

第19回成果報告会

2007年 - 2025年 富士山測候所で行った活動の成果

講演予稿集



期日：2026年3月22日（日）

会場：早稲田大学西早稲田キャンパス、Zoom

主催：認定NPO法人富士山測候所を活用する会

後援：静岡県

山梨県

一般財団法人 WNI 気象文化創造センター

一般財団法人 新技術振興渡辺記念会

公益財団法人ふじのくに未来財団

第19回成果報告会

講演予稿集

2026年3月22日(日)

早稲田大学西早稲田キャンパス、Zoom

主催：認定NPO法人富士山測候所を活用する会

後援：静岡県

山梨県

一般財団法人WNI気象文化創造センター

一般財団法人 新技術振興渡辺記念会

公益財団法人ふじのくに未来財団

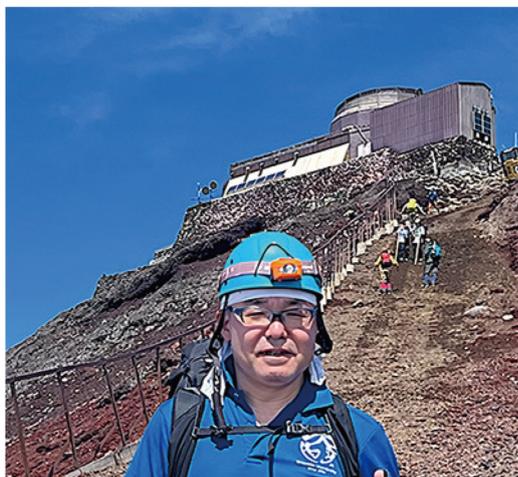
ご挨拶

本日は、第19回富士山成果報告会にご参加いただき、誠にありがとうございます。今年2月に開催されたミラノ・コルティナ冬季オリンピックでは、日本人選手が世界の舞台で躍動し、多くの感動を与えてくれました。厳しい自然条件の中で自らの限界に挑む姿は、私たちが標高3,776mの富士山頂で観測研究に挑み続ける姿とも重なります。極限環境だからこそ得られる知見があり、そこに挑戦する価値があります。

私事ではございますが、2025年度は還暦を迎え、研究室創立20周年という節目の年でした。しかし二回にわたる右目の網膜剥離手術のため、観測開始以来初めて富士山頂に登ることができず、本NPOの皆様や研究室の学生諸君に大きな負担をかけてしまいました。この場を借りて心より感謝申し上げます。

本年度は測候所の測風塔撤去作業の影響もあり、一部観測に制約が生じました。また、悪天候のため計画していた高所医学研究は実施できず、残念な結果となりました。そのような中でも、山頂では二酸化炭素の長期連続観測やオゾン・一酸化炭素など大気微量成分の測定に加え、大気中マイクロプラスチックの観測も継続され、東南アジアからの長距離輸送の可能性が示されました。さらに、地震観測や雷・大気電気観測、噴火堆積物の分析など、地球物理・火山研究も進められ、富士山が大気・雷・地震・火山現象を統合的に捉える最前線拠点であることが改めて示されています。

本日は、その「いま」の富士山で得られた最新成果をぜひお聞きいただきたいと思います。富士山が語る地球(ガイア)の最前線のメッセージを、皆様と共有できれば幸いです。



第19回成果報告会 実行委員長
大河内博(早稲田大学創造理工学部)

第19回成果報告会 プログラム(1/2)

実行委員長： 大河内博(副理事長、早稲田大学)

副実行委員長： 反町篤行(東洋大学)、王一澤(早稲田大学)



予稿集

□ 13:00 ~

■ 開会挨拶： 大河内博実行委員長

■ 理事長挨拶： 三浦和彦 認定NPO法人富士山測候所を活用する会理事長

■ 夏期観測総括： 加藤俊吾 認定NPO法人富士山測候所を活用する会理事・副事務局長

□ 13:10 ~ 14:10 (一人10分, 質疑応答含む)

■ 第一部 大気化学・気象 (座長 反町篤行:東洋大学)

No.	タイトル / 著者氏名(所属)	
会場 (P1)	(タイトル) 富士山の気象 2025年夏 ~ 夏期観測の舞台はどんな状況だったのか? ~	
	皆巳幸也(石川県立大学・NPO), 鴨川仁(静岡県立大学・NPO), 小柳津由依(青山シビルエンジニアリング株式会社), 林真彦(NPO)	
SR01 Zoom (P3)	(タイトル) 富士山頂における二酸化炭素濃度の長期モニタリング ~16年目~	
	寺尾有希夫(国立環境研究所)	
SR02 Zoom (P5)	(タイトル) 富士山での大気微量成分測定	
	加藤俊吾(東京都立大学), 大河内博(早稲田大学), 三浦和彦(研究センター), 和田龍一(帝京科学大学), 皆巳幸也(石川県立大学), 鴨川仁(静岡県立大学)	
SR07 会場 (P6)	(タイトル) 富士山頂に浮遊している粒子の特徴:磁性について	
	反町篤行, 上野千嘉(東洋大学), 米持真一, 村田浩太郎(埼玉県環境科学国際センター), 大河内博(早稲田大学)	
SR04 会場 (P8)	(タイトル) 富士山頂で「雲のタネ」を追う:氷晶核とバイオエアロゾル観測(2025)	
	村田浩太郎(埼玉県環境科学国際センター), 渡辺幸一(富山県立大学), 鴨川仁(静岡県立大学), 大河内博(早稲田大学), 米持真一(埼玉県環境科学国際センター)	
SR06 会場 (P9)	(タイトル) 雲水中のマイクロプラスチックはどこから来るか?	
	王一澤, 廣瀬羽音, 大河内博, 速水洋(早稲田大学), 竹内政樹(徳島大学), 反町篤行(東洋大学), 藤井佑介(大阪公立大学), 勝見尚也(石川県立大学), 梶野瑞王, 足立光司(気象庁気象研究所), 石原康宏, 岩本洋子(広島大学), 小林拓(山梨大学), 加藤俊吾(東京都立大学), 新居田恭弘(パーキンエルマー合同会社)	
TR02 会場 (P10)	(タイトル) 世界遺産をめぐるプラスチック大気汚染:富士山とアンコール遺跡群の意外な関係 大気中マイクロプラスチック観測から見えてきたこと	
	大河内博, 原知菜美, 笹井駿希, 王一澤, 速水洋(早稲田大学), 皆巳幸也(石川県立大学), 竹内政樹(徳島大学), 反町篤行(東洋大学), 小林拓(山梨大学), 加藤俊吾(東京都立大学), 和田龍一(帝京科学大学), 新居田恭弘(パーキンエルマー合同会社)	

※ 認定NPO法人富士山測候所を活用する会 → NPO、富士山環境研究センター → 研究センター と記述しています

休憩 20分 (第二部へ)

第19回成果報告会 プログラム(2/2)

□ 14:30 ~ 15:40

■ 第二部 大気電気・地震・噴火（座長 王一澤:早稲田大学）

SR03 会場 (P11)	(タイトル) 富士山から雷の位置をとらえる — 新しい観測の試み — 鴨川仁, 鈴木智幸(静岡県立大学), 藤原博伸(静岡県立大学、NPO), 安本勝(NPO), 小柳津由依(青山シビルエンジニアリング株式会社)	
SR03-1 会場 (P13)	(タイトル) 「かみなり」による富士山測候所の接地線電流と電位 安本勝(NPO), 鴨川仁(静岡県立大学), 佐々木一哉(弘前大学), 土器屋由紀子(NPO), 向井啓祐(核融合科学研究所), 伊高健治(弘前大学)	
TU01 会場 (P15)	(タイトル) 雷の危険をいち早く知る! 「イマフジ。」プロジェクト 小柳津由依, 柴崎俊明(青山シビルエンジニアリング株式会社)	
SR05 会場 (P17)	(タイトル) 山頂噴火は2,300年前で終わっていなかった? — 山頂と山麓の堆積物の照合から探る噴火史 — 亀谷伸子, 吉本充宏(山梨県富士山科学研究所), 安田敦(東京大学), 渡部将太, 西澤達治(山梨県富士山科学研究所), 金丸龍夫(日本大学), 古川邦之(愛知大学), 藤井敏嗣(山梨県富士山科学研究所)	
SR07 会場 (P18)	(タイトル) 宇宙線を使って富士山の内部構造を探る 居島薫(山梨大学), 永嶺謙忠, 鳥養映子(高エネルギー加速器研究機構)	
TR04 Zoom (P20)	(タイトル) 地磁気観測によりマグマの上昇を捉える — 電磁気学的手法による富士山噴火予測精度高度化の研究 — 長尾年恭(研究センター、静岡県立大学グローバル地域センター、東海大学海洋研究所), 鴨川仁(NPO), 上嶋誠(東京大学地震研究所)	
SR05-2 Zoom (P22)	(タイトル) 富士山山頂で落石は見張れるのか?:地震計で探る登山者の安全 池谷拓馬(山梨県富士山科学研究所、気象庁気象研究所), 鈴木雅博, 西澤達治, 佐藤明夫, 山河和也(山梨県富士山科学研究所), Nataliya Galina(東京大学地震研究所)	

※ 認定NPO法人富士山測候所を活用する会 → NPO、富士山環境研究センター → 研究センター と記述しています

□ 15:40 ~ 16:00

■ 総合討論

□ 16:00

■ 閉会挨拶 : 皆巳幸也(NPO理事・事務局長)

富士山の気象 2025年夏

～ 夏期観測の舞台はどんな状況だったのか？ ～

皆巳 幸也^{1,2}, 鴨川 仁^{1,3}, 小柳津 由依¹, 林 真彦¹

1. 認定NPO法人富士山測候所を活用する会, 2. 石川県立大学, 3. 静岡県立大学,
4. 青山シビルエンジニアリング株式会社

1. はじめに

2004年8月26日以降、富士山頂では気象庁による(無人での)観測が気温や日照時間など一部の項目に限定して継続されています。しかし、風向・風速や降水量など大気科学観測では必須とも言える項目は含まれていません。そのため、認定NPO法人富士山測候所を活用する会(以下「本NPO」)では独自の事業として、これら項目も含めた気象観測を夏期には実施しています。

一方、これまでの観測結果については、例えば風速が過小評価されているのでは、という懸念が指摘されていました。そこで2024年からは、一般財団法人 WNI気象文化創造センター様の助成も受けて山頂の複数地点で同時観測を行い、設置場所による違いを解析することも試んでいます。

本発表では、まず平地を含めた富士山城が昨年とはどんな夏だったのかを見たうえで、では富士山頂はどうだったのか、ご報告します。成果報告会にご参加いただいたみなさまには、本NPOの事業を知っていただくとともに、このあとの発表をお聞きになる際の参考にもしていただければ幸いです。

2. 前年にも増して暑かった2025年夏

表1は、東日本の太平洋側における2025年7～8月の天候の特徴を、それぞれ上・中・下旬に分けて気象庁がまとめたものです。前年(2024年)も非常に暑い夏で、気温が「かなり高い」(統計的に上位10分の1)期間が4回もあったのは同じですが、前年は辛うじて1回だけあった「**平年並み**」が今回は見られず、大変な夏であったことが判ります。その主因は、表のトピックスにあるとおり全期間にわたって太平洋高気圧の勢力が強かったことです。ただ、台風や停滞前線の影響で降水量が「多い」(統計的に上位3分の1)ことはありました。

次に、富士山麓での例として、御殿場AMeDASにおける7月・8月の日降水量を図1に示します。表1で見た広域(東日本

表 1. 東日本の太平洋側における 2025 年 7～8 月の天候(気象庁による)

	7 月			8 月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
トピックス	太平洋高気圧					
	台風5号			停滞前線		
気温	かなり高い	高い	かなり高い	かなり高い	高い	かなり高い
降水量	少ない	多い	かなり少ない	多い	少ない	かなり少ない
日照時間	かなり多い	平年並み	かなり多い	平年並み	多い	かなり多い

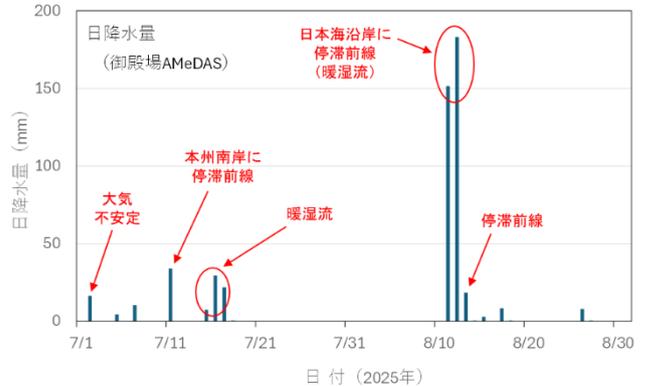


図 1. 御殿場 AMeDAS の日降水量と大雨の要因 (2025 年 7～8 月)

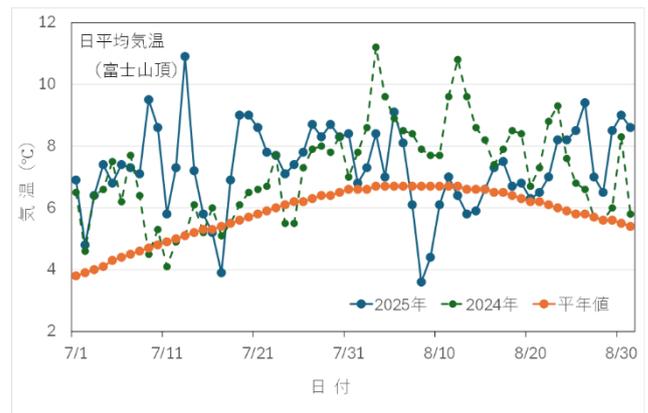


図 2. 富士山頂での日平均気温 (2024/2025 年 7～8 月)

