

Early aftershock 系列における高周波地震波形エンベロープの合成 High-frequency seismogram envelope synthesis of early aftershock sequences

澤崎 郁^{1*}, エネスク ボグダン²
Kaoru Sawazaki^{1*}, Enescu, Bogdan²

¹ 防災科学技術研究所, ² 筑波大学

¹NIED, ²University of Tsukuba

大地震の直後に続発する余震 (early aftershocks) の波形記録は、本震のコーダ波や先行する余震の記録に埋もれやすい。このため本震直後の地震カタログは欠損し、余震活動の正確な把握を妨げる要因となる。early aftershocks の発生過程を定量的に調べるためには、これを個々の地震の発生ではなく連続的なエネルギー放出過程とみなす方が容易であると考えられる。本研究では、インパルス震源により励起されるコーダ波エネルギーを本震-余震系列のエネルギー輻射関数にたたみこむことにより、1-16 Hz 帯域における地震波形エンベロープを合成した。ここで、コーダ波の生成過程は輻射伝達理論 (多重散乱波エネルギーの時空間分布を記述する理論のひとつ) にしたがって、エネルギー輻射関数は大森・宇津公式、Gutenberg-Richter 式、およびオメガ²乗震源スペクトルに基づくものとした。輻射伝達理論で用いるパラメータである散乱係数と内部減衰は、小地震のコーダ波の解析により独自に求めた。大森・宇津公式の p 値、 c 値、および Gutenberg-Richter 式の b 値は従来の研究により得られている値を用いた。

合成エンベロープの特徴を以下に記述する。Mw7 の本震を震源距離 10-30km で観測した場合、本震発生後 30-100 秒以内では、本震による散乱波のエネルギーが early aftershocks による励起エネルギーよりも卓越する。そのため、エンベロープ振幅は輻射伝達方程式にしたがい指数関数的に減衰する。大地震における低周波エネルギーの励起は高周波に比べて相対的に大きく、また散乱波の減衰は低周波ほど緩やかであるため、エンベロープ振幅は低周波ほど大きい。一方、30-100 秒後以降では early aftershocks により励起されるエネルギーが散乱波のエネルギーを上回るため、そのエンベロープ振幅は大森・宇津公式にしたがいべき乗型で減衰する。Gutenberg-Richter 式により規模の小さい地震の割合が多くなるため、エンベロープ振幅における高周波成分の低周波成分に対する割合は、本震後 30-100 秒以内の場合よりも大きくなる。これらの特徴は、2008 年岩手・宮城内陸地震 (Mw6.9) とその early aftershocks についての Hi-net 連続観測記録からも確認できる。

キーワード: 余震活動, 地震波形エンベロープ, 高周波帯域, コーダ波, 大森・宇津公式, グーテンベルク・リヒター式

Keywords: early aftershocks, seismogram envelope, high frequency, coda wave, Omori-Utsu law, Gutenberg-Richter law

エンベロープのテンプレートをを用いた本震直後の余震の検知 Detection of immediate aftershocks using seismogram envelopes as templates

小菅 正裕^{1*}, 千葉 正堯¹

Masahiro Kosuga^{1*}, Masaaki Chiba¹

¹ 弘前大学理工学研究科

¹ Graduate School of Sci. and Tech., Hirosaki Univ.

Hypocenter location and its temporal variation of aftershocks are the source of information of mainshock rupture and stress perturbation around the fault. Since the number of aftershocks decays exponentially, study of immediate aftershocks is important to get the above information. However, the location of immediate aftershocks is difficult due to coda wave of mainshock and successive occurrence of aftershocks.

Here we propose a new method of hypocenter location using seismogram envelopes as templates. There has been proposed some location methods using aftershock seismograms as templates. Our method employs envelope that are the logarithm of root-mean-squared (RMS) amplitude of band-pass filtered seismogram. The envelope is smoother and more stable than seismogram, and it changes absolute value with the earthquake magnitude but keeps its shape, which is the advantage of the use of envelope.

The proposed method composes of two processes. The first process is the calculation of cross-correlation coefficients between a continuous (target) envelope and template envelopes. Assuming an origin time, we set time windows in the target and templates to calculate the cross-correlation by referring to the arrival times of P-wave of template events. We define the average cross-correlation among the stations and three components as the cross-correlation for each template. We repeat this process by shifting the origin time to obtain a set of cross-correlation values for pairs of (origin time, template).

