MURATA⁴ (1. School of Environmental Science, University of Shiga Prefecture, 2. OYO Corporation, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 4. Institute of Science and Engineering, Kanazawa University)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[S22-12] Results of microtremor observation in the Shoin district, Suzu-shi, Ishikawa, Japan.

*Shoji Arata¹, Akira Murata², Michihiro Ohori³ (1. School of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, 2. Faculty of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, 3. School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[S22-13] Investigation of earthquake damage to regional wooden buildings due to the 2023 Noto earthquake

*Yusuke Kitagawa¹, Akira Murata¹, Hiromi Sato², Tatsuru Suda² (1. Kanazawa University, 2. Kanazawa Institute University)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[S22-14] Investigation of earthquake damage to regional wooden buildings due to the 2023 Noto earthquake

Part 3 Detailed structural investigation

*Takuma Chikatani¹, Hiromi Sato¹, Tatsuru Suda¹, Akira Murata² (1. Kanazawa Institute of Technology, 2. Kanazawa University)

Room D | Special session : S22. Earthquake swarms and M6.5 earthquake in/around the northeastern Noto Peninsula

🗓 Tue. Oct 31, 2023 9:30 AM - 10:40 AM JST | Tue. Oct 31, 2023 12:30 AM - 1:40 AM UTC | 🏠 Room D F204

[S22] AM-1

chairperson: Yoshihiro Hiramatsu, Takuya Nishimura

9:30 AM - 9:50 AM JST | 12:30 AM - 12:50 AM UTC

[S22-01] [Invited] Central Japan as a cold subduction zone and its implications for deep dehydration of subducted slab beneath the Noto peninsula

*Hikaru Iwamori¹, Hitomi Nakamura² (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))

9:50 AM - 10:10 AM JST | 12:50 AM - 1:10 AM UTC

[S22-02] [Invited] Subsurface resistivity structure and its heterogeneity around the earthquake swarm region in the Northeastern Noto Peninsula

*Ryokei YOSHIMURA¹, Yoshihiro Hiramatsu², Tada-nori Goto³, Takafumi Kasaya⁴, Rintaro Miyamachi¹, Jun Nakagawa¹, Nagi Yamashita³, Rei Amano³, Masato Fukata², Amane Sugii², Taisei Inui¹, Ken'ichi Yamazaki¹, Shintaro Komatsu¹, Takuya Iwahori¹, Masahiro Yoshikawa¹, Ayako Namigishi¹, Airi Nagaoka¹, Yasuto Tatsuyama¹, Akihiro Sawada², Ce Zhang², Mitsuteru Fukuoka², Yuya Jinde², Yuki Oshima², Momoka Kanazawa³ (1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Kanazawa University, 3. University of Hyogo, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

10:10 AM - 10:25 AM JST | 1:10 AM - 1:25 AM UTC

[S22-03] Immediate aftershocks following the 2023 M6.5 earthquake in the Noto Peninsula, central Japan: Implication of fault valve model

*Aitaro KATO¹ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

10:25 AM - 10:40 AM JST | 1:25 AM - 1:40 AM UTC

[S22-04] Recent seismic activity in Noto region of Ishikawa Prefecture, including the M6.5 earthquake on May 5, 2023.

*Kazuhiro IWAKIRI¹, Issei SUGANUMA¹, Masahiko NODA¹, Kazuki MIYAOKA¹, Minoru FUNAKOSHI¹, Kana AKIYAMA¹, Nobuyuki HIROTA¹, Shigeki AOKI¹ (1. Japan Meteorological Agency)

[Invited]Central Japan as a cold subduction zone and its implications for deep dehydration of subducted slab beneath the Noto peninsula

*Hikaru Iwamori¹, Hitomi Nakamura²

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

The Japan arcs consist of several arc segments accompanied by two subducting slabs (the Pacific and the Philippine Sea slabs), with different subduction materials/parameters and physicochemical conditions of the mantle wedge beneath the arc segments. The geochemistry of lava reflects these differences and conditions. Based on the five isotopic ratios ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) of 747 basaltic lavas over the Japan arcs (including Kuril, NE Japan, Central Japan, SW Japan, Ryukyu, Izu-Bonin arcs), five geochemical clusters have been identified using the whitened data-based k-means cluster analysis, a type of unsupervised machine learning approach (Iwamori and Nakamura, under review). The five clusters show geographical provenance, as well as correlations with the trace element concentrations and ratios. By combining the isotopic and trace element data, the mass balance and melting model provided constraints on the following points: the intrinsic composition of the mantle wedge, the amount and distribution of slab-derived fluid, degree of melting, and the depth extent of melting. Within this context, the Central Japan arc is characterized by a large amount of added fluid (>1 %) and a few percent of melting of spinel-garnet peridotite, suggesting a low potential temperature of the mantle wedge. Such a fluid-rich low-temperature condition was proposed also by the numerical simulation (Iwamori, 2000) and the petrological study (Nakamura and Iwamori, 2013), and indicates a significant deepening of dehydration of the subducting Pacific slab, compared to the other arc segments. This deepening of slab dehydration may explain the remarkable bend of the volcanic front around Asama Volcano and the volcanic zone towards the back-arc area below which the Pacific slab surface is deeper than 250 km. Such deep dehydration can supply a significant amount of fluid to the non-volcanic back-arc area such as the Noto peninsula, possibly causing the earthquake swarm and the crustal uplift in the peninsula since December 2020 (Iwamori and Nakamura, under review). The fluid flux calculated based on the numerical simulation (Iwamori, 2000) suggests that a fluid accumulation for 2000 to 3000 years accounts for the volume of crustal uplift since 2020 estimated by the geodetic study (Nishimura et al., 2022). When combined with the on-going regional compressional field that has lasted for at least 3 million years (Okamura, 2007), more than 100 m uplift is expected and could have contributed to formation of the Noto Peninsula itself.

Iwamori, H. (2000) Deep subduction of H₂O and deflection of volcanic chain towards back-arc near triple junction due to lower temperature. *Earth and Planetary Science Letters* 181, 41–46.

Iwamori, H., Nakamura, H. (under review) Bend of volcanic front around Asama Volcano and deep dehydration beneath the Noto peninsula: constraints from regional magma geochemistry. In: Aramaki, S., Takahashi, M., Takeo, M., Yasui, M., Aoki, Y. (eds), *Asama Volcano –Portrait of the most active and hazardous andesitic volcano near the Tokyo metropolitan area*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Nakamura, H., Iwamori, H. (2013) Generation of adakites in a cold subduction zone due to double subducting plates. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 165, 1107–1134.

Nishimura, T., Hiramatsu, Y., Ohta, Y. (2022) Earthquake swarms and crustal deformation in the Noto peninsula since around December 2020. *Earthquake J.* 74, 1-9 (in Japanese).

Okamura, N. (2007) The relationship between earthquakes and geological structures around the Noto peninsula. *AFRC News* (Active Fault Research Center News, Geological Survey of Japan, AIST), 66, 1-3 (in Japanese).

