

気象庁地震カタログ改善後の処理状況

Processing Situation after improvement of JMA's earthquake catalog

*高濱 聡¹、廣田 伸之¹、山田 尚幸¹、鎌谷 紀子¹、橋本 徹夫¹

*Satoshi Takahama¹, Nobuyuki Hirota¹, Naoyuki Yamada¹, Noriko Kamaya¹, Tetsuo Hashimoto¹

1. 気象庁

1. Japan Meteorological Agency

気象庁は、地震調査研究推進本部の施策に基づき、全国の高感度地震計のデータを収集して震源決定等の処理を一元的に行い、その結果を地震カタログとして公表している。気象庁は平成28年4月1日（日本標準時）に、地震カタログの改善を行った。主な改善は、PF法（溜淵・他、2016）による自動震源決定手法を活用し、震源決定作業の効率化を図り、かつ検知力を上げたことである。

具体的な改善内容は以下のとおりである。領域と深さごとに精査検測（職員が地震波形を精査し震源決定）を行う地震のMの閾値（以下、Mthと記す）を設定し、Mth以上の地震については、改善前と同様、精査検測を行い、Mth未満の地震についてはPF法による自動震源の採用を基本とする。検知されても自動震源が求まらない地震については、精査検測は行わず、職員により最大10点程度の観測点を検測するという簡易な手順により震源決定を行う（以下、簡易検測と記す）。精査検測する震源の目安（Mth）は、内陸の浅い地震はM2以上とし、海域については陸域（観測網）からの距離に応じてMを上げ、最大でM4以上としている。また、自動震源決定手法を活用するように震源決定処理方法を変更したことに伴い、自動震源と手作業による震源の区別や震源決定精度を地震カタログ上で明示する登録フラグを新たに設けた。

平成28年4月1日より本手法を気象庁システムに導入し、新たな震源決定業務の運用を開始した。本手法導入後、震源決定総数は従来の約2倍となり、そのうち自動震源が約6割を占めている。本手法導入後に発生した熊本地震等の顕著な地震の発生時には、地震発生直後から自動震源を活用することにより、防災対応に資する気象庁報道発表資料の充実を図ることができた他、地震調査委員会での地震の評価等に大きく寄与することができている。

今回は、新たな地震カタログの処理状況について、平成28年（2016年）熊本地震を含む主な地震活動の処理の現状を含めて説明する。

キーワード：地震カタログ

Keywords: Earthquake Catalog

2011年東北地方太平洋沖地震震源域における地震後応力場の時間変化 Temporal change of stress field in forearc region after the 2011 Tohoku-Oki earthquake

*西森 智也¹、吉田 圭佑¹、日野 亮太¹、浅野 陽一²

*Tomoya Nishimori¹, Keisuke Yoshida¹, Ryota Hino¹, Youichi Asano²

1. 東北大学、2. 防災科学技術研究所

1. Tohoku University, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2011年東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）時には、その震源域周辺で応力場が大きく変化し、震源では蓄積されていたせん断応力がほとんどすべて解放されたことが、主応力軸とプレート境界がなす角度の変化を基に推定されている（Hardebeck, 2012; Hasegawa et al. 2011）。更に、Hardebeck (2012) は、地震発生後の0.1年間に主応力軸が地震前の方向に戻ったことを示し、地震時にほとんどすべてのせん断応力が解放されたために、地震後短期間のプレート間固着によるわずかなひずみの再蓄積によってでも、主軸方向が回復されると解釈している。

本研究では、Hardebeck (2012)と同様に、青森県沖から千葉県沖までの日本海溝陸側斜面域を対象として、東北沖地震後の応力軸の方向の時間変化を再解析することにより、Hardebeck (2012)が行った解析の追試を行った。その際、解析領域の中で応力状態が空間的に一様でない可能性も考慮して、全領域を一括した解析の他、東北沖地震の地震時すべり（Yagi and Fukahata, 2011）が大きかった範囲とその外側範囲とに分けた解析も行った。

まず、全領域を一括して、発生した地震の発震機構解に応力テンソル・インバージョン法(Hardebeck and Michael, 2006)を適用した場合には、Hardebeck (2012)が示したのと同様な東北沖地震後の応力軸の回転する結果が得られた。しかしながら、解析範囲を地震時すべりが大きかった範囲とその外側範囲の2領域に分けてみると、それぞれの領域で東北沖地震の発生後に卓越する発震機構解は大きく異なる傾向がみえる。地震時応力変化が大きかったと期待される地震時すべりが大きかった領域内では、正断層型地震の活動が極めて活発であるのに対して、その周辺領域では逆断層型地震が多く発生しており、応力状態に空間的な違いがあることが示唆される。そこで、それぞれの領域を対象として応力解析をした結果、地震時すべりが大きかった地域における応力軸は、地震時に大きく回転した後、約5年間で緩やかに地震前の方向に向かって変化するが、Hardebeck (2012)が主張するように東北沖地震前の状態にまで戻ってはいない。一方で、周辺地域では、地震時の応力軸の回転は小さく、地震後の変化も非常に小さい。このように東北沖地震のすべり範囲を考慮した再解析を行った結果、Hardebeck (2012)が得た結果には、応力場の空間不均質を無視したことに起因する見かけの時間変化があらわれてしまっている可能性がある。

2011年東北沖地震前後での地震モーメント解放量の時空間変動 Spatial and temporal variations of seismic moment release before and after the 2011 Tohoku-Oki earthquake

*蓬田 清¹、片桐 宙平²、椎名 高裕³

*Kiyoshi Yomogida¹, Chuhei Katagiri², Takahiro Shiina³

1. 北海道大学・大学院理学研究院・地球惑星科学部門・地球惑星ダイナミクス分野、2. 北海道大学・理学部・地球惑星科学科、3. 北海道大学・大学院理学研究院・地震火山研究観測センター