The second process is the event detection and location. First, we search for the maximum cross-correlation among all pairs of (origin time, template), which gives the origin time of the first event and corresponding template. At present, we simply regard template location as the location of the detected event. Magnitude of event is calculated by the amplitude ratio of target and template envelope. To avoid duplicate detection around this event, we set a dead time of detection around the origin time of the first event. Then we search for the second highest cross correlation value in a time window excluding the dead time. We repeat this procedure until the highest cross-correlation value falls below a threshold.

We applied this method to a data set of the 2004 Mid-Niigata Prefecture (Niigata-Chuetsu) Earthquake ($M = 6.8$) in central Japan. Aftershock activity of this earthquake is extensive with a number of aftershocks with magnitude greater than 6.0, and with a complex fault system that consists of two parallel westward-dipping faults and a conjugate fault plane. We tested the method by using target envelopes of two stations, 34 templates with a length of 8 s, both in a center frequency of 4 Hz. During a period of one-hour from the mainshock, we could detect 71 events, which are comparable to the number of the catalog events. The location of events are generally near the catalog location, however, the event magnitude is systematically larger than the catalog value. Of course the result depends on the above parameters and we should develop a method of suitable selection of parameters. In addition, we should improve the method of magnitude estimates and, most importantly, relative location of events against templates. Though we have much job to do, we conclude that the employment of envelopes as template works adequately even just after the mainshock of large inland earthquake.

Acknowledgement: We used hypocentral parameters and arrival time data of the JMA catalog that was prepared by the JMA and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology in Japan. I thank the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) and the University of Tokyo for providing waveform data. This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 23540487.

キーワード: 余震, 震源決定, テンプレート, エンベロープ, 相関, 中越地震

Keywords: aftershocks, hypocenter location, template, envelope, correlation, Chuetsu earthquake

テンプレートイベントを用いた小地震の断層タイプの推定～東北地方太平洋沖で発生する地震への適用～

Estimation of faulting types of small earthquakes using template events east off Tohoku

中村 航^{1*}, 内田 直希¹, 松澤 暢¹

Wataru Nakamura^{1*}, Naoki Uchida¹, Toru Matsuzawa¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Tohoku University

東北日本沈み込み帯では、さまざまなメカニズム解を持つ地震が発生している。地震のメカニズム解の推定においては、地震波形を用いた CMT 解が最も信頼度が高いと考えられるが、小地震の CMT 解を精度よく推定することは難しい。しかし、発震機構別の地震活動を詳細に議論するには小地震の断層タイプを知る必要がある。

そこで本研究では、小地震の断層タイプを分類する新たな手法の開発を試みた。この方法では、メカニズム解が既知の地震をテンプレート地震とし、複数の観測点における波形相関を計算する。もし2つの地震が同じメカニズム解を持って同じ場所で発生していれば、波形もほぼ同じ形になるので、2つの地震の波形相関が高ければ、似たメカニズム解を持つ地震同士であると考えられる。本研究ではまず、メカニズム解の違いと波形同士の相関係数の関係を調べた。ここで、メカニズム解の違いは断層面の最小回転角 (Kagan, 1991) によって評価した。地震間の距離の違いによる影響を少なくするため、相関係数は P 波と S 波を独立にそれぞれ 10 秒間のウィンドウで計算した。その結果、メカニズム解の違いが小さいのに相関が低い地震ペアも多数あるものの、相関の高い地震ペアはおおむねメカニズム解の違いが小さく、かつ互いに近距離に位置していることがわかった。このことから、メカニズムの似ている地震を分類するしきい値として相関係数が 0.6 以上を設定した。

次に、メカニズム解が既知の地震とそうでない地震同士の相関を調べた。その結果、複数の地震がしきい値 0.6 以上の地震として抽出できた。抽出した各地震が比較元の地震と同じメカニズム解を持つと仮定してグルーピングしたところ、抽出した地震のほとんどは逆断層型であり、正断層型の地震も少数だけが見つかった。

本研究では、テンプレートイベントを用いたメカニズム分類により、これまでより多くの地震の断層タイプの分類ができる可能性が示された。今後はさらに多くの地震を分類できるように、手法の改良を行っていく予定である。

キーワード: メカニズム解, テンプレートイベント, 沈み込み帯

Keywords: focal mechanism, template event, subduction zone

平成 23 年東北地方太平洋沖地震発生後の小繰り返し地震活動 (2) Small repeating earthquakes after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (2)

五十嵐 俊博^{1*}
Toshihiro Igarashi^{1*}

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, Univ. of Tokyo

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (Mw9.0) was the largest earthquake in recorded history in Japan. For the stress changes by this earthquake, many aftershocks and induced earthquakes have occurred in and around the source regions. In this study, I show the space-time characteristics of the inter-plate aseismic slip from sequences of small repeating earthquakes in Japan after the 2011 Tohoku earthquake.

