

房総半島沖で繰り返すスロースリップとb値の時間変化との関係(その2) Relation between Temporal Variation of b-value and Recurring Slow Slips off Boso Peninsula: Part 2

弘瀬 冬樹^{1*}, 前田 憲二¹
Fuyuki Hirose^{1*}, Kenji Maeda¹

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

弘瀬・前田(2012, JpGU)は、房総半島沖のスロースリップに伴う応力場の変化と群発地震活動のb値の時間変化を調べ、両者に相関がみられることを報告した。彼らはb値が応力と逆相関にあるという室内実験の結果(Scholz, 1968, BSSA)を踏まえて、b値の時間変化を次のように解釈した。

1) スロースリップ間の平常時においては、群発地震活動がみられる領域のプレート間カップリング率は低く、その領域にかかる応力も低いため、b値は大きくなる。

2) スロースリップの発生に伴い、スリップ域周辺では応力が増加する。応力増加に伴い、スリップ北縁域に位置する地震活動は活発化する。この時、高応力であるため、b値は減少する。

3) その後、スロースリップは1週間~10日間程度で収まり、周辺域(地震活動域)にかかる応力は徐々に下がり始める。それに伴い、b値は徐々に増加し次のスロースリップ前にピークとなる。

彼らは、1990年1月1日から2011年12月31日までの期間に決定された気象庁一元化震源(M_s 1.5, 深さ40km以浅)をDD法で再決定し、陸とフィリピン海プレートの境界付近で発生したと考えられるイベントをb値の解析に用いた。DD法を用いるにあたり、読み取り値の検証は行わなかった。今回我々は、2002年8月以降の地震波形を入手した。波形データのある期間は限定的だが、波形相関法を用いて改めて震源再決定を行い、精度の高いプレート境界地震データに対してb値の時間変化を求めることにした。結果については本会議で報告する。

キーワード: 房総半島, スロースリップ, b値, 応力, 時間変化, 波形相関

Keywords: Boso peninsula, slow slip, b-value, stress, temporal change, waveform cross-correlation

海底地震計を用いた駿河トラフ付近の地震観測 (序報)

Earthquake Observation in the Suruga Trough Using Ocean bottom Seismographs-Preliminary Report-

馬場 久紀^{1*}, 平田 賢治², 対馬 弘晃³, 宮川 達也¹, 松本津世志¹, 稲村 嘉津也¹, 勝間田 明男³, 上野 寛³, 青木 重樹³, 前田 憲二³, 横田 崇³, 長尾 年恭¹

Hisatoshi Baba^{1*}, Kenji Hirata², Hiroaki Tsushima³, Tatsuya Miyagawa¹, Tsuyoshi Matsumoto¹, Kazuya Inamura¹, Akio Katsumata³, Hiroshi UENO³, Shigeki Aoki³, Kenji Maeda³, Takashi Yokota³, Toshiyasu Nagao¹

¹ 東海大学, ² 防災科学技術研究所, ³ 気象庁気象研究所

¹Tokai University, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ³Meteorological Research Institute, JMA

東海大学と気象研究所では、2011年10月から駿河トラフ中軸部付近で自己浮上式海底地震計を用いた地震観測を開始した。海底地震計は、20トンクラスの作業船を用い、3ヶ月ごとに設置回収を繰り返す。海底地震計を設置した海域では、2009年にM6.5の地震、2011年にM6.1の地震が発生した。これらの地震が発生した当時は、東海地震の発生に関する懸念がなされた。その結果、沈み込むフィリピン海プレート内で発生した地震であると結論づけられたものの、そもそもこの海域で発生する地震の震源を決める地震観測網は海域から遠く、そのため、震源決定精度に疑問がある。

2012年01月から07月までの観測は、海底地震計の観測点が1点ではあるものの以下の特徴が見いだされた。

(1) この期間にOBSで得られた地震は11539個におよんだ。

(2) これらの地震のS-P time 頻度分布では、5sec以下の地震が半分を占め、1秒以下の地震は10%に及んだ。

(3) S-P time が1秒以下の地震は、設置場所から推定するとフィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震と推定することもできる。

2012年08月からの観測では、OBSを3箇所を設置した。本発表では、駿河湾の地震活動について議論を行うものである。

キーワード: 地震観測, 駿河トラフ, 海底地震計

Keywords: Earthquake Observation, Suruga Trough, Ocean Bottom Seismograph

ケーブル方式および自己浮上式海底地震計を用いた熊野灘およびその周辺における地震観測

Earthquake Observation in and around Kumano Nada using Cable and Pop-Up type Ocean Bottom Seismographs

去川 寛士¹, 馬場 久紀^{2*}, 平田 賢治³, 山崎 明⁴, 対馬 弘晃⁵, 勝間田 明男⁵, 上野 寛⁵, 青木 重樹⁵, 前田 憲二⁵, 横田 崇⁵

Hiroshi Sarukawa¹, Hisatoshi Baba^{2*}, Kenji Hirata³, Akira Yamazaki⁴, Hiroaki Tsushima⁵, Akio Katsumata⁵, Hiroshi UENO⁵, Shigeki Aoki⁵, Kenji Maeda⁵, Takashi Yokota⁵

¹(株) 阪南コーポレーション, ²東海大学海洋学部, ³防災科学技術研究所, ⁴気象庁, ⁵気象研究所

¹Hannan Co., Ltd., ²Department of Marine and Earth Science, Tokai Univ., ³National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ⁴JMA, ⁵Meteorological Research Institute, JMA

