

The relationship between Soliton and Seismic Wave and the center of 2011 TOHOKU Great Earthquake.(Science of form)

The relationship between Soliton and Seismic Wave and the center of 2011 TOHOKU Great Earthquake.(Science of form)

\*西澤 勝<sup>1</sup>

\*Masaru Nishizawa<sup>1</sup>

1.なし

1.none

1. Preface : We had feelled two strong earthquake north of Fukusima Prefecture in the earthquake of 2011 the TOHOKU District Pacific Ocean Earthquake.

In this paper, in this second strong earthquake, the soliton was occurred. (Fig.-1) Still more the second strong earthquake was occurred along the axis of the Japan trench. I could proved two methods.

2. The relationship between Soliton and the center of this earthquake.

At K-NET Oshika (MYG011)(Fig.-1), the epicenter length is 121km. This center is first earthquake motion in seismic wave.

Depend on reference (2), Slip Progression in terms of ship amount is spreading off the coast of MIYAGI Prefecture and is spreading to the north part direction along the axis of the Japan trench after 50 seconds. After 60 secs~100secs, large slip is spreading off the coast from the southern part IWATE prefecture to the north part of FUKUSHIMA prefecture along the axis of the Japan trench. (Fig-4 in reference (2))

In this reference, the total moment rate function (fig-5 in reference (2)) showes Soliton. It is as clear as day. (refer to Fig.-1)

This peak point happened before and after the 80 sec of Seismic moment rate. Therefore this reference showes the second earthquake motion along the axis of the Japan trench.

3. Relationship between Soliton and still more location of the second strong earthquake motion and Seismic Wave.

At K-NET Tsukidate (YYG004) or K-NET Oshika (MYG011), strong-motion accelerograms continues for two earthquake motions in Seismic Wave. In short, the first seismic wave peak and the second seismic wave peak quaked continuous motion. Two strong motion with a small continuous shocks of an earthquake in between exist. For that reason, the second earthquake motion had happened off the coast of the first earthquake motion.

Abstract

1. Strong-motion accelerograms recorded at K-NET Tsukidate (MYG004) or Oshika (MYG011 and others) express clearly a continuation of two earthquake motion.

Therefore the second earthquake motion had happened off the coast of the first earthquake motion. And still more the second earthquake motion was occurred along the axis of the Japan trench. It is an earthquake directly above its epicenter. That's perfectly right.

2. the total moment rate function (Fig.-5 in reference (2)) shows Soliton.

Reference

1) Sekiguchi, H., Irikura, K., and Iwata, T. (2000): Fault geometry at the rupture termination of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake. Bull. Seismol. Soc. Am., 90-1, 117-133, doi:

10.1785/0119990027

2) Wataru SUZUKI, Shin AOI, Haruko SEKIGUCHI, and Takashi KUNUGI. (2012): Source Rupture Process of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Derived from Strong-Motion Records. Bull.

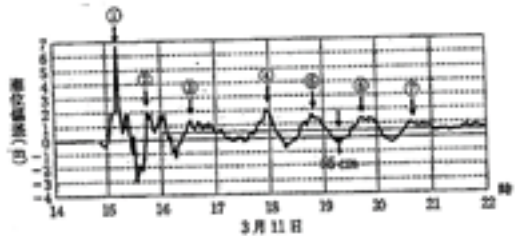
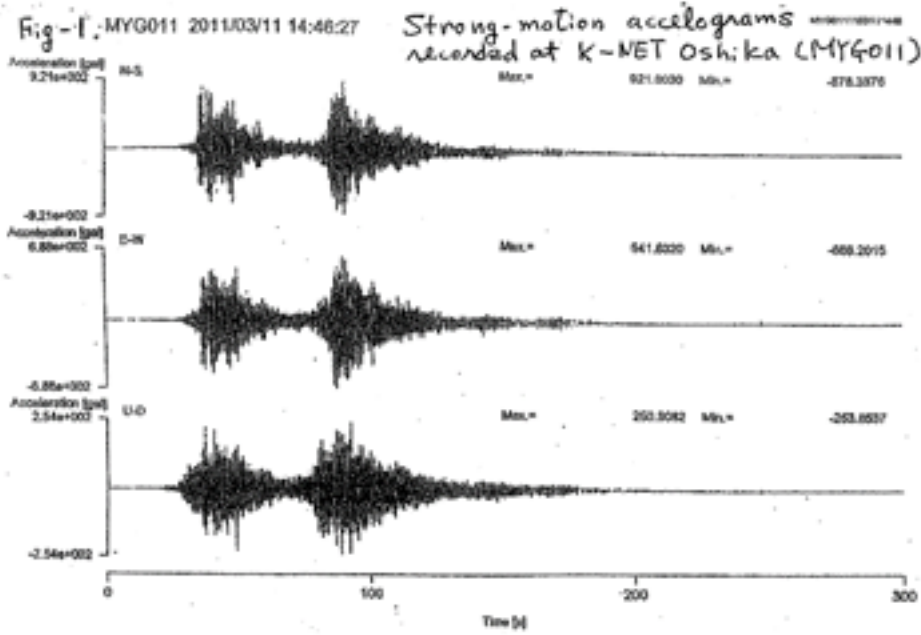
Research Report on the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster.: March 2012, Natural Disaster Report No. 48: National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan.

3) Masaru Nishizawa. (2013): The Relationship between in GPS wave gage and Seismic Wave of 2011 the Tohoku District Pacific Ocean Earthquake.: May 19-24 2013 JpGU

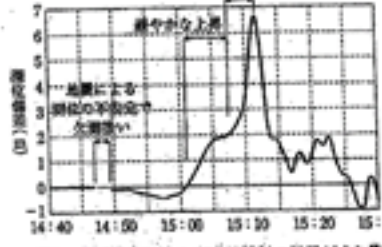
キーワード : 2011 the TOHOKU District pacific Ocean Earthquake、Two strong earthquake motion、Soliton、Total moment rate、Science of Form

Keywords: 2011 the TOHOKU District pacific Ocean Earthquake, Two strong earthquake motion, Soliton, Total moment rate, Science of Form

防災科学技術研究所主要災害調査 第48号 2012年3月



Soliton ① is recognized in GPS wave gage of 2011 the Tohoku District Pacific.