I have already detected many small repeating earthquakes occurred at the upper boundary of the subducting plates in Japan before the 2011 Tohoku earthquake. The inter-plate slip-rates estimated from these sequences were consistent to the space-time changes of the inter-plate coupling. I also identified aseismic slips following large inter-plate earthquakes occurred in 2003 to 2008 and quasi-static slips associated with foreshocks off Miyagi that started from 2011.

After the 2011 Tohoku earthquake, seismic activities of small repeating earthquakes become active around the source regions. They are particularly active in the northwestern deeper part of the 2011 main-shock and its large aftershocks. The cumulative slip is more than 4 m in the most frequent area and is consistent to the value estimated from GPS data analysis. Detected sequences also show post-seismic slips at the trench-side of the northern and southern part of the source region in the subducting Pacific plate and in the subducting Philippine Sea plate beneath the metropolitan district, which suggest induced inter-plate slips. In two years after the earthquake, the slip-rates are three to five times of the relative plate motion in the north and western part. On the other hand, they are almost decreasing to the rate before the 2011 main-shock in the southern part. I cannot detect small repeating earthquakes within coseismic slip areas of the 2011 main-shock and large aftershocks after the 2011 main-shock. Distributions of small repeating earthquakes probably outline their large slip areas. Therefore, I suggest that both coseismic slip areas and after-slip areas of large earthquakes can estimate from the space-time changes of small repeating earthquakes.

Some of small repeating earthquakes are burst-type sequences which occur only after the 2011 Tohoku earthquake. Observed seismograms may be distorted by the multiplicity of the seismic waves to come from various places, the seismic velocity changes at the propagation path or site, or changes of physical properties at the plate interface. Other repeating sequences, which classify in continuous type conventionally and are not detected after the 2011 main-shock, seem to be included in earthquake clusters influenced for the recurrence cycle of the larger earthquake. We should pay attention to future activities to investigate whether physical property at the plate interface has changed by the effect of inter-plate large slip and stress changes.

キーワード: 平成 23 年東北地方太平洋沖地震, 小繰り返し地震

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, small repeating earthquake

1933年三陸沖アウターライズ地震：直後の余震の再決定と最近の地震活動および海底地形との比較

The great 1933 Sanriku-oki outer-rise earthquake: Relocated aftershocks, recent seismicity and fault scarp morphology

内田 直希^{1*}, ステファン カービー², エミール オカール³, 海野 徳仁¹
Naoki Uchida^{1*}, Stephen Kirby², Emile Okal³, Norihito Umino¹

¹ 東北大学理学研究科, ² 米国地質調査所, ³ ノースウエスタン大学

¹ Graduate school of science Tohoku university, ² U.S. Geological Survey, ³ Northwestern University

The 1933 Sanriku-oki earthquake is the largest earthquake that occurred outer trench-slope region of the northern Honshu, Japan. Recent observations and analyses on earthquakes, such as 2006 and 2007 Kuril earthquakes, 2004 Sumatra earthquake suggest the interactions between outer-rise and interplate thrust earthquakes. Thus it is important to examine the mechanisms of the aftershocks of the 1933 earthquake that encompass a wide area including the inner trench region according to the JMA location. In this study, we examined the data quality of the 1933 earthquake based on smoked paper records and relocated the earthquakes by using phase data from regional stations and modern relocation methods. Relocations by the double-difference method show about 170 km long aftershock area under the outer trench slope that is separated from the seismicity under the inner trench slope. The earthquakes under the inner trench slope were located where recent activity of interplate thrust earthquakes is high. Separation of aftershock activity between outer trench-slope and inner trench slope was also confirmed by an examination of recent earthquakes that are accurately located based on OBS data at the study area. Earthquakes under the inner trench slope immediately after the 1933 Sanriku-oki earthquake are consistent with earthquake location discrimination based on waveforms and S-P time data (Umino et al. 2007). These two regions of seismicity suggest stress triggering of interplate earthquakes by the deformation from the 1933 outer-rise earthquake. We also relocated pre March 11th, 2011 seismicity near the trench region. The result show the present seismicity at the outer trench-slope region of northern Honshu can be divided into several groups of earthquakes along the trench; one group roughly corresponds to the aftershock region of the 1933 earthquake. Comparison of the 1933 rupture dimension based on our relocations with the morphologies of fault scarps in the outer trench slope suggest that the rupture was limited by the region where fault scarps are trench parallel and cross cutting seafloor spreading fabric.

Acknowledgements: We thank R. Hino and K. Obana for providing relocated hypocenter of earthquakes based on OBS data, Y. Tamura for access to seismograms of the 1933 earthquake and its aftershocks recorded at the Mizusawa observatory and JMA for phase data of earthquakes.

