

第18回成果報告会

2007年 - 2024年 富士山測候所で行った活動の成果

講演予稿集



期日：2025年3月9日（日）

会場：連合会館、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

Yahoo! 基金

公益財団法人ふじのくに未来財団

第18回成果報告会

講演予稿集

2025年3月9日(日)

連合会館、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

Yahoo!基金

公益財団法人ふじのくに未来財団

ご挨拶

本年度で18回目を迎えた富士山の夏期観測では、68日間にわたり、401名の研究者が32のプロジェクトを実施しました。新型コロナウイルスの5類移行後2年目となる今年の夏期観測では、感染症対策が定着し安全に終了しました。

今年の主な研究トピックスとしては、昨今注目を集めているマイクロプラスチックの観測に加え、微量ガス、雲・エアロゾル、大気電気の継続的な研究が挙げられます。また、微生物やウイルスに関する多角的な研究も進展しました。さらに、高所医学研究が5年ぶりに再開され、睡眠時無呼吸症候群や高所滞在中の血行動態への自律神経の影響が調査されました。加えて、火山噴出物の地質学的調査が新たに加わり、研究の幅がさらに広がっています。

活用部門では、気象の変化による登山者の動態調査が実施され、気象データや山頂カメラの画像を一般向けに提供する「イマフジ。」サイトの本格運用が開始されました。

本年度の研究も、多くの助成金や企業の支援を受けて実施されました。富士山での研究は短期間で成果を出すことが難しく、厳しい自然環境等の影響により予想外の困難に直面することがあります。しかし、長期にわたる研究の継続が新たな知見の発見につながるのは確かです。そのためには、多くの協力者や本NPOの支援者の支えが不可欠です。

本成果報告会を通じて、本年度の研究内容を共有し、皆様からのご評価、ご指導、そしてご支援を賜れば幸いです。



第18回成果報告会 実行委員長
村田浩太郎(理事、埼玉県環境科学国際センター)

第18回成果報告会 プログラム(1/2)

実行委員長： 村田浩太郎(NPO理事、埼玉県環境科学国際センター)

副実行委員長： 王一澤(早稲田大学)、加藤俊吾(NPO理事、東京都立大学)



予稿集

□ 12:30 ~

■ 開会挨拶：村田浩太郎実行委員長

■ 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

□ 12:41 ~ 13:47

■ 第一部 富士山の空と大地の神秘 (座長 王一澤:早稲田大学)

No.	タイトル / 著者氏名(所属)	
SC01 会場 (P1)	(タイトル) 富士山頂の2024年夏を気象条件で振り返る	
	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)	
SR05 会場 (P3)	(タイトル) 2024年夏期の雷観測〜次世代型観測を行うための準備報告	
	鴨川仁, 鈴木智幸(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), David Smith(California University Santa Cruz), 安本勝(NPO), 村田浩太郎(埼玉県環境科学国際センター)	
SR06 紙面 (P5)	(タイトル) 山頂ライブカメラ成果〜夏期および冬期の動作報告	
	鴨川仁(静岡県立大学・NPO), 林真彦(NPO), 趙泰勇(株式会社CHO&Company)	
SR05-1 会場 (P7)	(タイトル) 2024年夏期富士山の雷現象により富士山体上接地線に流れた電流の特徴	
	安本勝, 土器屋由紀子(研究センター), 鴨川仁, 鈴木智幸(静岡県立大学), 佐々木一哉, 伊高健治(弘前大学), 向井啓祐(核融合科学研究所)	
ST21 会場 (P14)	(タイトル) 富士山頂における火山噴出物調査	
	亀谷伸子, 吉本充宏, 西澤達治, 渡部将太, 藤井敏嗣, 池谷拓馬(山梨県富士山科学研究所)	
TR03 会場 (P15)	(タイトル) 富士山太郎坊で実施している宇宙線ミュオンラジオグラフィについて	
	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)	

休憩(10分)

□ 13:57 ~ 15:18

■ 第二部 極限の環境と生命 (座長 南齋勉:静岡理科大学)

SU05 会場 (P17)	(タイトル)「イマフジ。」プロジェクトの挑戦 -我々は富士山の気象状況把握にどこまで迫れるか-	
	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)	
SR21 会場 (P21)	(タイトル) 富士山頂における睡眠時無呼吸症候群と急性高山病との関連について	
	井出里香(東京都立大塚病院), 関千寿花(埼玉医科大学病院), 大友郁美(富士市立中央病院)	
SR22 Zoom (P23)	(タイトル) 高所滞在中の血行動態に自律神経が及ぼす影響についての検討	
	小森孝洋1, 苅尾七臣(自治医科大学)	
ST01 Zoom (P25)	(タイトル) 富士山頂の微生物解析	
	望月智弘(大阪大谷大学), 佐原理(徳島大学), 三木健司((元)東京科学大学地球生命研究所)	

(次項へ →)

※ 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

第18回成果報告会 プログラム(2/2)

□ 14:26 ~ 15:18 (前頁より)

■ 第二部 極限の環境と生命 (座長 南齋勉:静岡理科大学)

SR04 会場 (P26)	(タイトル) 富士山頂の大気を漂う細菌たちを調べる	
	村田浩太郎, 米持真一(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)	
SR04 Zoom (P27)	(タイトル) 2024年夏期の富士山頂における微生物粒子個数濃度の測定	
	渡辺幸一(富山県立大学), 村田浩太郎(埼玉県環境科学国際センター), 加藤俊吾(東京都立大学)	

休憩(10分)

□ 15:28 ~ 17:00

■ 第三部 見えない空気の世界 ~富士山で探るガスとエアロゾル~ (座長:村田浩太郎:埼玉県環境科学国際センター)

SR01 Zoom (P28)	(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 ~15年目~	
	寺尾有希夫(国立環境研究所)	
SR02 会場 (P30)	(タイトル) 富士山山頂と山麓での大気微量成分観測	
	加藤俊吾, 野田琴音, 小山有宇理, 青木紳悟(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)	
SR03 会場 (P31)	(タイトル) 大気中に浮遊している粒子の特徴:磁性について	
	上野千嘉, 反町篤行(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)	
SR07 会場 (P32)	(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のか?	
	王一澤, 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)	
SR07 会場 (P33)	(タイトル) 富士山頂と立山の雪が語る地球環境問題:マイクロプラスチック大気汚染の実態	
	大河内博, 原知菜美, 谷悠人, 小野塚洋介, 王一澤, 速水洋(早稲田大学), 竹内政樹(徳島大学), 反町篤行(東洋大学), 加藤俊吾(東京都立大学), 藤井佑介, 竹中規訓(大阪公立大学), 池盛文数(名古屋市環境科学調査センター), 皆巳幸也, 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), 和田龍一(帝京科学大学), 横山勝丘, 岩崎洋(NPO), 木戸瑞佳, 松本拓朗, 堀圭(富山県環境科学センター), 新居田恭弘(パーキンエルマー合同会社)	
TR06 会場 (P34)	(タイトル) ドローンで雲をつかむ ~雲粒分析による雲成長過程の研究2024~	
	南齋勉, 岡本大地(静岡理科大学)	
TR05 会場 (P36)	(タイトル) 富士山麓太郎坊で測定したエアロゾルは減っているか?	
	三浦和彦(研究センター・東京理科大学), 永野勝裕(東京理科大学), 大河内博, 速水洋(早稲田大学), 加藤俊吾(東京都立大学), 和田龍一(帝京科学大学), 皆巳幸也(石川県立大学), 小林拓(山梨大学), 森樹大(慶應義塾大学), 矢吹正教(京都大学), 岩本洋子(広島大学), 上田紗也子(名古屋大学), 青木一真(富山大学), 鴨川仁(静岡県立大学)	

※ 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

SU21 紙面 (P38)	(タイトル) 富士山科学学校(クラウドファンディングリターン)	
	認定NPO法人富士山測候所を活用する会	

□ 17:00 ~

■ 閉会挨拶 : 皆巳幸也(NPO理事・事務局長、石川県立大学)

富士山頂の2024年夏を気象条件で振り返る

～ どのような条件のもとで夏期観測は行われたのか? ～

皆巳幸也^{1,2}, 鴨川仁^{1,3}, 小柳津由依⁴, 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、前年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。そこで今回は、(一財)WNI気象文化創造センターの助成を受けて、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みました。

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。なお、比較観測の結果については別の発表に譲ります。

2. やっぱり暑かった2024年夏

表1は、東日本の太平洋側における2024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(2023年)には及ばないものの、今回も非常に暑い夏だったことが、気温が「かなり高い」(統計的に上位10分の1)期間の多さから伺えます。その主因が、表のトピックスにあるとおり太平洋高気圧の勢力が強かったことは明らかでしょう。ただ、台風の影響が見られた8月下旬だけは日照時間が「少ない」(統計的に下位3分の1)、また降水量が「かなり多い」結果となりました。

表 1. 東日本の太平洋側における 2024 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	梅雨前線	太平洋高気圧	太平洋高気圧	太平洋高気圧 台風7号	太平洋高気圧 台風10号
気温	かなり高い	平年並み	かなり高い	かなり高い	かなり高い	高い
降水量	少ない	多い	少ない	平年並み	平年並み	かなり多い
日照時間	多い	平年並み	かなり多い	多い	多い	少ない

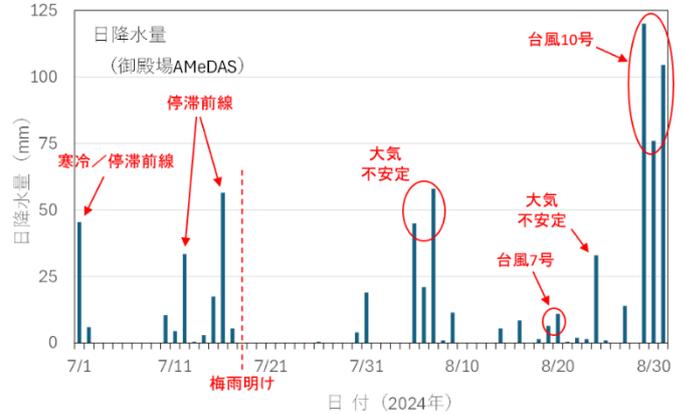


図 1. 御殿場 AMeDAS の日降水量と大雨の要因 (2024年7～8月)

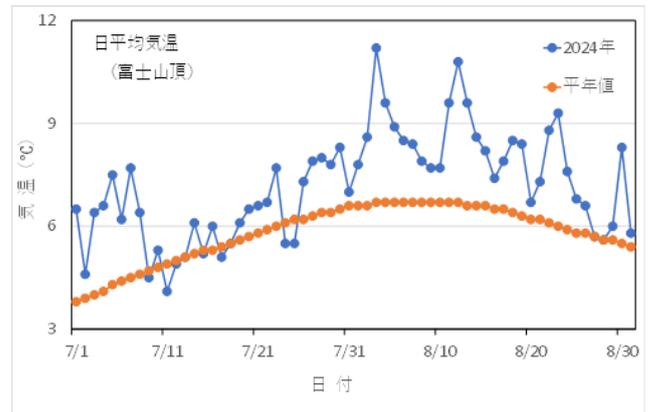


図 2. 富士山頂での日平均気温 (2024年7～8月)

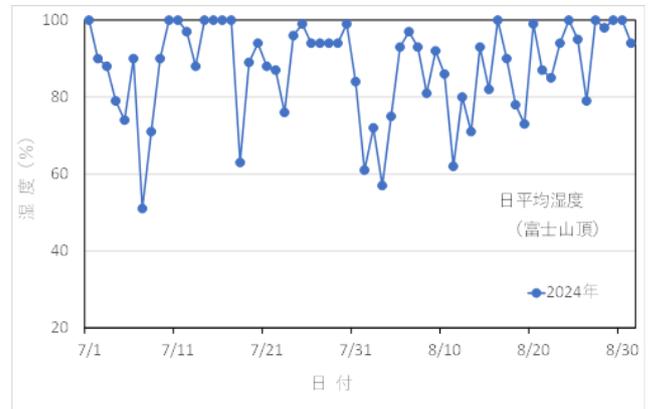


図 3. 富士山頂での日平均湿度 (2024年7～8月)

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

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(前ページ)に示します。8月末には台風10号の影響で大雨となったものの、それまでの間は梅雨期も含めて降水量は少なく、先行する3年間で比べてドライな夏となったようです。

3. でも山頂では様子が違う側面も

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2024年7～8月に観測された気温と湿度を、いずれも日平均値としてそれぞれ図2と図3(前ページ)に示します。

気温は山頂でも総じて高く、平年値を上回る日が殆んどで、特に8月は前年をも上回る高温となりました。一方で、湿度は前年とは違い60%を下回る日が殆んど無く、地上とは反対に

湿った夏だったということができそうです。

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。

ここでは暫定的なものです観測結果の一例を図5に示します。図5は、昨夏にデータが得られた全期間の風速を、1分値の推移として表したものです。

図5では、7/24と8/20に16～17m/秒のピーク(やはり過小評価?)が見られます。いずれの日も、台風や前線などの影響を受けたとは考えにくく、上空に寒気が入ったり地上が高温になったりしたことによる大気不安定で局地的な雨が降ったこととの関連が考えられます。実際の原因については、別の地点で観測した結果とも突き合わせることも含めた今後の課題となりそうです。

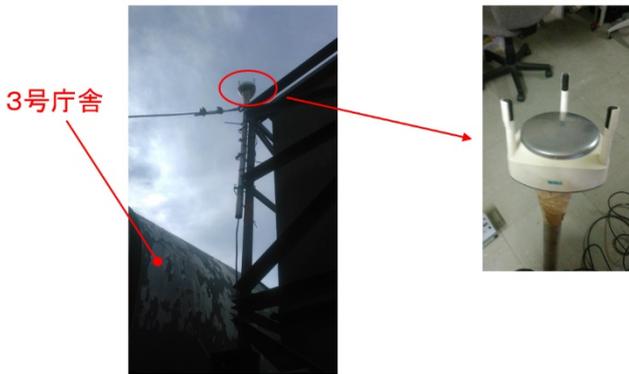


図4. 気象測器の設置風景とセンサー部分の拡大写真

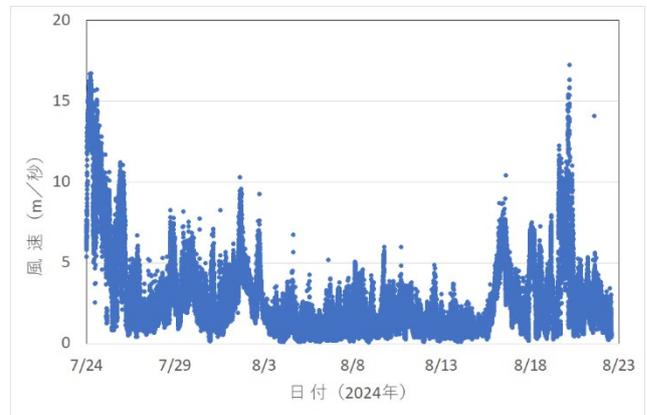


図5. 富士山頂での風速(1分値, 2024年7月24日～8月22日)

2024年夏期の雷観測～次世代型観測を行うための準備報告

鴨川仁¹, 鈴木智幸¹, David Smith², 安本勝³, 村田浩太郎⁴

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. California University Santa Cruz, 3. 認定NPO 法人富士山測候所を活用する会

4. 埼玉環境科学国際センター

1. はじめに

2008年からスタートした富士山山頂での大気電気観測は、宇宙線・放射線観測の補助的な役割として始まったものです。しかし以後の数年の測定の結果、取得されたデータから大気電気研究を進展させる成果も得られました。それゆえ、2012年から大気電気研究は独立したグループとして2023年も観測を行いました。コロナ禍ゆえ夏期観測が中止になった2020年も太郎坊・御殿場などを活用し研究活動を続けました。

2024年でも富士山という場所を活用し大気電気に関連する諸現象の研究の一部を行いました。近年、大気電気・雷チームは次の6のサブテーマ、①被雷対策具体化のために接地系と部材間の接続状況の調査および富士山山体を測定器とした上向き雷の研究、②雷雲・雷活動において発生する高エネルギー放射線、③スプライトをはじめとする高高度大気中における放電現象および雷放電測定、④新型広帯域大気電場測定機器の試験、⑤首都圏極端気象のモニタリング、⑥地吹雪時に発生する大気電場変動を行っています。今年度は、2008年から続く観測形態をアップグレードするために、観測を主体するのではなく、装置のテストなども含めた、次年以降の観測形態の改善を含めました。ただし①については、例年通り行ったため、本講演集の安本勝らの記事を参照してください。⑤については、2篇論文として出版しています。④については2024年では行わず、フィールドミルの設置については、青山シビルエンジニアリングに依頼しました。その報告については、本予稿集の小柳津らを参照してください。

ゆえに、本稿では、②と③についての状況を述べます。

2. 雷起源放射線計測

高エネルギー放射線の3つの形態が雷雨に関連して観測されています。ガンマ線グローは数分以上続くことがあり、負リーダーの先端で発生するX線は、ステップに伴うマイクロ秒のバースト(通常数百keVのエネルギー)、地上ガンマ線フラッシュ(Terrestrial Gamma Flash; TGF)は、グローと同じ高エネルギースペクトル(光子エネルギーは最大40 MeV)を持つが、時間スケールは短い(数十マイクロ秒から約1ミリ秒)。ほとんどのTGFは宇宙から観測されています。しかし、少数の下向きのTGFが地上から観測されており、その多くは日本では冬の中部地方西海岸付近で観測されています。

カリフォルニア大学サンタクルーズ校で作られたガンマ線検出器が我々雷グループによって富士山に配備され、今年

で6シーズン目を迎えました。2つあるセンサーGODOTとTHORのうち2024年はTHORだけを配備しました。同時に、THORの機能を小型化したmini THORを開発しました(図1)。これは次年、併用する予定です。



図1 新規に開発したmini THOR

3. 高高度放電発光現象

雷雲上空で発生する雷放電に起因する放電現象は、高高度放電発光現象と呼ばれています。これまでに、その発生高度、形状、成因等の違いにより、スプライト、エルブス、巨大ジェット、ブルージェット、ブルースターター等がこれまでに発見されています。日本においても、これまで発見された大多数の現象が観測されています。我々のグループでは、富士山山頂から高高度放電発光現象を撮影するため、2012年から3号庁舎外に高感度モノクロCCDカメラを複数台設置し、スプライト、エルブス、巨大ジェットの観測に成功してきました。また、2019年からは、高感度カラーFHD(フルハイビジョン)カメラも導入して観測を実施しており、画像には1ms単位のGPS時刻が挿入されていることから、雷位置標定装置の位置情報及び放電種別等の気象データと比較することで、雷雲がどのような状態のときに発生したのかについて詳細に知ることが