1. Department of Earth and Planetary Dynamics, Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University, 3. Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

2011年東北地方太平洋沖地震の前後での震源断層及びその周辺の地震モーメント解放量の変化をセグメント毎に比較した。宮城沖では前後共に大きな解放量であるのに対して、福島沖では本震前はわずかな解放量であったがその後は宮城沖に匹敵する解放量に急増した。海溝より外側のアウターライズ地震の領域でも同様な傾向が見られた。これらの領域には元々応力は小さかったが、本震における周辺での大きな滑りに伴って新たに応力レベルが上がり、モーメント解放量が増加したと考えられる。1964年アラスカ地震前後で、南西側の Kodiak 島セグメントも同様な特徴があり (Doser et al., 2006)、それまでの地震活動が弱く本震時の滑り量は小さくとも、本震によって活発な地震活動が開始される領域の一例が新たに定量的に示された。

キーワード：地震モーメント解放量、2011年東北地方太平洋沖地震、地震活動の時空間変動

Keywords: seismic moment release, the 2011 Tohoku-Oki earthquake, spatial and temporal variations of seismicity

太平洋プレートのプレートモデルの検討

Study on the plate model of the Pacific plate

*横田 崇^{1,2}、根本 信³、松末 和之³、高瀬 嗣郎³、高田 幸司¹、池田 雅也¹

*Takashi YOKOTA^{1,2}, Makoto NEMOTO³, Kazuyuki MATSUSUE³, Shiro TAKASE³, Koji TAKATA¹, Masaya IKEDA¹

1. 内閣府、2. 愛知工業大学、3. 応用地質株式会社

1. Cabinet Office, 2. AICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 3. OYO CORPORATION

内閣府では「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会（2015年2月設置）」において、日本海溝および千島海溝で発生する最大クラスの地震の検討を実施しているところである。その一環として、伊豆・小笠原海溝、日本海溝および千島海溝から沈み込む太平洋プレートの上面形状の検討を行い、プレートモデルを作成した。

日本海溝および千島海溝から沈み込む太平洋プレート形状の既往モデルとしては、地震調査研究推進本部の全国一次地下構造モデルや弘瀬による既往研究成果のコンパイルモデルがある。しかし、これらのモデルではその作成範囲に限られ、伊豆・小笠原海溝～千島海溝までを対象とする本検討会の検討範囲をカバーしていない。また、広域のプレートモデルとしてUSGSによるSlab1.0があるが、震源分布等と比較すると必ずしも整合的では無い。

本検討では、以下のデータに基づいて、伊豆・小笠原海溝、日本海溝および千島海溝から沈み込む太平洋プレートのプレート上面モデルを作成した。

a) 海溝軸の位置：海底地形データ（海上保安庁提供）の最深部を滑らかに繋げて海溝軸とし、海溝軸外側の海底地形と海溝から沈み込むプレート上面を連続させた

b) JAMSTEC構造探査データ：JAMSTECから提供を受けたMSCおよびOBSの構造探査測線上の太平洋プレート上面深さデータを沈み込むプレートの浅部形状の設定に用いた

c) 震源分布：気象庁の一元化震源、ISCの地震カタログおよびEHB再決定震源を使用し、浅部～深部のプレート形状を設定した

d) 火山フロントの位置：地震活動が低調で地震分布からプレート形状を決定できない地域については、火山フロントの位置に基づいて、深さ100km程度のプレート位置を連続的に設定した

上記のデータを用いて、伊豆・小笠原海溝～千島海溝に設定した多数の海溝軸と概ね直交する断面位置でプレート上面の断面形状を設定し、その断面データを内挿補間することにより面的なプレート上面モデルを作成した。

キーワード：太平洋プレート、プレートモデル、断層モデル、被害想定

Keywords: Pacific plate, plate model, fault model, earthquake hazard assessment

Spatiotemporal distribution of shallow seismic activity around Onikobe area, northeastern Honshu, Japan

*前田 純伶¹、松澤 暢¹、吉田 圭佑¹、吉田 武義¹

*Sumire Maeda¹, Toru Matsuzawa¹, Keisuke Yoshida¹, Takeyoshi Yoshida¹

1. 東北大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Tohoku University

In order to elucidate the process of inland earthquake occurrence, it is necessary to consider the influence of the heterogeneous structure of the upper crust. In particular, examining the relationship between seismic activity and existing weak planes such as geological faults and caldera walls will be very important for the above understanding. In order to investigate the relationship between geologically heterogeneous structure and seismic activity, the best region will be where reliable geological data are available and the seismicity is high. In this study, we investigate the relation between the heterogeneous geological structure and the seismic activity in the Onikobe region located in the northernmost part of Miyagi prefecture because the region satisfies the above conditions.

This area is located in the backbone range, where many calderas exist. In this region, Umino et al. (1998) discussed the relationship between the caldera structure and large-scale earthquakes that occurred in the Onikobe region in 1996. After that, however, the earthquake activity in this area appears to change considerably after the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake and the 2011 Tohoku-Oki earthquake. We investigate the temporal change in the seismic activity for about 20 years (1996-2015) in detail, and discuss the relation between the spatiotemporal change in the seismic activity and the caldera structure. In order to elucidate the relation, we carried out 1) estimation of temporal change in the seismic activity, 2) hypocenter relocation, 3) fault type determination, and 4) stress field estimation. The results indicate that the earthquake fault-type distribution as well as the seismic activity and hypocenter distribution is affected by nearby large earthquakes. It is also suggested that the change in the hypocenter and fault-type distributions are controlled by the caldera wall distribution.