キーワード: 昭和三陸地震, アウターライズ地震

Keywords: 1933 Sanriku-oki earthquake, outer-rise earthquake

日本海溝沿いの地震活動及び地殻変動に見られる約9年周期の変動

An approximately-nine-year-period variation in seismicity and crustal deformation near the Japan Trench

田中 愛幸^{1*}

Yoshiyuki Tanaka^{1*}

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

地震発生確率が潮汐や積雪等によって日周あるいは年周変動することが知られているが、それよりも長い10年程度の周期に対する地震発生確率の変動はあまり調べられていない。過去にグローバルな地震活動に約10年の変動が見られることが報告されていたが、最近の日本でもM8クラスの地震が8-10年の間隔で起きている。そこで日本海溝沿いの大地震に着目し、統計的な調査を行った。スペクトル解析等の結果、1923年以降の関東・東北・北海道のM5以上の地震に約9年周期の有意な変動が見られることが分かった。同じ結果は宇津カタログに記載された貞観地震以降のM6以上の歴史地震についても見られ、M7.6以上では周期性はいっそう際立ち、29個のうち半数の発生が約9年の周期のうち連続する2年に分布する。以上の高い地震活動の時期は、1950-1970年代に全国の27点で行われた地殻変動連続観測がプレート沈み込み方向に圧縮のセンスを示す時期と一致し、地震活動が偶然9年おきに高まったように見えるのではないことを示唆する。数百年以上にわたる歴史地震の発生時期を調べると、発生確率が高くなる周期が9年弱の狭い範囲に絞られることが分かる。月の長期的な運動に同じような周期が存在するので、それとの相関を調べると、上の地震活動や地殻変動の位相と時間的に一致する。GPS等の最近の測地観測データの一部にも、この位相と一致した変動が見られる。このような長周期の潮汐力は通常理論からは地震の周期性を引き起こすには無視されるほど小さいので、もし潮汐力でこの現象が説明できるとするならば、何らかの仕組みによって振幅が増幅されなければならない。そこで、この現象の原因を探る第一歩として、どれだけの大きさの物体に潮汐力が働けば十分な応力変化がプレート境界に働くか計算した。その結果、太平洋下の上部マントル程度の大きさの物体が水平方向に周囲から分離されていると考えると必要な応力が生み出されることが分かった。こうした限り、大気や海洋の未知の現象や深部スロースリップの繰り返し周期との共鳴など他のメカニズムが必要である。この周期変動の原因を明らかにし、評価ができるようになれば、他の手法と組み合わせることで、プレート境界の大地震の発生時期の範囲をより狭めることが可能になる。他の沈み込み帯も含め、地震活動や地殻変動データの再解析・蓄積により、この変動が明らかになることが期待される。

キーワード: 地殻変動, 地震サイクル, 地震活動, 潮汐, 沈み込み帯

Keywords: crustal deformation, earthquake cycle, seismicity, tide, subduction zone

2011年東北地方太平洋沖地震後の見かけの地震活動静穏化 Pseudo earthquake quiescence following the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake

加藤 愛太郎^{1*}, 小原 一成¹, 福田 淳一¹
Aitaro Kato^{1*}, Kazushige Obara¹, Jun'ichi Fukuda¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ ERI University of Tokyo

The large extensional stress perturbations associated with the 11 March 2011 Tohoku-Oki earthquake (magnitude (M) 9.0) [e.g., Ozawa et al., 2011] has boosted widespread increase in seismicity across NE and central Japan [e.g., Kato et al., 2011; Toda et al., 2011; Miyazawa, 2012]. In addition to the induced seismicity, several sequences of earthquake quiescence or sudden reductions of seismicity were reported after the Tohoku-Oki earthquake [e.g., Toda et al., 2011]. However, it has been argued that sudden rate reductions were potentially due to temporal changes in the completeness magnitude threshold of any earthquake catalogue following the immediate aftermath of large mainshock [e.g., Felzer and Brodsky, 2005; Peng and Zhao, 2009]. After the Tohoku mainshock, small magnitude earthquakes tended to be masked by overlapping arrivals of waves from immediately following numerous earthquakes occurred in not only the source region of the Tohoku mainshock but also inland regions.

For example, a seismic cluster broke out on 27 February 2011 in the Hida mountain range (near Norikura), where the present volcanic front is located, and its activity had continued until the Tohoku-Oki mainshock. The representative focal mechanisms are thrust and strike-slip faulting with the P-axis aligned WN-SE direction, which is a typical stress field in this region. Just following the Tohoku mainshock, the seismic activity reported in the JMA catalogue shows earthquake quiescence: one day later the seismicity gradually turned around its previous level. In order to investigate whether this earthquake quiescence is real or not, we applied a matched-filter technique to detect missing events with the use of continuous three-component velocity seismograms recorded by a dense network of continuous and highly-sensitive seismic stations.

