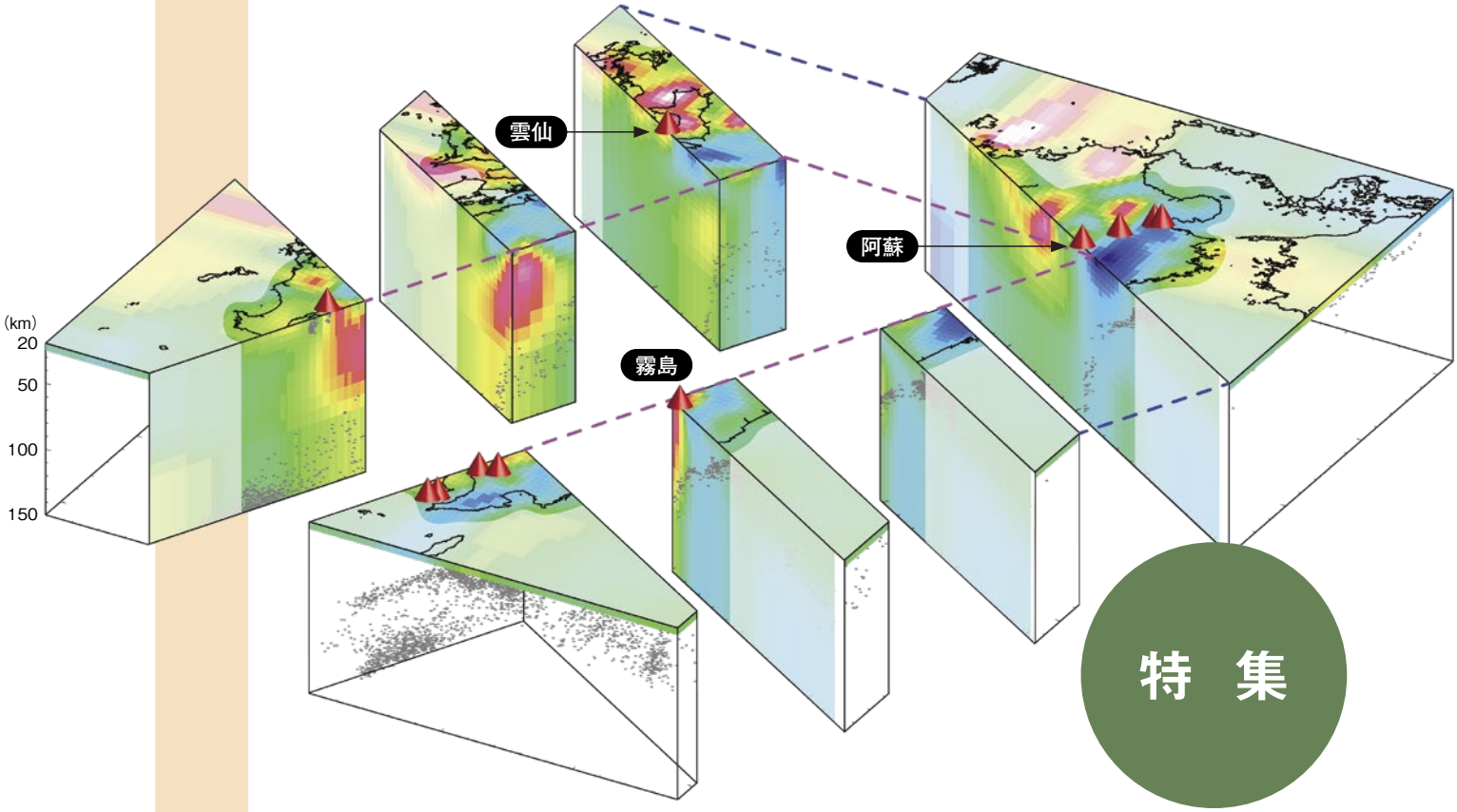
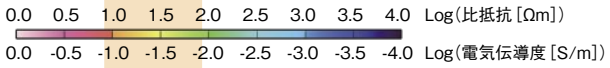
地震研究所
ニュースレター
Plus
No.35
NEWS LETTER Plus
Earthquake Research Institute,
The University of Tokyo