According to Terakawa and Matsu'ura (2010), this area is located in a reverse fault type stress field of east-west compression, but many strike-slip-fault type earthquakes have occurred and at least some of them appear to occur along steep caldera walls. We will discuss in detail the relation among the seismic activity which changed due to the stress disturbance caused by large earthquakes, the shape of the existing weak planes, and the background stress field.

キーワード：地震活動、発震機構解、カルデラ

Keywords: seismicity, focal mechanism, caldera

Seismogenic structures of the 2006 M_L 4.0 Dangan Islands Earthquake offshore Hong Kong

Jinlong Sun¹, *Shaohong Xia¹, Huilong Xu¹

1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences

As a typical extensional continental margin, the intraplate seismicity in the coastal region of the northern South China Sea (SCS) is very active. Compared with the seismically active zones of NanAo Islands, Yangjiang, and Heyuan, the seismicity is relatively low in the Pearl River Mouth area. But, a M_L 4.0 earthquake in 2006 has occurred near the Dangan Islands offshore Hong Kong, adjacent to the source of historical Dangan Islands earthquake in 1874 with about M 5.8. In this study, we ascertained the locations of NW- and NE-trending faults in the Dangan Islands sea, and found that the NE-trending Littoral Fault Zone (LFZ) mainly dipped southeast at a high angle and cut through whole crust with an obvious low-velocity anomaly. The NW-trending fault dips northeast with similar high angle. The 2006 Dangan Islands earthquake is adjacent to the intersection of the NE- and NW-trending faults, which suggests the intersection of two faults in different directions could provide a favorable condition for the generation and triggering of intraplate earthquakes. Crustal velocity model showed that the high-velocity anomaly was imaged in the west of Dangan Islands, but a distinct entity with low-velocity anomaly at depth smaller than 10 km but high-velocity anomaly below depth of 10 km was found in the south of Dangan Island. Both 1874 (about M 5.8) and 2006 (M_L 4.0) Dangan Islands earthquakes occurred along the edge of above mentioned distinct entity, and the vertical cross-sections parallel and perpendicular to the LFZ revealed that there were good spatial correlations between the 2006 Dangan Islands earthquake and the prominent high-velocity body below 10 km depth in the distinct entity, which indicated that the high-velocity body might be rigid and capable to store strain energy and release it as a brittle failure, being considered as earthquake-prone area.

米沢－会津地域の誘発地震活動－メカニズム解の時空間変化－

Triggered seismic activity in Yonezawa-Aizu area —Space time change of focal mechanism—

*鈴木 真奈美¹、星 泰平¹、長谷見 晶子¹*Manami Suzuki¹, Taihei Hoshi¹, Akiko Hasemi¹

1. 山形大学

1. Yamagata University

2011年東北地方太平洋沖地震の7日後から山形県米沢から福島県会津にかけての地域で誘発地震活動が始まった。活動度は低くなりつつ、現在も継続している。活動域の下には棚倉構造線の北方延長が通過していると推定されるが、地表は新生代の火成岩に覆われていて構造線の分布形態は不明である。本研究では、メカニズム解の節面から断層の形状（走向と傾斜）の推定を試みた。卓越する断層の形状を調べるには規模が大きい地震を使うのが望ましいが、今回の活動はマグニチュードが4を超えるような地震の発生数は少ないため、マグニチュードが3以上の地震を対象とした。使用したデータは活動開始時から2015年10月までに起きた地震の波形で、Hi-netの観測点で記録されたものである。メカニズム解はP波初動の押し引きから求めた。その際、押し引き方向が明瞭な波形のみを用いた。20以上の押し引きデータがあり、決定精度がよいメカニズム解が100個得られた。

断層の型は逆断層または横ずれ成分を含む逆断層がほとんどであった。2つの節面のうち、走向が震源の並び方向に近い、周辺の地震の節面と共通である、逆断層の場合は傾斜角が小さい、という条件に合うものを断層面と考えた。そのようにして選んだ断層面の走向、傾斜には次のような特徴がみられた。1)走向は活動域の中央部（大峠カルデラの中央部から南西縁付近）で北西－南東方向、その他の場所では南－北～北北東－南南西方向、2)震源はいくつかのクラスターに分かれているが、活動域の中央部から南端ではクラスターごとに卓越する走向、傾斜方向がある。2)北端付近のクラスターでは走向はそろっているが西傾斜、東傾斜の面が混在している。以上の特徴から、大峠カルデラの下には棚倉構造線の方に近い走向を持つ断層が分布するのに対し、ほかの領域には東北地方に特徴的な走向（南北方向）を持つ断層が卓越すると考えられる。

いくつかの研究により、この地震活動は流体の流入、あるいは流体圧の増加によって誘発されたと指摘されている。流体の状態に変化があると、メカニズム解も変化する可能性がある。そこで、メカニズム解の時間変化も調べた。対象としたのは活動が継続している37.76－37.78°N、139.97－140.02°Eの範囲で、活動開始時から2015年10月までに起きたマグニチュード2以上の地震を使った。メカニズム解を一意的に決められない地震が多かったため、押し引き分布の変化から応力場の変化を推定した。対象地域を4つの領域に分け、それぞれの領域の押し引きデータを1ヶ月ごとに震源球にまとめて表示し、押し引き分布の時間的な変化を調べた。その結果、西側の領域では逆断層に合う押し引き分布が多く、押し引きパターンの変化が少なかった。東側の領域では北西－南東方向の張力が働く横ずれ断層のパターンが多いが逆断層のパターンの時期もあるため、この領域では流体圧など地下の状態が変化している可能性が考えられる。

気象庁の一元化震源および気象庁、東北大学、防災科学技術研究所Hi-Netの波形データを使用した。メカニズム解は東北大学海野徳仁博士のプログラムを使用して計算した。記して感謝申し上げます。