[Invited]Subsurface resistivity structure and its heterogeneity around the earthquake swarm region in the Northeastern Noto Peninsula

*Ryokei YOSHIMURA¹, Yoshihiro Hiramatsu², Tada-nori Goto³, Takafumi Kasaya⁴, Rintaro Miyamachi¹, Jun Nakagawa¹, Nagi Yamashita³, Rei Amano³, Masato Fukata², Amane Sugii², Taisei Inui¹, Ken'ichi Yamazaki¹, Shintaro Komatsu¹, Takuya Iwahori¹, Masahiro Yoshikawa¹, Ayako Namigishi¹, Airi Nagaoka¹, Yasuto Tatsuyama¹, Akihiro Sawada², Ce Zhang², Mitsuteru Fukuoka², Yuya Jinde², Yuki Oshima², Momoka Kanazawa³

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Kanazawa University, 3. University of Hyogo, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

石川県珠洲市付近では、2020年末より群発的地震活動と局所的な非定常地殻変動が継続している。この活動は、2018年6月頃に端を発生し、2021年9月16日にはM5.1（最大震度5弱）、2022年6月19日にはM5.4（最大震度6弱）、2023年5月5日にはM6.5（最大震度6強）の地震が発生しており、現在もその活動は収束を見せていない。

我々は電気物性の視点で、この群発活動がどのような場で発生しているのか、また、2007年能登半島地震の発生域と不均質性のスケールに違いがあるか否かを解明するために、地下比抵抗構造調査を実施している。2021年11月－12月および2022年3月－4月に取得した陸上計32か所、2022年11月－2023年2月に取得した陸上23か所、計55か所の広帯域電磁場データから推定された地下比抵抗構造では、一連の地震活動が開始した南側のクラスタの深部から現在最も活動が活発な北側のクラスタにかけて連続する低比抵抗領域が存在することが明らかになった。さらに、群発的地震活動はこの低比抵抗領域の外縁部に位置していることなどから、この活動への流体の関与を強く示唆する結果を得た。

本発表では、この地域で推定された地下比抵抗構造を詳報するとともに、2023年5月5日に発生したM6.5の地震のすべり域周辺の不均質性を紹介する。また、2022年9月－10月に実施した海域3か所、2023年8月から実施している海域2か所、2023年4月から実施している陸域2か所の補充観測データも考慮し、推定された構造の確度についても議論したい。

Immediate aftershocks following the 2023 M6.5 earthquake in the Noto Peninsula, central Japan: Implication of fault valve model

*Aitaro KATO¹

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

2023年5月5日14時42分に石川県能登地方の深さ約12 kmでマグニチュード(M)6.5の地震が発生した。この地震の発生後から18日間の連続地震波形データに対して、PhaseNet (Zhu and Beroza, 2019) を適用することでP波とS波の時系列データを作成し、グリッドサーチに基づいて地震イベントを認定 (Zhang et al., 2019) した。検出された地震に対して、波形相関法を用いて相対走時差データを抽出し、相対震源決定法 (Zhang and Thurber, 2003) を適用した。同様な解析を2022年6月19日に発生したM5.4の地震後の18日間の連続データにも実施することで、計7006個の地震の震源を再決定した。2023年M6.5の地震にともなう活発な地震活動は、東西約15 km、南北約15 kmの領域内で発生した。震源の深さ断面図を見ると、南東に約45度で傾斜する震源の並びが確認でき、発震機構解の一つの節面と調和しており、今回の地震は南東傾斜の断層面上で発生したことが分かる。21時58分に発生したM5.9の地震も同様に南東傾斜の断層面で発生したが、M6.5の断層面よりも少し深い場所で生じた。また、今回の震源断層の深部は、2022年M5.4の震源断層と一部重なっているものの、棲み分けており、2022年M5.4の断層とは別の断層が活動したものと考えられる。今回の活動域は、これまでの活動域と比べて北西側の海域、つまり浅部に広がった点が特徴である。M6.5の地震発生前後の連続波形データに対して、再決定震源を用いたテンプレートマッチング法を適用したところ、M6.5の地震発生直後の約15分間に、地震活動域が断層浅部へ徐々に拡大する様子を捉えた。Nishimura et al. (2023)により一連の群発地震活動には地殻流体の関与が指摘されており、M6.5の地震直後の地震活動域の拡大は、破壊後の断層面に沿う流体移動を示唆しているかもしれない (断層バルブモデル; Sibson, 2009)。

Recent seismic activity in Noto region of Ishikawa Prefecture, including the M6.5 earthquake on May 5, 2023.

*Kazuhiro IWAKIRI¹, Issei SUGANUMA¹, Masahiko NODA¹, Kazuki MIYAOKA¹, Minoru FUNAKOSHI¹, Kana AKIYAMA¹, Nobuyuki HIROTA¹, Shigeki AOKI¹

1. Japan Meteorological Agency

はじめに

石川県能登地方では、2018年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020年12月から2023年8月7日までに震度1以上を観測する地震が464回発生する等、活発な地震活動が長期間継続している。特に2023年5月5日に能登半島沖で発生したM6.5の地震（最大震度6強、10cm等の津波を観測）では大きな被害を生じた。本発表では、これらの一連の地震活動の時空間分布の詳細や地震活動モデルを用いた解析結果等を報告する。

方法・データ

地震活動の詳細把握にはDD法による再決定震源、発震機構を用い、また、M6.5の地震については強震波形を用いた震源インバージョン解析を行った。地震活動モデル解析では、定常ETAS解析による地震発生時系列の推定や、非定常ETAS解析（Kumazawa and Ogata, 2013）により推定した背景地震活動度 $\mu(t)$ 及び余震誘発強度 $K_0(t)$ と国土地理院GNSS観測データ（珠洲、能都）等との比較を行った。また、M6.5とその後の地震を本震－余震系列とみなして地震調査委員会（2016）に基づいた余震発生確率（震度5弱程度以上、3日間）を算出した。

結果・考察

1. 2018年から2023年5月5日M6.5発生前までの地震活動

当該期間における地震活動は、震央分布で見ると概ね4領域に分かれている（以下、各領域を東西南北で呼ぶ）。活動は、2018年頃から南領域の深さ13km付近で始まり、深さ8km付近まで徐々に浅くなった。その後、2020年11月末に、急に深さ15km付近へ主な活動域が移動して活動が活発化するとともに、 $\mu(t)$ が高くなり始め、地殻変動の隆起及び水平移動が始まった。

その後、2021年7月頃にかけて、西、北、東の各領域の深さ13km付近で順に活発化し、同年後半からM6.5発生までの地震回数は、ほぼ一定レートで推移した。また、これら3領域では2021年末頃まで徐々に1～2km程度浅部に拡大した。この浅部への拡大期である2021年初め頃から後半にかけては、 $\mu(t)$ が西、北、東領域の順に上昇し、珠洲の隆起が継続した。一方、南領域は、2021年10月頃に再び浅部へ急拡大した後、2022年2月頃以降は主に浅部で活動した。このように南領域の活動は、深さ方向の移動が大きく、時間的にも消長がある等断続的であり、他の3領域とは活動推移が異なる。

各領域内での震源分布は1枚の面上ではなく、主に南東傾斜の複数の線状や面状のクラスターから構成されている。発震機構は活動の全期間を通じて北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型が多く、各クラスターの南東傾斜の分布と調和的な節面を持つ。

ETAS解析の α 値は、南領域以外で1.0程度、南領域で0.2程度であり、地震調査委員会（2016）による主な本震－余震型の活動と比べると小さく、群発的な活動の傾向を示す。

2. 2023年5月5日M6.5発生後の地震活動

2023年5月5日にM6.5の地震が東領域の深さ12kmで発生した後は、東、北、南領域の活動は一時的に更に活発化した。特に東、北領域の活動は、M6.5発生前の南東傾斜の活動の浅部延長である沖合に拡大した。沖合には珠洲沖セグメントの活断層（産総研活断層データベースによる）の存在が指摘されているが、これら活動の浅部延長と活断層トレースの位置は一致していないように見える。震源インバージョン解析によると、M6.5の主なすべり域は東、北領域の浅部側に分布する。

M6.5発生後の日別の地震回数（M1.6以上）は、時間の経過とともに減少し、翌々月（7月）には概ね

M6.5発生前の状況に戻った。余震発生確率で見た場合、M6.5の発生後2週間経過時点では、M6.5発生前（2021年7月以降についてポアソン過程で計算）に比べて5倍程度あったが、翌月（6月）下旬には同程度に低下した。

