

B会場 | 一般セッション：S09. 地震活動とその物理

■ 2019年9月16日(月) 14:45 ~ 15:45 | ㊦ B会場 国際科学イノベーション棟シンポジウムホール  
[S09]PM-2

座長:松原 誠(防災科学技術研究所)、小菅 正裕(弘前大学)

14:45 ~ 15:00

[S09-10] 東海地域における小繰り返し地震活動

\*松原 誠<sup>1</sup>、佐藤 比呂志<sup>2</sup> (1. 防災科学技術研究所、2. 東京大学地震研究所)

---

15:00 ~ 15:15

[S09-11] 日本全国の火山地域で発生する深部低周波地震の空間分布とその活動

\*栗原 亮<sup>1</sup>、小原 一成<sup>1</sup>、竹尾 明子<sup>1</sup>、田中 優作<sup>1</sup> (1. 東京大学地震研究所)

---

15:15 ~ 15:30

[S09-12] 2008年岩手・宮城内陸地震の低周波余震の再検討

\*小菅 正裕<sup>1</sup> (1. 弘前大学理工学研究科)

---

15:30 ~ 15:45

[S09-13] 奥会津地熱地域での涵養注水終了後に生じた微小地震群の移動とそれに続く非地震性の断熱膨張

\*岡本 京祐<sup>1</sup>、易 利<sup>2</sup>、浅沼 宏<sup>1</sup>、岡部 高志<sup>3</sup>、阿部 泰行<sup>4</sup>、都築 雅年<sup>5</sup> (1. 産業技術総合研究所、2. 大阪大学、3. 地熱技術開発、4. 奥会津地熱、5. 石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

## 東海地域における小繰り返し地震活動

### Small repeating earthquake beneath the Tokai region

\*松原 誠<sup>1</sup>、佐藤 比呂志<sup>2</sup>

\*Makoto Matsubara<sup>1</sup>, Hiroshi Sato<sup>2</sup>

1. 防災科学技術研究所、2. 東京大学地震研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

#### 1. はじめに

西南日本では、フィリピン海プレートは南海トラフからユーラシアプレートの下に沈み込んでいる。このプレート境界では、巨大地震がこれまでも繰り返し発生しており、今後の発生も予測されている。東海地域と駿河トラフは、この巨大地震発生域の東端に位置する。これまでも、小固着域（アスペリティ）での小繰り返し地震からプレート境界でのすべり量が推定されてきた（例えばNadeau and Johnson, 1998; Igarashi et al., 2003, Uchida et al., 2003; Matsubara et al., 2005）。防災科学技術研究所（防災科研）は太平洋プレートやフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込むこの地域において1979～2003年に関東東海観測網（KT-net）を2000年以降は高感度地震観測網（Hi-net）を運用してきた。駿河トラフからのプレート境界におけるすべり量を推定するため、富士川河口断層帯周辺の東海地域において、小繰り返し地震を解析した。

#### 2. データ・手法

東経137～139°、北緯34～36°の地域において防災科研のKT-netやHi-netにより1979年8月～2017年12月までマグニチュード（M）1.5以上の地震が152,333個の地震が検出された。ある地震に対して周囲0.1°（約10km）以内の地震の波形を相互相関係数の計算対象とした。防災科研Hi-netの観測点における上下動成分の1～8 Hzのバンドパスフィルターを適用した波形について、P波の到達の1秒前からS波の到達の5秒後までもしくは、S波の読み取りが無い場合はP波の到達の1秒前から40秒間の波形について相関係数を計算した。陸域に囲まれた領域も含めて、震央距離100 km以内の3観測点以上で0.95以上の相関係数を持つ波形が観測された地震の組み合わせを相似地震として抽出した（Matsubara et al. 2005）。

#### 3. 結果

3,525個の地震からなる1,072グループの小繰り返し地震の組み合わせが得られた。その中から2年以上継続している小繰り返し地震は3,489個の地震からなる1,059グループであった。深さ15～25 kmのフィリピン海プレート上面境界で発生していると考えられる低角逆断層型の小繰り返し地震は藤枝市付近や森町付近および山梨県南部で発生していた。このうち、森町付近の発震機構解はトラフから離れているが深さ17 km付近でありプレート境界とした場合の沈み込む方向が西南西の低角逆断層であることから、この小繰り返し地震はプレート境界ではなく内陸の微小地震と考えられる。

#### 4. 議論

プレート境界付近で発生している小繰り返し地震について、Nadeau and Johnson (1997) の関係式を用いてマグニチュードからすべり速度を推定した。それぞれ藤枝市付近では0.2 cm/年、山梨県南部では1.4 cm/年であった。Seno (1993) によればこの領域のすべり速度は4.0 cm/年であるが、小繰り返し地震から推定されるすべり速度は大幅に下回っていることが分かった。

Igarashi, T., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, 2003, Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, 108(B5), 2249, doi:10.1029/2002JB001920.

Matsubara, M., Y. Yagi and K. Obara, 2005, Plate boundary slip associated with the 2003 Off-Tokachi earthquake based on small repeating earthquake data, *Geophysical Research Letters*, 32, L08316, doi:10.1029/2004GL022310.