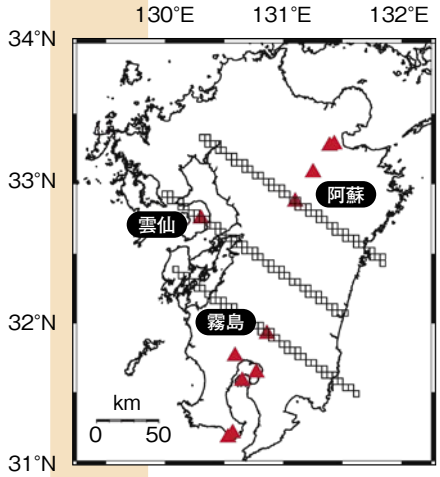


特集

電磁気で地下構造を観る

電磁気探査によって地下の電気の流れやすさ・流れにくさを決定すると、流体の存在や温度の分布など地下の状態を推定できる。地震予知研究センターの上嶋誠教授らは、新しい探査手法や解析手法を開発して地下構造に関するより多くの情報を抽出し、地震活動や火山活動が起きる場所やそのメカニズムを理解しようとしている。





東京大学地震研究所

電磁気で地下構造を観る

取材協力　地震予知研究センター 教授 上嶋 誠　助教 臼井 嘉哉　特任研究員 畑 真紀

電気の流れやすさから地下構造を推定

海洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込む場所に位置している日本列島は、地震や火山の活動が活発である。地震は地下の岩盤がずれることで発生し、火山活動は地下にあるマグマの動きに伴って起こる。どのような場所で地震活動や火山活動が起きているのかを把握し、そのメカニズムを理解するには、地下構造を知ることが不可欠だ。

「私たちは地中の電気の流れやすさ・流れにくさを決定することで、地下構造の情報を得ようとしています」と上嶋誠教授。「地中の電気の流れやすさ・流れにくさは流体の存在や温度の影響を受けて変化するため、その値から地下の物理的・化学的状態を推定できるのです」

電気の流れやすさ・流れにくさを表すとき、電気伝導度あるいは比抵抗が使われる。二つは逆数の関係にあり、ここでは比抵抗で統一する。比抵抗が低く電気が流れやすい領域は流体が多いあるいは温度が高い、比抵抗が高く電気が流れにくい領域は流体が少ないあるいは温度が低いと推定できる。

地下の比抵抗をどのように決定するのか、簡単に説明しよう。代表的な手法の一つがマグネトテルリック（MT）法である。地球の磁場は常に変動している。地球磁場の変動は地中に伝わり、電磁誘導によって起電力が生じ電流が流れる。MT法はその現象を利用したもので、磁場センサーで磁場の変動を測定し、また電場センサーとして地中に埋めた電極の間の電位差を測定する。その二つの値から、地中の比抵抗を計算で求めることができる。地球磁場の変動にはさまざまな周期があり、長周期の変動ほど深くまで伝わる。いろいろな周期の変動を測定すると、浅部から深部までの情報を得ることができる。

比抵抗構造と地震活動の対応

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の後、茨城県北部から福島県南部にかけての地域で地震活動が活発化した。4月11日には福島県浜通りを震源とするマグニチュード7.0の地震（いわき地震）が発生。周辺地域でMT法観測を実施した結果、地震の多くが高比抵抗域で起きていること、いわき地震の震源の直下には低比抵抗域があることが分かった（図1）。2008年の岩手・宮城内陸地震の震源域や2016年の熊本地震震源域などでもMT法観測を行っており、地震活動と比抵抗構造にはおおむね同様の対応が見られる。

上嶋教授は、「高比抵抗域の広がりが分かれば、そこで発生する地震の規模の予測に役立つかもしれない」と言う。高比抵抗域が狭ければ岩盤がずれてもすぐ止まるが、広ければ止まらず地震の規模が大きくなる可能性があるのだ。

震源直下にある低比抵抗域にも注目する。その深さでは岩石が溶けているとは考えにくく、水がたくさんあると解釈できる。「水が多い領域は変形しやすい傾向があります。その上にある高比抵抗域は、水が少なく一緒に変形することができず、ひずみがたまっていきます。その結果、岩盤が割れてずれ、地震が発生するのではないかと考えられます。しかし、まだ“そう解釈できる”という段階です。観測例を増やすことで、水が地震発生に及ぼす影響や、高比抵抗域の広がりと地震の規模の関係を明らかにしようとしています」