できる態勢が整えられています。しかしこの方法の観測は、運用が難しいため安定した自動観測が困難でした。しかし2024年度に、冬季雷の観測で成功したため(図2)、2025年以降は安定した運用がいのと思われます。

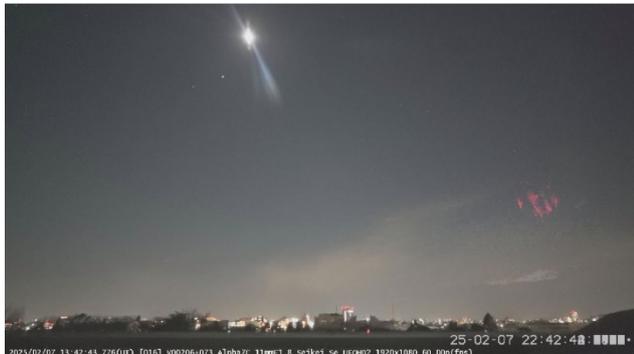


図2 自動観測システムによって撮影された冬季雷

4. おわりに

2024年の夏期観測においては、観測規模を大幅に縮小し次年度に向けた観測をおこいしましたが、準備は順調に行われているため、次年から次世代型の観測形態がとれると考えられます。

山頂ライブカメラ成果～夏期および冬期の動作報告

鴨川仁^{1,2}, 林真彦², 趙泰勇³

1.静岡県立大学, 2.認定NPO法人富士山測候所を活用する会, 3.株式会社 Cho&Company

1. はじめに

様々な研究用途および登山者安全でニーズの高い富士山頂での光学観測を、例年行っている夏期運用のみならず、2022年からは越冬運用の試みを行っています。山頂でのライブカメラ運用は、日本最高地点のライブカメラ運用です。

2. 夏期ライブカメラ

高感度・高機能MORECAブランドのライブカメラ機器を用いて行いました。本研究においては、超高画質ライブカメラの実証実験を東方向に向けて行います。本研究は2019年より行っていますがLTE通信において送受信感度が悪かったため、2022年は、アンテナ感度を上げる改良を行いました。画像は機器内部SDカードにて保存するのみならずリアルタイムでYouTubeにてライブ配信公開しました。2021年においてもYouTubeにて配信を行いましたが大きく宣伝は行いませんでした。2022年以降については、SNS等を使って一般公開を広く周知しました。その結果、YouTubeのチャンネル登録者数は約1ヶ月で1000を超えるまでに至りました。2024年では2500人を超える登録者までに至りました。

2024年の試みでは、御来光など興味深いイベントのみを切り出し、ショート動画としても配信を行っています。イベントを切り出すことで、視聴者から、こちら側も役立つコメントが得られています。

2024年の設置は、例年と同様な1号庁舎屋根となっていたましたが、通信環境が悪く不通となるときが多々ありました。この原因は現時点では解明していませんが、2025年では設置箇所の変更を検討することになりました。

また、2024年の設置では、ほぼ同アングルで青山シビルエンジニアリングもカメラを設置しました。そのため、不通時においても山頂の動画は得られており、このような冗長性も今後の課題となります。

3. 越冬ライブカメラの運用の試み

2022年から、越冬中においても山頂からの定期的な静止画の伝送を目指すため、エヌエスティグローバリスト社製のプライベートLoRaで通信を行う静止画撮影カメラシステム「SR-PicSen」を導入し、山頂運用に改良したのち、2022年8月下旬山頂1号庁舎2階南東窓に子局(映像送信側、図1)、2022年11月に御殿場観測点に親局(映像受信側)を設置し、双方向の通信を行いました。プライベートLoRaはLPWA通信の無線通信規格ですが、電波の送信出力は携帯電話の通信のように

大きくないため、山頂と御殿場間で通信が行えるかが最も大きな課題でした。しかし2022、2023、2024年ともに7、8月では通信ができていたことから(図2)、バッテリー運用条件や太陽光パネルの追加など電源部の修正で、10月あたりでの通信ができなくなる問題を対応していました。2024年については考えつくあらゆる手立ては行ったものの、9月ぐらいから急激に通信環境が悪くなったため、2025年は通信の場所を変えることを検討しています。

以前、静岡県立大学の湯瀬らによって、LPWA通信のテストを山頂から行いましたが、そのときは西側窓から静岡県島田市方向の通信を行って成功しているため、次年は過去の経験に基づき通信経路を変更することを検討しています。

なお本研究はYahoo!基金の助成によって行われました。



図1 山頂の設置したカメラと画像取得方向
(撮影はiPhoneによる)



図2 LPWA通信によって取得でできた画像の一例
図1と比較してもそれなりの画質が得られています

2024年夏期富士山の雷現象により富士山体接地線に流れた電流の特徴

○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, 3.弘前大学, 4. 核融合科学研究所

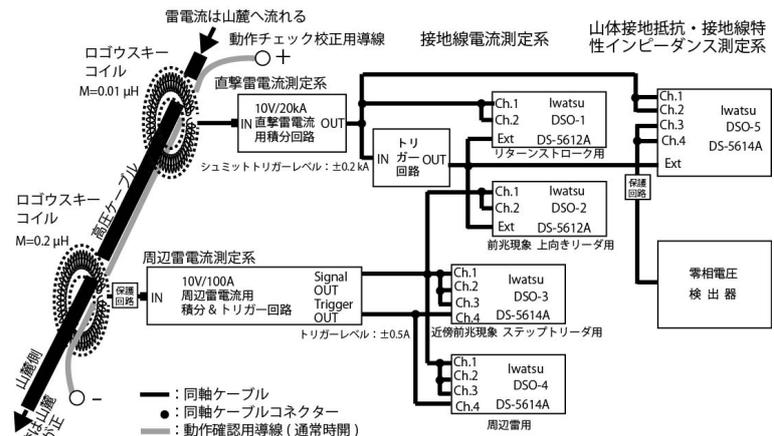
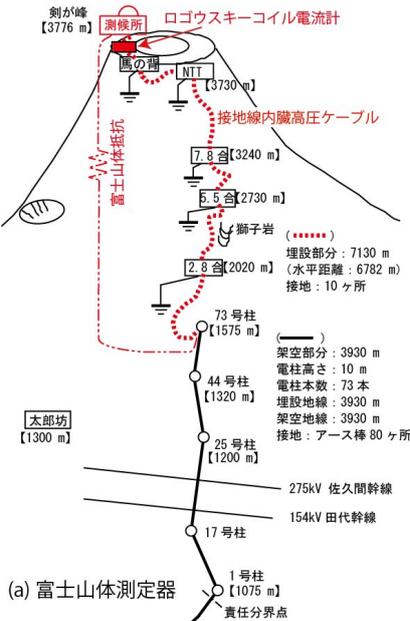
1. はじめに

2012年より接地線電流測定による雷現象観測を行っています。当初は直撃雷で接地線に流れる電流を対象としましたが直撃雷以外の富士山の特徴的な雷現象でも接地線に電流を流していることがわかり、それぞれの現象に相応しい測定条件が得られるように測定回路の改良を行ってきました¹⁾⁹⁾。接地線に電流を流す現象は、対地雷で①直撃雷電流、②測候所電極捕集電流、及び③山麓被雷による逆流電流、対地雷以外で④周辺の落雷による電磁誘導による電流、及び⑤雷雲による測候所静電誘導電荷変化による電流があります。2024年は接地線電流測定だけでなく、接地線に電流が流れた時の測候所の対山麓電位を測定しました。

これを可能にすることで対地雷による測候所電圧を知ることができ、接地線電流は測定できるので、測候所直撃雷の場合、測候所対山麓電位を接地線電流で除すことで接地線のサージインピーダンスを測定できます。また山麓側被雷時に測定した測候所対山麓電位を同時に測定した山麓からの接地線の逆流電流で除すことで富士山測候所の接地抵抗を知ることができます。

本報告は、2024年夏期雷現象観測で得られた、測候所電極接地線サージインピーダンス、富士山測候所の特徴的な雷現象と考えられる測候所小電流直撃雷、周辺雷・測候所近傍雷雲内放電、及び雷測定数度分布について報告します。

図1は2024年観測に使用した測定系です。



(b) 2024年度富士山測候所接地線電流と山体接地抵抗・接地線特性インピーダンスの測定系

図1 富士山体を測定器にした雷現象測定系

2. 測定

2.1 雷現象により流れる接地線電流

図2に本測定系で測定可能な雷現象を示しました。雷現象により山麓に繋がる測候所接地線に流れる対地電流は、①測候所直撃雷電流、②測候所電極捕集電流、及び③山麓側被雷により接地線を通して測候所から富士山体に流れる電流です。その他に④周辺落雷電流による電磁誘導で流れる電流、⑤雷雲電荷変化による静電誘導電流があります。測定系は以上の雷現象の複数が測定時間内でほぼ同時に測定でき、正確な雷現象の解明が可能です。

接地線電流はログウスキーコイル電流計で測定し、5系統の測定系で、測定する雷現象により流れる接地線電流に合わせて電流測定範囲、測定時間、及びトリガーレベルを決めています。

2024年夏期測定は、サンプリングレイト1GHz/sのデジタルストレージオシロ(以下DSO)を使用し以下の条件で行いました。DSO-1測定系は直撃雷電流測定用です。測定条件は、トリガーレベルは $\pm 200\mu\text{A}$ 、電流測定範囲は $-16\sim+16\text{kA}$ 、測定時間は $-1\sim+1\text{ms}$ 、メモリー長は1kptsです。

DSO-2測定系は上向きリーダ電流測定用です。測定条件はトリガーレベル $\pm 200\mu\text{A}$ 、電流測定範囲は $-80\sim+80\text{A}$ 、測定時間は $-750\sim+250\text{ms}$ 、メモリー長は1Mptsです。

DSO-3測定系は多重雷・静電誘導電流測定用です。測定

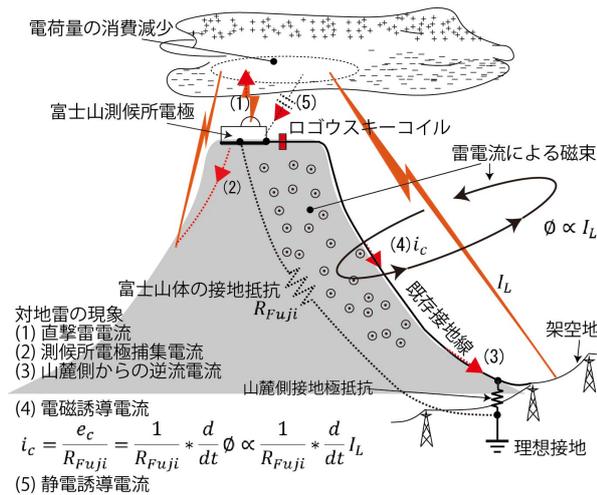


図2 測定可能な雷現象

条件は、トリガーレベルは $|\pm 0.5|A$ 、電流測定範囲は $-80 \sim +80A$ 、測定時間は $-50 \sim +50 ms$ 、メモリー長は $100kpts$ です。

DSO-4測定系は周辺雷による電磁誘導電流測定用です。トリガーレベルは $|\pm 0.5| A$ 、電流測定範囲は $-80 \sim +80A$ 、測定時間は $-500 \sim +500 \mu s$ 、メモリー長は $1kpts$ です。

DSO-5測定系は接地線電流と測候所対山麓電位測定用で、測候所接地抵抗、及び接地線サージインピーダンス測定用です。測定条件は、トリガーレベルは $|\pm 200| A$ 、電流測定範囲は $-16 \sim +16 kA$ 、測候所電圧測定系の電圧測定範囲は $-8 \sim +8kV$ 、測定時間は $-1 \sim +1ms$ 、メモリー長は $1kpts$ です。

雷現象測定は図1に示すように富士山体を測定器にして測

定したものです。

2.2 電流校正

本測定系の接地線電流は高圧ケーブル内接地線電流を測定しています。併設接地線の電流は測定していません。本来は接地線を1つにして測定すべきですが、高圧ケーブル内接地線電流のみを測定しています。

直撃雷電流に対する高圧ケーブル内接地線電流を求め、両者の比を校正値にする必要がありますが、まだその条件が得られていません。電流は高圧ケーブル内接地線と併設接地線に同じ割合で分流するとして暫定的に2としています。

2.3 DSO測定時刻の校正

DSO-1～5の各DSOの時間校正は、設置前2024年6月20日16:20:00でJSTとの差を0としました。その後測定終了までに6点、GPSカメラによる写真撮影により各DSOの表示時刻とJST時刻の差を知り、2次近似の補正係数から校正値を求めました。マニュアル動作で一致させるためJSTとDSOの時刻確認誤差は $\pm 1 s$ の誤差は見込まれます。

DSOの記録時間はデータ処理が終了した時間です。DSO-1と2と5が同一トリガーで、測定時間とメモリー長はそれぞれ $2ms$ と $1kpts$ 、 $1s$ と $1Mpts$ 、及び $2ms$ と $1kpts$ です。DSO-2のメモリー長の処理時間がかかるため、約 $3s$ の遅れが生じます。

DSO-3と4が同一トリガーで、測定時間とメモリー長はそれぞれ $0.1s$ と $100kpts$ 、及び $1ms$ と $1kpts$ になります。処理時間がメモリー長に比例するとすればDSO-3にはDSO-2の $1/10$ の時間遅れが生じると推測されます。

各図に示した測定表示時刻は、校正されたJST時刻です。

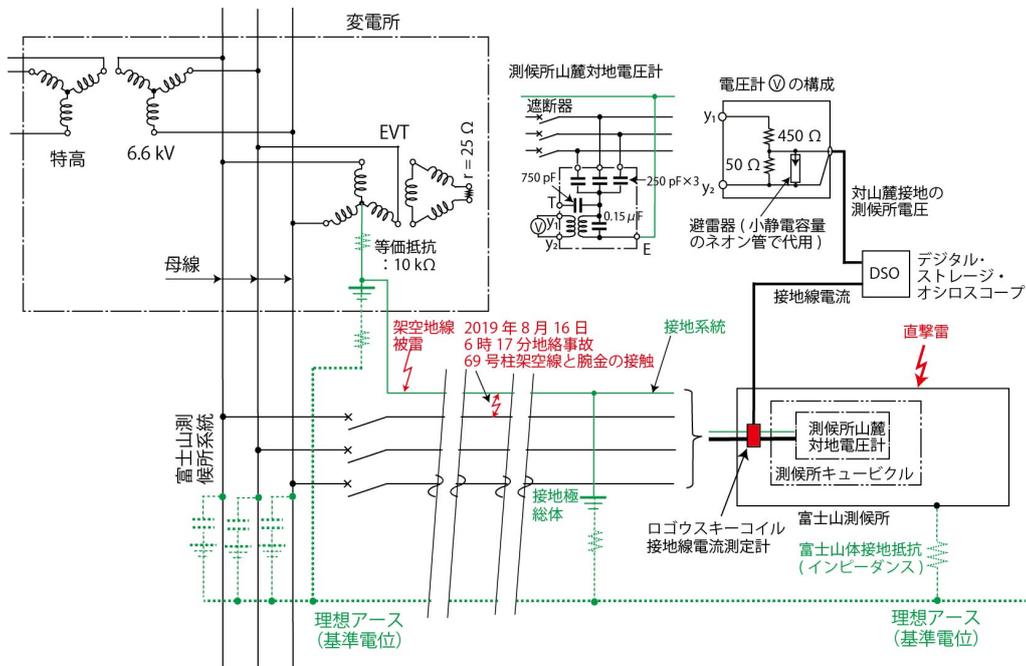


図3 富士山測候所の山体抵抗・接地線特性インピーダンス測定系

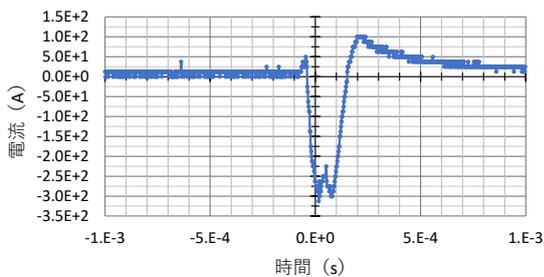
3. 雷現象の測定

3.1 測候所電極接地抵抗、及び接地線のサージインピーダンス評価

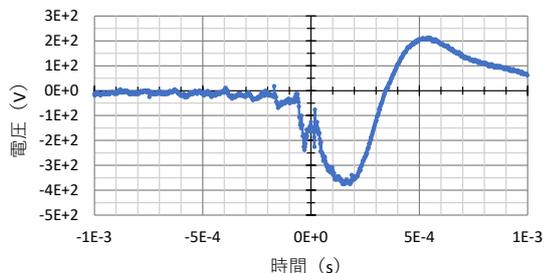
富士山測候所で観測される雷現象を正確に理解する上で測候所の接地抵抗と測候所と山麓を繋ぐ接地線のサージインピーダンスを知ることが必要です。今まで適切な測定方法を見いだせずにいましたが、測候所の引込高压電源の零相電圧が測候所対山麓電位になることに着目し、今夏期の新たな測定には従来の接地線電流測定に加えて図3の測定系で測定可能にしました。この零相電圧測定は当初接地地形計器用変圧器(以下EVT)を使用する予定でしたが、既設設備にコンパクトに実現可能なコンデンサーで分圧する零相計器用変圧器(以下ZPD)を採用しました。

測候所の接地抵抗と接地線のサージインピーダンス両者は、接地線電流と測候所の対山麓電位の測定をすることで可能になります。測候所に直撃雷があり接地線電流と測候所の対山麓電位の両測定ができると接地線のサージインピーダンスを求めることが可能になります。また山麓側に落雷があり測候所で接地線電流と対山麓電位の両測定ができると測候所電極の富士山体抵抗値を求めることが可能になります。

今回の測定期間では直撃雷電流も山麓側被雷による雷電流も観測できませんでした。しかし、8月5日、13:13:28富士吉田登山道9合目で落雷事故がありました。測候所はこの落雷による接地線電流を測候所で捉えていました。接地線電流を流す雷現象は測候所電極捕集電流として捉えていました。図4(a)が観測された接地線に流れた電流です。図4(b)がそ