Written by Kazuo Oike.  
"Great Earthquake of the Japan Islands"  
Iwanami Science Library.  
-185, P10.

尾池和夫著「日本列島の巨大地震」  
岩波科学ライブラリ-185, P10.

① + Soliton ② ~ ⑦: Break down of Solitary Wave Solitons.

Reference  
"Hydrodynamics"  
Written by Mikio Hino. Asakura publisher. 1992

参考: 日野幹雄著「流体力学」  
朝倉書店. 1992

## ブータン王国の国家地震観測網の構築支援

## Design and Implementation of the National Seismic Monitoring Network in the Kingdom of Bhutan

\*大見 士朗<sup>1</sup>、井上 公<sup>2</sup>、チョフェル ジャミアン<sup>3</sup>、ナムゲイ キンレイ<sup>3</sup>、ドゥルクパ ダウチュ<sup>3</sup>\*Shiro Ohmi<sup>1</sup>, Hiroshi Inoue<sup>2</sup>, Jamyang Chopel<sup>3</sup>, Kinley Namgay<sup>3</sup>, Dowchu Drukpa<sup>3</sup>

1.京都大学防災研究所地震防災研究部門、2.防災科学技術研究所、3.ブータン王国経済産業省地質鉱山局

1.Earthquake Hazards Division, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 3.Department of Geology and Mines, Ministry of Economic Affairs, Kingdom of Bhutan

## 1. はじめに

ブータンヒマラヤ地域は、インド亜大陸とユーラシア大陸の衝突帯に位置しており、その地学的環境から地殻活動が活発であると考えられている。たとえば、2015年4月のネパール地震(M7.8)や2016年1月のインド・インパールの地震(M6.8)などはこれらの地震活動の例であり、ブータンヒマラヤ地域の中心に位置するブータン王国国内でも有感地震となった。しかしながら、同国においては、いまだに組織的な地震観測研究等がおこなわれておらず、国内および周辺地域の地震活動等の詳細は未知のままである。本計画では、ブータンヒマラヤ山麓に位置する、九州ほどの大きさの国であるブータン王国の国家地震観測網の設置を支援し、同国の地震防災に資するとともに、その観測データ解析結果に基づいてこの地域の基本的なサイスマテクトニクスを明らかにすることを主たる目的とする。

## 2. 学術的背景

ブータンヒマラヤは、パキスタン、ネパールなどとともにユーラシアプレートとインド亜大陸（インドプレート）の衝突帯に位置している。インドは、相対速度年間約50mmでユーラシアプレートに衝突しているが、それによって生ずるエネルギーのうち40%がインドプレートのユーラシアプレート下への沈み込みに、残り60%がユーラシアプレートの変形に費やされるとされる。後者は、変形のみでなく、この地域での地震発生によっても解消されており、これにより、インド・ユーラシア両プレートの衝突帯は世界有数の地震帯ともなっている。インド・ユーラシア衝突帯の西部に位置するパキスタンでは、2005年にM7.6の地震が発生し、9万人を超える死者が出たほか、ネパールでは2015年4月のM7.8の地震により8,千人を超す死者が出るなど、地震災害の記憶が新しい。これに対し、東部のブータンは地震活動の空白域であるという指摘もあり、南隣のインド・アッサム地方で1897年に発生したM8.3のシロン地震等、近隣の大地震の記載はあっても、20世紀中にはブータン国内にはM7を超える地震は発生していないとされている。ところが、2009年9月に、ブータン東部を震源とするM6.1の直下型地震が発生し、1907年のブータン王国成立以降、初めての死者を伴う地震災害が発生した。これに加え、2011年9月には、西隣のインド・シッキム州でM6.9の地震が発生したことにより、ブータン西部のパロ県を中心に、死者こそ出なかったものの、建築物に大きな被害が発生するなど、ブータンヒマラヤ周辺での地震活動の活発化が予想される状況となっている。また、最近では2016年1月に、ブータンの東方にあたる、インド・ミャンマー国境近傍のインパール地方の地震(M6.8)などがブータン国内で有感となり、東部ブータンの一部で建造物に被害が出たことが報告されている。

## 3. これまでの経緯

2009年や2011年の国内での地震被害の発生を受け、ブータン政府は、2013年度、世界銀行より日本開発政策人材育成基金(PHRD)技術協力(TA)の資金を得て「災害軽減と復興のためのプログラム」を開始し、同国経済産業省地質鉱山局(DGM, Department of Geology and Mines, Ministry of Economic Affairs)がその任に当たっている。我々は同プログラムの地震危険度評価のためのコンポーネントの内容の立案に協力するという形で、同国の国家地震観測網の構築を進めている。

## 4. 観測網の詳細

PHRD資金によりDGMは6点から成る観測網を構築中である。これらの観測点には、それぞれに短周期高感度地震計3成分、強震計3成分、さらに広帯域地震計3成分を設置する。これらの観測点は、太陽電池パネルと蓄電池を組み合わせた電源システムで駆動する。得られたデータは、ブータン国内の国営通信事業会社であるBhutan

Telecom Ltd. (BT)の全面的な協力の下、観測点から直近のBTのオフィスまでは無線で、そこから首都ThimphuのDGMのオフィスまでは、BTのバックボーン回線を使用してリアルタイムで伝送する。データ解析には、チューリッヒ工科大学(ETH)で開発され、グローバルな地震観測網の標準的なデータ処理システムとなっているSeisComp3を使用する。これは、近隣諸国で運用される観測網のデータを容易に統合できるようにするためである。

