

飛騨山脈2020年群発地震

Seismic Swarm Activity in the Hida Mountain Range, Central Japan, in 2020

大見士朗

Shiro OHMI

Synopsis

In 2020, intense seismic swarm activity took place in the Hida mountain range, Central Japan. It started in April, 2020 and lasted for about three months, which include five moderate earthquakes whose JMA scale magnitude is equal to or larger than 5.0. This activity started at the eastern part of Kamikochi area, Nagano prefecture, in April and extended to Okuhida area, Gifu prefecture in May, which is beyond the main ridge of the Hida mountain range. Swarm activities are frequently observed since late 1970's, when DPRI started seismic observation in this area. The most intense swarm activity ever observed occurred in August 1998, which lasted one and half years, of which maximum event M5.6. Seismic activity in 2020 is the second most intense activity since late 1970's.

キーワード: 飛騨山脈, 群発地震, 有感地震, 地震活動の特徴

Keywords: Hida mountain range, seismic swarm activity, felt earthquakes, characteristics of seismic activity

1. はじめに

本州中央部を富山・新潟県境から岐阜・長野県境に沿って延びる飛騨山脈は、別名北アルプスと呼ばれる日本有数の山岳地帯である。飛騨山脈には標高3,190mの奥穂高岳を始めとする標高3,000mを超す山が10座あり(国土地理院, 2021), また, 飛騨山脈を含む, いわゆる日本アルプス地域(飛騨山脈, 木曾山脈, 赤石山脈の総称)には, 飛騨山脈南方に位置する御嶽山を含め, 北から, 弥陀ヶ原(立山), 焼岳, アカダナ山, 乗鞍岳, 御嶽山の5つの活火山が認定されている(気象庁, 2013) (Fig. 1) .

飛騨山脈の立山から乗鞍に至る地域は群発地震の頻発地域でもあり, 防災研究所附属地震予知研究センター上宝観測所(以下, 上宝観測所という)が1970年代後半に当地域でテレメータ方式による地震観測を開始して以来, これまでの多くの報告がなされている(和田ら, 1979, 1993, 1994, 1999, 2000, 大見ら, 2001, 2003, 2012, 2015, 2017, 岩岡ら, 2000など). それらの観測結果によれば, 1970年代以降



Fig.1: Map of study area. Mt. Okuhotaka is the highest peak in this area (3,190m A.S.L.). Red and orange triangles show active and Quaternary volcanoes, respectively. For the inset map, see text.

2019年時点までの期間で最も活動的であったのは1998年8月から2001年1月にかけての地震活動であった(和田ら, 1999, 2000)。今回, 2020年4月から7月にかけて同地域で活発な群発地震活動が発生し, その規模が1998年の活動に比肩する印象の地震活動となった。本稿では, 大見(2018, 2021)等をも参照しながら, 2020年の地震活動について報告する。

2. 飛騨山脈の2020年の群発地震活動

2.1 2020年の群発地震活動の経過

Fig.2に, 2020年の群発地震, および比較のために1998年の群発地震活動の震源分布を示す。双方の特徴は, 震源域が飛騨山脈の脊梁部を越えて広がっていることである。1907年代以降の地震活動でこのような特徴を示すのは, これらの2度の地震活動だけである。これらと他の地震活動の比較については, 後述する。Fig.3に, Fig.2(a)の領域内の同時期の地震活動の累積度数, 日別地震数, およびM-Tダイアグラムを示す。また, Fig.4には期間中の地震発生状況の時空間分布を示す。これらによれば, 2020年4月に始まった群発地震活動は, 同年7月の一応の終息までの間にMj(気象庁マグニチュード)が5.0以上の地震が5回発生した。Mjが5.0以上の地震が発生したのは, 4月23日午後(2回), 4月26日未明, 5月19日午後, 5月29日夕刻の5回である。これに伴い, Fig.3の時空間分布図によれば, 今回の活動には数回のバースト的な地震発生が見られ, それらは, 4月23日, 5月13日, 5月19日, 5月29日, および7月5日を中心としたそれぞれ数日であった。また, 5月13日にはMj5.0以上の地震の発生は無いものの, Mj4.5を超える地震が4回発生するなど活発な活動が見られた。これらの地震活動はおおむね以下のような経過を辿った。それぞれの地名についてはFig.6を参照されたい。