気象庁は、東海沖から熊野灘にかけて新たにケーブル式海底地震計の設置を行い、2008年10月から地震観測を開始した。そこで気象研究所と気象庁では、2009年6月から3ヶ月間にわたり、ケーブル式海底地震計の周辺に自己浮上式海底地震計を12台設置して、地震活動調査を行った。この調査で得られる結果は、この海域で発生する地震活動の把握以外にも、新しく設置したケーブル式海底地震計の地震検知能力やその傾向、陸上観測点によって決められた震源と比較することによって得られる震源の移動傾向等の知見が得られる可能性がある。

観測期間中、ケーブル式海底地震計と自己浮上式海底地震計のデータを併せて決められた震源は188個で、これらの震央はそのほとんどがトラフ軸周辺にある。これらの震源の深さ分布を見ると深さ約20 - 50kmであるが、ケーブル式海底地震計だけで決められたトラフ軸周辺の震源の深さ分布は、相対的に浅くなる傾向がある。同時期の陸上の観測点で決められた海域の震央分布を比較すると、両者の海底地震計で決められた震央はまとめてクラスターを形成しているように見える。

本発表では、この海域の地震活動の他、それぞれの海底地震計によって得られた地震の震源要素について比較を行う。

キーワード: 地震観測, 海底地震計, 東海沖, 熊野灘, 震源の比較

Keywords: Earthquake observation, Ocean Bottom Seismograph, Tokai Oki, Kumano Nada, Comparison of the hypocenter

海底ケーブル・インライン式地震計を用いた粟島周辺の地震活動と1964年新潟地震との関係

Relationship between seismicity off Awashima inferred from Ocean Bottom Cabled Seismometers and 1964 Niigata earthquake

真保 敬^{1*}, 町田 祐弥¹, 篠原 雅尚¹, 山田 知朗¹, 望月 公廣¹, 金沢 敏彦²

Takashi Shinbo^{1*}, Yuya Machida¹, Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Kimihiro Mochizuki¹, Toshihiko Kanazawa²

¹ 東大地震研, ² 防災科研

¹ERI, ²NIED

日本海東縁部にはひずみ集中帯が存在し、これまでに規模の大きな地震が何度も発生している（例えば、1964年新潟地震、2004年中越地震、2007年中越沖地震など）。そのような地震の発生メカニズムやひずみ集中帯の形成過程を解明するためには、その領域での詳細な震源分布を得る必要がある。しかし、陸上の観測網のみでは海底下で発生する地震を精度良く決めることができないために、ひずみ集中帯の海域における地震活動を正確に把握することが難しい。

東京大学地震研究所では、1964年新潟地震が発生した新潟県粟島の南方沖で海底ケーブル・インライン式地震計（Ocean Bottom Cabled Seismometer、以下OBCS）による観測を、2010年8月より行っている。OBCSの観測点数は4点、その設置間隔は5km、ケーブルの全長は約25kmに及ぶ。2011年8月には、OBCS周辺海域の地殻構造を調査するために、エアガンによる構造調査も行った。これらのOBCSを用いることによって、1964年新潟地震の震源域周辺で発生する地震の震源を精度良く決定できると考えられる。そこで本研究は、これらのOBCSデータを用いて粟島周辺で発生する地震の震源決定を行い、1964年新潟地震の断層面との関係を議論する。

読み取りを行った地震（106個）のうち、水平と深さの誤差がそれぞれ1km、2km以内の地震は23個となった。これらの地震の震源深さは5-20kmで、気象庁によって求められた震源に比べ、5-10km浅くなった。また、決定された震源の分布は、約34度の西下がりの面状を示す。この結果は、1964年新潟地震の発震機構解や震源断層モデルに比べ、低角である。これらの結果から、得られた粟島周辺の微小地震が、1964年新潟地震の震源断層面上で発生しているとは考えにくい。現在の粟島周辺の地震活動と1964年新潟地震の断層面との関係を明らかにするためには、今後さらなるデータの蓄積が期待される。

海底地震観測による 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源近傍の地震活動 Hypocenter distribution around the 2011 Tohoku-Oki earthquake by using Ocean Bottom Seismographic data

鈴木 健介^{1*}, 日野 亮太¹, 伊藤 喜宏¹, 山本 揚二郎², 鈴木 秀市¹, 長田 幸仁¹, 篠原 雅尚³, 平田 賢治⁴, 勝間田 明男⁴, 対馬 弘晃⁴, 山崎 明⁵, 草野 富二雄⁶, 金田 義行²

Kensuke Suzuki^{1*}, Ryota Hino¹, Yoshihiro Ito¹, Yojiro Yamamoto², Syuichi Suzuki¹, Yukihiro Osada¹, Masanao Shinohara³, Kenji Hirata⁴, Akio Katsumata⁴, Hiroaki Tsushima⁴, Akira Yamazaki⁵, Fujio Kusano⁶, Yoshiyuki Kaneda²

¹ 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター, ² 海洋研究開発機構, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ 気象研究所, ⁵ 気象庁, ⁶ 仙台管区気象台

¹Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Toho, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ⁴Meteorological Research Institute, ⁵Japan Meteorological Agency, ⁶Sendai District Meteorological Observatory

2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) の破壊開始点かつ主破壊域の 1 つである宮城県沖は約 40 年周期で M7.5 程度のプレート境界型地震が繰り返し発生する領域と考えられていた。2002 年以降、我々は宮城県沖において海底地震計 (Ocean Bottom Seismometer: OBS) の設置・回収を繰り返すことによって連続的な海底地震観測網を構築してきた。連続的な海底地震観測によって、前震、本震、余震といった一連の地震活動を本震震源近傍で捉えることができた。この海底地震観測によって海溝型地震の発生メカニズムを考える上で重要となる地震活動の時空間変化および構造との比較といった詳細な議論が可能な震源分布を得ることができる。

