

2018年11月下旬以降の焼岳火山近傍の地震活動について

Intense Earthquake Swarm Activity in the Vicinity of Yake-dake Volcano, Hida mountain range, Central Japan, Started in November 2018

大見士朗

Shiro OHMI

Synopsis

An intense swarm activity took place in the vicinity of the Yake-dake volcano, Hida mountain range, central Japan, in the end of November 2018 and lasted for about three months. The main hypocentral region in November 2018 (Group A) is located at the western flank of Yake-dake volcano, followed by other small activities in the Kamikochi area in December 2018 (Group B), west to the Group A in January 2019 (Group C), and between Yake-dake and Akandana volcanoes beneath the ridge in February 2019 (Group D). Focal mechanism obtained using P-wave first motion indicates NW-SE compressional stress field in Group A. However, there are several events that exhibit normal fault type solution in Group B, which are not consistent with the regional stress field. Temporal change of the geodetic, geomagnetic, geothermal, and geochemical data collected from monitoring stations in the vicinity do not show the clear signals associated with the swarm activity.

キーワード: 焼岳火山, 群発地震, 発震機構, 火山活動

Keywords: Yake-dake volcano, swarm activity, focal mechanism, volcanic activity

1. はじめに

飛騨山脈南部の岐阜・長野県境に位置する焼岳火山の近傍において、2018年11月22日午前から同12月5日頃にかけて活発な群発地震活動が発生した。本稿では、活発な群発地震活動の開始から2019年3月末頃までの同地域の地震活動について述べる。

飛騨山脈は、通称北アルプスと呼ばれ、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り、標高3190mの奥穂高岳を代表とする3000mを超す山々が聳える日本の代表的な山岳地帯である。この山脈には北から、立山（弥陀ヶ原）、焼岳、アカダナ山、乗鞍岳の4つの活火山が認定されている。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、木曾山脈、赤石山脈の総称）には、5座の活火山が認定されている〔気象庁（2005）〕。

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している〔和田・他（1993, 1994, 1999, 2000）等〕。2011年3月の東北地方太平洋沖地震以降の活動に限っても、同地震の直後から発生した群発地震〔大見・他（2012）〕や、2013年10月に穂高岳近傍で発生した活動〔大見（2015）〕、さらには2014年5月に焼岳から穂高岳の西山麓付近において発生した活発な群発地震活動〔大見（2016）〕などが挙げられる。

焼岳周辺では防災研究所附属地震予知研究センター上宝観測所により2010年前後から地震観測網の拡充が図られていたが、平成26（2014）年9月27日の御嶽山の噴火災害を受けて文科省の予算措置がなされ、従来の地震観測のみならず、水蒸気噴火の予測研究に資するための地殻変動、電磁気、地中温度等の項目を含むオンラインの観測網が整備された〔大見（2017）〕。Fig.1に、2019年4月現在の、他機関の施

設も含めた、焼岳周辺の火山活動研究監視観測網の状況を示す。

2. 地震活動の状況

2.1 上宝観測所における地震活動の監視の手法について

上宝観測所では、2015 年ごろより、地震活動の監視の際に、Matched Filter Method（以下、MFM という）を導入して準リアルタイム（実時間から 1 時間程度の遅れ）で自動決定した震源分布を用いている。これは、従来の STA/LTA 方式によって地震を検出する自動処理システムよりも検出効率が高いことに加え、観測所にて個別の地震をすべて精査するだけの人的資源が減少していることに対応するために、大見（2015）によって導入されたものである。Fig.2 に 2018 年 11 月 20 日から 2019 年 2 月末までの今回の地震活動の状況について、MFM で決定した震源分布と、気象庁（以下、JMA という）による一元化震源リストによる分布を比較したものを示す。Fig.2(a)の MFM 震源は、Fig.2(b)の JMA 震源に比較すると個別の震源の精度が劣ることが予想されること、テンプレートの選択に起因するイベントのダブルカウントや fake event が若干見られることなどの問題点が残されているが地震活動の空間的・時間的な傾向を見るには十分な精度を有していると考えられる。