- [1]4月6日: 上高地徳本峠付近で小規模な群発地震が発生し, 奥飛騨温泉郷中尾(Fig.1のDP.YAKE観測点)で現地有感地震を1回観測。
- [2]4月7日~4月21日: 前穂高岳東斜面付近にてやや活発な地震活動が認められる。DP.YAKEでは10回弱の現地有感地震を観測。
- [3]4月22日2時26分: 徳本峠付近でMj3.8の地震が発生し, 地震活動が活発化。
- [4]4月23日13時44分: 徳本峠付近でMj5.5の地震が発生。JMA(気象庁)発表では最大震度4, DP.YAKEでは計測震度4.7を観測。
- [5]4月23日13時57分: 徳本峠付近でMj5.0の地震が発生。JMA最大震度3, DP.YAKEでの計測震度4.2。その後, 震源域が急速に霞沢岳方向と上高地の谷底から岳沢にかけての地域に拡大。

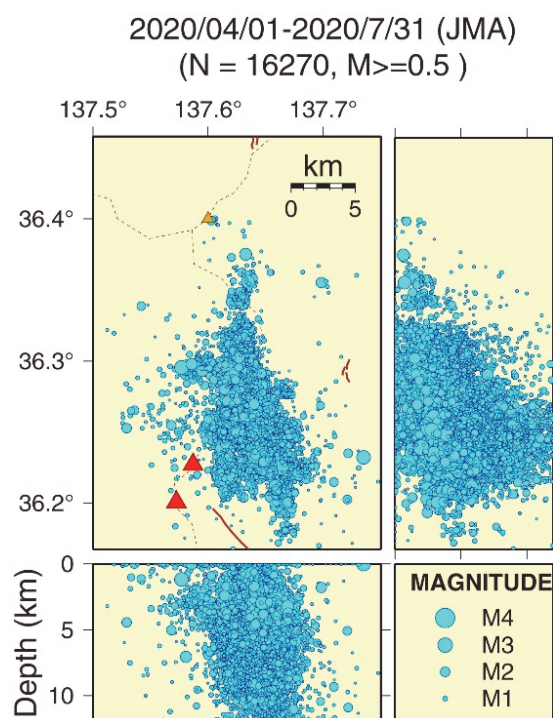


Fig.2(a): Hypocenter distribution of 2020 activity. Earthquake took place from April 1 to July 31 are selected from JMA catalogue. Those events whose magnitude is equal to or larger than 0.5 are plotted.

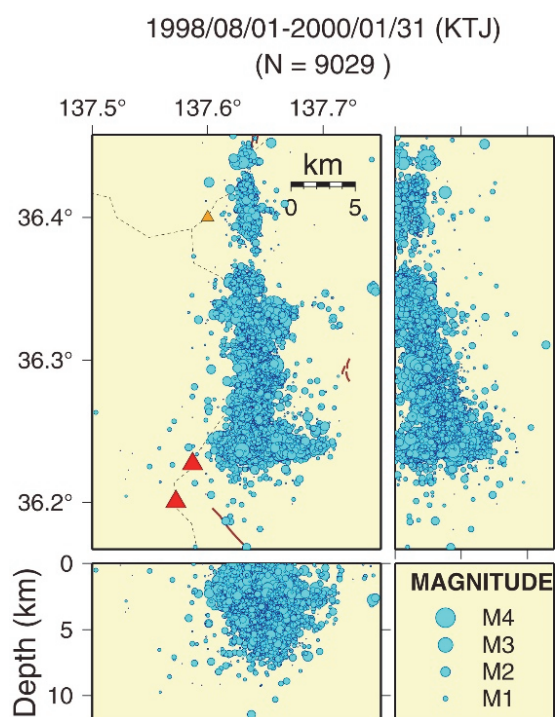


Fig.2(b): Hypocenter distribution of 1998 activity. Results from Wada et al. (1999) are plotted.

- [6]4月26日～4月27日：4月26日2時22分にMj5.0の地震が発生。JMA最大震度3，DP.YAKEにて計測震度4.7。上高地の河童橋付近を中心に地震が頻発。その後，5月12日にかけて震源域は岳沢付近を徐々に北向きに拡大。
- [7]5月13日：早朝からの地震活動で震源域が飛騨山脈の主稜線（岐阜・長野県境）付近まで拡大。9時40分に岳沢付近でMj4.7の地震が発生，JMA最大震度2。
- [8]5月19日：未明より地震活動が活発化。13時12分にMj5.4の地震が発生。JMA最大震度4，DP.YAKEにて計測震度4.7。この地震の後，震源域が主稜線を越えて岐阜県側に拡大。
- [9]5月29日：19時5分，岳沢付近でMj5.3の地震が発生。JMA最大震度4，DP.YAKE観測点にて計測震度4.8を観測。
- [10]7月5日：未明より地震活動が活発化し，15時9分に上高地でMj4.8の地震が発生。JMA最大震度3，DP.YAKE観測点にて計測震度4.7を観測。