In contrast to the JMA catalogue, the seismicity in the cluster has still continued even just after the Tohoku mainshock and seismic quiescence was not observed. We identified a total of several tens of events in the cluster during a time-window when the JMA has not reported any existence of seismic events. Our newly detected catalogue describes the temporal and spatial evolutions of seismicity more precisely. The newly constructed catalogue in the Hida Mountain range (near Norikura) shows that the seismicity increased in the immediate aftermath of the Tohoku mainshock. This rate increase is likely explained by a static-stress transfer model. Thus, the quiescence seen in the JMA catalogue following the Tohoku mainshock is artificial due to temporal increases in the completeness magnitude threshold of the catalogue.

熊本県八代海近傍で検出された誘発微動 Characteristics of triggered tremor beneath the Yatsushiro Sea by the surface wave of a teleseismic event

宮崎 真大^{1*}, 松本 聡², 清水 洋²
Masahiro Miyazaki^{1*}, Satoshi Matsumoto², Hiroshi Shimizu²

¹ 九大・理, ² 九大・地震火山センター
¹ Grad. Sch. Sci., Kyushu Univ., ² SEVO, Kyushu Univ.

2012年4月11日に、インドネシアのスマトラ島北部西方沖で Mw 8.6 の地震が発生した。この地震により励起された表面波に伴い、日本各地で微動が誘発されていたことが、Chao and Obara(2012, SSJ) や、小原他 (2012, SSJ) によって報告された。本研究では、その中の1つである熊本県八代海近傍の観測点で検出された微動に着目し、定常地震観測網に九州大学の臨時観測点を含んだ、より高密度のデータを用いて、誘発微動の活動特性を把握することを目的とした。

微動は振幅が非常に弱く、P波やS波といったフェーズの到達時刻を読み取ることが難しい。先行研究では、微動の波形のRMSエンベロープを用いて観測点ペアの走時差を相互相関により求め、S波と仮定してグリッドサーチにより震源決定を行っている(エンベロープ相関法: Obara, 2002)。本研究では、震源の位置と地震発生時刻を仮定して観測点に地震波が到達する理論時刻を計算し、そこから15秒間の波形を切り出して各観測点の成分ごとに足し合わせ、各成分の二乗振幅が最も大きくなる点をグリッドサーチにより推定した。波形は、1~4Hz または 2~8Hz のバンドパス波形を、理論走時の計算にはP波またはS波をそれぞれ使用した。

解析の結果、S波を仮定した方が、P波を仮定した場合に比べ、安定して求めることができた。深さは20 km程度に求められ、これはこの地域の地震発生層の下限と対応していることが分かった。今後は、微動が励起された時刻・場所における応力の変化量の見積もりや、微動のメカニズム解の推定を行っていきたい。

謝辞

本研究では、九州大学の定常観測点・臨時観測点に加え、気象庁・防災科学技術研究所・鹿児島大学の定常観測点の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: 誘発微動, 八代海
Keywords: triggered tremor, the Yatsushiro Sea

地震発生回数から求められる南東北から関東沿岸域下のプレートにおける東北地方太平洋沖地震発生前後の応力変化
Spatiotemporal stress change concerned with Tohoku-Oki Earthquake derived from the seismicity rate in off southern Tohok

高橋 豪^{1*}, 津村 紀子¹

Go Takahashi^{1*}, Noriko Tsumura¹

¹ 千葉大学

¹ Chiba University

南東北から関東沿岸域は、東北地方太平洋沖地震の本震の破壊域の南部とそれに隣接している領域である。大地震発生後、このような領域で発生する地震は大地震によって解放された歪エネルギーによる応力の再配分の影響を受けていると考えられている (Freed 2005)。研究対象領域内では特に太平洋 (PAC) プレートとフィリピン海 (PHS) プレート付近で地震が多発している。そこで、この領域内の PAC プレート及び PHS プレート付近において、Detrich (1994) の地震発生回数の時空間変化から応力の変化を求める手法を使用し、東北地方太平洋沖地震発生前後でどのような応力変化があったのかを求めた。また、この領域内で発生した地震のメカニズム解を決定し、応力変化との関係を調べた。

本研究の解析には気象庁一元化震源を使用した。期間は 1998 年 1 月 1 日から 2012 年 3 月 31 日である。発生した地震のマグニチュードや深さが決定されていないものはデータから取り除いた。メカニズム解の決定には防災科学技術研究所 Hi-net のイベント波形データで M3.5 以上のものを使用した。