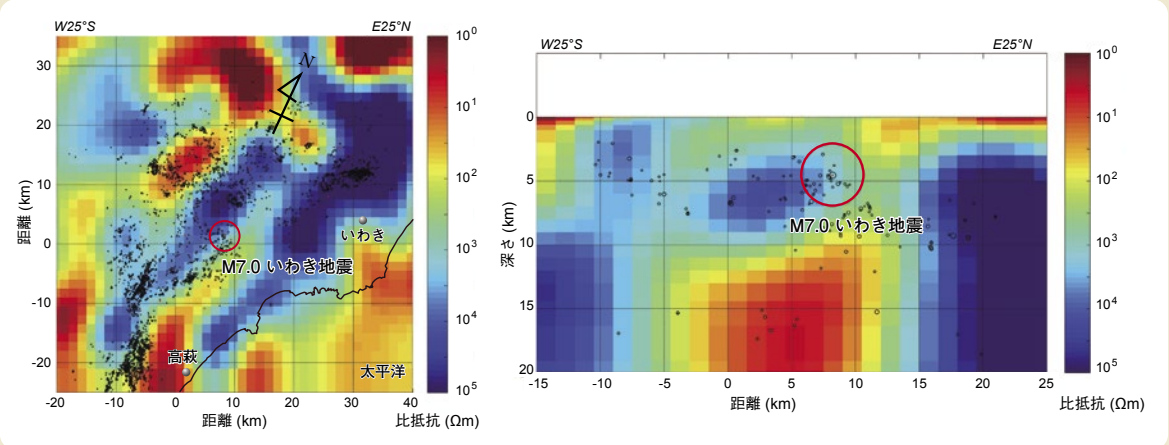
水のつながり方が比抵抗から分かる

新潟―神戸ひずみ集中帯では、MT法に加えてネットワークMT法による観測を行った。ネットワークMT法は、上嶋教授が開発した手法である。「MT法では電位差を計測するために電極をつないだメタル線を張るのですが、その作業が大変なんです。頑張っても、せいぜい数十m。その電極間隔では、人工ノイズの影響などで深さ数十kmを超えると構造推定の信頼性が低下します。もっと深くまで高い信頼性で構造を推定できる方法はないかと考え、電話回線をメタル線として利用することを思い付いたのです」。ネットワークMT法では、電話回線を占有して地中に埋めた電極につなぐ（図2）。電極間隔を数kmから数十kmと長くできるため、広範囲にわたって数十km以深の情報を得ることが可能だ。

図3は、新潟―神戸ひずみ集中帯に位置する牛首断層、跡津川断層、高山・大原断層帯周辺の観測から推定された比抵抗構造である。地震が繰り返し発生している三つの断層は比抵抗が高く、その直下は比抵抗が低い。地震活動と比抵抗構造の対応は、い

図1　茨城県北部～福島県南部における広帯域MT法観測によって得られた比抵抗構造

左は深さ4～5kmでの鳥瞰図。右はいわき地震の震源域を東北東～西南西に切る断面図。多くの地震（丸印）が高比抵抗域（寒色系）で起きていて、いわき地震の震源の直下には低比抵抗域（暖色系）がある。



わき地震や熊本地震の震源域と同様だ。

この地域では、地震波を用いた地下構造探査も行われている。それも併せて解析することで、より詳細な情報の抽出を試みた。その結果を、臼井嘉哉助教が解説する。「地震波と比抵抗はどちらも水の存在に影響を受けますが、両者の構造には違いがありました。比抵抗は水の量だけでなくそのつながり方に強く影響を受けると解釈すると、その違いを説明できます。断層直下にのみ比抵抗が低い領域が局在しているのは、変形により水がつながったまま存在しやすくなっているためで、そこに脆弱な変形域が集中していることが示唆されます」。新潟―神戸ひずみ集中帯の成因やそこでの地震発生メカニズムの理解につながる知見だ。上嶋教授は、「地震学や岩石学などさまざまな情報を集約して解析することで地下構造を詳細に理解することが重要」と指摘する。