2.2 有感地震の発生状況

飛騨山脈の脊梁部で地震活動が発生した際には，奥飛騨温泉郷中尾地区では，気象庁発表の公式震度よりも大きな揺れが観測される例があることはすでに報告されている（大見，2017）。我々は，Fig.1の挿入図中のDP.YAKE（奥飛騨温泉郷中尾）およびDP.SMHZ（上高地下堀沢）の2か所に強震計を設置して計測震度の観測を行っている。DP.YAKEでは2011年秋から，DP.SMHZでは今回の地震活動発生後の2020年5月末から機器を運用している。また，同図中

のJMA TOCHIOは気象庁の震度発表点である「奥飛騨温泉郷栃尾」の位置を示している。今回も，前節で記載したように，多くの地震で気象庁の公式震度よりもDP.YAKEやDP.SMHZ観測点における計測震度値の方が大きい例が見られた。

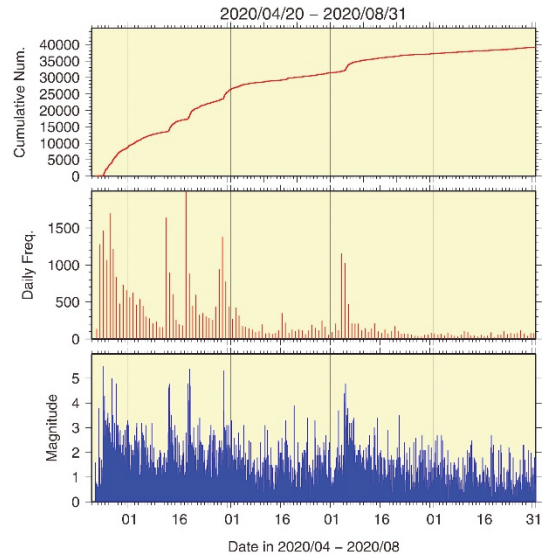


Fig.3: Seismic activity of the swarm in 2020. Cumulative number (upper), daily frequency (middle), and magnitude time diagram (lower) of the earthquakes located in the area of Fig.2 (a) are shown. All earthquakes documented in the JMA catalogue are used.

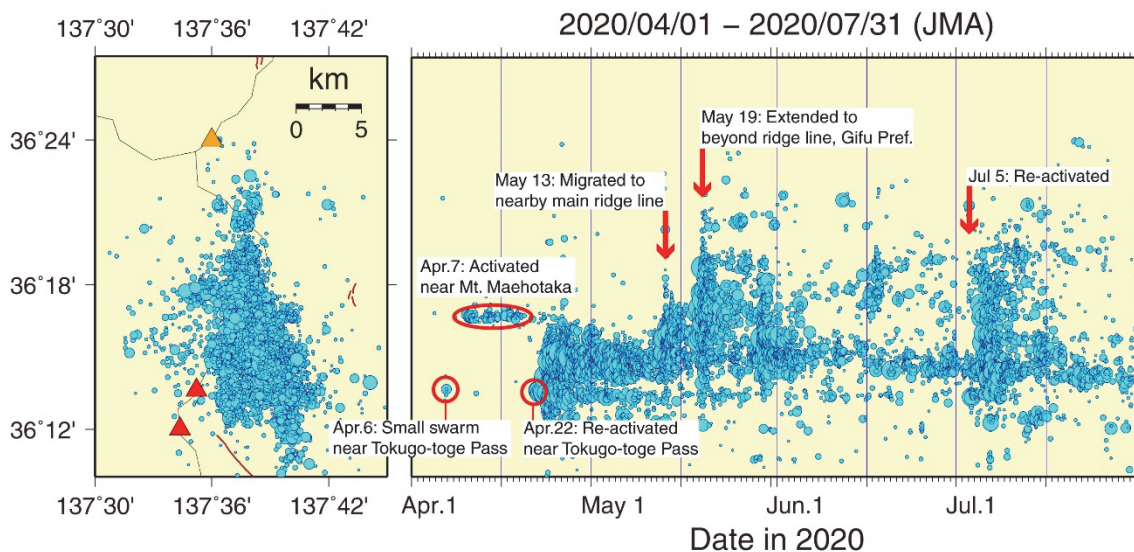


Fig.4: Spatio-temporal plot of the swarm activity in 2020.

