

東北地方太平洋沖地震後に活発化した 飛騨山脈脊梁部の地震活動について

大見士朗・和田博夫・濱田勇輝・三和佐知栄・高田陽一郎

要 旨

平成23（2011）年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の本震発生直後より、飛騨山脈南部の焼岳から乗鞍岳の周辺で顕著な地震活動の活発化がみられた。この活動は本震の発生後約10分以内に始まり、約一カ月間継続した。活動の初期には、焼岳北方と焼岳・乗鞍岳間の2か所に活動の中心があったが、後者は3月20日頃までに鎮静化し、前者の活動は4月初旬まで継続した。焼岳北方約3kmの地点で、3月11日14時57分にMjma4.7、3月21日13時15分にMjma4.8の地震が発生するなど、2個のM>4.5の地震を含む活発な地震活動がみられた。焼岳北方の地震の発震機構解は、本地域の広域応力場である北西―南東圧縮の場を示しており、過去の研究と整合的である。また、解析期間に限れば、マグマ貫入等があれば発現する可能性のある、応力場の局所的な擾乱による発震機構解の時間的な変化は見られなかった。

キーワード：焼岳火山、飛騨山脈、群発地震、東北地方太平洋沖地震

1. はじめに

飛騨山脈は、本州中央部を南北に富山・新潟県境から岐阜・長野県境に沿って延びる山脈である。この山脈には、北から、立山（弥陀ヶ原）、焼岳、アカンダナ（赤棚）山、乗鞍岳の4つの活火山が認定されている。なお、飛騨山脈南方に位置する御嶽山を含め、いわゆる日本アルプス（飛騨山脈、木曽山脈、赤石山脈の総称）には、5つの活火山が認定されている（気象庁、2005）（Fig. 1）。

飛騨山脈では、従来より微小地震活動が活発であり、しばしば、群発地震活動が発生する（和田ら、1993, 1994 等）。たとえば、1998 年 8 月に上高地付近で始まった群発地震活動は約 1 年半にわたって継続し、その最大地震は M5.4 という活発なものであった（たとえば、和田ら、1999, 2000）。また、飛騨山脈の活火山では、焼岳や立山近傍などを中心に、深部低周波地震が観測される（大見ら、2001, 2003 など）。

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震に際しては、その本震発生直後より、飛騨山脈脊梁部では後立山連峰から乗鞍岳にかけての広い範囲で地震活動の活発化が見られた。本報告では、それらのうち、とくに、飛騨山脈南部の焼岳から乗鞍岳周辺の活動に重点をおいて報告する。

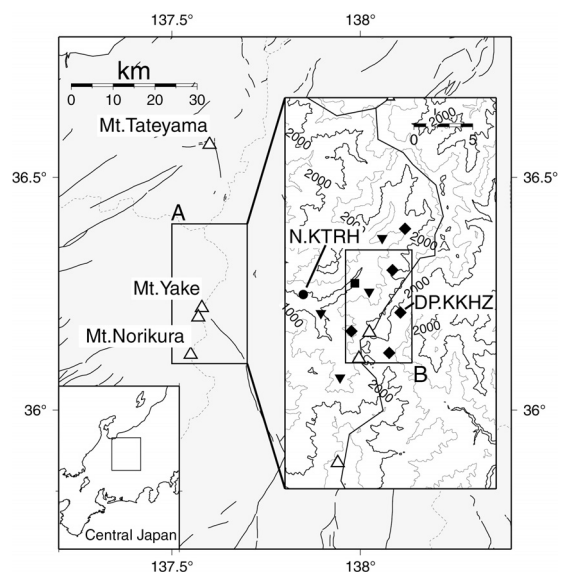


Fig. 1 Index map of the study area. Rectangle area in the inset at the lower-left is enlarged. Open triangles show the active volcanoes while solid lines denote the active faults. Enlarged map of the area A is also shown and solid square, diamonds, reverse triangles, and circle in it denote seismic stations operated by DPRI (permanent), DPRI (temporal), Jinzu Sabo office, and NIED, respectively.

2. 観測およびデータ処理

2.1 微小地震観測網

当地域は急峻な山岳地帯であり、通常の微小地震観測網の設置密度の低い地域であるが、大学、気象庁(JMA)、防災科学技術研究所(防災科研, NIED)等の定常観測点に加え、国土交通省北陸地方整備局神通川水系砂防事務所(神通砂防)による数点のテレメータ観測網が運用中であり、これらのデータは京都大学防災研究所(京大防災研, DPRI)に集約されている。これに加え、2010年秋より、京大防災研による現地収録方式の臨時観測が進行中であったことから、これらのデータの併合処理により、今回の群発地震活動の消長を発生当初から詳細にとらえることができた (Fig.1 参照)。

今回の解析では、防災科研、気象庁、京大防災研の短周期微小地震定常観測点のデータのほか、神通砂防が焼岳山麓に維持する微弱地震計4台のデータ、および、京大防災研が焼岳火山を囲むように展開していた5点のオフライン臨時観測データを用いた。地震計は、神通砂防のものを除き固有周期1Hzのものであり、すべて3成分観測である。神通砂防の観測点の地震計は、固有周期5Hzの地震計にフィードバックをかけて、特性が1Hzまで平坦になるようにしたものである。なお、こちらも3成分観測である。Fig. 2に今回使用した地震観測点の分布を示す。なお、震源決定には、Fig. 2に示した観測点を使用した、後

述の発震機構解の決定においては、これらのほかに、焼岳火山を中心とする半径100km以内の観測点の初動極性データを適宜用いた。

2.2 データ処理について

今回の飛騨山脈の地震活動は、東北地方太平洋沖地震の余震や、それに伴う各地の地震活動と同時進行的に発生した。そのため、地震波形データには、往々にして、対象とする飛騨山脈の地震以外の地震動が重畳しており、通常地震判定方法である、地動信号レベルの長時間平均と短時間平均の比を使うSTA/LTA法を用いたのでは確実なイベント検出が困難であった。そのため、ここでは対象地域の地震の検出に特化した方法を採用し、さらに取りこぼしについては、手動でイベントを切りだした。内容については、付録1を参照されたい。