キーワード：誘発地震、メカニズム解、棚倉構造線

Keywords: triggered earthquake, focal mechanism, Tanagura Tectonic Line

Aftershock observation and their source parameter analysis of the 2016 Gyeongju earthquake

*Jeong-Ung Woo¹, Junkee Rhie¹, Tae-Seob Kang²

1. Seoul Nat'l Univ., 2. Pukyong Nat'l Univ.

The 12 September 2016 Gyeongju earthquake (5.8) occurring at 11:32:54 (UTC) is the largest instrumentally recorded event in the southern Korean Peninsula and it is followed by thousands of aftershocks. For monitoring the aftershocks, a temporary seismic network of 27 stations was installed in a few days and operated for several months. From regional seismic networks and the temporary network, we detected P/S phase arrival-times and associated them by a series of automatic procedures. With a 1-D velocity structure and the associated arrival times, locations of the aftershocks were initially determined by an iterative linear method. To observe the detailed pattern of the hypocenters, initial hypocenters were relocated by the double difference method using the waveform cross-correlation. With the hypocenter distribution, the focal mechanism analysis of specific events was then operated by measuring the first P-wave motions. Our detection algorithm observed over a thousand events and their locations are mainly clustered between two regional fault lines. Our result indicates that the distribution of the aftershocks and the fault plane solutions obtained from the focal mechanism analysis are not matching with the surface traces of two regional faults, suggesting a complex geometry of faulting system beneath the Gyeongju area can exist.

Keywords: Gyeongju earthquake, aftershock monitoring, Yangsan Fault system

稠密臨時観測データを用いた2016年熊本地震における地震活動の時間発展 (2)

Time evolution of the 2016 Kumamoto Earthquakes II

*宮崎 真大¹、松本 聡²、飯尾 能久¹、山下 裕亮¹、清水 洋²、松島 健²、中元 真美³、内田 和也²、神薗 めぐみ⁴、手操 佳子²、2016年 熊本地震合同地震観測グループ⁵

*Masahiro Miyazaki¹, Satoshi Matsumoto², Yoshihisa Iio¹, Yusuke Yamashita¹, Hiroshi Shimizu², Takeshi Matsushima², Manami Nakamoto³, Kazunari Uchida², Megumi Kamizono⁴, Yoshiko Teguri², Group for urgent joint seismic observation of the 2016 Kumamoto earthquake⁵

1. 京都大学防災研究所、2. 九大・地震火山センター、3. 国立極地研究所、4. 九大・理、5. 2016年熊本地震合同地震観測グループ

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. SEVO, Kyushu Univ., 3. National Institute of Polar Research, 4. Grad. Sch. Sci., Kyushu Univ, 5. Group for urgent joint seismic observation of the 2016 Kumamoto earthquake

本研究は、Matched Filter法(Gibbons and Ringdal, 2006; Shelly et al., 2007)を用いて、2016年熊本地震において、活動が活発化した時間帯における地震活動の時空間発展を詳細にとらえることを目的としている。本発表では、稠密臨時観測データを加えた場合と定常観測点のみを使用した場合の違いについて検討を行った。

手法は以下の通りである。4-8Hzのバンドパスフィルターをかけた連続波形記録に、対象とした全観測点でP波とS波の両方が検出されたイベントをテンプレートとして、地震活動の検出を行った。イベントの認定には、MAD (Median Absolute Deviation)の10倍という閾値を用いた。

イベント検出時における観測点毎の相関係数の平均値を比較すると、概ね10km以内にある観測点は、他の観測点に比べ大きな値を取ることが分かった。遠方の観測点を順に加えた場合、閾値となるMADの値は増加していくことから、イベントの検出には震央近傍の観測点のデータが重要であると言える。

謝辞

本発表では、九州大学の定常・臨時観測点の他に、気象庁・防災科学研究所の定常観測点および、2016年熊本地震合同地震観測による臨時観測データを使用しました。記して感謝いたします。

キーワード：2016年熊本地震

Keywords: the 2016 Kumamoto earthquake

Rupture properties of the 2016 Kumamoto Earthquake sequence based on seismicity data analyses

*池田 倫治¹、大西 耕造²、西坂 直樹²

*Michiharu Ikeda¹, Kozo Onishi², Naoki Nishizaka²

1. 株式会社四国総合研究所土木技術部、2. 四国電力株式会社

1. Department of Civil Engineering, Shikoku Research Institute Incorporated, 2. Department of Civil and Architectural Engineering, Shikoku Electric Power Company

The Kumamoto Earthquake sequence occurred on April 14, 2016 for the foreshock (Mw 6.2) and on April 16, 2016 for main shock (Mw 7.0) in the Kumamoto area of Kyushu. The earthquake sequence was derived from fault ruptures of the Futagawa and Hinagu Fault zones. The rupture directivity was just northeast. Furthermore, the earthquake sequence dominantly affected the northeast region, and M ~6 earthquakes are triggered around the Oita area (Uchida et al., 2016). On the other hand, the southwestern parts of the Hinagu Fault zone were not ruptured. The purpose of the study is to examine what is a factor for controlling seismic properties of the earthquake sequence.

We used earthquake data that occurred from October 24, 1997 to July 31, 2015 in the JMA catalog to grasp the seismic activity around the source faults: Futagawa and Hinagu Fault zones. We applied the fault model which was proposed by HERP [2013] to the analysis. According to some previous research results, the dip angles of the Futagawa and Hinagu Fault zones are set up to be 60° in northwest and 90°, respectively. Then, we define the analytical area of the Futagawa Fault zone as the region of 10 km in the northwest direction from the surface trace. For the Hinagu Fault zone, the area is defined as 5 km on either side on the surface trace.