(a) 観測された高压ケーブル接地線電流



(b) 観測された測候所対山麓電圧

図4 2024/8/5 13:13:28に観測された高压ケーブル接地線電流、及び富士山測候所対山麓電圧

の時観測された測候所の対山麓電位になります。図5は測候所対山麓電位を接地線電流で除したもので接地線のサージインピーダンスに相当します。

富士吉田登山道9合目の落雷事故を測候所電極捕集電流として測定できたことにより、落雷点の対山麓接地抵抗よりも測候所と接地線を経由した対山麓接地抵抗の方が小さい範

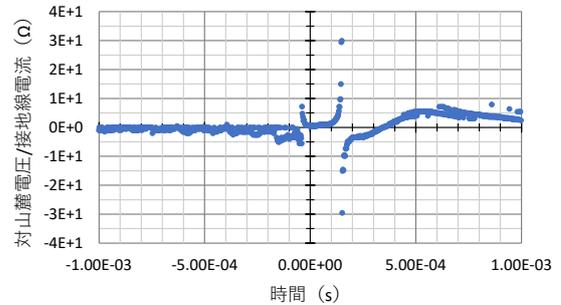


図5 観測された高压ケーブル接地線電流、と富士山測候所対山麓電圧から求めた高压ケーブル内接地線サージインピーダンス

囲で測定可能になるため、富士山山体抵抗は大きく、測候所電極捕集電流は広範囲の山頂落雷電流を測定可能にしていることがわかりました。

3.2 測候所小電流直撃雷

観測例の中に図6-0(a)のBに示す小さな電流(約30A)の正極性下向き雷が観測されました。接地線電流の校正値を2とすると60Aの電流です。直撃雷電流用のDSO-1測定系は一般的に電流が大きくなることからトリガーレベルを ± 200 Aと大きくしたため、小さな直撃雷電流では動作せず捉えることができませんでした。今回DSO-3測定系によりトリガーレベル ± 0.5 A、電流測定-80~80Aで測定できていたことがわかりました。

観測された直撃雷は、正極性下向き雷で、正極性ステップトリーダが観測されました。そのリーダ期間は約13msでした。

図6-0は観測された測候所小電流直撃雷です。図6-0(a)が測定電流全体の観測波形で、図6-0(b)が電流軸を拡大したものです。図中のAがリターンストロークBのステップトリーダです。Cは周辺雷電流の電磁誘導電流が重畳したものです。

図6-1-1、図6-2、図6-3は、図6-0のA、B、及びCの時間軸を拡大したものです。図6-1-1の(a)はステップトリーダAが図に収まる範囲で時間軸を拡大したものです。図6-1-1(b)はリーダの発生個所の時間軸をさらに拡大したものです。図6-1-1(c)はこれを積分したものです。この積分で得られたパルスの極性は全て同一であり同一方向に放電が進展するステップトリーダということになります。リーダがこのパルス時間幅放電し電流が流れる期間になります。谷部時間幅が高密度電荷分布側からリーダへの充電期間になります。図6-1-1(a)のス

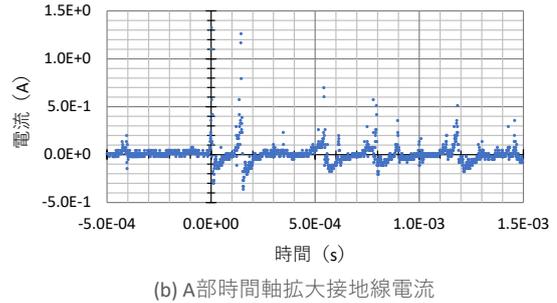
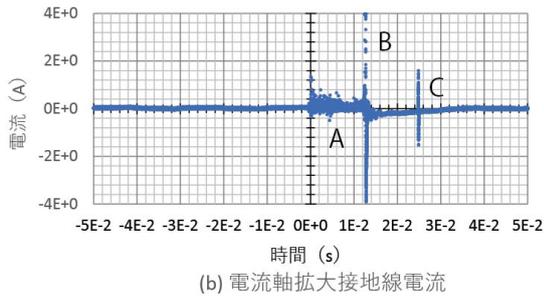
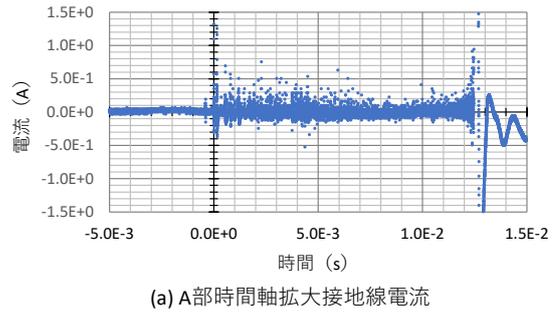
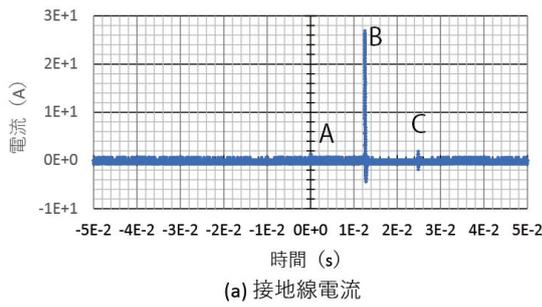


図6-0 2024/8/5 13:17:00に観測された小電流直撃雷電流による高圧ケーブル接地線電流。
(a)の使用データは低分解能のため、ゼロレベルのノイズ幅が大きくなっています

テップトリーダの充放電の繰り返し時間幅は約13msになります。この期間ステップトリーダの充放電が繰り返されていることとなります。ステップトリーダの図6-1-1(c)のパルス電荷量がリーダ電流に比例したものになります。これをさらに積分したものがリーダの帯電荷量に比例したものになります。リーダの単位パルスの電荷量を一定とすれば、パルス数でリターンストロークの中和電荷量を除すことでリーダの単位パルス電荷量を推測できることとなります。例えばステップトリーダのパルス数が43パルス数とするとリターンストローク電荷量は校正値2として0.06Cとして単位パルス当たりの電荷量は約1.4mCになります。各パルス谷最下部に接する線が測候所誘導電荷量変化です。図6-1-2はこのステップトリーダを電気回路的に見た等価回路を示しています。

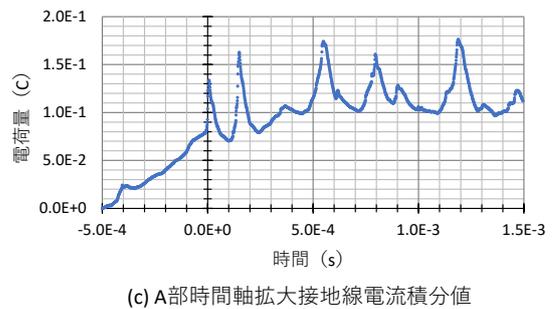


図6-1-1 2024/8/5 13:17:00に観測された高圧ケーブル接地線電流A部電流と積分値

正極性小電流直撃雷の観測結果にはステップトリーダが観測されました。リーダ進展前兆現象の時間は短くリーダ帯電荷量は大きくならず大きな電流が得られなかったと推測されます。

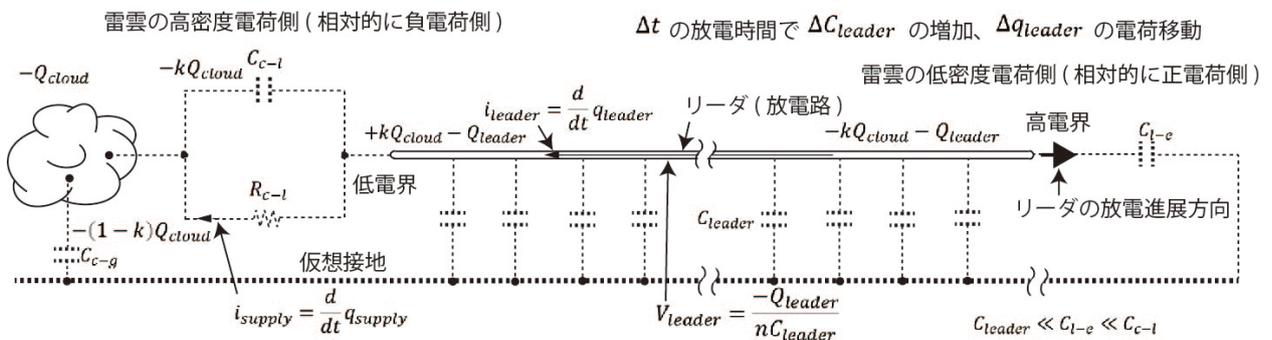
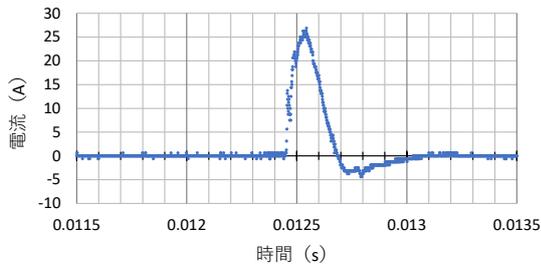


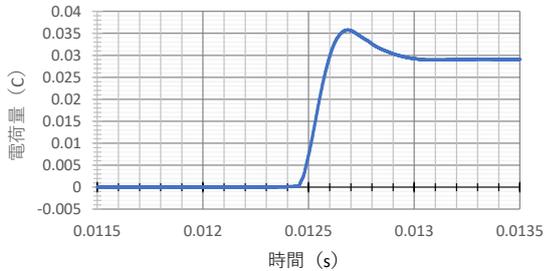
図 6-1-2 負極性ステップトリーダの等価回路

放電路が伸びると放電路の静電容量は増加し、そのため放電路の電圧は小さくなり放電を維持できなくなります。放電が止まると高密度負電荷側から充電され放電路の電圧が回復し大きくなり、放電路高電界部分、一般的に低密度電荷分布側リーダ先端で放電が始まります。ステップリーダは以上が繰り返し生じることになります。

リーダの単位長さ当たりの対地静電容量が同じです。なら



(a) 時間軸拡大接地線電流



(b) 接地線電流積分値

図6-2 2024/8/5 13:17:00に観測された小電流直撃雷高圧ケーブル接地線電流B部電流と積分値

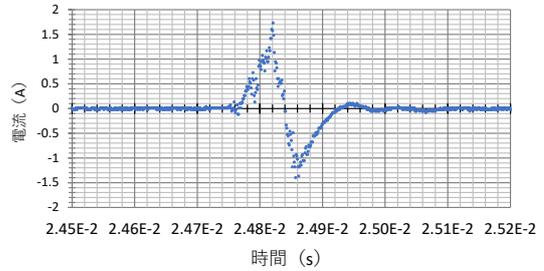
ば、リーダの対地電圧はリーダの帯電荷量を静電容量で除して決まることになります。特に低密度電荷側リーダの先端は高電界になり、そこで放電が発生しリーダが伸びるとリーダの静電容量は大きくなります。このことでリーダの電圧は低下し放電は維持できなくなり放電は止まります。もう一方のリーダ先端になります。高密度電荷側からはリーダに電荷補給され、リーダの帯電荷量は大きくなり、リーダ電圧は回復します。低密度側のリーダ先端の電界は誘導電荷から高密度側よりも大きくなります。そのため、低密度側で放電が再発しリーダ放電路は伸びていきます。雷雲が測候所に近くリーダ長が大きくなるためリーダの帯電荷量が大きくなり小さな直撃雷電流になったものと推測されます。

リーダは電荷補給が十分で途切れることが無ければ、連続になると推測されます。しかし、その条件が得られない場合、ステップリーダが観測されると推測されます。下向きリーダは、この条件が満たされない場合が多く、一方、上向きリーダは満たされます。場合が多いと考えています。

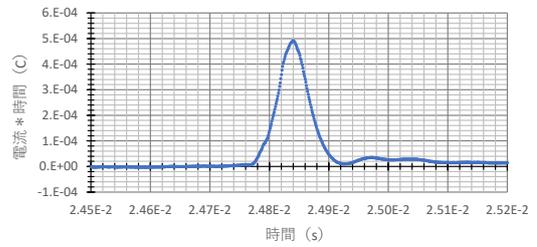
図6-2(a)は時間軸を拡大した正極性の下向きの小電流直

撃雷による接地線電流で、図6-2(b)がその積分値です。電流校正値を用いて、電荷量にして0.06Cです。この電荷量はリターンストローク時リーダの帯電荷量になります。

接地線電流Cの図6-3(a)は積分することで図6-3(b)のように電荷量は0になります。ことから周辺雷電流が作る電磁束による電磁誘導電流に起因する接地線電流が重畳した電流であることがわかります。



(a) オフセット除去後C部時間拡大接地線電流



(b) オフセット除去後C部時間軸拡大接地線電流積分値

図6-3 2024/8/5 13:17:00に観測された小電流直撃雷高圧ケーブル接地線電流C部電流と積分値

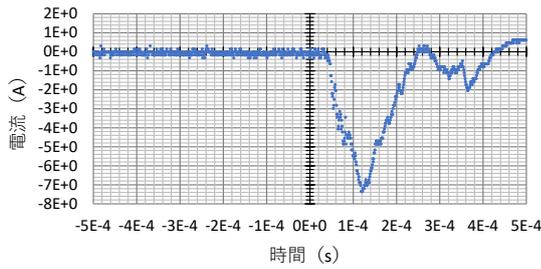
3.3 周辺雷及び測候所近傍雷雲内放電

(1) 単発リーダ直撃雷

前兆現象のリーダが観測されない接地線電流が-7Aの小さな単発の直撃雷が観測されました。図7に示すものです。積分値は0にならず周辺雷の電磁誘導電流ではなく負極性の小電流直撃雷です。この電流パルスにステップリーダは見えず、この電流パルスが単発の大きなリーダ電流と考えられます。測候所が3776mの高さにあり、雷雲近くで高電界が得られ易いことで生じていると推測されます。

(2) マイクロリーダの電磁誘導電流

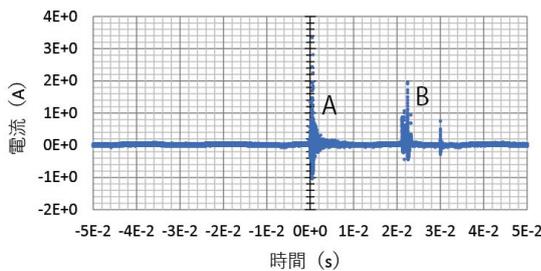
測候所が雷雲に覆われる状態があり、雷雲内では局部的高電界が多数生じ多数のマイクロリーダ（初期のリーダをマイクロリーダとした）が生じていると推測されます。周辺雷の電磁誘導による接地線電流だけでなくマイクロリーダによる電磁誘導による接地線電流が多数観測されています。発生したリーダは成長し雷放電になりるか、消滅することになります。



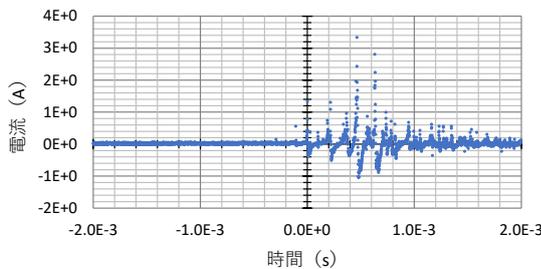
2024/8/5 13:01:22接地線電流

図7 測候所負極性小電流直撃雷時の高压ケーブル接地線電流

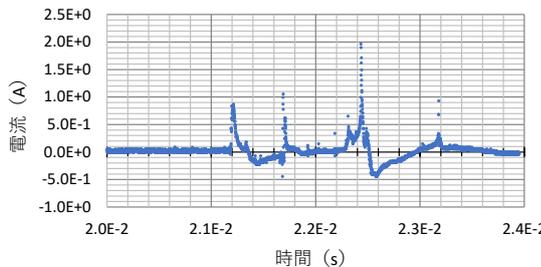
図8は観測された成長できずに消滅するステップリーダです。気流変化により極性も含めた電荷密度差変化が大きくなることで生じる局所的な高電界により放電が始まります。図8(a)のAの時間軸を拡大したものが図8(b)になり、図8(a)のBの時間軸を拡大したものが図8(c)になります。



(a) 2024/8/5 13:23:43接地線電流



(b) A部時間軸拡大接地線電流



(c) B部時間軸拡大接地線電流

図8 2024/8/5 13:23:43に観測された高压ケーブル接地線電流

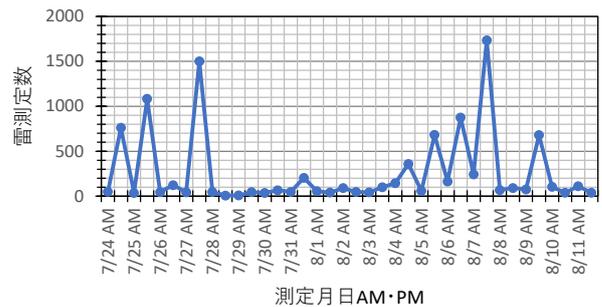
このように成長できずに消滅するステップリーダが多数存在します。

3.4 2024年夏期の半日ごとの雷測定数の度数分布

パルスの計数条件はトリガー電流絶対値で0.5A以上です。デッドタイムによる測定数減は無視できるとして考慮していません。

昨年度富士山測候所で観測した落雷数は午前、午後の半日ごとに計数しました。その結果、午後(以下PM)に増加している傾向が得られました。今後の観測で一般的なものかどうか注意して観測する必要があります。

周辺雷だけでなく雷雲近くであるということでも雷雲中に発生しているマイクロリーダも観測していると考えられます。多数のマイクロリーダが発生する雷雲中、あるいは測候所近くでは落雷で生じる時と類似の電磁場環境が生じていることが予測されます。雷とその影響による被観察現象の相関がわかるようにする必要があります。そのため、接地線にある一定以上の電流を流すことになります。雷現象を計数する計数率計を追加して設ける必要があります。