Nadeau, R. M., and L. R. Johnson, 1998, Seismological studies at Parkfield VI: Moment release rates and estimates of source parameters for small repeating earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 790-814.

Seno, T., 1993, A Model for the motion of the Philippine Sea plate consistent with NUVEL-1 and geological data, *J. Geophys. Res.*, 98, 17,941-17,948.

Uchida, N., T. Matsuzawa, T. Igarashi, and A. Hasegawa, 2003, Interplate quasi-static slip off Sanriku, NE Japan, estimated from repeating earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 30(15), 1801, doi:10.1029/2003GL017452.

# 日本全国の火山地域で発生する深部低周波地震の空間分布とその活動

## Spatio-temporal distributions and activities of deep low-frequency earthquakes in volcanic regions all over Japan

\*栗原 亮<sup>1</sup>、小原 一成<sup>1</sup>、竹尾 明子<sup>1</sup>、田中 優作<sup>1</sup>

\*Ryo Kurihara<sup>1</sup>, Kazushige Obara<sup>1</sup>, Akiko Takeo<sup>1</sup>, Yusaku Tanaka<sup>1</sup>

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

火山性の深部低周波地震は、同規模の通常の地震に比べて卓越周波数が低いという特徴を有し、気象庁のカタログによると主に火山地域の深さ10–50 kmで発生する。その多くは震源深さ分布の中央値が約20–30 kmになる(小菅・他, 2017) ため、モホ面との関係が指摘されている。しかし、岩手山では深さ10 km付近と35 km付近での2つの深さで集中して発生している(Nakamichi et al., 2003) など、深さ分布には火山毎に違いがある。地下の地震波速度との比較研究では、低速度域の内部またはその周辺に深部低周波地震の震源が分布することから、火山性流体の移動が深部低周波地震の発生に関与していると考えられている(e.g. Hasegawa et al., 2005)。本研究では、深部低周波地震の深さ分布をより正確に求め、その発生メカニズムに関わる構造を把握するためにNetwork Correlation Coefficient法(Ohta and Ide, 2011) による震源の再決定を行った。また、気象庁のカタログ中の深部低周波地震をテンプレートとして、マッチドフィルタ法(Gibbons and Ringdal, 2006) を用いて連続データから2004年4月から2018年12月の期間で深部低周波地震の検出を行い、全国52地域を対象に防災科研Hi-netの観測点を使用してカタログを作成した。カタログの完成後には、波形相関や各テンプレートにマッチした深部低周波地震の時間集中度を用いて、カタログ中の深部低周波地震の分類を行った。

震源再決定の結果、深部低周波地震の震源は今まで広範囲に分布していた地域でも狭く限られた範囲に集中し、また、ほとんどの地域において複数の点状の小さな震源域に分かれることがわかった。山形県肘折では鉛直方向に約5 km間隔で4つの点状の震源に分かれる。また、この震源の違いは深部低周波地震の波形相関等による分類の結果とほぼ対応する。そのため、深部低周波地震の震源は孤立的に複数存在し、一箇所の震源では同じようなメカニズムの深部低周波地震が繰り返し発生していると考えられる。

次に、波形相関によって分類されたグループ毎に深部低周波地震の活動の時間変化を作成したカタログを用いて解析した。その結果、深部低周波地震の活動は同一地域内でもグループ毎に大きく異なることがわかった。肘折では深部低周波地震が解析期間中に概ね定常的なレートで発生するグループと、群発的な活動が数年単位で発生するグループが存在する。雌阿寒岳や霧島山、桜島では定常的に発生する深部低周波地震の他に、地殻変動(国土地理院, 2019) や噴火活動と対応の良いグループの深部低周波地震も発見された。この結果は、地表火山へのマグマ供給に伴う地下深部の流体が深部低周波地震の震源域の一部のみを通過するような流路で上昇してきていることを示唆する。

# 2008年岩手・宮城内陸地震の低周波余震の再検討

## Low-frequency aftershocks of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake revisited

\*小菅 正裕<sup>1</sup>

\*Masahiro Kosuga<sup>1</sup>

1. 弘前大学理工学研究科

1. Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University

### はじめに

東北日本の地殻深部及びマントル最上部では低周波地震が発生しているが、最近の高密度地震観測により、地殻浅部においても低周波地震が発生していることが明らかになってきた〔野口・他(2018), 小菅・他(2019)〕。地殻浅部低周波地震の発生メカニズムの解明は、同じ深さ範囲で発生する通常の地震の発生メカニズムの解明と不可分であることから、地殻浅部低周波地震の発生状況を知ることは重要である。一方、内陸地殻内で発生した2008年岩手・宮城内陸地震の余震中に低周波地震が含まれていることが報告されている〔防災科学技術研究所(2009), 気象庁・気象研(2009)〕。小菅・他(2010)はその系統的な調査を実施したが、今回はFrequency Index (以下, FI値と称する)を用いて低周波地震の検出と震源の時空間分布についての再検討を行なったので、その結果を報告する。

