

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

¹Grad. Sch. Sci., Kyushu Univ., ²SEVO, 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

¹ Research 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

¹ Kamitakara 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