

Arc-parallel extension of forearc region vs. 3-D bending-buckling mode of oceanic lithosphere at subduction zones

*江口 孝雄¹

*Takao Eguchi¹

1. 防衛大学校 応用科学群 地球海洋学科

1. Dept. of Earth and Ocean Sciences, School of Applied Sciences, National Defense Academy

In this study, we consider the fundamental physical origin(s) of arc-parallel horizontal extension tectonics, being dominant at some island-arc systems with the currently active back-arc opening. Next, by taking account of both the trench-parallel and trench-normal configuration of the bending-buckling oceanic lithosphere, we discuss the evolutionary process of island-arc systems.

We use the expression of 3-D principal stress axes (the maximum, intermediate, and minimum are S1, S2 and S3, respectively). At the island-arc systems with active back-arc extension such as the Okinawa Trough, Bismarck Sea etc., most of the S3 being approximately inferred from the low-angle T-axes of normal fault or strike-slip type earthquakes within the forearc overriding lithosphere, strike in the arc-parallel direction.

For the arc systems with the active back-arc extension, it seems that the forearc intra-plate shallow seismicity is lower than that of the back-arc.

When the dynamic process associated with the deflection and buckling of oceanic lithosphere at a trench-parallel zonal area from trench to outer-rise permits the horizontal migration of trench axis geometry towards ocean-side, we can expect some trench-ward retreat of the gradually lengthening forearc segment. The seafloor age of PH (Philippine sea plate) tends to become younger in the southwestward direction at least along the southern half of the Ryukyu trench. Recent geodetic GPS data by the GSI (Geographical Survey Institute, Japan) for the Ryukyu-Okinawa island arc system do not contradict the southward (or SSE) retreat of the arc from the back-arc continental area. This geodetic information implies the inevitable relative trench-ward migration of the axis of the Ryukyu Trench from the back-arc continental side. Thus, at least for the Ryukyu-Okinawa island arc system, the arc-parallel extension of forearc region is a passive phenomenon due to the active regime of back-arc extensional opening.

By considering the activity of regional shallower earthquakes within the overriding lithosphere accompanying the back-arc extensional tectonics, we conclude that the primary governing tectonic origin of arc-parallel extension at the forearc region is the back-arc extensional rifting or opening. In other words, the arc-parallel extension of forearc region is a secondary or passive phenomenon due to the active regime of back-arc extensional rifting or opening.

キーワード：島弧に平行な水平伸長、海洋リソスフェアの「折れ曲がりと座屈」、沈み込み帯、背弧伸長

Keywords: arc-parallel horizontal extension, bending-buckling of oceanic lithosphere, subduction zones, back-arc extension

静岡県中西部地震活動の活発化域と固着域

Seismically Active Region and Asperity in the mid-western Shizuoka

*吉川 澄夫¹、林元 直樹²、明田川 保³*Sumio Yoshikawa¹, Naoki Hayashimoto², Tamotsu Aketagawa³

1. 気象庁気象研究所、2. 気象庁、3. 大阪管区気象台

1. Meteorological Research Institute, 2. Japan Meteorological Agency, 3. Osaka Regional Headquarters, JMA

浜名湖周辺で観測される長期的ゆっくり滑り（LSSE）（国土地理院）と静岡県中西部地殻内の地震活動との間に時間的相関が存在することが指摘され（気象庁,2014）、過去のLSSEにも同様の関連が示されている（吉川・他, 2016）。昨年の地震学会(2016)で著者らはLSSEの活動の停止と開始をモニターする上で同地域の地震活動のモニタリングの有効性を示した。今回はLSSEの繰り返しに関連し、想定東海地震の震源固着域（例えば松村（2007））周辺の地震活動の活発化と静穏化について時空間分布の解明を試みた。

松村は地震活動の空間的定量化の方法として、一定領域内の地震個数の基準期間に対する発生率比を表示する方法を用いている（松村（2002））。一方著者らは、実際に発生した全ての地震の震源を中心とする全ての球領域においてポアソン分布の出現確率1%以下の静穏化・活発化領域を表示する方法を用いる（明田川・伊藤, 2008；林元・明田川, 2010）。後者は予め領域を固定しておく必要がなく通常の震源分布表示ツールにより立体的な空間分布を比較的容易に把握できる。

著者らの評価した‘固着域’は対象期間や震源データの違いなどにより松村（2007）と同様とはならない。とはいえ静岡県中西部の地殻内とプレート内のある特定地域に活発化域が存在することは確かである。比較しやすいのはプレート境界の固着域であり評価された活発化域が安定的に固着域として機能するかどうかの問題となるが、LSSE停滞時と発生時に挙動の違いが現れるのは当然のこととしてLSSE発生期間の低活動期にも矛盾のない挙動を示すかどうか判断の基準となるのではないかと考えられる。静穏化および活発化の捕捉された震源分布の平面図および鉛直断面図（付図）を見ると、特にLSSE停止時(2006～2012)、松村固着域（鉛直断面図の緑色の線）に沿って活発化していることがわかる。すなわち活発化域は固着域とは同等と見なされる。一方LSSE発生時のプレート境界周囲の活動を見ると全体的に低活動域となるが、固着域相当部分に若干活発な領域が見られる。言い換えれば、評価された活発化域がLSSE停滞・発生に関わらず安定的に固着域を反映した結果と解釈できる。

