

## 飛騨山脈焼岳火山の研究監視観測網の現状

### Implementation of the Volcanic Activity Monitoring Network around the Yakedake Volcano, Hida mountain range, Central Japan

大見士朗・井口正人・飯尾能久

Shiro OHMI, Masato IGUCHI and Yoshihisa IIO

#### Synopsis

Geophysical observation network in the vicinity of the Yakedake volcano, Hida mountain range, central Japan was constructed in order to monitor the volcanic activity as well as investigating the prediction of its phreatic eruptions. We newly installed three observation site within 2 km from the summit crater that consist of short period and broad band seismometers, tiltmeter, GNSS, magnetometer as well as high precision thermometer nearby the summit crater. All the data are telemetered to DPRI in real time. Obtained data are utilized not only for the monitoring of the volcanic activity but also a research for predicting a phreatic eruption of the volcano.

**キーワード:** 焼岳火山, 研究監視観測網, 地震計, 傾斜計, 温度計

**Keywords:** Yakedake volcano, monitoring network, seismometer, tiltmeter, thermometer

#### 1. はじめに

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。この山脈にはまた、北から、立山（弥陀ヶ原）、焼岳、アカンダナ山、乗鞍岳の4峰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峰の活火山が認定されている [気象庁 (2005)]。

飛騨山脈では、従前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・他 (1993, 1994) 等]。例えば、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 [和田・他 (1999, 2000) 等]。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・他 (2001, 2003) 等]。最近では、たとえば、2011年3月11日の2011年東北地

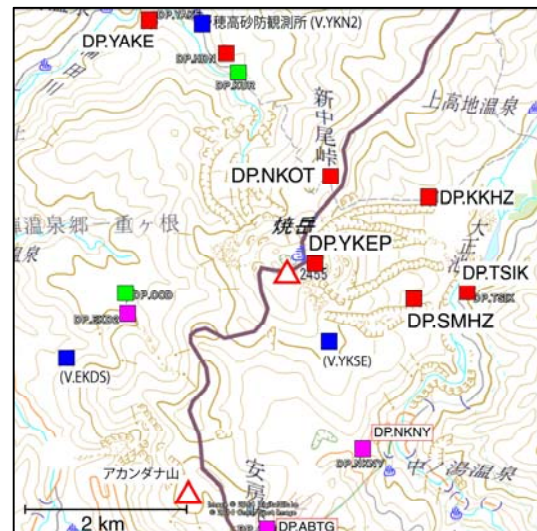


Fig.1 (a) : Distribution of monitoring stations as of 2017. Red, green, and blue squares represent online stations operated by Kyoto Univ., Jindu River System Sabo Office (MLIT), and Japan Meteorological Agency (JMA), respectively. Magenta squares show the offline stations operated by Kyoto Univ.

方太平洋沖地震の直後に発生し、2011年4月まで活発な活動が継続した群発地震 [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 (2017)] などが挙げられる。

## 2. 観測網の整備状況

平成26 (2014) 年9月27日に御嶽山において噴火が発生し、火口付近に居合わせた登山者ら58名が死亡するという大災害となった。この噴火災害を受け、大学等が観測研究を重点的に行う既存の16火山に新たに9火山が加わることとなり、岐阜・長野県境の焼岳火山もこれに含まれることとなった。同年度の文科省の予算措置により、これら9火山の観測設備の整

備が行われ、京都大学防災研究所が焼岳火山の観測設備整備を担当することとなった。焼岳火山近傍では従前より防災研究所上宝観測所が観測研究を進めていたが、本報告では、今回の予算措置による設備等を含め、焼岳火山の研究・監視観測網の現状を報告する。

Fig.1 に、2017年4月現在の焼岳近傍の観測点の分布を示す。上宝観測所では2010年秋から長野県側の上高地内に4点のオフライン観測点を設置して地震活動の把握に努めるなど観測の強化を図りつつあったが、主として短周期地震観測に限られること、長野県側にはオンライン観測点が皆無であること等の問題点があった。

その後、2013年度からの3ヵ年計画で国交省の河川砂防技術研究開発予算による委託研究により、土石流等の質量移動を検知するためのシステム構築の一



Photo 1: (a) (upper) Newly constructed DP.NKOT (Nakao-Toge pass) station. Main part of the equipment (left), GNSS antenna pillar, (middle right), and a pillar for the proton precession magnetometer (right) are seen. (b) (lower) Instruments installed at DP.NKOT. Broadband (upper left) and short period (right) seismometers, and tiltmeter (lower left) are seen.