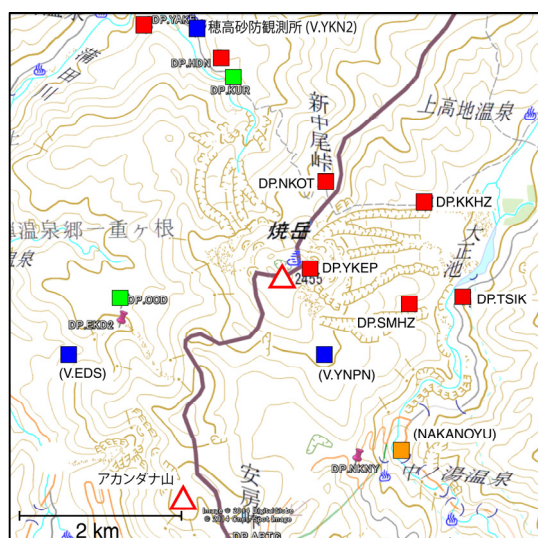


Fig.1 : Distribution of monitoring stations of volcanic activity in the vicinity of Yake dake volcano as of April 2019. Red, green, and blue squares represent online stations operated by Kyoto Univ., Jindu River System Sabo Office (MLIT), and Japan Meteorological Agency (JMA), respectively.

2.2 地震活動の概要

Fig.3 に今回の活動の概略を示すために、GoogleEarth 上の国土地理院地図上に、JMA カタログに基づく、2018 年 11 月 20 日から 2019 年 4 月 30 日までの震央分布を、2011 年 3 月から 4 月末までの震央分布に重ねて示す。図中、赤い点で示してあるのが 2018 年から 2019 年にかけての地震、黄色の点で示してあるのが 2011 年の地震である。

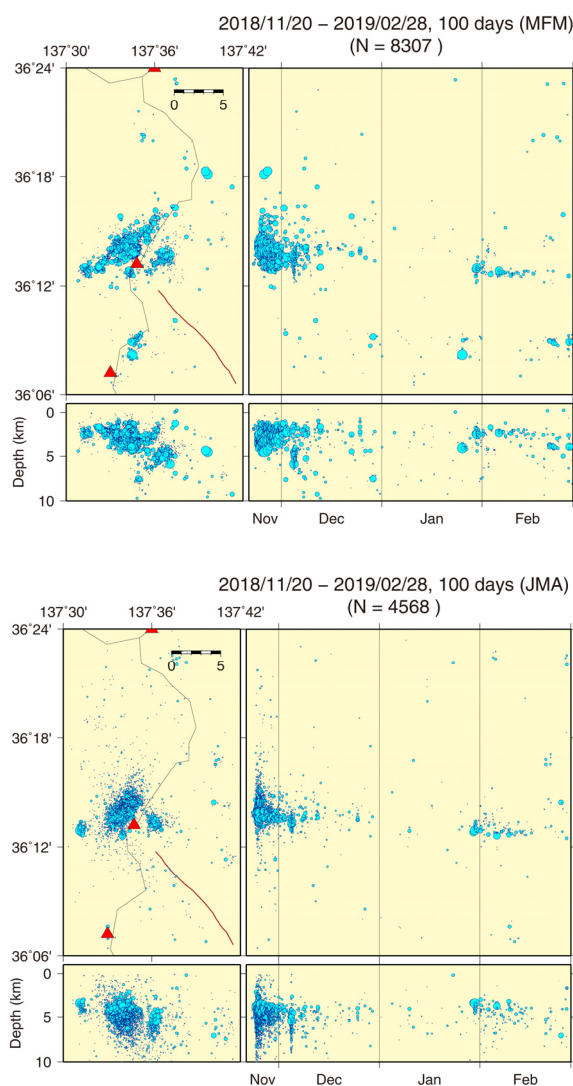


Fig.2 : Comparison of spatio-temporal distribution of hypocenters from two catalogues. (a) (upper) Hypocenters automatically located by Matched Filter Method by DPRI. (b) (lower) Hypocenters manually inspected by JMA. Light blue symbols show the hypocenters while red triangles denote Mt. Yake (north) and Mt. Norikura (south) volcanoes. Earthquakes from Nov. 20, 2018 to Feb. 28, 2019 are plotted.