キーワード：地震活動、固着域、静岡県中西部

Keywords: Seismic activity, Asperity, Mid-western region of Shizuoka Prefecture

2016年福島沖地震と2016年茨城県北部地震に対する2011年東北沖地震後の粘弾性緩和と余効すべりの効果

Postseismic effects of viscoelastic relaxation and afterslip following the 2011 Tohoku-oki earthquake, Japan, on the 2016 Fukushima-oki and North Ibaraki Earthquakes

*橋間 昭徳¹、佐藤 比呂志¹

*Akinori Hashima¹, Hiroshi Sato¹

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

2016年11月22日に M_w 7.0福島沖地震、2016年12月28日に M_w 5.9の茨城県北部地震が発生した。これらの地震が2011年東北沖地震から5年という間隔をおいて発生したメカニズムは何であろうか。その検証は今後の地震活動予測においても重要である。有限要素法による2011年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動モデリングにより、日本列島下の粘性構造と3年間の積算余効すべり分布が得られており、これらを用いて、周辺域の応力の時間変化を見積もることが可能である。

まず、東北沖地震による広域的な応力場のアセノスフェアにおける粘弾性緩和による時間変化を計算すると、剪断応力増加の領域は地震後も時間とともに広がる事がわかる。その影響で、茨城県北部地震の震源においては5年後には0.2 MPa増加した。一方、東北沖地震の震源域により近い福島沖地震の震源での剪断応力はそれほど変化しなかった。また、3年間の積算余効すべりに対する弾性的な剪断応力変化は、福島沖地震で0.4 MPa、茨城県北部地震で0.2 MPa程度であった。

次に各震源断層に対する粘弾性緩和によるクーロン応力の時間変化を計算した。断層面の走向・傾斜とすべり角はHi-netのメカニズム解による二つの節面のうち余震分布に整合的な面をとり、福島沖地震は走向52.1°、傾斜37.6°、すべり角-86.5°、茨城県北部地震は走向317.3°、傾斜31.4°、すべり角-118.8°とした。東北沖地震直後（0年）は、いずれの震源断層でもクーロン応力は正となる。しかし、実際にこの時点では地震は発生せず、さらなる応力増加を要するものと考えられる。その後の5年間の粘弾性緩和により、クーロン応力は福島沖地震では0.16 MPa低下し、茨城県北部地震では0.11 MPa増加した。

一方、3年間の積算余効すべりによるクーロン応力は、福島沖地震については0.29 MPa、茨城県北部地震については0.15 MPa増加した。余効すべりは時間とともに減衰しながら継続するが、すべり分布の空間パターンが大きく変化しなければ、5年後の時点では多少増加している可能性がある。

粘弾性緩和と余効すべり両効果の和は、福島沖地震に対し0.13 MPa、茨城県北部地震に対し0.26 MPaとなった。したがって、いずれの地震においても、東北沖地震時に加えて地震後の応力載荷が地震発生を促進したと考えられる。しかし、そのメカニズムは、福島沖地震では余効すべりが主で、茨城県北部地震では粘弾性緩和と余効すべりが同程度寄与した。

キーワード：2011年東北沖地震、有限要素法、粘弾性、余効すべり、クーロン応力

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, Finite element modeling, Viscoelasticity, Afterslip, Coulomb stress

Seismogenic Layer within the Crust of Japanese Islands on the Japan Sea side using JUICE catalog