Suzuki et al. (2012) は、本震の発生前後に本震の破壊開始点近傍を含んだ領域 (宮城県沖) において設置されていた OBS と陸上観測点のデータを併合処理し、2011 年 1 月 25 月の間に発生した地震の詳細な震源分布の推定をおこなった。本研究では、新たに回収された OBS のデータを用いて 2011 年中に発生した地震の震源分布を推定した。本震発生後の余震活動は非常に活発であるため、規模の大きな地震から順次検測・再決定を進めている。これまでの宮城県沖 OBS 観測での震源決定でおこなわれてきたのと同様に、読み取られた到達時刻に各観測点直下の堆積層による走時遅れの補正を施した上で震源決定をおこなった。今後は、より小さな規模の地震も含めて解析を進めていく予定である。

OBS データを用いて再決定された本震の震源は気象庁の一元化処理によるものと比べやや陸側にあり、沈み込むプレート境界と上盤側のモホ面とが交差している領域に位置する。本震に先行した前震活動域は本震震源より海溝軸よりに広がっていて、海洋性地殻が大陸性地殻と接触しているプレート境界沿いである。この前震活動は、宮城県沖におけるプレート境界型地震の活動域の上端付近で始まり、本震 2 日前に発生した最大前震 (M7.3) 後に急激に活発化するとともに本震へ向けての震央の移動が見られる。本震の発生を境に震源深さ分布に大きな変化がみとれる。本震の地震時すべりが大きな領域においては、ほとんどプレート境界型地震は発生していない。一方、上盤・下盤側のプレート内において本震発生前にはほとんどみられなかった地震活動が発生しており、M7 級の地震も含まれている。

キーワード: 東北沖地震, 宮城県沖, 海底地震計, 地震活動

Keywords: Tohoku-Oki earthquake, OBS, Miyagi-Oki, seismicity

海底地震計を用いた余震観測による、2011年東北太平洋沖地震南部震源域での地震活動

Precise aftershock distribution of the southernmost rupture area of the 2011 Tohoku-oki earthquake by OBSs

町田 祐弥^{1*}, 篠原 雅尚¹, 中東 和夫¹, 山田 知朗¹, 望月 公廣¹, 塩原 肇¹, 村井 芳夫², 日野 亮太³, 佐藤 利典⁴, 植平 賢司⁵, 八木原 寛⁶, 平田 賢治⁷, 小平 秀一⁸

Yuya Machida^{1*}, Masanao Shinohara¹, Kazuo Nakahigashi¹, Tomoaki Yamada¹, Kimihiro Mochizuki¹, Hajime Shiobara¹, Yoshio Murai², Ryota Hino³, Toshinori Sato⁴, Kenji Uehira⁵, Hiroshi Yakiwara⁶, Kenji Hirata⁷, Shuichi Kodaira⁸

¹ 東京大学地震研究所, ² 北海道大学, ³ 東北大学, ⁴ 千葉大学, ⁵ 防災科研, ⁶ 鹿児島大学, ⁷ 気象研究所, ⁸ 海洋機構
¹ERI, Univ. of Tokyo, ²Hokkaido Univ., ³Tohoku Univ., ⁴Chiba Univ., ⁵NIED, ⁶Kagoshima Univ., ⁷MRI, ⁸JAMSTEC

The 2011 Tohoku-oki earthquake (MJMA = 9.0) occurred on the megathrust where the Pacific plate subducts below northern Japan arc on March 11, 2011. Many studies on slip distribution and source process of the main shock have been done, such as geodetic slip model [e.g. Ozawa et al., 2011], tsunami slip model [e.g. Fujii et al., 2011, Maeda et al., 2011], joint inversion of GPS, teleseismic, and tsunami observations [Simons et al., 2011] and rupture process [e.g. Yoshida et al., 2011]. They indicated the rupture area extends approximately 450 km in length and 200 km in width. The seismic experiment using airgun and Ocean Bottom Seismometers (OBSs) revealed that the southern end of the rupture of the 2011 main shock corresponds to the contact region of the Philippine Sea plate and the Pacific plate (Nakahigashi et al., 2012). Therefore revealing a crustal structure around the southern end of the rupture area is indispensable to understanding a seismogenic process. Furthermore, information about the V_p structures and V_p/V_s ratios is needed for a better understanding of large earthquakes that occur as a result of stress-concentration on the plate boundary.

Aftershock observations using OBSs was carried out immediately after the occurrence of the 2011 Tohoku-oki earthquake, and precise aftershock distribution over the whole source area was estimated (March 15th-June 18th, 2011) [Shinohara et al., 2012]. In this study, we estimate precise hypocentral distribution around the southern end of the rupture area using additional data (June 28th-Sep. 13th, 2011) obtained by the aftershock observation by OBSs, and understand a source process of the 2011 Tohoku-oki earthquake.

This study is partly supported by the Spatial Coordination Funds for the Promotion of Science and Technology (MEXT, Japan) titled as the integrated research for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 余震活動, 海底地震計, 地殻構造, フィリピン海プレート, 太平洋プレート
Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, aftershock activity, Ocean Bottom Seismometers (OBSs), crustal structure, Philippine Sea plate, Pacific plate

2011年長野県北部地震周辺の地震活動と動的誘発地震との関係 Triggered seismicity in Northern Nagano region at short times after the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake

下條 賢悟^{1*}, Enescu Bogdan², 八木 勇治², 武田 哲也³
Kengo Shimojo^{1*}, Bogdan Enescu², Yuji Yagi², Tetsuya Takeda³

¹ 筑波大学大学院生命環境科学研究科, ² 筑波大学生命環境系, ³ 防災科学技術研究所

¹Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ²Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ³NIED