まず、水平方向では緯度 0.2° × 経度 0.2° ごとに領域を分割した。深さ方向は Uchida et al. (2009) で推定された PAC プレート上面の深度と Uchida et al. (2010) で推定された PHS プレート上面の深度を使用し、各プレート上面から ± 10 km の範囲に入る地震の累積頻度から各領域でのひと月ごとの応力変化を求めた。

その結果、2011 年 3 月は PAC プレート、PHS プレート両方の近傍において広範囲で相対的に大きな応力変化が示された。特に PAC プレート上面近傍では Uchida et al. (2009) でプレート間カップリングが小さいと推定された PHS プレートの北東端よりも南の領域でも大きな応力変化が見られた。その後数ヶ月の間に両方のプレート上面近傍で、3 月に大きな応力変化を示した領域に隣接する領域で大きな応力変化の値が示され、時間の経過とともに、大きな応力変化を示す南端の領域が更に南へ移動していく傾向があった。特に、2011 年 3 月に大きな応力変化があった領域内やその周辺領域で M 5 以上の地震が発生しており、応力変化の影響を受けて誘発されたと考えられる。

応力変化と決定したメカニズム解を比較すると、相対的に大きな応力変化を示した領域の中に東北地方太平洋沖地震発生前後でメカニズム解に大きな変化がある領域がみられた。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 応力変化, 余震

Keywords: Tohoku earthquake, Stress change, Aftershock

東北沖地震後の内陸誘発地震の地震活動と地殻構造

Seismicity and crustal structure in the focal area of the inland earthquakes induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake

岡田 知己^{1*}, 高木 涼太¹, 吉田 圭佑¹, 米川 真紀¹, 山村 卓也¹, 長谷川 昭¹, 東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループ¹
Tomomi Okada^{1*}, Ryota Takagi¹, Keisuke Yoshida¹, Maki Yonekawa¹, takuya yamamura¹, Akira Hasegawa¹, Group for the aftershock observations of the 2011 Tohoku-Oki earthquake¹

¹ 東北大学 地震・噴火予知研究観測センター

¹Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Tohoku Univ.

After the occurrence of the 2011 Tohoku earthquake with a magnitude of 9, the seismicity in the overriding plate has changed. The seismicity seems to form the seismic belts. The earthquakes after the 2011 Tohoku earthquakes tend to be located at the edge of these seismic belts.

From the time-latitude distribution, we can see the change of seismicity in the occurrence of the 2011 Tohoku earthquake. Most of the earthquake clusters have activated just the 2011 Tohoku earthquake and decreased, although some of them activated gently. In some earthquake swarms, we can observe temporal expansion of the focal area. This temporal expansion can be explained by the fluid diffusion.

In the lower crust, we found seismic low velocity zone, which seems to be elongated along N-S or NE-SW, the strike of the island arc. These seismic low-velocity zones are located not only beneath the volcanic front but also beneath the fore-arc region. Seismic activity in the upper crust tends to be high above these low-velocity zones in the lower crust. Most of the shallow earthquakes after the occurrence of the 2011 Tohoku earthquake are also located above the seismic low-velocity zone. Normal fault earthquakes in northern Ibaraki and southeastern Fukushima are also located just above the seismic low-velocity zone.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 誘発地震, 内陸地震, 地殻構造, 応力, 地殻流体

2011年2月から3月の岐阜県飛騨地方乗鞍岳山麓旗鉾付近の群発地震活動 Swarm Activity at the Southwestern Frank of Mt. Norikura, Gifu Prefecture, Central Japan, in February and March, 2011

大見 士朗^{1*}, 和田 博夫¹, 濱田 勇輝¹

Shiro Ohmi^{1*}, Hiroo Wada¹, Yuki Hamada¹

¹ 京都大学防災研究所附属地震予知研究センター上宝観測所

¹Kamitakara Observatory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1. はじめに: 2011年2月27日から同3月にかけて, 岐阜県飛騨地方の高山市丹生川町旗鉾付近を震源とする群発地震活動が発生した。その後の3月11日の東北地方太平洋沖地震(以下, 東北地震という)や, 引き続き発生した飛騨山脈脊梁部の活発な群発地震のため, 詳細が記録されていないきらいがあるため, ここに概要を報告する。