#### 5. プロジェクトの現状について

2015年秋に、最初の常時テレメータ観測点である、首都Thimphuの観測点が稼動を開始し、その連続データはすでにDGMのデータサーバに蓄えられつつある。2016年春には、中部ブータンのBumthangの観測点が稼動を開始する予定である。これらに加え、2015年夏より、テレメータ観測網をサポートするためのオフライン観測点が、Wangdu (中部ブータン) およびGasa (北部国境近傍) の2点で稼動している。また、本計画は、当初はPHRDによる財政的サポートのみで始まったものであるが、その後、東南アジア等の津波早期警戒網等の構築を行っている国連組織であるRIEMS (Regional Integrated Multi-Hazard Early Warning System for Africa and Asia)からの観測網構築支援の申し出があり、それらの機関との調整も行っている。これらの観測点を統合すると、九州ほどの大きさの国土に10数点からなる観測網が完成する予定で、同国の地震防災のための基礎データの取得のみならず、同地域のサイスモテクトニクス研究に資するデータを得られることが期待される。

キーワード：ブータンヒマラヤ、地震観測網

Keywords: Bhutan-Himalayan district, Seismic Observation Network

## 気象庁地震カタログの改善

### An improvement of JMA's earthquake catalog

\*高濱 聡<sup>1</sup>、溜瀨 功史<sup>1</sup>、森脇 健<sup>1</sup>、秋山 加奈<sup>1</sup>、廣田 伸之<sup>1</sup>、山田 尚幸<sup>1</sup>、中村 雅基<sup>1</sup>、橋本 徹夫<sup>1</sup>

\*Satoshi Takahama<sup>1</sup>, Koji Tamaribuchi<sup>1</sup>, Ken Moriwaki<sup>1</sup>, Kana Akiyama<sup>1</sup>, Nobuyuki Hirota<sup>1</sup>, Naoyuki Yamada<sup>1</sup>, Masaki Nakamura<sup>1</sup>, Tetsuo Hashimoto<sup>1</sup>

#### 1. 気象庁

##### 1. Japan Meteorological Agency

気象庁では、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。

現在の地震カタログは、精査により一定の基準を満たしたものを掲載することとしている。しかし、東北地方太平洋沖地震後の余震域では余震活動は低下してきているものの以前と比べれば活発な状況にあり、処理対象地震の規模の下限を上げた処理を行っていることから、検知されても処理基準未満であるため地震カタログに掲載されない地震がある。

これに対処するため、平成25年度に同本部地震調査委員会の下で検討が行われ、1) これまでの検知能力は維持し、2) 検知された地震のすべてを地震カタログへ掲載する、3) 精度に段階をつけた品質管理を行う、の3つの方向性を示した報告がまとめられた。

気象庁ではこの報告を踏まえ、自動震源を活用するなど、震源決定処理手順を変更し改善する。具体的には、領域と深さごとに精査を行う地震の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、現行通りに精査した震源決定を行い、Mth未満の地震については自動震源を基本とし、検知されても自動震源が求まらない地震については、最大10点程度の観測点を検出する簡易な手順により震源決定を行うことで、処理の効率を高める。精査される震源の目安は、内陸の浅い地震はM 2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を上げて最大でM 4以上とする。また、処理方法と精度の違いがわかるような登録フラグを新たに設ける。

ここでは、新たな地震カタログを用いて気象庁が作成する震央分布図等の資料について、具体例を紹介する。

キーワード：地震カタログ

Keywords: earthquake catalog

## 震源域データの作成－世界版－

## Compiling the source area data of large earthquakes in the world

\*石川 有三<sup>1</sup>\*Yuzo Ishikawa<sup>1</sup>

1.独立行政法人 産業技術研究所 活断層・火山研究部門

1.The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

## 1. はじめに

震源分布図を描く場合、ほとんど簡単なシンボルで震源を表していた。しかし、それでは規模の大きな地震については正確な広がりについて誤解を与えてしまう。そこで石川(2014)は、より正確な震源域データを作るため、一ヶ月間の余震分布域を活用してそれで震源域の代用とした。この方法を利用して環太平洋地域で発生した巨大地震の震源域データの作成した。このデータは、Takarada et al.(2014)でも利用し、それは現在印刷中の「東アジア地域地震火山災害図」(宝田ほか、2016)に活用されている。今回は、これを領域を拡大して世界の大地震に対して作成した。

## 2. データの作成

対象とした地震は、環太平洋版と同じく1970年以降のPDEカタログでマグニチュード7.5以上の深さ100km以浅のもの。それ以前では先に作成した、1938年アラスカ地震、1944年東南海地震、1946年南海地震、1952年カムチャッカ地震、1957年アリユーション(アンドレアノフ島)地震、1960年チリ地震、1964年アラスカ地震、1965年アリユーション(ラット島)地震、1968年十勝沖地震の他に、1905年インド北部地震、1920年中国・海原地震、1923年関東地震、1927年中国・古浪地震、1934年ビホール地震、1950年アッサム地震、1970年中国・通海地震、1976年中国・唐山地震、2015年ネパール地震などを追加した。

基本的に本震発生日から一ヶ月間の余震分布を囲むような領域を選んだ。領域を囲むときSeis-PC(中村・石川,2005)の領域切り出し機能を使ってポイントの緯度・経度を求めた。また、一ヶ月以内の大余震が発生していた場合、メカニズムが異なり余震分布が空間的に離れていた場合は、その大余震は別の誘発された地震として扱い、余震域には含めなかった。古い地震で余震分布の求まらないものは、震度分布から推定した。

ここで作成した震源領域データは、産総研のサーバーで公開する予定である。

## 参考文献

石川有三,2014,環太平洋地域で発生した巨大地震の震源域データの作成,日本地球惑星科学連合大会,H-DS28-02.

中村浩二・石川有三,2005,卓上の地震活動解析 SEIS-PC for Windowsのこの8年,日本地震学会2005年秋季大会講演予稿集 P153.