また、再検測による震源決定は、宇治地区と上宝観測所の双方で行われた。双方での検測結果を手動で集約する労を省くため、検測結果はインターネット接続を通じてリアルタイムで伝送され、宇治・上宝の双方の地震カタログを常に同一に保つようなシステムを採用した(付録2)。

震源決定には、上宝観測所の定常的な震源決定処理で用いられている、和田ら(1979)に基づく地震波速度構造モデル(Fig.3)を用い、Hirata and Matsu'ura (1987)の震源決定プログラムHYPOMHにより行った。なお、 $V_p/V_s=1.73$ を仮定している。

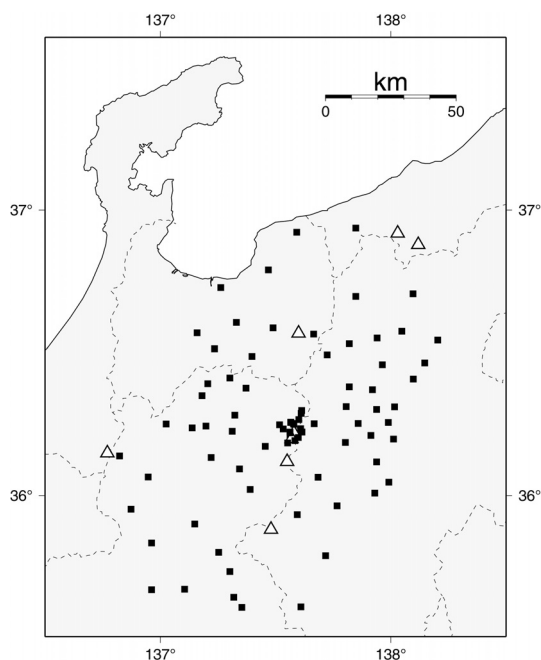


Fig. 2 Distribution of seismic stations used for the analysis. Solid squares represent seismic stations while open triangles show active volcanoes.

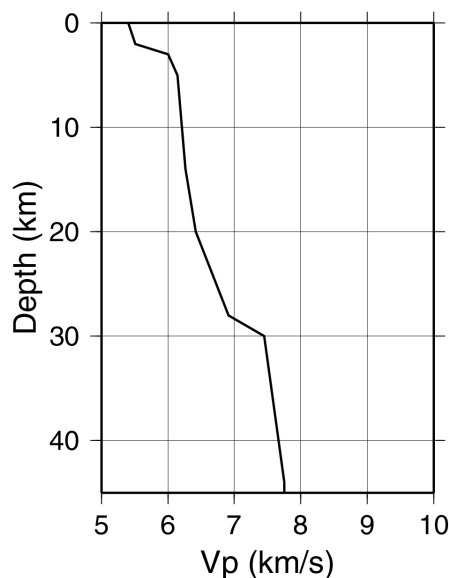


Fig.3 P-wave velocity model used for hypocenter determination, which is after Wada et al. (1979). $V_p/V_s=1.73$ assumed.

3. 地震活動

本稿では、2011年3月から2011年4月末までのカタログデータを使用して議論を行う。この中には、再検測が終了したM1.4以上の地震と、比較的精度よく

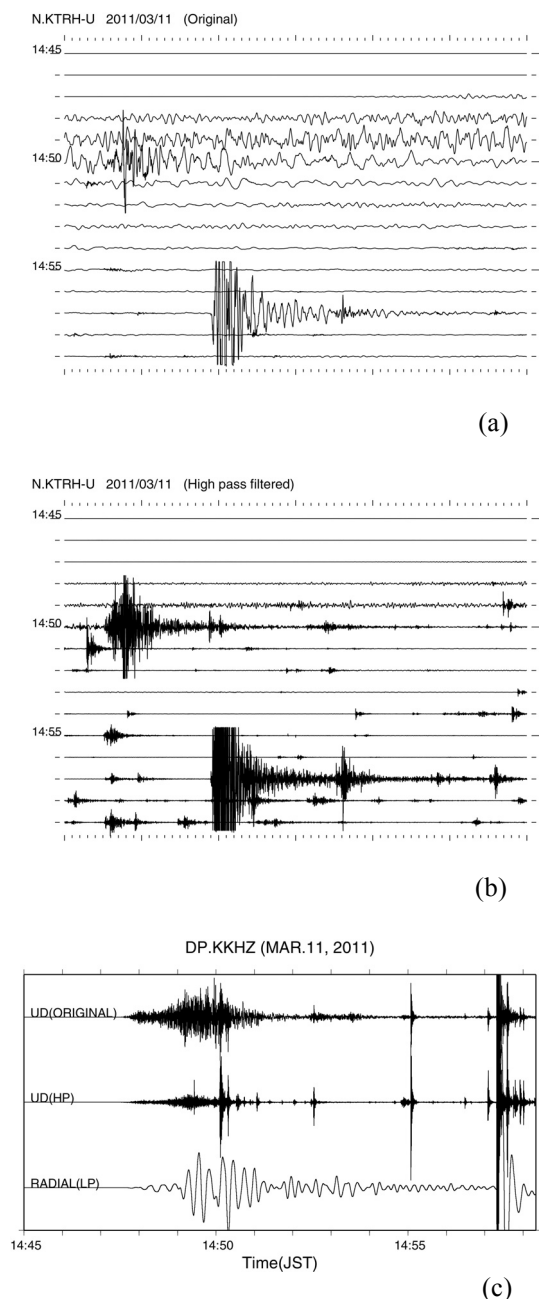


Fig. 4 Early post-earthquakes after the Tohoku-oki event along the Hida mountain range. (a) Continuous seismogram recorded at station N.KTRH from 14:45 JST to 15:00 JST on March 11, 2011. Vertical component seismogram is shown. For station location, see Fig. 1. (b) The same record with high pass filtered (10Hz). (c) Comparison with low pass filtered (0.02 – 0.1Hz) radial component at station DP.KKHZ.