Photo 2: (a) (upper) Newly constructed DP.YKEP (Summit of Yake-dake volcano) station. Main part of the equipment center) and a pillar for the proton precession magnetometer (left behind) are seen. (b) (lower) Instruments installed at DP.YKEP. Short period seismometer, tiltmeter (lower right), and high sensitivity thermometer (upper right) are seen.

環として、上高地に「上高地峠沢 (DP.KKHZ)」および「上高地防災情報センター (DP.TSIK)」の2点のオンライン観測点を整備した。これらは土砂移動等の検知のほかに火山活動に伴う地震活動等の把握にも有用な観測点である。DP.TSIKには高感度地震計が、DP.KKHZにはこれに加えて気泡型傾斜計と強震計が設置されている。

さらに、2014年9月の御嶽山噴火災害に伴う文科省の予算措置により、「焼岳山頂 (DP.YKEP)」, 「焼岳中尾峠 (DP.NKOT)」, 「上高地下堀沢 (DP.SMHZ)」の3点のオンライン観測点が整備された。本予算に伴

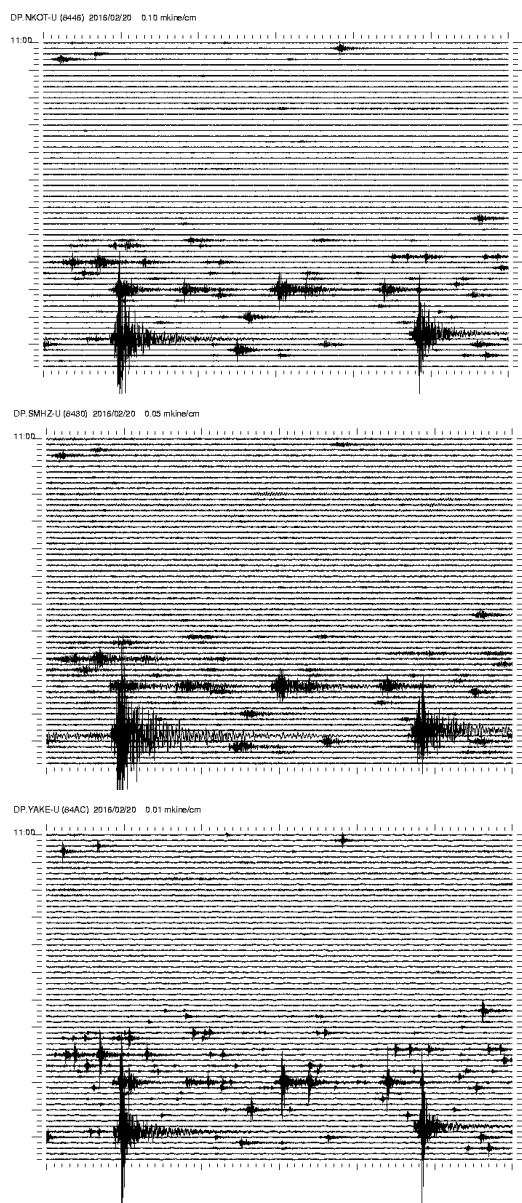


Fig.2 : Example of recorded waveforms at DP.NKOT (upper), DP.SMHZ (middle), and DP.YAKE (lower). Small swarm activity in Kamikochi area occurred on Feb. 20, 2016 is recorded.

う新規観測点は、水蒸気噴火の予測研究にも資するため従来からの地震や地殻変動等のみだけでなく、地磁気や地温等の観測を火口近傍で行うことが特徴となっている。Photo 1 にDP.NKOTの、Photo 2 にDP.YKEPの両観測点の写真をそれぞれのピット内に設置した機器の写真とともに示す。両観測点は、いずれも、機器収納用の筐体、地震計等を収納するピット、地磁気観測やGNSS等の機器のためのピラーなどからなる。筐体には電源として、12V70Ahのバッテリーが4個搭載され、これに出力93.5Wの太陽電池パネル4枚が接続されている。また、データはNTT Docomoの回線を使用してリアルタイムで伝送を行う。以下に各観測点に設置された観測機器を示す。

## 2.1 焼岳山頂 (DP.YKEP)

DP.YKEP観測点に設置されている機器は以下の通りである。短周期地震計：サイモテック社製SHV-003, 気泡型傾斜計：Jowell System社 701A型, 精密温度計：村山電機製作所製DPS-2001型, プロトン磁力計：ネオサイエンス社製PM214G型。

短周期地震計および傾斜計は深さ約70cmのピットの底に設置されており、精密温度計はピット底からさらに50cm程度深部の地中に設置されている。プ

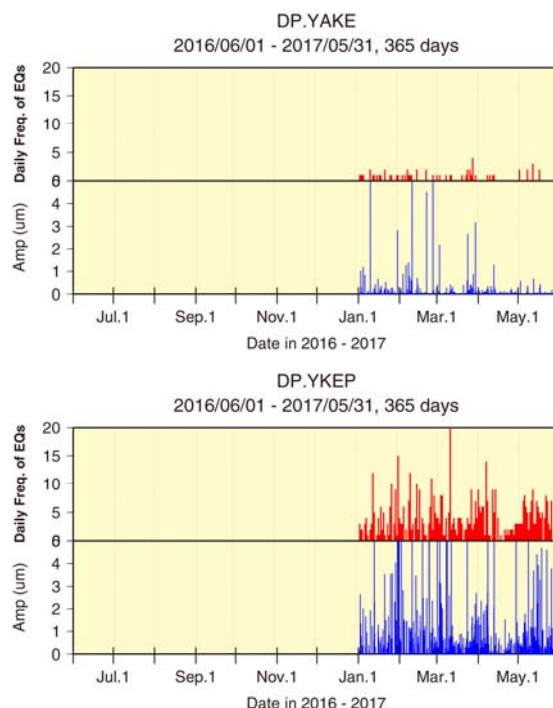


Fig.3 : Daily frequency of observed earthquakes and their p-p amplitude at station DP.YKEP (upper) and DP.YAKE (lower) from January 2017 to May 2017. Those earthquakes with  $T_{sp} < 1.0s$  and  $Amp(p-p) > 0.25 \mu m$  are selected to obtain daily frequency of earthquakes.

ロトン磁力計は別途ピラーを構築して検出器部分を設置した。

## 2.2 焼岳中尾峠 (DP.NKOT)

DP.NKOT観測点に設置されている機器は以下の通りである。短周期地震計：サイモテック社製SHV-003，広帯域地震計：ナノメトリクス社製Trillium120Q型，気泡型傾斜計：Jowell System社 701A型，GNSS受信機：Leica社製GR10受信機および同AR10型アンテナ，プロトン磁力計：ネオサイエンス社製PM214G型。

地震計および傾斜計は深さ約70cmのピットの底に設置されている。プロトン磁力計およびGNSS受信機はそれぞれ別途ピラーを構築して検出器およびアンテナを設置した。

## 2.3 上高地下堀沢 (DP.SMHZ)

DP.SMHZ観測点に設置されている機器は以下の通りである。短周期地震計：サイモテック社製SHV-1H型（水平動）およびSHV-1V型（上下動），広帯域地震計：ナノメトリクス社製Trillium120Q型，ボアホール型傾斜計：明石製作所製ATS-2G型，GNSS受信機：Leica社製GR10受信機および同AR10型アンテナ，プロトン磁力計：ネオサイエンス社製PM214G型。

短周期地震計と傾斜計は深さ約10mのボアホール



Fig.4 : Tilt record at stations DP.YKEP and DP.SMHZ. Surface type tiltmeter is installed in DP.YKEP site while borehole type instrument are installed in DP.SMHZ site.

底に設置されている。広帯域地震計は深さ約70cmのピットの底に設置されている。プロトン磁力計およびGNSS受信機はそれぞれ別途ピラーを構築して検出器およびアンテナを設置した。

## 3. 観測された記録の例

ここではこれらの新規のオンライン観測点で得られた記録の例を示す。Fig.2に、DP.NKOTとDP.SMHZでの観測例を示す。これは2015年2月の上高地内部で発生した小規模な群発地震活動の際の記録例である。参考のために奥飛騨温泉郷中尾に設置してある100m深のボアホール型地震計(DP.YAKE)の記録も示す。DP.NKOTおよびDP.SMHZの記録とも、ボアホール記録と比較して遜色のない良好なものである。ただし、DP.NKOTは飛騨山脈の稜線上に位置することから風の影響を受けやすく、季節風が強まる冬季には記録の質が低下することがあり、また、DP.SMHZは梓川本川に近いこともあり、出水期には記録の質が低下することがある。

Fig.3は、2017年1月以降の、焼岳山頂のDP.YKEPで観測された極微小地震の日別発生数とその振幅分布を、山麓のDP.YAKEのそれと比較したものである。それぞれの観測点で両振幅0.25  $\mu$ m以上のものをカウントしている。これらのイベントには、DP.YKEP観測点のみで波形を認められるものも多く、震源決定には困難を伴う。そのため、自然地震であるかど

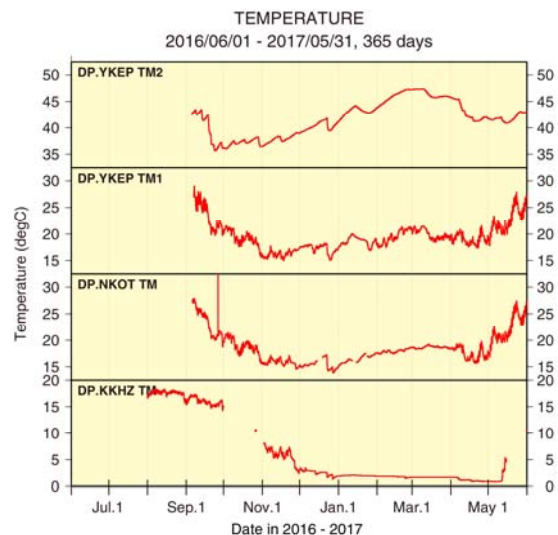


Fig.5 : Temporal variation of ground temperature at stations DP.YKEP, DP.NKOT, and DP.KKHZ from June 2016 to May 2017. DP.YKEP.TM2 is the high precision thermometer installed under ground.

うかの判定は慎重に行う必要はあるが、DP.YKEP観測点での観測数は山麓のDP.YAKEでのそれよりも多く、山体内に極微小地震活動が存在する可能性もあり、今後の精査を要する。

Fig.4には、傾斜計設置点のうち、比較的良好な記録を示すDP.YKEP（焼岳山頂）とDP.SMHZ（上高地下堀沢）の2016年6月から2017年5月末までの傾斜計記録を示す。これらは、100Hzまたは20Hzの高速でサンプリングされたデータを直線位相のデシメーションフィルタにより1分値に変換したものである。それぞれの設置機器はDP.YKEPでは地表設置の気泡型、DP.SMHZでは約10mの孔底に設置したボアホール型の傾斜計である。DP.YKEPの記録は予想されたことではあるがドリフトが大きく、データの取り扱いに検討を要する。DP.SMHZの記録は良好なものである。

また、Fig.5には気泡型傾斜計に内蔵された温度計およびDP.YKEPに設置した精密温度計の記録を示す。DP.YKEP、DP.NKOT、およびDP.KKHZに設置されている気泡型傾斜計は地表設置（正確には約0.7m深のピットの底）であることから気温変化に影響されてデータの変動が大きい。これらの温度観測についても興味深い結果が得られている。DP.YKEPの高精度地中温度計（DP.YKEP.TM2）は30℃台から40℃台半ばの値を示して推移しており山頂近傍の地熱活動が活発であることが伺える。また、DP.YKEPやDP.NKOTの傾斜計の内蔵温度計は、ピット内の気温を計測していることになるが、厳冬期を含めて20℃前後の値を示しており、周囲の気温よりも有意に高温を示している。DP.KKHZのピット内温度は2016年

11月以降は10℃以下の値で推移しており、これはほぼ周囲の気温に追随しているものと考えられる。

Fig.6は、DP.NKOTのGNSSデータを、ここから7.5kmほど西の栃尾に位置する、京都大学と名古屋大学が共同で運用しているGNSS観測点（D00TCHO）[たとえば、Ohzono et al. (2011)]の位置を基準として解析したものである[西村卓也(2017, 私信)]。これによると、DP.NKOTのGNSSデータは基線の再現性がたいへん高いことが見て取れる。解析結果によると、DP.NKOTは基準点D00TCHOに対して緩やかに北に変位している傾向等が認められるが、年周変化である可能性もあり、さらに長期のデータの蓄積が必要である。

Fig.7は、DP.YKEP、DP.NKOT、DP.SMHZに設置したプロトン磁力計データの全磁力値の時間変化を解析したものの[宮崎真大・吉村良慧(2017, 私信)]である。DP.NKOT以外は、磁力計の不具合により、短期のデータしか取得されておらず、継続的な動作を行わせることが今後の課題である。DP.NKOTのデータは安定した全磁力値を示している。これも、緩やかな変動を示しているが、テクトニックな変動であるかどうかの判断はさらに長期のデータの蓄積を待つ必要がある。

#### 4. 今後の課題

DP.NKOTおよびDP.YKEPは厳しい自然環境下に設置された観測点である。そのため、冬季の積雪や日照不足による太陽電池パネルの発電容量不足に基づく動作不良、さらには夏季の雷害による損傷等が憂慮され、数シーズンの稼動状況をみて対応を検討する必要があると考えられる。

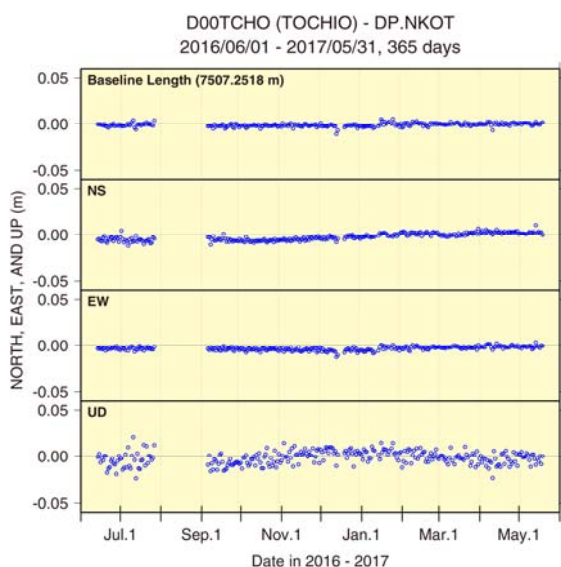


Fig.6 : Baseline analysis of GNSS data at station DP.NKOT relative to station D00TCHO from June 2016 to May 2017.

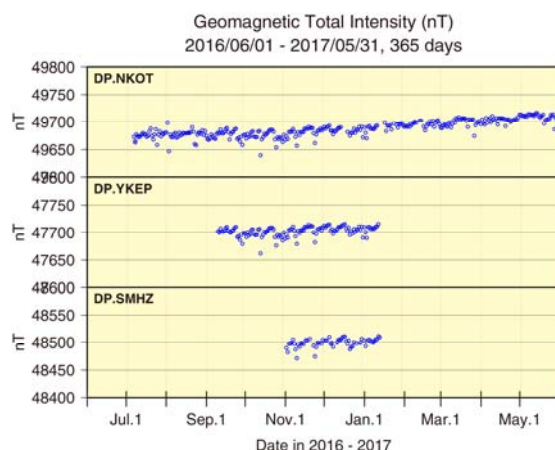


Fig.7 : Geomagnetic total intensity measured by proton precession magnetometer at stations DP.NKOT, DP.YKEP, and DP.SMHZ.

なお、今回増設された観測点のデータについては、気象庁と情報を共有すべく、2017年6月現在リアルタイム分岐に関する協議をすすめているところである。

## 謝 辞

これらの観測施設の構築，ならびに観測の実施にあたっては，地元の皆様をはじめ，多くの関係機関のご協力に負うところが大きい．以下に記して感謝申し上げます．国交省松本砂防事務所，環境省上高地自然保護官事務所，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，松本市山岳観光課，松本市文化財課，信州大学山岳科学研究所，宮島建設工業有限公司，松本土建株式会社，東邦航空株式会社，焼岳小屋，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官事務所，林野庁飛騨森林管理署，岐阜県飛騨県事務所，高山市危機管理室，高山市上宝支所，名古屋鉄道株式会社，奥飛観光開発株式会社，白山工業株式会社．また，焼岳山頂，焼岳中尾峠，上高地下堀沢の3観測点の構築作業とデータ処理については，宮崎真大氏，中本幹大氏の支援を，データ解析・解釈に関しては，吉村良慧氏と西村卓也氏のご支援・ご協力を得た．併せて感謝を申し上げます．

## 参考文献

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，46B，pp. 691-700.  
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，pp.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，pp.1-15，DOI:10.4294/zisin.68.1.

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月飛騨山脈南部の地震活動の例～，地震2，69，pp.113-118，DOI:10.4294/zisin.69.113.

気象庁 (2005) : 日本活火山総覧 (第3版)，財団法人気象業務センター，東京，635pp.

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.

Ohzono, M., T. Sagiya, L. Hirahara, M. Hashimoto, A. Takeuchi, Y. Hosono, Y. Wada, K. Onoue, F. Ohya, and R. Doke (2011) : Strain accumulation process around the Atotsugawa fault system in the Niigata-Kobe Tectonic Zone, central Japan, Geophys. J. Int., 184, pp. 977-990.

(論文受理日 : 2017年6月13日)