Shinji Takarada , Joel C. Bandibas , Yuzo Ishikawa , Yasuto Kuwahara , Naoji Koizumi , Toshihiro Uchida , Akira Takada , Norio Shigematsu , Ryuta Furukawa , Tadashi Maruyama , Ryosuke Ando , and Junko Hara,2014,

Global Earthquake and volcanic eruption risk management activities, volcanic hazard assessment support system and Asia-Pacific region hazard mapping project in G-EVER, EPISODES、37、4、321-328

宝田晋治ほか,2016,東アジア地域地震火山災害図,印刷中(大会時、産総研ブースにて公開予定)。

キーワード：震源域データ、巨大地震

Keywords: source area, large earthquake

## 地震波効率から見た気象庁マグニチュードとモーメント・マグニチュードとの差

## The difference between JMA magnitude and moment magnitude in terms of seismic efficiency

\*山本 清彦

\*Kiyohiko Yamamoto

1. はじめに：日本海溝沿いに発生する大きな地震について、気象庁マグニチュードMjとモーメントマグニチュードMwの差を見ると、宮城県沖の地震では小さいが、それ以外ではMwはMjよりも0.4程度大きい。例えば、気象庁マグニチュードMjは、地震波エネルギーの対数に比例し、モーメントマグニチュードMwは断層面での食い違い変位量の対数に比例する。地震波エネルギーは地震波効率に直接依存するが、モーメントの地震波効率依存性は小さい。したがって、地震波効率はMjとMwの差の成因の一つと考えられる。

地震波効率は破壊伝播速度の関数であり、破壊伝播速度が小さくなると、小さくなる。ここでは、MjとMwの差を地震波効率と破壊伝播速度との関係の観点から東北地方太平洋沖地震（2011/3/11、Mw9）を例に検討する。

2. 理論：破砕帯震源模型\*では、破砕帯は破砕岩で構成される領域（破砕岩領域）とアスペリティー領域からなる。また、破砕帯と母岩の境界面を断層面と呼ぶ。破砕岩領域の歪みは前の地震からの時間経過によって完全に解放されている。一方、アスペリティーは母体に等しい弾性を持つ。

アスペリティーの歪、すなわち、断層面間の変位が臨界値に達した時、断層の破壊が起こる。この時のエネルギー収支は、

$$Pa + Pb = Es + W, \quad Es = f \times Pb \quad (1)$$

で表される。ここで、PaとPbはそれぞれアスペリティーと破砕帯を挟む母岩に蓄えられていた歪エネルギーであり、EsとWは地震波エネルギーと見かけの破壊エネルギーである。また、fは地震波効率である。

アスペリティーが破壊し、破砕岩領域に破壊が進行してすべり面が形成される時、その領域には回転が生じる。Wはこの回転で生じる断層面の法線方向の変位が母岩になす仕事にほぼ相当する。Pbは、平均応力降下量に等しい応力が働いている無限媒質に円形割れ目が生じたときのエネルギー解放量として計算される。

プロセスゾーン（広義の断層破砕帯）の厚さは断層長に比例する（Vermilye, J. M., and C. H. Scholz, 1998）。この関係を用いて破砕帯厚と断層長の関係が得られている\*。Sato and Hirasawa (1973) は地震波効率と破壊伝播速度の関係を円形割れ目の場合について導出した。以下の断層の寸法と地震の規模やモーメントとの関係やマグニチュードと破壊伝播速度の関係に関する議論には、これらの関係を利用する。

3. 結果：(1) から得られる結果は地震の規模に依存しない。f = 1の場合、歪エネルギーPbは全てEsになり、Paのみを消費してすべり面が拡大する。このとき、アスペリティーが断層面に占める面積の割合は2%で、最大である。また、破壊伝播速度はおよそ母体のS波速度である。

地震波効率がゼロ（f=0）に近い場合、Pbもすべり面の拡大に使われ、地震波は発生しない。また、破壊伝播速度はゼロに近づく。いわゆるスロースリップ・イベントを意味していると推察される。アスペリティーが断層面に占める割合は約0.74%、したがって、応力降下量と断層の食い違い変位量もf = 1の場合の約0.37倍である。

EsとM、MoとMwの関係として、それぞれ、

$$\log Es = 1.5M + 4.8 \quad (2)$$

$$\log Mo = 1.5Mw + 9.1 \quad (3)$$

が使われる。ここで、Moはモーメント解放量である。断層面積を一定としたとき、MoとEsは地震波効率fの関数である。これからMw = Mになるfを求めると約0.8になる。これは、多くの地震でfが0.8程度であることの反映であろう。

気象庁によれば\*\*東北地方太平洋沖地震のMは8.4、Mwは9.0、Mo=4.3x10<sup>22</sup>であり、破壊伝播速度は約1.8km/sでS波速度（約3.4km/s）の約0.53倍で小さい。これから地震波効率が約0.3と推定される。この場合のMwとMの差は約0.4であるから、Mjは約8.6に推定される。これはMwとMの差の一部はこの地震の地震波効率が小さいことに起因していることを示唆している。

注：\*Yamamoto and Yabe, 2009; <http://kynmt.in.coocan.jp/>; (REFERENCE/23)

\*\*<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/gizyutu/133/ALL.pdf>



キーワード：地震波効率、モーメントマグニチュード、気象庁マグニチュード、スロースリップ、破壊伝播速度、破碎帯震源模型

Keywords: Seismic efficiency, Moment magnitude, JMA magnitude, Slow slip event, Rupture velocity, Damagezone fault model of earthquake

2010年チリ地震( $M_w$ 8.8)と2001年ペルー地震( $M_w$ 8.4)に先行した地震活動の長期静穏化  
Long-term seismic quiescence before the 2010  $M_w$ 8.8 Chile earthquake and the 2001  $M_w$ 8.4  
Peru earthquake