今回の群発地震活動は2018年11月22日午前から始まり、翌日11月23日から活発化した後に約10日間にわたり継続し、12月2日頃までにはほぼ終息した（以下、Group A とよぶ）。Group A の群発地震活動の震央は焼岳山頂の西約1.5kmから2kmの、深さ（海拔下）3kmから4kmに分布している。これは、2011年3月から4月に発生した群発地震の震源域の南西延長にあたる場所である。その後12月4日夕方から一時的に焼岳の東側にあたる上高地側で小規模な地震活動がみられた（同、Group B）。12月4日以降に上高地側で発生した地震は焼岳西側のGroup Aのそれに比べて若干震源が深い。その後、2019年1月末に、当初の焼岳西麓よりもさらに西側（同、Group C）で、また、2019年2月上旬には焼岳南部の飛騨山脈の稜線近傍（同、Group D）でそれぞれ小規模な地震活動がみられている。

飛騨山脈南部の群発地震活動は、同地域で京都大学が地震観測を開始した1970年代後半以降は、主な群発地震の震源域は互いに重ならず、いわば「棲み分け」をしている傾向が認められ[たとえば、大見(2018)]、2018年11月末の焼岳西麓に集中するGroup Aの地震活動もその例外ではない。Fig.4に、1990年以降、2019年3月末までの同地域のJMAカタログによる震央分布を示す。

また、Group Aには活動期間中の明瞭な震源移動は認められなかったが、今回の活動では上述のように、Group B, C, Dのようにそれぞれ異なる領域で小規模な活動がみられるなど、焼岳の周辺域で地震活動の活発化が認められた。

3. 現地有感地震について

今回の群発地震の震源域周辺では、公式の震度情報として気象庁により奥飛騨温泉郷栃尾（Fig.3のJMA Tochio、以下、栃尾という）における震度情報が発表される。上宝観測所では、さらに飛騨山脈の脊梁部に近い地域での揺れの状況を把握するために2011年秋から奥飛騨温泉郷中尾地区のDP.YAKE観測点（Fig.3のDPRI Nakao、以下、中尾という）にも強震計を設置して有感地震の観測を継続している。2014年5月に飛騨山脈脊梁部で発生した群発地震の際には、初めて栃尾と中尾での揺れの状況の比較を行うことができ、中尾での現地有感地震は栃尾での有感地震と比較して有意に数が多く、かつ、揺れも大きいことが明らかになった[大見(2016)]。

Fig.5に、今回の地震活動によって中尾において現地有感地震と考えられる地震が観測されていた期間の、中尾と栃尾における体に感じる地震の発生状況を示す。中尾において現地有感と考えられる地震（中

尾での計測震度0.5以上の地震）は11月23日18時から12月16日0時までの期間（Group Aの地震）に合計約340回を数えた。また、11月25日には中尾において震度4相当のゆれを観測した地震が3回発生した。なお、12月4日夕方からの上高地側での地震活動（Group Bの地震）の際には15個程度の現地有感地震が観測され、そのうち12月4日22時50分の地震では震度4相当の揺れを観測した。

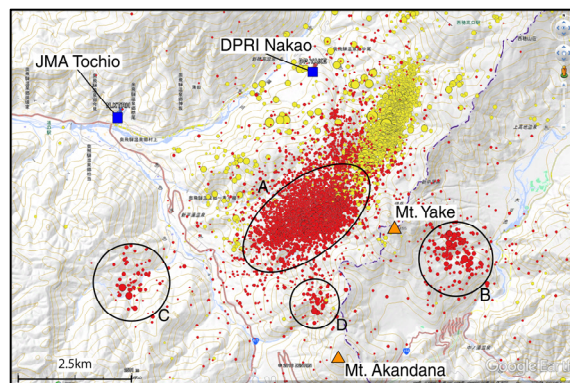


Fig.3 : Epicenter distribution of the earthquake swarm activity in this study together with another recent swarm activity. Red dots represent the swarm activity from November 20, 2018 to April 30, 2019, while yellow dots show another recent swarm activity that took place in March 2011, where earthquakes from March 11, 2011 to April 30, 2011 are plotted. JMA catalogues were used for plotting. Earthquake clusters shown by ovals A, B, C, and D denote the activity in November 2018, December 2018, January 2019, and February 2019, respectively. They are referred as Groups A, B, C, and D in the text. Orange triangles show the Mt. Yake-dake and Mt. Akandana active volcanoes while blue squares denote the observation sites of seismic intensity. For details, see text.