非定常ETAS解析では、M6.5の発生に伴い、北、東領域では $K_0(t)$ の上昇は一時的であったものの、 $\mu(t)$ は高い状態が地震前後で継続している（2023年7月末時点）。今回の一連の活動について、地震調査委員会（2023）は、流体の移動が関与している可能性を指摘している。 $\mu(t)$ が流体による断層強度の弱化や回復等の過程を示すと考えれば、M6.5の大地震の後も $\mu(t)$ が高い状態であることは、M6.5の後の活動についても、引き続き流体が関与している可能性を示唆している。

謝辞

一元化震源（2022年10月7日からは能登半島における合同地震観測グループによるオンライン臨時観測点「よしが浦温泉」、「飯田小学校」のデータを追加）を使用しました。国土地理院より提供いただいたGNSS観測データを使用しました。熊澤貴雄博士より提供いただいた非定常ETAS解析プログラムを使用しました。記して感謝いたします。

Room D | Special session : S22. Earthquake swarms and M6.5 earthquake in/around the northeastern Noto Peninsula

📅 Tue. Oct 31, 2023 11:00 AM - 12:15 PM JST | Tue. Oct 31, 2023 2:00 AM - 3:15 AM UTC | 🏢 Room D F204

[S22] AM-2

chairperson: Kimuyuki Asano, Masatoshi Miyazawa

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

[S22-05] Temporal variations of the shear wave polarization anisotropy around the source area of the swarm earthquakes in the Noto peninsula

*Osamu MURAKAMI¹ (1. JAEA, Tono Geoscience Center)

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

[S22-06] Fault slip distribution due to Mw 6.2 Earthquake at Noto peninsula on 5 May 2023 based on InSAR analysis

*Yohei Kinoshita¹ (1. University of Tsukuba)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S22-07] Strong ground motion associated with seismic swarms at Noto Peninsula recorded by Distributed Acoustic Sensing (DAS) technique

*Masatoshi MIYAZAWA¹, Eiichiro ARAKI², Yoshiyuki TANAKA³ (1. Kyoto Univ., 2. JAMSTEC, 3. Univ. of Tokyo)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S22-08] Source rupture process of the M6.5 earthquake in the Noto Peninsula on May 5, 2023, estimated from strong motion records

*KimiYuki ASANO¹, Tomotaka IWATA¹ (1. DPRI, Kyoto University)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[S22-09] Source Processes of the May 2023 Off Noto Peninsula Earthquake and These Strong Ground Motions

*Kazuhito HIKIMA¹, Tomiichi UETAKE¹ (1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. Tepco Research Institute)

Temporal variations of the shear wave polarization anisotropy around the source area of the swarm earthquakes in the Noto peninsula

*Osamu MURAKAMI¹

1. JAEA, Tono Geoscience Center

2018年5月頃から、能登半島北東部において地震活動が増加傾向にあり、2020年12月以降、群発地震活動はさらに活発化し、群発地震活動は現在でも続いている（cf., Amezawa et al., 2023）。これまでに観測されてきた群発地震としては、1965年から数年にわたって長野県の松代で発生した松代群発地震がよく知られている。松代群発地震の際には、地下水の湧出や温泉井戸の自噴が観測され、群発地震活動には地殻流体が大きく影響することが示唆されていた。松代の群発地震活動に比べると、能登半島北東部で観測されている群発地震の震源の深さは深く、10km程度以上であるという深さの違いはあるものの、能登半島の群発地震においても地殻流体の挙動が大きく影響していることが想定される。地殻流体の流路の推定は、地質環境長期安定性評価の技術開発にも不可欠であることから、本研究では、地殻流体の流路の推定を最終的な目標としつつ、地殻流体の影響を評価するために、能登半島群発地震の震源域の常設地震観測点で観測された地震波形データを用いたS波スプリッティング解析を行った。本研究でのS波スプリッティング解析においては、2004年4月1日から2023年5月4日までに能登半島北東部で発生したMj1.0以上の地震を用いた。使用した観測点は、能登半島北東部に位置するHi-netとJMAによる高感度地震観測点である。解析には、Silver and Chan (1991)による共分散行列法をベースとしたSaiga et al. (2013)による半自動化された解析手法を用いた。その結果、能登半島北岸付近に位置する観測点N.SUZHでの速いS波の偏向方向は、おおよそ北東-南西方向が卓越している一方、能登半島北東部の東岸付近に位置する観測点SUZHでの速いS波の偏向方向は、北西-南東方向が卓越していた。能登半島での群発地震は、空間的に主に4つのクラスターから構成されていることを考慮し、これら2観測点で推定された速いS波の偏向方向についてクラスター別に分け、さらにNishimura et al. (2023)による期間分けにならない、いくつかの期間に分けることで、クラスター別期間別に速いS波の偏向方向を分類した。速いS波の偏向方向の時間変動を調べるために、観測点ごとクラスターごとに、期間別の速いS波の偏向方向の平均方向が等しいという帰無仮説を有意水準5%で棄却できるかどうかを、Tukeyの多重比較検定法により検定した。観測点N.SUZHについては、南部のクラスター（クラスターS）と北東部のクラスター（クラスターNE）では、どの期間の組み合わせについても帰無仮説は棄却されなかったが、北部のクラスター（クラスターN）では、一部の期間の組み合わせについて帰無仮説が棄却された。なお、西部のクラスター（クラスターW）については、S波スプリッティング解析の適用条件である入射角35未満を満たす波線経路がごくわずかしかなかったため、時間変動の検定は行えなかった。観測点SUZHについては、クラスターSとクラスターNEでは、どの期間の組み合わせについても帰無仮説は棄却されず、クラスターWとクラスターNについては、利用可能な波線経路の数が少なかったため時間変動の検定を行わなかった。一部のクラスターについてのみであるが、期間別の平均方向が等しいという帰無仮説が棄却されたということは、能登半島北東部の群発地震の活動期間中に、速いS波の偏向方向が時間的に変動していた可能性が示唆される。地殻流体が群発地震活動に影響しているとすれば、速いS波の偏向方向の時間変動は、地殻内における間隙流体圧の変動を表しているのかもしれない。謝辞: 本研究では、防災科学技術研究所 Hi-netならびに気象庁地震・津波検知網の地震波形データを使用させていただきました。また、本研究は、経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和5年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（JPJ007597）（地質環境長期安定性総合評価技術開発）」の成果の一部である。

Fault slip distribution due to Mw 6.2 Earthquake at Noto peninsula on 5 May 2023 based on InSAR analysis

*Yohei Kinoshita¹

1. University of Tsukuba

能登半島北東部において、2020年末頃より地震活動が活発化している。同時期からGNSSにより継続的な地殻変動も観測されており、地震活動活発化や地殻変動の原因およびその後の地震活動の推移について注目されている。このような状況の中、2023年5月5日に気象庁マグニチュード（M）6.5の地震が能登半島北東部の海岸線付近を震源として発生し、最大震度6強を記録した。この地震による地殻変動がGNSSおよびInSARにより検出されており、国土地理院の速報ではALOS-2によって珠洲市北部にて最大隆起約20cm、西向き変位が最大約10cm検出されている。本研究ではこれまでの地震活動活発化や継続的地殻変動とM6.5の地震との関係を明らかにすべく、InSAR解析を用いてM6.5の地震時に生じた断層すべりを推定したので、その結果について報告する。