*Tomoko Elizabeth Yano¹, Makoto MATSUBARA¹

1. National Research Institute of Earth Science and Disaster Prevention

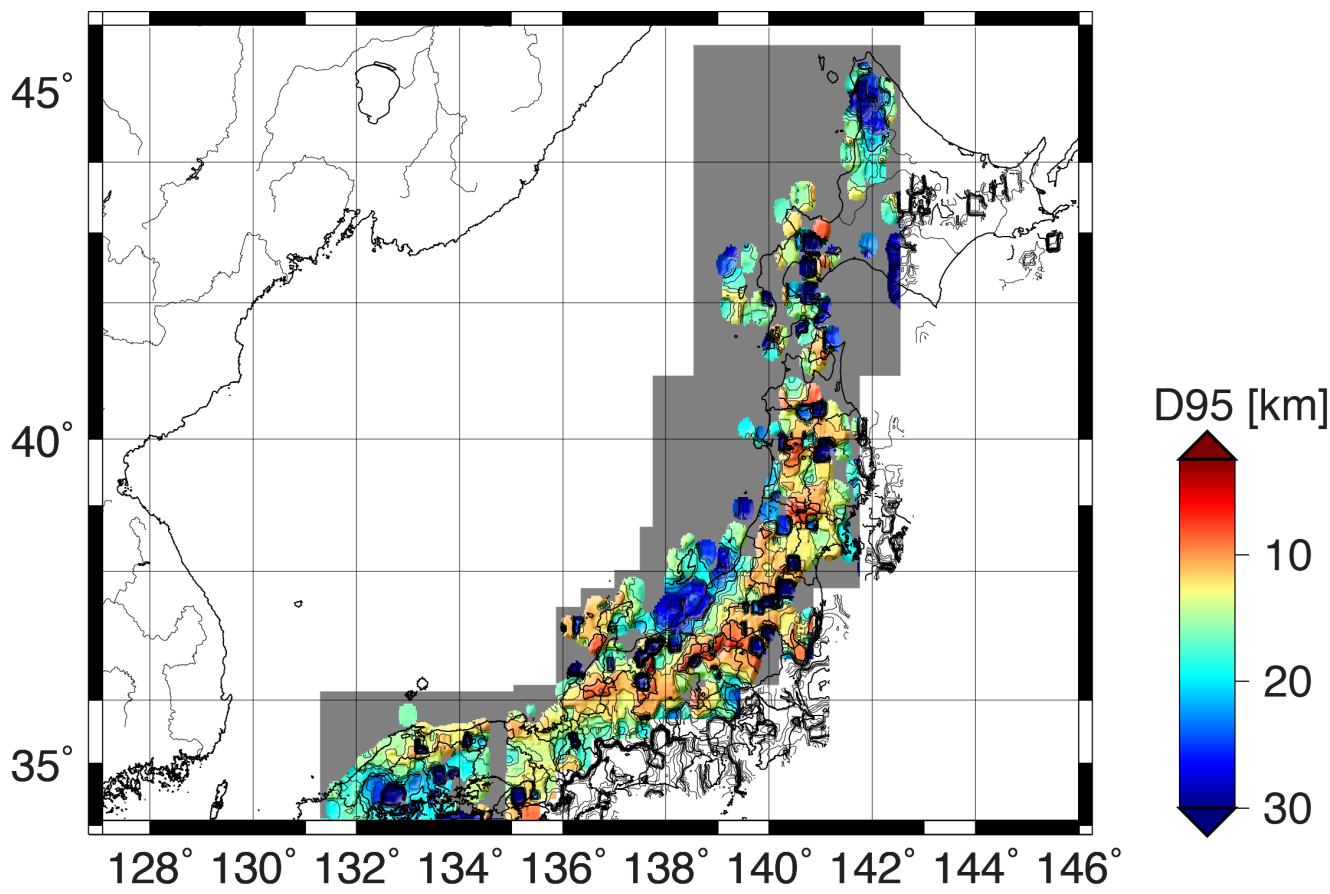
The width of source faults relate to their size of earthquakes. Understanding the high-resolution seismogenic layer is important parameter for the earthquake hazard assessment because it can estimate the seismogenic width of the particular active faults. Heat flow, geothermal gradient, and D90 (the depth above which 90% of earthquakes occur) are known to correlate with each other. The temperatures for D90 range could evaluate to be between 250°C and 450°C, which falls within the range for defining the seismogenic zone (e.g., Fagereng and Toy, 2011). In this study, we estimated D95 and D05, the depth above which 95% and 5% of earthquakes occur, because more precise and reliable catalog is now available from the Japan Unified High-Resolution Relocated Catalog for Earthquakes (“JUICE” , Yano et al., 2016).

JUICE catalog contains relocated hypocenters for 12 years between 2001 and 2012 from the NIED Hi-net catalog (Depth 40km, 0.0 M). From the JUICE catalog, we extracted events with magnitude equal to or greater than 1.5 in order to satisfy Gutenberg-Richter magnitude-frequency relation. Then we estimated the D95 and D05 depths using the same method as Matsubara and Sato (2015).

The general pattern of our results is consistent with previous studies of D10 and D90 (e.g. Matsubara and Sato, 2015; Tanaka, 2004; Omuralieva et al., 2012). For example, deep D95 lies beneath the northern Hokkaido and northern Honshu and shallow D95 extends along the belt-like volcanic areas. In addition to this general profiles, we can find the local variability of D95 along the active faults. For instance, the northern part of the Kamishiro fault, in the northern Nagano prefecture, has D95 shallower than 15 km while southern part has D95 deeper than 15km. Moreover, this study enables us to compare the seismogenic thickness and the actual crustal seismicity along the particular faults such as the 2014 North Nagano and the 2016 Central Tottori earthquakes. In our presentation, we will show the D95 and D05 depths on both general and local profile along the particular faults.

Figure 1: Map of D95 on the Japan Sea Side inferred by the JUICE catalog. Our study region is indicated in colored background. Gray area is where number of events is insufficient in order to estimate D95.

Keywords: Seismicity, Seismogenic layer, Crust, Hypocenter relocation



2011年長野県北部の地震(M_w 6.2)の核形成過程

Nucleation Process of the 2011 M_w 6.2 Northern Nagano Earthquake

*下條 賢梧¹、Enescu Bogdan²、八木 勇治³、武田 哲也⁴

*Kengo Shimojo¹, Bogdan Enescu², Yuji Yagi³, Tetsuya Takeda⁴

1. 筑波大学大学院生命環境系研究科地球進化科学専攻、2. 京都大学大学院理学研究科、3. 筑波大学生命環境科学研究科、4. 防災科学技術研究所

1. Graduate School of Life and Environmental Sciences Doctoral Program in Earth Evolution Sciences University of Tsukuba, 2. Graduate School of Science, Kyoto University, 3. Faculty of Life and Environmental Sciences University of Tsukuba, 4. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED)

Introduction. Previous research.