2011年東北沖地震後のクーロンの破壊応力変化(CFF)によって日本列島では内陸の地震活動が大きく変化したと考えられているが、CFFがネガティブないしほぼ変化の無いとされた地域でも局地的に地震活動が活発になっている。さらに、多くの地域で、地震前に推定された広域応力場と異なるメカニズム解で地震が発生していることが明らかになっている。一般に、内陸の大地震の応力降下量は10MPaであり、東北沖地震におけるCFFは大きくても0.1MPa前後であることを考慮すると、CFFのみで、広域で発生した規模の広域応力場とは異なるメカニズムで発生した誘発地震活動を説明するのは困難である。一方で、東北沖地震の直後15分間の間に、表面波による動的応力変化により日本全国で動的誘発地震が発生した。一般に、表面波による動的応力変化の距離減衰の効果は小さく、より遠くの地点まで伝播することができる。そこで、本研究では上述の局地的に地震活動が活発になった地域における動的誘発地震活動と、時間をおいて活発化する誘発地震活動との可能性について調べた。ここでテストフィールドとして、誘発地震活動が活発であった長野県北部地域を選択した。データは、防災科学技術研究所Hi-netで観測された高感度地震波形記録を使用し、東北沖地震後1時間の連続波形データと気象庁の地震カタログに記載のある誘発地震の波形データとの相互相関関数をとることにより、従来の手法では検出することが困難であった、動的誘発地震を同定した。本研究によって同定された動的誘発地震の震源は、2011年3月12日の長野県北部地震(Mw6.2)の震源近傍やその南側に隣接する地震活動が活発化した地域に位置していることが分かった。また、長野県北部地震周辺のメカニズム解を調べると、東北沖地震前まで北西-南東圧縮の逆断層型の地震が中心であったが、東北沖地震後にはそれと共に北東-南西伸長の横ずれ断層型の地震が多数発生するようになった。このようなメカニズム解の変化は、東北沖地震の静的な応力変化では説明することはできない。長野県北部地震周辺では、東北沖地震以降に間隙水圧が上昇したことによって、以前周辺で発生していた地震とは異なるメカニズム解で地震活動が活発になっていることが指摘されている(Terakawa et al., 2012)。以上のことをふまえると、東北沖地震による動的応力変化や動的誘発地震により間隙水圧の分布が変化するイベントが発生し、このような流体に関連する変化が、断層破壊を引き起こせるほど有効法線応力が下がるように断層周辺の応力の分布を変化させ(例えば、Cocco and Rice, 2002)、長野県北部地震などを誘発した可能性がある。

キーワード: 2011年東北沖地震, 長野県北部地震, 動的誘発作用, 相互相関, 間隙水圧

Keywords: The 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake, Northern Nagano seismicity, dynamic triggering, cross-correlation, focal mechanism data

2007年能登半島地震における前震の時空間分布

Spatio-temporal occurrence patterns among the foreshocks preceding the 2007 Noto Hanto earthquake

土井 一生^{1*}, 川方 裕則¹

Issei Doi^{1*}, Hironori Kawakata¹

¹ 立命館大学理工学部

¹ College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

大地震が前震を伴うことがあることはこれまでも指摘されている (Jones and Molnar, 1979; 茂木, 1982; Sakai et al., 2005) が、それらの発生の有無やパターンがわからないため、ある地震を本震発生前に前震であると認識することが現時点では不可能である。近年、1999年トルコ・イズミット地震 (Bouchon et al., 2011) や 2008年岩手・宮城内陸地震 (Doi and Kawakata, 2012) において、互いによく似た波形を記録した前震が、本震震源とほぼ同一場所で本震発生前に集中的に発生していたことが地震波形記録を用いた解析からわかってきた。本研究では、このような前震活動が他の大地震でも見られるのか、また、他の前震活動が見られないのかを確認するため、2007年能登半島地震 (Mj 6.9) について、解析対象領域を本震震源域全体に広げ、詳細な前震活動を調べた。なお、気象庁一元化カタログには本震の発生する12分前に Mj 2.0 の前震が約 1.9 km 東南東で発生したことが記録されている。

本研究では、本震震央に最も近い Hi-net 観測点である富来 (震央距離約 4 km) における本震発生前 25 日間の連続地震波形記録を用いた。この記録の中から、地震による波形記録を抽出するため、まず、ランニングスペクトルを計算し広い周波数帯域に渡ってスペクトル振幅の大きい時間帯を探した。次にそれらの時間帯に対して赤池情報量基準 (AIC) を利用して明瞭な非定常信号の到達が認められたものについて、目視で 3 成分波形を観察し P 波と S 波が確認でき、S-P 時間が 3 秒以内のイベントを選び出した結果、気象庁一元化カタログに載っていた前震を含む 9 個のイベントを検出することに成功した。

さらに、より小規模なイベントを含めクラスター的な活動を把握するため、検出された 9 つのイベントを参照イベントとして、これらのイベントの波形記録との相関係数を、本震発生前 25 日間の連続地震波形記録に対して時間窓をずらしながら計算したところ、参照イベントを含め 36 個のイベントを検出できた。なお、参照イベント同士で相関係数の高いものが存在したため、クラスター数は 6 個となった。主要な 3 つのクラスターのうち 2 個は 10 個以上の地震を含み、残りは 4 個の地震を含んでいた。

主要クラスターの震源を推定したところ、10 個以上の地震を持つクラスターは S-P 時間が非常に短く本震震源断層面上では発生していないことがわかった。これらの地震の震源サイズは小さいため、本震断層に与えた影響はほとんどないと考えられる。一方、4 個のメンバーを持つクラスターは本震震源近傍に位置し、本震発生 8-12 分前に活動をしていた。