InSAR解析において、本研究では継続的地殻変動に対してはSentinel-1データを、Mw6.2地震時の地殻変動に対してはALOS-2データを用いた。解析ソフトにはSentinel-1にはISCE ver.2、ALOS-2にはRINC ver.0.45を用いている。継続的地殻変動に対してはGNSSベースの中性大気補正を適用した後にLiCSBASによる時系列解析を行い、2.5次元解析によって準東西および準上下変位に変換した。M6.5地震に対してはGNSS精密軌道歴データが得られないことから大気補正手法を変更し、気象庁MSMモデルによる中性大気補正を適用、またALOS-2はL-band SARで電離層の影響が大きいことからSplit Spectrum Methodによる補正を適用している。Sentinel-1時系列解析により、2020年末から2023年4月頃にかけて、年間1~2cm/year程度の視線方向変位が能登半島北東部の陸域で検出された。2.5次元解析からは変位は主に隆起パターンを示しており、Bayesian Inversionによるモデリングの結果は、矩形断層のすべりや開口よりも球状圧力源の膨張の方がInSAR観測変位をよく説明できた。ALOS-2による地震時地殻変動の検出結果からは、国土地理院の報告と同様の変位を検出できている。なおInSARでは検出困難な変位の南北成分を検出すべくMultiple Aperture Interferometry解析も行なったものの、南北変位については有意なシグナルは検出できなかった。

M6.5地震による断層すべりモデリングにおいて、断層面の幾何情報については、2023/05/12公表の地震調査研究推進本部地震調査委員会の評価資料にある震源再決定分布を元に珠洲沖断層北部の伏在断層を仮定した。ALOS-2で得られた地殻変動分布を元に、Bayesian Inversionによるすべり分布推定を行なった。モデリングの結果、逆断層型で深さ約6kmに最大すべり量約144cmのすべりが推定された。すべりの大部分は深さ10km以浅に集中しており、地震波解析による震源の深さが約12kmであったことから、このM6.5地震は破壊開始後は浅部に向かって破壊が進行していたことが示唆される。今回InSARを用いて推定されたモーメントマグニチュードは6.38となり、気象庁の推定によるCMT解のMw6.2に対し大きい値となった。

本研究はJSPS科研費JP23K17482Aの助成を受けたものです。

Strong ground motion associated with seismic swarms at Noto Peninsula recorded by Distributed Acoustic Sensing (DAS) technique

*Masatoshi MIYAZAWA¹, Eiichiro ARAKI², Yoshiyuki TANAKA³

1. Kyoto Univ., 2. JAMSTEC, 3. Univ. of Tokyo

はじめに

能登半島北東部では2020年末頃から地震活動の活発化が始まり、2023年8月現在でも一連の群発地震活動が続いている。2022年6月19日にはM5.4地震（最大震度6弱）、2023年5月5日にはM6.5地震（最大震度6強）が発生するなど、被害をもたらす地震も起きている。このような活発な地震活動に伴う現象を詳細に調査する目的で、2023年1月から約2か月間、群発地震活動域の南西に位置する領域において、分布型音響センシング(Distributed Acoustic Sensing; DAS)技術によるひずみ測定を実施した（田中ほか, 2023）。DASでは光ファイバケーブル沿いに、ひずみ速度を計測することができる。ここで利用された光ファイバケーブルは、能登町から珠洲市にかけてのNTT西日本の保有する約28kmの地中・架空のケーブルであった。この観測中には数多くの地震が発生し、その地震動を地中区間は勿論のこと、架線区間であっても明瞭に捉える事に成功した。一方で、DAS測定において避けることのできないサイクルスキップの問題が顕著に現れ、大きな振幅値は振り切れてしまい、有感地震観測への対策が課題となった。このため2023年7月からサイクルスキップを回避し、群発地震活動を捉えるための観測実験を実施した。

観測の概要と結果

2023年7月12日に石川県能登町にあるNTT西日本の能都ビルに、ニューブレクス社製NBX-S4100を設置し、7週間の予定で測定を開始した。光ファイバケーブルは、能都ビルから珠洲市のNTT西日本珠洲までの約28kmの区間であり、光ケーブルのジオメトリは1月から3月にかけて実施したものと同一である。このうち、地中区間は光ケーブル始点からの約6kmと、終点までの約2kmである。他の約20kmの区間は架空である。前回（2023年1月～3月）の測定ではゲージ長5m、空間サンプリング5m、時間サンプリング500spsとしており、約 $30 \mu\epsilon/s$ 以上のひずみ速度でサイクルスキップが生じ、振り切れてしまっていた。有感地震をDASで振り切れず捉えるために、今回の測定では、ゲージ長40cm、空間サンプリング2mまたは5m、時間サンプリングを1000spsとする事で、原理的に約 $800 \mu\epsilon/s$ のひずみ速度まで測定できるものとした。チャンネル数は、空間サンプリングが2mの時は13,637、5mの時は5,682である。7月30日には深さ約10kmでM3.2地震が発生し、光ケーブルの終点から東に2km程の珠洲市正院町ではこの地震の最大震度となる3を記録した。震央距離が3km程度のDASによる終点近くの地中区間では、殆どのチャンネルで振幅が数 $100 \mu\epsilon/s$ を超えても振り切れずに地震波を記録することに成功した。この近傍の廃線トンネル（のと鉄道春日トンネル）ではトンネル壁面を光ファイバひずみ計で測定している（荒木ほか, 2023）が、DASによるひずみの振幅値はこれと比べても整合的であった。一方で、DAS測定では非線形性の強い波形も観測されていた。

謝辞

本研究はJSPS科研費JP21H05204, JP22H05306, JP22K19949, JP23K17482、および「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」の助成を受けた。

参考文献

- ・荒木 英一郎、宮澤 理稔、田中 愛幸、横引 貴史 (2023). 石川県珠洲市トンネル内の光ファイバ歪・地震計およびDAS観測記録の比較, STT42-P04, JpGU 2023.
- ・田中 愛幸、宮澤 理稔、荒木 英一郎 (2023). 光ファイバケーブルを用いた能登半島群発地震のDAS観測, STT42-01, JpGU 2023.

Source rupture process of the M6.5 earthquake in the Noto Peninsula on May 5, 2023, estimated from strong motion records

*Kimiya ASANO¹, Tomotaka IWATA¹

1. DPRI, Kyoto University

2020年12月以降、能登半島北東部で継続している群発地震活動では、2022年6月19日15時8分に M_{JMA} 5.4の地震が発生し、K-NET ISK002（珠洲市正院町）で震度6弱の強震動が観測され、珠洲市内では地震被害が報告されている（大堀・村田, 2023）。その約10.5ヶ月後の2023年5月5日14時42分に、一連の群発地震活動の中で最大規模（予稿執筆時点）である M_{JMA} 6.5の地震が深さ12.1 kmで発生した（以下、本地震）。

本研究では、本地震の震源過程を強震記録の波形インバージョンにより推定し、群発地震活動や地殻構造、既知の活断層との関係などを調査した。マルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン（Hartzell and Heaton, 1983）を用い、強震記録の速度波形（0.05～1 Hz）S波部分を解析した。各強震観測点のGreen関数は、全国一次地下構造モデル（Koketsu et al., 2012）から各観測点直下の構造を抽出し、観測点毎に一次元構造を仮定した上で、離散化波数法（Bouchon, 1981）と透過・反射係数行列（Kennett and Kerry, 1979）を用いて計算した。本地震に対しては、各機関から報告されているモーメントテンソル解から得られる断層面の走向、傾斜に差異がある。このため、走向4通り（43°、49°、55°、61°）、傾斜6通り

（35°、40°、45°、50°、55°、60°）の計24通りの断層形状を考え、最適な走向と傾斜の組み合わせを、第1タイムウィンドウフロント破壊伝播速度と平滑化のハイパーパラメータと同時にABIC最小規準で決定した。逆断層のメカニズム解から、すべり方向は、 $90^\circ \pm 45^\circ$ の範囲に拘束した。

解析の結果、最適な走向は49°、傾斜は40°と推定された。この傾斜は本地震以降の震源分布とも調和的である。5月5日14時42分の地震以前の群発地震活動は、主に深さ10～15 kmで発生していた。一方、本地震の主要なすべりは、破壊開始点の北西の深さ5～10 kmに求められた。それ以前に顕著な群発地震活動が生じていなかった深さにある断層を破壊しており、地震活動が新たな段階に移ったともいえる。2022年6月19日の M_{JMA} 5.4の地震の震源付近（深さ13.1 km）でのすべり量は小さい。また、2023年5月5日21時58分に発生した M_{JMA} 5.9の地震の震源（深さ13.7 km）は、14時42分の地震の断層面より約5 km深いので、同じ震源断層にはないと考えている。