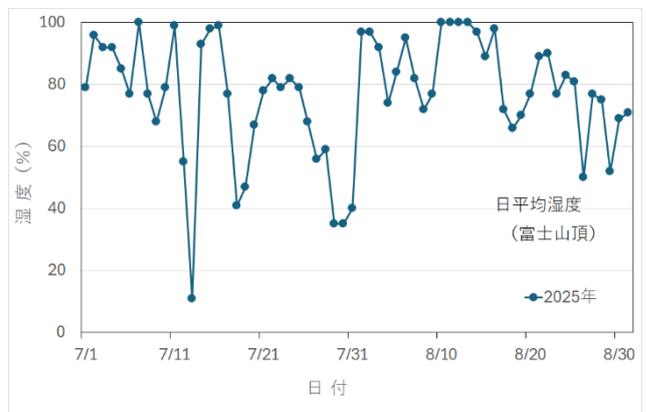


図 3. 富士山頂での日平均湿度 (2025 年 7～8 月)

連絡先：皆巳幸也 (Yukiya MINAMI) yumin@ishikawa-pu.ac.jp

太平洋側)の状況とは異なり、御殿場で大雨となったのは停滞前線へ吹き込む暖かい湿った気流による8月中旬の事例のみでした。

3. そして山頂では

山頂では、気象庁が通年で気圧、気温、露点温度、水蒸気圧、湿度を、また夏期には日照時間を観測しています。その結果のうち、ここでは2025年7～8月に観測された気温(2024年とも比較)と湿度を、いずれも日平均値としてそれぞれ図2と3(前ページ)に示します。

気温は兩年とも総じて高く、平年値を上回る日が殆んどでしたが、2025年は前年に比べ7月は高め、8月は低めで推移しました。また、湿度は前年に比べて変動が激しく、10%近くまで下がる非常にドライな日も見られました。

また本NPOでは、夏期観測中の一部期間ですが山頂で降水量と風向・風速を1分ごとのデータとして観測しています。その観測ではVaisala社の複合気象センサーCVS-WXT530を使用しました。その設置風景を図4に示します。報告会では、そうした独自の観測結果も見ていただく予定です。

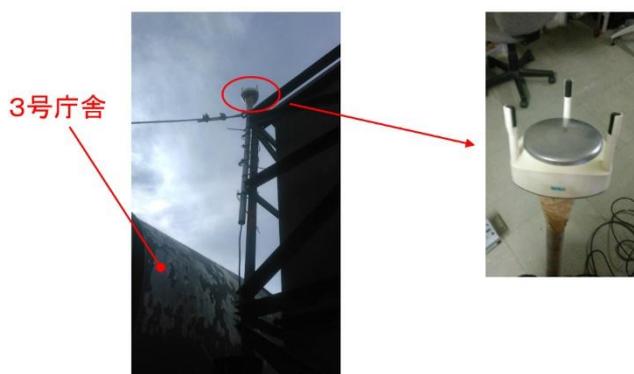


図4. 気象測器の設置風景と
センサー部分の拡大写真

富士山頂における二酸化炭素濃度の長期モニタリング ～16年目～

寺尾有希夫

国立環境研究所 地球システム領域

1. はじめに

東アジアの中緯度帯は世界で最も経済活動が盛んな地域であり、この地域から人為的に排出される温室効果ガスは増加傾向にある。そのため、国立環境研究所は富士山頂で大気中二酸化炭素(CO₂)濃度の高精度での長期観測および大気の定期採取によるCO₂以外の温室効果ガス(メタン(CH₄)や一酸化二窒素(N₂O)など)濃度の長期観測を実施している。東アジアの自由対流圏高度で高精度の温室効果ガス観測を実施することは、東アジア域はもとより全球の炭素循環の解明のために有効である。

我々は1年の大半で商用電力の供給がない旧富士山測候所において大気中CO₂濃度を通年観測するために、バッテリー電源により稼働する省電力型のCO₂濃度観測システムを開発し、2009年から富士山頂での一日1回(22-24時)のCO₂濃度観測を実施している¹⁾。また、2017年からはフラスコサンプリング装置を設置して月1回の大気試料の自動採取を行い、CO₂以外のガス濃度観測も実施している。商用電源が供給される7-8月の2ヶ月間に100個のバッテリーを充電し、9月から翌年6月の越冬期間にはバッテリーに蓄電された電力のみで観測を実施している。本報では、これまでに得られた観測結果を報告する。

2. 2025年夏期観測中の装置メンテナンス

2025年7月8日から7月9日の一泊二日の山頂作業で、CO₂計とフラスコの交換、標準ガス交換や越冬バッテリー充電などを行い、2024年9月から2025年6月までの越冬期間中においてCO₂濃度データ取得とフラスコサンプリングが正常に実施されたことを確認した。2025年8月20日の日帰りの山頂作業では、CO₂計とフラスコサンプリング装置の越冬準備を行なった。

3. 結果

図1に、富士山頂に設置したCO₂濃度観測システム(その場観測)とフラスコサンプリングで観測された2009年7月から2026年9月のCO₂濃度の時系列を示す。CO₂濃度は、夏に低くなり冬に高くなる季節変動をしながら、濃度上昇を続けている。季節変動の主な原因は、植物の光合成によるCO₂吸収が夏期に盛んになるためである。長期上昇トレンドの原因は、人間活動による化石燃料燃焼によって大気中に排出されたCO₂が、半分弱は植物や海洋に吸収されるものの、大気中に蓄積され続けたことによる。その場観測から求めた2024年の富士山頂CO₂濃度の年平均値は425.49 ppmで、2023年の年平均値と比べて3.7 ppm増加したことがわかった。フラスコ

NIES CO₂ at the top of Mt. Fuji

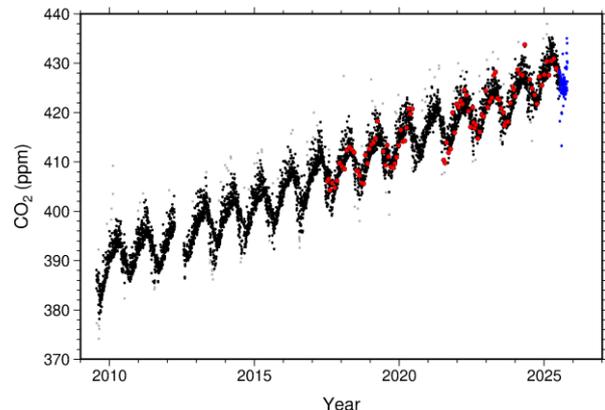


図1 富士山頂で観測されたCO₂濃度の時系列。黒点はその場観測で得られた日平均値、赤丸がフラスコサンプリングで得られた値、青は閉山後に衛星通信で受信した速報値を示す。

サンプリング観測から得られたCO₂濃度は、その場観測から得られたCO₂濃度とよく一致した。このことから、その場観測によるCO₂濃度観測値が正しいこと、そしてフラスコサンプリングは月1回のみでの観測だが大気中のCO₂濃度変動をよく捉えていることが確認された。

図2(上)に、富士山頂に加えて、国立環境研究所地球環境研究センター(NIES/CGER)が実施している北海道・落石岬と沖縄県・波照間島で観測されたCO₂濃度の日平均値を示した。2024年の年平均CO₂濃度は落石岬で426.79 ppm、波照間島で427.18 ppmであり、富士山頂のCO₂濃度より1.3-1.7 ppm高かった。

図2(下)に、各ステーションのCO₂濃度の長期トレンド成分(21ヶ月のカットオフ周期)²⁾から求めた年増加率と、エルニーニョ・南方振動(ENSO)指数の1つであるMultivariate ENSO Index Version 2³⁾を示した。富士山頂、落石岬、波照間島の3ヶ所で観測されたCO₂濃度の年増加率の変動と周期性はよく一致しており、それらは全球のENSO指数の周期性に同調していた。各ステーションのCO₂濃度増加率は、観測開始以降の強いエルニーニョ現象発生時(1997年春～1998年夏、2009年夏～2010年春、2014年春～2016年春)では3～4 ppm yr⁻¹の大きな増加を示したが、強いラニーニャ現象が生じた時期はCO₂濃度の増加率は2 ppm yr⁻¹を下回っていた。しかし、2021年秋～2022/23年冬の強いラニーニャ現象時のCO₂濃度の増加率は2～3 ppm yr⁻¹を維持していた。結果として、

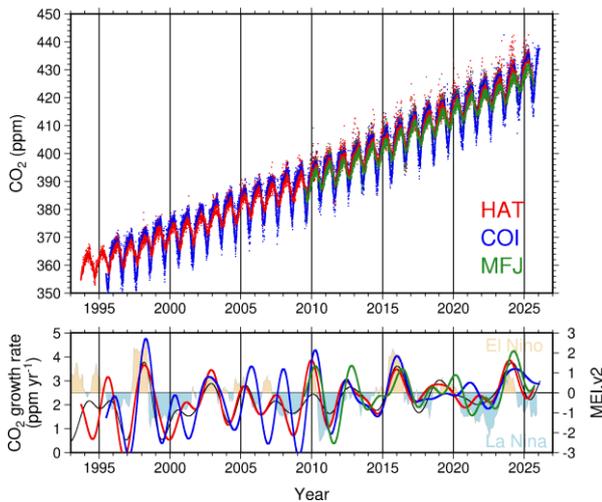


図2 富士山頂 (MFJ) , 落石岬 (COI) , 波照間島 (HAT) で観測された (上) CO₂ 濃度と (下) CO₂ 濃度の年増加率とエルニーニョ・南方振動指数 (MEIv2)

2016年から2023年は、強いエルニーニョ現象が発生していないこともあり、富士山頂、落石岬、波照間島の3ヶ所ともCO₂濃度の増加率が2~3 ppm yr⁻¹の小さな範囲内で変動していた。2023年6月頃から2024年5月頃にかけて比較的強いエルニーニョが発生し、CO₂濃度の増加率は3.5~4 ppm yr⁻¹と高くなったが、2024年6月のラニーニャ発生以降、増加率は減少した。

富士山頂のフラスコサンプリングからは、CO₂、CH₄、CO、N₂O、SF₆濃度の分析に加え、放射性炭素同位体比の分析を行った。

4. おわりに

近年は、パリ協定のグローバルストックテイクなどで温室効果ガス排出量の即時的な検証が求められているため、世界中の温室効果ガス濃度の大气観測データを統合してモデル

解析を行うことで、全球・領域・国スケールの炭素収支解析を行う取り組みが加速している。筆者も、環境研究総合推進費S-22「気候変動緩和に向けた温室効果ガスおよび大気質関連物質の監視に関する総合的研究」などの国内外の研究プロジェクトに参加して、温室効果ガス観測とデータ利活用に取り組んでいる。富士山頂での温室効果ガス観測データは、貴重な東アジアの自由対流圏のデータとして炭素収支解析モデル⁴⁾等での利用が進んでいる。また、富士山は日本の大都市圏と同じ緯度帯にあるため、富士山頂の観測データは大都市圏からの温室効果ガスの排出を検出する際のバックグラウンドサイトとなる (Yang et al., under review)。我々の富士山頂における温室効果ガス濃度の長期観測は、このような国際的、社会的背景とも深く繋がっているため、ご理解とご支援をお願いしたい。

参考文献

- 1) Nomura, S., Mukai, H., Terao, Y., Machida, T., and Nojiri, Y. (2017). Six years of atmospheric CO₂ observations at Mt. Fuji recorded with a battery-powered measurement system, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 667–680.
- 2) Nakazawa, T., Ishizawa, M., Higuchi, K., Trivett, N.B.A. (1997). Two curve fitting methods applied to CO₂ flask data. *Environmetrics*, 8: 197-218.
- 3) Zhang, T. et al. (2019). Towards probabilistic multivariate ENSO monitoring, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 10532–10540.
- 4) Niwa, Y., Tohjima, Y., Terao, Y., et al. (2025). Multi-observational estimation of regional and sectoral emission contributions to the persistent high growth rate of atmospheric CH₄ for 2020–2022, *Atmos. Chem. Phys.*, 25, 6757–6785, <https://doi.org/10.5194/acp-25-6757-2025>.

富士山での大気微量成分測定

加藤俊吾¹, 大河内博², 三浦和彦³, 和田龍一⁴, 皆巳幸也⁵, 鴨川仁⁶

1. 東京都立大学, 2. 早稲田大学, 3. 富士山環境研究センター, 4. 帝京科学大学, 5. 石川県立大学, 6. 静岡県立大学

1. はじめに

標高3,776mの富士山頂では近くの都市などから排出される大気汚染物質の影響を受けにくく、おおそ地上2km以上にある自由対流圏の大気観測をおこなうことができると期待されています。人口密集地域である関東地方に入る地点において遠方から輸送されてくる大気汚染物質がどのような状況であるのかを把握できると考えられます。2008年から汚染大気の指標となる一酸化炭素(CO)、植生や人体に悪影響を及ぼす対流圏のオゾン(O₃)、人為活動及び火山活動から放出される二酸化硫黄(SO₂)の観測を行ってきました。ただし、通常の大気観測機器により観測できる期間は商用電源が利用できる夏季に限られてしまいます。また、測候所の老朽化により大気観測に制限がでてきてしまっているのが現状です。

このような問題もあるため、2020年から富士山の中腹にある太郎坊(標高1,290m)において、大気観測を開始しました。太郎坊では通年観測を行うことができ、夏期には山頂と山腹で同時に観測結果を得て異なる高度での比較ができるようになります。

2. 観測方法

富士山頂では2008年から、太郎坊では2020年8月からCO、O₃、SO₂の連続測定を行っています。CO、O₃、SO₂はそれぞれ赤外線吸収、紫外線吸収、紫外線蛍光を利用した測定装置で観測をしています。観測期間中はインターネット経由で制御用パソコンに接続して計測が正常に行われているか確認をしています。

3. 2025年夏季の山頂のCO、O₃の濃度変動

図1に2025年夏季に観測されたCO、O₃の濃度変動を示します。汚染大気の指標となるCOが数日間かけて高濃度になる期間は遠く離れた汚染大気排出源から長距離輸送されていると考えられます。一方、いくつかの短期間で高濃度となる期間がみられています(赤矢印)。これは、2025年の夏に老朽化のため測候所の測風塔の撤去作業がおこなわれ発電機が使用されたため、その影響を受けてしまったためです。作業は日中に行われるため発電機稼働している日の日中のデータはコンタミネーションがあるので、清浄な山頂大気の観測データを見たい場合には除外する必要があります。一方、O₃については発電機からの汚染大気の影響は明確にはうけていないようです。O₃が低濃度になる期間は空気がどこから運ばれてきたかを計算できるバックワードトラジェクトリと照らしあ