We recognized a remarkable seismic gap in the Hinagu Fault zone based on seismicity data before the Kumamoto Earthquake sequence. The fault rupture of the Kumamoto Earthquake sequence was probably arrested at the seismic gap, however the southern part of the Hinagu fault zone is within positive stress change. The aftershocks of the foreshock do not propagate in the seismic gap, however, those of the main shock distribute over a seismic gap; propagating to the southern part of the Hinagu Fault zone.

Here, we focused on two Mw ~5 earthquakes happened in 2000 and 2005 on Hinagu Fault zone. The analysis results show the 2005 earthquake maybe is related to the 2000 earthquake: a delayed earthquake. Therefore, the analysis of the seismic sequence probably provides useful information to evaluate seismic condition of the Hinagu Fault zone after the Kumamoto Earthquake sequence. The seismic scale of the Kumamoto Earthquake sequence is far bigger than the 2000 earthquake, and the aftershock activity propagated up to the southern part of the Hinagu Fault zone. Therefore, the Hinagu Fault zone has a potential to cause some delayed earthquakes.

キーワード：熊本地震シーケンス、サイズミックギャップ、ディレイドアースクエイク

Keywords: Kumamoto Earthquake sequence, seismic gap, delayed earthquake

琉球海溝北部における自然地震観測

Seismic observation on northern Ryukyu Trench subduction zone

*山本 揚二郎¹、高橋 努¹、石原 靖¹、尾鼻 浩一郎¹、三浦 誠一¹、小平 秀一¹、金田 義行²

*Yojiro Yamamoto¹, Tsutomu Takahashi¹, Yasushi Ishihara¹, Koichiro Obana¹, Seiichi Miura¹, Shuichi Kodaira¹, Yoshiyuki Kaneda²

1. 海洋研究開発機構、2. 香川大学

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Kagawa University

The Ryukyu Trench is a plate convergence zone whose total length of about 1,300 km, and its northern end borders on the western end of the Nankai Trough. Due to the subduction of Philippine Sea plate in northwest direction, active seismicity was observed in the forearc region of Ryukyu arc. In addition, occurrence of large earthquakes was well known; for example, 1911 off-Amami (M8.0), 1923 near Tanegashima (M7.1), and 1774 Yaeyama (M7.4) earthquakes. On the other hand, both detection capacity and location accuracy of earthquakes in this region were not enough to discuss the detailed seismicity pattern and plate geometry, since the seismic network is limited on sparse-distributed islands. To know the seismicity, lithospheric structures and plate geometry, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) launched a series of seismic observations and active-source seismic surveys at the Ryukyu arc from 2013, as a part of research project funded by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.

In FY2016, we have conducted a passive source observation in the northern Ryukyu forearc region. We have deployed 47 seismic stations including 43 ocean bottom seismographs (OBS) and 4 onshore stations. All OBSs are equipped with short period (4.5 Hz) geophones. Onshore stations are deployed at Tanegashima (two stations), Nakanoshima, and Akuseki-Jima, composed of broadband and/or 2 Hz seismometers. The average separation of seismic network is about 30 km, and covered the area of 250 km and 160 km in trench parallel and normal directions, respectively. The observation period of OBS is about 4 months, from September to December 2016. From the continuous seismic record, we have detected more than three-times the number of events identified from Japan Meteorological Agency (JMA) catalogue. We also confirmed that almost all our seismic stations recorded the seismic signal when the JMA magnitude of event located within our network is larger than 2.5. In this presentation, we will show the preliminary result of hypocenter relocation analysis.

キーワード：琉球海溝、地震活動、フィリピン海プレート

Keywords: The Ryukyu Trench, Seismicity, Philippine Sea Plate

An overview of the seismic activity and gaps in the Marmara Sea area

*Dogan Kalafat¹, M. Nafi Toksöz²

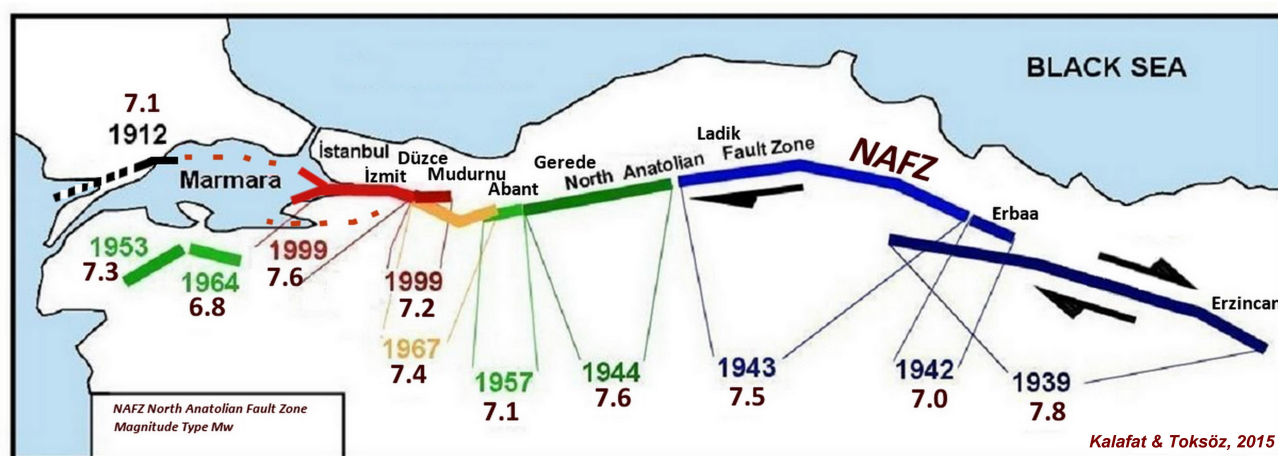
1. Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Cengelkoy, Istanbul Turkey, 2. Massachusetts Institute of Technology, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, 77 Massachusetts Avenue, 54-614, Cambridge, MA 02139 USA

Turkey and its surrounding region comprise one of the most rapidly deformation parts of Alpine-Himalayan mountain belt, because the country is located at the junction of the three main tectonic plates. Global kinematic models based on the analysis of oceanic spreading, fault system, and earthquake slip vectors indicate that Arabian plate is moving in the north-northwest direction relative to Eurasian at an average rate of about 25 mm/yr. The westward escape of Anatolian plate by right lateral strike-slip motion produces major earthquakes along the North Anatolian Fault Zone and this causes an important role on the tectonic evolution of the Marmara Sea region. Eventually, the Marmara Sea region is one of the most seismic active region, because the Marmara Sea region is at a triple junction between the Turkish, Aegean and Eurasian Plates in a complicated area of small block structures, and an understanding of the behaviour of the Marmara Sea area is very important in the interpretation of the tectonics evolution of the entire region.