日本海地震・津波調査プロジェクト（佐藤・他, 2022）では、海域での反射法地震探査結果等をもとに、珠洲沖セグメントに対応する震源断層の矩形モデル（NT5）が提案された。NT5断層の走向は52°、傾斜は60°である。本地震の震源断層は、NT5断層の西半部と地図上で重なり、走向が似ているものの、傾斜は整合していない。本研究で推定した断層面は、NT5断層よりも傾斜が低角のため、海底での珠洲沖セグメントのトレースよりも沖合まで広がっている。この傾向は2023年5月5日以降の地震分布とも整合している。これらの結果からは、本地震の震源断層の浅部延長は珠洲沖セグメントへ直接には繋がらず、本地震と既存の活構造との関係は現時点では不明である。

謝辞：国立研究開発法人防災科学技術研究所（K-NET、KiK-net、F-net）及び気象庁の強震波形記録を使用しました。関係者の皆様に記して感謝いたします。本研究は、科学研究費助成事業・特別研究促進費23K17482の一部として実施しています。

Source Processes of the May 2023 Off Noto Peninsula Earthquake and These Strong Ground Motions

*Kazuhito HIKIMA¹, Tomiichi UETAKE¹

1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. Tepco Research Institute

【はじめに】

2023年5月5日14時42分に石川県の能登半島沖でMj6.5の地震が発生した。この地震では最大震度6強の強震動を観測した。また、同日の21:58には同じ領域でMj5.9の地震(最大余震)が発生し、この地震でも最大震度5強を観測している。これらの地震の発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、地殻内で発生した地震である(気象庁、地震調査委員会,2023)。能登地方では2020年12月から活発な地震活動継続しており、5月の地震についても一連の地震活動との関連から注目される。

また、震源域の多くは海域にあるものの一部は陸域にかかっており、震源近傍での強震記録も取得されている。さらに、本震と最大余震では、地震規模の違いがあるにもかかわらず、短周期成分での地震動レベルが同程度である地点も見られ、震源での短周期地震動の生成を考える上でも興味深い。そこで、我々はこれらの地震の発生メカニズムや強震動生成要因を考えるために、近地強震波形を用いた震源過程解析を行った。

【震源過程解析】

解析の際の断層面の設定に当たっては、気象庁一元化震源による本震、余震の情報を参考にした。断層面の基準は本震、最大余震の一元化震源情報を用い、余震分布やF-netによるメカニズム解を参考にして仮の断層面を設定した上で予備的解析を行い、観測波形と合成波形との残差や得られたすべり分布などを考慮して面を設定した。暫定解として、本震は走向:51°、傾斜:55°の長さ15 km、幅14 kmの矩形断層とし、最大余震は走向:54°、傾斜:47°の長さ7 km、幅5 kmの矩形断層としている。なお、小断層サイズは1 km×1 kmとした。

震源域が能登半島北端の沖合にあるため、解析に用いる観測点として震源を取り囲むような配置を取ることが難しい。そのため、能登半島にあるKiK-net、K-NETの観測点をできるだけ多く解析に用いることとした。さらに、観測点配置も考慮して、富山県～新潟県南部の観測点も使用したが、震央距離が大きくまた平野部に位置する観測点も含まれるため、観測点の吟味が必要かもしれない。暫定解では16観測点の波形を使用している。

観測された加速度波形に、KiK-net観測点(地中記録)には0.05～0.8 Hz、K-NET観測点には0.05～0.5 Hzをフラットレベルとするバンドパスフィルタをかけた上で積分した速度波形を解析に用いた。また、試算として、0.3 Hz程度を境として、低周波数側の波形と高周波数側の波形に分離した上でそれらを同時にインバージョンに用いる解析も行った。この目的は、低周波数波形で震源の大局的なすべりを再現した上で、高周波数波形でより詳細な震源像が得られることを期待したものである。

Green関数の計算はKohketsu(1985)のreflectivity法により行った。計算に必要な1次元速度構造モデルは、JIVSM(Koketsu et al., 2012)による各観測点直下の層構成を初期モデルとした上で、震源域で発生した小地震の波形を用いてチューニングを行い使用した。

インバージョンはマルチタイムウィンドウ法(Yoshida et al., 1996; Hikima and Koketsu, 2005)により行った。Green関数のライズタイムは0.5 sとし、各小断層のタイムウィンドウは6ないし4個のライズタイムで表現した。

【解析結果】

暫定的な解析結果(Fig.1)では、本震、最大余震ともに南東に傾斜するほぼ並行する断層面となっている。本震の地震モーメントは 2.7×10^{18} Nm (Mw 6.2)、最大余震の地震モーメントは $M_0 = 3.9 \times 10^{17}$ Nm (Mw 5.7)と求まり、これらはF-netによる値とほぼ同じである。本震では、震源の北側浅部に最大すべり約1.4 mの大すべり域が求まった。最大余震は震源付近に約0.7 mの最大すべりが推定された。