2024年夏期の半日ごとの雷測定数の度数分布

図9 2024年夏期の半日ごとの雷測定数の度数分布

4. おわりに

2024年の観測結果は以下のようにまとめられます。

- (1) 測候所は3776mの富士山山頂にあることで、雷雲近くでの雷現象が観測可能な条件が得られます。雷雲内の雷現象の測定が可能になっています。
- (2) 雷現象はリーダを導線として電気回路的に見ることによって解析説明できます。例えば、ステップリーダの進展メカニズムを明らかにでき、リーダの帯電荷がリターンストロークの電流になることを示しました。
- (3) 2024年より測候所対山麓電位測定を可能にしました。接地線電流測定は可能であり、測候所直撃雷による対山麓電位を測候所接地線電流で除すことで接地線のサージインピーダンス測定が、山麓側落雷による対山麓電位を山麓側落雷による逆流電流で除すことで測候所の対地抵抗の測定が可能になります。
- (4) 正極性下向きの測候所小電流直撃雷が観測された。前兆現象です。ステップリーダも観測され、そのメカニズムを

明らかにしました。小電流直撃雷は、雷雲が測候所近くで、リーダが短くリーダの帯電荷量は大きくならず小電流直撃雷になると推測されます。

(5) 周辺雷だけでなく雷雲内部で成長できずに消滅する多数のリーダ、即ちマイクロリーダが観測されました。この測候所近傍雷雲内は落雷放電電磁場環境が生じていると推測されます。

(6) 2024年夏期半日ごとの雷測定頻度変化から、落雷頻度は午後に増加する傾向が見られました。

(7) 雷現象の計数率測定を可能にすることで、雷現象に係る被観察現象との相関がわかるようになります。

5. 謝辞

資料や情報提供等で調査にご協力頂いた東京管区気象台の各氏、雷観測にご協力頂いたNPO法人富士山測候所を活用する会の岩崎洋、大胡田智寿、山頂班および事務局員の方々、さらにDSO使用でご支援いただいた岩通計測、測候所電圧測定方法で助言を頂いた関電工、および落雷情報を提供して頂いた中電CTIのご厚意に感謝します。

なお、この研究は新技術振興渡辺記念会の受託研究費、および(財)トヨタ自動車株式会社のトヨタ環境活動助成プログラム助成「富士山測候所の被雷対策による温室効果ガス常時監視の実現」、JSPS科研費 20H02419、およびWNI気象文化創造センター「富士山体を活用した新しい手法の雷観測」の助成を受けました。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). 富士山測候所雷対策適用上の調査と対策方法. 第5回(平成23年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 26-35.
- 2) 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, 鴨川仁(2013). 富士山測候所の山麓からのケーブルに流れる雷観測電流, 第6回(平成24年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 14-27.
- 3) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2014). 富士山環境下での測候所雷対策と山麓への接地線電流測定の準備, 第7回(平成25年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 4-11.
- 4) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2015). 富士山候所の山麓への接地線電流観測と雷対策, 第8回(平成26年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 19-27.
- 5) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2016). 富士山候所導入高圧ケーブル内接地線電流観測結果と今後の観測方法・雷対策, 第9回(平成27年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 16-25.
- 6) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2017). 今後に求められる測候所接地線の落雷電流観測と雷対策, 第10回(平成28年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 11-20.
- 7) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子 (2018). 富士山測候所の山麓に繋がる既存接地線を用いた雷現象検出器, 第11回(平成29年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 22-30.
- 8) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子 (2019). 富士山体の既存接地線を用いた高感度雷現象検出器の開発, 第12回(平成30年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 20-29.
- 9) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子 (2020). 富士山体表面上接地線電流測定による雷現象観測装置の開発状況, 第13回富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 15-23.
- 10) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子 (2021). 富士山雷観測によるリーダの進展モデル, 第14回富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 26-30.
- 11) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 伊高健治, 鈴木智幸, 林真彦, 土器屋由紀子 (2022). 富士山体を検出器にした2021年夏期の雷現象観測と今後の指針, 第15回富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 29-36.
- 12) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子, 鈴木智幸, 村田浩太郎 (2023). 富士山頂の雷測定で見える雷現象, 第16回富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 21-30.
- 13) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子, 向井啓祐 (2024). 電気回路的に見た富士山測候所接地線電流測定による雷観測結果, 第17回富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 15-23.
- 14) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 大胡田智寿, 土器屋由紀子(2020), 2019年富士山測候所停電時接地線電流, 電気設備学会全国大会, F-11, pp.262-265
- 15) 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
- 16) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子(2022), 富士山体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
- 17) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子(2022), 富士山体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
- 18) 安本勝, 土器屋由紀子, 鴨川仁, 佐々木一哉 (2023), 富士山の雷現象観測から見えるリーダの特徴, 日本大気電気学第101回研究発表会, P1-13
- 19) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子, 鈴木智幸, 向井啓祐, 伊高健治 (2024年9月5日), 電気回路的に見た富士山測候所接地線電流測定による雷現象, 令和6年電力・エネルギー部門大会 9-3 雷観測・雷害対策 51

富士山頂における火山噴出物調査

亀谷伸子, 吉本充宏, 西澤達治, 渡部将太, 藤井敏嗣, 池谷拓馬
山梨県富士山科学研究所 富士山火山防災研究センター

1. はじめに

火山の噴火予測や防災対策は、過去の噴火履歴に基づいています。特に、主要な火口位置の変遷などは中長期的な活動様式の変化を読みとる上で重要です。

筆者らはこれまで、山麓のテフラ層序に基づく過去数千年間の富士山の噴火史の高精度化に取り組んできました。富士山は噴出物の大半が玄武岩質で噴火頻度が高いことから、テフラ層の識別が容易でなく、北東麓と東麓の層序が一致しないなどの問題が生じていました。そこで、新たにトレンチ調査などをおこない、年代測定やテフラ分析を進め、定量的な対比に取り組みました。その結果、北東麓で年代や分布が未詳であったテフラ層を複数確認し、それらを既存研究の分析値と比較したところ、最後の山頂噴火が約2200年前よりも新しい可能性が出てきました(後述)。これを検証するため、本研究では山頂火口周辺に分布する噴出物の調査を実施しました。

2. 噴火史の概略

富士山は10万年前から現在まで活動しており、3つの活動期に区分されています。約10万～17000年前が星山期、約17000～8000年前が富士宮期、約8000年前～現在が須走期です。須走期はさらに細分され、約8000～5600年前が須走a期、約5600～3500年前が須走b期、約3500～2200年前が須走c期、約2200年前以降が須走d期です。この中で大きな特徴の一つは、須走c期と須走d期の境界である約2200年前の前後で、山頂・山腹両方での噴火活動から山腹噴火を主体とする活動に変化したことです。

約2200年前の噴出物は、山頂火口周辺の「剣ヶ峰噴出物¹⁾」であり、これに対応する山麓のテフラ層は「湯船第2スコリア層²⁾」とされています。

3. これまでの研究と課題

山麓のテフラ層の調査の結果、約2200～1000年前の期間に、湯船第2スコリア層を含む比較的厚いテフラ層が4枚認められます。これらの全岩化学組成を既存研究の剣ヶ峰噴出物の報告値³⁾と比較したところ、組成範囲が重複しており、最後の山頂噴火が約2200年前より後にも生じていた可能性が示唆されました。しかし、比較に用いたのは異なる研究機関で分析され、試料調整や検量線なども異なるデータであるため、特に富士山のようにほぼ玄武岩質の噴出物を比較する際には注意が必要です。そこで、同じ工程で処理・分析されたデータ同士で比較することが望ましいと考えられます。

4. 調査結果

2024年7月29～30日および8月19～21日に地質調査を実施しました。山頂火口上にある剣ヶ峰、白山岳、小内院および伊豆岳周辺の17箇所噴出物の記載と採取を行いました。

剣ヶ峰周辺では、剣ヶ峰噴出物が弱～強溶結したアグルチネートとして3～4つのユニットに分かれて堆積している様子を確認できました。弱溶結のユニットは赤褐色のスパターやスコリアからなり、強溶結のユニットは灰色で塊状溶岩のような見た目をしています。ユニット境界が明瞭なことから、各ユニット間には時間間隙があったことが示唆されます。伊豆岳周辺では、赤褐色～黒灰色でスパターやスコリアが主体の剣ヶ峰噴出物が、下位の大きな火山弾に富む荒巻噴出物を覆っている様子を確認できました。

これら調査により採取した試料を分析し、山麓のデータと比較することで、最後の山頂噴火がいつ起きたのか？を検証できると期待されます。

5. おわりに

今回の地質調査により、山麓のテフラ層と比較検討するための山頂火口周辺の噴出物試料を採取することができました。現在これらの化学分析等を進めています。

参考文献

- 1) 高田亮, 山元孝広, 石塚吉浩, 中野俊 (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) 宮地直道, 鈴木茂 (1986). 富士山東麓, 大沼藍沢湖成層のテフラ層序と花粉分析. 第四紀研究, 25(3), 225-233.
- 3) 山元孝広, 中野俊, 石塚吉浩, 高田亮 (2020). 新期富士火山降下火砕物の層厚, 平均最大粒径, 最小体積及び化学組成. 地質調査総合センター研究資料集, no.702.
- 4) 高橋正樹, 小見波正修, 根本靖彦, 長谷川有希絵, 長井匡, 田中英正, 西直人, 安井真也 (2003). 富士火山噴出物の全岩化学組成—分析データ847個の総括—. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 38, 117-166.

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。

富士山太郎坊で実施している宇宙線ミュオンラジオグラフィについて

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ました。

宇宙線ミュオンといえば、ピラミッドなどの内部構造の透視実験が有名です。そのフラックスは天頂方向が強く、水平方向では3桁程落ちます。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ました^{1,2)}。田中宏幸らは大々的な火山研究を進めてきています。

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す。当開発研究は防災のみならず、学術的意義にも富んでいます。



図1 観測装置の構成(外観写真)

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す。宇宙から降り注ぐ主に高エネルギー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ます。ミュオンの寿命は $2.2\mu\text{sec}$ ですが、ほぼ光速で飛来するため相対論効果で寿命が延び、地上まで到達できます。運動エネルギーは、GeV~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します。

観測装置の外観写真を図1に示す。宇宙線ミュオンはシンチレーションカウンタ(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)で検出します。このカウンタを縦横それぞれ30本ずつ配置した30x30ア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ます(図2)。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します。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ます。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のを用います。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、方角には10%以下しか依存しないためです。

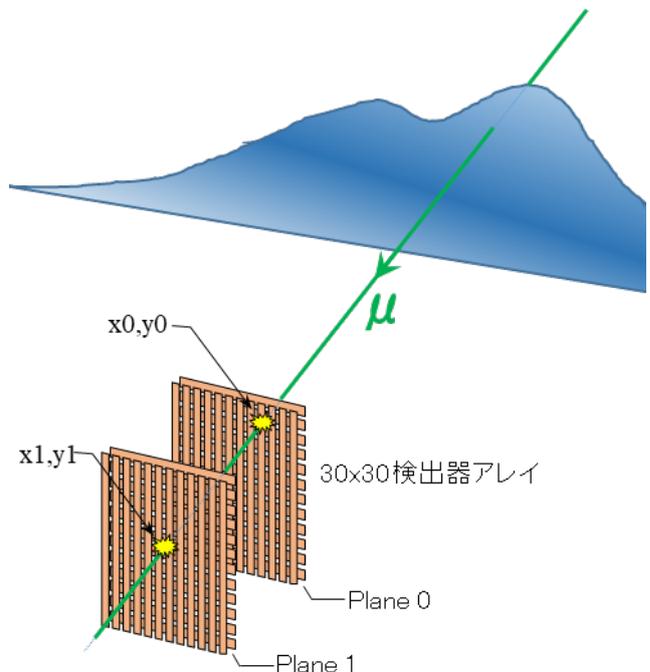


図2 宇宙線ミュオンによる富士山透過計測の概略図

3. 観測経過と問題点

図3に透過画像の例を示します。これを別途計算した岩石における宇宙線ミュオンの減衰特性を参照し密度長に変換、地形データから算出した山体透過距離で密度長を除することでミュオン経路上の平均密度を算出します。

現在直面している問題点は、宇宙線ミュオン観測から算出される富士山の密度が $0.1\text{g}/\text{cm}^2$ を下回っていることにあります。我々の判断は、これを正しい結果としていません。伝聞によれば、胆振東部地震(2018年9月)において発生した大規模な斜面崩壊の場所の密度は $0.5\text{g}/\text{cm}^2$ 程度であったため、



図3 透過画像: 鉄 20cm 2面測定

1g/cm²を下回ることはあり得ると考えられますが、本研究の値はさらに低いです。

密度が低く見積もられることは、観測装置内に過剰なイベントが発生していること、換言すると想定される富士山を透過するミュオン数よりも多く計数していることに帰着します。つまりバックグラウンドが高いことを意味しています。これがこの手法における富士山固有の問題点です。

バックグラウンドの要因は、①ソフトコンポーネントの検出、②アクシデンタルイベント等が考えられます。

前者①は、高エネルギーの電子やガンマ線などであり、鉄散乱体を配置することで軽減できます。鉄散乱体中をミュオンは通過しますが、ソフトコンポーネントは後方に粒子線シャワーを多重発生する性質があるため、検出器アレイが同時に多数個の粒子を検出した場合は、これを除外するロジックを組むことでこのイベントを除外できます。本研究はこれまで、鉄散乱体の厚さを0cm, 10cm, 20cm, 38cmと変えながら測定しました。

後者②は、2個のミュオンがそれぞれ同時にPlane0とPlane1に飛来し、あたかも水平に飛来したように検出される現象のことです。天頂方向から飛来するミュオンは水平方向からに対して3桁ほどレートが高いため、長時間計測するとある程度のイベント数となります。これについては、中間にPlane2を増設することで解決を目指しています。Plane0とPlane1の2面に偶然検出される確率よりも、3面に偶然検出される確率が3桁以上低くなるためです。

Plane2は2023年9月に設置しましたが、感度調整などにより2024年11月からの本格測定となりました。現在は統計を上げている最中です。

4. 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ます。中間鉄散乱体の増設や、検出器Plane2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ります。今後はPlane2の統計を上げて観測を続け、内部構造の検出を目指します。

5. 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。

6. 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. 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.

【要約版】「イマフジ。」プロジェクトの挑戦 -我々は富士山の気象状況把握にどこまで迫れるか-

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. はじめに

2024年, 認定NPO法人富士山測候所を活用する会(以下, 「NPO」)第17回成果報告会(以下, 「前報告会」)において, 2023年開山期間に我々が「イマフジ。」プロジェクトと称して山頂および各登山道の合計8地点で行った気象観測結果(以下, 「ACEデータ」)を報告しました。また, 同時にNPOが夏期に観測している富士山頂の気象データ(以下, 「富士山頂NPOデータ」), 富士山及び御殿場AMeDASデータ, 河口湖ウインドプロファイラデータ(以下「河口湖WINDASデータ」)との比較も行いました。この結果, 富士山の気象状況は地域差があり, 複雑であると同時に観測条件の制約などから, 信頼できるデータの取得の難しさが浮き彫りになりました¹⁾。

2024年開山期間には観測点を増やし合計11地点で気象観測を行い開山期における富士山の気象状況の把握や情報提供に努めるとともに, 2023年で見られた傾向が2024年でも見られるのか, さらに, 前報告で課題としていた降水量の検証やXRAINデータとの比較を行い, 安全登山および富士山の気象状況把握に資するデータを取得するための課題について検討しました。

尚, 本稿は要約版です。完全版は以下からご一読ください。



2. 使用データ

①ACEデータ:

富士山頂(旧測候所1号庁舎(2023), 4号庁舎(2024)), 富士宮ルート, 御殿場ルート, 須走ルート及び吉田ルートの11地点で気温, 湿度, 降水量, 風向風速, 大気圧等を観測

②NPOデータ:

旧測候所3号庁舎で降水量, 風向風速を観測

③富士山AMeDAS: 気温, 湿度, 大気圧

④御殿場AMeDAS: 気温, 風向風速, 降水量

⑤XRAIN: 富士山周辺の降雨強度データ

⑥河口湖WINDAS: 風向風速データ

3. 富士山周辺の気候傾向

近年, 富士山周辺の気温は平年値よりも高くなってきており(完全版表1参照), 地表面が暖められ, 積乱雲の発生が多く

なり, 落雷の危険性が高まっています²⁾。また, 2022年以降, 8月中旬以降の総降水量が平年の3倍以上となり, 登山者にとって厳しい気象環境が続いています。

4. 気象データの比較検討

4-1. 富士山頂データ比較

2023年開山期に顕著な違いが見られた降水量と風速について, 2024年のデータと比較を実施し, 降水量はXRAINデータと, 風向・風速は河口湖WINDASデータと照合し分析を行いました。

① 降水量の比較

2023年と2024年の降水量データを比較したところ, 富士山頂ACEデータはNPOデータよりも降水量が大きめに測定される傾向がみられました(図1参照)。XRAINとの比較では, NPOデータのほうがXRAINと強い相関を示し(図2及び図3参照), ACEデータはより強い降水を観測する傾向がありました。また, XRAINの降雨強度はNPOデータに近く, ACEの測定値より小さい傾向がありました。

② 風速・風向の比較

2023年と2024年のデータを比較すると, ACEの風速はNPOよりも大きめに観測される傾向は変わりませんでした(図4参照), 2024年はNPOとACEの差が縮まりました。

風向については, ACEデータは特定の風向に偏る傾向があり, これは観測機器の設置環境の影響と考えられます(図5参照)。

4-2. 全観測地点での降水量比較

① 降水量

2023年・2024年のACE全地点および富士山頂NPOデータとXRAINの相関を比較した結果, 御殿場口新5合目・御殿場口1合目・須走口5合目・須走口1合目・富士山頂NPOデータはXRAINと強い相関を示しました。一方, 吉田口1合目・吉田口5合目・吉田口8合目・御殿場7合4勺・須走口8合目・富士宮口6合目・富士山頂ACEでは相関が弱く, XRAINの降雨強度が低めに出る傾向が見られました。相関係数は2023年と2024年で似た傾向を示しました(完全版図17から図33参照)。

・富士山頂ではACEよりNPOデータのほうがXRAINとの相関が良好であり, ACEの降水量が大きめに測定される影響が表れていると考えられます。

・御殿場口新5合目の相関が最も高かったです(図6参照)。ここでは検定品の転倒ます型雨量計を使用しており、一方、標高の高い地点では非検定品の雨粒衝撃式雨量計を使用していることから機器の違いや、風速・風向の影響が相関に影響を与えている可能性があります。

・今回、XRAINデータはデータ量の関係から富士山頂ACEで降水を観測した時刻に絞って抽出しているため、他の地点、特に山頂から離れた地点では強降雨観測時のデータが漏れた可能性があります。一地点でも降水を観測した時刻についてXRAINデータを抽出したうえで比較を行うことが必要かもしれません。今後の課題とします。