Fig.5 とTable 1に、「奥飛騨温泉郷中尾」(DP.YAKE)で計測震度1.0以上を観測した地震を現地有感地震として計数した結果を、「奥飛騨温泉郷栃尾」(JMA TOCHIO)での有感地震数と比較した結果を示す。ただし、7月18日16時から8月21日14時までは、DP.YAKEが豪雨による土砂災害のために欠測であったため、DP.SMHZでの計測震度が1.0以上の地震を計数した。これによれば、気象庁が公式震度を発表する「奥飛騨温泉郷栃尾」での2020年4月20日から8月31日までの期間の震度3以上の有感地震は18個であったのに対し、DP.YAKE等における震度3相当以上の現地有感地震は約150個であった。このうち7個は、震度5弱相当(計測震度が4.5以上5.5未満)の揺れを記録しており、今回も奥飛騨温泉郷中尾地区では気象庁の公式震度よりも最大2階級程度大きな揺れを記録したことがわかった。

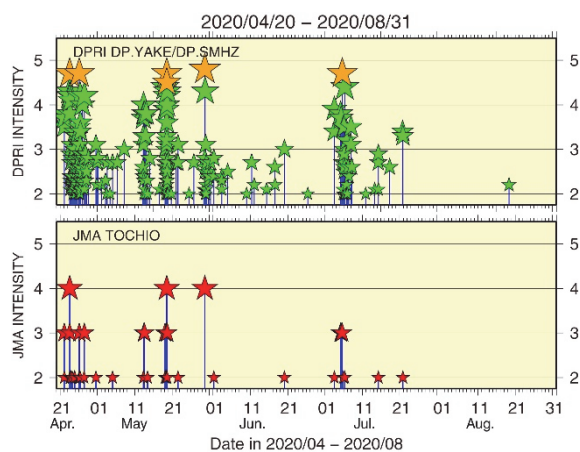


Fig.5: Comparison of seismic intensity of felt earthquakes in JMA and DPRI catalogue. Seismic intensity (SI) for each felt earthquake in both catalogues are shown. For the location of observation sites, see Fig.1. (upper) SI of DPRI stations. Orange stars show earthquakes of which SI is equal or more than '5 Lower'. (lower) SI of felt earthquakes in the JMA catalogue.

Table 1: Number of felt earthquakes in JMA and DPRI catalogue. For the location of observation sites, see Fig.1.

Catalogue	Intensity Level		
	3	4	5 Lower
JMA	15	3	0
DPRI	100	39	7

2.3 主な有感地震の発生位置

前節で述べた大きな揺れを記録した地震の発生位置を精査するために、DP.YAKEおよびDP.SMHZに設置した強震計データの解析で計測震度3.0相当以上の揺れを記録した地震の震源を再決定した。そのうち、精度よく震源再決定できた地震の震央分布をFig.6に示す。これらの地震の震源決定には、上宝観測所を始めとして、気象庁や国交省北陸地方整備局が奥飛騨地区や上高地の内部などの今回の地震活動の震源域直上に設置している観測点のデータも用いた。これによると、今回の地震活動の比較的「大粒」の地震は、上高地の谷底から北北西に延びて飛騨山脈の主稜線に至る比較的狭い範囲に集中していることが見て取れる。

なお、震源再決定には震源域直上の観測点のデータを使用したため、それらを使用していない気象庁発表の震源位置と再決定した震源位置には系統的な差が見られる。これをFig.7に示す。再決定結果の震央位置は気象庁カタログのそれに比べて系統的に北東または東北東に1km程度ずれた位置に再決定され、

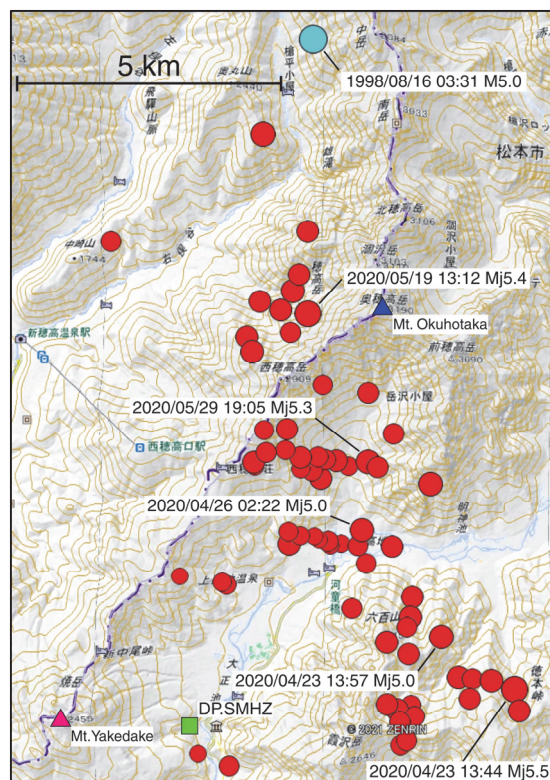


Fig.6: Relocated epicenters of felt earthquakes of which observed SI is equal to 3.0 or larger. Moderate earthquakes whose magnitude are equal to 5 or more are also indicated. Cyan circle shows the epicenter of the largest event in the swarm activity in 1998.