波形記録を用いたインバージョンでは高周波数成分の生成に寄与する震源像を直接推定することは難しい

が、今回推定されたすべりの時空間分布を考慮して、本震・最大余震の強震動生成要因についても検討する予定である。

謝辞：本検討ではKiK-netおよびF-netメカニズム解，JMA一元化データを使用させて頂きました。

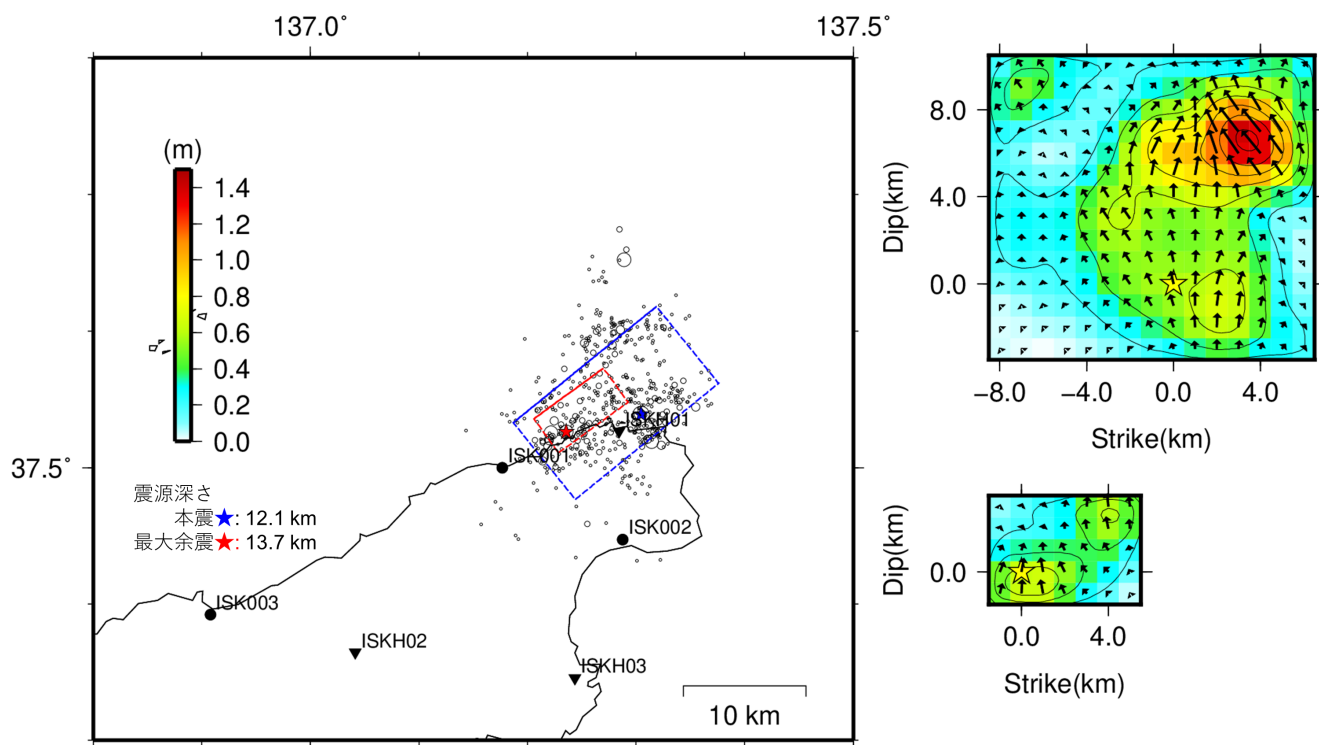


Fig.1 左：本震の断層面(青)と最大余震の断層面(赤)の地表投影図。○は本震後2週間以内のM2以上の震央(JMAによる)。右：断層上のすべり分布（右上：本震，右下：最大余震）

Room D | Special session : S22. Earthquake swarms and M6.5 earthquake in/around the northeastern Noto Peninsula

📅 Tue. Oct 31, 2023 1:30 PM - 2:45 PM JST | Tue. Oct 31, 2023 4:30 AM - 5:45 AM UTC | 🏠 Room D F204
[S22] PM-1

chairperson: Tomotaka Iwata, Michihiro Ohori

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[S22-10] Ground motion characteristics and underground velocity structure at K-NET Shoin station

*Tomotaka IWATA¹, Kimiyuki Asano¹, Takeshi Miyamoto² (1. Disaster Prevntion Research Institute, Kyoto University, 2. Graduate School of Science, Kyoto University)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[S22-11] Ground Motion Records of Temporary Observation Stations in Suzu City for the May 5, 2023 Noto Earthquake (M6.5)

*Michihiro OHORI¹, Haruhiko SUZUKI², Tomotaka IWATA³, Kimiyuki ASANO³, Osamu ISHITUKA², Akira MURATA⁴ (1. School of Environmental Science, University of Shiga Prefecture, 2. OYO Corporation, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 4. Institute of Science and Engineering, Kanazawa University)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[S22-12] Results of microtremor observation in the Shoin district, Suzu-shi, Ishikawa, Japan.

*Shoji Arata¹, Akira Murata², Michihiro Ohori³ (1. School of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, 2. Faculty of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, 3. School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[S22-13] Investigation of earthquake damage to regional wooden buildings due to the 2023 Noto earthquake

*Yusuke Kitagawa¹, Akira Murata¹, Hiromi Sato², Tatsuru Suda² (1. Kanazawa University, 2. Kanazawa Institute University)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[S22-14] Investigation of earthquake damage to regional wooden buildings due to the 2023 Noto earthquake

Part 3 Detailed structural investigation

*Takuma Chikatani¹, Hiromi Sato¹, Tatsuru Suda¹, Akira Murata² (1. Kanazawa Institute of Technology, 2. Kanazawa University)

Ground motion characteristics and underground velocity structure at K-NET Shoin station

*Tomotaka IWATA¹, Kimiyuki Asano¹, Takeshi Miyamoto²

1. Disaster Prevntion Research Institute, Kyoto University, 2. Graduate School of Science, Kyoto University

2020年末から活発な地震活動が継続している能登半島北東部において、K-NET正院観測点（ISK002）では、規模の大きい2022年6月19日M5.4、2023年5月5日M6.5の地震時にそれぞれ震度6弱、6強を観測し、特に後者においては、観測点周辺域で全壊家屋30棟などの建物被害が生じた。M5.4の地震時のK-NET正院の記録には周期約1秒の卓越が見られたため、先行研究（岩田・他、2022及び2023）では当該地域で微動アレイ探査を実施し、浅部地盤構造がこの地震動増幅に寄与したことを示した。ここではK-NET正院のM6.5の記録の解析を行い、浅部地盤構造や震源特性（例えば、浅野・他、2023）の影響を議論する。

珠洲市の平野部では1993年能登半島沖地震(M6.6)においても構造物被害が発生した。土質工学会・1993年地震災害調査委員会(1993)では、単点微動調査による地盤の卓越周期を評価し、沖積層厚（浅部地盤構造）との関係や被害との関係が議論された。岩田・他(2022, 2023)では、浅部地盤構造をより正確に知るため、K-NET正院において半径0.6m～約300mの複数アレイ観測を、臨時強震観測地点（大堀・村田、2023）やボーリング地点において工学的基盤面相当までの速度構造を得るための小アレイ観測を実施した。これらの結果や、ボーリングデータベースを参考にした対象地域の浅部地盤構造は以下のように特徴づけられた。

- 1) 珠洲市南部の人口が多い地域において、工学的基盤面相当は珪藻泥岩層で、そのS波速度は0.6km/s程度と見積もられる。基盤面深度は10mから数10mとまちまちである。工学的基盤面以浅は砂、シルト、泥層で構成されており、このS波速度も、場所によって違うため、結果的に浅部地盤の卓越周期にはバラツキがある。
- 2) 工学的基盤面のS波速度が速いことから、ここでの速度コントラストが大きめで、結果として、浅部地盤による卓越周期が増幅される特徴がある。
- 3) K-NET正院の観測記録にみられる1秒程度の卓越周期はこの浅部地盤による増幅の影響が大きい。

謝辞

防災科学技術研究所K-NETの波形データ（<https://www.doi.org/10.17598/NIED.0004>）を用いました。関係諸氏に感謝いたします。緒方無頭さんには微動アレイ観測で協力いただきました。記して感謝いたします。本研究は科学研究費補助金・特別研究促進費22K19949, 23K17482の一環として実施しました。

参考文献

- 浅野・他（2023）日本地震学会2023年秋季大会予稿集
岩田・他(2022) 日本地震学会2022年秋季大会予稿集 S16-04
岩田・他(2023) 京都大学防災研究所令和4年度研究発表講演会B309
大堀・村田(2023) 日本地球惑星科学連合2023年大会SSS09-07

Ground Motion Records of Temporary Observation Stations in Suzu City for the May 5, 2023 Noto Earthquake (M6.5)

*Michihiro OHORI¹, Haruhiko SUZUKI², Tomotaka IWATA³, Kimiyuki ASANO³, Osamu ISHITUKA², Akira MURATA⁴

1. School of Environmental Science, University of Shiga Prefecture, 2. OYO Corporation, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 4. Institute of Science and Engineering, Kanazawa University

1. はじめに

2023年5月5日14時42分に能登半島北東部でM6.5の地震（以降、本震）が発生し、K-NET正院（ISK002）では最大震度となる震度6強を記録した。さらに21時58分にはM5.9の地震（以降、余震）が発生し、ISK002では震度5強を記録した。これらの地震により、死者1名、重傷者2名、軽傷者42名の人的被害と、全壊18棟、半壊15棟、一部破損706棟の住家被害が生じた。このほか、鳥居・墓石・ブロック塀の転倒、斜面崩壊、水道管破裂、液状化による噴砂等も発生した。約1年前の2022年6月19日15時8分にも能登半島北東部でM5.4の地震が発生し、石川県珠洲市のISK002では震度6弱を記録した。昨年の地震では、犠牲者はなく重大な住家被害もなかったが、鳥居・墓石・ブロック塀等の転倒が注目された。本研究では、昨年の地震直後から実施している珠洲市内における臨時地震観測の概要と、本震および余震の地震動記録について報告する。

