

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

\*江口 孝雄<sup>1</sup>

\*Takao Eguchi<sup>1</sup>

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<sup>1</sup>、林元 直樹<sup>2</sup>、明田川 保<sup>3</sup>

\*Sumio Yoshikawa<sup>1</sup>, Naoki Hayashimoto<sup>2</sup>, Tamotsu Aketagawa<sup>3</sup>

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停滞時(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<sup>1</sup>、佐藤 比呂志<sup>1</sup>

\*Akinori Hashima<sup>1</sup>, Hiroshi Sato<sup>1</sup>

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のがわかる。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 Yano<sup>1</sup>, Makoto MATSUBARA<sup>1</sup>

1. National Research Institute of Earth Science and Disaster Prevention

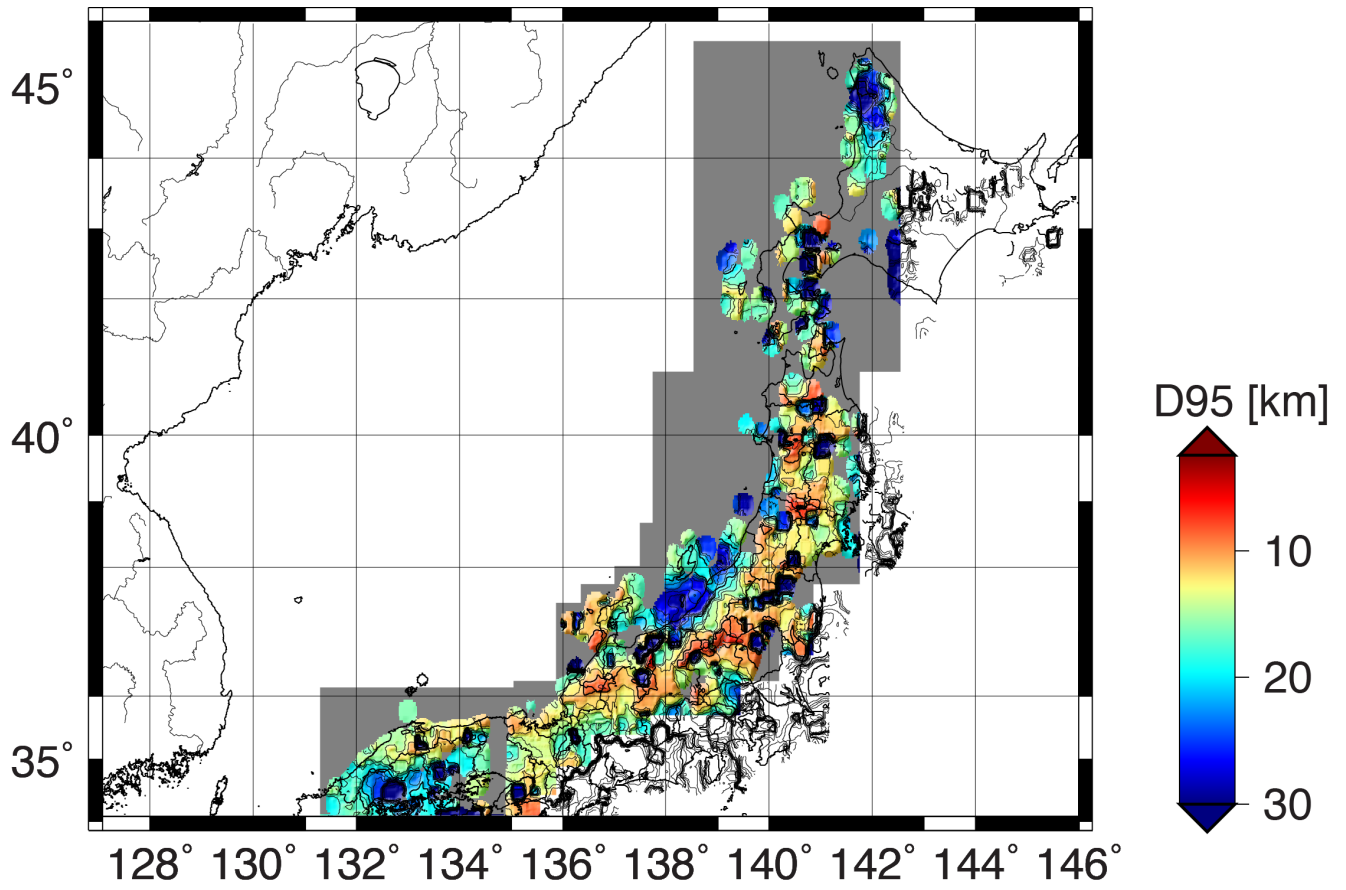
The width of source faults relate to their size of earthquakes. Understanding the high-resolution seismogenic layer is important parameter for the earthquake hazard assessment because it can estimate the seismogenic width of the particular active faults. Heat flow, geothermal gradient, and D90 (the depth 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<sup>1</sup>、Enescu Bogdan<sup>2</sup>、八木 勇治<sup>3</sup>、武田 哲也<sup>4</sup>