震源決定されていると考えられるM0.0以上の自動決定震源が含まれている。震源データの選択は以下の基準によっている。PまたはSの検測数が合計10個以上、P波走時のRMS残差が0.75s以下、S波走時のRMS残差が1.50s以下。この条件で選別された、Fig.1のAの領域内に含まれる地震は約9500個である。

3.1 群発地震活動の開始時期

東北地方太平洋沖地震の本震発生後約10分の3月11日14時57分に、今回の飛騨山脈焼岳周辺の地震活動で、最大震度を記録したM4.7（気象庁マグニチュード）の地震が発生した。なお、今回対象としている群発地震の震源域に最も近い震度観測点は、防災科研の上宝観測点（N.KTRH）に併設されたものであり、「高山市奥飛騨温泉郷栃尾」という地名で発表される（Fig.1参照）。Fig.4は、14時45分から15分間の、N.KTRH観測点の記録である。Fig.4aはオリジナルの波形データ、Fig.4bは本震の大振幅波形の影響を小さくするため、10Hzのハイパスフィルタをかけたものである。これをみると、本震発生後、14時57分よりも早い時期、たとえば14時49分55秒付近には、焼岳周辺を震源とすると考えられる、S-P時間の短い地震が観測されていることがわかる。なお、14時50分05秒前後に震動が開始しているイベントは、焼岳～乗鞍岳間に発生した、M4.2の地震（気象庁カタログ未掲載）である。Fig.4cは、これらに加え、さらに焼岳山頂に近く、良好な記録が取得できている、DP.KKHZ観測点の記録のradial成分に機器の特性の補正を施した後の、0.02Hz – 0.1Hzの帯域の波形を比較のために並べたものである。Rayleigh波と考えられる大振幅の波形の到着と相前後して、当地域の地震活動が始まっていることが見て取れる。

3.2 群発地震活動の時間的経過

Fig. 5a に、3月10日から4月30日までの、地域A（Fig.1参照）の震源分布、Fig.5bに同地域の同期間の震源の時空間分布、Fig.5cに同地域・期間の発生数積算グラフとM-Tダイアグラムを示す。地震活動活発化直後の活動域は、焼岳北方と焼岳～乗鞍岳の中間付近よりやや南側の2か所に主たる中心があった。後者の焼岳～乗鞍岳中間付近の活動は、3月20日頃までにはほぼ鎮静化し、その後は焼岳近傍の活動が継続した。地震発生数は消長を繰り返しながら順調に減少していたが、3月21日13時15分に、再び焼岳近傍でM4.8（気象庁マグニチュード）の地震が発生し、一時、地震発生数が増加したが、その後は地震発生数は順調に減少し、4月上旬までにほぼ鎮静化するにいたった。

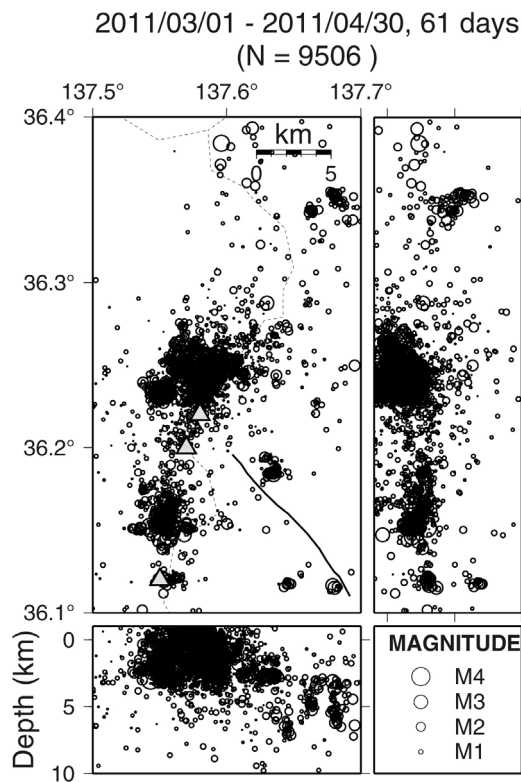


Fig. 5 (a) Seismicity along the Hida mountain range. Hypocenters in the area A denoted in Fig. 1 are shown. Earthquakes during the period from March 1 to April 30 are plotted. (a) Hypocenter distribution. Shaded triangles represent active volcanoes while solid lines show active faults.

3.3 焼岳近傍の地震活動の状況

Fig. 6a に焼岳近傍 (Fig. 1 の枠 B の地域) の震源分布を拡大したものを、Fig. 6b に同地域の震源の時空間分布を示す。期間は、3 月 10 日から 3 月末までである。焼岳山頂の北 1km 付近からさらに北に向けて、南西～北東方向に長さ 4km 程度、幅 1km 程度に震央が分布している。また、震源は主として、飛騨山脈の稜線 (岐阜・長野県境) に沿って、岐阜県側に分布していることが認められる。Fig. 6b によれば、3 月 20 日頃を境に、活動域が南北に分かれており、当初南側で活動し、その後 1km 程度北側に活動の中心が移動したことがわかる。M>4.5 の 2 個のイベン

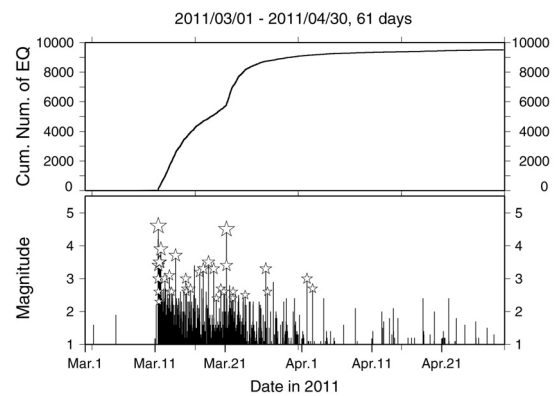


Fig. 5(cont.) (c) Magnitude-Time diagram (bottom) together with cumulative number of earthquakes (top). Stars denote felt earthquakes in the JMA catalogue.