また2km程度浅く求まることがわかった。

2.4 主な地震の発震機構

前節で再決定したイベントのうち、DP.YAKEにおける計測震度が4.0以上の地震の中から、良好に震源決定がなされた19個のイベントの、P波初動極性を使用した発震機構解の分布をFig.8に示す。今回の群発地震の発震機構もこれまでの既往研究と同様、当地域の北西-南東の圧縮応力場（たとえば、Kaneshima, 1990）を反映しているものが大部分である。

3. 考察と今後の課題

3.1 過去の地震活動との比較

ここでは、大見（2018, 2021）等を参照しながら、飛騨山脈の地震活動の主な特徴について述べ、今回の地震活動との比較を行う。飛騨山脈の地震活動には、(1)浅い群発地震活動が頻発する、(2)大部分の群発地震の活動域は過去の群発地震の活動域とは大きく重ならず「棲み分ける」傾向が見られ、かつ、大部分の群発地震の活動域は飛騨山脈の主稜線（岐阜・長野県境）に分断される傾向が見える、などの特徴がみられる。以下、これらの特徴について述べるとともに今後の課題を考察する。

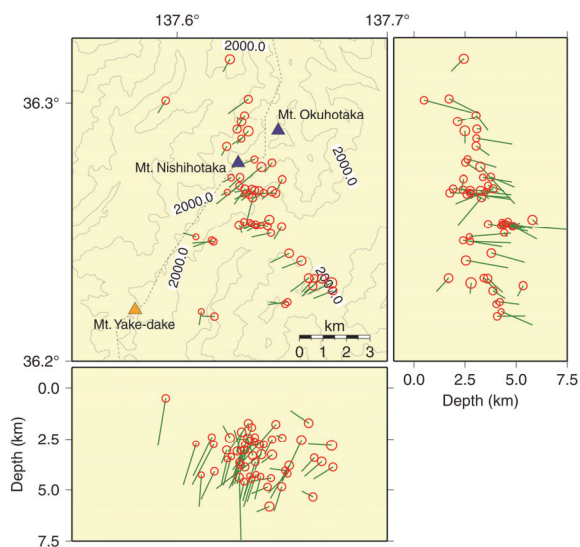


Fig.7: Comparison of hypocenters relocated in this study and those located by JMA. Open circles show the relocated hypocenters relocated in this study, while the other end of the solid green bars show the hypocenters located by JMA.

(1) 浅い群発地震活動の頻発

Fig.9に、上宝観測所が1970年代後半に当地域の微小地震のカタログの作成を開始して以降、2020年末までの立山から御嶽山に至る地域の地震発生の時空間分布図を、この期間の飛騨山脈とその周辺での主なイベントとともに示している。この図によれば、立山から焼岳にかけての地域では断続的な群発地震が、乗鞍岳から御嶽山山麓を含む長野県西部地域では連続的な群発地震が発生していることが見て取れる。前者では、鷲羽岳付近から焼岳周辺にかけての地域でこの傾向が大きい。一方、長野県西部地域では、1979年10月の御嶽山の噴火に先立つ地震活動の変化、さらにその5年後の長野県西部地震の発生後の連続的な群発地震の発生が特徴的である。また、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の発生時には、本震発生直後から立山から乗鞍岳の区間において地震活動の活発化が認められ、とくに焼岳周辺では本震に伴う表面波の通過に伴って最初のイベントが発生するなど[たとえば、大見ら(2012)]、これらは東北地方太平洋沖地震に伴う誘発地震であったとの解釈がなされている[たとえば、Miyazawa(2011)]。

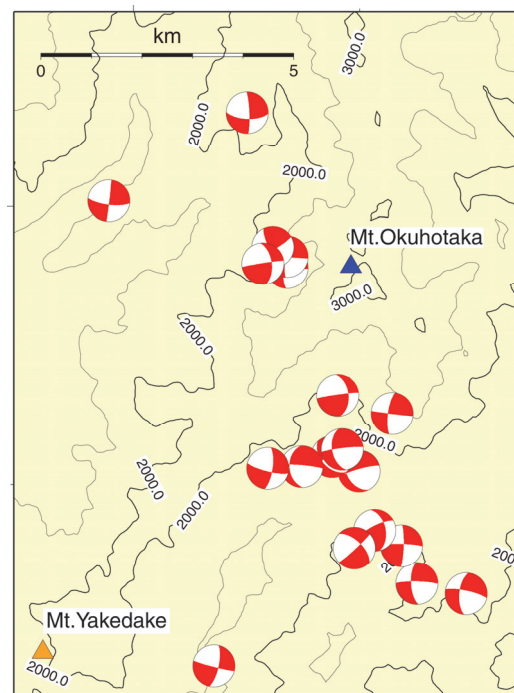


Fig.8: Focal mechanism solutions of several felt earthquakes at the DPRI intensity meter site. Nineteen (19) earthquakes whose observed intensity is equal to or larger than 4.0 are analysed. Initial motions of P-waves are used for analysis and lower hemisphere projection is used.