### 方法とデータ

FI値は、高周波帯域と低周波帯域のスペクトル振幅比の常用対数として定義され、低周波が卓越すると絶対値の大きい負の値を取る。今回の解析にはS波を用い、高周波帯域は10-20 Hz, 低周波帯域は2-4 Hzとした。観測波形と検測値は、2008年岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループによるものを用いた。なお、特定の周波数が卓越したり高周波のノイズが多い観測点は除き、S波とノイズのスペクトル振幅比がしきい値を下回る場合にはFI値を求めていない。

### FI値の分布とその要因

FI値のヒストグラムは、モードが-0.2程度の正規分布に近い形を示すが、マイナス側のテールが長く、これが低周波の余震を表している。FI値は低周波の度合いを連続量で表現できることが利点である。FI値とマグニチュードの間には弱い負の相関があるが、余震の大部分を占めるマグニチュード2.5未満の地震では依存性が弱い。

マグニチュード2.5未満の地震についてFI値の空間分布を見ると、低周波の余震は空間的にまとまった分布を示すことがわかる。それらは、(1) 本震の震源とその北西部、(2) 余震域の北東端、(3) 北側余震域から西側に離れた小クラスター、(4) 栗駒山の南5~10 kmの領域、および(5) 余震域南端部（鳴子火山の北北東）である。これらは、実体波とコーダ波の卓越周波数を用いて低周波地震を検出した小菅・他(2010)の結果と概ね調和的であるが、(1)(4)についてはより明瞭な分布を得た。

低周波地震発生域の中で、(4)(5)はカルデラ領域とよく対応する。これらの領域では相対的高温領域で低応力降下量の地震が発生していると解釈できる。一方、低周波地震は余震域北側にも広く分布する。これらの領域では高周波の余震と隣接しながら棲み分けて分布する。この棲み分けは温度・圧力の空間分布からでは説明することはできない。(1)と(2)の領域は本震の震源域と余効すべり域に対応することから、流体の寄与による低応力降下の断層すべりを反映したものかもしれない。今後は、他の観測結果との比較検討を進め、低周波余震

の発生メカニズムの解明を進めたい。

謝辞：本研究では、2008年岩手・宮城内陸地震合同余震観測および防災科学技術研究所Hi-netの観測波形を使用しました。

## 奥会津地熱地域での涵養注水終了後に生じた微小地震群の移動とそれに続く非地震性の断熱膨張

### Migration of microseismicity and subsequent aseismic adiabatic expansion after the termination of injection in Okuaizu Geothermal Field

\*岡本 京祐<sup>1</sup>、易 利<sup>2</sup>、浅沼 宏<sup>1</sup>、岡部 高志<sup>3</sup>、阿部 泰行<sup>4</sup>、都築 雅年<sup>5</sup>

\*Kyosuke Okamoto<sup>1</sup>, Li Yi<sup>2</sup>, Hiroshi Asanuma<sup>1</sup>, Takashi Okabe<sup>3</sup>, Yasuyuki Abe<sup>4</sup>, Masatoshi Tsuzuki<sup>5</sup>

1. 産業技術総合研究所、2. 大阪大学、3. 地熱技術開発、4. 奥会津地熱、5. 石油天然ガス・金属鉱物資源機構  
1. AIST, 2. Osaka University, 3. GERD, 4. OAG, 5. JOGMEC

奥会津地熱地域では蒸気生産量の安定化を図るために、2015年度に涵養注水試験が行われた（1回目：2015年6月-8月、2回目：11月-12月）。本涵養注水の際に、当該地域に設置した9点（地表5点、坑内4点）の微小地震計で観測された微小地震記録を利用して、「涵養注水前」、「第一回涵養注水中」、「第一回涵養注水後」、「第二回涵養注水前」、「第二回涵養注水後」の期間に分けて、流体挙動把握を試みたので報告する。

微小地震のイベント決定に際して、1,000Hzサンプリングで収録されたデータに対して、P波、S波の目視読み取りを行った。更に、決定された微小地震群に対して、波形相関を利用した震源クラスタ解析を適用することで、より高分解能な微小地震分布を求めた。更に、蒸気が卓越している地熱貯留層岩石孔隙内が、涵養注水に伴い液相で置換され弾性波速度が急変し得ることに着目し、散乱波解析によりその推定を試みた。本解析により、涵養水の到達・未到達を時空間で判断することを目指す。以上の解析を通して、以下のことを明らかとした。

- ・涵養注水中に一定して表れる微小地震群（Mqs1, Mqs2）を特定した。これらが涵養水の流動方向を示している可能性を明らかとした。
- ・第一回涵養注水後に新たに生じる微小地震群(Mqs3)を特定した。この微小地震群は間隙圧力の伝播によって生じている可能性を明らかとした。
- ・第二回涵養注水後には、新たな微小地震群は発生しないことを特定した。同時に、涵養井周辺とMqs3により生成された領域間で、断熱膨張と水の凝縮の繰り返しが生じている可能性を見出した。

以上のことより、高分解能な微小地震観測を行うことで、涵養注水に伴う地下流動を予測できることが分かった。

本研究はJOGMECの地熱発電技術に関する委託研究「地熱貯留層評価・管理技術」の一環として行われた。ここに記して感謝の意を表します。