\*勝俣 啓<sup>1</sup>

\*Kei Katsumata<sup>1</sup>

1.北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

1.Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

ISCの震源カタログを用いて、1964年1月1日から2009年12月31日までに南米太平洋岸の研究領域(65-80°W, 10-60°S)で発生した深さ60km以浅、実体波マグニチュード5.0以上の地震1062個を解析した。Zhuang et al. (2002)が開発したStochastic declustering法を用いてデクラスター処理した後、ZMAP法を使用して地震活動度の変化を詳細に調べた結果、2010年2月27日チリ地震( $M_w$ 8.8)および2001年6月23日ペルー地震( $M_w$ 8.4)に先行した地震活動度の長期静穏化を検出した。2010年チリ地震の静穏化領域は、(36.7°S, 73.1°W)を中心とした半径144 kmの円内である。この円内の地震発生レートは、1964.0年から1990.4年までの期間Aが1.1 個/年、1990.4年から2004.3年までの期間Bが0.19 個/年、2004.3年から2010.0年までの期間Cが0.83 個/年であった。期間Aは定常的な地震活動を示し、期間B(13.9年間)は静穏化期間、期間C(5.7年間)は地震活動回復期だと考えられる。静穏化の後に数年間の回復期が現れ、その後本震が発生するというパターンは、2004年スマトラ地震( $M_w$ 9.1)や2011年東北沖地震( $M_w$ 9.0)でも観測されている。M9クラスの超巨大地震に特有のパターンかも知れない。2001年ペルー地震の静穏化領域は、(17.7°S, 72.1°W)を中心とする半径113 kmの円内である。この円内の地震発生レートは、1964.0年から1990.4年までの期間Dが0.76 個/年、1990.4年から2000.5年までの期間Eは0.0 個/年であった。この場合は、期間Dが定常的な地震活動を示し、期間E(10.1年間)の静穏化期間が本震直前まで継続し、期間Cのような明瞭な回復期が見られない。このようなパターンは、1994年北海道東方沖地震( $M_w$ 8.3)や2003年十勝沖地震( $M_w$ 8.3)の際にも観測されている。M8.3~8.4程度の地震に特有のパターンかも知れない。

キーワード：静穏化、ZMAP、2011年チリ地震、2001年ペルー地震

Keywords: seismic quiescence, ZMAP, the 2011 Chile earthquake, the 2001 Peru earthquake

Influence of the 2011 Tohoku, Japan earthquake on the Korean peninsula  
Influence of the 2011 Tohoku, Japan earthquake on the Korean peninsula

\*朴 舜千<sup>1</sup>、Lee Jun-Whan<sup>1</sup>、Yang Hyojin<sup>1</sup>、Park Eun Hee<sup>1</sup>、Lee Won-Jin<sup>1</sup>

\*Sun-Cheon Park<sup>1</sup>, Jun-Whan Lee<sup>1</sup>, Hyojin Yang<sup>1</sup>, Eun Hee Park<sup>1</sup>, Won-Jin Lee<sup>1</sup>

1. 韓国気象庁気象研究所

1. National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration

The 2011 Tohoku, Japan earthquake (M9.0) not only produced catastrophic damage in Japan but influenced on the Korean peninsula in terms of the seismicity, tsunami and crustal deformation. Seismic waves were large enough to be saturated in broadband seismic stations equipped with STS-2 seismometer which were located in the eastern part of the peninsula. Also small tsunami waves were observed along the southern and eastern coast. We have analyzed the tsunami as well as the seismic activity and crustal movement to understand the influence of the Tohoku earthquake on the Korean peninsula which is located about 10~15 degrees far from the fault plane.

Tsunami generated by the Tohoku earthquake propagated to the Korean peninsula as well. Tsunami with the height of less than 30 cm was observed about 3~5 hours later at the water level stations in southern and eastern coast of the peninsula, as can be expected by numerical tsunami simulation. However, some water level changes occurred even a few minutes after the earthquake at the several water level stations in north-eastern part of South Korea. We calculated horizontal displacements as well as vertical ones in the surrounding seas of the peninsula using the slip distribution obtained by the seismic waveform inversion (Baag et al., submitted). Then the tsunami was calculated considering the bathymetry effect or the effect of the horizontal displacement and the seafloor slope, following Murotani et al. (2015). As the result, the unexpected tsunami observed a few minutes later seems to have a coincidence with the tsunami generated by the bathymetry effect. The level of seismicity was changed by the Tohoku earthquake. Even though only three earthquakes with magnitude greater than 2 were reported by the Korea Meteorological Administration (KMA) within 5 days since the event, 53 events including micro earthquakes were identified using continuous waveforms only in the day of the earthquake (Park, 2012). Unusually large increase of seismic events was observed rather in 2013. Those events include three moderate earthquakes of M-5 and intensive swarm in the Yellow Sea region. Hong et al. (2015) interpreted that this phenomenon was induced by the fluid diffusion during the transient tension field and pore pressure increase during the ambient compressional-stress field recovery.

Crustal deformation was determined using the GNSS data densely distributed in the Korean peninsula. The displacements induced by the earthquake were about 1.5~4 cm. The crust moved toward the direction of the fault, which was to the east and it differs from the general movement of this region before the Tohoku earthquake. And the trend of eastward movement continued at least until 2012. The annual velocity of crustal deformation showed that the movement was recovered to the general direction since 2013.

These analyses indicate that the Tohoku earthquake has directly influenced on the Korean peninsula. And it may be necessary to consider the influence of another large earthquake that can be expected around the Japanese islands, like expected Nankai earthquake.

キーワード：2011 Tohoku, Japan earthquake、tsunami、crustal deformation、seismicity、Korean peninsula

Keywords: 2011 Tohoku, Japan earthquake, tsunami, crustal deformation, seismicity, Korean peninsula



## 2014年長野県北部の地震の前震解析から示唆されるゆっくりすべりと特異な震源特性

Analysis of foreshock sequence of the 2014  $M_w$ 6.2 Northern Nagano earthquake: Implications for slow-slip transient and unusual source property

\*今西 和俊<sup>1</sup>、内出 崇彦<sup>1</sup>

\*Kazutoshi Imanishi<sup>1</sup>, Takahiko Uchide<sup>1</sup>

## 1.産業技術総合研究所

1.Geological Survey of Japan, AIST

The  $M_w$  6.2 Northern Nagano earthquake occurred on November 22, 2014, central Japan, which broke a northern part of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault system. The earthquake has a foreshock sequence from four days before the mainshock, which was captured by a dense permanent seismic observation. We first determined hypocenters of foreshocks, mainshock, and aftershocks by assuming two different one-dimensional velocity models to account for heterogeneous structure in the area. We then applied the double-difference (DD) method to improve the precision of event relative locations. The DD location reveals that the foreshocks were located at a depth of 3-4 km and distributed on a NNW dipping 1 km x 1 km plane with an angle of about 60 degree (plane A), which is distinct from the aftershock distribution. The geometry of the plane A is consistent with the foreshock focal mechanisms determined by P-wave polarities as well as body-wave amplitudes. We also found that the foreshock sequence is located at the eastern extension of two Neogene faults described in the geological sheet map at 1:50,000 (Geological Survey of Japan, 2002), where the strike of one of the faults agrees well with that of the plane A. These Neogene faults cut active folds as well as Otari-Nakayama fault, making the region become a local structural heterogeneity. We infer that the foreshock sequence appears associated with fault zone complexity, as suggested for other foreshock sequences (e.g., Chen and Shearer, 2013).