後者の活動は、1999年トルコ地震 (Bouchon et al., 2011) や 2008年岩手・宮城内陸地震 (Doi and Kawakata, 2012) と同様の本震震源近傍における本震発生直前の前震活動があったことがわかった。そして、本震断層領域で、それ以外のクラスター的活動は見られなかった。

1999年台湾集集地震に先立つ地震活動静穏化・活発化の空間パターン Precursory seismicity change of the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake revealed by the ETAS model

河村 将^{1*}, 陳 建志¹
Masashi Kawamura^{1*}, Chien-chih Chen¹

¹ 台湾国立中央大学地球科学系・地球物理研究所

¹Dep. of Earth Sciences and Graduate Inst. of Geophysics, National Central University, Taiwan

大規模地震発生に先立つ地震活動の統計的性質と地震発生準備過程との関連性を明らかにすることを旨として、1999年9月21日に発生した台湾集集地震に先立つ地震活動 ($M \geq 2.4$) に Epidemic-Type Aftershock-Sequences model (ETASモデル) (Ogata, 1988) を適用し、地震活動の静穏化および活発化の有無、存在する場合のそれらの時空間分布を調べた。モデル適用の結果、集集地震発生に先立ち、地震が発生した車籠埔 (Chelungpu) 断層近傍で、1998年1月以降、地震活動が活発化の様相を呈し、逆にその周辺広域においては、地震活動静穏化が起きていたことが明らかになった。地殻変動の観点からも、台湾で展開されている GPS ネットワークの中の車籠埔断層南端付近に位置する観測点で、1998年春から通常の東西圧縮による変位速度が減少し、さらに夏以降には東西引張による変位速度が観測されるようになったことが報告されている (Hou et al., 2003)。このような地殻変動観測例、速度・状態依存摩擦構成則による数値シミュレーション結果 (Kato et al., 1997) と我々の地震活動解析結果とを総合すると、集集地震発生に先行して、断層面上で前兆的すべり (応力降下) が発生していたことが示唆される。

参考文献

Kawamura, M. and C.-c. Chen, Precursory change in seismicity revealed by the Epidemic-Type Aftershock-Sequences model: A case study of the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, Tectonophysics, accepted.

キーワード: ETAS モデル, 地震活動静穏化, 地震活動活発化, 地震活動, 前兆すべり, 台湾集集地震

Keywords: ETAS model, seismic quiescence, seismic activation, seismic activity, precursory slip, the 1999 Chi-Chi earthquake

断層の剪断破壊強度 (VI): GPS Velocity と地震活動

Shear fracture strength of faults (VI): Relation between GPS velocity fields and seismic activity

山本 清彦^{1*}

Kiyohiko Yamamoto^{1*}

¹ なし

¹ none

目的: GPS velocity は物質の移動を示している。地殻変動はその非一様な空間分布により生じていると考えられる。実際、GPS velocity は一様ではない。例えば南関東では、北部では南西方向であるのに南部では北西方向になる。この研究の目的の一つは、この移動の駆動源を知る手掛かりを得ることである。また、東北地方太平洋沖地震(2011/3/11, Mw9.0)以降に東北地方の内陸と沿岸部、特に福島県南部沿岸、宮城県沖で発生した地震の震央分布には、いわき付近を通り北東-南西の線、金華山付近を通り北西-南東の線を「境界」に西側と東側で地震の活動度に違いがある。このような活動度の違いは茨城県沿岸では東南東-西北西、房総半島沿岸では北北東-南南西に伸びる「境界」としても見られる。もう一つの目的は、「境界」の意味を考察することである。

方法とその背景: 地殻応力の測定結果に基づいて断層体震源模型が提案されている。この模型によれば断層の剪断破壊強度は地殻内で約 10MPa 程度と小さく、断層が weak fault である。このことは、断層面が主応力面にほぼ一致していることを示している。DRA による地殻応力測定は、日本海大和海盆の ODP Hole 794C, 東北地方の 10 地点や野島断層近傍などで行われてきた。これらの測定結果から、GRS80 座標系で、応力の配向と GPS Velocity の方向を比較の結果、最小あるいは最大水平応力の方向がほぼ GPS Velocity の方向に一致していることが明らかになった。以上のことから、一つの主応力軸が水平な場合には、断層の走向が GPS Velocity の方向と近似的に平行あるいは直交していることが期待される。

以上のことから、駆動源の手掛かりを得るために、上部マントルに発生する地震を含めて、節面の走向方向と GPS Velocity の方向を比較する。また、地震活動の境界線の意味を考えるために、境界の方向と GPS Velocity の方向の比較を行う。

結果と結論: 発震機構解と GPS velocity の予備的な比較では、上部マントルに発生する地震についても、節面の走向方向の一つは GPS velocity にほぼ平行あるいは直交している。このことは駆動源が上部地殻にあることを示唆している。

太平洋沿岸で牡鹿と銚子の間にある GPS 観測点での GPS Velocity ('97 ~ '07) の方向はおよそ 200° ~ 240° で南西方向にある。したがって、金華山付近を通り北西-南東の「境界」線は GPS Velocity の方向にほぼ直交し、いわき付近を通り北東-南西の「境界」線は GPS Velocity の方向にほぼ平行する。また、茨城県沿岸と房総半島沿岸に認められる「境界」もそれぞれ GPS Velocity の方向にほぼ直交かほぼ平行である。一方、いわき付近を通る「境界」線境界付近の内陸では M=7 の地震が発生している。この地震の発震機構解として求められている節面の走向は GPS Velocity にほぼ直交している。上記のことから、地殻活動の「境界」も主応力面の一つであり、「構造線」といわれる地殻構造の境界であることが示唆される。