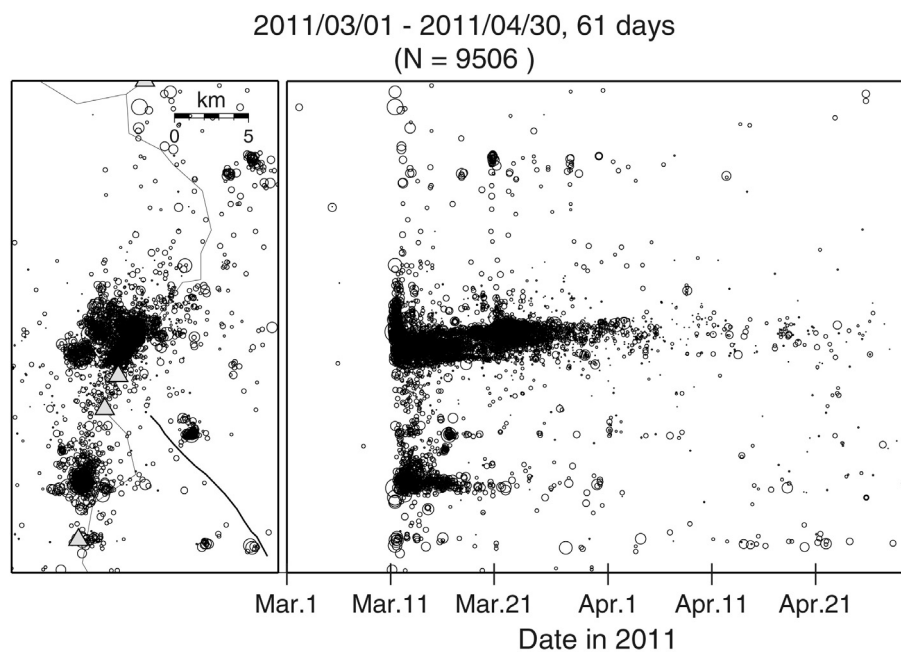


Fig. 5(cont.) (b) Spatio-temporal distribution of the earthquakes.

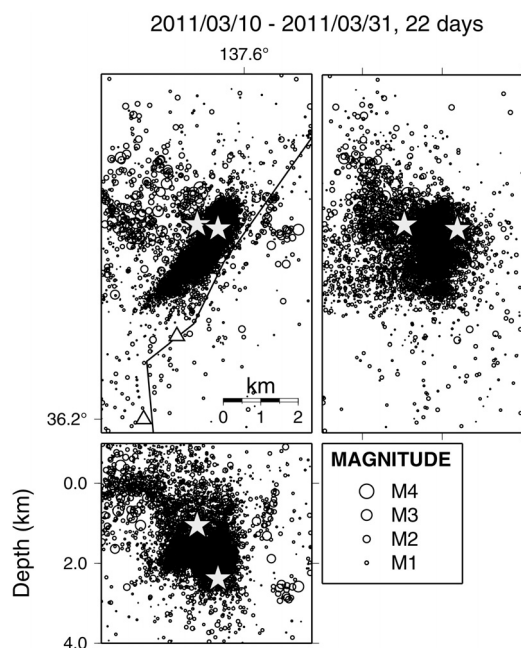


Fig. 6 Seismicity near the Yake-dake volcano. Hypocenters in the area B in Fig. 1 are shown. Earthquakes during the period from March 10 to March 31 are plotted. (a) Hypocenter distribution. Stars denote the $M > 4.5$ earthquakes. Open triangle shows the Yake-dake volcano and solid line denotes the prefecture border.

トは、いずれも、北側のクラスタに含まれている。Fig. 7 には、気象庁により、奥飛騨温泉郷栃尾で有感と発表された地震を中心に、初動極性により求めた発震機構解を示す。期間を通じて、ほぼ北西～南東方向の圧縮軸を持つ発震機構解が求められた。

4. 議論

今回の地震活動が、東北地方太平洋沖地震の本震の発生から 10 分以内に始まったことは、本震による応力場の変化に加え、大振幅の表面波により、地震活動がトリガされた可能性がある (Miyazawa, 2011)。

今回の焼岳周辺の地震活動の特徴のひとつとして、震源が非常に浅く求まるイベントが多いことが挙げられる。Fig. 5c の MT ダイアグラム上で、☆印を付した地震は、気象庁により、奥飛騨温泉郷栃尾で有感とされた地震である。しかしながら、栃尾地区から直線距離で 5km 程度の場所にある、震源域直上にあたる奥飛騨温泉郷中尾地区の住民によると、気象庁が有感と発表しなかった地震でも揺れを感じた、という報告が少なからずあり (和田博夫, 私信)、震源が浅いことによる現地有感の地震がかなりあったことが推察される。

本群発地震の震源域は、焼岳火山の山麓であるということもあり、地震活動と火山活動の関連が懸念された。火山においてマグマの移動等が発生した場合には、それにより、局地的な応力場が乱され、地震の発震機構解に現れることがある (たとえば, Umakoshi et al., 2001)。この観点から、焼岳周辺の主な地震の発震機構解の時間的な変化を注視することが必要と考えられた。Fig. 7 は 3 月 10 日から 4 月末までの有感地震を中心とする地震の発震機構解である。これを見るかぎり、その発震機構に時間的な変化は見られず、この期間については、マグマの貫入イベント等はなかったものと考えられる。