2. 地震活動の概要: 2011年2月27日2時18分にMjma5.0の地震, 引き続いて5時38分にMjma5.5の地震が発生し, いずれも岐阜県高山市で震度4を記録した。高山市で震度4を記録したのは, 気象庁の統計によれば, 1944年12月7日の昭和東南海地震, および1945年1月13日の三河地震以来のことである。主だった活動は2011年2月から3月にかけて発生し, その後消長を繰り返しながら2011年後半には収束を見た。気象庁の震源カタログ(2013年2月現在)によれば, 2011年2月~3月の間に, 当地域に約1,400個の地震が震源決定されている。また, 主だった地震の発震機構を初動極性を用いて再決定すると, NNW-SSE方向に圧縮軸を持つ逆断層タイプが卓越しており, 震源域に断層トレースは記載されていないものの, 高山・大原断層の東部延長上で発生したことが推定される。

3. 地震活動の消長の再解析: 2011年3月以降は, 東北地震に伴う地震活動の活発化により, 各地で群発地震が発生し, 岐阜県飛騨地方においても3月11日の本震発生直後から飛騨山脈脊梁部で地震活動が活発化した。このような状況下では地震活動の消長を迅速に把握することが極めて困難な状況となり新たな解析手法の導入が必須と考えられた。そのため, 本稿では, 最近, 深部低周波イベントの同定等に使用されることで注目されているMatched-Filter Technique(たとえば, Shelly et al., 2007, Kato et al., 2011等)を適用して, 群発地震活動の再解析を試み, すでにほぼ確定版に近づいている本活動に関する気象庁カタログとの比較を行った。

解析には震源域周辺の観測点9点を選んだ。これらの地震観測点は, Hinet, 気象庁, 国交省北陸地方整備局, 京大防災研等が運用しているものである。Matched-Filter法に使用するテンプレート地震は, 2月27日~3月3日までの地震から約30個を使用した。テンプレート, 連続波形とも3成分波形を使用し, 1Hz~10Hzのフィルタをかけた後に, テンプレート地震の波形のP波到着時刻0.25秒前から5秒間の記録と連続記録との相関係数の時間推移を計算した。各観測点の相関係数をスタックした量が, ノイズレベルの8を越えた場合に, そのテンプレートと合致する地震が検出されたと判断した。また, 各観測点では, テンプレート波形との相関係数が0.4を超えた場合, イベント波形が有効に検出できた。複数テンプレートで検出された地震の重複をさけるため, 震源時が0.5秒以内, 震央位置が1km以内にあるイベントは同一とみなし, 検出時の相関係数が最大のイベントを選択した。

4. 結果: この手法により, 2月27日から3月末までに検出されたイベント総数は約4,800個となった。このうち, 9観測点のうち7観測点以上の観測点でイベント波形が有効に検出され震源決定が高精度になされたとみなされる地震は約1,600個であった。地震検出数の時間変化をみると, 2月27日と28日の2日間で3,000個以上を検出した後, 3月1日以降検出数は減少し, 3月11日の時点で1日40個程度の検出となっている。東北地震の発生後の他地域の地震波形の混入による検知能力への影響は評価できていないが, 3月12日以降も3月末までは日々10個内外の地震を検出しており, 一部で報告されたような, 東北地震に伴う顕著な地震活動の低下は必ずしも認められないようである。

5. 手法に関する考察: Matched-Filter Techniqueの適用により, 同時期の気象庁カタログ記載数の約3倍程度の地震を検出し, 気象庁カタログとほぼ同数の地震の震源を決定することができた。個別のイベント波形の精査を行っていないことから, 震源決定精度の議論は別途必要であるが, 短期間に群発地震の活動概要を把握するには有効な手法であると考えられた。今回の群発地震震源域のサイズはENE-WSW方向に約5km, 直行する方向に約2.5km程度の広がりをもっており, 単独のテンプレートで全領域の地震の検出を行うのは困難であったが, 検出状況を監視しながら随時テンプレートを追加することで対応可能であると思われる。本手法は, 比較的狭い領域で似通った波形のイベントが連発する際には効果を発揮することが予想され, 火山地域等での狭い領域に集中する群発地震の監視等にも有効であると考えられる。

キーワード: 群発地震活動, 岐阜県飛騨地方, 乗鞍岳, 高山大原断層, matched-filter 法

Keywords: swarm activity, Hida district, Gifu Prefecture, Mt. Norikura-dake, Takayama-Oppara Fault, matched-filter technique

浅部地殻内地震と地質構造との関係 -紀伊半島北西部の三波川変成帯における定常地震活動-

The relationship between shallow seismicity and geologic structure in the Sambagawa belt, northwestern Kii Peninsula