わせると、清浄な太平洋から茎が輸送されてきている期間と対応していました(青矢印)。また、オゾンがとても高くなったときは成層圏の影響を受けたことが考えられます(黄矢印)。

4. 山頂でのCO、O₃の長期変動

富士山頂で観測している夏季のCO、O₃平均濃度を図2に示します。COは全体としては一年あたり1.4ppb減少しており、とくに2018年以降減少している様子が分かります。COは汚染大気の指標となるため、近年中国などから排出される大気汚染物質が減少していることを反映していると考えられます。一方、大気汚染物質から化学反応で生成する対流圏O₃はとくに濃度減少をする傾向はみられていません。対流圏O₃の削減が簡単にはいかないことがこの観測結果からわかります。

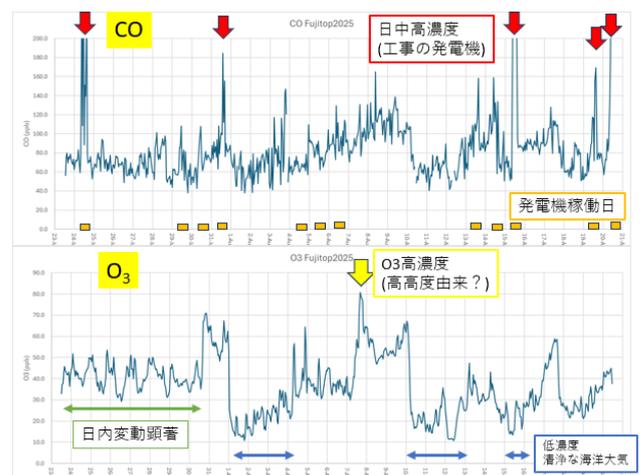


図1 2025年夏期の山頂のCO、O₃の濃度変動

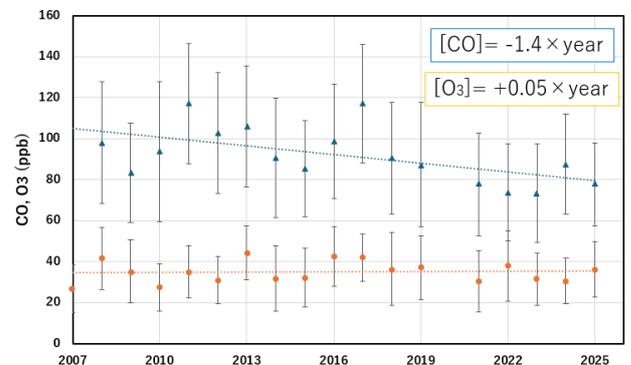


図3 2007-2025年の夏期山頂のCO、O₃濃度推移

富士山頂に浮遊している粒子の特徴：磁性について

反町 篤行¹, 上野 千嘉¹, 米持 真一², 村田 浩太郎², 大河内 博³

1. 東洋大学, 2. 埼玉県環境科学国際センター, 3. 早稲田大学

1. はじめに

大気エアロゾルについて、粗大粒子状物質は土壤粒子、海塩、花粉、自動車のタイヤゴムなどを含む一方、微小粒子状物質は重金属元素や窒素酸化物から酸化生成された硝酸塩などから主に構成されています。環境基準では微小粒子状物質として「PM_{2.5}」という言葉が使われますが、PMとは「Particulate Matter」の略で、PM_{2.5}とは空気力学径2.5μmの粒子を50%除去する分級装置を通過した粒子状物質として定義されています。ここで、この空気力学径とは大気エアロゾルの形状が鎖状、塊状、針状、薄片状などの不整形粒子であるため物理的な換算径です。

大気エアロゾル粒子には磁性を持つものが存在します。磁性とは物質が磁場に対して応答を示す性質であり、大きく分けて常磁性、強磁性、反磁性があります。磁性をもつ粒子（以降、磁性粒子）は主に強磁性や常磁性を示す物質で構成されており、代表的なものとしてマグネタイト(Fe₃O₄)やヘマタイト(Fe₂O₃)などがあります。磁性エアロゾル粒子の発生は、火山活動や風化過程により生成される自然起源、交通機関の摩耗粉塵、工業活動、燃焼過程などにより生成される人為起源などがあります。近年、磁性粒子が人体に入り、細胞レベルでの酸化ストレスを引き起こすことが指摘されています¹⁾。

自由対流圏である富士山頂には周辺に大規模な人為発生源を持たないことから、長距離輸送された大気エアロゾルを観測できる場所として知られています。ここで、PM₁にはディーゼル排気粒子や二次生成粒子などの人為起源粒子が偏在している可能性があります。そのため、富士山頂においてPM₁の磁気特性を測定することにより、越境大気汚染を評価できる可能性があります。そこで本研究では、富士山頂においてPM₁の磁気特性を調査することにより越境大気汚染の可能性を検討することを目的とします。

2. 実験方法

本研究では富士山頂の特別地域気象観測所において観測を実施しました。観測は2024年7月23日から8月23日、2025年7月30日から8月21日に実施しました。PM₁試料はサイクロンを用いたシーケンシャルエアサンプラーにより大気エアロゾルから分級され、2024年では5日間ごとに(n=6)、2025年では3日半ごとに(n=6)捕集されました。このサンプラーはフィルター自動交換機能を備え、長期間の無人運転が可能です。また、PM₁の捕集ではすべて直径47mmの

石英繊維フィルターを使用しました。フィルターの質量は捕集前後においてマイクロ天秤を用いて1μgの精度で測定しました。

捕集したPM₁試料の磁気特性は超伝導量子干渉計(SQUID磁力計)を用いて評価されました。この装置は液体ヘリウムにより冷却された超伝導電磁石を用いて、試料中の極めて微小な磁気応答の高感度測定が可能です。測定では磁場を-300~300 mTで印加し、スキャン時間1秒、1測定あたり10回のスキャン条件で行いました。試料の前処理では、捕集フィルターを直径13 mmのポンチでくり抜き、アルミホイルで約5 mm四方に包んだ後、プラスチック製ストローに封入しました。PM₁試料の正味の磁気特性を評価するため、測定時に使用したアルミホイルおよびフィルターに由来する磁気応答を補正しました。

磁気特性の評価には、磁化と印加磁場の関係を示す磁気ヒステリシス曲線(磁気履歴曲線)を用いました。磁気ヒステリシス曲線から得られる飽和磁化(Ms)、残留磁化(Mrs)、保磁力(Hc)、残留保持力(Hcr)のヒステリシスパラメータは、試料中に含まれる磁性鉱物の種類や粒径を反映しています。磁化を担っている磁性鉱物の粒径を推定するため、Dayプロットと呼ばれるダイヤグラムが用いられます²⁾。これはHcr/Hcを横軸に、Mrs/Msを縦軸とするグラフを作成し、試料がどの範囲にプロットされるかによって磁性粒子の磁区状態と構造を推定します(表1)。

表 1. 磁性粒子の磁区状態と構造

超常磁性粒子 (SP)	・粒子が非常に小さく、外部磁場なしでは磁化を保持できない ・残留磁化はほぼゼロ、外部磁場でのみ磁化される
単磁区粒子 (SD)	・一つの粒子内に1つの磁区により構成されている粒子 ・安定な残留磁化をもち、保持力が大きい
多磁区粒子 (MD)	・一つの粒子が複数の磁区に分割されている粒子 ・保持力が小さく、磁化が不安定(反転しやすい)
擬単磁区粒子 (PSD)	・2磁区構造をもち、SDとMDの中間サイズの粒子 ・SDほど残留磁化は大きくないが、MDより磁化安定性がある

粒径：SP < SD < PSD < MD

3. 結果と考察

2024年と2025年に富士山頂で捕集されたPM₁試料の質量濃度の平均値 (± 標準偏差) はそれぞれ4.1 (± 1.6) μg m⁻³ (n=6) と4.5 (± 1.3) μg m⁻³ (n=5) であり、有意な差は確認されませんでした (p>0.6)。

2025年において富士山頂において採取したPM₁試料における磁気ヒステリシス曲線の一例を図1に示します。2024年および2025年の観測における多くのPM₁試料は図1とほぼ同様な磁気ヒステリシス曲線でしたが、一部異なる傾向を示しました。これは磁性粒子の磁区状態や構造、量に違いがある可能性が推察されました。

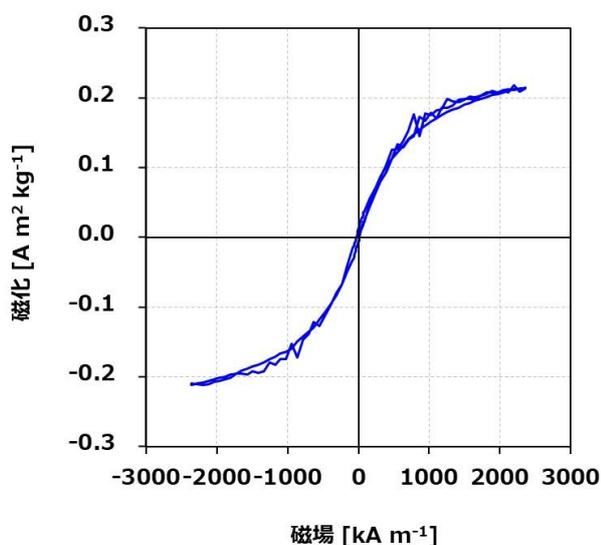


図1. 2025年の富士山頂におけるPM₁試料の磁気ヒステリシス曲線の例

図1から算出した飽和磁化 (Ms), 残留磁化 (Mrs), 保磁力 (Hc), 残留保持力 (Hcr) のヒステリシスパラメータを表2にまとめます。

表2. 富士山頂でのPM₁試料の各ヒステリシスパラメータの平均値 (± 標準偏差)

観測年	Ms	Mrs	Hc	Hcr
[n]	[A m ² kg ⁻¹]	[A m ² kg ⁻¹]	[kA m ⁻¹]	[kA m ⁻¹]
2024	1.8×10 ⁻¹	2.8×10 ⁻²	-7.3×10 ⁴	-1.9×10 ⁵
(6)	(1.6×10 ⁻¹)	(2.8×10 ⁻²)	(1.8×10 ⁴)	(6.3×10 ⁴)
2025	1.2×10 ⁻¹	1.1×10 ⁻²	-4.4×10 ⁴	-1.0×10 ⁵
(5)	(1.0×10 ⁻¹)	(1.2×10 ⁻²)	(2.0×10 ⁴)	(5.1×10 ⁴)

各ヒステリシスパラメータの変動は、試料中に含まれる磁性鉱物の種類や粒径などの違いのためです。表2に示したヒステリシスパラメータ (Ms, Mrs, Hc, Hcr) から、磁性鉱物の粒径を推定するためDayプロット解析を行いました (図2)。Mrs/MsおよびHcr/Hcの平均値 (± 標準偏差) はそれぞれ2024年の観測では0.17 (± 0.08) および2.6 (± 0.9) (n=6), 2025年の観

測では0.11 (± 0.08) および2.6 (± 1.2) (n=5) でありました。2024年と2025年の観測におけるMrs/MsおよびHcr/Hcはそれぞれ有意な差は確認されませんでした (p>0.2およびp>0.9)。図2から、2024年と2025年の観測でのPM₁試料はSD-MD曲線付近に分布しているため、捕集された試料の磁性粒子群の基本的な磁区状態と構成は類似している可能性が推察されました。曲線上での位置の違いは、磁性鉱物の酸化状態や磁性・非磁性成分の混合比、粒子間相互作用の違いなど、同一粒子群における磁気状態の変化を反映している可能性があります³⁾。

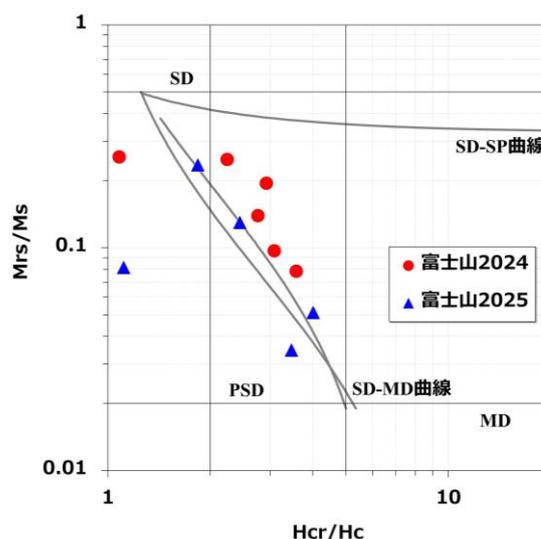


図2. 富士山頂におけるPM₁試料のヒステリシスパラメータによるDayプロット解析結果

4. 結論

富士山頂における観測結果から、観測期間のPM₁試料に強磁性成分が含まれていました。また、各PM₁試料のヒステリシスパラメータの違いは磁性鉱物の種類や粒径などの違いを反映している可能性がありました。したがって、大気エアロゾルの磁気測定が自由対流圏における大気エアロゾルの特性を捉える有効な手法であることが示されました。今後、長距離輸送や他の物理・化学分析と組み合わせることにより長距離輸送過程や発生源の解明が期待されます。

参考文献

- 1) Maher et al., Journal of Alzheimer's Disease (2019)
- 2) Day et al., Physics of the Earth and Planetary Interiors (1977)
- 3) Gorka et al., Air Quality, Atmosphere and Health (2016)

謝辞

本研究は認定NPO法人富士山測候所を活用する会の支援を受けて実施されました。

富士山頂で「雲のタネ」を追う:氷晶核とバイオエアロゾル観測(2025)