GPS Velocity; GSI, http://mekira.gsi.go.jp/project/f3_10_5/ja/index.html

地震活動; NIED, <http://www.hinet.bosai.go.jp/>

発震機構解, NIED, <http://www.fnet.bosai.go.jp/event/search.php?LANG=ja>, and USGS, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchiv>

キーワード: ウィークフォールト, GPS Velocity, 地震活動, 発震機構, 断層面の走向, 構造線

Keywords: weak fault, GPS velocity, Seismic activity, focal mechanism, direction of fault strike, tectonic line

二次余震を含んだ摩擦構成則モデリングに基づく余震活動シミュレーション A numerical simulation of an aftershock activity with the rate-and-state friction model and secondary aftershock effect

岩田 貴樹^{1*}
Takaki Iwata^{1*}

¹ 統計数理研究所

¹The Institute of Statistical Mathematics

The model of seismicity rate with rate- and state-dependent constitutive law suggested by Dieterich [1994, JGR] (hereafter referred to as Dieterich model) successfully explains the decay rate of an aftershock activity following an inverse power law (Omori-Utsu law [Utsu, 1961, Geophys. Mag.]). The temporal decay of an earthquake sequence derived from the Dieterich model is asymptotically the same as the particular case of the Omori-Utsu law with the p -value equal to 1, but real aftershock sequences has a variety of the p -value. Some studies have already attempted to resolve this consistency, but it is difficult to reproduce the case of $p > 1$. For this issue, Dieterich [1994] suggests his model including secondary aftershock effect. In this framework, Marsan [2006, JGR] shows the variation on the decay of an aftershock activity with his numerical simulation, but did not discuss how the p -value changes.

This study clarifies the effect of secondary aftershocks on the variety of aftershock decay through a numerical simulation. The approach used in this study is similar to that of Marsan [2006]. Probability distributions of stress changes caused by a mainshock and each aftershock are assumed, and random stress changes which follow the assumed probability distributions are given to a huge number of subfaults. Then, on the basis of the Dieterich model, we compute the seismicity rate with the given stress changes. While Marsan [2006] shows the expected decay of a seismicity rate, in this study earthquake sequences are generated from the computed seismicity rate and the p -values are estimated by fitting the Omori-Utsu formula to each of the generated sequences. The numerical simulation reveals that the p -value depends on the assumed probability distributions of stress changes and that in particular p -value is greater than 1 if the mean of the stress changes caused by aftershocks is positive.

キーワード: 余震活動, 大森・宇津公式, p 値, 速度および状態依存摩擦構成則, 点過程解析, 統計地震学

Keywords: aftershock activity, Omori-Utsu law, p -value, rate- and state-dependent friction law, point process analysis, statistical seismology

市販ICレコーダを用いた茨城県北部における臨時微小地震観測について Temporary observation of micro earthquakes in the northern Ibaraki prefecture by using ready-made IC recorders

齊藤 佳佑^{1*}, 勝俣 啓¹
Keisuke Saito^{1*}, Kei Katsumata¹

¹ 北海道大学・地震火山研究観測センター

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

P波初動極性を用いて震源メカニズム解を精度良く推定するためには、高密度な地震観測網が必要であり、その実現のためには、できるだけ安価な地震観測システムを開発する必要がある。そこで、本研究では、初動極性の読み取りに特化した、機能を必要最低限に抑えた地震観測システムを提案する。用いた地震計は約1万円の上下動地震計で、データロガーとして市販の約1万円のICレコーダを用いた。ICレコーダの記録可能周波数は60-3400 [Hz]と仕様書には記載されているが、勝俣・岡山(2012)のICレコーダの波形データ収録実験によって10 [Hz]程度の波も記録可能であることが示されている。

本研究では、正断層型の微小地震活動が活発な茨城県北部において約1か月の臨時微小地震観測を行い、本研究で考案した地震観測システムの有効性を検討した。設置した臨時観測点数は全29点である。観測点設置の際は、短時間で多くの観測点を設置することを目指し、全観測点を1本の道路沿いに設置した。ICレコーダに記録された波形データをモニタ記録で確認した結果、数点の観測点を除いて、ほとんどの観測点で波形データが記録されていることがわかった。また、波形の切り出しが実行できるようにICレコーダの内部時計の時刻データを大まかに修正した後、波形の切り出しを行った。その結果、50 [Hz]程度の低周波の波も十分記録可能であることがわかった。次に、P波初動極性の読み取りを行い、読み取った極性データを用いてHASHプログラム [Hardebeck and Shearer (2002)]を用いて茨城県北部における微小地震の震源メカニズム解の推定を行った。本研究では、震源メカニズム解の推定に防災科学技術研究所 Hi-net の観測点と臨時観測点の極性データを用いており、4個の地震の震源メカニズム解を推定した。Hi-net と臨時観測点の極性データ両方を用いて推定した震源メカニズム解と、Hi-net の観測点の極性データのみを用いて推定した震源メカニズム解とを比較した結果、臨時観測点の極性データも用いて推定した震源メカニズム解の方が高精度であることがわかった。

今後の課題は、ICレコーダの詳細な周波数特性を調べることと、解析データ数を増やし、そのほとんどが正断層型を示すかどうかを検討し、本研究で考案した地震観測システムが震源メカニズム解の推定に十分使用可能であるかを検討することである。

キーワード: ICレコーダ

Keywords: IC recorder

日本列島とその周辺地域の震源分布 - 和達・ベニオフ帯の検討

On the distribution of seismic foci in the Japanese islands and neighborhoods- About the Wadati-Benioff zone