(2) 群発地震の震源域の「棲み分け」

Fig.10(a)に、2001年以降の飛騨山脈南部の群発地震の震央分布を、年別に色分けして示す。また、Fig.10(b)には、1998年の活動（1998年～1999年）と2020年の活動の震央分布を重ねたものを示す。ここに見られるように、当地域では1998年の群発地震の活動終了後は、主な群発地震の活動域が過去の群発地震活動のそれと大きくは重ならず、「棲み分ける」傾向がみられていた。また、それらの活動域は飛騨山脈の主稜線（岐阜・長野県境）に分断される傾向がみられ、それぞれの一群の活動が主稜線を越えて拡大することは稀であった。

3.2 群発地震の発生原因に関する考察

当地域で頻発する群発地震の発生原因については、いくつかの説が提唱されている。そのひとつは、いわゆるSilica Capモデルと呼ばれるもので、Kusakabe et al. (2003)や日下部（2018）などで解説されている。これによれば、陸水起源の地下水は周囲の岩石から石英を溶出させながら地下に浸透し、マグマや高温岩体に近づくにつれて温度が高くなる。しかし、高温・高圧の、ある温度圧力条件下では逆に温度上昇につれて石英の溶解度が減少する条件が存在し、この条件を満たす領域では石英は再

度結晶として沈殿し、結果としてマグマ等の熱源の頂部を覆う石英のキャップが形成される。このキャップの下にマグマ起源の高温高圧流体が蓄積してゆき、キャップが耐えられなくなると破碎し、それに伴う高温熱水による水圧破碎が浅部の群発地震を起こすというモデルである。

また、川崎（2020）は、2020年や1998年の群発地震のマグニチュード2以上の地震を精査すると、時空間的に複数のクラスタが同時に活動する例はほぼ皆無であることを見出した。これを説明するために、当地域の群発地震のクラスタはその下にそれぞれに対応する熱水混合層が分離して存在し、それらがゆるやかに連結しているというモデルを提唱した。これは、特定のクラスタで突発的に熱水が溢れ出て地震活動が発生すると、連結したすべての熱水混合層で水圧が下がってそれまでの地震活動は鎮静化し、結果として特定のクラスタのみが活動するというモデルである。

さらに、大見・西村（2020）は、奥飛騨・上高地地区に設置・運用中のGNSS観測網により、群発地震活動に伴う地殻変動が今回初めて観測されたことを報告し、今回の地震活動がマグマ貫入に伴う開口断層形成による可能性を指摘している。