In order to investigate the foreshock sequence in more detail, we analyzed seismograms recorded at Hakuba Hi-net station, which is a 632-m deep borehole station located about 5 km west of the foreshock region. By a visual identification of running spectra at the Hakuba station and S-P time, we newly detected 384 foreshocks, which are nearly seven times more than those in the JMA catalogue. We determined their locations and magnitudes on the basis of waveform cross-correlations and amplitude ratios, respectively, between newly detected foreshocks and DD relocated events. Our new catalogue delineated another plane with a N-S striking vertical plane (plane B), which is consistent with one of nodal planes of the P-wave first-motion mechanism of the mainshock. The spatial and temporal distribution of our new catalogue indicates that the foreshock sequence started at the deeper part of the plane A, migrating to the shallower part, and then jumped to the plane B, migrating to the mainshock hypocenter. The migrating speed is less than a few km/day, implying a possible slow-slip transient. A hypothesis is that the foreshock sequence is driven by aseismic slip, which causes stress loading at the mainshock hypocenter and triggers the mainshock. We further determined source parameters of the foreshocks to investigate their fault properties. We applied Multi-Window-Spectral-Ratio method (Imanishi and Ellsworth, 2006) to the foreshocks and aftershocks using the deep borehole data. The estimated corner frequencies of aftershocks decrease with magnitude and indicate constant stress drop. In contrast, the estimated corner frequencies of foreshocks are almost constant over nearly two orders of magnitude. The constant corner frequency suggests that fault dimension is the same regardless of magnitude or stress drop increases with magnitude under an assumption of scale-invariant rupture velocity. It is noted that the same observation was reported for the foreshock sequence of the 1999  $M_w$ 7.6 Izmit earthquake, Turkey (Bouchon et al., 2011), which may indicate that the constant corner frequency or the size-dependent

stress drop is a common specific property of foreshocks.

Acknowledgements: Seismograph stations used in this study include permanent stations operated by NIED Hi-net, JMA, ERI, and DPRI.

キーワード：2014年長野県北部の地震、前震、震源特性、ゆっくりすべり

Keywords: 2014 Northern Nagano earthquake, foreshock, source property, slow slip

応力変化解析及び前震活動検出による2011年3月15日静岡県東部の地震( $M_{JMA}$ 6.4)の遅れ誘発過程に関する研究

Delayed triggering process of the  $M_{JMA}$ 6.4 Eastern Shizuoka earthquake on March 15, 2011 by analyses of stress changes and detection of foreshocks

田村 理納<sup>1</sup>、\*宮澤 理穂<sup>2</sup>

Rina Tamura<sup>1</sup>, \*Masatoshi Miyazawa<sup>2</sup>

1.京都大学大学院理学研究科、2.京都大学防災研究所

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

2011年3月11日に発生した $M_w$ 9.0東北地方太平洋沖地震の4日後に、静岡県東部において $M_j$ 6.4( $M_w$ 6.0)の地震が発生した。この地震は、東北地方太平洋沖地震のセントロイドから約450km離れた余震域外の領域で発生しており、また約4分前に発生した福島県沖の地震( $M_j$ 6.2)の表面波が通過している最中に発生していたため、どのような誘発過程を経て発生に至ったのかを調べた。まず、静岡県東部地震の震源にどのような応力変化が働いていたのかを調べるため、静的 $\Delta CFF$ 、表面波と地球潮汐による動的 $\Delta CFF$ を調べた。東北地方太平洋沖地震による静的応力変化及び表面波による動的応力変化の最大値は、それぞれ約21 kPa, 200 kPaであり、動的応力変化は静的応力変化に比べ桁大きかった。地球潮汐による応力変化と福島県沖の地震の表面波による動的応力変化は最大で約1.2 kPa, 0.3 kPaであった一方、静岡県東部地震発生時の値はいずれも負の値で約-0.2 kPa, -0.01 kPaであった。次に、静岡県東部地震の破壊域での前震活動の有無について調べた。気象庁一元化震源カタログによると静岡県東部地震の発生前に震源域を含む領域では地震活動が認められていないため、matched filter法により検出を試みたところ、本震の約17時間前に本震の震源から約2km北北東の場所に $M1.0$ の地震が1つ見つかったが、それまでの微小地震活動を考慮すると本震を誘発した前震とは結論付けられない。以上の結果を踏まえ、地震発生サイクルにおけるclock advanceによる、静岡県東部地震の「見かけ遅れ誘発」の可能性を提案する。まず静岡県東部地震の震源域の摩擦応力が、東北地方太平洋沖地震による静的な応力変化及び、表面波の動的な応力変化によって急速に増加した。その後、東北地方太平洋沖地震の大規模な余震の表面波による動的な応力変化及び、地球潮汐による応力変化によって摩擦応力がより摩擦強度に近づき、応力擾乱がなかった場合の発生予定時刻よりも早まって(clock advance)地震が発生した。大振幅の応力擾乱が作用してから遅れ破壊に至るまでの時間が、地震発生サイクルのスケールと比べてわずかでしかないことから、もともと静岡県東部地震のような地震が発生する準備が十分整っていたことが示唆される。

キーワード：静岡県東部地震、遅れ誘発、クーロン破壊応力変化、前震

Keywords: Eastern Shizuoka earthquake, Delayed triggering, Coulomb failure stress change, Foreshock