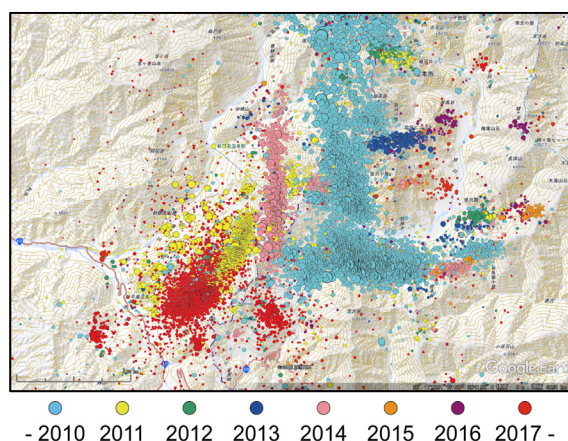


Fig.4 : Temporal change of the epicentral area of earthquake swarm activity in the southern Hida mountain range since 1990s. JMA catalogue was used for plotting.

飛騨山脈南部の脊梁部付近で発生する地震が中尾において現地有感になる例は、2014 年 5 月だけでなく、2011 年 3 月の群発地震の際にも認められており、今回も同様の現象が観測されていると考えられる。これは、飛騨山脈の脊梁部に近い部分で地震が発生した際には、中尾地区では気象庁の公式発表震度よりも有意に大きな揺れが観測されている可能性があることを意味しており、防災対応上の注意が必要である。

4. 発震機構

ここでは、当地域で過去に発生した群発地震の発震機構と比較しながら今回の地震活動のそれを考察する。飛騨山脈南部では、これまでの群発地震活動の主たる地震の発震機構は、当地域の広域応力場である北西—南東の圧縮場 [たとえば、Kaneshima (1990)] を反映する逆断層または横ずれ断層タイプのものが支配的である。Fig.6 に、2011 年、2013 年、2014 年の群発地震のうちの主たる地震の発震機構を示す。Fig.6(a)には 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震直後から発生した群発地震、Fig.6(b)には 2013 年 10 月の地震活動、Fig.6(c)には 2014 年 5 月の群発地震の、それぞれ主たる地震の発震機構を示す。使用したデータは大見・他 (2012)、大見 (2015)、大見 (2016) に基づく。それぞれの地震活動の発生位置の概略については、Fig.4 を参照されたい。2011 年の活動は、焼岳北西の岐阜県側山麓の中尾地区を含む地域が主な活動域であり、北西—南東圧縮の逆

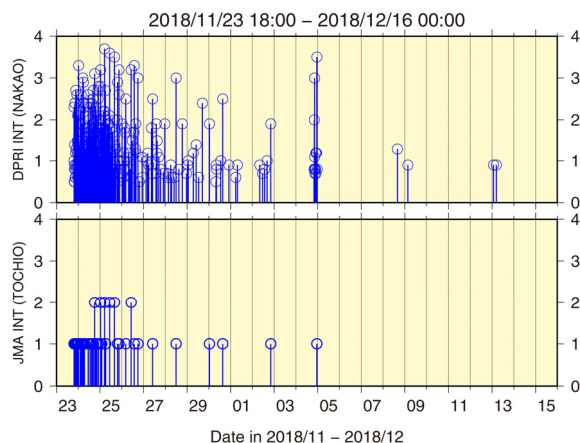


Fig. 5. Time series of seismic intensity of felt earthquakes in DPRI and JMA intensity catalogue. For the location of observation site of intensity, see Fig.3. (a) (upper) Instrumental seismic intensity of possible felt earthquakes in Nakao against time in DPRI catalogue. (b) (lower) Seismic intensity of felt earthquakes in Tochio against time in JMA catalogue.