足立 久男^{1*}, 赤松 陽², 鈴木 耐元³, 島弧深部構造研究グループ¹

Hisao Adachi^{1*}, Yo Akamatsu², Yasumoto Suzuki³, The Research Group of Deep Structure of Island Arcs¹

¹ 東京農業大学, ² 〒 191-0062 東京都日野市多摩平 7-3-8, ³ 〒 272-0824 千葉県市川市菅野 4-4-15

¹Tokyo University of Agriculture, ²7-3-8 Tamadaira, Hino, Tokyo, 191-0062 Japan, ³4-4-15 Sugano, Ichikawa, Chiba, 272-0824 Japan

本報告では、島弧深部構造研究グループ(2009)にもとづき日本列島付近の震源分布(気象庁, 2005)の特徴を整理し、いくつかの地域における地震単元(足立ほか, 2009)の例を示す。また、和達・ベニオフ帯(Wadati, 1935; Usami et al., 1958; 宇津, 1974, 1986 ほか)について若干の検討をおこなう。

日本列島とその周辺地域における震源分布

北海道から千島列島西部とその周辺地域における震源分布の等深線は、東北東 - 西南西ないし北東 - 南西方向の走向をもち、北西方向に次第に深くなる。本州とその周辺地域、および西方の日本海地域では等深線は、東北東 - 西南西ないし北東 - 南西方向の走向を示し、北西に次第に深くなる。本州とその周辺地域、および西方の日本海地域では等深線は、東北東 - 西南西ないし北東 - 南西方向の走向を示し、北西に次第に深くなる。九州ないし南西諸島とその周辺地域では、琉球海溝付近から北西方に次第に深くなるような傾向を示す。全体的な傾向は以上の通りであるが細かく検討すると、等深線が不連続に変位するところがしばしばみられ、その変位部は直線状ないし弧状に、長さ数 10km あるいはそれ以上におよんでいる。このような不連続の変位部を境して震源分布の単元を識別できる。

震源分布と地震単元

以下に地震単元の例として、千島海盆付近、伊豆・小笠原諸島とその周辺、本州中央部についてのべる。

千島海盆付近にみられる地震単元 千島海盆内では、深さ 300km ないし 600km 台の地震活動がとくに活発におこなわれている。この中の中心に向かって深くなる半盆状の震源分布単元が認められるが、これは千島海盆の地形単元にほぼ対応している。階段状変位部に境された一つの単元の幅は 50 ~ 150km である。短冊状のこのような小さな地震単元とこれらがいくつか集まった大きな単元を識別することができる。

伊豆・小笠原諸島とその周辺にみられる地震単元 伊豆・小笠原諸島とその周辺地域では、等深線は全体としては南北ないし北北西 - 南南東方向の走向を示すが、細かくみるとこの中は、東北東 - 西南西方向、東西方向の階段状変位線によっていくつかの単元が識別される。これらの単元の広がり数は数 10 ~ 200km である。単元内の震源分布をみてみると震源は様には分布していなくて、震源が密集する地域、分布していない地域が識別できる。地震密集域・空白域の境界の多くは、等深線が階段状に変位する部分とも一致しており、それぞれ一つの単元を示すものと考えられる。

本州中央部にみられる地震単元 本州中央部での等深線に一般走向は大きく変化する。本州東北部の等深線の方向が南北ないし北北東 - 南南西方向で、北西 - 南東方向の線を境に階段状に変位するのに対して、本州中央部では等深線の方向は南北ないし北北西 - 南南東方向で、東北東 - 西南西方向に階段状に変位する。等深線を階段状に変位させる線は直線状ないし雁行状に配列し、これらによって 100 ~ 200km の広がりをもついくつかの地震域を識別できる。

和達・ベニオフ帯について

和達・ベニオフ帯は、しばしばある厚さをもつ板状のものとして想定されているが、実際には、本論でのべたように、地塊構造を暗示させる垂直に近い階段状変位線によって境された、いくつかの小さな単元(地震域・地震亜区・地震区)に分かれている(足立ほか, 2009)とみられることである。今後、こうした問題点をふまえて、和達・ベニオフ帯の実態を再検討してみたい。

島弧深部構造研究グループ: 足立久男・赤松 陽・原田郁夫・飯川健勝・川北敏章・小林和宏・小林雅弘・小泉 潔・久保田喜裕・宮川武史・村山敬真・小河靖男・佐々木拓郎・鈴木耐元・鈴木義浩・山崎興輔

キーワード: 地震, 震源, 地震単元, 等深線, 和達・ベニオフ帯, 日本列島

Keywords: earthquake, seismic foci, seismic unit, iso-depth contour, Wadati-Benioff zone, Japanese islands

2011, 2月 NZ 地震の波相論 (Wave Features Theory) Wave Features Theory II of 2011, 2 NZ Earthquake Motion

西澤 勝^{1*}

Masaru Nishizawa^{1*}

¹ なし

¹ none

1. まえがき

2012, 5月日本地球惑星科学連合学会 (JpGU) の S-SS26-P01 で NZ 自身の波相論 (Wave Features Theory) を述べたが、続編として主要動以後の Seismic wave を中心に述べる。