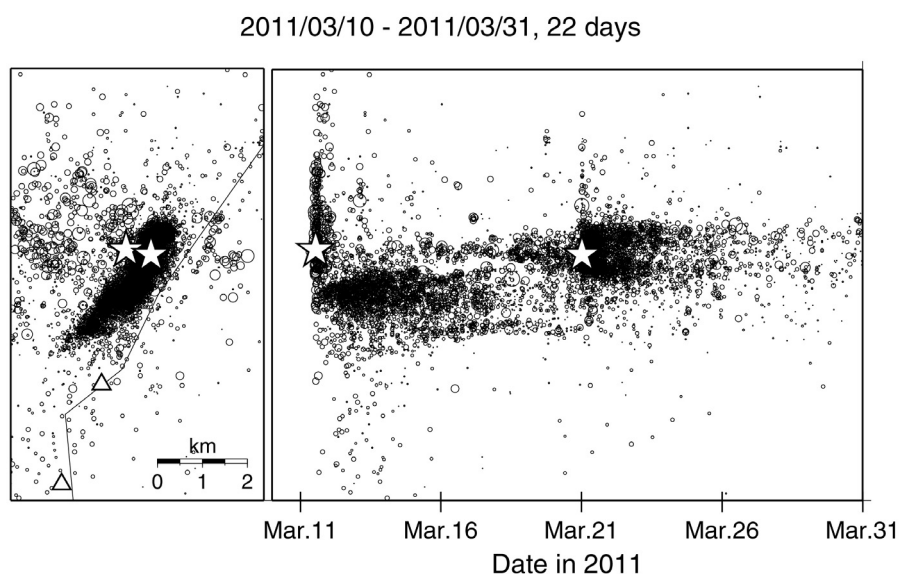


Fig.6 (cont.) (b) Spatio-temporal distribution of the earthquakes.

Fig. 7 の発震機構解で示される応力場は、当地域の広域応力場（たとえば、Kaneshima, 1990）である、北西—南東方向に主圧縮軸を持つものであり、これまでの当地域の地震の発震機構の解析結果と調和的である。

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震直後から活発化した飛騨山脈の焼岳火山周辺の地震活動について、主に3月から4月の2ヵ月間の活動について解析を行った。この活動は、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の本震発生後の約10分後から活動が始まり、4月上旬に一応の終息をみた。活動の初期には、地震活動の中心は、焼岳北麓と焼岳～乗鞍岳の中間よりやや南側の2か所にあった。後者は、3月20日ごろまでにはほぼ活動が終息し、その後は前者が主として活動を続けた。この活動には、 $M > 4.5$ の地震が2個含まれており、一個は3月11日の活動開始直後、2個目は3月21日に発生しており、いずれも焼岳北方3km程度の場所に震源がある。2個目の地震の発生に伴い、地震活動の中心が北方に約1km程度移動した。2ヵ月間に発生した主な地震の発震機構解は、当地域の広域応力場である、北西—南東の圧縮場を示しており、過去の研究と調和的である。また、この2ヵ月間には、発震機構解の時間変化は認められず、この期間に限れば焼岳火山のマグマ貫入等のイベントはなかったものと推察される。

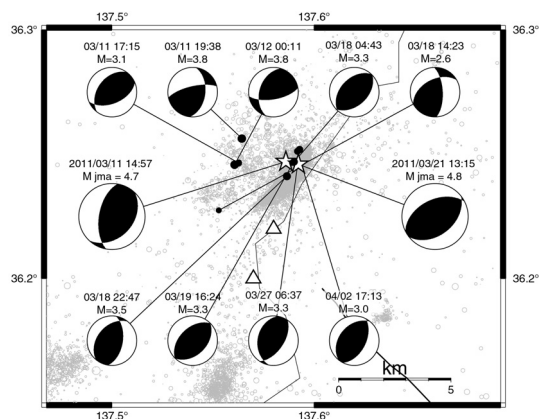


Fig.7 Focal mechanism solutions of the earthquakes near the Yake-dake volcano. Initial motion of P-waves are used for analysis. Lower hemisphere projection is used. Stars show the epicenters of the $M > 4.5$ earthquakes. Magnitudes are based on relocated hypocenters except two $M > 4.5$ events.

謝 辞

今回の解析では、各大学、気象庁、防災科学技術研究所、および国土交通省北陸地方整備局神通川水系砂防事務所の微小地震観測網の波形データを使用した。中部山岳国立公園内での臨時地震観測に際しては、以下の関係機関のご協力をいただいた。記して感謝する。国交省神通川水系砂防事務所、国交省富山河川国道事務所、環境省平湯自然保護管事務所、林野庁飛騨森林管理署、岐阜県飛騨振興局、岐阜県高山市役所危機管理室、名古屋鉄道株式会社、奥飛観光開発株式会社、国交省松本砂防事務所、環境省松本自然環境事務所、林野庁中信森林管理署、長野県松本地方事務所、長野県松本建設事務所、長野県松本市役所安曇支所、信州大学山岳科学総合研究所。

参考文献

- ト部卓・東田進也 (1992) : WIN—微小地震観測網波形観測支援のためのワークステーション・プログラム (強化版), 地震学会講演予稿集 1992 年度秋季大会, p.331.
- 大見士朗・和田博夫・伊藤潔 (2003) : 焼岳火山の深部地震活動, 京都大学防災研究所年報, 第 46 号 B, pp.691-700.
- 大見士朗・和田博夫・伊藤潔 (2001) : 1998 年飛騨山脈群発地震後の深部低周波地震群発活動, 地震 2, 第 54 巻, pp.415-420.
- 気象庁 (2005) : 日本活火山総覧 (第 3 版), 財団法人気象業務支援センター, 東京, 635 pp.
- 和田博夫・伊藤潔・梅田康弘・角野由夫 (1993) : 焼岳火山付近の群発地震観測, 京都大学防災研究所年報, 第 36 号 B-1, pp.291-303.
- 和田博夫・伊藤潔・小泉誠 (1994) : 飛騨山脈の地震活動—1993 年槍ヶ岳付近の活動—, 京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-1, pp.365-380.
- 和田博夫・伊藤潔・大見士朗 (2000) : 飛騨山脈の群発地震 (その 2) —周辺活動域への影響—, 京都大学防災研究所年報, 第 43 号 B-1, pp. 115-121.
- 和田博夫・伊藤潔・大見士朗・岩岡圭美・池田直人・北田和幸 (1999) : 1998 年飛騨山脈群発地震, 京都大学防災研究所年報, 第 42 号 B-1, pp. 81-96.
- 和田博夫・三雲健・小泉誠 (1979) : 飛騨山脈北部特に跡津川断層付近の地震活動と発震機構, 地震 2, 第 32 巻, pp.281-296.
- Hirata, N. and Matsu'ura, M. (1987) : Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, Phys. Earth Planet. Interiors, Vol. 47, pp. 50-61.