## 浜名湖周辺の地震活動静穏化現象と長期的ゆっくり滑り—続報

## Re-analysis of Seismic Quiescence and Slow Slip in Hamanako region

\*吉川 澄夫<sup>1</sup>、林元 直樹<sup>1</sup>、明田川 保<sup>2</sup>\*Sumio Yoshikawa<sup>1</sup>, Naoki Hayashimoto<sup>1</sup>, Tamotsu Aketagawa<sup>2</sup>

1.気象庁気象研究所、2.沖縄気象台

1.Meteorological Research Institute, 2.Okinawa Regional Headquarters

著者らは昨年秋の地震学会（2015）で浜名湖直下周辺のフィリピン海プレート内に検出された地震活動静穏化域が2回の長期的ゆっくり滑り（LSSE）のすべり分布域(国土地理院,2015)と重なることを示したが、両者には明瞭な時間的相関が認められないことを報告した。しかし気象庁（2014年9月以降の判定会）により、プレート境界で発生する2回のLSSEに対応して隣接の静岡県中西部地殻内の地震活動が低下する傾向が示され、静穏化現象とLSSEとの時間的相関が示唆されている。一方小林・吉田（2004）やYamamoto et al.(2005)は、1988年から1990年頃の時期にもLSSEが発生した可能性を指摘した。このようにLSSEがプレート境界で繰り返し発生しているとすれば、隣接の静岡県中西部地殻内の地震活動との因果関係を明らかにすると共に浜名湖周辺のプレート内地震活動の静穏化との時間的相関が見られない事の確認を改めて行う必要がある。

地震活動の静穏化・活発化の時間的・空間的特徴を把握するため、これまでと同様eMAPの方法（明田川・伊藤,2008および林元・明田川,2010）を使用した。図は1998年以降のM1.1以上の地震活動を対象に調査した静岡県中西部から浜名湖周辺にかけての静穏化・活発化捕捉震源の分布を示す。震源分布図(a)では静穏化域が駿河湾沿岸付近と浜名湖周辺に集中的に分布する様子が見られる。鉛直断面図(b)では、浜名湖周辺のプレート内における静穏化の様子と静岡県中西部の地殻とプレート両方の活発化の様子が見られる。この活発化は断層固着域としての活動を示している可能性を示す。時空間分布図(c)によると、静岡県中西部（Bの側）では2006年頃から2012年頃にかけて活発化が見られるが、LSSEが観測された2期間はあまり捕捉されず地震活動レベルが低かったことが見て取れる。この結果は気象庁により指摘された両者の対応関係を裏付ける。これに対して浜名湖付近（Aの側）の静穏化とLSSEとの対応は明瞭ではないものの、LSSE休止期に静穏化域が若干少なくなっているようにも見える。

さらに静岡県中西部の静穏化がどの程度の頻度で発生したかを1983年1月までさかのぼりM2.3以上の地震活動で調査した。この結果、同地域の一部で最近2回の静穏化に加え、1988年から1990年にかけて静穏化が起きていることが見出された。つまり静岡県中西部での3回の静穏化がいずれもLSSEと対応することになる。

以上の結果は断層固着域内の応力低下と浜名湖直下のプレート境界のLSSEによる応力緩和が同時に起きていることを示すと考えられる。対して浜名湖直下のプレート内の地震活動静穏化にLSSEとの明瞭な時間的相関が見られない原因は未解決のままであるが、構造の不均質性が関与している可能性もあることから更に解析を進める必要がある。

キーワード：地震活動静穏化、地震活動活発化、ゆっくり滑り

Keywords: Seismic quiescence, Seismic activation, Slow slip event



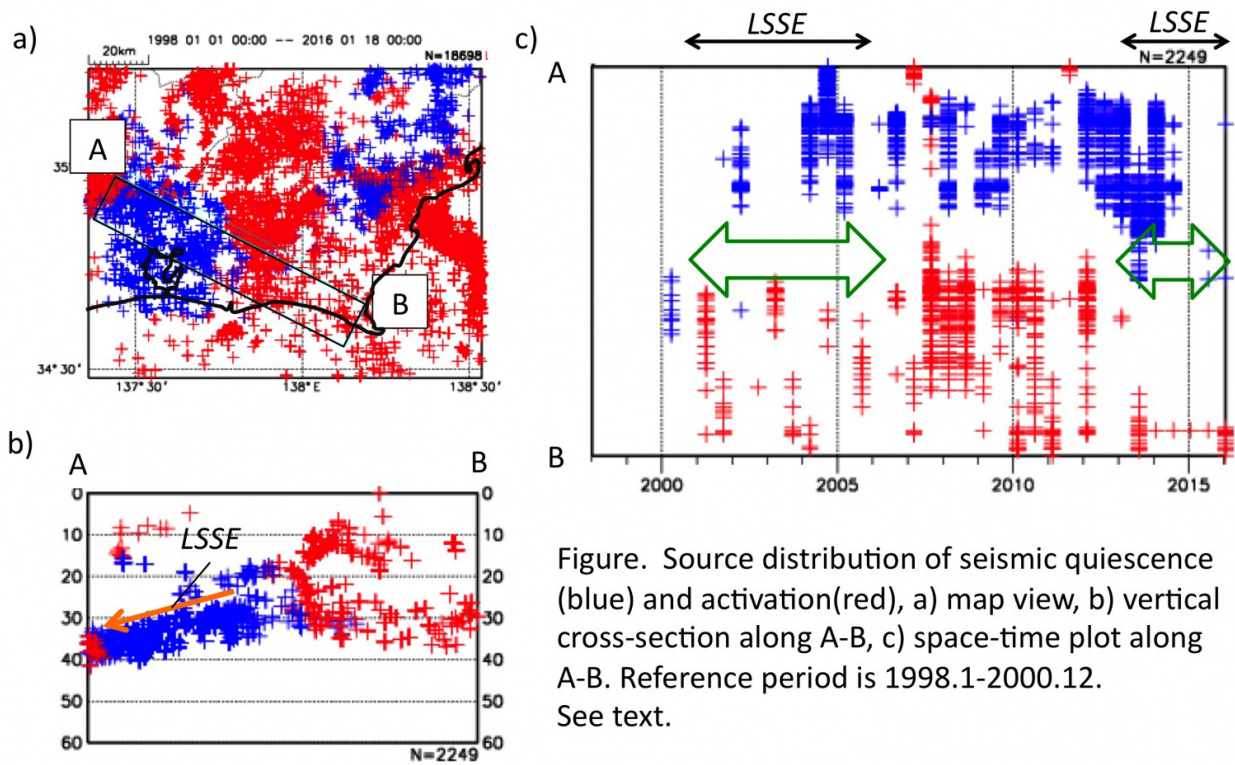


Figure. Source distribution of seismic quiescence (blue) and activation (red), a) map view, b) vertical cross-section along A-B, c) space-time plot along A-B. Reference period is 1998.1-2000.12. See text.