An M_w 6.2 inland earthquake occurred in northern Nagano region, central Japan, about 13 hours after the M_w 9.0 Tohoku-oki megathrust earthquake. The regional seismic activity recorded by the Japan Meteorological Agency (JMA) catalog in the first hours following the megathrust event was highly incomplete, thus not allowing a detailed analysis of triggering mechanisms. By applying a Matched Filter Technique (MFT) to the continuous Hi-net (NIED) waveform data, Shimojo et al. (2014) revealed an immediate post-Tohoku seismicity activation in an area located about 10 km south of the M_w 6.2 Northern Nagano source region. They also detected a few foreshocks close to the hypocenter of the M_w 6.2 mainshock, within one hour before the occurrence of the moderate-size event. However, the physical processes that led to the occurrence of the M_w 6.2 earthquake remained unclear. In this study we take advantage of the data recorded by a dense temporary seismic network operated by NIED from 2008 to 2012 to reveal with an unprecedented resolution the nucleation process that culminated with the occurrence of the Northern Nagano earthquake.

Data and Method

We use the waveform data of the NIED “Hizumi” temporary network, with station spacing of about 5 km or less in the study area. The data recorded by the permanent Hi-net stations (spacing of about 20 km) complements that of the dense regional network. We have first picked P- and S-wave arrivals of earthquakes on the continuous seismograms and use the pick data to locate the events. The earthquakes were then relocated using the tomoDD software (Zhang and Thurber, 2003) and a 3D velocity structure in the region (Sekiguchi et al., 2013). The newly located earthquakes were further used as MFT templates to search for new events within the 13-hour time interval, in the hypocentral region of the M_w 6.2 earthquake.

Results and Discussion

We have detected a total of 285 earthquakes in the source region of the M_w 6.2 event. The earthquakes are relatively small, with magnitudes less than 2.5, and distribute within two spatially distinct clusters: one of these clusters was located close to the hypocenter of the M_w 6.2 event (“West” area), the other about 5 km to the east (“East” area).

In the “East” the seismicity starts within one hour after the Tohoku-oki earthquake. The events occur off the M_w 6.2 fault and expand with time from shallow towards deep locations. In the “West” the seismicity starts immediately after the passage of surface waves excited by a moderate earthquake in the Tohoku-oki aftershock area, which occurred 21 minutes after the M_w 9.0 megathrust; most of these events distribute along the fault line of the M_w 6.2 mainshock. Within the “West” seismicity area, a tight sub-cluster that occurred in the immediate vicinity (within about 2 km) of the M_w 6.2 hypocenter was strongly activated

twice: about 3 hours before and 50 minutes before the mainshock, respectively.

In both “West” and “East” areas some events occurred during or immediately after the passage of surface waves from some $M_{JMA} \geq 6.0$ Tohoku-oki aftershocks. In particular, the final activation in the “West” starts during the passage of surface waves from a moderate event occurred off-shore Fukushima and continues until the occurrence of the Mw6.2 Nagano earthquake. Such activations may indicate that successive dynamic stress changes caused by the remote Tohoku-oki mainshock and its subsequent aftershocks contributed to the weakening of the seismogenic region in northern Nagano, culminating with the Mw6.2 earthquake. Excitation of crustal fluids might have been at least partly involved, as revealed particularly by the migration pattern of activated seismicity in the “East” .

キーワード：2011年長野県北部の地震、稠密地震観測網、マッチングフィルター法、動的応力変化

Keywords: the 2011 Northern Nagano earthquake, dense temporary regional network, Matched-Filter Technique, dynamic stress change

Investigation of the foreshock and aftershock sequence of the 2012 Mw 7.4 Ometepec earthquake using fingerprint and matched filter techniques

*Luis A Dominguez¹, Taka'aki Taira², William Frank³, Clara Yoon⁴, Miguel Angel Santoyo¹, Denis Legrand¹, Arturo Iglesias¹

1. National Autonomus University of Mexico (UNAM), 2. University of California, Berkeley (UCB), 3. Massachusetts Institute of Technology (MIT), 4. Stanford University

On March 20 2012, the Mw 7.4 Ometepec earthquake ruptured a section of the Middle America Trench. This event triggered an unusually large aftershock sequence (UNAM seismology group 2013), and was widely felt across central and southern Mexico. Four months before the mainshock, an equivalent magnitude Mw 6.9 slow slip event (SSE) began and migrated towards the rupture zone reaching its maximum slip one month before the earthquake (Graham et al. 2014). One day and a half days, a temporary aftershock seismic network, consisting of 6 broadband 100Hz temporary stations, was installed to monitor the resulting increase in seismicity. We process the data, from this deployment and the permanent stations nearby, to track the occurrence of the characteristic repeating earthquake sequence and the evolution of the seismic activity prior to the event and at the onset of the postseismic relaxation. A previous study showed that numerous characteristic repeating sequences appear along the strike of the subduction zone from the shallow section of the trench up to 20km depth (Dominguez et al. 2016. JGR). As a result of strain release, we found a significant number of previously unobserved repeating sources seismicity appeared along the rupture zone, and previously reported sequences shortened their recurrence time intervals. We searched for characteristic repeating earthquakes hidden in the coda of the mainshock, and scanned for unreported events using both fingerprint (Yoon et al., 2015) and matched filter analysis. Our analysis focuses on evaluating the long-term slip rate inferred from the characteristic repeating earthquakes, unreported seismicity, and the evolution of the SSE rupture that led to the Mw 7.4 mainshock.