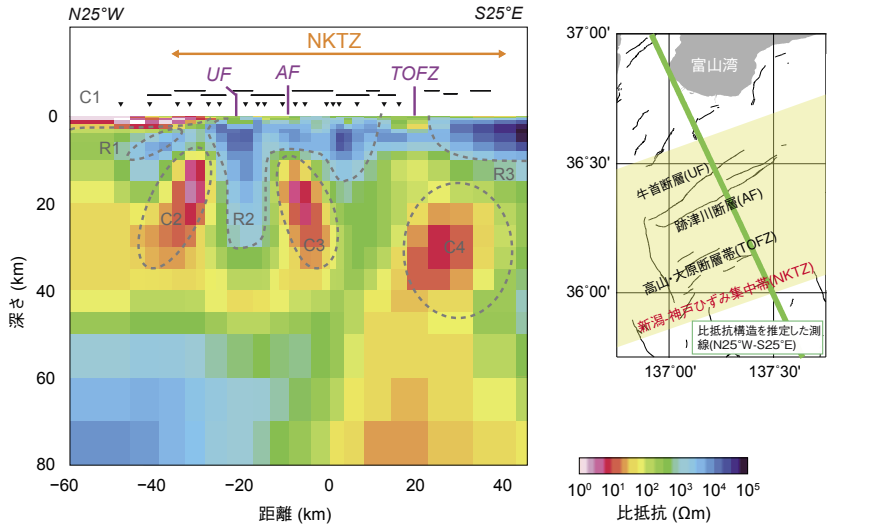
「ネットワークMT法によって深さ数百kmまでの比抵抗構造が得られたことで、水の供給源についても興味深い情報が得られました」と臼井助教。深部から上へ伸びる低比抵抗域がある。これは、断層直下の水がフィリピン海プレートないしはその下にある太平洋プレートから供給されていることを示唆している。「深さ数百kmの地下がどうなっているのか、直接見ることはできません。でも、電磁気という目に見えないものを使うと分かる。電磁気はとても魅力的なツールです」

図2　ネットワークMT法観測の様子

左：地中に埋めた電極をメタル電話線に接続する。中央：各地に設置した電極から伸びる電話回線。メタル電話線を利用することで長基線の地電位差観測が可能となる。右：各地の電極につながった電話線間の電位差を測定する測定器。測定データはインターネット経由でダウンロードできる。写真はニュージーランドにおける試験観測時のもの。

図3　新潟―神戸ひずみ集中帯（NKTZ）における広帯域MT法観測とネットワークMT法観測によって得られた比抵抗構造

牛首断層（UF）、跡津川断層（AF）、高山・大原断層帯（TOFZ）は高比抵抗域（寒色系）で、各断層の直下に低比抵抗域（暖色系）が存在している。この低比抵抗域は、水がつながって存在していることを示している。深部から上へ伸びる低比抵抗域があり、断層直下の水が日本列島の下に沈み込む海洋プレートから供給されていることが示唆される。



九州の火山地域・非火山地域の成因

九州全域でもMT法観測とネットワークMT法観測を行っている（表紙）。九州では北から南へ、九重、阿蘇、霧島、桜島と活動的な火山が並んでいる。比抵抗構造を見ると、南部の火山（霧島）の地下には、上部マントルから地殻までの広域に低比抵抗域が分布する。低比抵抗域はマグマに起因すると考えられ、火山まで連なっている。北部の火山（阿蘇）の地下には沈み込むプレート（スラブ）直上から地殻まで連なるような低比抵抗域は存在せず、マグマの供給経路が異なることが示唆される。九州の火山はどれもフィリピン海プレートの沈み込みに伴って形成された島弧火山であるのに、なぜ火山地下の比抵抗構造が南部と北部で大きく異なるのだろうか。

「沈み込むプレートの形成年代や成り立ちの差異が関係していると考えられています」と畑真紀特任研究員。九州の下に沈み込んでいるフィリピン海プレートは、南部が古く、北部が新しい。年代によって温度やかたさ、含水量が異なるため、沈み込む角度や脱水が起きる深さなどが変わり、その結果、比抵抗構造に違いが表れるのだ。