村田浩太郎¹, 渡辺幸一², 鴨川仁³, 大河内博⁴, 米持真一¹

1.埼玉県環境科学国際センター, 2.富山県立大学, 3.静岡県立大学, 4.早稲田大学

1. はじめに

上空の雲の中で氷の粒ができる時、きっかけ(タネ)になる微粒子が存在する。こうした“雲のタネ”のうち、氷を作り出す引き金になる粒子を「氷晶核(ひょうしょうかく)」と呼ぶ。氷晶核(INPs:ice-nucleating particles)には鉱物粒子をはじめさまざまな種類があるが、特に微生物やその破片などの「バイオエアロゾル」は、比較的あたかい温度でも氷を作り出せる場合があり、降水(雨や雪)の始まりに関わる重要な要素として注目されている。

富士山頂は、平時は地表の影響を受けにくい上空(自由対流圏)に位置する。一方、夏の日中はふもとの空気が斜面をのぼる風(谷風)によって持ち上げられ、地表起源の粒子が山頂付近まで運ばれやすくなる。このため富士山頂は、地表にいる微生物が上空へ供給される“注入口”として働く可能性がある。

筆者らはこれまで、富士山の地表堆積物が高い氷晶核能力を持つこと、また観測によっては特定の細菌群の増加と氷晶核の増加が同時に起きている可能性を示してきた。そこで本年度は、この「微生物と氷晶核のリンク」をより確かめるため、微生物由来粒子を蛍光で検知する装置BioTrakを用いた連続観測と、フィルター試料の実験室解析を組み合わせた同時観測を行った。なお、日中は工事の影響を避けにくかったため、自由対流圏の背景情報も含むことが期待される夜間に重点を置き、微生物粒子の変化と氷晶核の変化が同じ時間帯に対応して現れるかを検証することを目的とした。

2. 方法

2025年7月10日から8月21日にかけて、20時から翌日4時(夜間)に、富士山測候所1号庁舎2階において大気中浮遊粒子(サイズ分級なし)のフィルター捕集を実施した。サイズ分級を行わないことで、まず山頂に届いている粒子の全体像を捉える設計とした。同時に、レーザー誘起蛍光法を用いたBioTrak Model 9510-BD(TSI Inc.)により、2時間ごとの大気中バイオエアロゾル数濃度を測定した。BioTrakはその場で連続的な変化を追える一方、フィルター試料は後解析によって氷晶核数や微生物DNA量を直接評価できるため、両者を組み合わせることで「いつ増えたか(時間変化)」と「何が増えたか(性質・手がかり)」を補完的に捉えることを狙った。

フィルター試料は実験室へ持ち帰り、2分割した。半分は筆者が製作した液滴凍結法による氷晶核計測システム

(SNICS)を用いて、温度を下げながら液滴が凍る割合を測定し、氷晶核数濃度を算出した。残り半分はDNAを抽出し、16S rRNAおよび18S rRNAを標的とするデジタルPCRにより、細菌・真菌の絶対量(コピー数)を定量した。これにより、夜間に観測されたバイオエアロゾル数濃度の変動が、微生物量の増減や氷晶核数濃度の変化と対応するかどうかを検証した。

3. 結果と考察

停電によるBioTrak欠測(2025年7月22~30日, 8月2~8日)を除き、前半・後半の観測期間について、蛍光粒子(>1 μm , >3 μm)で見積もったバイオエアロゾル数濃度と、 -20°C で働く氷晶核の濃度を図1に示す。バイオエアロゾルは日中(図中グレー)に増加する日変動を示し、夏季の日中に谷風で粒子が山頂付近まで運ばれる可能性が再確認された。さらに、氷晶核濃度もバイオエアロゾル濃度とおおよそ同じタイミングで増減する傾向が見られた。一般に -20°C 付近で働く氷晶核は鉱物粒子が主要とされるが、本結果は富士山頂において生物由来粒子が一部関与する可能性を示す。今後、解析/観測を継続し、デジタルPCRによる細菌・真菌の定量結果も含めて検証する。

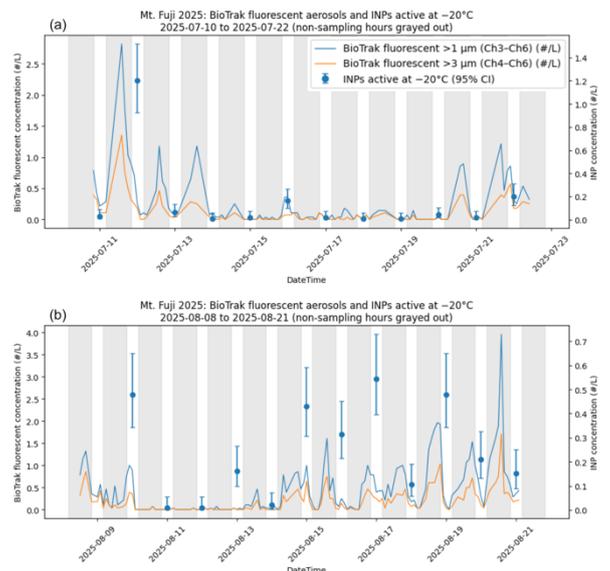


図1 富士山頂におけるバイオエアロゾル(蛍光粒子)と -20°C の氷晶核の時間変化。エラーバーは95%信頼区間を示す。灰色で網掛けした時間帯はサンプリング時間外である。

雲水中のマイクロプラスチックはどこから来るか？

○王一澤¹, 廣瀬羽音¹, 大河内博¹, 速水洋¹, 竹内政樹², 反町篤行³, 藤井佑介⁴, 勝見尚也⁵, 梶野瑞王⁶, 足立光司⁶, 石原康宏⁷, 岩本洋子⁷, 小林拓⁸, 加藤俊吾⁹, 新居田恭弘¹⁰

1. 早稲田大学, 2. 徳島大学, 3. 東洋大学, 4. 大阪公立大, 5. 石川県立大学, 6. 気象研究所, 7. 広島大学, 8. 山梨大学, 9. 東京都立大学, 10. パーキンエルマージャパン合同会社

はじめに

大気中マイクロプラスチック(AMPs)に関する関心が高まっていますが、その実態はよく分かっていません。プラスチックは疎水性ですが、紫外線に長時間さらされて表面が劣化すると吸湿性が増加します。上空では紫外線が強いので劣化速度が速く、AMPsが雲をつくる「種」となって、激しい雨を引き起こす可能性があります。本研究では、自由対流圏に位置する富士山頂、大気境界層の富士山南東麓と丹沢大山山頂北西部で採取した雲水中AMPs (Cloud-incorporated AMPs: CAMPs)の実態を調べました。

雲の中のマイクロプラスチックはどうやって調べるの？

富士山頂と丹沢大山では受動雲水採取装置、富士山南東麓では一括型自動雲水採取装置を使用し、採取ホルダーに1.0μm PTFE親水性メンブレンフィルターを装着してCAMPsを捕集しました。このフィルターを研究室に持ち帰り、前処理(有機物除去、鉱物粒子除去)を行ってから、顕微赤外分光(μFTIR-ATRイメージング)法でCAMPsの個数濃度、形状、材質、幾何学径(Feret径)を計測しました。

CAMPsの正体とは？

富士山頂、富士山南東麓および丹沢大山で採取された雲水から、ポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)、ポリスチレン(PS)、ポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリメチルメタクリレート(PMMA)、エチレン-酢酸ビニル共重合樹脂(EVA)、アクリロニトリル・スチレン(AS)、ポリアミド6(PA)、ポリ酢酸ビニル(PVAc)ポリカーボネート(PC)、エチレン・プロピレン共重合体またはポリエチレン・ポリプロピレンアロイ(PE/PP)、ポリウレタン(PUR)、シリコーン樹脂(SI)、エポキシ樹脂(EP)、ジアリルフタレート樹脂(PDAP)、ゴム(Rubber)の16種類のポリマーが検出されました(図1)。3地点ともに親水性ポリマーであるPETが共通して高い割合を占めていました。富士山頂ではポリマーの種類が最も多く、富士山麓と丹沢大山ではポリマーの種類は類似していました。すべての地点で破片状が多く見られました。雲水内濃度は富士山頂で最も高く(45.0 MP/L)、次いで丹沢大山(31.6 MP/L)、富士山麓(16.5 MP/L)の順でした。

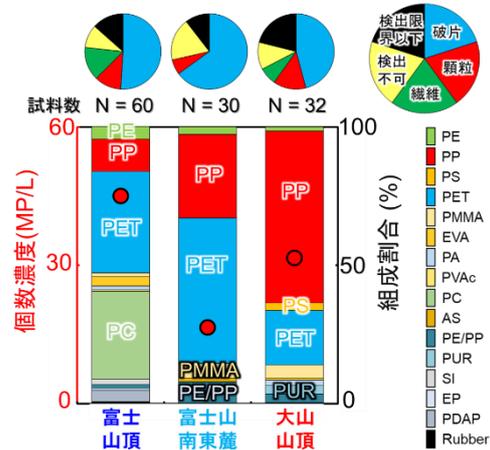


図1. 雲水中で検出されたマイクロプラスチック

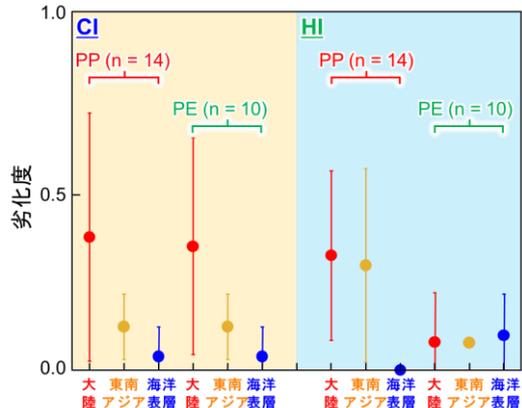


図2 富士山頂において気塊の起源の違いによるPP および PE 粒子の劣化度の比較

プラスチックの劣化具合は輸送経路で異なる？

図2には、富士山頂において空気の起源の違いによるPPおよびPE粒子の劣化度を比較しています。PPとPEの劣化、アジア大陸由来>東南アジア>海洋の順で進んでいました。この結果は、マイクロプラスチックが大気中を長距離運ばれる過程で、紫外線などの影響により表面改質が進み、親水性が増大していることを示しています。雲形成過程に影響していることが考えられます。

謝辞

環境研究総合推進費 (JPMEERF20215003, JPMEERF 20245004), 科研費JSPS 24K23927により行いました。

世界遺産をめぐるプラスチック大気汚染: 富士山とアンコール遺跡群の意外な関係 ～大気中マイクロプラスチック観測から見てきたこと～

○大河内博¹, 原知菜美¹, 笹井駿希¹, 王一澤¹, 速水洋¹, 皆巳幸也², 竹内政樹³, 反町篤行⁴, 小林拓⁵, 加藤俊吾⁶, 和田龍一⁷, 新居田恭弘⁸

1.早稲田大学, 2.石川県立大学, 3.徳島大学, 4.東洋大学, 5.山梨大学, 6.東京都立大学, 7.帝京科学大学, 8.パーキンエルマー合同会社

富士山頂は地球規模汚染を調べる

富士山は2013年に世界文化遺産に登録された。地理的に日本列島の中央部にそびえ立つ孤立峰であり、国内最高峰です。高度2,000m以上の大気層は自由対流圏と呼ばれ、富士山頂は自由対流圏に位置しています。日本上空の自由対流圏は偏西風が吹いており、大陸から放出された大気汚染物質が運ばれます。夏季には、南より季節風により、綺麗な海洋大気、東南アジアから汚染大気が運ばれてきます。

アンコール遺跡周辺はマイクロプラスチック発生源？

アンコール遺跡群は、カンボジア北西部のシェムリアップ北側にあるクメール王朝時代の遺跡群です。1992年に世界文化遺産に登録された後、国際協調の枠組みの中で修復・保存活動が進められてきました。最近では、観光客増大に伴う大型観光バスやトゥクトゥクからの排ガスによる大気汚染の影響が懸念されています。遺跡に向かう道路にはプラスチックゴミが散乱しています。

カンボジアを含む東南アジアは、海洋プラスチックゴミの地球規模汚染源であることが知られています。また、高温多湿で紫外線が強いので、プラスチックゴミの微細化が進み、大気中マイクロプラスチックの発生源になっている可能性があります。2019年から大気中マイクロプラスチック観測をシェムリアップで行っていますが、日本国内に比べて数倍から10倍程度高いことが分かってきました。



図1 東南アジアはマイクロプラスチックの地球規模汚染源

富士山頂の大気中マイクロプラスチックはどこから来る？

図2 には、2023年と2024年の夏期に富士山頂で採取したPM_{2.5}に含まれる大気中マイクロプラスチックの個数濃度と組成を示しています。富士山頂に運ばれてくる空気塊も示しています。なお、マイクロプラスチックの分析は時間がかかるので、2025年に採取した試料は分析中です。

2023年の平均濃度は0.021個/m³ (0 - 0.052 個/m³), 2024年の平均濃度は0.002個/m³ (0 - 0.004 個/m³)でした。同時期の新宿では平均濃度0.22個/m³なので、富士山頂では国内都市大気のみ1/10～1/100であることがわかります。ただし、2023年前半は東南アジアから地上空気が運ばれてきており、大気中マイクロプラスチック濃度が高いことがわかります。2023年後半と2024年は自由対流圏と海洋大気境界層からの空気塊であるため低濃度でした。ポリマー組成は、ポリエチレン(PE), ポリプロピレン(PP), ポリエチレンテレフタレート(PET)が主成分であり、形状は破片状が主成分でした。

一見無関係にみえる富士山とアンコール遺跡群も大気で結び付いています。富士山頂での大気観測は、大気汚染物質が国境を越えて地球表層を循環し、遠隔地に影響することを示しています。アンコール遺跡群を含めた東南アジアで大気汚染から守る取り組みは、地球規模の大気環境保全にも直結するのです。