・XRAINデータにおける富士山の山体の影響による遮蔽域の存在、豪雨時の欠測または降雨減衰の影響等も考えられます^{3), 4)}。今後、Cバンド等のXRAIN以外のレーダ情報を用いて、検証を実施したいと思います。

② 風向風速

(1) 河口湖WINDASデータの欠損率

ウィンドプロファイラは大気が乾燥しているとデータが取得されにくく、欠損値が生じることがあります。2023年・2024年の開山期間中、河口湖WINDASのデータの64%が欠損・不良値であり、正常値は36%にとどまりました。標高1,151mでは正常値が約5%と低く、最も高い正常値の割合は2023年が2,608m(約50%)、2024年が3,189m(約50%)でした。富士山頂に最も近い標高3,771mの正常値は40%弱であり、全体の2/3が欠損・不良値となる結果でした(表1参照)。

(2) 富士山頂ACEの実測値との比較

河口湖WINDAS(標高3,771m)のデータが欠損・不良の際、富士山頂ACEの風速は通常より弱く観測される傾向がありました(表2参照)。しかし、WINDASのデータが欠損・不良を示している間も、富士山頂ACEでは10m/s以上の風速が10~15%の時間で観測されていました。これは、WINDASの欠損期間中も実際には強風が吹く場合もあることを示唆しており、地表での風速測定が重要です。

(3) ACE全地点・富士山頂NPOデータと河口湖WINDASの相関

風速観測地点の標高が高くなるとWINDASデータで比較的相関の良いデータの観測標高も高くなる傾向がありますが、特に2024年のデータでは地点により相関のレベルにばらつきがみられます(表3参照)。河口湖WINDASのデータのみでは、富士山各地の風速状況を正確に把握するのは難しいです。観測地点とWINDASの相関の違いは、観測条件や地形の影響を受けている可能性があるため、今後も精度検証が必要です。

5. まとめと今後の課題

富士山の気象観測は、標高や地形、風の影響によりデータ取得が困難であることが改めて確認されました。特に降水量・

風向風速の観測結果の違いは、以下の要因によると考えられます。

・観測環境の影響

建物の影響を受けにくい観測地点の選定が必要です。

・観測機器の違い

検定品・非検定品の雨量計・風向風速計を並列設置し、誤差を検証します。

・XRAIN以外のデータ検証します。

Cバンドレーダーや他のデータを用いて、降水データの検証を図ります。

・強風下での降水量測定の課題

風速が強い環境では雨粒が飛ばされる影響を考慮し、側面からの降水も精度よく測定できるような改良型雨量計を設置し比較を行うなど、強風下での降水量測定精度の向上に努めます。

富士山登山の安全確保のため、今後も気象観測の精度向上と情報提供を進めていきます。

謝辞

「イマフジ。」プロジェクトは静岡県から富士山での気象観測が登山者の安全対策に役立つと採択され、富士山後世継承事業費補助金の支援を受けています。

参考文献

- 1) 小柳津由依, 柴崎俊明, (2024), 「イマフジ。」プロジェクトによる富士山気象観測の試み -富士登山の安全のために-, 認定NPO富士山測候所を活用する会第17回成果報告会講演予稿集, 37-46.
- 2) 青山シビルエンジニアリング, (2024), イマフジ富士山雷レポート①【富士山周辺登山期の年ごとの雷発生傾向】, イマフジ。-今の富士山の気象を知るウェブサイト
- 3) 北平地正太, チョー・ダンダ・ニュン, 椿涼太, 河原能久 (2014) XRAIN雨量データの特性分析, 公益社団法人土木学会
- 4) 国土交通省, XRAINの特徴
<https://www.mlit.go.jp/common/001010011.pdf>



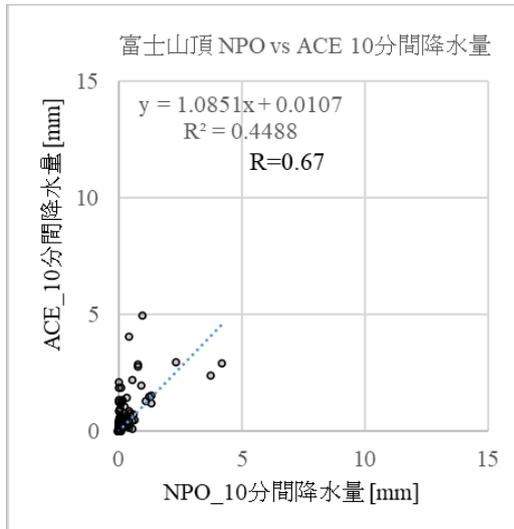


図1. 富士山頂NPOとACEの10分間降水量比較

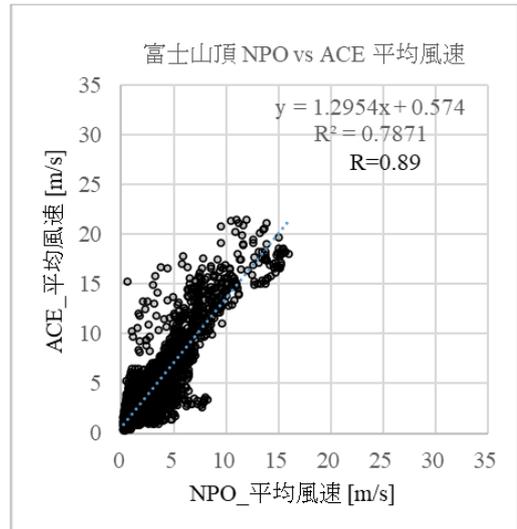


図4. 富士山頂NPOとACEの10分間平均風速比較

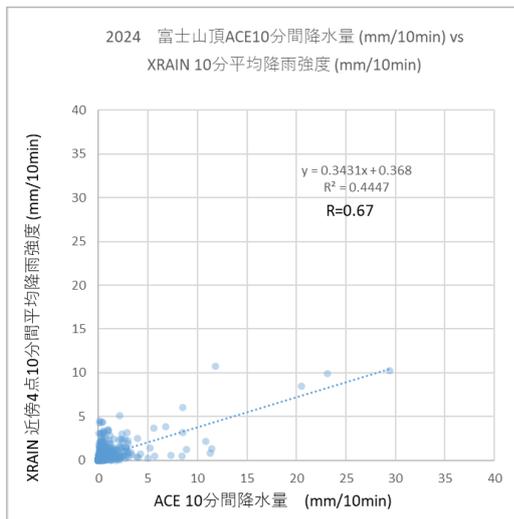


図2. 2024年富士山頂 ACEとXRAIN

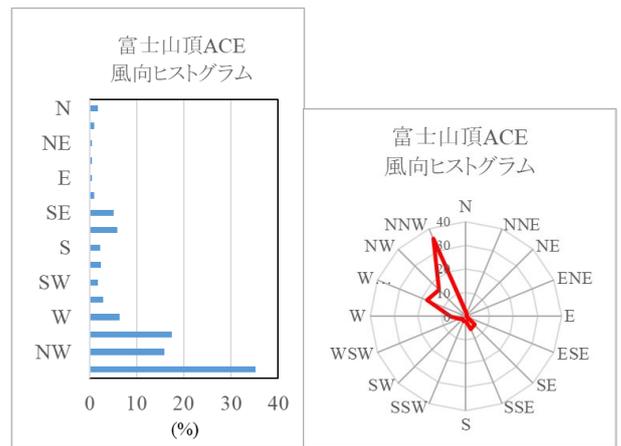


図5. 2024年富士山頂 ACE 風向ヒストグラム

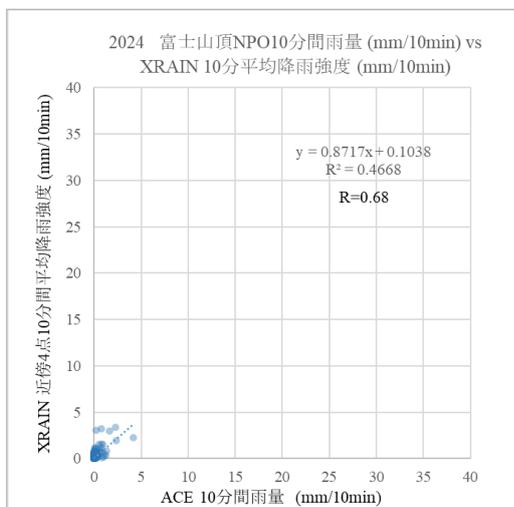


図3. 2024年富士山頂 NPOとXRAIN

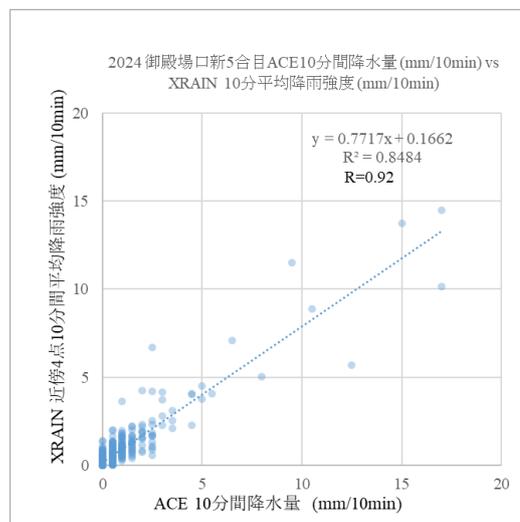


図6. 2024年御殿場口新5合目 ACEとXRAIN

表 1. 2024 年河口湖 WINDAS の観測海拔高度ごとの「正常値」および「欠損・不良値」の割合

観測海拔高度(m)	「正常値」数		「欠損・不良値」数		合計	
	サンプル数	(%)	サンプル数	(%)	サンプル数	(%)
1,151	475	5	9,749	95	10,224	100
1,442	3,083	30	7,141	70	10,224	100
1,733	3,925	38	6,299	62	10,224	100
2,024	4,758	47	5,466	53	10,224	100
2,315	4,483	44	5,741	56	10,224	100
2,607	5,201	51	5,023	49	10,224	100
2,898	4,966	49	5,258	51	10,224	100
3,189	5,377	53	4,847	47	10,224	100
3,480	4,235	41	5,989	59	10,224	100
3,771	3,922	38	6,302	62	10,224	100
4,062	3,082	30	7,142	70	10,224	100
4,353	2,577	25	7,647	75	10,224	100
4,644	2,343	23	7,881	77	10,224	100
4,935	2,672	26	7,552	74	10,224	100

表 2. 2024 年河口湖 WINDAS のデータ欠損・不良値時と正常時における富士山頂 ACE の平均風速分布

河口湖 WINDAS 欠損・不良時

風速レンジ (m/s)	頻度	%
0 - 5	3238	67.80
5 - 10	811	16.98
10 - 15	439	9.19
15 - 20	232	4.86
20 - 25	48	1.01
25 - 30	8	0.17
30 - 35	0	0.00
35 - 40	0	0.00
40 - 45	0	0.00
45 - 50	0	0.00
50 - 55	0	0.00
55 - 60	0	0.00
合計	4776	100.00

河口湖 WINDAS 正常時

風速レンジ (m/s)	頻度	%
0 - 5	1015	35.54
5 - 10	807	28.26
10 - 15	632	22.13
15 - 20	270	9.45
20 - 25	115	4.03
25 - 30	17	0.60
30 - 35	0	0.00
35 - 40	0	0.00
40 - 45	0	0.00
45 - 50	0	0.00
50 - 55	0	0.00
55 - 60	0	0.00
合計	2856	100.00

表 3. 2024 年 河口湖 WINDAS と各観測地点の 10 分間平均風速の相関係数一覧

観測地点	ACE 富士山頂	NPO 富士山頂	ACE 須走口 8合目	ACE 御殿場口 7合4勺	ACE 吉田口 8合目	ACE 富士宮口 6合目	ACE 吉田口 5合目	ACE 須走口 5合目	ACE 御殿場口 新5合目	ACE 吉田口 1合目	ACE 須走口 1合目	ACE 御殿場口 1合目
高度(m)	3758.5	3758.5	3264.2	3086.3	3060.8	2499.2	2215.9	1959.1	1293.3	1041.8	825.3	446.9
1151	0.081	0.199	0.391	0.222	0.481	0.408	0.441	0.204	0.249	0.362	0.114	0.481
1442	0.333	0.254	0.360	0.590	0.490	0.635	0.361	0.589	0.615	0.598	0.200	0.490
1733	0.451	0.335	0.342	0.631	0.502	0.682	0.414	0.599	0.654	0.570	0.205	0.502
2024	0.447	0.345	0.292	0.639	0.454	0.697	0.391	0.617	0.649	0.532	0.209	0.454
2315	0.440	0.369	0.270	0.655	0.406	0.696	0.368	0.646	0.626	0.478	0.198	0.406
2607	0.505	0.492	0.355	0.675	0.398	0.730	0.430	0.613	0.581	0.422	0.189	0.398
2898	0.583	0.569	0.395	0.665	0.442	0.749	0.466	0.600	0.546	0.414	0.163	0.442
3189	0.637	0.628	0.398	0.611	0.442	0.733	0.497	0.508	0.458	0.388	0.121	0.442
3480	0.652	0.641	0.405	0.563	0.474	0.711	0.473	0.506	0.435	0.409	0.152	0.474
3771	0.638	0.591	0.353	0.502	0.445	0.664	0.395	0.470	0.409	0.403	0.151	0.445
4062	0.655	0.638	0.327	0.470	0.405	0.647	0.347	0.442	0.374	0.360	0.159	0.405

富士山頂における睡眠時無呼吸症候群と急性高山病との関連について

井出里香¹, 関千寿花², 大友郁美³

1. 東京都立大塚病院 耳鼻咽喉科, 2. 埼玉医科大学病院 小児外科, 3. 富士市立中央病院

1. はじめに

富士山頂(標高3,776m)は平地の2/3の気圧(660hpa)になる低圧低酸素環境です。富士山の遭難の約半数は急性高山病(Acute Mountain Sickness:以下AMS)が占めています。^{1,2)} 高所(低圧低酸素環境)では健常人でも中枢性無呼吸, 周期性低呼吸が見られ, 高度が上がるほど増悪します^{3),4),5)}。富士山は国内唯一の高所であり, 睡眠時無呼吸症候群(Sleep Apnea Syndrome:以下SAS)は夜間の低酸素血症を増悪させるため, AMSの増悪因子となります。⁶⁾ 富士山頂では毎年7~8月に様々な観測・研究が行われており, 海外からの登山者も増えているため, 山頂で観測・研究に従事する研究者や登山者のAMSにも対応しています。AMSの増悪因子となるSASの評価は富士山頂での安全管理上も必要です。

2. 方法

本研究に同意が得られた富士山頂に滞在している健常男性3名(26歳, 26歳, 45歳)を対象として, 下記項目について富士山頂と平地で比較検討しました。

就寝前に睡眠評価装置(Smart Watch PMP-300)(図1)を装着して睡眠中の呼吸状態, いびき, SpO₂(経皮的動脈血酸素飽和度), 脈拍数を測定して, 富士山頂と平地で比較検討しました。AMSの診断はレイクルーズスコア(Lake Louise Score:以下LLS)(図2)を用いて評価しました。



図1 睡眠評価装置(Smart Watch PMP-300)

3. 結果

Smart Watch解析結果を示します(表1)。

症例1: SpO₂ 90%前後で, 中枢性無呼吸, 周期性呼吸様の波形がみられました(図3)。平地での測定は後日行う予定です。LLSは0点でAMSの症状は見られませんでした。
 症例2: 山頂ではSpO₂は装着不良の部分も認められたが, 中枢性無呼吸, 周期性呼吸様の波形が多く出現していました(図4)。LLSは疲労・脱力感1点でAMSの診断基準は満たしませんでした。平地ではSpO₂は平均96%で, 一晩中安定した呼吸波形を呈していました。夜間の無呼吸, 低呼吸はほとんど見ら

れなませんでした(図5)。

症例3: 山頂では低呼吸の波形が見られました(図6)。

LLSは0点でAMSの症状は見られませんでした。

平地ではSpO₂は平均98%で, 睡眠中のいびきは高頻度で見られましたが, 無呼吸・低呼吸は正常範囲内でした(図7)。

Lake Louise Score (LLS) for the diagnosis of Acute Mountain Sickness (AMS)

A diagnosis of AMS is based on:
 1. A rise in altitude within the last 4 days
 2. Presence of a headache
 PLUS
 3. Presence of at least one other symptom
 4. A total score of 3 or more from the questions below

SELF-REPORT QUESTIONNAIRE

Add together the individual scores for each symptom to get the total score.