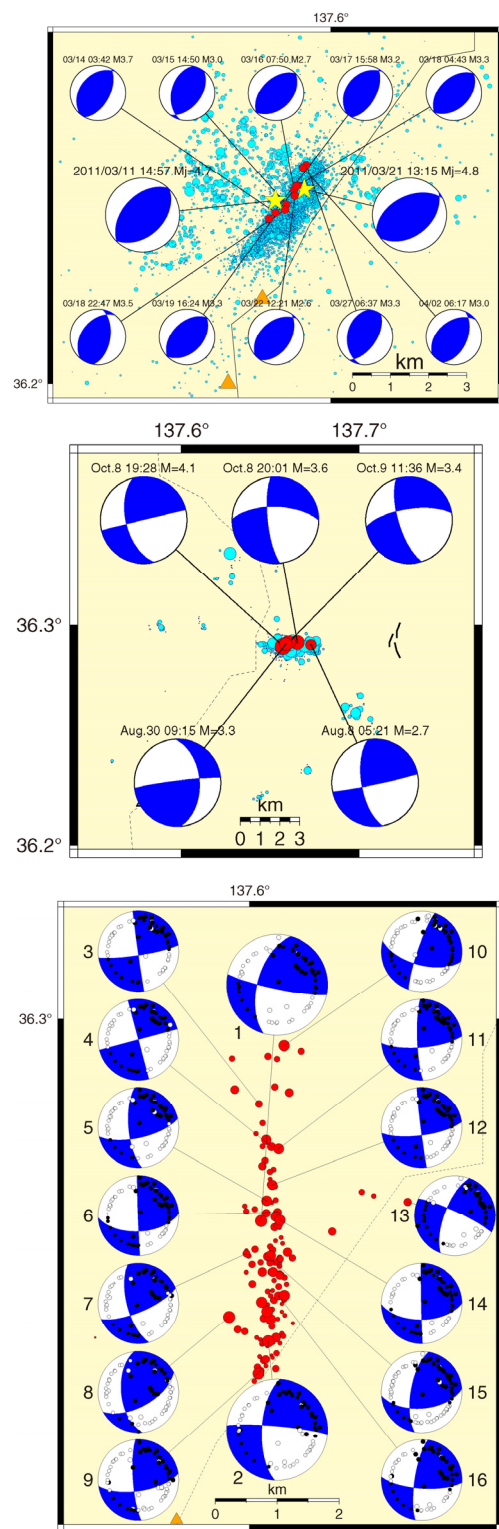


Fig. 6 : Focal mechanism solutions of recent earthquake swarm activities around the Yake-dake volcano. Initial motion of P-waves are used for analysis of focal mechanism and lower hemisphere projection is used. For the epicentral regions, see Fig.4. (a) (upper) Focal mechanism solutions of earthquakes in March and April 2011. (b) (middle) Those in August and October 2013. (c) (lower) Those in May 2014.

断層タイプの地震が支配的である。2013 年 10 月の活動は、穂高岳の脊梁部の東側の涸沢付近を中心とした活動であり、同じく北西—南東圧縮の横ずれ断層タイプが支配的である。2014 年 5 月の活動は、焼岳北方の、主に脊梁部よりも岐阜県側（西側）で発生したもので、同じく北西—南東圧縮の横ずれ断層タイプが支配的である。

今回の 2018 年 11 月からの活動の主たる地震の発震機構を初動極性によって求めたものを Fig.7 に示す。ここでは、Hardebeck et al. (2002, 2003)による HASH プログラムを用いて発震機構を求めた。これによれば、2018 年 11 月の活動開始以降の焼岳西麓の地震（Group A）の主たる地震の発震機構は、北西—南東圧縮の応力場を示す逆断層タイプのものが多く見られる。これに対して、2018 年 12 月の上高地側で発生した地震（Group B）にはこの地域では珍しい正断層型や、南北圧縮の横ずれ断層型の地震が含まれる。その後、2019 年 1 月末には、2018 年 11 月の Group A よりにもさらに西側に離れた場所で小規模な活動がみられたが（Group C）これらは北西—南東圧縮の逆断層や東西圧縮の逆断層タイプを示す。2019 年 2 月には、焼岳とアカンダナ山の中間付近の稜線近傍下で小規模な地震活動が発生した（Group D）が、これらの発震機構は、北西—南東圧縮の逆断層タイプであった。

5. 焼岳の火山活動との関連

5.1 多項目観測データの時間変化

前述のように、2014年の御嶽山の噴火災害の後、焼岳火山においてもその水蒸気噴火の予測研究に資するための観測設備の整備が行われた。それらには、従前からの地震観測のほかに、山頂近傍での、地殻変動、地中温度、プロトン磁力計による地磁気全磁力等の観測が含まれる。観測開始からの時間が短いために、これらのデータに含まれる変動が火山活動に起因するのか季節変動にとどまるのかを判断するにはまだ観測期間が短すぎるきらいがある。今回の地震活動の前後には、それぞれの観測項目には季節変動以上の異常値は見られず、たとえ変動があったとしても検出限界以下であった。付録のFig.A1に、これらの各観測項目の時間変化を同一時間軸上に並べた図を示す。