Keywords: Characteristic repeating earthquakes, 2012 Ometepec earthquake, Matched filter, Fingerprint

2011年と2016年に茨城県北部で発生した正断層型の地震について — InSAR観測により捉えられた瓜二つの地震 —

Normal-faulting earthquakes in the northern area of Ibaraki Prefecture in 2011 and 2016 - Duplicate events detected by InSAR observations -

*小林 知勝¹

*Tomokazu Kobayashi¹

1. 国土交通省国土地理院

1. GSI of Japan

はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震以降、福島県浜通りから茨城県北部にかけての地殻内では、正断層運動を伴う地震が多発してきた。地震活動が活発化したこの地域では、これまでMj5以上が30回（内Mj6以上は4回）発生してきたが、Mj5以上の地震は2014年1月以降（Mj6以上は2011年5月以降）発生していない。このような背景の下、平成28年（2016年）12月28日21時38分頃、茨城県北部でM_j6.3の規模の地震が発生した。この地震の翌日には、ALOS-2衛星によるSAR観測が実施され、干渉SAR解析により地殻変動が捉えられた。この地震において興味深い点は、得られた地殻変動の場所・分布・規模が、2011年3月19日に発生した地震（Mj6.1）に伴う地殻変動とほとんど同じという大変稀有な観測事例であったことである。本発表では、2016年12月に発生した地殻変動と推定された震源断層モデルの特徴を示し、2011年3月の地震との類似性について紹介する。

地殻変動と震源断層モデル

2016年12月29日と同年11月17日に撮像されたALOS-2データを用いて干渉SAR解析を行い、地殻変動を抽出した。地殻変動は北茨城市市街地から西約10kmの領域に集中しており、南北に長く分布している。最大約27cmの衛星－地表間の距離伸張が観測された。最大の地殻変動が観測される領域では、長さ約2kmの変位の不連続が明瞭に認められ、この領域では地表付近まで断層滑りが生じていることが強く示唆された。得られた地殻変動をもとに、矩形断層面上の一樣滑りを仮定した震源断層モデルを構築した。広域の地殻変動と変位の不連続を示す局所的な地殻変動を説明するために、2枚の断層面を仮定した。得られた断層モデルから、南西傾斜の断層面（傾斜角50～60°）、北北西（北西）－南南東（南東）方向の走向、正断層型の断層運動、最大変位域の直下のごく浅部に局所的な滑り、等の特徴が挙げられる。広域の地殻変動は、深さ約2kmを断層上端として北北西－南南東走向で約8kmの断層長を持つ断層の滑りにより説明される。M_wは5.83であった。一方、変位の不連続をもたらず浅部の断層滑りが上記断層の北東部に求められ、M_wは5.15であった。全体のM_wは5.85である。余震は推定された震源断層の周囲で主に発生しており、断層近傍では余震活動は高くない。

2011年3月19日の地震（Mj6.1）との比較

この地震で興味深い点は、2011年3月19日に発生した地震（Mj6.1）で観測された地殻変動と非常によく似ていることである。2011年の地震では、ALOS衛星による干渉SAR解析が行われ、ほぼ同じ場所に南北に広がる地殻変動が観測された（Kobayashi et al. 2011）。この時も最大の地殻変動が観測される領域では、変位の不連続が認められたが、驚くべきは、その変位不連続の位置も長さも2016年の地震とほとんど同じことである。地表浅部の断層滑りがほぼ同じ場所で起きたことが強く示唆される。2011年の時も、余震は推定された断層の周囲で主に発生しており、断層近傍では余震活動が高くなかった。

謝辞：これらのデータは、地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループ（地震WG）を通じて、（国研）宇宙航空研究開発機構（JAXA）から提供を受けました。ここで使用しただいち2号の原初データの所有権

は, JAXAにあります.

キーワード : InSAR、地殻変動、正断層型地震、茨城県北部

Keywords: InSAR, crustal deformation, normal fault earthquakes, Northern Ibaraki

2016年10月21日鳥取県中部の地震に伴う地震活動 ～Matched Filter Methodによる同時進行的解析～

Seismic Activity in the central Tottori prefecture with an M6.6 earthquake on October 21, 2016 detected by the Matched Filter Method

*大見 士朗¹

*Shiro Ohmi¹

1. 京都大学防災研究所地震防災研究部門

1. Earthquake Hazards Division, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

§はじめに：2016年10月21日14時07分に鳥取県中部において気象庁マグニチュード6.6の地震が発生し、その後活発な地震活動がみられた。本報告では、10月21日から11月30日までの期間の地震活動の推移をMatched Filter Method (MFM)を用いて解析した結果を報告する。本解析の目標は、本手法により地震活動の推移を現象とほぼ同時進行にかつ効率的に把握できるかどうかを試みることである。解析には、大見(2015)による、MFMによる地震検出と震源決定を組み合わせた手法を用いた。

§対象地域とデータ解析の概要：Fig.1に今回報告した対象地域を示す。使用したデータは震源域周辺の、防災科研、気象庁、京都大学により運用されている微小地震観測点11点のものである。MFMでのイベント検出は、対象とする地震とテンプレート地震（以下、TP地震）の距離が大きい場合や、両者のマグニチュードの差が大きい場合には検出効率が低くなることがある。そのため、ここでは、従来からのSTA/LTA方式でトリガ判定を行う自動処理結果からS/Nのよいものを選び出してTP地震の候補とし、既存TP地震との震央距離が2.5km以上、マグニチュードの差が1.0以上の地震が発生した場合にはそれを新たなTP地震として使用することとした。新たなTP地震の選定のたびに既存のTP候補地震群と比較し、TP候補地震群の更新を行ったうえで新規TP地震の選定を継続した。この条件で選定されたTP地震は10月21日から11月6日までの期間で37個、11月30日までの全期間で40個であった。新規TP地震が選定された場合には、そのTP地震で期間中の全データのスキャンを行い、新規TP地震によるイベントの検出と全イベントリストの再構成を行った。Fig.1にはこれらのTP地震の分布も示す。