2. 主要動以後の Seismic Wave

Station CCCC, CMHS, CHHC, PRPC, HUSC の Soft Ground に設置されている Seismic Wave の主要動後の Wave Feature を見る。Soft Ground に設置されていると思われるのは、いずれの Station においても鉛直方向の Seismic Wave が普通の地盤の地震波の波相 (Wave Features) に近いためである。東西、南北の Wave Features は明らかに Soft Ground であることを示している。明らかに普通に地盤に近い (Soft Ground の Wave Features は多少見られる) Seismic Wave とは異なる。上記 5 つの Station の主要動以後の Wave Feature を見ても、ゆっくりした振動が観測されていることに注目されたい。東西、南北共、主要動と比べるとかなり周期が長めのランダムな振動 (Seismic Wave) である。なかには基線 (基軸) すら動いていると思われる Station (例、PRPC) すらある。これは 2012、日本地震学会での浦安市 (URAYASU CITY) での液状化で述べたように、NZ Earthquake Motion においても、クライスチャーチの Soft Ground は Wave Action に近い広範囲な液状化現象 (The Phenomenon of Liquefaction) を起こし、液体に近い Wave Action を呈していると考えられる。なお、防災科研見学時に基線の上下振動中に大小の差のある現象に名前をつけて呼ばれておりましたが、基線の上下の振動の大きさに差が生ずる一つの原因は、この地盤の下に硬さの異なる地盤があることによるものと思われる。クライスチャーチの Soft Ground の Wave Features から判断すると、この Soft Ground の厚さはそんなに厚くないと思われる。又、震源から観測点までの距離が同じでも、P 波の到達時間に差がある所があるが、これは伝わってくる地盤がちがうため、一般に Soft Ground は遅く伝わる。

3. まとめ

クライスチャーチの 2011, 2 NZ 地震においても、2011, 3, 11 東日本大震災での浦安市の Liquefaction と同じく地盤全体広範囲にわたり波動運動 (Wave Action) を起こしている。

参考文献

1. 西澤勝, Masaru Nishizawa

2011, 2月 NZ 地震の相波論 (Wave features theory)

2012, 5月日本地球惑星科学連合大会学会 (JpGU), S-SS26-P01

2. 西澤勝, Masaru Nishizawa

The Seiche or Wave Action of Liquefaction of URAYASU CITY on the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster

2012, 10月日本地震学会秋季大会, P3-71

3. 日野幹雄 著 「流体力学」 朝倉書店、1992

4. 西澤勝 「液状化に対する私見とその応用」, 日本環境学会第 37 回研究発表会、2011、6月

5. 西澤勝 句集 [行雲流水]、(増補版) -地震考-波相論に備えて-

平成 22、6月

6. 「1995年1月兵庫県南部地震の液状化に伴う免振力についての若干の考察」

第 28 階日本環境学会研究発表会、2002、6月

本州中央部に発生した地震に伴う断層の環状分布

Ring-like arrangement of faults accompanied by shallow and deep earthquakes in central Honshu, Japan

鈴木 尉元^{1*}, 足立 久男¹, 赤松 陽¹, 飯川健勝¹, 小林和宏¹, 小林雅弘¹, 久保田喜裕¹, 村山敬真¹

Yasumoto Suzuki^{1*}, Hisao Adachi¹, Yo, AKAMATSU¹, Kensho, IIKAWA¹, Kazuyhiro, KOBAYASHI¹, Masahiro, KOBAYASHI¹, Yoshiriro, KUBOTA¹, Keishin, MURAYAMA¹

¹ 〒 272-0824 千葉県市川市菅野 4-4-15

¹ 4-4-15 Sugano, Ichikawa, Chiba, 272-0824 Japan

地震波の初動は、一般に震源から押されるように運動する押しか、震源の方に向かう引きになり、その分布は、直交する二つの節面によって押しの領域と引きの領域に分けることができる。地震に伴う断層は、二つの節面の一方の面に沿って行われるものと考えられている。

この二つの節面の走向はしばしば平行するが、この場合断層の走向は一義的に決まり、その性質は傾斜ずりの正断層あるいは逆断層となる。一方の節面の傾斜が急で他の節面が緩い場合、前者が付近の傾斜ずり正断層あるいは逆断層と平行するので、急な節面にそって断層運動が行われるものと考えられる。この場合断層は、ななめ傾斜ずりの正断層あるいは逆断層となる。

このような手法で本州中央部に発生した地震に伴う断層を求めると、各地で同心状の環状分布域が認められる。

本州東北部の越後山脈ないし足尾山地を中心とする地域には、拡がり東西・南北とも約 100 km の四辺形状に角張った環状分布域が認められる。朝日・飯豊山地を取り囲む地域には、東西約 50 km、南北約 100 km の四辺形状の角張った環状分布域が認められる。阿武隈高地では、同高地を取り囲むような東西約 50 km、南北約 200 km の楕円状の分布域が認められる。これら各環状分布形状は、100 km 未満の浅発地震によるものと、100 km 以上の深発地震によるものとがほぼ平行する。

本州中央部の東は関東山地、西は若狭湾から大阪湾に至る地域には、飛騨高地を中心

として南北約 200 km、東西約 400 km の東西に延びた環状分布域が認められる。この環状構造は、浅発地震によるものと深発地震によるものとがほぼ平行に走る。なお関東平野南部には東西約 100 km、南北約 50 km の半環状の分布域が認められる。

紀伊半島には、一辺が 100 km 程の四辺形状に角張った浅発地震による断層運動が認められる。ここには深発地震の活動は認められない。

このように、本州中央部には浅発地震の活動と西方に次第に深くなる深発地震の活動が認められ、浅発地震に伴う断層と深発地震に伴う断層はほぼ同じような方向性をもって活動する。さらに深発地震と浅発地震は垂直方向に関係を持って活動することが指摘されている。このような傾向は、深発地震の活動の場と浅発地震の活動の場が垂直方向の断層などによって関係を持って活動していることを示すものと考えられる。

今後造構運動を三次元的に深部に追及する方向に研究を進めることが期待される。

キーワード: 浅発地震, 深発地震, 発震機構, 断層, 環状構造

Keywords: shallow earthquake, deep earthquake, earthquake mechanism, fault, ring-like arrangement