5.2 発震機構についての考察

今回の地震活動では、2018年12月に上高地側で発生した地震群（Group B）の中に、当地域の広域応力場（北西—南東圧縮場）とは異なる応力場で発生したものが散見された。1990年代半ばに当地域の地震の発震機構の決定が精度よく行われるようになって以降、広域応力場と調和的でない発震機構解を持つ地震が観測されたのはたいへん珍しいことである。

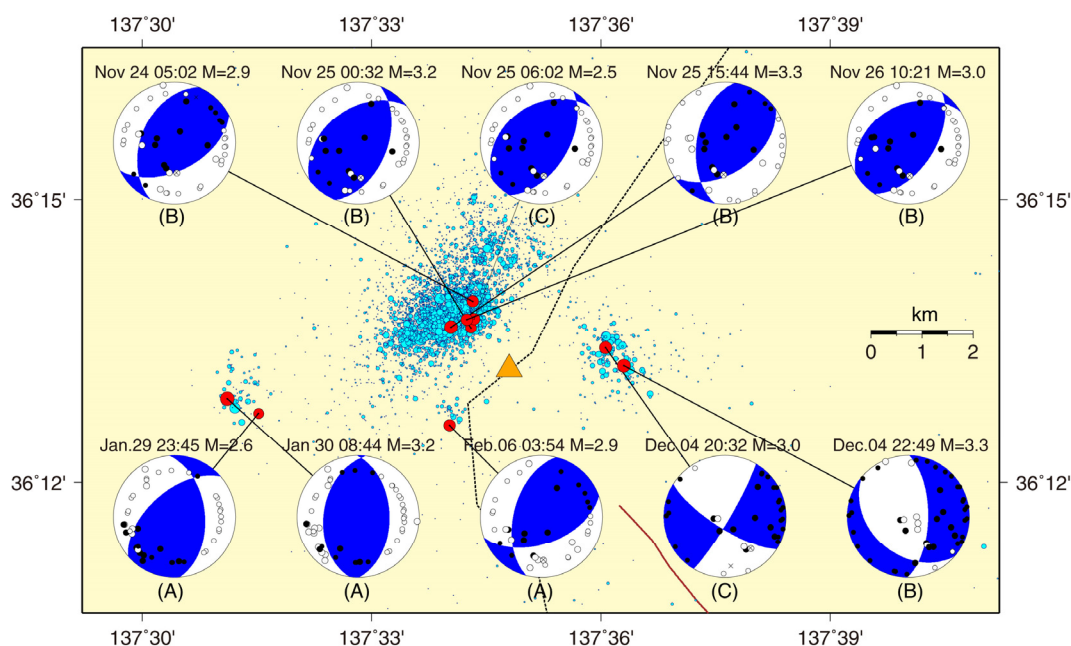


Fig.7 : Focal mechanism solutions of the swarm activity started in November 2018. Initial motion of P-waves are used for analysis using HASH program. Solid triangle shows the Yake-dake volcano.

マグマ貫入などの事象が発生するとそれに伴って発生する地震は広域応力場とは異なる局所的な応力場で発生することもあり [たとえば、雲仙火山1990年噴火に関するUmakoshi et al.(2001)の報告など]、今後の推移に注意することが必要かと思われる。今回は、HASHプログラムにより初動極性に基づく発震機構を求めた。HASHプログラムには、初動極性で決定した発震機構解の精度を表すパラメタがあり、これをFig.7のそれぞれの発震機構解（ビーチボール）の下にAからCのランクで付してある。これは、個別の地震の発震機構を求める際に、初動極性分布が必ずしもdouble-couple (DC) 型の分布ではないことが疑われるイベントを把握するためである。その結果、焼岳西麓のGroup Aのイベントの中に若干数のnon-double-couple(NDC)型が疑われるイベントが散見されたほか、上高地側のGroup BにもNDC型が疑われるイベントが認められた。今後、これらのイベントの発震機構の精査が必須である。