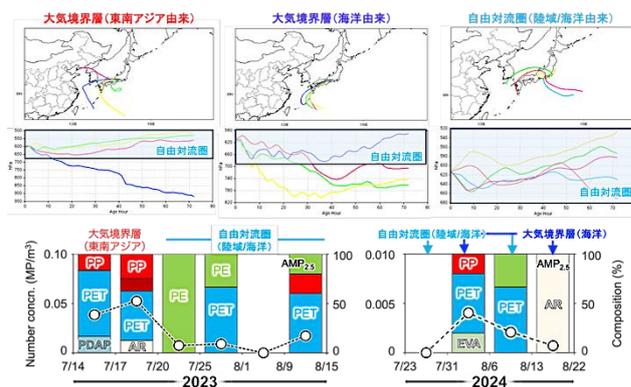


図2 富士山頂で検出された大気中マイクロプラスチック

謝辞

この研究は環境研究総合推進費「大気中マイクロ/ナノプラスチックの海洋陸域相互作用と劣化機構」(JPMEERF 20245004)により行いました。

富士山から雷の位置をとらえる — 新しい観測の試み —

鴨川仁¹, 鈴木智幸¹, 藤原博伸^{1,2}, 安本勝², 小柳津由依³

1. 静岡県立大学 グローバル地域センター 自然災害研究部門,

2. 認定NPO法人富士山測候所を活用する会 富士山環境研究センター,

3. 青山シビルエンジニアリング株式会社 気象コンサルティング部門

1. はじめに

富士山頂は雷雲の雲底高度付近に位置しており、旧富士山測候所では落雷保護が施されているため、電力を確保した環境下で雷雲内(あるいは雲底近傍)の観測が可能である¹⁾。さらに富士山は孤立峰であり、周辺に同程度の高い山体が存在しない。このため、発生した雷雲が富士山へ移動した場合でも、周囲の山地による地形性の変形を受けにくく、山頂での観測は、気球などの飛行体による雲内観測に近い条件を得やすい。こうした地理的・観測環境上の利点から、富士山頂では古くから雷の総合観測を目的とした国際プロジェクトが実施されてきた^{1,2,3)}。

雷研究において基礎データとなるのは、レーダー等の気象データに加え、雷放電の位置標定データである。従来、我々のような富士山に関する雷研究者が利用する位置標定データとしては、商用データであるフランクリン・ジャパン社のJLDN⁴⁾、中部電力のLLS(中電CTIを通じて提供)⁵⁾、およびワシントン大学により全世界展開されているWWLLN⁶⁾などが一般的であった。近年、我々はボランティアによって雷位置標定のための雷電波の受信点が運用される雷位置標定ネットワークBlitzortung.orgの受信点を富士山周辺に展開し、富士山域における検知効率の向上を図ってきた⁷⁾。本成果報告会においても、年次ごとに富士山領域における各年7～8月の雷放電活動をBlitzortung.orgのデータを使って報告している。

Blitzortung.orgを除く前述の雷位置標定データは基本的に有償である一方、ネットワーク構築に参画することで無償利用が可能なBlitzortung.orgのデータは、研究の裾野拡大や解析の迅速化に寄与している。ただし、Blitzortung.orgは学術利用等の非商用目的であっても、利用形態や提供条件に一定の制約が存在する。

以上より、雷放電位置標定データの利用自由度をさらに高めるためには、自ら観測網を構築し、必要な品質および頻度でデータを取得できる体制が有効である。そこで本研究では、市販の雷放電位置標定システムを導入し、富士山周辺に雷電波受信点を設置することで、富士山域における雷放電位置標定の実現可能性を検討した。本稿では初期データを対象として、取得されるデータの特性および課題を整理する。なお、雷放電電波を受信し位置標定を行うシステムは複数存在するが、本研究ではBoltek社LRX-1を用いる。同システムはインドにて実証実験された実績を持つ⁸⁾。

2. 観測および初期解析

図1に、認定NPO法人富士山測候所を活用する会・御殿場事務所内の御殿場観測点に設置されたBoltek LRX-1雷検知システムのアンテナを示す。本研究では、日本国内(小松、珠洲、御殿場、武蔵野、つくば)に5台のBoltek LRX-1センサを設置し、富士山周辺地域を対象とした広域・長距離VLF/LF雷検知ネットワークを構築した(図1)。

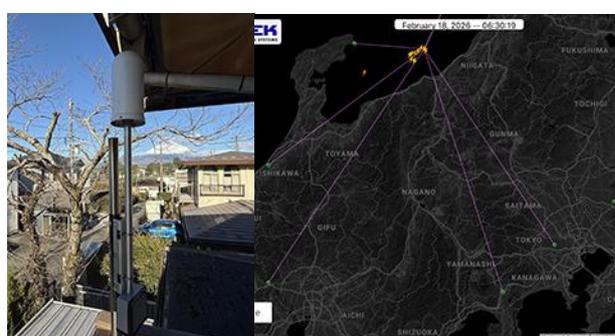


図1 御殿場に設置されたLRX-1のアンテナ(左)
LRX-1の設置地点および位置標定の様子(右)

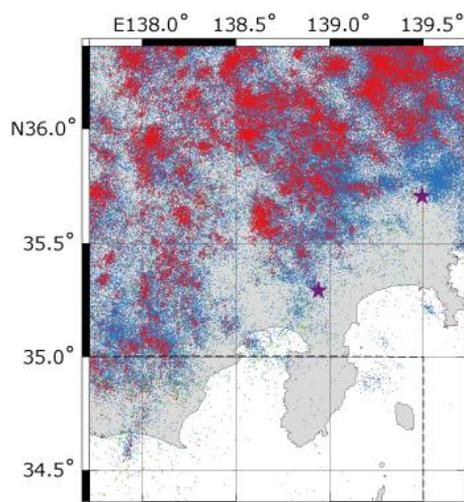


図2 2025年7～8月の標定された雷放電位置。

初期観測ネットワークにおけるLRX-1システムの性能を評価するため、Blitzortung.orgおよび、富士山雷研究において長らく使用されてきた中電LLSによる雷検知結果との比較を行った。日本国内で最も高い検知効率を有すると考えられているJLDNを基準とした場合、Blitzortung.orgは約80%の相対検知効率を有すると推定されている⁷⁾。

なお、現時点のLRX-1システムでは、対地雷と雲放電の

識別や、対地雷の極性判別は行えない。この点は Blitzortung.orgと同様である。一方、中電LLSでは極性およびピーク電流値が提供されるものの、検知対象は対地雷に限られる。本稿では、これらの違いを踏まえた上で、定性的な意味で検知数の時系列比較のみを行う。

3. 解析結果

2025年7月から8月の2か月間について、富士山を含む図2に示される領域における検知雷放電分布を図2に示す。LRX-1, Blitzortung.org, および中電LLSによる放電点は、それぞれ 赤, 青, 緑で示している。紫色の星印は観測点を表し、図2の領域内には、御殿場市および東京都武蔵小金井市に設置された2観測点が含まれている。

図2に示されるように、雷放電点の空間分布パターンは、LRX-1とBlitzortung.orgの間で概ね一致していることが分かる。一方、LRX-1は国内に数十か所の観測点を有するBlitzortung.orgと異なり、本解析時点では最大でも5観測点しか有していないため、検知能力がこれら観測点で囲まれた領域内にはほぼ限定されていることも確認できる。

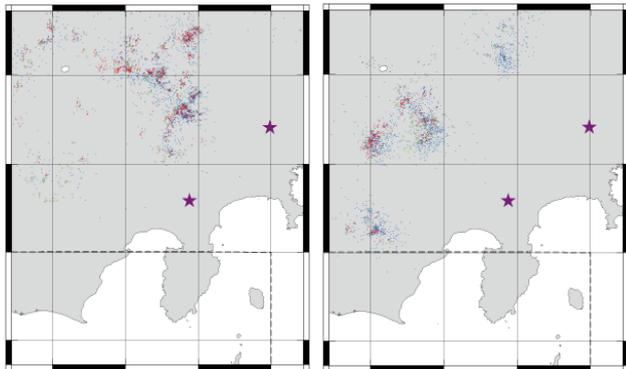


図3 2025年7月26日(左)および8月24日(右)における標定された雷放電位置標定

次に、図2の領域において雷放電活動が活発であり、かつ5観測点で囲まれた領域内で検知されている2025年7月26日および8月24日の24時間について、各システムによる検知数の時系列を比較する。図2と同種の空間図を示したのが図3である。次に、検知数の時系列を示したのが図4となった。なお、折れ線グラフの色は図2, 3と同様に、赤がLRX-1, 青がBlitzortung.org, 緑が中電LLSを示している。その結果、LRX-1による検知数は、図3, 4のそれぞれの日付においてBlitzortung.orgのおよそ5割および3割を捉えていることが確認された。

4. おわりに

本初期解析では定性的評価にとどまるものの、LRX-1の性能評価を初めて実施した。今後は、他の雷位置標定データと

の比較に基づき、相対検知効率および相対検知位置誤差の評価を進め、実用的な落雷位置標定システムの構築に向けた改良を行う予定である。さらに近い将来には、富士山リアルタイム気象情報サービス「イマフジ。」(<https://imafuji.earth/>)へ取り込み可能な形で、システムの高度化を進める。

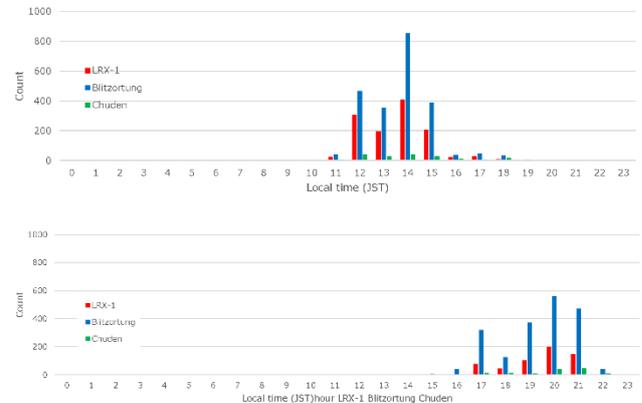


図4 2025年7月26日(上)および8月24日(下)における1時間毎の雷検知数時系列比較

謝辞

LRX-1の導入は、JSPS 科研費・基盤研究(B)「富士山頂高度を活用した落雷減災のための多角的雷研究(研究代表者: 鴨川 仁, 課題番号:20H02419)」および、基盤研究(A)「富士山頂高度を活用した落雷超直近観測による雷放電発生予測研究(研究代表者: 鴨川 仁, 課題番号:25H00781)」の助成を受けて実施された。

参考文献

- 1) 鴨川 仁 (2024). 富士山頂を活用した雷研究. 金属, **94**(7), 604-607.
- 2) 鈴木智幸 (2024). 雷雲と宇宙の間で起こる放電発光を富士山頂から俯瞰する. 金属, **94**(7), 607-610.
- 3) 安本 勝 (2024). 富士山測候所の雷対策. 金属, **94**(7), 610-612.
- 4) 松井倫弘 (2020). 全国雷観測ネットワークの性能向上による雷性状の解明. 静岡大学博士学位論文.
- 5) 中部電力(電力技術研究所 流通グループ 送変電チーム) (2020). 落雷位置標定システムの検出性能向上 - より高性能なシステム構築に向けて. 中部電力 研究成果ニュース, No. 151.
- 6) Rodger, C. J., Brundell, J. B., Dowden, R. L. (2006). Location accuracy of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN). *Ann. Geophys.*, **24**, 3197-3214.
- 7) Kamogawa, K., Suzuki, T., Fujiwara, H., et al. (2023). Characteristics of the Blitzortung.org lightning location catalog in Japan. *Atmosphere*, **14**(10), 1507.
- 8) Taori, A., Suryavanshi, A., Gharai, B., Pawar, S., & Seshasai, M. V. R. (2024). Establishment of lightning detection sensors network in India: retrieval of essential climate variables and vulnerability mapping [Preprint]. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-229790/v1>

「かみなり」による富士山測候所の接地線電流と電位

安本勝¹, 鴨川仁², 佐々木一哉³, 土器屋由紀子¹, 鈴木智幸², 向井啓祐⁴, 伊高健治³,
 1. 富士山環境研究センター, 2. 静岡県立大学 関名, 3. 弘前大学, 4. 核融合研

1. はじめに

富士山測候所に導入している高圧ケーブルに接地線が内蔵されていることに着目して, 測候所直撃雷を測定する目的で接地線に流れる電流測定を始めた⁽¹⁾. 当初直撃雷は無く, 測定できなかった. しかし, 周辺雷により接地線に電流が流れていることが判明し, それらの詳細な測定解析ができるように図1に示す測定系を導入した. 直撃雷用大電流電流計のみでなく, 非直撃雷の周辺雷用小信号電流計も設けて幅広い雷現象の測定ができるようにした. 高圧ケーブル内蔵の接地線を通る電流測定にはログオスキューコイル電流計を用いている⁽²⁾⁽³⁾. 雷現象と流れる接地線電流の詳細な関係を整理することで, 五つの現象により接地線に電流が流れていることが判明した⁽³⁾. 昨年の周辺雷用DSO-3の測定では, リターンストロークに着目してトリガーレベルを高くして測定した. また, 対山麓地電位の測定も行い, 測候所の接地線サージインピーダンス, 及び接地抵抗を求められるようにした.

2. 接地線電流測定

2-1 測定原理 : 雷現象観測は, 雷現象により富士山測候所から山麓に接続されている接地線の内蔵する高圧ケーブルに流れる電流を測定して実施している. 図1(a)に示すように3, 776 mの高度, 及び接地線と山体が作る大きな循環路を利用した富士山を測定器とした雷現象の新しい測定手法である. 測定できる雷現象は五つあり⁽³⁾, 対地雷では①測候所直撃雷, ②山麓からの逆流電流, ③測候所電極捕集電流(山頂の落雷電流を測候所電極に集められる電流), その他

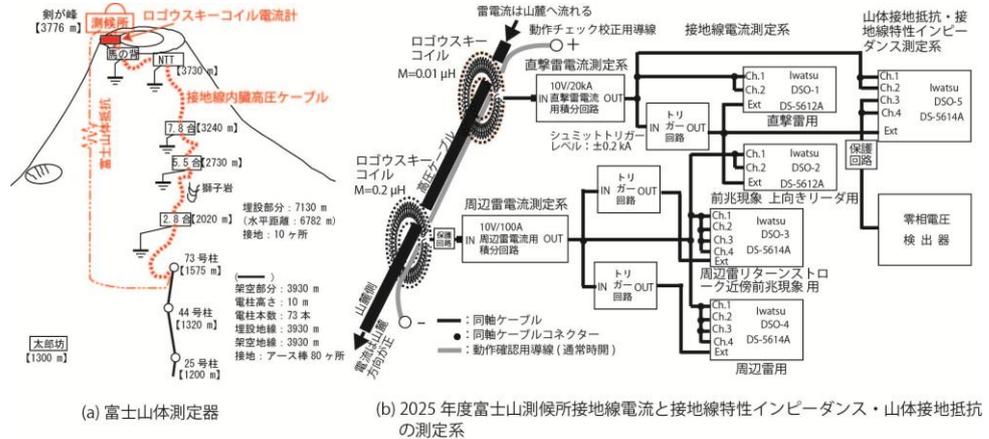


図1 富士山測候所雷現象観測系

に, ④周辺の落雷電流の電磁束が山体と接地線が作る循環路を鎖交することで流れる電流, ⑤雷雲電荷変化により流れる静電誘導電流である. デジタルストレージオシロ(DSO)はトリガー前後を測定記録する. 各現象は同時に測定できることから雷現象を正確に捉えることが可能である.