§解析結果と考察：Fig.2にMFM解析の結果による10月21日から11月6日までの震源分布およびその時空間分布を示す。また、比較のため、気象庁カタログ（以下、JMAと記す）による同時期の震源分布等をFig.3に示す。Fig.3には、気象庁震源リストから、フラグK, k, Aが付されているものを選択してプロットした。使用した気象庁カタログは、2016年11月初旬現在の速報値である。MFMによる解析（Fig.2）では、10月21日から11月6日までの16日間に、この期間内に発生した37個のTP地震によって約7000個の地震が検出・震源決定された。それによれば震源域には主にNNW-SSE方向に分布するクラスタが本震を含むクラスタを含めて複数個認められる。これに対しFig.3（JMA）では、本震を含むクラスタを除き、Fig.2（MFM）で見られたNNW-SSE方向に分布する複数のクラスタは明瞭ではない。また、本震を含むクラスタの南西側にも震源が分布し、これらはFig.2（MFM）ではNNW-SSE走向のクラスタ構造を呈するがFig.3（JMA）では明瞭ではない。また、Fig.2（MFM）で見られる最も北東側のクラスタに相当するものはFig.3（JMA）でははっきりとは認識できない。逆に、Fig.3（JMA）では本震を含むクラスタの南東端からそれにほぼ直交して延びるクラスタが認められるがFig.2（MFM）ではこれは分離したクラスタとなっており明瞭ではない。MFMの結果は自動処理結果であることから、MFMで認識されてもJMAで認識されていない震源クラスタは解析上の虚像である可能性があり、今後個別の震源データを比較・精査することは必須である。しかしながら、今回の解析では約40個というひじょうに少数のTP地震の選定によって得られたMFM解析の結果の特徴と、精査を経たJMAの解析結

果の特徴に共通点も多く見られることから、群発地震の進行中のその概要を同時進行的に把握するための手段として本手法は有用であると考えられる。

キーワード：鳥取県中部の地震、マッチドフィルター法、半自動震源決定処理

Keywords: Central Tottori earthquake, Matched Filter Method, pseudo-automatic hypocenter locating system

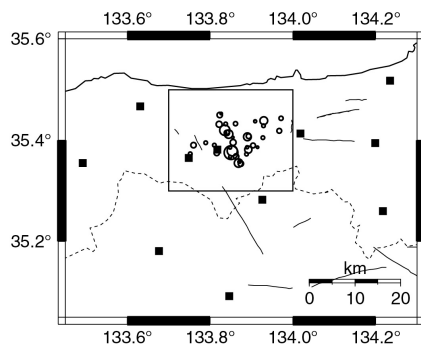


Fig.1

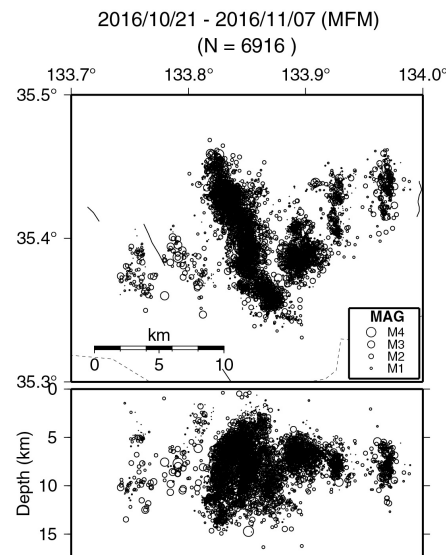


Fig.2

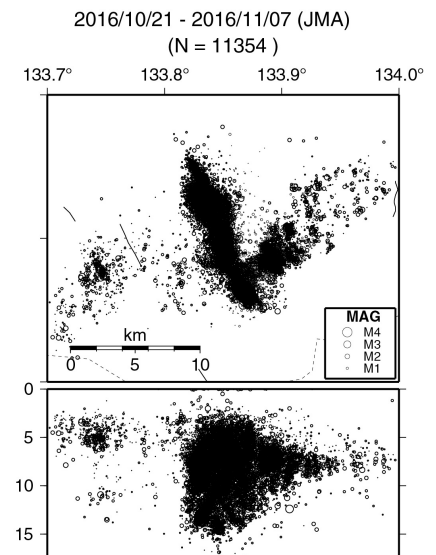


Fig.3

自動処理を活用した一元化震源から推定された前震・余震活動の特徴抽出 Characteristics of the foreshocks and aftershocks activity inferred from the JMA seismic catalog improved by automatic processing