前田 純伶^{1*}, 遠田 晋次²
Sumire Maeda^{1*}, Shinji Toda²

¹ 京都大学防災研究所, ² 東北大学災害科学国際研究所

¹DPRI, Kyoto University, ²IRIDeS, Tohoku University

近畿地方内陸部では主として丹波山地と紀伊半島北西部で定常地震活動が活発である。これらの震央分布は地質構造と関連性があると指摘されている(例えば、片尾・安藤, 1996)。しかし、詳細な地質構造と地震発生の特徴に関する具体的な研究例は無い。そのため、著者らは震源の深さが10kmよりも浅い地震活動で特徴付けられる紀伊半島北西部の微小地震発生域に着目し、地質構造との関係を調べた。その結果、微小地震発生域が地表での三波川帯と秩父帯分布域とほぼ一致することを指摘した(2012年地震学会秋季大会)。特に、東西もしくは東北東-西南西のトレンドをもつ複数の線状配列を見出し、地質構造帯内の地層や褶曲軸・断層の走向が一致することも明らかにした。本発表では、新たに、hypoDD法による震源再決定、P波初動極性を用いた微小地震のメカニズム解の決定を行った結果を報告し、既往の重力異常図から推定される地下地質と震源分布との比較を行う。地震発生における岩相・鉱物組成の重要性についても指摘する。

本研究で用いた震源再決定手法は、手動検測値によって得られた2重位相差を利用したDouble-difference法(Waldhauser and Ellsworth, 2000)である。初期震源位置には、和歌山市付近の活動域中心から100km以内の観測点の気象庁一元化処理検測値を用いた。速度構造はJMA2001(上野ほか, 2002)を使用した。震源再決定を行った期間は2001/1/1~2010/12/31である。また、線状地震クラスター上で発生している地震の発震機構をより多く求めるために、気象庁や防災科研(F-net)よりも小さな地震(主としてM3.0以下)を対象として、京大防災研SATARNシステム内の波形データからWINシステム上でP波初動極性を用いて、三波川帯における震源メカニズム解を求めた。

震源再決定の結果、東西走向だけではなく、異なる走向の線状クラスターも多数存在することがわかった。特に、三波川帯西部においてクラスター化が顕著で、気象庁一元化カタログでは雲状に散在していた震央分布が線状クラスターとして鮮明になった。また、震源分布の断面図から、秩父帯に接する四万十帯で地層の走向傾斜に整合する東西走向・北傾斜のクラスターが複数確認された。一方、東西圧縮の逆断層型が多いとされてきた発震機構については、東西走向以外の横ずれの成分を持った発生機構も多数検出された。これら横ずれ断層による震源が東西走向の線状クラスターに密接に関連している可能性もある。

一方で、これらの三次元震源分布や発震機構と地質構造の詳細な対比を試みるために、既往のブーゲ異常図(角田・ほか, 2002, 駒沢・ほか, 1999)を利用して地下地質を推定した。和歌山県北西部に関して、これらのブーゲ異常図に共通する傾向として、東西走向に並走する2列の高重力異常部が存在する。1つは紀の川市龍門山から橋本市南部にかけて延びる約20kmの高重力異常部で、もう1つは有田市北部から有田川町北部にかけて延びる約20kmの高重力異常部である。双方とも、地表地質図における塩基性・超塩基性岩類を主とする地質帯と対応する(超)塩基性岩類は、周囲の三波川帯の泥質砂質や秩父帯の砂岩・粘板岩類に比べて密度が高い。したがって、地表で確認されるこれらの岩相が地下深部まで延びている可能性はきわめて高い。

ブーゲ異常図に再決定した震源を重ねると、上記の2列の高重力異常部には一部の例外を除き震源がほとんど分布せず、その傾向は震源断面からも顕著に読み取られる。すなわち、地下深部に潜在するとみられる(超)塩基性岩類は微小地震を発生させておらず、その周辺域の低密度の片岩、砂岩・頁岩で多数の線状クラスター型の地震活動がみられる。これらの原因として、構成鉱物による脆性?延性遷移温度の差からくる地震発生層厚と強度の地域差、片理・層理面・断層など不連続部の発達程度による脆性破壊域での強度差など、が考えられる。

文献:角田他,2002,日本応用地質学会中部支部研究発表会・講演会予稿集,14,25-30.;片尾・安藤,1996,科学,66,124-131.;駒澤他,1999,地質調査所.;上野他,2002,験震時報,65,123?134.;Waldhauser and Ellsworth,2000,Bull.Seismol.Soc.Am.,90,1352-1368.

キーワード: 紀伊半島北西部, 三波川変成帯, 定常地震活動

Keywords: northwestern Kii Peninsula, Sambagawa belt, shallow seismicity

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も震源は様には分布してなくて、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、いくつもの小さな単元(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