2-2測定結果 : 雷現象による接地線電流は, 7月10日から8月下旬までの観測期間中, 7月10, 22, 23, 24日, 8月2, 3, 16日に測定された.

図2は, 停電等の影響を受けていない8月16日に測定された時:分:秒の6点を抜粋した. リターンストローク前に前兆現象が測定されている. トリガーレベルが低いと, 激しい気流変化により雷雲内に局所的電界により多数の放電路(マイクロリーダとする)が生じ, その放電路消滅信号が多く測定され, それによるデッドタイムを含めると, リターンストロークの測定頻度は小さくなる. トリガーレベルを高くしたことでリターンスト

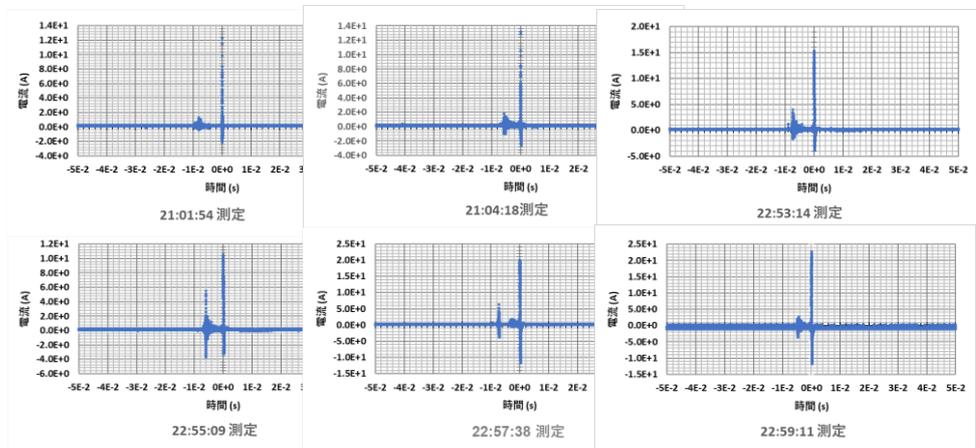


図2 リターンストロークと前兆現象 (2025/8/16 測定例) (±1 s, JST)

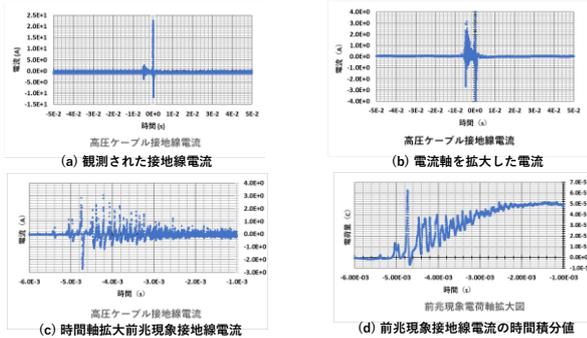


図3 リターンストロークの前兆現象 2025/8/15 22:59:11

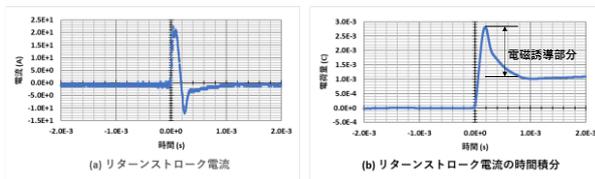


図4 2025/8/15 22:59:11のリターンストローク

ロークと前兆現象が一体に測定可能になった。

図3(a)は接地線電流の測定波形, (b)はリターンストローク部を拡大したもので, (c)は前兆現象部分の時間軸を拡大したものである。(d)は前兆現象電流を時間積分したものである。底が接線になりパルスとして電荷量は0になることから接地線には全体で電荷移動の無い循環電流が流れていることになる。接線変化は雷雲電荷の誘導電荷によるものと考えられる。

図4(a)はリターンストロークの時間軸を拡大したもので, (b)はそれを時間積分したものである。一定になるまでのピーク変化が電磁誘導電流によるものであることを示している。いずれも接地線に流れる電流は正になる。負極性落雷の場合, 山麓落雷の逆流電流になる。電磁誘導電流は接地線に正方向に循環電流を流すことになる落雷位置になる。

3. 接地線サージインピーダンス, 及び接地抵抗測定

接地線サージインピーダンス及び接地抵抗は, 測候所の対山麓地電位をその時に流れる接地線電流で除すことで求められる。対山麓地電位測定は, 電源線を導線とし, 山麓と測候所に引込み測候所との電位差を測定することで求められる。

山麓地電位は山麓変電設備にあるEVT, あるいは零相蓄電器により確保できる。また山麓の高圧線の対地浮遊容量も同電位に作用する。

三相電源線は確実な絶縁が確保されていれば三相中点は零電位が保証される。これは高圧電源線を導線として測候所内に引込み使用でき, 測候所で対山麓地電位を測定可能にする。図5が測定系全景である。

測候所における対山麓地電位と接地線電流の同時測定結果が図6である。(b)は接地線電流(a)の時間積分結果である。終値が0になることから電磁誘導電流によるものであることが

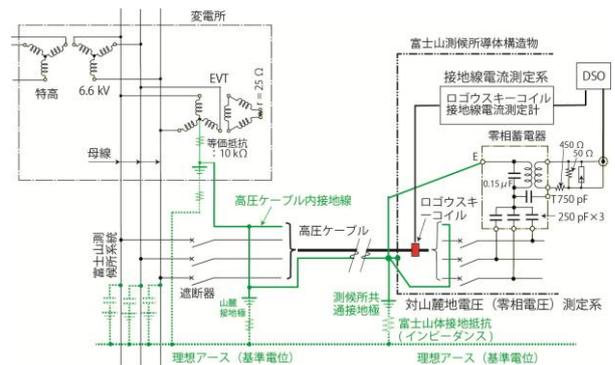


図5 対山麓地電位, 接地線サージインピーダンス・接地抵抗測定系

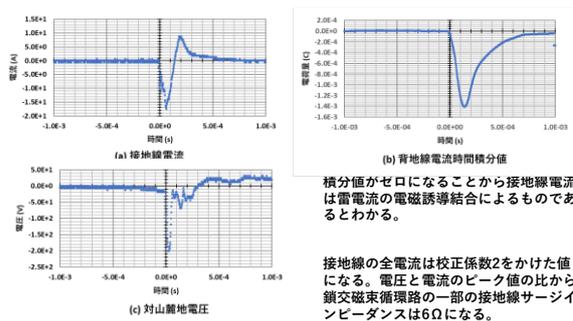


図6 DSO-5 接地線電流と対山麓地電位の測定結果 2025/8/3 18:40:57.8 (±1 s, JST)

わかる。接地線サージインピーダンスは前者を後者で除すことで求められ互いのピーク値を取ることで約6Ωの結果が得られた。別の測定例では4Ωの結果が得られた。

4. まとめ

- (1) 測候所接地線のサージインピーダンス, 及び富士山体接地抵抗を求める方法を明らかにした。
- (2) マイクロリダは頻発するが多くは消滅し, 一部がリターンストロークに発展する。
- (3) 接地線のサージインピーダンスは4~6Ωであった。

5. 謝辞

本報告内容は本会のスタッフの他, 多くの方々のご支援・ご協力を得ています。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 中村安良, 大胡田智寿, 土器屋由紀子(2012), 富士山測候所のための落雷対策, 電気学会 A 部門, Vol.132 No.11, 984-992
- 2) 日高邦彦 (2009) 高電圧工学, 数理工学社, 160-161.
- 3) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子(2022), 富士山地上接地線電流による雷観測系, 電気学会 A 部門, Vol.142, No.3, 67-79

雷の危険をいち早く知る！「イマフジ。」プロジェクト

小柳津由依, 柴崎俊明
青山シビルエンジニアリング株式会社

1. 背景

弊社は2021年7月より、富士山周辺におけるリアルタイム気象観測データをWeb上で無償公開している(「イマフジ。今の富士山の気象を知る」<https://imafuji.earth/>)。2025年の開山期間中は、山頂および各登山道を含む計12地点において気象観測を実施し、観測データならびに山頂全天球カメラ画像を提供した。現在は11地点において越冬観測を継続している。また、登山者の安全確保を目的として「雷プロジェクト」を立ち上げ、大気電場観測に基づく雷リスク情報の発信および注意喚起を行っている。富士山は標高差が大きく、夏季には局地的な積乱雲が発生しやすい環境にあるため、局所的な雷リスクをリアルタイムに把握する体制の構築が重要である。

2. 目的

富士山において登山者に危険を及ぼす気象現象の一つとして雷が挙げられる。弊社では「雷プロジェクト」の一環として、大気電場強度の変化を利用した雷アラート自動発令システムの試験運用を2024年より開始した。太郎坊(御殿場口新五合目)に設置したフィールドミル(EFM)により電場強度を測定し、積乱雲の接近・通過を知らせる雷アラートを、イマフジサイト上で「実験中」として公開している。

本研究では、2025年夏期(7/8~9/2)を対象に、太郎坊に加えて富士山頂剣ヶ峰(2機)と道の駅すばしり(須走口1合目)に設置したEFM観測データを用い、各地点における大気電場強度変動と実際の雷放電発生状況との関係を解析し、暫定的に設定した雷アラートによる捕捉率を検証する。これにより、局所電場観測に基づく雷アラート手法の有効性および地点間特性を検証し、将来的な富士山全域を対象とした雷アラート発令の構築可能性を検討することを目的とする。

3. フィールドミル観測地点



図1 フィールドミル観測地点の地図

太郎坊(常時観測中)、富士山測候所(開山期間中のみ)と

道の駅すばしり(常時観測中)の計3地点にフィールドミルを設置し、大気電場強度を観測している。剣ヶ峰は大気電場強度が大きいため、異なる抵抗プラグを搭載したEFMを2機(剣ヶ峰1・剣ヶ峰2)設置した。尚、キャリブレーションは実施していない。

4. 観測手法の概要

積乱雲が発達するにつれて、雲内では電荷分離が生じる。このメカニズムとして、着氷電荷分離仮説¹⁾が知られている。これは、雲内の約-10℃付近の高度において霰と氷晶が衝突する際、霰が負に、氷晶が正に帯電する現象である。地上付近における電場強度の変化を測定することで、積乱雲の帯電構造と観測点との位置関係に応じた電場変動を捉えることができる。通常、雷放電を伴う積乱雲が接近すると、大気電場強度の生データにはスパイクやノイズが重畳し、積乱雲の位置関係を自動判定する際の妨げとなる。一方、スパイクおよびノイズを除去した電場強度波形の時間変化を用いることで、観測地点上空における積乱雲の接近および通過状態を自動的に判別することが可能となる。この手法により、落雷リスクに対する注意喚起を行うことができると考えられる。

5. 雷アラートの方法

1秒間に2サンプルを観測している電場強度測定データから、スパイクとノイズを取り除くために、1分間最低値カーブを自動生成させる(図2)。そして、観測機器の設置条件、感度を考慮し、適正な閾値および判定に用いる継続時間を設定し、積乱雲が接近・通過中であるかどうか自動判定させる。積乱雲の接近・通過の判定を行う閾値などの判定条件は地点ごと、また、測定条件の変化に応じて変更できる。

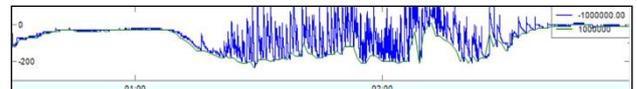


図2 太郎坊観測地点での積乱雲接近時の生データの波形例(青線)と1分間最低値カーブ(緑線)

以下、雷アラートのフローチャートについて説明する。図3に示すように、まずSTEP1として「①又は②の何れか一つが発生した？」①電場強度がAV/mよりも大きくなった。②電場強度がBV/mよりも小さくなった。YESの場合は雷アラートがONになる。NOの場合は雷アラートOFFを継続する。STEP2として「STEP1の①又は②の何れか一つがC分間発生しなかった？」YESの場合は雷アラートがOFFになる。NOの場合は

雷アラートONが継続される。A,B,Cの数値は地点によって変更する。

2025年に運用した雷アラートの設定値は、各観測地点の設置環境および大気電場強度の変動特性を考慮し、EFMごとに決定した。Cは閾値内に戻った後の安全を考慮したアラート継続時間(単位:分)を示す。継続時間条件Cは全地点共通で30とした。

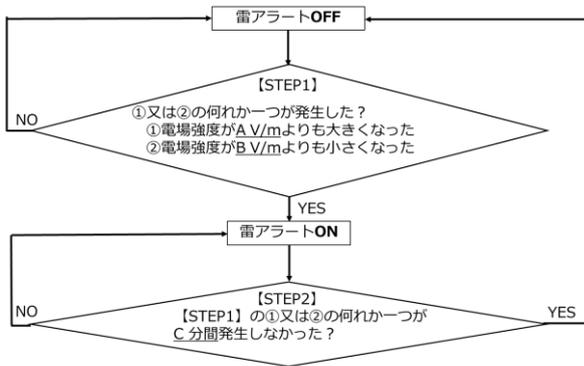


図3 雷アラート(試験中)フローチャート

6. 雷アラート(試験中)の結果

2025年7月8日から9月2日までの期間について、各観測地点における雷アラート発令状況と実際の雷放電発生状況を比較した。放電データには気象庁LIDENの対地放電および雲放電情報を用いた。各地点の有効距離2.5km, 5km, 10km, 15km, 20km圏内における総放電数, アラート発令中の放電数, および捕捉率(=発令中放電数/総放電数×100)を算出した。捕捉率は、各有効距離内で発生した総放電数に対するアラート発令時間内の放電数の割合と定義した。また、有効距離は各観測点を中心とした同心円半径とした。