阿蘇と霧島の間に火山が存在しない非火山地域が存在する。その地下を見ると、南部の火山の地下と同じように、上部マントルに低比抵抗域が広く分布している。しかし、地殻までは広がっていない。なぜこのような違いが生まれ、非火山地域となっているのかは大きな謎である。この謎に迫るために、九州と似たテクトニクス環境にあるニュージーランド北島でネットワークMT法による観測を計画している。比抵抗構造の共通点や相違点を調べることで、沈み込み帯の島弧における火山地域や非火山地域の形成メカニズム、また島弧で起きる地震やスロースリップの発生メカニズムを明らかにすることを目指す。

時間変化を捉え予測へつなげたい

九州と四国の間の豊後水道で2016年から連続観測を行っている。スロースリップといって地震を起こさずにゆっくりとすべる地殻変動現象が、1997年、2003年、2009年と6～7年おきに起きている場所だ。「2018年末から2019年にかけてスロースリップが発生したことが、GPS観測で捉えられています。現在、MT法の観測データを解析中です。平常時から準備過程、発生、発生後と、比抵抗構造が変化する様子が捉えられていれば、スロースリップのメカニズム解明に役立ちます」と上嶋教授。三原山がある伊豆大島でも長期観測を行っている。「スロースリップや地震や火山活動に伴って比抵抗構造が変化することが分かれば、予測に役立つでしょう。それを目指して、国内外のさまざまな場所での観測に一生懸命挑戦しています」

電話回線から光ファイバーへの置き換えが進んでいる。光ファイバーではネットワークMT法ができない。だから上嶋教授は言う。「今やらなければいけないのです」と。

（取材・執筆：鈴木志乃／フォトンクリエイト）

本所永遠の使命とする所は
地震に関する諸現象の科学的研究と
直接又は間接に地震に起因する災害の予防並に
軽減方策の探究とである（寺田寅彦）

東京大学地震研究所
ニュースレターPlus
第35号

発行日　2021年4月16日

発行者
東京大学 地震研究所

編集者
地震研究所 広報アウトリーチ室

制作協力
フォトンクリエイト
（デザイン：酒井デザイン室）

問い合わせ先
〒113-0032
東京都文京区弥生1-1-1
東京大学 地震研究所
広報アウトリーチ室

Eメール
orhp@eri.u-tokyo.ac.jp

ホームページ
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/

TOPICS

広報アウトリーチ室活動報告

●地震研YouTubeチャンネル
新作2本公開

・「旅する海底地震計」
日本周辺で発生する大地震の多くは、海底の下で発生します。これらの地震を研究するには、震源のなるべく近くで観測することが重要であり、そのために海底地震計が使われています。その海底地震計について紹介します。

・「Summer Program in ERI」
地震研では2014年以来、毎夏、科学技術振興機構（JST）主催の日本・アジア青少年サイエンス交流事業「さくらサイエンスプラン」の一環としてサマープログラムを開催しています。これまでに8カ国から66名の学生を受け入れてきました。その様子を紹介します。

●地震研Web「バーチャル地震研」新たな部屋を公開
これまでの「地震計博物館内」に加え、「海底地震実験室」「1号館地下免震装置」を新たに公開しました。今後もご覧いただける部屋を増やしていきます。

●「懇談の場」開催報告
2020年12月11日、オンラインで開催しました。「衛星によって噴火推移をリアルタイムに捉える」について、金子隆之准教授（火山噴火予知研究センター）により話題提供が行われました。

●「サイエンスカフェ」開催報告
地震・火山噴火予知研究協議会との共同企画であるサイエンスカフェの第5回と第6回をオンライン開催しました。

・第5回「地震の基盤観測」
2020年12月4日、話題提供者に小原一成教授（東京大学地震研究所）、ゲストに青井真地震津波火山ネットワークセンター長（防災科学技術研究所）を迎え、基盤観測網構築の経緯、防災や研究に及ぼした大きな影響などが紹介されました。

・第6回「歴史記録を地震の長期予測に役立てる」
2021年2月1日、話題提供者に佐竹健治教授（東京大学地震研究所）、ゲストに杉森玲子准教授（東京大学史料編纂所）を迎え、安政江戸地震や安政東海地震の研究などを例として地震学と歴史学の立場から話題提供が行われました。