\*Kengo Shimojo<sup>1</sup>, Bogdan Enescu<sup>2</sup>, Yuji Yagi<sup>3</sup>, Tetsuya Takeda<sup>4</sup>

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 Dominguez<sup>1</sup>, Taka'aki Taira<sup>2</sup>, William Frank<sup>3</sup>, Clara Yoon<sup>4</sup>, Miguel Angel Santoyo<sup>1</sup>, Denis Legrand<sup>1</sup>, Arturo Iglesias<sup>1</sup>

1. National Autonomus University of Mexico (UNAM), 2. University of California, Berkeley (UCB), 3. Massachusetts Intitute 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<sup>1</sup>

\*Tomokazu Kobayashi<sup>1</sup>

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<sub>j</sub>6.3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、矩形断層面上の一様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<sub>w</sub>は5.83であった。一方、変位の不連続をもたらす浅部の断層滑りが上記断層の北東部に求められ、M<sub>w</sub>は5.15であった。全体のM<sub>w</sub>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<sup>1</sup>

\*Shiro Ohmi<sup>1</sup>

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

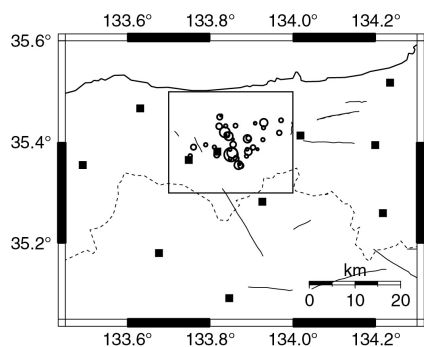


Fig.1

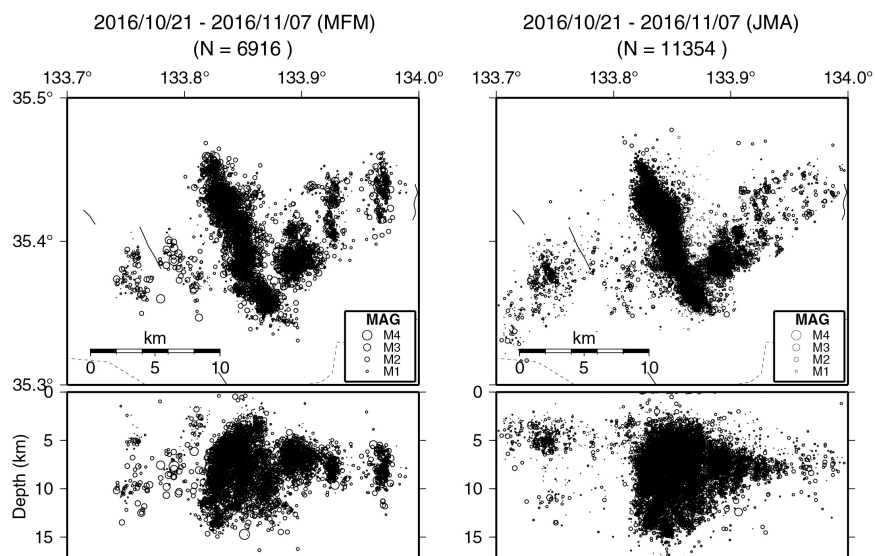


Fig.2

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<sup>1</sup>、八木 勇治<sup>2</sup>

\*Koji Tamaribuchi<sup>1</sup>, Yuji Yagi<sup>2</sup>

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 (Mc: 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 Townend<sup>1</sup>, Calum Chamberlain<sup>1</sup>, Carolin Boese<sup>1</sup>, Emily Warren-Smith<sup>1,2</sup>, Laura-May Baratin<sup>1</sup>, Martha K Savage<sup>1</sup>, Chet Hopp<sup>1</sup>, Konstantinos Michailos<sup>1</sup>, Katrina Jacobs<sup>1</sup>

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  $\sim 1$  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 ( $\phi, \delta, \lambda$ ) 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<sup>1</sup>、尾形 良彦<sup>2,3</sup>

\*Shunichi Nomura<sup>1</sup>, Yosihiko Ogata<sup>2,3</sup>

1. 東京工業大学情報理工学研究所、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<sup>1,2,3</sup>、岩森 光<sup>1,2</sup>、石塚 治<sup>4</sup>、西澤 達治<sup>2</sup>

\*Hitomi Nakamura<sup>1,2,3</sup>, Hikaru Iwamori<sup>1,2</sup>, Osamu Ishizuka<sup>4</sup>, Tatsuji Nishizawa<sup>2</sup>

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