6. おわりに

岐阜・長野県境の飛騨山脈の何部に位置する焼岳火山近傍で2018年11月下旬から発生した群発地震について調査した。11月に発生した主たる地震群の震源は焼岳山頂の西側（岐阜県側）の約1.5kmから2kmの、深さ（海拔下）3kmから4kmに分布しているが、12月になって東側の長野県側の上高地にて、2019年1月下旬には岐阜県側の当初の震源域よりさらに西方で、2月には焼岳と同じく活火山であるアカンダナ山の中間の稜線近傍の直下等で小規模な活動が見られた。震源域はこれまでの同地域の群発地震と同様に過去の活動域と重ならない「棲み分け」の状況が観察された。発震機構解によれば、12月に発生した上高地側の地震の一部には広域応力場を反映しないイベントがあり火山活動との関連で今後の精査を要する。2015年以降に稼働を開始した同火山近傍に展開する多項目観測の結果では、各項目ともこの地震活動に関連すると思われる、季節変動の範囲を超える変動は認められない、ないしは、変動があったとしても検出限界以下であった。

謝 辞

これらの観測の実施にあたっては、地元の皆様をはじめ、関係機関の御協力に負うところが大きい。以下に記して感謝申し上げる。国交省松本砂防事務所、林野庁中信森林管理署、国交省神通川水系砂防事務所、林野庁飛騨森林管理署。また、気象庁から

は、岐阜県高山市奥飛騨温泉郷栃尾のアメダス観測点の降雨量データを、長野県松本建設事務所からは、長野県松本市安曇中の湯における温泉ガス観測データをいただいている。別途記して感謝を申し上げる。地震観測データについては、気象庁、防災科学技術研究所、国交省、各大学等のデータを使用した。

参考文献

- 大見士朗・和田博夫・濱田勇輝（2012）：飛騨山脈焼岳火山周辺における東北地方太平洋沖地震後の群発地震活動，地震2，65，85-94，DOI: 10.4294/zisin.65.85.
- 大見士朗（2015）：Matched Filter Methodによる群発地震解析の試み～2013年飛騨山脈穂高岳付近の地震活動の例～，地震2，68，1-15，DOI: 10.4294/zisin.68.1.
- 大見士朗（2016）：飛騨山脈南部脊梁部で発生する地震による震源域近傍での震度について～2014年5月飛騨山脈南部の地震活動の例～，地震2，69，113-118，DOI:10.4294/zisin.69.113.
- 大見士朗・井口正人・飯尾能久（2017）：飛騨山脈焼岳火山の研究監視観測網の現状，京都大学防災研究所年報，60B，402-407.
- 大見士朗（2018）：飛騨山脈とその周辺の地震活動，川崎一朗・諏訪 浩・岡田篤正（編）飛騨山脈とその周辺の自然災害リスクを考える，自然災害科学，37-1，15-25.
- 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，36B-1，291-303.
- 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，37B-1，365-380.
- 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，42B-1，81-96.
- 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，43B-1，115-121.
- Hardebeck, J. L. and Shearer, P. M. (2002) : A new method for determining firstmotion focal mechanisms, Bull. Seismol. Soc. Am., 92, pp.2264-2276.
- Hardebeck, J. L. and Shearer, P. M. (2003) : Using S/P amplitude ratios to constrain the focal mechanisms of small earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am., 93,

pp.2434-2444.

Kaneshima, S. (1990) : Origin of crustal anisotropy: Shear wave splitting studies in Japan, J. Geophys. Res., 95, pp.11121-11133.

Umakoshi, K., H. Shimizu, and N. Matsuwo, (2001) : Volcano-tectonic seismicity at Unzen volcano, Japan, 1985-1999, J. Volcanol. Geotherm. Res., 112, pp.117-131.

付 録

Fig.A1に、焼岳山体近傍で実施されている多項目観測の結果の時間変動を示す。Fig.A1(a)は2018年5月から2019年4月までの1年間の記録、Fig.A1(b)は

2017年5月から2019年4月までの2年間の記録を示す。それぞれ、図の上部から、GNSSによる栃尾・焼岳中尾峠 (DP.NKOT観測点) 間の基線長変化, 上高地下堀沢 (DP.SMHZ) のボアホール傾斜計による傾斜変化, 京大中尾 (DP.YAKE観測点) ・上高地下堀沢 (DP.SMHZ) 間の, 0.5Hz-1.0Hz帯域での地震波干渉法による走時変化, 焼岳中尾峠 (DP.NKOT) のプロトン磁力計による全磁力の絶対値, 焼岳中尾峠 (DP.NKOT) ・上高地下堀沢 (DP.SMHZ) のプロトン磁力計による全磁力の差分値, 焼岳山頂 (DP.YKEP) の精密地中温度計記録, 気象庁栃尾アメダス観測点における日別降水量, 長野県松本建設事務所による松本市安曇中の湯における温泉ガス成分のうち, 二酸化炭素と硫化水素の成分比, である。