2. 臨時地震観測の概要および本震と余震の記録

筆者らは、昨年の地震の翌日に被害状況の概略調査を実施し、同年7月初めより墓石やブロック塀の被害が多数見られた正院地区を中心に臨時地震観測点を6点設置し、余震観測を実施している（大堀ほか、2023JPGU）。地震計はMcSEIS-AT(3ch)（応用地質製、以降、McSEIS）を用いた。6地点で同時観測できた地震は2023年3月末で10個（M3.5～M4.4）であった。記録を増やしたかったことと、地震活動が続いていたことから、4月以降も引き続き観測を継続したところ、5月5日に本震と余震が発生した。この時、臨時観測点は、ソーラーパネルとカーバッテリーを併用した2点（SNK, SIK）では欠測となったが、AC電源を利用した4点（KMN, KFK, NNE, KSG）では記録が得られた。ただし、本震では2点（KMN, KFK）、余震では3点（KMN, KFK, NNE）の水平成分の観測値に数サンプル（サンプリング周波数は100Hz）の飽和が見られた。飽和した観測値はスプライン関数を用いて補正することで、飽和が生じなかった際の記録をほぼ復元できたと考えている。なお、臨時観測点における本震の計測震度相当値は、KMNが5.77、KFKが5.68、NNEが5.61、KSGが5.65と算出され、ISK002の6.10に比べて小さい結果となった。余震の計測震度相当値は、KMNが5.38、KFKが5.56、NNEが5.49、KSGが5.29と算出され、ISK002の5.45とほぼ対応する結果となった。KMNはISK002から約18mの距離に位置し、参照用に設置した観測点である。両地点の計測震度は余震ではほぼ同等であったが、本震では0.33の違いが見られた。これは波形振幅（計測震度の算出過程における修正加速度）では約3割の違いに相当する。ISK002の加速度波形を積分した速度波形に対しても、KMNの速度波形は最大振幅で4割ほど小さい。KMNの波形振幅が小さい理由は、上述の記録が飽和した問題とは異なる地震計の特性によると推察される。

3. 記録の飽和に関する振動台実験

臨時観測点で得られた本震および余震の記録に飽和が見られたのは、McSEISのセンサー（速度計、固有周波数は約2Hz）からの電圧信号がロガーの電圧入力範囲 $\pm 2.5\text{V}$ を超えたために生じた。ここでは、McSEISの速度計とロガーのそれぞれの特性を把握するために振動台実験を行った。実験には、京都大学防災研究所の振動台（LING Dynamic Systems LTD製感震器校正装置）を用いた。振動台上に、McSEISの速度計とJEP-6A3（アカシ社製加速度計）を固定し、McSEISの速度計からの電圧信号をMcSEISのロガーおよびGL900-8（Graphtec社製、電圧入力範囲 $\pm 5.0\text{V}$ ）を用いて測定するとともに、加速度計からの電圧信号をGL900-8で測定した。加振条件は振動台の稼働域（両側振幅17.6mm）とMcSEISの飽和時の速度振幅（約12cm/s）を考慮し、10Hzの

正弦波加振とした。McSEISのロガーへの電圧入力の上限を少し上回るように両振幅約4mmを最大として与え、振幅を段階的に低減するように加振した。加振方向は水平方向と上下方向のそれぞれについて実施した。水平方向の加振時にはセンサーの向きを90度回転させることで、水平2方向の特性評価を行った。その結果、McSEISの速度計に関してはいずれの方向においても約 800cm/s^2 に相当する揺れに対して正常な動作を示すことがわかった。一方、McSEISの速度出力は、振幅が約 6cm/s を超えると感度が小さくなる傾向が認められ、水平動では約5%、上下動では約12%の低減していることがわかった。McSEISのロガーの特性について、今後、より低い周波数帯における検討を行い、本来の観測値の目安を示したいと考えている。

謝辞

本研究は科学研究費補助金・特別研究促進費22K19949, 23K17482（代表：金沢大学・平松良浩教授）の一環として実施しました。その他、科研費基盤研究（20K04663, 21K04585）の支援を頂きました。研究の一部は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の支援を頂きました。現地での観測では、珠洲市のみなさまより多大なご協力を頂きました。東京大学地震研究所三宅弘恵先生からは研究を進める上で多くのご助言とご支援を頂きました。記して感謝申し上げます。

Results of microtremor observation in the Shoin district, Suzu-shi, Ishikawa, Japan.

*Shoji Arata¹, Akira Murata², Michihiro Ohori³

1. School of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, 2. Faculty of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, 3. School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture

令和5年5月5日に発生した能登半島沖を震源とする地震では、石川県珠洲市で最大震度6強を観測した。この地震は、2020年ごろから活発になっている群発地震の一部であると考えられている。珠洲市においては、染井ら¹⁾は地震計の強震記録を用いた地震動特性の推定を行っており、岩田ら²⁾は特に建物被害の大きかった珠洲市正院地区において微動アレー観測による地震動特性の推定を行っている。地震動特性の推定にあたっては、強震記録によらず、常時微動のH/Vスペクトル比を用いる方法³⁾が提案されており、本調査では、正院地区を対象として、強震記録のない地点を含むより詳細な地震動特性の分布の把握のため、高密度な常時微動観測を行った。

本調査では、2023年8月8日から10日にわたって、**図1**に示す観測点120点において単点常時微動観測を行った。これらの観測点は100×100mメッシュ(標準地域メッシュの3次メッシュの1/10の大きさ)の中心近くに設定している。観測は、微動計JU410(白山工業株式会社製)を用いて、水平方向2成分(NS,EW成分)、鉛直方向1成分(UD成分)の計3成分の波形を測定した。サンプリング周波数は100Hzとし、40.96秒間のデータ5区間以上の平均から、H/Vスペクトル比を算出する。なお、水平成分のフーリエスペクトルはNS成分とEW成分の相乗平均を用いる。

算出したH/Vスペクトル比のピークを与える周期である卓越周期の分布の一例を**図2**に示す。**図2**は**図1**中の黒枠の範囲である。詳細な解析結果については発表時に報告する。

謝辞 本研究を実施するにあたり、科学研究費(23K17482(研究代表者:平松良浩(金沢大学教授))の研究助成を頂きました。また、常時微動観測調査にあたり、珠洲市の皆さまにご協力を頂きました。感謝いたします。観測にあたり東京大学地震研究所より微動計をお借りいたしました。三宅弘恵准教授(東京大学)、土井一生准教授(京都大学)、野口竜也准教授(鳥取大学)の各先生方に記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 染井一寛・浅野公之・岩田知孝・大堀道広・宮腰研, 北陸地方の強震観測点におけるサイト増幅特性とそれを用いた速度構造モデルの推定, 京都大学防災研究所研究発表講演会, B120, 2022.
- 2) 岩田知孝・浅野公之・宮本英・緒方夢顕, 2022年6月19日能登地方の地震(M5.4)時に震度6弱を記録したK-NET正院の地震動特性と地盤構造, 京都大学防災研究所研究発表講演会, B309, 2023.
- 3) 常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定, 鉄道総研報告, vol.4, pp.18-27, 1988.