*溜淵 功史¹、八木 勇治²

*Koji Tamaribuchi¹, Yuji Yagi²

1. 気象研究所、2. 筑波大学

1. Meteorological Research Institute, 2. University of Tsukuba

地震活動について研究する上で、GR則に従うMの下限 (M_c : completeness magnitude) が下がることは重要な意味を持つ。十分な地震数があれば、ETAS解析による地震活動解析やバックグラウンドの地震活動変化の検出、b値解析による応力状態の推定が高い時空間分解能で行うことが可能になる。また、一般に活動が低調な前震活動の特徴を理解する上でも、より小さな地震を検出することは重要である。2016年4月に新しい自動処理手法(溜淵・他, 2016) によって改善された一元化震源が開始し、従来のカタログに比べて約2倍の震源決定数となった。ただし、熊本地震では余震の数が膨大で、目視による確認作業をリアルタイムに行うことが困難なため、現時点で必ずしも検知された全ての地震がカタログ化されているわけではない。そこで、自動処理がリアルタイムに規模の小さい地震も活用できることを利用して、一元化震源と自動震源を併用したマージカタログデータを作成した。本研究では、この地震数が多いマージカタログから、従来十分な検討が行われていなかった微小地震活動を含めた前震・余震活動の特徴抽出を行った。このようなビッグデータから地震活動を解析するためには自動的なクラスタリング手法が有効であり、すでに多数の手法が提案されている。本研究では、地震クラスターの同定にZaliapin and Ben-Zion (2013) による最近傍法による解析を行った。また、解析には、この手法を多数の地震数にも適用できる様に工夫したプログラム (Kasahara, 2016) を使用した。この手法は、震央距離、時間差、マグニチュードを使用して震源間の距離を定義し、客観的かつ自動的に地震活動をクラスタリングするものである。得られた震源間の距離のヒストグラムはバイモーダルになり、既往研究と同等の閾値で自動的に地震活動をクラスタリングできることが確認できた。次に、このクラスタ情報を用いて、前震・本震・余震を抽出し、b値などの統計量の解析を行った。特に前震が50イベント以上存在する5系列に対してb値を算出し、前震と余震のb値を比較すると、熊本地震と10月の鳥取県中部の地震活動の2系列では、有意に前震のb値が低いことが明らかになった。この低いb値は、前震活動時の応力の高まりに対応する可能性がある。一方で、前震と余震のb値の変化がほぼないクラスタも多数存在することが分かった。今後、自動処理による震源カタログの充実により、前震や余震活動の特徴がより明確になることが期待される。

キーワード：地震クラスタリング、b値、自動処理、前震

Keywords: Earthquake Clusters, b value, automatic processing, foreshock

Magnitude-Frequency Characteristics of Seismicity Detected Using Template Correlation: Implications for Geographically and Geometrically Restricted Fault Source Scaling

*John Townend¹, Calum Chamberlain¹, Carolin Boese¹, Emily Warren-Smith^{1,2}, Laura-May Baratin¹, Martha K Savage¹, Chet Hopp¹, Konstantinos Michailos¹, Katrina Jacobs¹

1. Victoria University of Wellington, 2. GNS Science

The magnitudes of earthquakes detected using matched filters and other correlation-based methods commonly exhibit the power-law scaling relationships characteristic of seismicity in general. In particular, microearthquakes detected by individual templates in a variety of tectonic settings typically have Gutenberg-Richter magnitude-frequency characteristics with exponents of ~ 1 that are similar to those of conventional seismicity catalogues representing much larger crustal volumes and diverse focal mechanisms. In this presentation, we show examples of Gutenberg-Richter magnitude-frequency distributions for microearthquakes detected using individual templates in tectonically different parts of New Zealand (Taupo Volcanic Zone, central Alpine Fault, Southern Lakes) using magnitudes calculated using singular value decomposition. By design, the earthquakes detected by correlation with a specific template must produce similar waveforms to the template at multiple stations. Consequently, they must have similar hypocenters and focal mechanisms, and this implies that the observed magnitude-frequency scaling of earthquakes detected with individual templates must pertain to a geographically (x, y, z) and, importantly, a geometrically (ϕ, δ, λ) restricted set of sources. By characterizing the magnitude-frequency characteristics of microearthquakes detected by specific templates, controls on earthquake scaling can be studied in increasing detail on individual faults without contamination from adjacent structures.

Keywords: New Zealand, matched-filter, earthquake detection, magnitude-frequency distribution, correlation-detection

地震群のマグニチュード頻度と時空間の特徴量を利用した前震判別モデルによる短期地震予測

Short-term forecast by foreshock discrimination models using magnitude frequency and spatio-temporal features of seismic clusters

*野村 俊一¹、尾形 良彦^{2,3}

*Shunichi Nomura¹, Yosihiko Ogata^{2,3}

1. 東京工業大学情報理工学研究科、2. 東京大学地震研究所、3. 統計数理研究所

1. Graduate School of Information and Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. The Institute of Statistical Mathematics

前震活動は、本震を短期的に予測するための有力な手掛かりの1つである。多くの大地震には前震が先行しているが、本震発生前に前震を断定することは非常に困難であり、確率的な予報のみが可能となっている。ロジスティック回帰は、観測される特徴に基づいた事後的な所属確率評価を必要とした2値分類問題へと適した統計的学習手法である。統計的学習手法は、更新される地震カタログから識別性の高い特徴を学習し、確率的判別をリアルタイムで与えることができる。これまで多くの研究により、前震におけるb値の低下や地震活動の冪乗的な増加などの特徴が報告されている。本研究ではそれらの特徴を利用して前震群を他の地震群と判別する非線形ロジスティック回帰モデルを構成する。JMA震源カタログから地震群をsingle-link clustering法により構築し、そこから時空間的な特徴量とマグニチュード頻度に関するパラメータを前震識別のために抽出する。カタログを2つの期間へと分け、前の期間からモデルパラメータを学習し、学習されたモデルの予測性能を後ろの期間にて評価する。さらに、本震マグニチュードに極値分布を当てはめることにより、一定以上のマグニチュードをもつ本震発生確率をも評価する。2016年熊本地震（M7.3）の前震系列に対して、学習されたモデルは比較的高い確率予測を与えている。