●東大オープンキャンパス・一般公開 第2弾
2020年度の東京大学オープンキャンパスおよび地震研一般公開は、新型コロナウイルスの感染拡大に配慮し、オンラインでの開催になりました。2020年9月21日に引き続き、2021年1月6～19日に第2弾を実施し、各部門センターを紹介する「バーチャル研究展示」などオンデマンドコンテンツを配信しました。

●「MOTアニュアル2020 透明な力たち」展に協力
東京都現代美術館で2020年11月14日～2021年2月14日に開催された「MOTアニュアル2020 透明な力たち」に資料貸し出しを通じた協力を行いました。

最近の研究

地震研Webの最近の研究を紹介するコンテンツ「最近の研究」に、新たな論文が追加されています。ぜひご覧ください。

- 2011年新燃岳噴火に伴う調和型微動のモデル
- ダイオプサイド（単斜輝石）の拡散クリープ
- 1000点観測で見えてきた2000年鳥取県西部地震に伴う断層構造の複雑性
- 海洋リソスフェア・アセノスフェアのP波速度構造推定
- 大地震の発生過程
- 日本海における確率論的津波ハザード評価

職員研修会・災害予防賞授賞式 開催報告

令和2年度職員研修会が、2021年2月4～5日に初めてオンラインで開催されました。2日目には例年通り、地震火山災害予防賞の授賞式が行われました。今年度は、地震観測システムの維持・管理と地震波形データの一元的処理による地震火山研究に対する重要な貢献により、東北大学地震・噴火予知研究観測センターの中山貴史技術専門職員に贈られました。

受賞

- 加納靖之准教授がEarth, Planets and Space誌の優秀査読者として選出
- 古文書史料の市民参加型翻刻プラットフォーム「みんなで翻刻」がNPO法人 知的資源イニシアティブのLibrary of the Year 2020大賞を受賞
- 原田智也 元地震研特任助教、佐竹健治教授、古村孝志教授、室谷智子外来研究員の論文が2019年度日本地震工学会論文賞を受賞
- 柴田勇吾（修士課程1年）が2020年度日本地震学会学生優秀発表賞を受賞
- 上田拓（博士課程2年）が2020年度日本地震学会学生優秀発表賞を受賞

INFORMATION

お知らせ

- 2021年5月28日（金）「懇談の場」を、オンラインで開催予定。今号の特集「電磁気で地下構造を観る」について、上嶋誠教授、臼井嘉哉助教、畑真紀特任研究員によるお話です。参加ご希望の方には接続情報をお送りしますので、orhp@eri.u-tokyo.ac.jp宛てに、件名を「懇談の場参加希望」としてEメールをお送りください。お気軽にご参加ください。

人事異動

●2021年4月1日

採用	行竹洋平	火山噴火予知研究センター 准教授
	山田知朗	地震予知研究センター 助教
	小田原順子	研究事務支援室 再雇用職員
転入	村岡俊	事務部 事務長
	高角敦子	庶務チーム・人事担当 主任
	川本あゆみ	庶務チーム・庶務担当 一般職員
	小林加奈	研究支援チーム・共同利用担当 一般職員
	清水麻由	財務チーム・経理担当 一般職員
転出	秋廣耕平	財務チーム 係長
	青野やよい	庶務チーム・人事担当 主任
	坂尾操	研究支援チーム・研究協力担当 主任
	尾崎愛	庶務チーム・庶務担当 一般職員
	沓内絵里子	財務チーム・経理担当 一般職員
昇任	中谷正生	地球計測系研究部門 教授
	安藤美和子	技術部総合観測室 技術専門職員

●2021年3月31日

定年退職	川勝均	海半球観測研究センター 教授
	纐纈一起	災害科学系研究部門 教授
	佐藤比呂志	地震予知研究センター 教授
	森田裕一	観測開発基盤センター 教授
	吉澤邦夫	事務部 事務長
	内田正之	技術部技術開発室 技術専門員
	小田原順子	研究事務支援室 職域限定職員
任期満了	橋間昭徳	地震予知研究センター 特任助教

●2021年2月28日

退職	吉光奈奈	地震火山情報センター 特任助教

●2021年1月30日

退職	池澤賢志	技術部総合観測室 技術職員

●2021年1月16日

昇任	藤田航平	計算地球科学研究センター 准教授