- Kaneshima, S. (1990) : Origin of crustal anisotropy: Shear wave splitting studies in Japan, *J. Geophys. Res.*, Vol. 95, pp. 11121-11133.
- Miyazawa, M. (2011) : Propagation of an earthquake triggering front from the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 38, L23307, doi:10.1029/2011GL049795.
- Umakoshi, K., Shimizu, H., and Matsuwo, N. (2001) : Volcano-tectonic seismicity at Unzen volcano, Japan, 1985-1999, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 112, pp. 117-131.

付 録 1

ここでは、2.2 節で触れた今回の解析における、地震判定方法の概要を述べる。今回の飛騨山脈の地震活動は、東北地方太平洋沖地震の余震や、それに伴う各地の地震活動と同時進行的に発生した。そのため、地震波形データには、対象としている飛騨山脈の地震以外の地震動が重畳しており、通常地震判定方法、たとえば、地動信号レベルの長時間平均と短時間平均の比を使う STA/LTA 法を用いても確実な検出が困難であることが多かった。そのため、ここでは、飛騨山脈の地震の検出に特化した、次のような方法を採用した。まず、地震判定のための基準観測点として、防災科研の上宝観測点 (N.KTRH) の上下動成分を使用することとした。この原波形に、10Hz のハイパスフィルタをかけ、飛騨山脈以外の遠方か

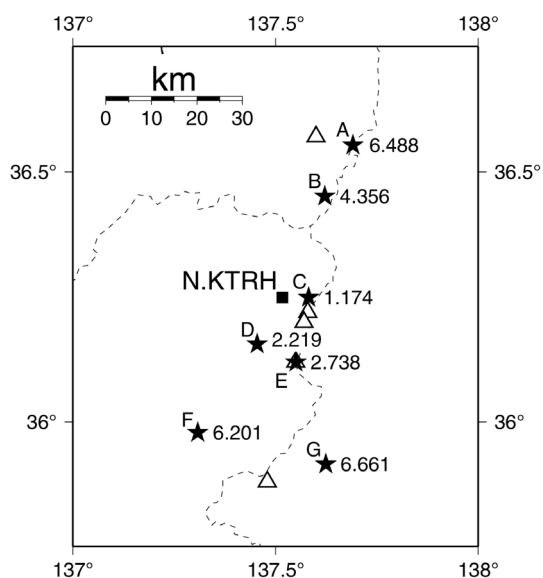


Fig.A1 Candidates of hypocenters used in the event detection procedure. Stars show hypocenter candidates. Attached numerals denote theoretical travel time of P-wave to station N.KTRH.

ら入射する地動信号の影響を少なくするようにした。このハイパスフィルタをかけた波形に対し、STA/LTA 法を適用し、近地の地震イベント候補を切り出す。次に、対象地域にいくつかの震源位置候補を想定 (実際には、地震の「巣」が認められる地域を代表した Fig.A1 の A から G の 7 か所の★の、深さ 2km の位置) し、地震イベント候補と震源位置候補に対して、各観測点の理論走時を計算する。たとえば、Fig.A1 の、立山の東側の A の★印には、6.488 という数字が付されているが、これは、A 点に震源がある場合に、Fig.3 の速度構造モデルを採用した際の、N.KTRH 観測点における P 波理論走時が 6.488sであることを示す。N.KTRH でイベントが検出された時刻と、この理論走時を使うことで、A 点に震源があるとした場合の理論的な震源時刻がわかり、これを元に、Fig.2 の各点での理論走時を計算することができる。すなわち、ひとつの地震イベント候補について、A から G の複数の震源位置候補に対する理論走時のセットが計算される。それぞれの震源位置候補に対して、各観測点の波形の理論走時付近の、ある時間幅のウインドウ内を、WIN システム (ト部・東田, 1992) を用いた AIC に基づく検出を行って検出データを生成し、WIN システム組み込みの震源決定プログラム HYPOMH (Hirata and Matsu'ura, 1987) による震源決定を行う。実際の震源に最も近い位置に想定震源を置いた理論走時に基づく検出データが、設定した検出ウインドウ内に P 波の立ち上がり部分が含まれていることが予想される。そのため、この検出データが走時残差を最小にする震源決定結果をもたらすという仮定で、複数の検出ファイルのうち、震源決定において最小の走時残差を持つものを、本物の地震と判断する。いずれの想定震源位置にも該当しない位置に真の震源がある、またはミストリガの場合には、設定した検出ウインドウ内には P 波の立ち上がり部分は含まれないであろうから、AIC 検出が失敗し HYPOMH による震源計算の過程で走時残差が小さくならないことが予想され、識別が不可能であると考えられた。

実際の運用においては、基準観測点で STA/LTA が基準値を下回らない限り、全体のトリガ判定が終了しないという簡便なロジックを使ったため、イベント検出の失敗は減少した。しかしながら、理論走時に対する、検出ウインドウの幅などのパラメタのチューニングが完全でない状態で試行したため、ミストリガ数が増え、トリガされたイベントの約半数がミストリガであるという結果となり課題を残した。今後、取りこぼしが少なく、かつミストリガも少ないという相反する条件をみたす判定方法の採用を検討する必要がある。