Active tectonics in the region has strike-slip, normal and some reverse of dip-slip (oblique) faulting types. Especially western part of the latitude 30°E, fault mechanisms changed via normal faulting and oblique faulting types. Another indicator, the Marmara Sea region is a kind of mixed place of changing of fault mechanisms and rotation of dominant T stress axes directions in the NAFZ.

In this study, we present seismicity and briefly presented the fault mechanism characteristics of the Marmara Sea region. On the other hand, we try to understand seismic gaps along the Marmara region. Recent crustal deformation and seismicity provide about seismic gaps in the region for future earthquakes.

Keywords: Marmara Sea, seismicity, fault mechanisms



The westward migration earthquakes since 1939 along the North Anatolian Fault

Very Long Period Seismic Signals at Cotopaxi Volcano-Ecuador.

*Gabriela Arias¹

1. National Polytechnic School Ecuador

This work identifies seismic events with very long period (VLP) content that occurred at Cotopaxi volcano (Ecuador) between June 2010 and October 2014. In order to do this, it was necessary to study the spectral content of the signals by decomposing them into their constituent frequencies, done using a discrete Fourier transform.

The existence of a single family, containing half of the recorded VLP events, was recognized by performing cross-correlations between them. The remaining events could not be grouped into families due to the small signal amplitudes, having been considerably influenced by microseismicity. No other patterns of similarity were found between these events.

Each signal was then integrated and filtered to locate the source using P wave polarization analysis, specifically the particle motion method.

Finally, the possible source mechanism of the event family was identified through the comparison and cross correlation with those studied in previous works at Cotopaxi volcano. The proposed mechanism would be that of a crack model, located to the north of the crater at a depth between 2 and 4 km. It is proposed that this crack generated the recorded events between 2006 and 2014 and that it is independent of the resonator which was activated between 2002 and 2014. Both systems would represent a region filled with magmatic fluids that, depending on its volume, suggest a possible renewal of volcanic activity.

Keywords: VLP seismicity, particle motion, source mechanism

1979年トゥマコ（コロンビア）地震の震源過程とエクアドル・コロンビア沈み込み帯における破壊の特徴

Rupture process of the 1979 Tumaco, Colombia, earthquake and rupture characteristics along the Ecuador-Colombia subduction zone

*吉本 昌弘¹、熊谷 博之¹、プリード ネルソン²

*Masahiro Yoshimoto¹, Hiroyuki Kumagai¹, Nelson Pulido²

1. 名古屋大学、2. 防災科学技術研究所

1. Nagoya University, 2. NIED

1979年トゥマコ地震は、エクアドル・コロンビア沈み込み帯において1906年エクアドル・コロンビア地震に次ぐ観測史上2番目に大きい地震である。しかしながら1979年地震に関しては、長周期表面波を用いた地震モーメントと破壊伝播速度の推定[Kanamori and Given, PEPI, 1981]やP波を用いたデコンボリューションによる震源時間関数の推定[Beck and Ruff, JGR, 1984]がなされているのみであった。1979年地震のすべりの時空間分布を明らかにし、1906年地震の破壊域との関係を議論することは、将来この地域で発生する大地震の強震動や津波予測をする上で重要である。そこで本研究では、遠地実体波を用いた1979年地震の震源過程解析を行った。

解析には震央距離が30°から100°のWWSSNの長周期地震計記録（P波上下動6点と水平動3点）を使用した。グリーン関数はKikuchi and Kanamori [BSSA, 1991]の方法を用いて計算した。波形インバージョン法はKikuchi et al. [EPS, 2003]の方法を適用し、断層面上のすべりの時空間分布を推定した。

解析の結果、大すべり域が震源より北東側に求められた。この大すべり域の位置は強震動や津波の被害の大きい地域とほぼ整合的である。この地震の震源域付近の平均のプレートカップリング率は30%程度であると推定されている[White et al., EPSL, 2003]。本研究で得られたこの地震の平均すべり量は2.4 mであったことから、この地震の再来間隔はおよそ174年であると推定される。この結果は1906年エクアドル・コロンビア地震が1979年トゥマコ地震の領域を破壊していなかった事を示唆しており、Yoshimoto and Kumagai [AGU fall meeting, 2016]の1906年エクアドル・コロンビア地震の津波波源モデルとも整合的である。

キーワード：1979年トゥマコ地震、震源過程、コロンビア

Keywords: 1979 Tumaco earthquake, rupture process, Colombia

小笠原周辺海域の自己浮上式海底地震計の観測で得られた、二重深発地震面と考えられる震源分布について

On the hypocentral distribution considered to be double seismic zone obtained by pop-up ocean bottom seismometers at the area around Ogasawara

*中田 健嗣¹、小林 昭夫¹、勝間田 明男¹、弘瀬 冬樹¹、馬場 久紀²、木村 一洋³、長岡 優⁴、対馬 弘晃¹、前田 憲二¹

*Kenji Nakata¹, Akio Kobayashi¹, Akio Katsumata¹, Fuyuki Hirose¹, Hisatoshi Baba², Kazuhiro Kimura³, Yutaka Nagaoka⁴, Hiroaki Tsushima¹, Kenji Maeda¹