Headache	No headache	0
	Mild headache	1
	Moderate headache	2
	Severe headache, incapacitating	3
Gastrointestinal symptoms	None	0
	Poor appetite or nausea	1
	Moderate nausea &/or vomiting	2
	Severe nausea &/or vomiting	3
Fatigue &/or weakness	Not tired or weak	0
	Mild fatigue/ weakness	1
	Moderate fatigue/ weakness	2
	Severe fatigue/ weakness	3
Dizziness/lightheadedness	Not dizzy	0
	Mild dizziness	1
	Moderate dizziness	2
	Severe dizziness, incapacitating	3
Difficulty sleeping	Slept as well as usual	0
	Did not sleep as well as usual	1
	Woke many times, poor sleep	2
	Could not sleep at all	3
TOTAL SCORE:		

Total score of:
 • 3 to 5 = mild AMS
 • 6 or more = severe AMS

Note:
 • Do not ascend with symptoms of AMS
 • Descend if symptoms are not improving or getting worse
 • Descend if symptoms of HACE or HAPE develop

図2 レイクルーズスコア(Lake Louise Score)

症例	山頂		平地		山頂		平地	
	Index(回/比率%)							
無呼吸	1.5	12.1	2.4	6.1	1	30	0	0
閉塞性	1.5	12.1	2.1	5.4	0.5	15	0.2	2.3
中枢性	0.1	0.9	0	0	0	0	0	0
混合性	9.3	74.8	35	88.6	1.9	55	10.3	97.7
低呼吸								
いびき			10.9	33.3				
RDI(回/h)	12.4	39.5	3.5	10.6				
3%ODI	16.1	71.3	4.5	15.2				
SpO ₂ ave(%)	88	85	96	100				
SpO ₂ min(%)	82	37	84	37				
PR(bpm)	57	65	56	60				

表1. Smart Watch解析結果

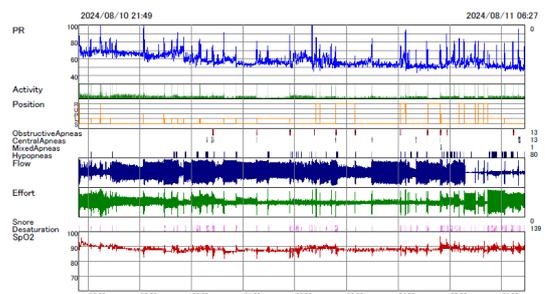


図3 症例1 富士山頂

連絡先: 井出里香 (Rika IDE) rika_ide@tmhp.jp

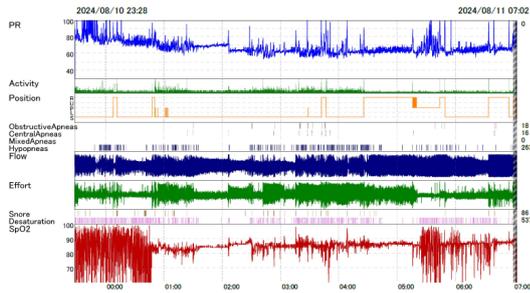


図4 症例2 富士山頂

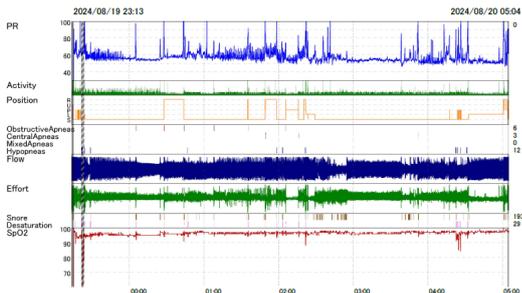


図5 症例2 平地

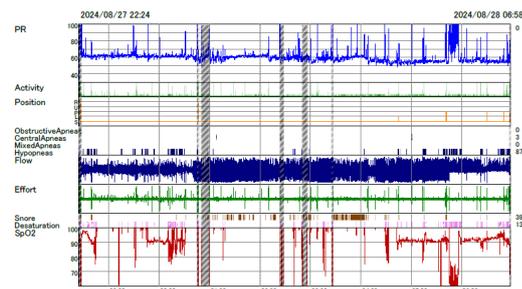


図6 症例3 富士山頂



図7 症例3 平地



QR コードから大きな図が開きます (pdf)

4. 考察

3名とも高所滞在の経験はありましたが、富士山頂では中枢性無呼吸、周期性呼吸が見られました。平地では無呼吸、低呼吸は見られなくても、高所(低圧低酸素環境)ではSASの増悪が認められました。平地でSASがある場合、高所ではさらに増悪する可能性があります。一方、SASは高血圧、糖尿病など生活習慣病との関連もあるため、富士山など高所にいく場合には事前にSASの評価をしておくことは必要です。

5. まとめ

3名とも富士山頂では中枢性無呼吸、周期性呼吸が見られました。

平地では無呼吸、低呼吸は見られなくても、高所(低圧低酸素環境)ではSASの増悪が認められました。平地でSASがある場合は高所ではさらに増悪する可能性があるため、事前に評価しておく必要があります。

謝辞

本研究は認定NPO法人富士山測候所を活用する会が富士山測候所の一部を気象庁から借用し、管理・運営することにより行われました。

参考文献

- 1) 日本登山医学会 高山病と関連疾患の診療ガイドライン 作成委員会編. 高山病と関連疾患の診療ガイドライン 中外医学社 東京2017, 41-42, 1-12.
- 2) 臼杵尚志: 山岳診療所の役割と現状. 登山医34, 2014, 8-12.
- 3) 日本登山医学会 高山病と関連疾患の診療ガイドライン 作成委員会編 高山病と関連疾患の診療ガイドライン 中外医学社 東京 2017, 54-55.
- 4) Burgess KR, Johnson PL, Edwards N: Central and obstructive sleep apnea during ascent to high altitude. *Respirology* 9, 2004, 222-229.
- 5) Nretzer NC, Strohl KP: Sleep and breathing in recreational climbers at an altitude of 4200 and 6400 meters: observational study of sleep and patterning of respiration during sleep in a group of recreational climbers. *Sleep Breath* 3, 1999, 75-82.
- 6) Keith R Burgess, Pamela Johnson, Natalie Edwards, et al: Acute mountain sickness is associated with sleep desaturation at high altitude. *Respirology* 9(4), 2004, 485-92.

高所滞在中の血行動態に自律神経が及ぼす影響についての検討

小森孝洋¹, 苅尾七臣¹

1.自治医科大学内科学講座循環器内科学部門

1. はじめに

登山行動中の死因として、外傷以外に心血管疾患などの内因性疾患が多くを占めています。心血管疾患の内訳としては、心筋梗塞や大動脈解離等の急性疾患が多いと考えられます。登山行動は血圧や自律神経への影響が大きく、これらの疾患の発症に関わっている可能性があります。

高所滞在により自律神経活動は影響を受け、交感神経活性の亢進により、肺高血圧や体血圧の上昇が生じることが報告されています¹。我々は、富士登山中の血圧日内変動に注目してこれまで研究を行い、高所環境滞在時及び高山病発症時には夜間の血圧上昇をきたすことが多いことを報告しました²。この病態生理には交感神経活性の亢進の関与が推測されました。

起立動作は簡易な動作で自律神経に影響を与える負荷試験です。高所環境では起立性低血圧が平地よりも増強したとの報告がありますが³、高所環境での起立性の血圧・心拍変動で表される自律神経活動については十分に明らかになっていません。我々は、起立性の血圧・心拍変動により得られる自律神経機能と血圧日内変動は関係し、高所と平地で違いが生じると仮説を置き、研究を行いました。

2. 方法

(1)対象:心血管疾患のない健康人2名

(2)方法:富士山五合目(標高2,305m)から吉田ルートを経て山頂登頂(標高3,776m)し、富士山頂の富士山測候所に宿泊します。翌日は五合目まで下山します。この行程の間、自由行動下血圧測定を行い、登山行動中の血行動態を記録します。さらに酸素飽和度の測定を、行動中随時と就寝中に行い

表1. 血圧・脈拍値

	登山中		日常生活中	
	A	B	A	B
24時間SBP (mmHg)	113	133	99	126
24時間DBP (mmHg)	79	93	64	84
24時間HR (bpm)	75	97	53	70
覚醒時SBP (mmHg)	117	146	103	135
覚醒時DBP (mmHg)	84	100	67	91
覚醒時HR (bpm)	81	101	58	76
就寝時SBP (mmHg)	101	105	85	107
就寝時DBP (mmHg)	67	75	53	70
就寝時HR (bpm)	61	88	39	59
血圧変動パターン	Dipper	Extreme dipper	Dipper	Extreme dipper
AMSスコア	1	4	NA	NA

ます。富士山測候所滞在中に起立試験中の血圧・心拍変動を記録します。

登山日とは別の日程で、日常生活の自由行動下血圧測定と起立性の血圧・心拍変動の測定を行います。

評価項目:登山行動中および日常生活の自由行動下血圧測定(気圧計, 気温計, アクチグラフを内蔵するマルチセンサー自由行動下24時間血圧計, A&D社 TM-2441), 富士山頂および日常生活の起立性血圧・心拍変動測定(クロスウェル社 きりつ名人), 登山行動中のレイクルーズ高山病スコア, 登山行動中および夜間就寝中のSpO₂モニター(コニカミノルタ社 PULSOX M-24), 登山行動内容の記録の記録。

判定項目:登山時・日常生活時の起立性血圧・心拍変動の比較,, 24時間血圧変化の差。

3. 結果

2024年8月3日~4日に研究を実施しました。対象者は健康人2名(被験者A: 男性, 被験者B: 女性)。職業は医師2名です。被験者は3名の予定でしたが、機器の不良により得られたデータは2名分でした。

富士登山中と日常生活の血圧値の比較を表1に示します。両被験者とも富士登山中の血圧は日常生活中よりも高値でした。被験者Aは就寝中血圧が日常生活中よりも富士登山中で高値でした。被験者Bは覚醒時血圧が富士登山中および日常生活中で高値でした。血圧日内変動パターンは、被験者AはDipper型、被験者BはExtreme dipper型でした。

起立性の血圧・心拍変動を表2に示します。登山中においては被験者Bで起立性低血圧が認められました。被験者A,Bとも日常生活には起立性低血圧及び起立性高血圧は認め

られませんでした。起立負荷時の心拍変動については、交感神経活動を表すccvL/Hが富士登山中は日常生活と比べ両被検者で高値でした。副交感神経活動を表すccvHFは富士登山中では日常生活と比べて両被検者で低値でした。

表2. 起立性の血圧, 心拍変動

	登山中		日常生活中	
	A	B	A	B
座位SBP (mmHg)	98	140	106	128
座位DBP (mmHg)	66	77	69	82
座位HR (bpm)	78	96	54	79
立位SBP (mmHg)	96	113	112	131
立位DBP (mmHg)	64	66	71	79
立位HR (bpm)	87	101	54	89
立位—座位SBP (mmHg)	-2	-27	6	3
立位—座位DBP (mmHg)	-2	-11	2	-3
立位—座位HR (bpm)	9	5	0	10
ccvL/H安静 (%)	0.6	0.72	0.19	0.13
ccvL/H起立 (%)	0.66	0.85	0.61	0.35
ccvL/H立位 (%)	0.66	1.13	0.3	0.29
ccvL/H着席 (%)	0.44	0.91	0.28	0.22
ccvHF安静 (%)	0.3	0.19	0.63	1.54
ccvHF起立 (%)	0.2	0.21	0.51	0.98
ccvHF立位 (%)	0.37	0.2	0.33	0.51
ccvHF着席 (%)	0.52	0.23	0.87	1.01

4. 考察

富士登山中と日常生活中で自由行動下血圧測定および起立性血圧変動・心拍変動測定を行いました。自由行動下血圧レベルは富士登山中で日常生活中よりも高値を示しました。覚醒時血圧も日常生活中よりも高値であり、登山活動、気温、気圧の影響を受けて血圧上昇を来していることが示唆されました。血圧変動パターンについては、登山活動による血圧上昇を受けて覚醒時の血圧が高値となり、就寝時の血圧が相対的に低値となったことから、就寝時血圧の過降圧を示すExtreme dipper型を示しました。我々の過去の検討では、高所滞在中において就寝時の血圧が覚醒時よりも高値となるRiser型が富士登山中に認められたことを報告しています。今回の検討では計測された血圧変動パターンが異なりましたが、今回の被検者は高山病が軽度であったため覚醒時の労作に伴う血圧上昇が顕著に認められ、かつ高山病に伴う夜間血圧上昇が生じなかったことから、Extreme dipper型になったと考えられました。

自律神経活動については、起立性血圧変動では富士登山中に起立性高血圧は認められず、被験者Bでは起立性低血圧を示しました。逆に日常生活中では起立性血圧変動は認められませんでした。起立性血圧変動は体液量の影響を受

けやすいことが知られており、富士登山中は発汗や水分摂取不足による脱水傾向が起立性血圧変動に影響した可能性があります。

起立負荷時の心拍変動解析では、富士登山中は日常生活よりも交感神経活動は亢進し、副交感神経活動は減弱していました。登山行動中は自律神経活動に環境因子、精神因子など様々な因子が影響すると考えられ、交感神経活動の亢進と副交感神経活動の減弱が生じた可能性があります。

自律神経活動と血圧日内変動の関係については、本研究では一定の傾向を見出すことができませんでした。過去の報告では血圧日内変動がExtreme dipper型では起立性高血圧が、Riser型では起立性低血圧が生じる傾向があると報告されています⁴⁾。被験者Bは起立性低血圧を示していたが血圧日内変動はExtreme dipper型でした。過去の報告との違いは測定環境の違いである可能性があります。

本研究の限界としては、被験者数が少ないことが挙げられます。1回あたりの被験者数にも制限があるため、経年的に被験者数を増やすことで、高所での生体反応の傾向をつかむことができる可能性があります。加えて、血圧変動や自律神経活動に影響を与える因子すべてを検討できていない可能性があります。

5. おわりに

富士登山中は活動量の増加から覚醒時血圧の上昇が認められました。また、登山活動中の交感神経活動は亢進し、副交感神経活動は減弱していました。高所滞在中の起立性血圧変動の意義を確立するためには症例を重ねて検討することが必要です。

参考文献

- 1) P Bartsch and JS Gibbs. (2007). Effect of altitude on the heart and the lungs. *Circulation*, **116**, 2191-202.
- 2) Komori T, Hoshide S, Kanazawa H, Taki M, Suzuki N, Kotruchin P, Kario K. (2022). The effect of mountaineering on the association between blood pressure and physical activity: A new multi-sensor ambulatory blood-pressure monitoring device. The Mount Fuji Study. *J Clin Hypertens*. **24**, 1236-1241.
- 3) OT Mytton, A Simpson, AAR Thompson, RA Oram, A Darowski, L-M Yu, DJ Collier and AJ Pollard. (2008). Manual assessment of the initial fall in blood pressure after orthostatic challenge at high altitude. *Wilderness Environ Med*, **19**, 225-232.
- 4) Kario K, Eguchi K, Nakagawa Y, Motai K, Shimada K. Relationship between extreme dippers and orthostatic hypertension in elderly hypertensive patients. (1998). *Hypertension*. **31**, 77-82.

富士山頂の微生物解析

望月智弘¹, 佐原理², 三木健司³

1.大阪大谷大学, 2.徳島大学, 3. (元)東京科学大学地球生命研究所

1. はじめに

森林限界を大きく越える富士山頂は、生物にとって極めて過酷な環境です。低温、低酸素などの諸制約のため、肉眼で確認できるような動植物はほとんど存在しません。このような過酷な環境にも多種多様な微生物が生息しているものの、富士山頂の微生物に関する培養研究はほとんど行われていません。そこで我々のグループでは、富士山頂において環境サンプルを採取し、研究室にて微生物を単離培養し解析する研究をトライアルとして申請しました。

2. 材料と手法

2024年8月に富士山頂に赴き、富士山測候所の敷地内にてサンプル採取を行いました。当日は荒天のため期待していた太陽光に晒され続けたサンプルの採取は叶いませんでしたが、一時的に出現した晴れ間に滅菌したキムワイプを用いて屋根の表層を拭き取り、滅菌容器に入れて持ち帰りました(図1)。また、周辺の割れたコンクリート破片も採取しました。大学へ持ち帰った以降は使用時まで冷凍して保管しました。



図1. 測候所屋根表層をぬぐったキムワイプ。色は屋根の塗装に由来します

測候所屋根表層に存在する微生物(主に原核生物)の多様性を解析する目的で、菌叢解析を行いました。まず、採取した環境サンプルから直接DNAを抽出し、原核微生物(細菌と古細菌)の16S rRNA遺伝子を対象としたプライマーセットによるアンプリコンシーケンス解析に供しました。

次に、細菌の単離培養を行いました。キムワイプを生理食塩水に懸濁し、懸濁液を寒天栄養塩培地に塗布し、25°Cで培養しました。得られた微生物コロニーについてはPCR法により16S rRNA領域を増幅させ、シーケンス解析により菌種の特定を行いました。

3. 結果と考察

菌叢解析を目的としたアンプリコンシーケンスでは、コンクリート片から約3.8万リード、屋根表層試料から約2万のリードが得られました。全て細菌(バクテリア)であり、コンクリート片からは多様な菌叢が検出された(優占種はAcidibacteria門の未記載属が18.0%)一方、屋根表層試料では Gammaproteobacteria綱Pseudomonadales目Acinetobacter属が約半数の44.9%を占めました。本属の菌は土壌や動物表面など幅広く存在する常在菌です。いずれのサンプルからも、古細菌(アーキア)由来の配列は全く得られませんでした。屋根表層の菌叢解析の結果の結果を図2に示します。

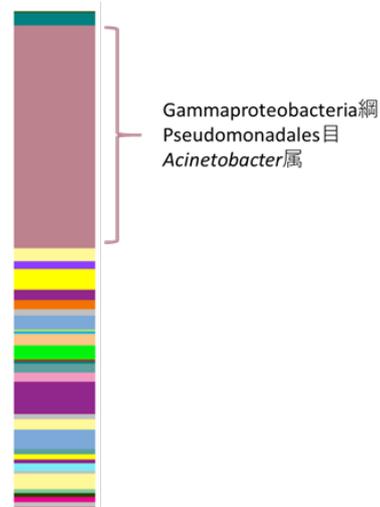


図2. 測候所屋根表層の菌叢解析データ

培養法でこれまでのところ得られているのは Pseudomonadota (旧 Proteobacteria) 門 Pseudomonadales 目 Moraxella属の1株のみです。想定以上にサンプル中の生菌数が少なかったこともあり、今後は培養手法の再検討もを行います。

4. おわりに

本研究はまだ立ち上げ段階であり、今後は微生物の培養実験を主軸に行います。培養可能な微生物が得られた後には、ゲノム配列をはじめとした一連の性状解析を行います。

最期にこの場を借りて、サンプル採取に協力いただいたNPO法人富士山測候所を活用する会をはじめとした関係者の皆様方に謝意を表します。

富士山頂の大気を漂う細菌たちを調べる

○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

筆者らは氷晶核(雲中での氷形成に寄与するエアロゾル粒子)の観測を2019年から行ってきています。氷晶核としてはたらくエアロゾル粒子の一種としてバイオエアロゾル(微生物等を含む生物起源の粒子)が注目されています。とくに細菌は氷晶核として効率的にはたらくことが知られており、例えば、上空で不純物のない雲粒は約-38°Cで自然に凍結するところ、特定の細菌が存在すると-2°Cで凍結します。

そこで、富士山頂の大気中細菌の観測を2023年度から本格的に実施しています。大気中細菌の実測例は相対的に少なく、富士山頂のような高所における観測は常に新しい知見を含んでいます。具体的には、上空にはどのような細菌がいるのか、それらは地表大気中の細菌とは異なるのか、自由対流圏を遠方から輸送されている細菌はいるのか、富士山表層に生息している細菌はどれほど山頂大気に漂っているのか、登山者の影響はどれほどあるのか…などです。今回の発表では、富士山の表層堆積物に存在する細菌の山頂大気中への飛散を検証した解析の進捗を紹介します。