太郎坊では、捕捉率は2.5km圏内で97.0%, 5km圏内で94.1%, 10km圏内で86.6%, 20km圏内では54.1%であった。道の駅すばしりでは2.5km圏内で88.9%, 5km圏内で75.0%, 20km圏内で34.2%であった。富士山頂剣ヶ峰1では2.5km圏内で100.0%, 5km圏内で91.9%, 20km圏内で63.2%, 富士山頂剣ヶ峰2では2.5km圏内で93.3%, 5km圏内で84.7%, 20km圏内で44.7%であった。

いずれの地点でも、有効距離の増加に伴い捕捉率は低下する傾向を示した。10kmおよび15kmにおいても同様の距離

依存性が確認された。この結果を基に、イマフジサイトで提供している太郎坊の雷アラートの有効半径の目安を5kmとしている。なお、道の駅すばしりにおける捕捉率が他地点と比較して低い傾向を示した要因として、周辺地形や構造物などの設置環境の違いに起因する電場応答特性の差異が影響した可能性があり、閾値の調整によっても大きな改善は見られなかった。

現在のパラメータによる捕捉率は調整可能である。大気電場強度の閾値を小さく(レンジを狭く)すると捕捉率は向上する一方、雷アラート発令時間が長期化する。捕捉率と空振りはトレードオフの関係にあり、閾値のみの調整では限界がある。

図4に2025年7月24日の富士山頂剣ヶ峰2における大気電場強度とアラート発令状況を示す。当日は15:33~17:46および20:30~23:04の2回アラートが発令された。15:34には観測点から3.6km先で雲放電が発生し、アラートは1分前に発令されたが、十分な避難時間を確保できるとは言い難い結果であった。

7. 考察

本研究では、局所大気電場観測に基づく雷アラート手法の有効性と地点特性を検証した。5km圏内では比較的高い捕捉率が得られ、本手法は近傍雷の危険通知に一定の有効性を有することが示唆された。一方、距離の増加に伴い捕捉率は低下し、電場変化の距離減衰特性と整合する傾向が確認された。また、放電1分前の発令事例から、単一閾値による判定では実用的な早期警戒として十分とは言えないことが示唆された。雷活動初期を捉えるためには、追加指標や判定方法の工夫が必要である。

今後は、電場の時間変化特性や複数地点の同時変化、雷位置情報を統合した警戒手法の高度化が求められる。単地点観測でも近傍雷の監視は一定程度可能であるが、富士山全域を対象とするには複数地点の統合運用が重要である。

参考文献

- 1) T. Takahashi, J. Atmos. Sci. 35, 1536 (1978).
- 2) 小柳津由依、柴崎俊明(2025) 富士山周辺の雷解析について、大気電気学会誌Vol.19 No.1 (No.106), 30-31

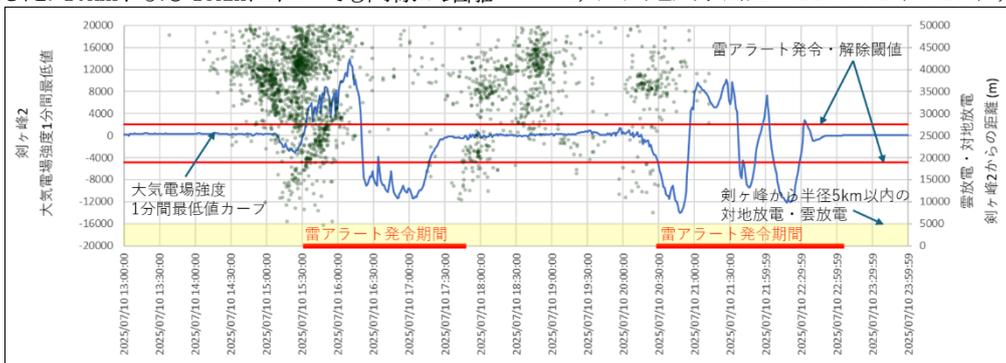


図4 2025年7月24日の富士山頂剣ヶ峰2における大気電場強度、雷放電発生および雷アラート発令状況

山頂噴火は2,300年前で終わっていなかった？ —山頂と山麓の堆積物の照合から探る噴火史—

亀谷伸子¹, 吉本充宏¹, 安田 敦², 渡部将太¹, 西澤達治¹, 金丸龍夫³, 古川邦之⁴, 藤井敏嗣¹
1.山梨県富士山科学研究所, 2.東京大学, 3.日本大学, 4.愛知大学

1. はじめに: 富士山の活動史と山頂噴火の定説

富士山の将来の噴火活動を考える上で、過去数千年間の活動傾向を正しく理解することが重要です。富士山の活動史は、約10万年前に始まり、古い順に星山期、富士宮期、そして約8,000年前から現在まで続く須走期の3期に区分されています¹⁾。

これまでの定説は、「最近約2,300年間の噴火は全て山の中腹(山腹)で発生し、山頂での噴火は約2,300年前を最後に停止した」というものでした。この山頂噴火に対応する噴出物は、山頂部では『剣ヶ峰噴出物』、山麓では『湯船第二スコリア層』(スコリアは火山灰・火山れき等の噴出物の一種)と呼ばれます。特に山麓の地層である『湯船第二スコリア層』は、富士山の地質調査の基準となる鍵層として利用されてきました。

しかし近年、発表者らが山麓の地層を再調査したところ、『湯船第二スコリア層』とされてきた地層の年代が地域によって一致しないという矛盾が生じました²⁾。そこで本研究では、山頂の噴火史を再検討するため、山頂火口周辺の堆積物と山麓の地層との詳細な比較を行いました。

2. 山頂火口周辺の調査と化学組成分析

山頂火口周辺の剣ヶ峰および大日岳において地質調査をおこないました。剣ヶ峰では、上から順に3つのユニット(上位からKnU, KnM, KnLとする)が確認され、最上位のKnUが剣ヶ峰噴出物に相当します。これらはマグマのしぶき(スパター)が積み重なってできています。一方、大日岳でも2つのユニット(上位からDnU, DnLとする)が確認され、最上位のDnUが剣ヶ峰噴出物に相当します。

これらはいずれも同様の鉱物(斜長石とカンラン石、一部に少量の輝石)を含みますが、化学成分(全岩化学組成)に重要な違いが見つかりました。KnUを除くユニットは互いに似た組成をもっていました。KnUだけは他のユニットに比べてカリウム(K₂O)やイットリウム(Y)が高く、ストロンチウム(Sr)が低いという特徴を示しました。剣ヶ峰噴出物とされるKnUとDnUは異なるマグマに由来すると考えられることから、これらは一連の噴火ではなく、時期が異なる噴火で形成されたことを示唆しています。

3. 北東麓のスコリア層との照合

富士山北東麓に分布する、宝永噴火(1707年)より古い6層

の主要なスコリア層(上から順にNE1~NE6とする)を対象に分析しました。スコリア層直下の土壌の年代測定から、NE1は約1,200年前、NE4は約2,300年前の噴出物と推定され、NE4が湯船第二スコリア層と考えられます。

これら6層について、全岩化学組成による分類を試みたところ、NE1, NE5, NE6はそれぞれ固有の組成をもち、明確に識別できることがわかりました。NE1は他のユニットに比べてK₂OやYが高く、Srが低いという特徴をもち、山頂のKnUと組成が一致しました。一方で、NE2, NE3, NE4は互いによく似た組成範囲を示し、KnUを除く山頂のユニットの組成と類似しました。

4. まとめ: 最後の山頂噴火の年代が若くなる可能性

本研究による分析結果から、2つの考察ができます。

まず、これまで一括りにされていた剣ヶ峰噴出物は、化学組成の違いから、異なるマグマによる別々の噴火で形成された可能性が高いということです。

次に、山頂堆積物と山麓の地層の照合です。KnUを除く山頂の各ユニットは、約2,300年以前の年代を示すNE2~NE4と組成が一致しました。しかし、山頂で最も新しいKnUは約1,200年前の地層であるNE1と組成が一致しました。これは、約2,300年前を最後に停止したと考えられてきた山頂噴火が、約1,200年前(平安時代頃)にも発生していた可能性を示唆する結果です。

今後は、KnUの分布域を詳細に調査するとともに、古地磁気学的手法(岩石に残された磁気による年代推定)などを用い、この新説の検証をさらに進めていく必要があります。

引用文献

- 1) 高田ほか (2016) 富士山火山地質図(第2版). 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 56p.
- 2) 亀谷ほか (2023) 富士火山東麓のテフラ層序の再考による噴火履歴の高精度化. 山梨県富士山科学研究所研究報告書, 58, 1-14.

謝辞

環境省、文化庁ならびに浅間大社には岩石採取の許可をいただきました。記して感謝申し上げます。

宇宙線を使って富士山の内部構造を探る

居島薫¹, 永嶺謙忠², 鳥養映子²

1.山梨大学, 2.高エネルギー加速器研究機構

1. はじめに

本研究は宇宙線ミュオンを用いた富士山山頂近傍と表面構造内部の密度長計測を目標に掲げ、2018年7月に太郎坊に設置した粒子線検出器を用いて観測をスタートした。

宇宙線ミュオンラジオグラフィとえば、ピラミッドなどの内部構造の透視実験が有名である。そのフラックスは天頂方向が強く、水平方向では3桁程落ちる。水平方向のミュオンをラジオグラフィに利用することは困難という定説を覆し、永嶺らは浅間山や西岩手山などの小規模火山(観測対象物の直径 $\leq 2\text{km}$)において、水平ミュオンを用いた透視観察に成功してきた^{1,2)}。現在でも田中宏幸らにより大々的な火山研究が進められている。

本研究の観測対象である富士山は、宇宙線ミュオンの飛行に比べてサイズが大きく、ミュオンラジオグラフィに於いて

は未開拓な領域である。当開発研究は防災のみならず、学術的意義にも富む。

2. 観測原理および装置

宇宙線ミュオンとは、文字通り宇宙線に由来するミュオンである。宇宙から降り注ぐ高エネルギー粒子(主に陽子)などが大気上層部の原子核と衝突し、原子核反応によって生成される2次粒子のうち荷電 π , K中間子が崩壊して生じる。ミュオンの寿命は $2.2 \mu \text{sec}$ であるが、ほぼ光速で飛来するため相対論効果で寿命が延び、地上まで到達できる。運動エネルギーは、GeV \sim TeVに分布し天頂角に依存したエネルギースペクトルを有する。

観測装置の外観写真を図1に、観測のイメージを図2に示す。宇宙線ミュオンはシンチレーションカウンタレイ(縦横30個のプラスチックシンチレータ(30x30x1000mm)と光電子増倍管で構成)で検出する。このカウンタレイを位置敏感検出器として、それぞれを2面設置してホドスコープを組み、同時イベントのみを抽出することで、飛来した1個のミュオンの角度情報を得る。角度ごとに飛来する宇宙線ミュオンの強度分布を測定して、富士山山体透過による減衰率の空間分布を算出する。この減衰率は密度長の関数であるため、地図データをもとに山体がすべて岩石で構成されている場合の減衰率と比較することで、例えば水などが存在すれば密度長の異常値として検出できると考えられる。富士山を透過する前の宇宙線ミュオンの強度は、富士山に対して逆側から飛来したものを用いる。宇宙線ミュオン強度の角度依存性は天頂角のみに依存し、方角による差異は10%以下であるためである。



図1 観測装置の構成(外観写真)

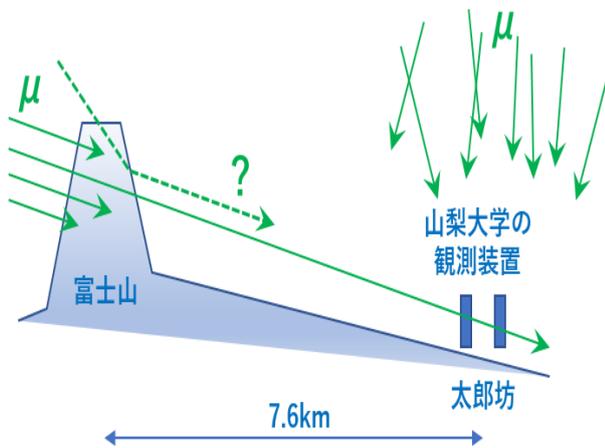


図2 宇宙線ミュオン観測のイメージ

3. 観測経過と問題点

図3に透過画像の例を、図4に同じ視野で見た富士山タイプの厚さ分布を示す。透過画像は、透過したミュオンの強度(個数に比例する量)を示している。宇宙線ミュオンは通過する物質の長さ[m]が短いほど、また密度[g/cm³]が低いほど通り抜ける確率が上がる。つまり、透過確率は密度と距離の掛け算の関数となる。岩石における透過可能な密度長は2,000m.w.e(水の密度に換算して2,000m)と言われていて、その時の透過確率は約1/1000である。

図4において、中腹で2つにコントラストが分かれており、その上部においても山体の厚さはすでに5,000m程度となっていて、下部は10,000mを超えている。図3の同じ領域に着目すると、本来透過できないはずのところにある程度の強度があり、これが本研究の問題点である。