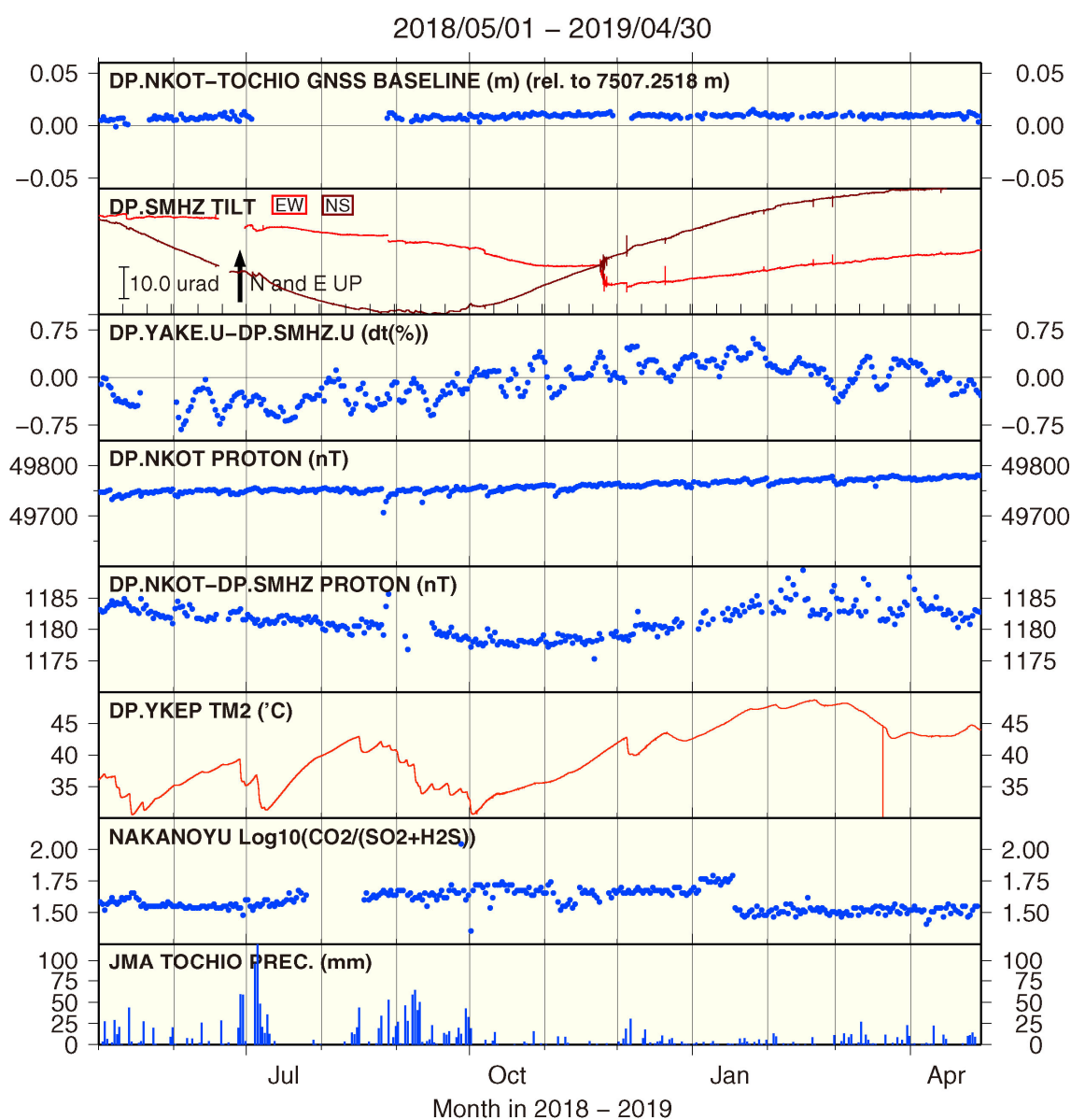


Fig.A1(a) : Temporal variation of geodetic, geomagnetic, geothermal, and geochemical data observed in the vicinity of the Yake-dake volcano from May 2018 to April 2019. For station code, see Fig.1.



Fig.A1(b) : Temporal variation of observed data from May 2017 to April 2019.

(論文受理日 : 2019年6月17日)