2. 方法

2024年7月24日から8月7日、2023年7月20日から8月3日の期間に、富士山測候所の2号庁舎外の西側にて、毎日おおよそ10~14時に4時間の試料採取を実施しました。試料採取にはドライサイクロンエアサンプラー (Coriolis Compact, Bertin Technologies) を用いました。これは、毎分50Lで空気を吸引して0.5~10 μmの微生物を含む大気中微粒子をカップの中に捕集できるサンプラーです。また、富士山表層に存在する細菌と比較するために富士宮ルート登山道の堆積物の試料採取を2020年9月25、26日に行いました。採取に際しては、文化庁、環境省の許可を得た上で、NYジオフィールドの協力を得ました。採取した大気中微粒子試料及び堆積物は超純水に懸濁させて分析に用いました。DNA抽出、細菌16SrRNA遺伝子のPCR増幅及び次世代シーケンサーによる配列決定は、株式会社ファスマックに委託しました。得られた配列は細菌群集組成の解析パイプラインであるQIIME2で処理し、統計解析にはRのveganパッケージを併用しました。

3. 結果と考察

山頂大気中の細菌群は主にProteobacteria門, Firmicutes, Actinobacteria門, Bacteroidota門で占められていました(図1)。これは都市域における大気中細菌群集と同じ傾向であった¹⁾。一方で、堆積物の細菌群はFirmicutes門が相対的に少なく、

代わりにChloroflexi門が多い傾向でした。このことは、大気中細菌群集組成は堆積物中の細菌群を単純には反映しておらず、自由対流圏や下層大気(都市や森林の大気などを含む)の細菌も含んでいることを示唆しています。大気と堆積物の細菌群の違いについて、特徴的な細菌属を統計的に抽出しました(SIMPER分析)。大気中の細菌として最も特徴的なのは*Pseudomonas*属、堆積中細菌として最も特徴的なのは*IMCC 26256*属、*Noviherbaspirillum*属、*AD3*属でした。

*Pseudomonas*属は2019年の大気中浮遊粒子試料からも検出されており、富士山頂大気の特徴づける細菌属である可能性があります。この属がどの環境に由来するのか今後データの蓄積が必要です。*Noviherbaspirillum*属は火山性土壌からの分離培養例が報告されており²⁾、富士山表層堆積物中に存在する特徴的細菌として検出されたことと整合しました。表層堆積物が多く飛散しているときには山頂大気中の*Noviherbaspirillum*属が増えることが予想され、富士山表層堆積物の山頂への飛散を示す指標菌となりうるものが期待されます。

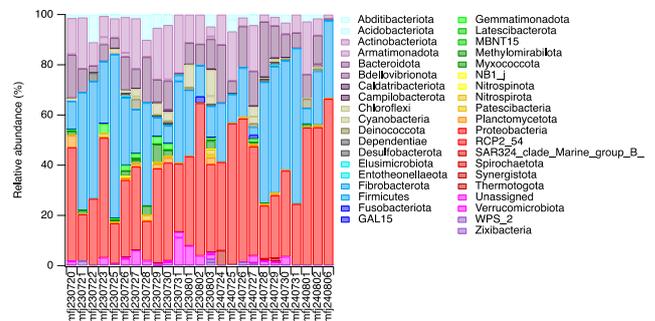


図1 山頂大気中細菌門の組成(横軸のラベルは試料採取した年月日で、230720は2023年7月20日を意味します)

参考文献

- 1) Murata, K, Okochi, H. & Kamogawa, M. (2023). Preliminary insight into the relationship between bioaerosols and urban environment obtained from the COVID-19 self-quarantine period in the Tokyo metropolitan area. *Environ. Res. Commun.* **5**, 121001.
- 2) Carro, L. et al. (2012). *Herbaspirillumcanariense* sp. nov., *Herbaspirillumaurantiacum* sp. nov. and *Herbaspirillum soli* sp. nov., isolated from volcanic mountain soil, and emended description of the genus *Herbaspirillum*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **62**, 1300-1306.

2024年夏期の富士山頂における微生物粒子個数濃度の測定

渡辺幸一¹, 村田浩太郎², 加藤俊吾³

1.富山県立大学, 2.埼玉県環境科学国際センター, 3.東京都立大学

1. はじめに

近年、バイオエアロゾル(微生物粒子)についての関心が高まっており、その一部が強力な氷核活性を持つなど、大気科学や気象学においても注目されています¹⁾。そのため、雲活動が活発な高高度において、微生物粒子の連続的な計測が重要となりますが、これまで国内において微生物粒子個数濃度の連続計測例は少なく、山岳域などの高所での測定はほとんどなされていません。

本研究では、リアルタイム浮遊菌カウンタにより、微生物粒子数の連続的な計測を夏期の富士山頂で行いました。

2. 方法

2024年7月23日から8月22日までの一か月間、富士山頂(富士山測候所内)にTSI社製リアルタイム浮遊菌カウンタ(BioTrack MODEL 9510-BD)を設置し、粒径別エアロゾル粒子個数濃度および微生物粒子個数濃度を測定しました。計測は、2時間毎に1分間行いました。なお、本計測器の概要および予備的な富山県の平野部での測定事例を、Watanabeら(2022)²⁾に報告しています。また、本浮遊菌カウンタで計測できる微生物粒子は粒径 $1\mu\text{m}$ 以上の粗大粒子モードであるため、微小な微生物粒子の測定はできません。

3. 結果および考察

2024年夏期の富士山頂におけるエアロゾル粒子および微生物粒子は、共に富山県の平野部で測定された個数濃度より低かったですが、日中に高く、夜間に低くなる明瞭な日変化が観測されました。山岳域の大気循環の特徴によるものであり、日中に下層から微生物が輸送されているものと考えられます。また、台風の影響による(海塩粒子によると考えられる)粗大粒子の増加現象が度々観測されましたが、同期中の微生物粒子は比較的低かったです。

微生物粒子個数濃度は、海洋性の大気中で低く、日本国内や大陸由来の気塊中で高くなる傾向を示し、特に一酸化炭素濃度の変化と良く対応していました。今後、微生物粒子数とエアロゾルの氷晶核活性との関連性を評価していくことが重要となります。

参考文献

- 1) 牧輝弥, 北和之, 保坂健太郎, 三星かおり, 五十嵐康人(2020). 森林大気バイオエアロゾル. 大気化学研究, **43**, No. 043A02.
- 2) Watanabe, K., Satoh, H., Maki, T. (2022). Continuous measurements of microbial particles in central Japan using a Real Time Viable Particle Counter. *SOLA.*, **18**, 104-109.

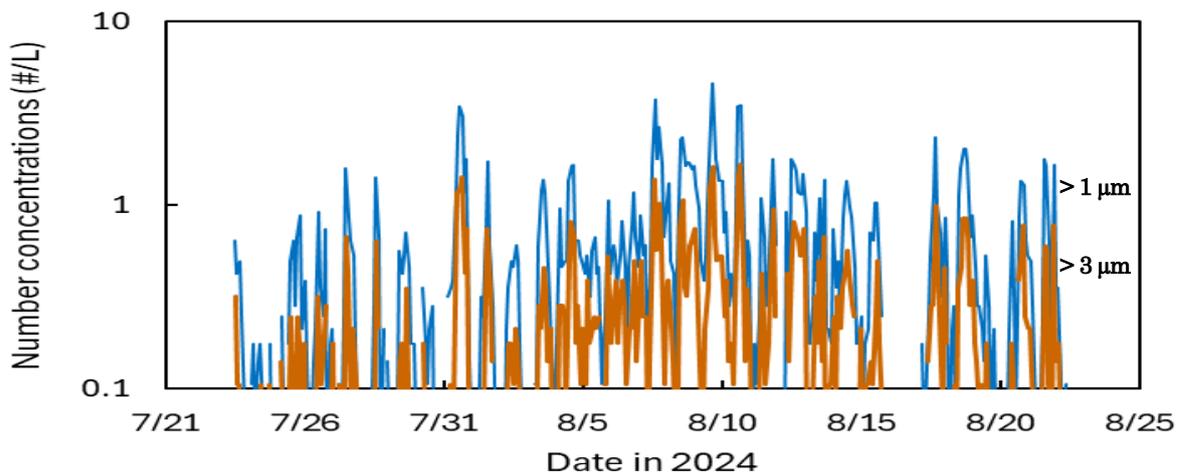


図1 2024年夏期の富士山頂における微生物粒子個数濃度の時系列

富士山頂における二酸化炭素濃度の長期モニタリング ～15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ります。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ます。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す。

我々は1年の大半で商用電力の供給がない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ます。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ます。本報では、これまでに得られた観測結果を報告します。

2. 2024年夏期観測中の装置メンテナンス

2024年7月9日から7月10日の山頂作業で、CO₂計とフラスコの交換や越冬バッテリー充電などを行い、2023年9月から2024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ました。2024年8月21日の山頂作業では、CO₂計とフラスコサンプリング装置の越冬準備を行ないました。

閉所後もイリジウム衛星通信による観測データの受信に成功しましたが、富士山初冠雪(11月7日)の12日後の2024年11月19日を最後に通信が途絶えました。昨年も初冠雪後(2023年10月2日)に通信が途絶えたため、今後も積雪時のデータ送受信は難しいと考えられました。

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2025年8月のCO₂濃度の時系列を示します。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ます。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す。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ります。その場観測から求めた

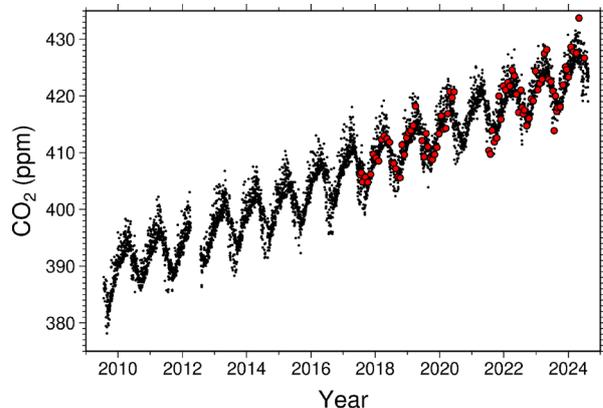


図1 富士山頂で観測されたCO₂濃度の時系列. 黒点がその場観測で得られた日平均値, 赤丸がフラスコサンプリングで得られた値を示します

2023年の富士山頂CO₂濃度の年平均値は421.87ppmで、2022年の年平均値と比べて2.2ppm増加したことがわかりました。フラスコ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濃度とよく一致しました。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ました。

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ます。2023年の年平均CO₂濃度は落石岬で423.47ppm、波照間島で423.68ppmであり、富士山頂のCO₂濃度より1.6-1.8ppm高かったです。

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⁾を示します。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ました。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3～4ppm yr⁻¹の大きな増加を示しましたが、強いラニーニャ現象が生じた時期はCO₂濃度の増加率は2ppm yr⁻¹を下回っていました。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2～3ppm yr⁻¹を維持していました。結果として、2016年から2023年は、強いエルニーニョ現象が発生し

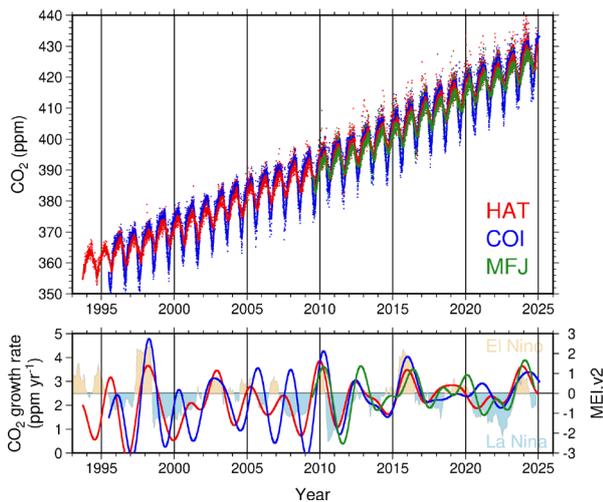


図2 富士山頂(MFJ), 落石岬(COI), 波照間島(HAT)で観測された(上) CO₂濃度と(下) CO₂濃度の年増加率とエルニーニョ・南方振動指数 (MEI.v2)

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2~3ppm yr⁻¹の小さな範囲内で変動していました。その後、2023年6月から2024年3月にエルニーニョが発生し、富士山頂でも3.5~4ppm yr⁻¹と高いCO₂濃度の増加率が観測されました。

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い、学会で報告しました⁴⁾。

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気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ます。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ます。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⁵⁾等での利用が進んでいます。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り得ます。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ます。

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) 寺尾ほか (2024) 富士山頂における温室効果ガス濃度と関連物質の観測, 第29回大気化学討論会, 2024年10月9-11日
- 5) Niwa, Y., et al. (2022). Toward a long-term atmospheric CO₂ inversion for elucidating natural carbon fluxes: technical notes of NISMON-CO2 v2021.1. *Prog Earth Planet Sci* 9, 42.

富士山山頂と山麓での大気微量成分観測

加藤俊吾¹, 野田琴音¹, 小山有宇理¹, 青木紳悟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の影響を受けにくい自由対流圏の大気観測をおこなうことができますが、観測できる期間は商用電源が利用できる夏期に限られてしまいます。富士山中腹にある太郎坊(1,290m)は、一年中商用電源を利用できるため、通年で観測を継続でき、自由対流圏の大気も測定できることが期待されます。そこで、夏期の山頂観測に加えて2020年夏期より太郎坊においても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)の観測を行うことにしました。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はそれぞれ赤外線の吸収、紫外線の吸収、紫外線の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. 山頂と太郎坊のCO、O₃の平均日内変動

図1に山頂と太郎坊での夏期の一日の平均濃度変動を示します。山頂に比べ太郎坊ではかなり大きな日中のピークが見られました。日中に近隣の都市域から上昇してきた汚染大気の影響を受けていることがわかります。それでも夜間には比較的安定した濃度が測定されており、夜間のデータのみを用いれば、関東近傍における自由対流圏の大気が測定できているようです。平均濃度ですが、地上に主な発生源のあるCOは太郎坊のほうが高濃度で、成層圏の影響もあるO₃は富士山頂のほうが高濃度となります。

4. 太郎坊で観測されるSO₂の高濃度

山頂のSO₂は低濃度でごくわずかな変動しかありませんが、太郎坊では時々高濃度となるイベントが見られています。都市域で発生した汚染大気が運ばれてきた場合には同時に燃焼の際に排出されるCOも上昇するはずですが、SO₂だけが高濃度になっているので、火山ガスのSO₂が観測されているようです。太郎坊で風向別にSO₂濃度をプロットすると(図2)南西から空気が来るときに高くなっています。現在噴煙を放出している大涌谷が南西方向に位置しているため、大涌谷からの火山ガスをとらえていると考えられます。

5. 山頂でのCO、O₃の長期変動

富士山頂で観測している夏期のCO、O₃平均濃度を図3に示します。COはとくに2018年以降減少している様子がわかります。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。

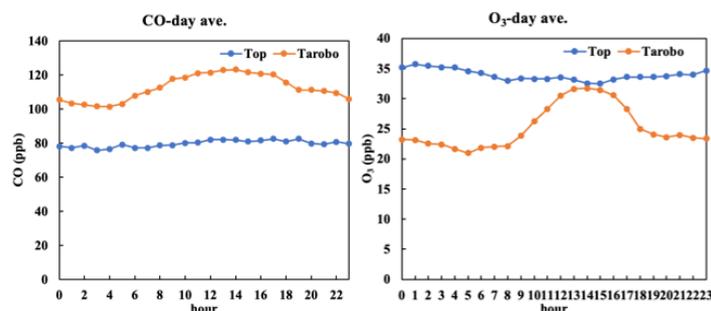


図1 夏期の山頂と太郎坊の平均日内CO、O₃変動

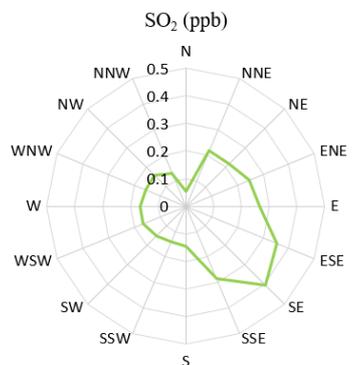


図2 太郎坊の風向別平均SO₂濃度

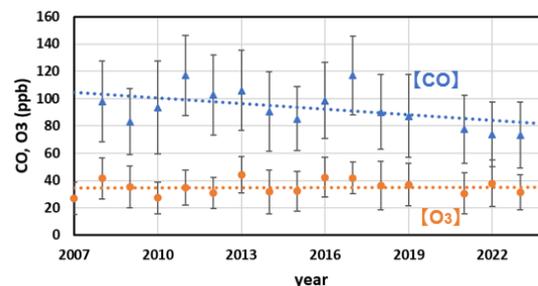


図3 2007-2024年の夏期山頂のCO、O₃濃度推移

大気中に浮遊している粒子の特徴：磁性について

上野千嘉¹, 米持真一², 村田浩太郎², 大河内博³, 反町篤行¹

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

大気中に浮遊している固体や液体の小さな粒子（エアロゾル）は、マイクロメートル（ μm ）オーダーもしくはそれ以下の大きさです。多くの場合、 $2\mu\text{m}$ 以上の粗大粒子は機械的プロセスによって放出される粒子であり、土壌粒子、海塩、火山噴出物、花粉、自動車のタイヤゴムなどがあります。一方、粒径 $2\mu\text{m}$ 以下の微小粒子については自動車や工場などから放出された重金属元素、ディーゼル排ガス由来の元素状炭素、自動車排ガスなどに由来する窒素酸化物から酸化生成された硝酸塩などがあります。

2. 磁性エアロゾル粒子とは？

大気エアロゾル粒子には磁性を持つものも存在します。ここで、磁性とは物質が磁場に対して応答を示す性質のことであり、大きく分けて常磁性、強磁性、反磁性の三つの種類があります。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（ Fe_3O_4 ）やヘマタイト（ Fe_2O_3 ）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、燃焼プロセスなどにより生成される人為起源などがあります（Yang et al., 2010）。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（Maher et al., 2019）。しかし、大気エアロゾル粒子において磁性をもつ成分、粒径分布、発生源についてはまだ分からないことが多くあります（Kermenidou et al., 2021）。そこで本研究では、越境大気汚染に着目して、人為的な影響が少ない富士山頂において PM_{10} （粒径が $1\mu\text{m}$ の粒子を50%の割合で分離できる装置を用いて、より粒径の大きい粒子を除去した後に採取される粒子）の採取を行い、大気中における磁性エアロゾル粒子の実態を解明すること目的とします。