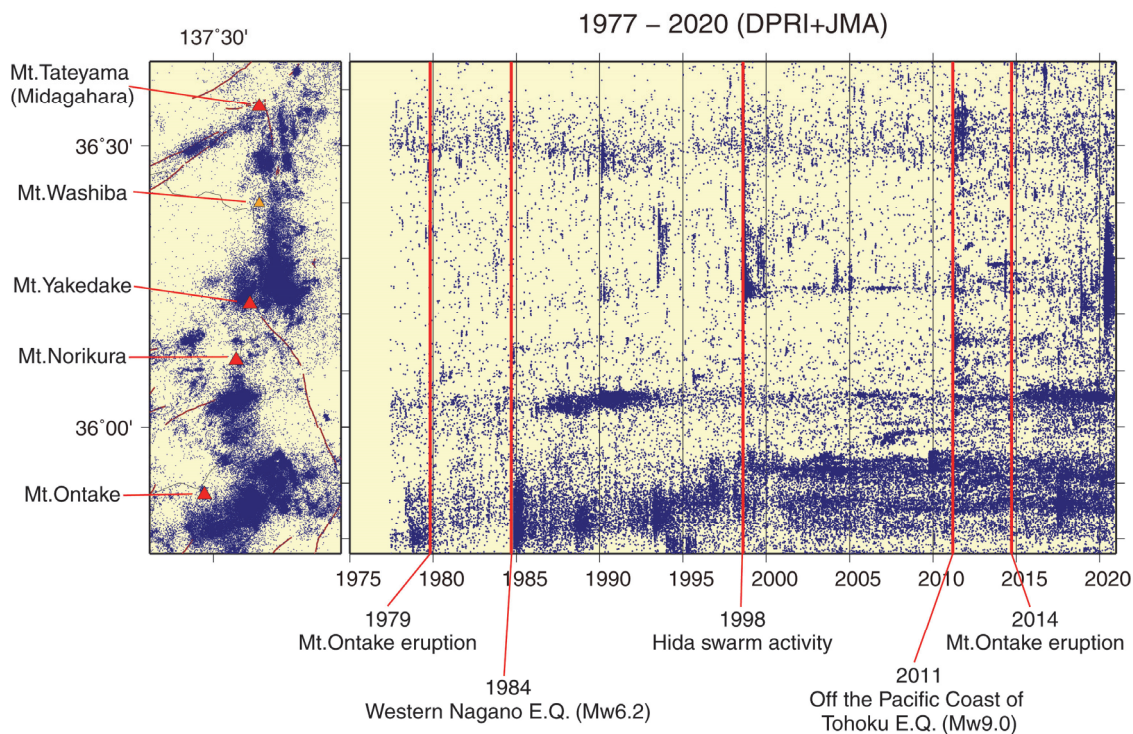


Fig.9: Spatio-temporal distribution of the earthquakes along the Hida mountain range from 1977 to 2020. Earthquake catalogues by DPRI and JMA are combined. Red vertical lines shows remarkable events along the Hida mountain range.

3.3 2020年の地震活動の位置づけと今後の課題

1998年の活動は、1970年代以降では最大の地震活動であり、観測開始以来初めて飛騨山脈の主稜線を跨いで拡大した活動であった。その後、そのような特徴を示す地震活動は見られなかったが、Fig.2やFig.10(b)にみられるように、2020年の地震活動は22年ぶりに飛騨山脈の主稜線を跨いで拡大し、かつ、1998年の活動域に重なるように活動した。そのような点で、2020年の活動は2001年から2019年までの地震活動とは一線を画すものであり、1998年の活動と類似している。

また、Fig.2に示すように、1998年と2020年の地震活動の双方において、焼岳の北方、穂高岳付近から北に向かって急激に震源の下限が浅くなっていく現象が認められる。震源の深さの下限は当地域の地震発生層の厚さを反映し、発生しうる最大地震の大きさを規定する可能性を持つ重要な情報である。しかしながら、当地域は急峻な飛騨山脈の脊梁部であり、震源の深さを正しく決定するために直上に観測点を設置して長期の観測を実施することには困難を伴う。そのため震源の深さの変化が実際のものであるか観測点分布によるみかけのものであるかの判断は現状では難しい。かつて、岩岡ら(2000)は、飛騨山脈の最奥部の鷲羽岳北方の黒部川源流域にて地震観測を実施した。観測期間は2か月という短期間であったが鷲羽岳や雲の平などの第四紀火山の周辺では浅い地震が発生していることを示した。現在は、2000年当時に比較して、低消費電力で扱いの容易な観測機器が開発されているなど、機器の性能は向上している。これらを利用して、今後、穂高岳付近から雲の平、立山にかけての地域での組織的な観測研究により飛騨山脈脊梁部の地震発生層の厚さを明らかにすることは当地域の地震防災に資するための重要な課題のひとつである。

3.3節で述べたように、飛騨山脈南部地域の奥飛騨・上高地地域の群発地震活動の原因を、熱水活動に求める説とマグマ活動に求める説の双方が提唱されている。後者は地殻変動データの解析により今回の2020年の活動の際に初めて可能性が指摘されたものであるが、データ取得開始後の日が浅く、過去の群発地震活動との比較が困難であるのが弱点である。おそらく、双方を原因とする群発地震が存在するものと推察されるが、今回の群発地震の震源域は活火山焼岳にも近く、その発生モデルの解明は当地域の火山防災にとっても重要である。最新の技術を利用した観測研究の実施等により、過去の群発地震活動域の「棲み分け」や、飛騨山脈主稜線による活動域の

分断などとも関連させて、当地域の群発地震の地震発生機構の議論が深まることが期待される。

謝辞

本稿の執筆に際しては、気象庁の地震観測データおよび地震カタログ、防災科学技術研究所の高感度地震観測網 Hi-net の地震観測データ、ならびに国土交通省北陸地方整備局の地震観測データを使用した。また、一部の図表では国土地理院地図KMLデータを使用した。記して感謝する。作図にはGeneric Mapping Tools (Wessel and Smith, 1995) を用いた。