付 録 2

付録2では、2.2節で触れた、宇治地区と上宝観測所の双方に設置されたデータ処理サーバ上の地震検測ファイルを同一に保つ方法について概説する。通常、複数拠点で地震波形の検測作業を分担する場合、それぞれで作業を行った後にオフラインで双方の結果を統合してカタログを作成するという手法を取ることが多い。この手法は簡便であるが、拠点間の連絡を密にして双方での検測データ処理の分担を明確にしておく必要があることや、事後のオペレータの介入による統合作業が必須などの不便な点がある。ここでは、これらの点を解決するための、オンラインでの準実時間での検測ファイルの統合システムを

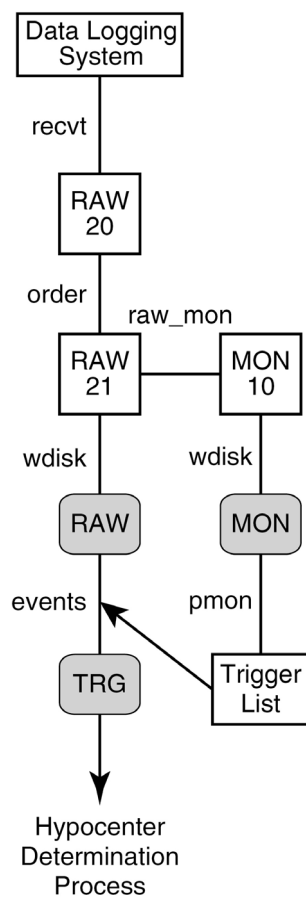


Fig.A2 Seismic network data processing system described using WIN system. Open squares show shared memory area that store temporal seismic wave data with their identifier numbers. Shaded squares represent seismic wave data on disk files. RAW, MON, and TRG denote the original continuous waveform data, degraded continuous waveform data, and event (earthquake) waveform data. 'Order', 'raw_mon', 'wdisk', 'events', and 'pmon' are program module name of the WIN system. 'Trigger list' generated by 'pmon' is an earthquake events list used to make event waveform data by 'events' program.

構築・利用した。以下では、宇治と上宝で運用しているデータ処理サーバのOSはBSD系UNIXのひとつであるFreeBSDであることから、UNIX系OSのコマンド名等はBSD系のものを表記している。

宇治および上宝の地震観測データサーバで運用されている地震波形自動処理システムの基本部分は、WINシステムのプログラム群を使用して、Fig.A2のような構成になっている。ここに記されたトリガリストに従い、波形ファイルが切り出され、自動または手動による検測処理が行われる。WINシステムでは、地震イベント波形ファイルと、読み取り値を格納する検測ファイルは独立した別ファイルとして作成される。その際の、波形ファイルと検測ファイルを結びつけるキーになるのは、波形ファイル名であり、検測ファイル中での時刻の表記は、波形ファイルの先頭時刻からの相対時刻を使って記述されている。

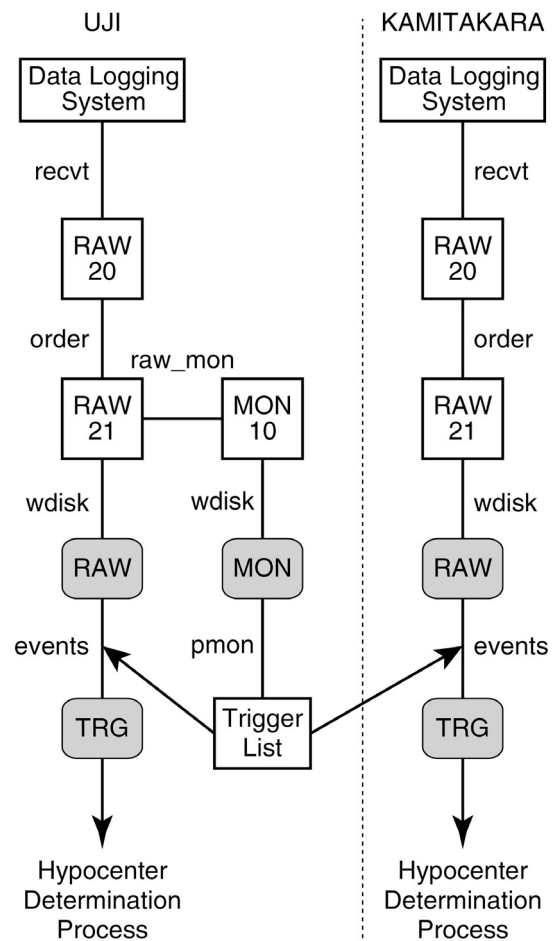


Fig.A3 Seismic network data processing systems operated in Uji data center and Kamitakara Observatory. In order to keep event waveform data in both sites identical, a trigger list generated in Uji center is used in both sites.

複数拠点で作業を行った検測結果のファイルを特定の波形ファイルに結びつけるためには、双方の拠点で波形ファイルと検測ファイルを結びつけるキーを同一にしておくとの作業が容易になる。これを実現するためには、双方の拠点で波形ファイルを切り出すためのトリガリストを同一にして、波形ファイルを同一にしておくのが簡便な方法である。Fig.A2に示す手法では、地震判定のためのトリガロジックが同一、かつ使用する連続波形データが同一であれば、異なる拠点で作成されるトリガリストも同一になるはずであるが、実際には、複数拠点での連続波形ファイルは、通信回線のトラブルその他の運用上の理由により、必ずしも同一とはならず、これに伴いトリガリストも同一にならないことがある。ここでは、これを回避するために、トリガリストはいずれかの拠点で作製したものを双方の拠点で使用する形態にした。具体的には、宇治のサーバ上で地震判定を行ってトリガリストを作成し、定期的（ここでは1分ごと）にcronコマンドを用いて上宝に伝送し、これによって宇治・上宝の双方で同一の時刻情報を持つ波形ファイルを作成する。この状況を表したのが