1. 気象庁気象研究所地震津波研究部、2. 東海大学海洋学部海洋地球科学科、3. 気象庁地震火山部火山課、4. 気象庁気象研究所火山研究部

1. Seismology and Tsunami Research Department, Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2. Department of Marine and Earth Science, Tokai University, 3. Seismology and Volcanology Department, Japan Meteorological Agency, 4. Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

気象研究所は、小笠原周辺地域の震源決定精度向上を目的として、2015年7月から10月まで自己浮上式海底地震計（OBS）による約3か月間の観測を行った。観測網は、OBSの8地点と既存の父島および母島の2地点の合計10地点で、約50km間隔でこの領域をカバーするように設定した。この観測データの解析により、OBS観測により求まる震源は、一元化震源よりも約50km西に位置することが示された（中田・他, 2016, JpGU）。

この解析により、伊豆・小笠原海溝から沈み込んだ太平洋プレートのスラブ内地震とみられる震源分布が得られていた。とくに、上下に二面の震源分布が深さ約70kmから約200kmにかけてみられた。上面と下面の間の距離は約35kmで、約200～250kmで上面と下面の分離ができなくなる。また、上面の深さ60-80km付近でクラスタ状の活動がみられる。そのクラスタは、西之島を含む火山フロントの80-90km東を並走するように点在している。これは、Kita et al. (2006, GRL) で指摘されている上面地震帯（Upper plane seismic belt）と対応しているのかもしれない。このように、小笠原周辺地域で得られた特徴は、東北日本をはじめ世界各地で報告されている二重深発地震面の特徴といくつか類似している。なお、他地域の二重面間の距離については、アリリューシャンで約20km、北海道で約30km、東北で約35km、関東で約30km、マリアナで約25km、チリ中央部で約20-25kmであった（Reyners & Coles, 1982, JGR; 細野・吉田, 2001, 火山; 吉田・細野, 2002, 火山; Shiobara et al., 2010, GJI; Marot et al., 2013, JGR）。

キーワード：伊豆・小笠原海溝、二重深発地震面

Keywords: Izu-Ogasawara trench (Izu-Bonin trench), double seismic zone

防災科研Hi-netで捉えられた東海地域での小繰り返し地震

Smaill repeating earthquakes beneath the Tokai region detected by NIED Hi-net

*松原 誠¹

*Makoto MATSUBARA¹

1. 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

1. はじめに

プレート境界の準静的すべり領域の周囲では小繰り返し地震が発生している(Igarashi et al., 2001; Uchida et al., 2003)。東海地域においては、防災科学技術研究所(防災科研)の関東東海観測網のデータを用いて、1980年～2004年の期間においてフィリピン海プレート上面境界で起きていると考えられる小繰り返し地震が検出されている(Matsubara and Obara, 2006)。本研究では、防災科研の高感度地震観測網(Hi-net)のデータを用いて、東海地域における最近の小繰り返し地震の活動状況を調べた。

2. データ・手法

2000年10月～2015年12月に北緯34°～36°、東経136.5°～139°、深さ0～500kmにおいて発生したM1.5以上の20,331個の地震を解析に用いた。陸域の下地震活動について注目し、ある地震から0.1°四方の地震について、波形の比較を行った。低周波成分では相関係数が高くなることから、観測点における上下動成分の波形に1～4Hzのバンドパスフィルターをかけ、計算時間の短縮のため100Hzの波形を20HzにデシメーションをしたうえでP波到達の1秒前から10秒間、もしくはP波到達の1秒前からS波の5秒後までの短いほうの波形について相互相関係数を計算した。その結果から、相互相関係数が、0.80以上の観測点が1観測点以上ある地震の組み合わせを小繰り返し地震の候補として抽出し、改めて100Hzの波形を用いてP波到達の1秒前からS波の5秒後まで、もしくはP波到達の1秒前から40秒間の波形について相互相関係数を計算した。その結果から、震央距離100km以内の3観測点以上で相関係数が0.95以上を記録した地震の組み合わせを小繰り返し地震とした。

3. 結果

第2段階の処理の結果4697個からなる1194グループの小繰り返し地震が検出された。このうち、最初と最後の活動が2年以下のグループについてはバースト的な活動とみなした。その結果、341グループが2年以上に渡って活動している小繰り返し地震として抽出された。

プレート境界付近で起きていると考えられる逆断層型の地震は藤枝付近の深さ18～27kmで11グループ(50個)発生している。また、森町付近の深さ23kmでは、1グループ(3個)の逆断層型の小繰り返し地震が抽出された。Nadeau and Johnson (1998)の式に基づいて2000年10月～2015年12月のプレート境界のすべり速度を推定すると藤枝の下、森町の下、ともに1.5cm/年となった。

浜名湖の北西・北・北東付近の深さ28～32kmでは、フィリピン海プレート内で発生している3つ小繰り返し地震のクラスターが存在する。発震機構解はいずれも横ずれ型であり、この付近の滑り速度はそれぞれ0.8～1.2cm/年であった。

深さ30km以深にも小繰り返し地震活動が抽出されたが、発震機構解はいずれも横ずれ断層型もしくは正断層型であった。この領域ではフィリピン海プレート上面での小繰り返し地震活動は抽出されなかった。

深さ100km以深の太平洋プレートの沈み込みに伴う領域で抽出された小繰り返し地震の発震機構解はいずれも横ずれ成分を含む逆断層型や横ずれ断層が主であった。深部における太平洋プレート上面境界での小繰り返し地震は抽出されなかった。