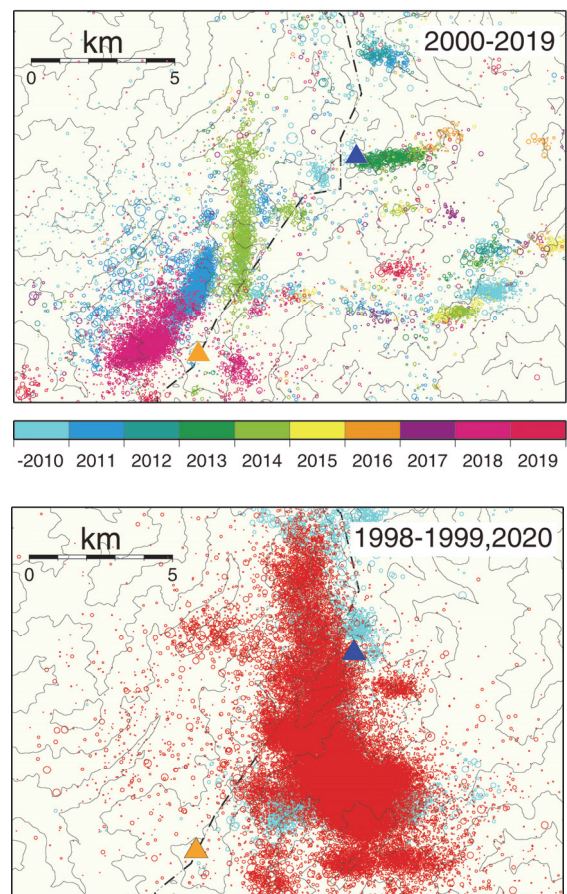


Fig.10: (a) (upper) Yearly plot of the seismicity since 2000 until 2019.

(b) (lower) Seismicity of 2020 activity (red dots) together with that of 1998 (1998-1999) (cyan dots). Dashed line shows the main ridge line of Hida mountain range, which is also the prefecture border of Gifu and Nagano prefectures. Blue and orange triangles shows Mts. Okuhotaka-dake and Yake-dake, respectively.

参考文献

- 岩岡圭美・川崎一朗・平田直・平松良浩・渡辺了 (2000) : 飛騨山脈中心部の微小地震活動, 地震2, 53, pp.95-99.
- 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, 54, pp.415-420.
- 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, 46(B), pp.691-699.
- 大見士朗・和田博夫・濱田勇輝 (2012) : 飛騨山脈焼岳付近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. pp.85-94.
- 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, pp.1-15.
- 大見士朗 (2017) : 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月飛騨山脈の地震活動の例一, 地震2, 69, pp.113-118.
- 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, pp.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, pp.15-25.
- 大見士朗 (2019) : 2018年11月下旬以降の焼岳火山近傍の地震活動について, 京都大学防災研究所年報, 62B, pp.310-317.
- 大見士朗・西村卓也 (2020) : 2020年飛騨山脈群発地震—地殻変動から推定されたダイク貫入イベント—, 日本地震学会2020年度秋季大会, S09-05.
- 大見士朗 (2021) : 飛騨山脈の地震活動, 地震ジャーナル, 71, pp.50-55.
- 川崎一朗 (2020) : 1998年と2020年の飛騨上高地群発地震—時空間的に分離した活動域の移動現象—, 日本地震学会2020年度秋季大会, S09-04.
- 気象庁 (2013) : 日本活火山総覧 (第4版) II関東・中部・伊豆・小笠原編, 東京, 1098 pp.
- 日下部 実 (2018) : 熱水地球化学から見た乗鞍火山列群群発地震の発生メカニズム, 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, pp.62-72.
- 国土地理院 (2021) : 標高3000mから3500mの山, <https://www.gsi.go.jp/kihonjohochousa/kihonjohochousa41189.html>, (参照2021-8-31)
- 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, 32, pp.281-296.
- 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, 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, 37B-1, pp.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, pp.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, pp.115-121.
- Kaneshima, S. (1990) : Origin of crustal anisotropy: Shear wave splitting studies in Japan, J. Geophys. Res., 95, pp.11121-11133.
- Kusakabe, M., Ohwada, M., Satake, H., Nagao, K., and Kawasaki, I. (2003) : Helium Isotope Ratios and Geochemistry of Volcanic Fluids from the Norikura Volcanic Chain, Central Japan: Implications for Crustal Structures and Seismicity, Society of Economic Geologists Special Publication (Giggenbach Volume), 10, pp.75-89.
- Miyazawa, M. (2011) : Propagation of an earthquake triggering front from the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geophys. Res. Lett., 38, L23307, doi:10.1029/2011GL049795.
- Wessel, P., and Smith, W. H. F (1995): New version of the Generic Mapping Tools released. EOS Trans. AGU. 76(33). 329. doi:10.1029/95EO00198.

(論文受理日 : 2021年8月31日)