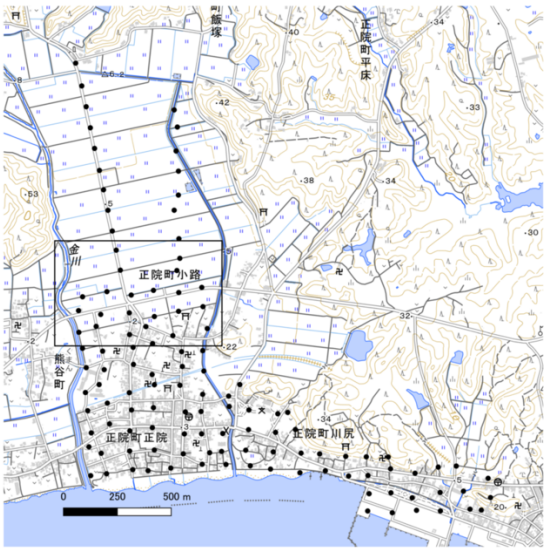


図1 観測地点

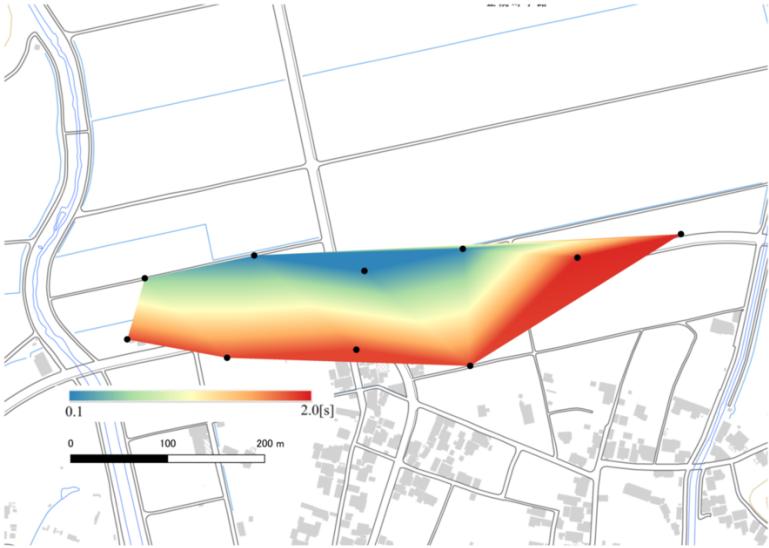


図2 卓越周期分布の一例

Investigation of earthquake damage to regional wooden buildings due to the 2023 Noto earthquake

*Yusuke Kitagawa¹, Akira Murata¹, Hiromi Sato², Tatsuru Suda²

1. Kanazawa University, 2. Kanazawa Institute University

令和5年5月5日に能登半島沖を震源とする地震($M_{jma}=6.5$)が発生した。この地震により石川県珠洲市で最大震度6強を観測し、建物被害が発生した。特に建物被害の大きかった珠洲市正院地区において、建物被害の全体的傾向や地区内での被害分布を把握するため、発災直後の5月15日から18日にわたって建物被害の外観悉皆調査を行った。

調査対象地区は、特に建物被害の大きかった珠洲市正院町正院、珠洲市正院町川尻、珠洲市正院町小路を選定する。調査は2~3名を1チームとして、建物概況(構造形式・用途・築年数・階数等)、被害程度について調査する。築年数については、築年数20年以内の建物を「新しい」、築年数20年から40年以内の建物を「古い」、築年数40年以上の建物を「非常に古い」の3つに分類し、被害程度については、6段階のダメージグレード(D0~D6)¹⁾で評価する。ダメージグレードについては、D0「無被害」、D1「軽微」、D2「小破」、D3「中破」、D4「大破」、D5・D6「倒壊」と分類する。

ダメージグレードの割合を図2に示す。なお、平屋建てにはダメージグレードD6が存在しないため、D5とD6をまとめて整理している。調査の結果、D5・D6が0%、D4以上が4%、D3以上が14%、D2以上が29%、D1以上が74%であり、7割を超える建物に被害が生じていることが明らかとなった。また、伝統木造と在来木造を比較すると、D1以上である被害発生割合にはほとんど差がみられないのに対して、伝統木造が在来木造に比べてD2以上の割合が大きいことが分かった。建物の用途の比較では、調査結果に大きな差は見られなかった。築年数の比較では、建築年代が新しいほど、D1以上の割合が小さく、D2・D3の割合も小さいことが分かった。

謝辞

本調査にあたり、珠洲市の住民の方々には被災直後にもかかわらずご協力をいただきました。富山大学大氏正嗣先生、金沢工業大学永野紳一郎先生、石川工業高等専門学校小川福嗣先生、富山大学白河勇人氏、金沢大学地震工学研究室学生諸氏には現地にて調査にご協力いただきました。記して感謝致します。

参考文献 1) 岡田成幸, 高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, No.524, pp.65-72, 1999.

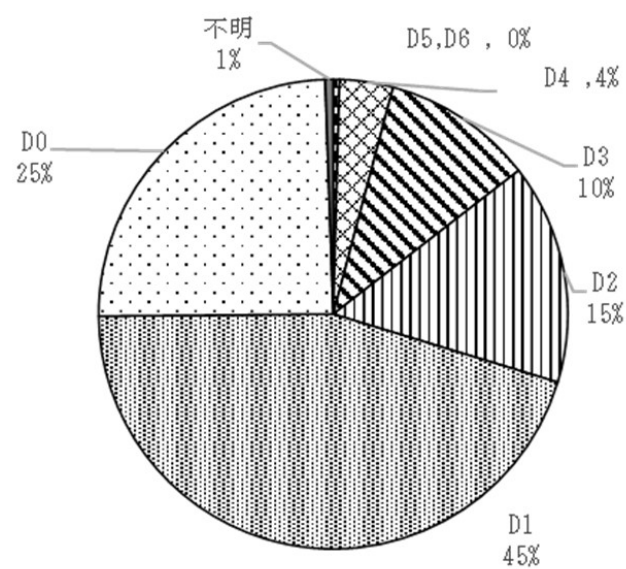


図2. 被害を受けた住宅のダメージグレードの割合

Investigation of earthquake damage to regional wooden buildings due to the 2023 Noto earthquake

Part 3 Detailed structural investigation

*Takuma Chikatani¹, Hiromi Sato¹, Tatsuru Suda¹, Akira Murata²

1. Kanazawa Institute of Technology, 2. Kanazawa University

2023年5月5日に石川県能登半島沖を震源として発生した地震において、被害が顕著であった珠洲市正院地区を中心に建築物の被害調査を実施した。その1、その2に引き続き、本報では寺院建築を対象に実施した構造詳細調査に基づいた被害状況を報告する。

調査期間は5月25日、5月31日～6月2日、6月16日、6月19日の6日間とし、調査は日本建築学会北陸支部災害部会で実施した。調査メンバーは金沢工業大学と金沢大学を中心に総計23人で構成した。調査方法は、対象地域の木造建物の被害および構造性能を把握するための構造詳細調査とし、正院町3件、三崎町1件、飯田町1件、宝立町1件の計6件の寺院本堂を対象とした。構造詳細調査では、建物内外部の被害部位・被害内容の把握、柱の残留変形の記録（2件のみ実施）、構造性能を把握するための実測調査等を行った。また、すでに修理を開始している物件もあったため、建物所有者より地震直後の被害の様子などをヒアリングした。被害調査の結果、倒壊・大破に至る甚大な被害は少なかったが、壁の崩落・剥離、柱脚のずれなどが多くみられた。また残留変形も大きく、柱の残留変形を計測した寺院では1/30 rad.を超える変形も確認された。実測調査の結果より概算した耐震性能では、ベースシア係数0.2以下のケースもあり、倒壊は免れたものの耐震性能が不足している事例が確認された^{1),2)}。

謝辞 本調査にあたり、建物所有者の皆さまには被災直後にも関わらずご協力いただき感謝申し上げます。関西大学西川英佑先生、東京大学藤田研究室OB西濱惇矢氏、中島裕貴氏、公益財団法人文化財建造物保存技術協会津和佑子氏、金沢大学北川裕喬氏、金沢工業大学荒川拓磨氏、澤田悠斗氏、金沢工業大学佐藤研究室学生諸氏には調査にご協力いただきました。ここに謝意を示します。

参考文献

- 1) 伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル 限界耐力計算による耐震設計・耐震補強設計法、木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会、2004年
- 2) 伝統的構法のための木造耐震設計法 石場建てを含む木造建築物の耐震設計・耐震補強マニュアル、伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会、2019年