## 2011年東北地震近傍における震源メカニズムパターンの時間変化

## Temporal change of focal mechanism pattern in the Tohoku-oki region

\*松川 滉明<sup>1</sup>、八木 勇治<sup>1</sup>、Enescu Bogdan<sup>1</sup>\*Hiroaki Matsukawa<sup>1</sup>, Yuji Yagi<sup>1</sup>, Bogdan Enescu<sup>1</sup>

1.筑波大学・地球

1.Geoscience, University of Tsukuba

巨大地震が発生すると、震源域近傍の応力場が大きく変化することにより、断層運動のパターンが変化することが知られている。例えば、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、本震発生後に正断層型の地震が増加したことが指摘されている (e.g., Asano et al., 2011)。震源域近傍で発生する地震群の震源メカニズムの特徴の時間変化は巨大地震の応力の蓄積・開放・回復過程を理解する上で重要であるが、本震発生後数年間において十分な時間分解能で議論された例はまれである。本研究では、近傍で発生する地震群の断層運動に着目して、巨大地震前後の応力場の時間変化について議論する。

まず、防災科学技術研究所F-netで決定された震源近傍の地震をFrohlich (1992) に従い、正断層型地震・逆断層型地震・横ずれ断層型地震に分類し、正断層・逆断層・横ずれ断層型地震のそれぞれが全体の地震数に占める割合の時間変化を求めた。本震を中心として、本震発生前後を一定区間に分ける。時間サンプリング間隔は本震後は10日に、本震前は50日とした。時間変化を安定に求めるために、1サンプリング点での地震数が本震後は500以上に、本震前は100以上となるように解区間を定めた。

解析の結果、正断層型地震の割合は本震後ステップ状に増加した後、変動を繰り返しながらも徐々に本震前の段階へ回復する過程が見られたが、まだ本震発生以前の水準には到達していないことが分かった。この元に戻る現象はアセノスフェアの流動、震源域より深い領域での余効滑りによる応力変化を反映していると考えられる。また、上盤・下盤内における応力変化も反映していると考えられる。また、本震発生前に着目すると、本震直前に正断層型地震が急減するという特徴的な変化が見られた。この現象は巨大地震発生の準備過程を示していると考えられる。

キーワード：震源メカニズムパターン、震源メカニズムの時間変化、東北地方太平洋沖地震

Keywords: focal mechanism pattern, temporal change of focal mechanisms, 2011 Tohoku-oki earthquake

2015年6月23日に小笠原諸島西方沖で連続して発生した深発地震

Sequence of moderate-to-large deep focus earthquakes around Off Ogasawara Islands on 23th June 2015

\*武村 俊介<sup>1</sup>、齊藤 竜彦<sup>1</sup>、汐見 勝彦<sup>1</sup>

\*Shunsuke Takemura<sup>1</sup>, Tatsuhiko Saito<sup>1</sup>, Katsuhiko Shiomi<sup>1</sup>

1. 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2015年6月23日21時18分に小笠原諸島西方沖を震源とするMw 6.5の深発地震が発生し、太平洋沿岸の観測点において非常に長い間（数百秒間）、地震動が継続した。観測された地震波形を詳細に調べてみると、21時18分から10分間の間に複数のP波およびS波のパルスが確認された。比較的規模の大きな地震が複数回、短い間隔で発生したことが示唆される。本研究では、日本全国に敷設された高感度地震観測網Hi-netおよび広帯域地震観測網F-netの速度波形記録を用いて連続して発生した地震群の地震波動伝播の様子を調べ、各地震の規模を見積もった。

まず、Hi-netの速度波形記録に1-32 Hzのバンドパスフィルターをかけ、3成分合成MSエンベロープ（以下、単にエンベロープ）を合成した。そして、ある時刻に得られた各観測点のエンベロープ振幅を空間内挿することで地震波エネルギーの分布を見積り、その時間変化から地震波エネルギーの伝播特性を調査した。その結果、21時18分から10分間の間に日本海を震源とする地震1つ、小笠原諸島西方沖を震源とする地震が3つ発生していることがわかった。気象庁の一元化震源カタログ（暫定版）では、小笠原諸島西方沖で発生した2つめの地震について記載されていない。エネルギー分布の時空間変化の特徴より、小笠原諸島西方沖で発生した3つの地震はほぼ同一の位置で発生したことが示唆される。そこで、岩盤点に設置されたF-netで得られた速度波形記録のエンベロープからそれぞれの地震のS波最大振幅を読み取り、F-netのCMT解により地震モーメントが $5.47 \times 10^{18}$  Nm (Mw6.5) と推定されている1つめの地震と比をとることで地震規模の推定を試みた。推定された1つめの地震とのS波最大振幅比は $46.2 \pm 2.3$  %と $10.6 \pm 0.4$  %であり、地震モーメントはそれぞれ $2.52 \pm 0.13 \times 10^{18}$  Nm (Mw6.2 $\pm$ 0.1) と $5.80 \pm 0.22 \times 10^{17}$  Nm (Mw5.8 $\pm$ 0.1) とわかった。

謝辞

気象庁の一元化震源（暫定版）を利用しました。

キーワード：深発地震、地震波伝播、波形エンベロープ、伊豆小笠原弧

Keywords: deep focus earthquake, seismic wave propagation, seismogram envelope, Izu-Bonin arc