4. 議論

藤枝付近の小繰り返し地震活動はMatsubara and Obara (2006)においても抽出され、0.9cm/年のすべり速度が推定されている。本研究では1.4cm/年と推定されたが、地殻変動から推定される沈み込みの速度4.0cm/年(Seno et al., 1993)からはいずれも遅い速度となっている。

浜名湖付近の下では、フィリピン海プレート内において横ずれ断層型の小繰り返し地震が抽出されている。Matsubara and Obara (2006)においては3~4cm/年のすべり速度であったが、本研究においては0.8~1.3cm/年であった。

5. 結論

2000年10月~2015年12月までの防災科研Hi-netのデータを解析した結果、東海地域においてはフィリピン海プレート上面境界で発生している小繰り返し地震は藤枝付近や森町付近で発生していた。プレート間すべり速度は関東東海観測網のデータを解析して得られた速度0.9cm/年と同様に地殻変動から推定される速度よりも遅く、1.4cm/年であった。一方、内陸の地殻内やフィリピン海プレート内における小繰り返し地震も多数発生している。浜名湖の北では、関東東海観測網で得られたすべり速度よりは遅い際よりも遅い1cm/年前後のすべり速度であった。太平洋プレートの沈み込みに伴う地震にも小繰り返し地震が起きているが、いずれも沈み込む太平洋プレート内の地震活動であり、プレート境界では起きていなかった。

キーワード：繰り返し地震、東海、フィリピン海プレート

Keywords: repeating earthquake, Tokai, Philippine Sea plate

a値とb値のイメージングから推定される繰り返し地震発生位置の支配要因

Controls of repeating earthquakes' location from a- and b- values imaging

*河村 将¹、陳 卉瑄¹

*Masashi Kawamura¹, Kate Huihsuan Chen¹

1. 国立台湾師範大学地球科学系

1. Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

地震はどこで繰り返し発生する傾向があるのか。このことを明らかにするため、異なる地域（CaliforniaとTaiwan）の繰り返し地震とバックグラウンド地震活動との関係を系統的に調べた。本発表では、繰り返し地震の発生位置が、バックグラウンド地震活動から計算されるa値およびb値の空間分布によってうまく描けることを示す。解析の結果、横ずれ断層セグメント（Parkfield・Hayward・Calaveras）と逆断層セグメント（Chihshang）の両方において、繰り返し地震が、高いa値（2.8-3.8）およびb値（0.9-1.0）の位置で発生する傾向が強いことがわかった。このことは、Molchanのerror diagramを用いて統計的に有意であることが確認された。したがって、高いa値およびb値をもたらす小規模地震の高い発生頻度が、繰り返し地震の発生位置をコントロールする主要因であると考えられる。このような繰り返し地震とa値およびb値との有意な関連性は、複雑な形状を有する断層セグメント（Hualien）や複雑な断層ネットワークで構成される広い領域（Whole Taiwan）では得られず、クリープ断層で共通して見られるものである。このことから、繰り返し地震とバックグラウンド地震活動のa値およびb値との間の普遍的関連性は、特定の断層特性の存在によるものであることが強く示唆される。

キーワード：繰り返し地震、a値、b値、クリープ断層、カリフォルニア、台湾

Keywords: repeating earthquake, a-value, b-value, creeping fault, California, Taiwan

The first research on seismic interferometry in the region of induced earthquakes of Song Tranh Dam, Vietnam

*CUONG QUOC NGUYEN¹

1. DPRI, Kyoto University

Vietnam is located in South East Asia and bounded by the Pacific and Mediterranean-Himalaya seismic belts on its eastern, western and southern sides, respectively. The dynamic tectonic processes in this region cause the territory of Vietnam and adjacent areas to have intensive differential movement, making the regional tectonic structure very complicated. The tectonics have led this territory to have moderate seismic activity and complicated geological structures, such as the Lai Chau-Dien Bien fault zone, Red River fault zone, and others. Southern Vietnam was considered to be a region with low seismicity, compared to the North. However, the sequence of earthquakes that occurred at Song Tranh Dam during the last several years surprised many scientists because the southern region of Vietnam was not expected to have major tectonic activity. This region where many induced earthquakes are now occurring is associated with the filling of a new reservoir. There have been four M4 earthquakes (maximum earthquake was 4.7 in November, 2012), so it is one of the most active induced earthquakes examples in the world. It is important to determine the strong motion attenuation relations for this area since damaging earthquakes may be expected in the near future. We collect and process data from 10 seismic stations around Song Tranh dam, include 5 years continued data in Song Tranh dam.

Traditional methods of imaging the Earth's subsurface using seismic waves require an identifiable, impulsive source of seismic energy, for example an earthquake or explosive source. Naturally occurring, ambient seismic waves form an ever-present source of energy that is conventionally regarded as unusable since it is not impulsive. As such it is generally removed from seismic data and subsequent analysis. A new method known as seismic interferometry can be used to extract useful information about the Earth's subsurface from the ambient noise wavefield. Consequently, seismic interferometry is an important new tool for exploring areas which are otherwise seismically quiescent, such as the Song Tranh Dam region in which there are relatively thousands of induced earthquakes. Here we provide a review of seismic interferometry and show that the seismic interferometry method which have agreeable results within the Song Tranh dam region.

One of the possible applications of seismic interferometry is ambient noise tomography (ANT). ANT is a way of using interferometry to image subsurface seismic velocity variations using seismic (surface) waves extracted from the background ambient vibrations of the Earth. Today, ANT has been used successfully to image the Earth's crust and upper-mantle on regional and continental scales in many locations and has the power to resolve major geological features such as sedimentary basins and igneous and metamorphic cores. In future study we will do some advance research on ANT in Song Tranh Dam region and make comparison between Northern and Southern of VietNam (especially Moho layer).

Keywords: Seismic Interferometry, Song Tranh Dam, Ambient Noise Tomography