キーワード：前震、短期予測、ロジスティック回帰、極値分布

Keywords: foreshock, short-term forecast, logistic regression, extreme value distribution

Distribution of slab-fluids around the edge of the Philippine Sea Plate in Central to Northeast Japan

*中村 仁美^{1,2,3}、岩森 光^{1,2}、石塚 治⁴、西澤 達治²

*Hitomi Nakamura^{1,2,3}, Hikaru Iwamori^{1,2}, Osamu Ishizuka⁴, Tatsuji Nishizawa²

1. 海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野、2. 東京工業大学・地球惑星科学専攻、3. 千葉工業大学・次世代海洋資源研究センター、4. 産業技術総合研究所・活断層火山研究部門

1. Department of Solid Earth Geochemistry, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 3. ORCeNG, Chiba Institute of Technology, 4. Geological Survey of Japan, Natural Institute of Advanced Industrial and Technology

Marginal parts and edges of a plate and subducting slab may play important roles in geodynamics, because those are the places where the plate interacts with other plates or with the mantle: Thermal, geochemical and mechanical interactions are expected. The Philippine Sea slab (PHS slab) that subducts beneath the Japan arcs has such an edge. To examine the relationship between the arc magmatism and the slab edge in the transition zone from Northeast Japan to Central Japan, we have investigated isotopic systematics of the volcanic rocks in the area, including both the data from literature and the new data for five isotopic ratios of Sr, Nd and Pb. The new data include major element compositions of 22 samples from the back-arc area where a few petrological data were available and five isotopic ratios for the selected 6 samples from Pleistocene to early Quaternary epoch. As a result, a detailed spatial variation of the isotopic ratios can be discussed for Northeast to Central Japan. On the basis of the spatial variation of the isotopic ratios and the estimated amount of slab-derived fluid, we found (1) the amount of fluid derived from the two subducting slabs (i.e., the Pacific slab and the Philippine Sea slab) decreases from a significantly high value (~5 wt.% fluid added to the source mantle) to the north away from the seismically determined edge of the PHS slab, (2) the proportion of the PHS component in the total slab-derived fluid also decays northward, and (3) the PHS component spreads to the north beyond the edge of PHS slab. These observations strongly suggest that the aseismic Philippine Sea slab exists beneath the southernmost Northeast Japan to deliver the PHS component to the arc magmatism. In addition, the double subduction of the two slabs generate enhanced suction force at the corner region near the edge of PHS slab, which may account for the fluid focusing as described (1) above.

キーワード：プレートエッジ、スラブ、フィリピン海プレート、中部日本

Keywords: edge, slab, Philippine Sea Plate, central Japan

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出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、神薊 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

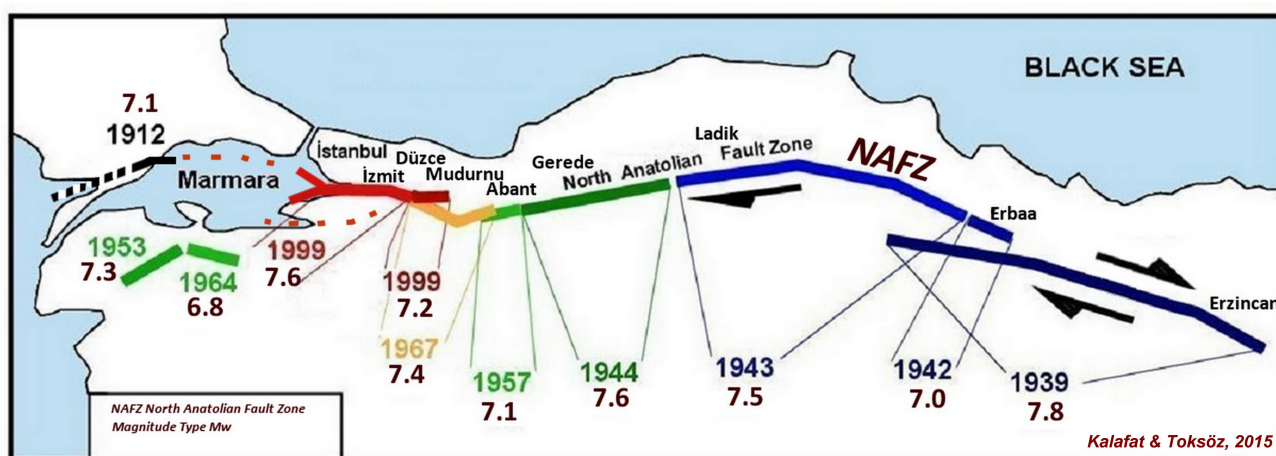
1. Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Cengelkoy, Istanbul Turkey, 2. Massachusetts Institute of Technology, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, 77 Massachusetts Avenue, 54-614, Cambridge, MA 02139 USA

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