4. 予想を上回る量の検出数は何か？

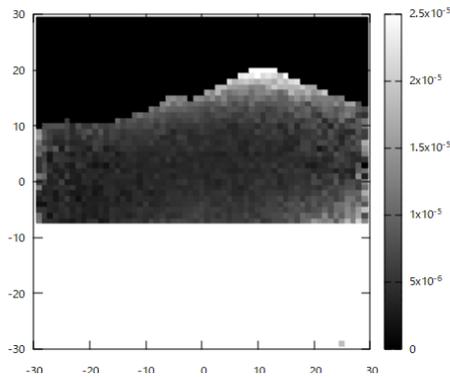


図3 山体透過画像

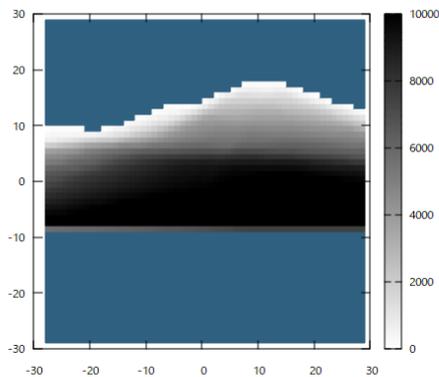


図4 太郎坊から見た山体の厚さ分布

想定よりも多く粒子を数えてしまう原因を以下に列挙する。

- ①ソフトコンポネツ
- ②アクシデンタルイベント
- ③多重散乱効果

①は電子線やガンマ線などのミュオン以外の粒子を検出してしまふ現象である。2023年までに計6tの中間鉄散乱体を設置してこれを除去した。

現在②アクシデンタルイベントの除去を行っている。アクシデンタルイベントとは、偶然に別々の2つのミュオンを同時に検出してしまふことで、あたかも山体の中腹から飛来したように計測されてしまふ現象である。これを軽減するために検出器を3重にして観測を続けている。最近のデータでは、強度が1桁強軽減することに成功したが、まだ2~3桁程度のバックグラウンドが存在している。

③多重散乱効果は、小規模対象物では無視できていた効果である。宇宙線ミュオンはほぼ向きを変えないとして取り扱っているが、大きな観測対象ある富士山では、小角度散乱が顕著になるところが専門家たちによって予想されている。現時

点では、大きく向きを変えるミュオンの存在を示唆する計算結果が得られているが、定量的には本研究の結果を満足するには至っていない。

予想より多くのミュオンを検出してしまふ現象は、つまり山体の密度が低く見積られることを意味している。密度の絶対値は異常ではあるが、図3の山頂から宝永山を少し下がる高さの領域に何かが見えているのは確かである。もう少し統計を上げてデータの推移を見守りたい。

5. まとめ

宇宙線ミュオンラジオグラフィを用いた透視観測において、富士山固有に存在する大きなバックグラウンドの問題に直面している。中間鉄散乱体の増設や、検出器の増設などにより軽減でき、観測可能な厚さが少しずつ長くなりつつある。今後は統計を上げて観測を続け、内部構造の検出を目指す。

6. 謝辞

本研究は、科学研究費基盤B(21H03735)ならびに山梨大学内融合研究の助成で実施しました。

7. 参考文献

- [1] 永嶺謙忠 (1995) 宇宙線ミュオンを用いたトモグラフィー. 地学雑誌第104巻第7号, 998-1007
- [2] 田中宏幸, 永嶺謙忠 (2003). 宇宙線ミュオンによる火山体内部探索. 火山第48巻第4号, 345-366.

地磁気観測によりマグマの上昇を捉える —電磁気学的手法による富士山噴火予測精度高度化の研究—

長尾年恭^{1,2,3}, 鴨川 仁^{2,4}, 上嶋 誠⁵

1. 認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」富士山環境研究センター
2. 静岡県立大学グローバル地域センター
3. 東海大学海洋研究所
4. 認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」
5. 東京大学地震研究所

1. はじめに

認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」は従来から科研費申請団体に認定されていたが、残念ながらまだ採択事例は存在しなかった。2024年度基盤研究に長尾年恭を研究代表者として基盤研究(C)の申請を行った。申請課題名は「電磁気学的データの高度情報処理を主とした富士山噴火予測精度向上の研究」というもので、2024年度から3年間の申請が採択された(課題番号: 24K07997)。

本研究ではマグマの上昇を原理的に捉える事が可能な全磁力観測点を静岡県側富士山五合目近傍に設置する事を目的としている。ただ五合目周辺は国有林であり、かつ国立公園内という事で設置のための各種法令のクリアーに時間を要し、2025年度の設置となった。

2. クリアーしなければならなかった法令

今回の新規観測点の設置に関し、以下に示す法令をすべてクリアーする必要があった。

- ・森林法: 国有林使用許可申請を林野庁・静岡森林管理署を通じて静岡県森林保全課に許可申請
- ・自然公園法: 現地は国立公園特別保護地区のため、環境省沼津管理官事務所を通じて申請
- ・鳥獣保護管理法: 現地は特別保護地区のため、静岡県庁環境部環境局に許可申請
- ・文化財保護法: 現地は特別史跡名勝という事で、管轄する富士宮市教育委員会へ申請

なお、上記の法令の許可をすべて取得すると、正式に林野庁・静岡森林管理署に対し、国有林野使用許可申請が行えるというしくみとなっており、最終的な設置許可は手続きを開始してから半年以上かかる事となった。

3. 観新規測点の設置

火山性地震の分布から現在、マグマは山梨県側の深さ15km付近を中心として存在していると推定されていた。このマグマが山頂方向に上昇した時には、高温のマグマが上昇するため、周囲の岩石(主に玄武岩)が高

温となる。岩石の温度が上昇すると、本来岩石がもっている磁性が失われるため、我々は地磁気の変化としてマグマの上昇を捉える事が可能となる。

観測は2025年11月よりテレメータ観測が開始された。図1に今回設置した観測点の位置を示す。



図1 今回設置した地磁気観測点

写真1および2は具体的な観測装置の設置状況である。景観に配慮するため、計測器はすべて茶色のシートで覆う事となった。



写真1 磁力計本体は上のようなボックスに収納。今回は植生との関係で、100Ahのバッテリー4個で通年駆動する事とした



写真2 最終的に装置は茶色のシートで覆われた

3. 観新規測点の設置

新規観測点で得られた観測開始後1ヶ月のデータは以下のとおりである(図2)。

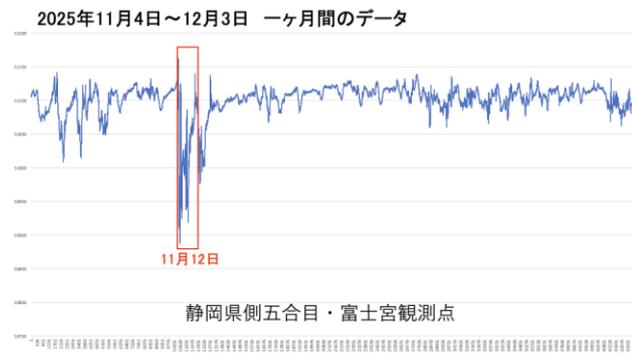


図2 2025年11月4日から30日間のデータ

図2で赤枠で囲んだ範囲(11月12日)は、地磁気が大きく変動していた期間である(磁気嵐)。磁気嵐とは太陽表面の爆発で放出された荷電粒子が地球に届き、地球の磁場が大きく乱れる現象である。オーロラが活発になり、人工衛星や通信、電力網に影響が出て、大規模停電をひきおこす事もある現象である。最も有名な例として、1989年3月のカナダ・ケベック州大停電というものがある。太陽フレアによって放出された大規模なプラズマが地球に到達し、非常に強力な磁気嵐が発生し、これにより送電線に「地磁気誘導電流 (GIC)」と呼ばれる過電流が流れた。この結果、カナダのケベック州の送電網がわずか90秒以内に崩壊する事となり、約600万人が電気を失い停電は約9時間続いた。極寒の時期だったため、暖房が止まるなど市民生活に深刻な影響が出る事となった。この事件をきっかけに宇宙天気予報の重要性が世界中で認識されるようになったのである。

図3は磁気嵐が発生した2025年11月12日の24時間のデータを気象庁・柿岡地磁気観測所のデータと比較したものである。

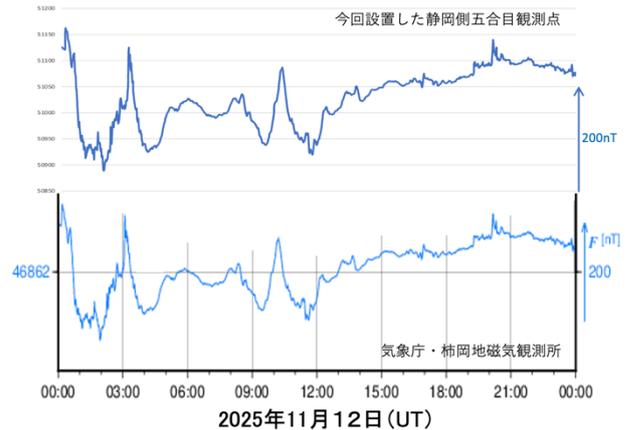


図3 2025年11月12日(世界時)における柿岡地磁気観測所(下)と本研究で設置した静岡県側五合目の地磁気観測点(上)の比較データ

4. 今後の計画

本研究による新規観測点の設置により、本NPO関係では太郎坊の観測点と合わせて2箇所で連続観測が行えるようになった。今後できるだけ長く観測点を維持する事を目指すとともに、異常の自動判別システムの開発を行っていく所存である。

5. 謝辞

本研究はJSPS科研費24K07997および東海大学研究促進費の助成を受けて実施された。

富士山山頂で落石は見張れるのか？ :地震計で探る登山者の安全

池谷拓馬^{1, 2}, 鈴木雅博¹, 西澤達治¹, 佐藤明夫¹, 山河和也¹, Nataliya Galina³

1.山梨県富士山科学研究所, 2.気象庁気象研究所, 3.東京大学地震研究所

1. はじめに

富士山では、崩落や落石が登山者の命に直結する重大な危険のひとつである。実際に、1980年には大規模な落石事故が発生している。1987年には、富士山の山頂付近で人が揺れを感じる地震が4回観測されている。これらの地震は、山頂火口の底の下に残された過去のマグマの通り道(空洞)に向かって、地面が崩れ落ちかけた現象と関係している可能性が指摘されている(小山・鶴川, 2018)。一方で、富士山山頂付近で「どこで落石が起きているのか」「地下に危険な空洞があるのか」といった点については、観測データに基づく客観的な理解が十分とは言えない。本研究では、富士山山頂付近に地面の揺れを記録する装置(地震計)などの観測機器を設置し、落石や地下の危険な構造を“見える化”できるかを検討した。これは、将来的に登山者の安全対策に役立てることを目的としている。

2. どんな観測を行ったのか

2025年7月10日から8月20日にかけて、富士山山頂火口の周囲を一周する登山道沿いに、200–500メートル間隔で6か所の観測点を設置した。これらの観測点では地震計を使い、落石や地表近くで起きる現象を記録した。一部の地点では、空気の揺れも同時に観測し、現象の特徴をより詳しく調べられるようにした。

3. 地震計で落石はわかるのか

記録されたデータを詳しく調べたところ、通常地震とは明らかに異なるタイプの揺れが複数確認された。これらの揺れは、山頂に近い観測点ほど揺れが最初に強く現れ、山頂から離れるにつれて揺れのピークが遅れて現れるという共通した特徴を示している。このような揺れは、地下深くで起きる地震ではなく、地表付近で起きた現象、つまり落石によるものと考えられる。特に3つのケースでは、複数の観測点で「最初に揺れが届いた時刻」を読み取ることができたため、その時刻のずれをもとに、落石が起きた場所を推定した。その結果、落石は山頂西側の「大沢崩れ」上端部やその周辺に位置していることがわかった。位置の推定精度は、数百メートルから数キロメートル程度であり、地震計を使って落石の発生場所を把握できる可能性が示された。

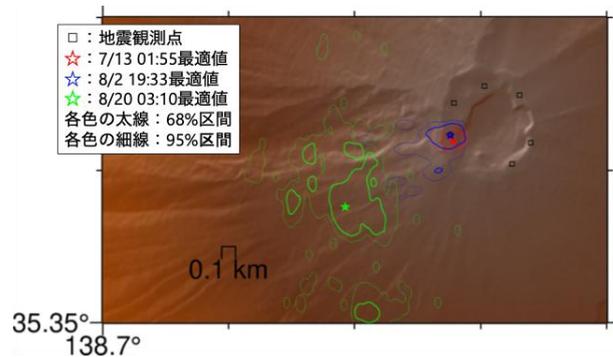


図1. 落石候補波形の震源決定結果。

4. 地下に大きな空洞はあるのか

次に、地下に危険な空洞が存在するかどうかを調べた。ここでは、「地面の揺れ方の違い」を手がかりに、地下の構造を推定した。その結果、Yuliyanto & Nurwidyanto (2022)が、洞窟の存在する場所で報告しているような特徴は、どの観測点でも確認されなかった。少なくとも今回の観測範囲では、観測点の直下に大きな空洞があることを示す明確な証拠は得られなかったと言える。

5. おわりに

本研究では、富士山山頂付近に設置した地震計のデータを用いて落石を検知し、その発生場所をある程度の精度で推定できることを示した。この結果は、富士山山頂域で起きる落石を観測によって把握し、将来的に登山者の安全確保に役立てられる可能性を示している。今後は、空気の揺れのデータも活用した落石検知の精度向上や、短時間の観測を多地点で繰り返す調査を進めることで、富士山における落石や地下構造に対する理解がさらに深まると期待される。

参考文献

- 1) 小山真人, 鶴川元雄 (2018). 1987年8月の富士山頂地震は火口陥没未遂か?. 日本地球惑星科学連合 2018年大会, SVC40-05.
- 2) Yuliyanto, G., Nurwidyanto, M. I. (2023). Characteristics of karst caves inferred from microtremor studies: a case study from Cerme Cave, Yogyakarta, Indonesia. *Acta Carsologica*, 52(1), 109–119. <https://doi.org/10.3986/ac.v52i1.10987>.



第19回成果報告会講演予稿集

編集・発行：認定 NPO 法人富士山測候所を活用する会
〒169-0072 東京都新宿区大久保 2-5-5 中村ビル 2 階
TEL：03-6273-9723 FAX：03-6273-9808
E-mail：tyo-ofc@npofuji3776.org

無断で転載または複製することを堅くお断りします