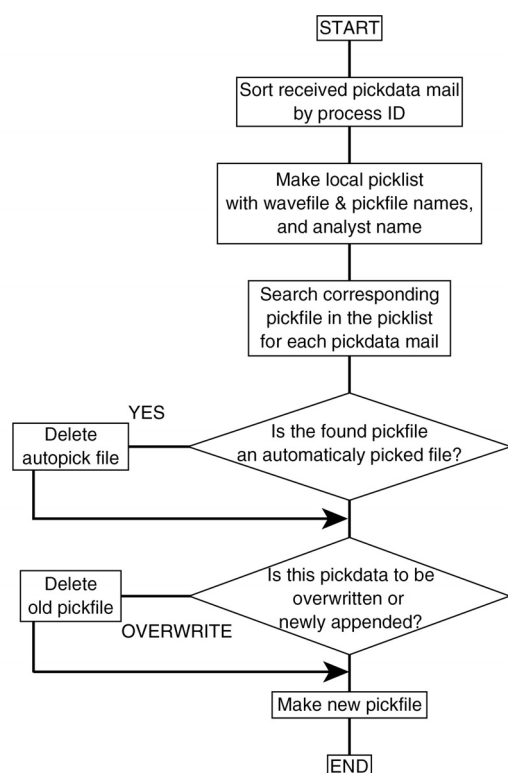


Fig.A4 Flow chart of pick data merge system operated in both Uji data center and Kamitakara Observatory. Pick data made by seismic analysts in one site is sent to the other site by E-mail automatically and merged into the seismic catalogue using this system.

Fig.A3である。

その後、宇治、上宝の双方で、独立して検測作業が行われる。宇治、上宝の双方のサーバ上で、検測プログラムwinで個別に作製された検測情報は以下のように統合される。まず、検測を行ったサーバ上での検測ファイルは、通常のWINシステムの動作によりローカルサーバ上で処理されるとともに、winに実装された、UNIX系OSのlprコマンドを使用した検測ファイル転送機能により、リモートのサーバに転送される。すなわち、宇治で検測された結果は上宝へ伝送され、上宝で検測された結果は宇治へ伝送される。ここでは、lprの入力フィルタ指定機能（BSD系UNIX OSの/etc/printcapでのifフィールド、または同等の機能）を使用し、処理順を明確にするためにプロセスID（PID）を付して、検測ファイル本体の内容をmailコマンドを使用してリモートサーバへ送出する。

以下は、mailコマンドによる検測ファイルを受け取った側のサーバでの処理である。Fig.A4には処理のフローチャートを示した。受信した検測ファイルは、受信と同時に一時的に保管された後、送信側で付されたPIDが一巡しない程度の時間間隔（ここでは30分間隔）で起動される処理プログラムに渡される。ちなみに、FreeBSDでは、PIDは5桁の正の整数値である。ここでは、最初に、受信したファイルを送信側で付したPIDによってソートする。これは、検測作業において、同一波形ファイルに対して複数の検測作業を行ったような場合に、その作業順序にしたがい、統合処理を行うためである。同時に、サーバ上に存在する検測ファイルの一覧表(picklist)を作成する。この表には、波形ファイル名、対応する検測ファイル名、検測者名等が記載されている。その後、受信した検測ファイルを送信側PIDの順に処理していく。まず、受信した検測ファイルに記された波形ファイル名をキーにして、picklistを検索し、該当する波形ファイル名、既存の検測ファイル名等を抽出する。もしも、受信した検測ファイル中の指示が既存ファイルの消去のみであれば、これに従い、既存検測ファイルを消去して処理を終了する。受信した検測ファイル中の指示が新たな検測情報の上書きまたは追加であれば、新規の検測ファイルを作成して検測情報を書き込む。上書きの場合、送信側のwinシステムにより、必ず、事前に上書きされるべきファイルの消去の指示が出るので、PID順に処理する過程で該当ファイルは消去されるため、新規作成で対応する。これらの処理の際、自動検測による検測ファイルが存在するときには、併せてその自動検測結果のファイルを消去する。最後に、新規に作成された検測ファイルがある時には、そのファイルのオー

ナーとグループを、検測者のものに変更する。

このシステムの採用により、オペレータの介入なしに複数拠点の検測ファイルの統合が可能になり、作業効率が向上した。今後の改良点としては以下のような点がある。現在は、送信側での特定の波形ファイルの処理中に、PIDが最大値（99999）を越えて最小値に戻るケースは稀であるとして対処していない。この場合、特定の波形ファイルに対する処理の順番が前後することになるので、厳密には対応する必要がある。また、それぞれのサーバでの統合処

理の起動間隔を30分としていることから、この時間内に同一の波形ファイルをローカル・リモートの双方で検測処理した際には、双方で統合されたファイルに食い違いが発生することがある。これを防ぐためには、特定の波形ファイルを複数のオペレータが同時に処理できないようなロック機構を考える必要があるかもしれない。

（論文受理日：2012年6月8日）

Seismic Activity in the Hida Mountain Range after the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

Shiro OHMI, Hiroo WADA, Yuki HAMADA, Sachie MIWA and Youichiro TAKADA

Synopsis

Seismic activity near the Yake-dake volcano in the Hida mountain range that took place immediate after the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake was investigated. It initiated about ten minutes after the mainshock of the Tohoku earthquake and lasted for about one month. At the beginning, two active swarms were observed. One is at the northern flank of the Yake-dake volcano and the other is located between Yake-dake and Mt. Norikura volcanoes. The latter activity decreased by March 20, and the former activity lasted until early April. It includes two $M > 4.5$ earthquakes at about 3km north of the Yake-dake volcano. Focal mechanism solutions of these swarm earthquake show NW-SE compression stress field, which coincides with regional stress field indicated by previous studies. No temporal changes of focal mechanisms are shown during March and April, which probably indicates no magmatic activity related to the Yake-dake volcano took place in this time period.

Keywords: Yake-dake volcano, Hida mountain range, earthquake swarm, 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake