



京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University

地域防災実践型(一般)
2022P-02

飛騨山脈震度観測ネットワークの構築と運用の 実現可能性の調査研究

Feasibility Study of Constructing a Seismic Intensity Network in the Hida Mountain Region

令和6年3月
March, 2024

研究代表者
Coordinator

松 田 俊 彦
Toshihiko MATSUDA

1. はじめに

本研究計画は、2020年4月から7月にかけて岐阜県奥飛騨地区から長野県上高地地区にかけての地域で発生した、多くの有感地震を伴う群発地震を契機に計画されたものである。具体的な研究の進捗状況については、すでに大見ら（2023）に詳細が記述されているのでそれを再録することとし、ここには、本共同研究の申請書に記載された研究計画等を再掲し、大見ら（2023）執筆後の進捗状況について記述する。

2. 研究申請書の内容

2.1 研究目的と意義

2.1.1 研究目的

群発地震が頻発する飛騨山脈南部・焼岳近傍の、岐阜県奥飛騨温泉郷および長野県上高地周辺に、安価な震度計からなる震度観測ネットワークを構築し独自の地震情報の関係者間での共有を図る。加えて研究期間終了後に民間の非営利組織等の主導による当該ネットワークの運用を行うことを目標として、その実現可能性の調査研究を実施する。

2.1.2 研究の背景

2020年4月から7月にかけて、飛騨山脈南部・焼岳近傍の岐阜県高山市奥飛騨温泉郷や長野県松本市安曇上高地を震源域とする活発な地震活動が発生し、京大防災研の観測によれば、気象庁発表震度よりも最大2段階ほど大きな揺れを観測した地震や、気象庁震度が未発表の現地有感地震等、多数の有感地震を観測した。

今回の群発地震の後に、地域の関係者と「群発地震活動中に不足していた情報は何か」という観点からの情報交換を行ったところ、(1)気象庁の情報が自治体経由で伝達されて来るのに時間を要し、現地で起きている事象を即時に把握できない（一般の住民の方々）、(2)登山者に落石や雪崩の可能性の情報を出すための迅速かつ面的な震度情報が欲しい（山小屋の関係者）、というような声が聞かれた。一案としては気象庁や自治体等の公式な設置機器の導入が挙げられるが、これらに基づく情報は公開が原則であり、風評被害等の遠因となる可能性を否定できず、導入のための関係者の合意を得ることは必ずしも容易ではない。そのため、公的な地震情報に依存せずに独自の情報を迅速に入手する可能性を探る必要があると考えた。



Fig.1: 令和 5 年度末現在の稼働中の観測点の分布。これ以外に、上宝観測所（図の西側）と松本市内の 2 か所（図の東側）の計 3 点でも機器が稼働している。機器設置場所を同定できないように、観測点はコード名で管理している。

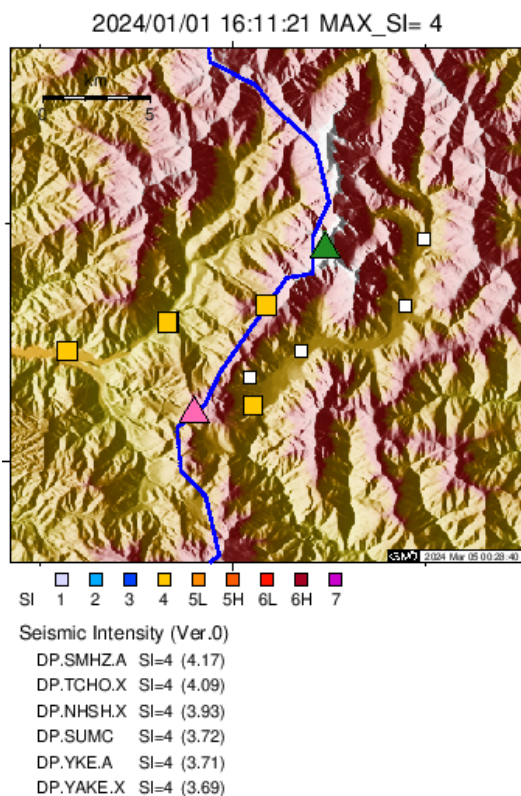


Fig.2a: 2024 年 1 月 1 日発生 of 令和 6 年能登半島地震の本震の観測状況。冬季も稼働中の観測点での震度分布。全点で震度 4 相当を観測した。

2.1.3 研究の意義

本研究では、京大防災研の協力を得て安価な簡易震度計を導入し、当地域の必要とされる地点に面的に機器を設置し、きめ細かい震度分布を非公開の内部情報として得ることができる震度観測ネットワークを構築し、これを現地の非営利組織が運用する可能性を調査する。これが実現すれば、風評被害の原因を作らずに高密度の震度分布情報を迅速に得ることが可能になり、当地域の地震防災に資することが期待される。

2.2. 研究計画

2.2.1 研究計画の概要

前節に記述したような背景に基づき、本地域の地震防災に資するための独自の地震情報を迅速に得ることを目標とする震度観測ネットワークを構築する。なお、「震度」という用語は気象業務法で気象庁のみが使用することが許される用語であるが、以下では地震の揺れを表すための「震度相当の値」という意味で便宜上「震度」という言葉を用いる。

本研究で提供予定の地震情報は震度情報および地震の諸元（発生位置等）に関する情報である。そのために、まず、気象庁の公的な震度情報よりも高密度の揺れの情報を迅速に得るための、保守が容易かつ安価な簡易震度計を複数台準備（または必要に応じて開発）する。次にこれらを、奥飛騨温泉郷、上高地、飛騨山脈の山小屋等の数点を試験観測地として選定して機器を設置し試験観測を実施する。さらにこれらの簡易震度計を可能な限りネットワークで互いを接続し、有感地震発生時にはそれぞれの設置点の機器で現地の震度を表示するとともに、他点の震度情報等の観測情報を集約して面的な震度情報や地震の諸元を参照できるようにする。そのために、京大上宝観測所で必要な処理を行うサーバを運用する。最後に、研究期間終了後の本ネットワークの運用形態を検討するために、事後の運営主体となりうる非営利組織等の検討と当該組織に運用を委ねる可能性を調査する。なお、本ネットワークで得られた情報は、基本的には関係者と地元住民の方々のみが参照できる閉じた情報として運用を開始するが、事後は関係者の協議で情報の利用範囲を検討するものとする。

2.2.2 年度ごとの実施計画

(1) 第一年度：安価な簡易震度計とネットワークの開発

震度観測点を面的に配置するために複数の「簡易震度計」を導入または必要に応じて開発する。複数台が必要であることや研究期間終了後は非営利組織に運営を託すことも検討するため安価であることも

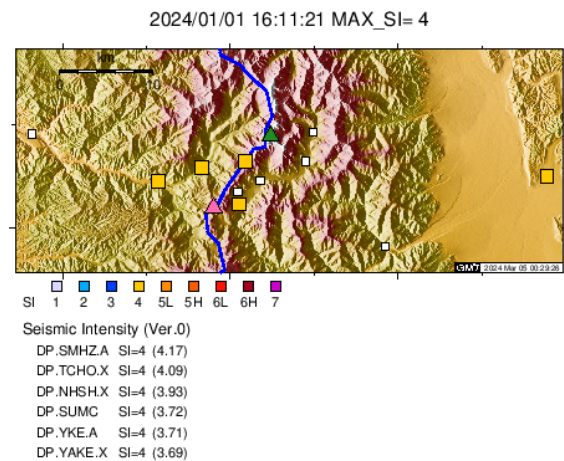


Fig.2b：同じく、令和6年能登半島地震の本震による広域の震度分布図。松本市旭の観測点でも震度4相当を観測した。上宝観測所の機器は未設置であったため観測結果はない。



Fig.3a：観測状況確認用データの例。毎日定時の各機器の応答の確認状況。これにより、機器のハングアップ等の障害を検出する。各観測点の最終チェック時刻が表示されている。

重要である。現在はスマホの姿勢検出等に使われるMEMS加速度センサーが進化しており、これを使用した簡易震度計も数種類発売されているため、これらの仕様を参照しながら必要な機材を準備する。

開発した簡易震度計をネットワーク的に接続するために、当初は、データ通信SIMを搭載したモバイルルータを使用した無線通信で実験を開始し、その後、奥飛騨温泉郷地区、上高地地区のそれぞれで運用されている地域ネットワーク等の利用の可否を検

討する。

(2) 第一年度および第二年度：安価な簡易震度計とネットワークの開発

機器およびネットワークの準備が整い次第、実験にご協力いただける、奥飛騨温泉郷や上高地の中の適切な施設および山小屋等に「簡易震度計」を設置し試験運用を開始する。試験運用では、個別の震度計機能およびネットワーク機能の確認を行い、必要な機能の改良等を行っていく。なお、実験期間は、奥飛騨温泉郷地区では通年、上高地地区では基本的に4月下旬から11月中旬までの開山期間中を想定している。

(3) 第二年度：研究期間終了後の運用形態の検討

引き続き試験運用を行いつつ、本研究の実施期間限終了後に本システムを運用する主体となる組織を検討する。受け皿の候補となりうる組織の形態を、技術的な面や持続性の面などから検討し、適切な組織がある場合には運用のための技術移転を行う。

2.3. 研究の準備状況

本申請の対象地域である、奥飛騨温泉郷・上高地地区では、活火山・焼岳の火山防災に資するために、近隣に位置する京大防災研上宝観測所の大見士朗を中心に、2009年度からオフライン地震観測点が、また、2014年9月の御嶽山火山災害の後にはオンラインの多項目観測点が複数設置されて同火山の研究監視観測が実施されている。また、同じく京大防災研は、奥飛騨温泉郷では2011年秋から、上高地では2020年5月末から震度計算の可能な強震観測点を各1点稼働させており、2020年の群発地震の際には、これらの観測網から得られる情報を奥飛騨温泉郷や上高地の関係者向けに発信した。このように、共同研究者は当地域の地震活動についての造詣が深い。また、共同研究者の山田真澄は気象庁の緊急地震速報のアルゴリズム改良に深く関与・貢献しており、このアルゴリズムを導入して当地域に発生した地震の諸元を早期に発信することを目指す。

3. その後の研究の進捗状況について

本計画で構築した簡易震度観測網は令和6年3月末現在、「飛騨山脈揺れたねネット」という仮称で仮運用を行っており、実験参加者に対してスマホやパソコンのウェブページ等で情報を提供している。

重要なテーマのひとつである、研究期間終了後の運用形態の検討については、2024年1月から2月にかけて、奥飛騨地区、上高地地区のそれぞれの関係者と、研究機関終了後の運用の形態についての議論を

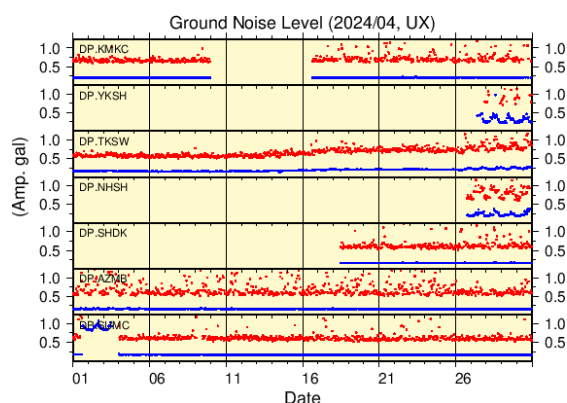


Fig. 4：観測状況確認用データの例（続）。各観測点の振幅データの時間変動。2024年4月の例。冬季閉鎖が解除されて徐々に観測を再開していく状況等が読み取れる。

行う機会を持った。「公助」ではなく、「自助」的な運営の必要性については、来たるべき次の有感地震活動に備えるために必要であるという共通の理解は得られた。しかしながら、本観測網の試験稼働開始から間もないことから、即時にその運営を担うことには困難がある旨の意見が多くみられた。また、大学等が運営に参画することが、行政等に認知されやすいのではという意見もあり、引き続き、関係の大学機関が運営に参加していくことの必要性も指摘された。そのため、これらの意見を勘案して、いわば、試運転期間を設け、その中で引き続き運営の形態を検討するという意見を採用することになった。

また、情報の管理については、不特定多数が容易に情報にアクセスできる現状には、本研究開発の契機となった問題点の面からも再検討が必要という意見もあり、今後、パスワード管理等による、情報のアクセス制限についても検討を続けていくこととなった。

加えて、現状の観測網（Fig.1参照）は、観測点配置が東西方向に偏在していることから、令和6年度以降も、引き続き、協力を得られる山小屋等に機器の設置を進めていくこととなった。

次ページ以降に大見ら（2023）の内容を再録する。

参考文献

大見士朗・松田俊彦・加藤銀次郎・山田 直・栗澤 徹・竹腰藤年・齋藤武士・宮田秀介・山田真澄（2023）：飛騨山脈南部における震度観測網構築の実現可能性の研究 - その1：計画の概要と機器開発 - . 京都大学防災研究所年報. 66B. pp.59-66.

飛騨山脈南部における震度観測網構築の実現可能性の研究 — その 1 : 計画の概要と機器開発 —

Feasibility Study of Constructing a Seismic Intensity Network in the Hida Mountain Region

大見士朗・松田俊彦⁽¹⁾・加藤銀次郎⁽²⁾・山田 直⁽³⁾・栗澤 徹⁽⁴⁾・
竹腰藤年⁽⁵⁾・齋藤武士⁽⁶⁾・宮田秀介・山田真澄

Shiro OHMI, Toshihiko MATSUDA⁽¹⁾, Ginjiro KATO⁽²⁾, Tadashi YAMADA⁽³⁾, Toru AWAZAWA⁽⁴⁾⁽⁶⁾,
Fujitoshi TAKEGOSHI⁽⁵⁾, Takeshi SAITO⁽⁶⁾, Shusuke MIYATA, and Masumi YAMADA

(1) (一財) 飛騨山脈ジオパーク推進協会, (2) (一財) 自然公園財団上高地支部,
(3) (有) 横尾山荘, (4) (有) 西穂山荘, (5) NPO法人神通砂防, (6) 信州大学理学部

(1) Hida Mountains Geopark Promotion Association, (2) Kamikochi Branch, Natural Parks Foundation,
(3) Yokoo Sanso Mountain Hut, (4) Nishiho Sanso Mountain Hut, (5) NPO Jintsu Sabo,
(6) Shinshu University

Synopsis

In the Oku-Hida area of Gifu Prefecture and the Kamikochi area of Nagano Prefecture near the backbone of the Hida Mountain range in Central Japan, active seismic swarms frequently occur. In this area, we are planning to construct a local high-density seismic intensity observation network to supplement existing official seismic intensity information by JMA. We are currently developing a prototype of a simple seismic intensity meter using 3-Axis MEMS accelerometer ADXL355 and small single board computer Raspberry Pi, and conducting test observations in this area. We plan to study how to share the obtained seismic intensity information among stakeholders in the Oku-Hida and Kamikochi area, and how to maintain and manage the observation network over the long term in future.

キーワード: 飛騨山脈, 震度, 観測ネットワーク

Keywords: Hida mountain range, Seismic intensity, Observation network

1. はじめに

飛騨山脈は、本州中央部を富山・新潟県境から岐阜・長野県境に沿って南北に延びる山脈であり、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。その南部に位置する岐阜県側の奥飛騨地区や長野県側の上高地地区は日本国内有数の山岳観光地となっているが、ここには活火山焼岳が位置することに加えて頻りに群発地震が発生するなど、活発な地殻活動が認められる地域でもある (Fig.1)。岐阜県高山市に本拠を置く防災研究所附属地震災害研究センター上宝観測

所 (以下、観測所と記す) は1970年代後半より中部地方中北部に観測網を展開し当地域の地殻活動の観測研究を実施してきたが、2010年前後からは奥飛騨・上高地地区の焼岳火山を中心とする地域の観測体制を強化してきた。

当地域では頻りに有感地震を伴う群発地震が発生し、1998年には、観測所が同地域で地震観測を開始して以来最大級の群発地震が発生した。また、2010年代以降に限っても、2011年、2014年、2018年などに活発な活動が見られた。さらに2020年には、1998年の活動に匹敵する規模の群発地震が発生し、多くの現地有感地震が発生した。

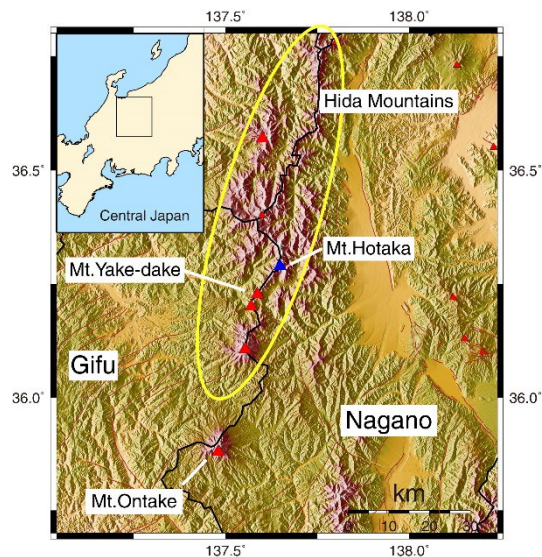


Fig.1: Index map of the studied area. The Okuhida and Kamikochi areas are located near the ridges of the Hida mountain range, on the Gifu and Nagano sides, respectively. Large and small red triangles show active and Quaternary volcanoes, while blue triangle shows the highest mountain in the Hida mountain range.

従来から、当地での群発地震の発生の際には、観測所は地域社会からの求めに応じて地震活動情報等の提供を行ってきており、2020年の群発地震活動に際しても同様の情報提供を実施してきたが、これが約20年ぶりの活発な活動であったため、従来のような情報提供の方法の限界を痛感し、新たな情報提供の方策を模索することとなった。本稿では、2020年の地震活動の終息後に地域社会の関係者との情報交換を行いながら進めている計画について紹介する。

なお、気象業務法の規定により、定められた検定を受けていない機器を用いた「震度」の観測と公表は認められていないが、ここでは、本報告で製作した機器で測定する地面の揺れを便宜的に震度と称し、気象庁による揺れの観測値は「公式震度」と称することにする。

2. 飛騨山脈南部地域の地震活動の概要

飛騨山脈の立山から乗鞍岳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災害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，2001，2003，2012，2015，2017a，2017b，2018，2019，2020，2021a，2021b，岩岡ら，2000 など）。

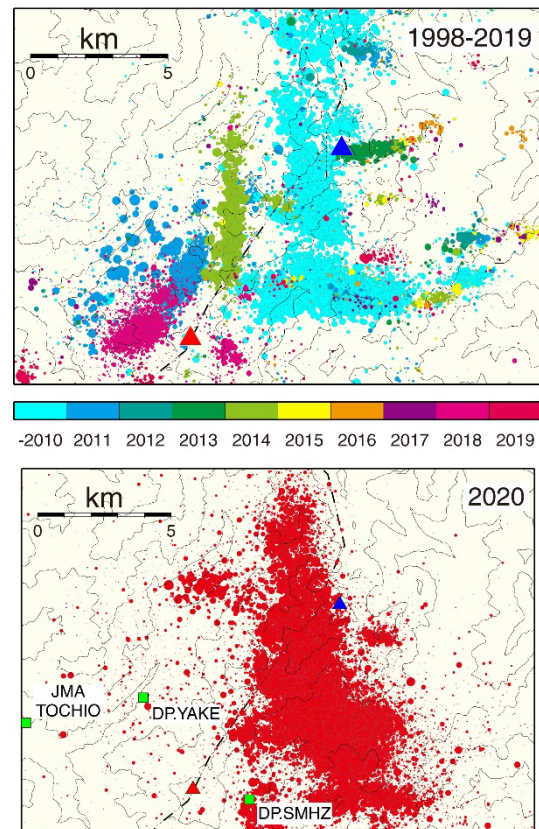


Fig.2: Seismicity of the target area from 1998 to 2019 (upper) and 2020 (lower). In the upper figure, solid cyan circles denote epicenters in 1998, while light green circles show those in 2014. For green squares, see text.

それらの結果によれば、1970年代以降、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）。さらに、2020年4月から7月にかけて、それに匹敵する活発な活動が見られ（大見，2021a，2021b），これは、飛騨山脈下へのマグマ貫入に伴うものであることが示唆された（大見・西村，2020）。Fig.2には、当地域の1998年から2020年までの震央分布を示す。1998年と2020年の大規模な活動は、飛騨山脈の稜線（岐阜・長野県境）を超えて活動が拡大しているのに対し、それ以外の小規模な活動は基本的には、岐阜側または長野側に活動域が限定されているなどの特徴がみえる。

また、これらの地震活動に伴って多くの有感地震が観測されているが、気象庁の公式の震度観測点が震源域から比較的遠いため、震源域直上の奥飛騨・上高地地区では、気象庁の公式発表よりも多くの現地有感地震が観測され、またその揺れの大きさも気象庁の公式震度よりも大きな値を示す例が観測されることが明らかになっている。Fig.3に、大見（2021a）に基づく、2020年の地震活動の際の、震源域直上に

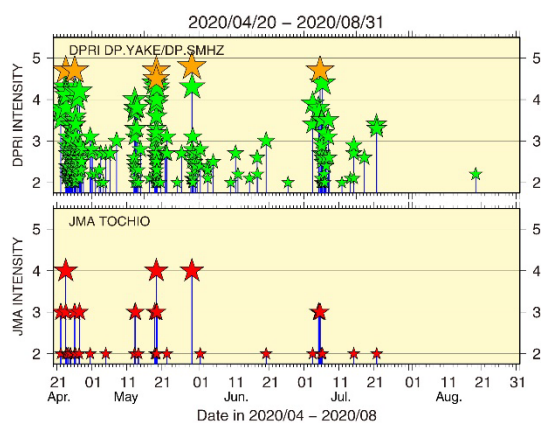


Fig.3: Comparison of seismic intensity of felt earthquakes in JMA and DPRI catalogue. Seismic intensity (SI) for each felt earthquake in both catalogues are shown. (upper) SI of DPRI stations, DP.YAKE and DP.SMHZ. Orange stars show earthquakes of which SI is equal or more then '5 Lower'. (lower) SI of felt earthquakes in the JMA catalogue at JMA TOCHIO. For the location of observation sites, see Fig.2.

近い、DP.YAKEおよびDP.SMHZにおける現地有感地震の計測震度と、気象庁の公式震度観測点であるJMA TOCHIOでの公式震度の比較を示す。これによれば、震源域直上近傍での揺れの観測結果は、気象庁の近隣観測点の公式震度よりも、震度階級にして、最大2程度、大きく観測される場合があることがわかった。

3. 群発地震時に地域社会に求められる情報

前述のように、当地域では頻繁に有感地震を伴う群発地震が発生し、また、震源域が飛騨山脈脊梁部であった場合、奥飛騨・上高地地区の現地の揺れは、気象庁から発表される公式震度よりも大きくなる傾向があることが明らかになっている。

当地は日本を代表する山岳観光地であり、多くの観光客・登山客が訪れる地域であることから、地域社会が種々のニーズに応え得る公式の地震情報を必要としていることは群発地震活動が発生するたびに指摘されてきた。しかしながら当地域が急峻な山岳地域であることや、各種法令による規制が厳しい地域であること（自然公園法、文化財保護法、森林法、砂防法等）などから、公的な機関等による観測網整備が不十分であることも相まって、情報提供が充分ではないという問題が常に課題となってきた。

従来から、当地域での群発地震の発生の際には、観測所は地域社会からの求めに応じて地震活動情報の提供を行っており、本稿執筆時点で最新の活動で

ある2020年の地震活動に際しても同様の情報提供を実施してきた。しかしながら、この活動が約20年ぶりの活発な活動であったことや、SNS（Social Networking Service）の発達による玉石混交の情報への迅速な対応等、従来のような方法での情報提供の限界を痛感し、新たな情報提供の方策を模索するに至った。

2020年の地震活動の終息後に、奥飛騨・上高地地域の関係者に、2020年の地震活動時に必要と思われた情報の種類について聞き取りを行ったところ、以下の2点に集約できることがわかった。（1）気象庁の情報が自治体経由で伝達されて来るのに時間を要し、地元関係者ですら、現地で起きている事象を即時に把握するための情報が少ない。そのため、当地は観光業が主要産業であるにもかかわらず、SNS等で流れる玉石混交の情報に対し正確な情報に基づく即応ができず、観光客に誤った印象を与えていることを怖れている。（2）当地域を訪れる人々は大別すると一般の観光客と登山客に分けられ、前者は主に奥飛騨温泉郷や上高地の宿泊施設等に滞在し、後者は常時落石等の危険を伴う急峻な山岳地帯に入域し、山小屋等に滞在する。そのうち、後者の登山者に対しては、地震による落石や雪崩等の発生可能性の判断は、登山者本人のみならず、遭難対策にあたる現地山小屋関係者の生命にも関わる事項となる。そのため、登山者のみならず関係者の行動指針となるような当山域の面的な震度情報等が求められている。

4. 問題点を解決するための方策

ここでは、前述のような問題を解決する手段を考察してみる。あらたな地震情報に求められるのは主として、（1）迅速な情報提供が可能であること、（2）現在の公的な地震情報（公式震度情報）よりも面的な密度が高い情報であること、の2項目である。これらを実現する手段として、災害対策の基本として提唱されることの多い、「公助」に委ねる手段と、「共助・自助」を目指す手段のそれぞれのメリット・デメリットを比較してみると以下ようになる。

まず、公的機関に、必要とされる機器類の設置・運用を任せる案が考えられる。これは、いわば「公助」に委ねる立場で、気象庁や自治体等に公式な震度観測点の増設を依頼することである。この方法の利点は、現地の関係者は機器設置場所の提供等を検討する以外にはほぼ何もしなくてよいと考えられることである。しかしながら、憂慮すべき部分も数点挙げることができる。まず、公式観測点の情報は原則公開を謳われており、たとえば、「上高地・震度5弱」



Photo 1 : Prototype of a simple seismic intensity meter. The upper side of the photo is the main unit including Raspberry Pi, and the lower side is the sensor unit including ADXL355 MEMS accelerometer. The dimensions of the main unit is 19cm x 28cm x 10cm, while that of sensor unit is 10cm x 10cm x 6cm.

のような情報が気象庁等から発信されることになる。このような情報の発信に対しては、風評被害等の懸念から関係者の合意を得ることは容易ではないと考えられる。次に、現状よりも面的な密度が高い情報を得るには、観測機器の点数を多くすることが必要であるが、十分と考えられる点数の公的な観測点を設置することは予算上の理由等から困難が予想される。これに加え、自治体の地震火山防災担当部署や火山防災協議会のような組織には、地震火山活動を解説できる常勤の専門家が配置されていないという構造的な問題があり、迅速かつきめ細かな情報発信には困難が伴うことも予想される。

次に、地域の関係者が独自の情報収集と提供を行う可能性について考える。これは、前節のような「公助」に委ねるのではなく「共助・自助」で可能な方策を検討するものである。「共助・自助」でこのような情報発信を行う際のメリット・デメリットは、「公助」でこれを行う際の裏返しとなる。「共助・自助」の形態では、現地関係者の希望に沿う機器配置や情報の収集発信が可能になるほか、得られた情報は独自の情報なのでその共有範囲を独自に設定することができ、必ずしも公開する必要がないなどのメリットがある。しかしながら、設置機材の調達や保守のコストの問題や、長期にわたる運用をどのように担うかななどの問題がデメリットとして発生する。

検討の結果、現状よりも面的な密度の高い情報の

収集発信が最優先であると考え、「共助・自助」方式で地震情報を発信するシステムの構築を試みることにした。前述のように、この形態では、機材の調達・保守コストに加え、稼働後の長期運用の金銭的・人的コストをどのように調達するかという重要な問題があるため、その部分までを含めて、本研究の検討課題とした。

本報告では、そのうちの最初の課題としての、安価な震度計の製作とその試験観測について述べる。

5. 簡易震度計ネットワーク

前章までの検討から、本研究では、市販品よりは安価な簡易震度計を複数製作して、趣旨に賛同してくださる施設に設置し、奥飛騨・上高地地区の面的な「揺れ」の分布を把握することを可能にし、それらを緩やかにネットワーク的に繋いで、内部の関係者のみが地震時の情報を共有するようなシステムを構築・運用することを目標とする。

5.1 安価な震度計の製作

安価な震度計を実現するための要素技術、すなわち、民生用の安価な、低ノイズ、低ドリフト、低消費電力、デジタルデータ出力などの特徴をもつ3軸加速度センサーや、そのデータを処理可能な小型のシングルボードコンピュータ (SBC)、そのネットワーク接続などの要素技術は、ネット上にも種々の前例があり、検索・参照が可能である。また、気象庁が加速度データから計測震度計算に用いる計算式などは研究者から入手が可能である。我々は、これらの技術を参照し、Analog Devices社の3軸MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 型加速度計であるADXL355型センサ (Analog Devices, 2023) と、小型のSBCであるRaspberry Pi (Raspberry Pi Foundation, 2023) をハードウェアとして採用し、功刀ら (2013) による計測震度計算式を使用して、ネットワーク接続可能な簡易震度計を試作した。

(1) ハードウェアの概要

前述のように、試作する簡易震度計は、ADXL355型MEMS加速度計と、小型SBCであるRaspberry Pi (以下、RasPiと略す) から構成される。このうち、RasPiには、外付け部品として、時刻信号を生成するGPSモジュール、および、電源オフの際に内部時計を保持するためのRTC (Real Time Clock)モジュールを加えた。さらに、情報表示用に、7インチの液晶ディスプレイを装着した。使用したRasPiのモデルは、Pi3



Plate 1 : Example of screen display during normal operation. (1) Realtime seismic intensity, (2) Realtime observed waveform (for the last 3 minutes only), (3) Latest locally felt event information (map and text), and (4) Seismic intensity distribution map including surrounding observation points (only when you have a network connection).



Plate 2 : Example of screen display when a local felt event is detected. (1) Realtime seismic intensity is displayed in large size. After the event waveform is recorded, the seismic intensity is calculated again and displayed at position (3) of Plate 1.

Model B+ およびPi4 Model B の2種類で、部材の購入時期によって異なる。加速度センサ本体である ADXL355と、解析用SBCである Raspberry Pi（以下、RasPiと略す）は、別筐体の実装した。これは、環境によっては加速度センサと解析用SBCを、距離を取った位置に設置する状況を想定したためである。ADXL355は、SPI (Serial Peripheral Interface) を使用してRas Pi と通信するが、SPIの延長モジュールを使用して、センサとSBC間を少なくとも15mまでは延長可

能であることを確認した。なお、ADXL355は、出力フルスケールが $\pm 2g$ 、出力データレートが125Hz として使用している。Photo.1 に簡易震度計の外観を示す。

(2) ソフトウェアの概要

本システムのソフトウェア群は、大別すると、以下の4種類程度のソフトウェアに分類できる。それらは、(1)加速度波形データの収録処理、(2)計測震度の計算処理、(3)一定以上の計測震度値を検出した際の画面上への描画、(4)データサーバを通じた他点の震度計との情報の共有、などである。これらは、C言語、および、Python 言語によって記述されている。

(1) の加速度波形データの収録処理では、ADXL355の加速度データを読み出した後、日本国内の標準的な地震波形フォーマットであるWIN形式（ト部・東田，1992）にフォーマットを変換する。これは、その後の波形データ処理等に、WINシステムのユーティリティ群を使用できるようにするためである。WINフォーマットに変換された後の加速度波形は、WINシステムのユーティリティを用いて、連続波形データ保存、STA/LTAによるトリガ判定とそれに基づくイベント波形データの切り出し、保存等を行う。また、簡易震度計が帯域の広いTCP/IP ネットワークに接続されている場合には、データサーバへの連続データの伝送も可能である。

(2) の計測震度の計算処理については、連続波形データに対しては、1秒ごとに、功刀ら（2013）による計測震度計算式により、計測震度を計算する。また、トリガ判定により収録されたイベント波形データに対しても、同様の式にて計測震度を計算する。

(3)の画面上への描画では、一定の計測震度値（現在は計測震度値0.5以上を設定）を記録した場合には、その値と、地図上の観測点位置に情報を描画した図を作成し、画面に表示する。なお、システムの動作確認をかねて、常時、最新の3分間の加速度波形データのリアルタイム描画も併せて行う（Plate 1 参照）。

(4) では、一定の計測震度値（同じく、現在は0.5以上を設定）を記録した場合には、その情報を防災研究所に設置したデータサーバに伝送する。データサーバ上では、複数観測点からの情報を集約し、地図上に震度情報を描画した図を作成する。各点の簡易震度計は、定期的にデータサーバを確認し、新しい震度情報を描画した図が作成されていると、それをダウンロードして表示する。

Plate 1 および Plate 2 に、運用中の簡易震度計の画面表示の例を示す。



Photo 2 : Status of test observations at the DP.HRJ observation hut. (Upper) The appearance of the observation hut. (Bottom) Inside the observation hut. ADXL355 and JEP-8A3 are bonded to the concrete floor at the lower right.

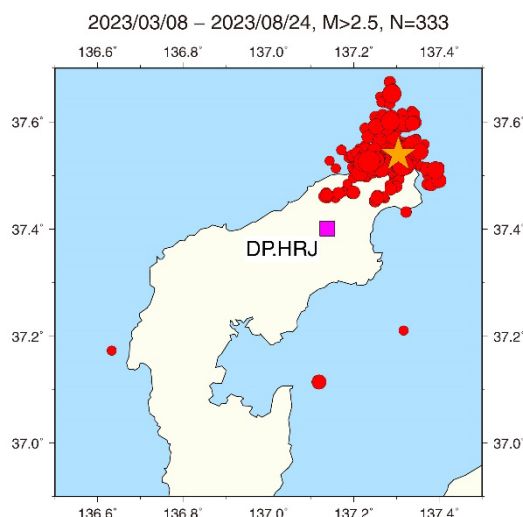


Fig. 4 : Epicenter distribution of $M>2.5$ earthquakes during the test observation at DP.HRJ station. About 300 earthquakes from JMA catalogue are plotted. Solid orange star shows the $M6.5$ earthquake at 14:42 JST on May 5, 2023.

5.2 計測震度値の検証のための試験観測

ADXL355により得られた加速度データに基づく計測震度が妥当であるかを検証するために、従来から使用している高精度の強震計との並行観測を実施した。比較のための並行観測の地域として、2023年初頭時点で活発な群発地震活動が続いていた能登半島先端部を対象地域とし、防災研究所の微小地震の定常観測点である、石川県珠洲市の宝立観測室 (DP.HRJ) において、2023年3月より、ADXL355の簡易震度計とミットヨ製JEP-8A3型強震計を設置して並行観測を実施した (Photo 2)。JEP-8A3型強震計は、白山工業製データロガーLS7000XTに接続して連続データを収録し、簡易震度計のRasPiのストレージに、ADXL355のWINフォーマット波形データと共に収録した。この並行観測により、2023年3月から同年8月中旬までの間に、約180個の現地有感地震を記録することができた。Fig.4に、期間中に周辺地域で発生したマグニチュードが2.5よりも大きな地震の震央分布を示す。震央位置は気象庁カタログを参照した。また、2020年5月5日14時42分に発生し、石川県珠洲市で最大震度6強を観測した地震の本システムによる収録波形をFig.5に示す。これらの有感地震について、簡易震度計で使用している計測震度の計算式を用いて、ADXL355とJEP-8A3の双方の加速度波形データを処理し、双方から計算された計測震度を比較したのがFig.6である。これによれば、両者の計測震度値は、震度1相当から震度5弱相当までの揺れの範囲に対して、双方の計算結果の差はおおよそ0.05以内に収まっており、この震度範囲に限れば、良い一致を見ていることがわかる。

5.3 奥飛騨・上高地地区での試験観測

2022年10月以降、Fig.7に示す7点において、この簡易震度計による試験観測を順次開始している。7点のうち5点は、本報告で開発したディスプレイを持つ簡易震度計を設置した点、残りの2点は既設の無人観測点への設置であることからディスプレイを持たないタイプの簡易震度計の設置点であり、後者の1点には、比較のため、JEP-8A3型強震計も設置してある。

前者5点の観測点は、奥飛騨・上高地の観光施設や山小屋であり、通信のためにそれぞれの施設のWiFi接続を利用させていただいている。前者は、ssh接続等による外部からの接続が困難であるため、httpプロトコルのGET/PUT等の機能を利用したデータ通信機能を実装中である。後者2点では通常のsshプロトコル等による接続を利用して連続データのデータサーバへのリアルタイム伝送も実施している。

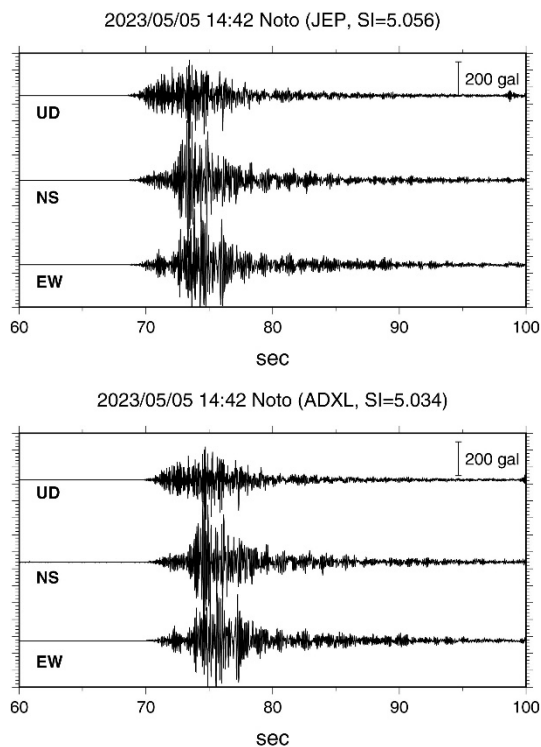


Fig.5 : Waveform of the M6.5 earthquake at 14:42 on 2023/05/05 observed at DP.HRJ. The upper waveform is observed by JEP-8E3 and the lower one by ADXL355.

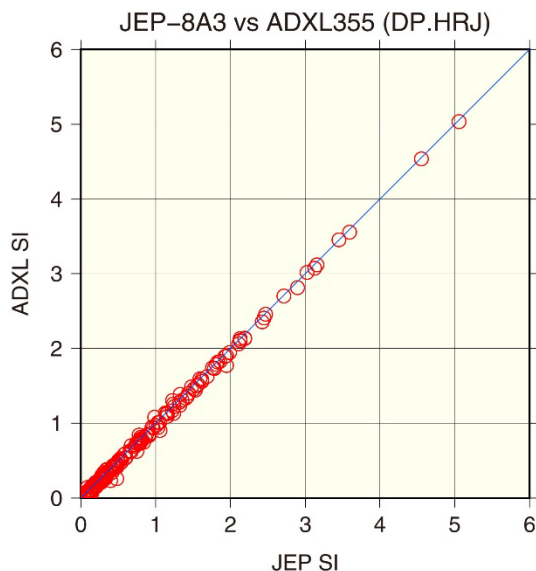


Fig.6 : Comparison of calculated seismic intensity by simultaneous observation of JEP-8A3 and ADXL355 at DP.HRJ.

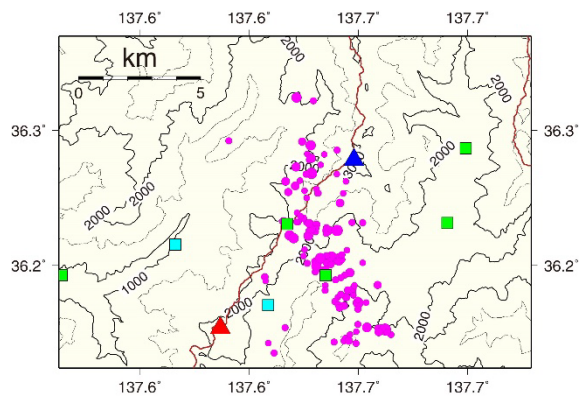


Fig.7 : The installation points of the simple seismic intensity meter as of the end of August, 2023. Green squares indicate manned facilities and light blue indicate unmanned facilities. Solid magenta circles represent the epicenters of the 2020 swarm earthquakes of magnitude 3 or greater. Blue and red triangles represent Mt. Hotaka and Mt. Yake-dake, respectively.

2023年8月末現在、飛騨山脈南部地域の地震活動は静穏で、有感地震は殆ど発生しておらず、充分な試験観測データが取得できる状況ではないが、鋭意、簡易震度計としての機能の充実を図っているところであり、今後、必要とされる改良を加えていく予定である。

9. おわりに

飛騨山脈南部の、奥飛騨・上高地地区で、有感地震を伴う群発地震の発生時に、従来よりもキメ細かい地震の揺れの情報を得るために、MEMS型加速度センサーであるADXL355素子と、小型シングルボードコンピュータであるRaspberry Pi を組み合わせた簡易震度計を製作し、飛騨山脈南部の奥飛騨・上高地地区に展開する計画に着手した。本報告では、その最初の試みとして、安価な簡易震度計の作成を試み、その試験観測を開始した。今後、それらの簡易震度計での情報提供の技術的な充実を図ることに加え、本研究の課題のひとつである、本簡易震度計ネットワークで得られた情報の共有方法や、長期にわたる維持管理の方策等の検討も始めたい。

謝 辞

2023年8月現在、以下の施設に簡易震度計を設置させていただいている。施設名を記して、関係各位に深甚の謝意を表する。飛騨山脈ジオパーク推進協会事務所、上高地インフォメーションセンター、横尾

山荘，西穂山荘，徳沢ロッヂ。

本研究は，「令和4年度京都大学防災研究所共同研究・地域防災実践型（一般）2022P-02 課題名：飛騨山脈震度観測ネットワークの構築と運用の実現可能性の調査研究」として採択されたものである。記して感謝する。

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，No.2，P41.
- 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 (2017a) : 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～。地震2. 69. pp.113-118.
- 大見士朗・井口正人・飯尾能久 (2017b) : 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 (2021a) : 飛騨山脈2020年群発地震。京都大学防災研究所年報。64B. pp.40-47.
- 大見士朗 (2021b) : 飛騨山脈の地震活動，地震ジャーナル，71，pp.50-55.
- 切刀 卓・青井 真・中村洋光・鈴木 亘・森川信之・藤原広行 (2013) : 震度のリアルタイム演算に用いられる近似フィルタの改良。地震2，65，223-230.
- 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.
- Analog Devices (2023) : 製品 / センサーとMEMS / MEMS加速度センサー / ADXL355, [https:// www.analog.com/jp/products/adxl355.html#product-overview](https://www.analog.com/jp/products/adxl355.html#product-overview), 最終参照 2023-08-25.
- Raspberry Pi Foundation (2023) : Raspberry Pi , <https://www.raspberrypi.org/>, 最終参照 2023-08-25.

（論文受理日：2023年8月31日）