3. 大気エアロゾル粒子の採取方法とその磁性の測定方法

富士山頂での大気エアロゾル粒子（ PM_{10} ）は、2024年7月23日から8月23日にかけて5日間隔で分級装置（シーケンシャルエアサンプラー）を用いてフィルター上に採取しました。観測期間中の PM_{10} 質量濃度の測定結果は図1になります。質量濃度の最大は8月2日～7日と7日～12日の $5.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ でした。

採取したエアロゾル粒子の磁性を評価するため、超伝導量子干渉計を使用しました（図2）。この装置は、液体ヘリウム中で冷却された超伝導磁石によって発生する磁場中で試

料を測定し、微小な磁場や電流を高精度で検出できます。これまで、磁性モデル粒子を用いて、超伝導量子干渉計による粒子の磁性の傾向を確認しました。また、本学キャンパスで採取した粒子を用いて、粒径ごとに異なる磁性を示し、これまでの報告例（Petrovsky et al., 2020）と同様な傾向を確認しました。

4. おわりに

今後、富士山頂で採取した粒子の磁性を調査する予定です。また、磁性エアロゾル粒子の実態解明に向けて、粒子の形状、金属元素やその濃度を分析し、大気中の磁性粒子の物理化学的特性や発生源などを明らかにする予定です。

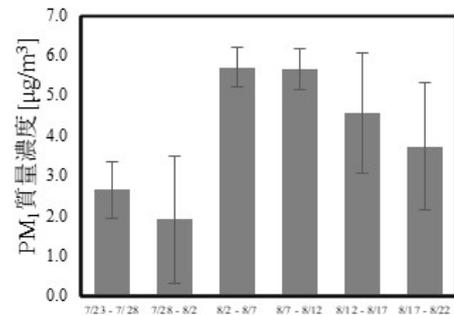


図1. 富士山頂における PM_{10} 質量濃度

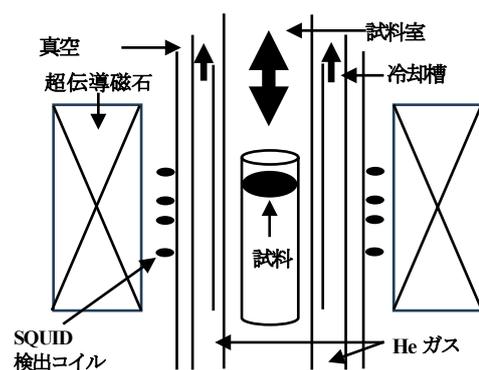


図2. 超伝導量子干渉計の概略図

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

大気中に浮遊するマイクロプラスチック (Airborne microplastics; AMPs) の実態はよく分かっていません。プラスチックは水を弾く性質 (疎水性) がありますが, 紫外線に長時間さらされると親水性になり, 表面劣化により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 が重要な雲凝結核 (水雲) や氷晶核 (氷雲) となり, 雲形成を促進する可能性があります。本研究では, 自由対流圏 (高度 2,000m 以上) にある富士山頂, 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) の実態解明を行いました。

雲をどうやって集めるの? CAMPsは どうやって測るの?

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 1.0 μm 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, 鉍粒子除去) 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 の正体は何か?

富士山頂 (2021 年～2024 年), 富士山南東麓 (2020 年～2024 年), 丹沢大山 (2022 年～2024 年) で採取した雲水から, 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 15 種類のポリマーが検出されました (図 1)。3 地点とも PET が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, PC が高い割合を占めていました。

3 地点とも破片状が多く, 体積加重平均濃度は富士山頂で最も高く (33.9 MP/L), 丹沢大山 (19.7 MP/L), 富士山麓 (16.6 MP/L) の順でした。

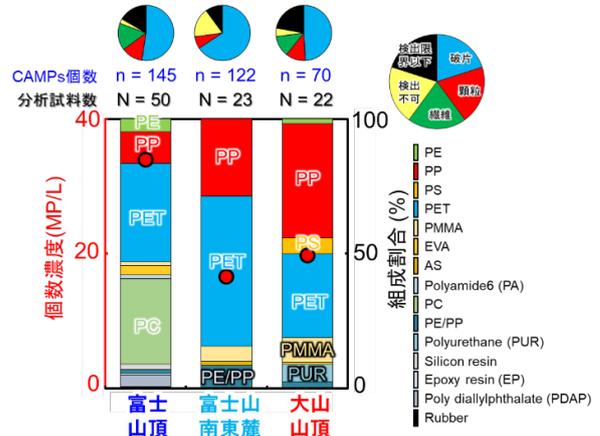


図 1. 雲水中で検出されたマイクロプラスチック

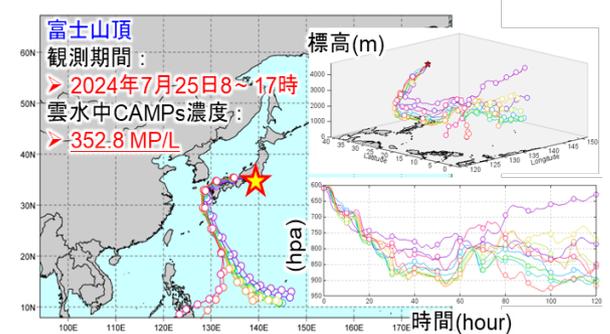


図 2. 富士山頂で CAMPs 高濃度時の空気気塊の流れ

CAMPs はどこから運ばれてくるの?

図 2 には, 2024 年に CAMPs が最高濃度 (353 MP/L) を示した空気の輸送方向 (後方流跡線解析) を示していますが, 東南アジアからの輸送でした。東南アジア由来の体積加重平均個数濃度は 143 MP/L (n = 3) でした。一方, 中国大陸からの空気で個数濃度は 250 MP/L (n = 1), 国内由来の空気で体積加重平均個数濃度は 27.7 MP/L (n = 1), 海洋由来の空気で体積加重平均個数濃度 26.4 MP/L (n = 3) でした。富士山頂に東南アジアや中国大陸から空気が運ばれると CAMPs が高濃度になることが分かりました。

アジアは海洋プラスチックゴミ発生源ですが, AMPs の地球規模の発生源であることが分かりました。

謝辞

環境研究総合推進費 (JPMEERF20215003, JPMEERF20245004), 科研費 JSPS 24K23927 により行いました。

富士山頂と立山の雪が語る地球環境問題: マイクロプラスチック大気汚染の実態

○大河内博¹, 原知菜美¹, 谷悠人¹, 小野塚洋介¹, 王一澤¹, 速水洋¹, 竹内政樹², 反町篤行³, 加藤俊吾⁴, 藤井佑介⁵, 竹中規訓⁵, 池盛文数⁶, 皆巳幸也⁷, 勝見尚也⁷, 梶野瑞王⁸, 足立光司⁸, 石原康宏⁹, 岩本洋子⁹, 小林拓¹⁰, 和田龍一¹¹, 横山勝丘¹², 岩崎洋¹², 木戸瑞佳¹³, 松本拓朗¹³, 堀圭¹³, 新居田恭弘¹⁴

1. 早稲田大学, 2. 徳島大学, 3. 東洋大学, 4. 東京都立大学, 5. 大阪公立大学, 6. 名古屋市環境科学調査センター, 7. 石川県立大学, 8. 気象研究所, 9. 広島大学, 10. 山梨大学, 11. 帝京科学大学, 12. NPO 富士山測候所を活用する会, 13. 富山県環境科学センター, 14. パーキンエルマージャパン合同会社

富士山頂と立山で調べるのはなぜ？

地上に近い大気は対流圏と呼ばれています。対流圏下部は大気境界層, 高度2,000 mを越える上空は自由対流圏に分類されます(図1)。自由対流圏は風が強く, 空気は清浄です。ただし, 大規模な低気圧や夏季日中の強い上昇流によって地上の大気汚染物質が自由対流圏まで輸送されると, 地球規模汚染を引き起こします。日本上空で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。自由対流圏でマイクロプラスチックが見つければ, 大気を通じて全球的な汚染が起きていることが分かるのです。

富士山と立山は白山とともに日本三霊山であり, 古くから山岳信仰の山として開かれてきました。富士山は孤立峰(剣が峰, 3,776 m)ですが, 立山は雄山(3,003 m), 大汝山(3,015 m), 富士ノ折立(2,999 m)の三つの峰からなります。富士山は日本最高峰であり, 山頂は自由対流圏に位置しています。立山は3,000 m級の山としては日本最北端に位置しており, 雪の大谷として有名な室堂平は2,450 mの自由対流圏にあります。

高山積雪中マイクロプラスチックから何が分かるの？

プラスチックは水を弾きますが, 劣化すると水を付着しやすくなる性質があります。私たちは富士山頂で雲水からマイクロプラスチックを初めて検出し, New York Timesで“2023年に世界ではじめて分かったこと20選”に選ばれました。富士山頂で夏季に発生するのは水雲ですが, 上空では氷雲です。最新研究によると, マイクロプラスチックが氷を作る核になる働きがあることが明らかになりました。氷雲は氷晶核から生成し, 水雲は雲凝結核から生成します(図1)。上空の氷雲を捕まえるには航空機が必要ですが, 降雪や積雪からマイクロプラスチックが検出されれば雪結晶の核(氷晶核)になっていたと考えられます。地上観測では雪片に付着して大気中マイクロプラスチックが落下している可能性があり, マイクロプラスチックが氷晶核になっていることを調べるには高山観測が必要です。ただし, 高山での降雪採取は難しいので, 代わりに積雪を採取しますが, 人為的な影響がないことが重要です。

冬季の富士山頂は強風であり, トレーニングを積んだ登山家でない限り立ち入ることができません。富士山測候所周辺は立ち入り禁止区域になっています。冬季の立山は世界有数の豪雪地帯であり, 登山客の影響をほとんど受けません。

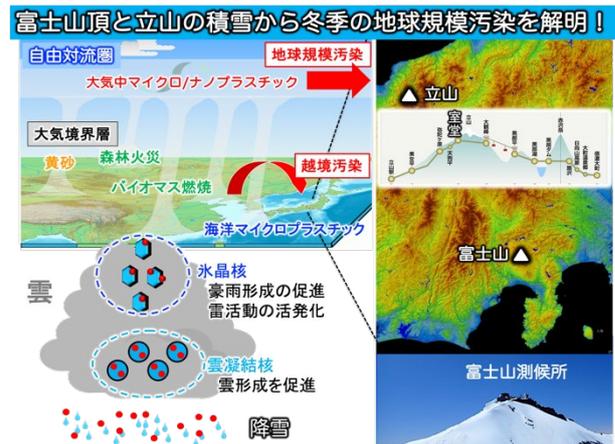


図1 富士山で大気中マイクロプラスチック研究を行う意義

積雪から見つかった大気中マイクロプラスチックの正体

2024年の富士山と立山の積雪中マイクロプラスチックの組成は類似しており, 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)が主成分でした(図2)。両地点とも破片状が多く, 粒径も小さいことから登山者の衣服などの影響ではなく, 偏西風により輸送されたことを示しています。なお, 個数濃度は立山よりも富士山で高い傾向にありました。

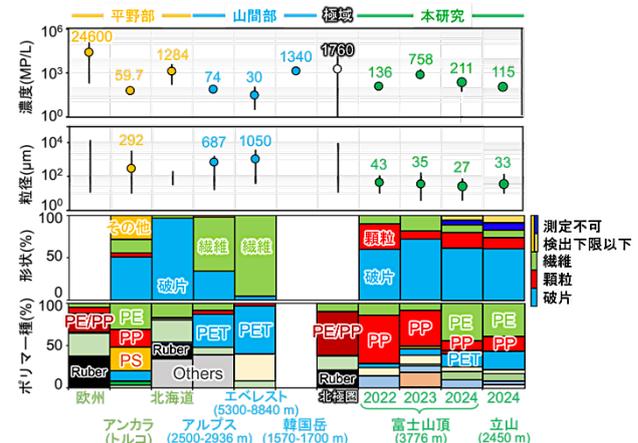


図2 富士山頂で検出された大気中マイクロプラスチック

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。

ドローンで雲をつかむ ～雲粒分析による雲成長過程の研究2024～

南齋勉, 岡本大地
静岡理工科大学 理工学部

1. はじめに

雨雲は雲粒核となるエアロゾルに水分子が凝結することで形成され、粒子状物質やガス成分の取り込みや、水蒸気による吸湿過程を経て成長します。一般的に、雨や霧などの湿性沈着物中の化学組成の分析を行う際、採取装置に回収したサンプルに対して行われるため、これらの成分は時間・空間的に平均化されます。このため、従来の採取法では、雨水が持つ詳細情報は失われています。雲粒の核形成から、雲粒への大気汚染物質の沈着、雲粒中における液相反応の解明には、時間空間分解能に優れた採取分析手法が重要です。

現在まで、雨一滴の成分定性や、液滴径の計測に関する報告はありますが¹⁾、採取と計測の難しさから溶存成分の定量に関するものはほとんどありません。われわれは、図1に示すような、ゲル薄膜に含まれる溶質と雨中の溶存イオン成分による結晶生成を利用することで、一滴の雨滴の成分を簡便に定量する手法の確立を目指してきました²⁾。その結果、硫酸塩について、本手法の検出感度と分析精度は、実環境試料に耐えうるレベルに到達してきたので、2020年度から実環境における雨滴や雲粒のサンプリングを行なっています。

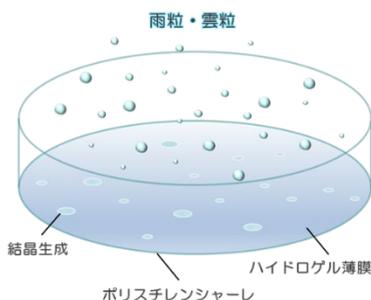


図1 結晶生成を利用した雨粒採取分析ツール

2. 採取と観察の方法

採取分析ツールは以下の手順に従い作製しました。5mMの塩化バリウム水溶液に5wt%となるように牛骨ゼラチンを加え、加温しながら1時間攪拌させました。この溶液を内径35mmのポリスチレンシャーレに塗布し、減圧条件のデシケーター内で7日間静置して製膜乾燥させた後、アルミジップロック内にシリカゲルを同封して保存しました。

雲粒採取は、この採取ツールを温湿度センサー（おんどとり、T&D社）と併せて小型クアッドコプター（Mavic3, DJI社）に搭載し、約5分間の平均飛行時間で雲粒を直接採取しました。採取は2024年4月から10月までの各月、富士山五合目の太郎坊（海拔1290 m）にて、150~500m上空の雲に対して行いまし

た。

生成した沈殿物の観察にはデジタルマイクロスコープ（KEYENCE VHX-7000）を用い、撮影した単一雲粒の画像から、画像処理ソフトにより雲粒直径と白色沈殿のピクセル数を計測しました。それらの情報から雲粒体積と硫酸塩物質量をそれぞれ見積もることで、個数分布や互いの相関について検討しました。



図2 雲粒採取に用いた採取ツール搭載クアッドコプター

3. 時間とともに雲粒の大きさが揃ってくる

2024年4月から10月までの各月の雲粒を解析したところ、4月16日と10月15日において、本手法の検出下限を上回る硫酸塩を含む雲滴が多く観測されました。これに対して、5月から9月の試料では低濃度でした。昨年までの採取試料についても、気温が上昇し、大気中の水分量が增大する夏季の期間は雲粒に含まれる硫酸塩濃度が低下する傾向が見られ、今年の結果と一致しました。

図4は、2024年4月16日 12:50, 13:30, 14:00, 14:30に太郎坊観測サイト上空（高度1,590m）で採取した雲粒の粒径分布を示しています。従来1時間以上の間隔を空けて採取していましたが、より詳細な経時変化を見るために今回は30分間隔としました。雲が形成し始めた12:50の時点では、雲粒の粒径は70と110 μm の二つにピークをもった比較的広い分布を示しましたが、時間とともに110 μm のピークは消失した一方、70 μm のピークが大きくなる傾向が見られました。これらの結果から、雲形成時は様々な粒径分布を持つ雲粒が、時間とともに収束していく可能性が考えられます。われわれは雲粒と同様に降水イベントにおける雨滴を採取解析していますが、これまでに雨滴粒径分布が狭いイベントが多く観測されています。今

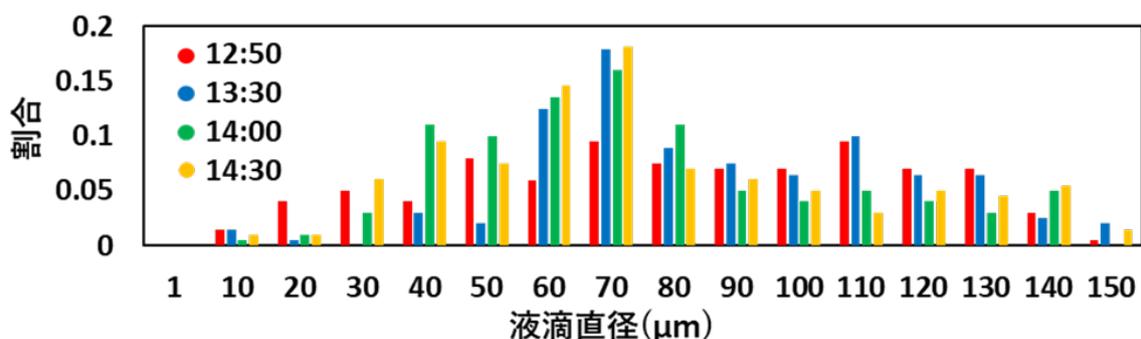


図3 太郎坊上空（高度1590 m）でドローンにより採取された雲粒跡の直径分布

回の結果と併せて考えると、雲粒の成長過程において粒径分布が収束していき、ある臨界サイズに達すると雨として降下するという可能性が考えられます。このように、雲粒の経時採取試料の解析は、雲粒の形成と成長過程について考察する上で重要な知見となることが期待されます。本会では、10月15日に採取された経時採取試料についても併せて報告します。

4. 雲粒は成長過程で特徴が変わる

図4に各時間に採取された雲粒中に存在する硫酸塩濃度と物質量の関係を示します。各プロットが個々の雲粒を意味しています。時間とともに累乗関数近似の相関係数は増大しており、また、比例関係に近づくことが確認されたことから、前述の通り、雲粒の粒径分布が収束していくことが確認されました。一方、同様に、「硫酸塩濃度」と「雲粒体積」の相間についても検討したところ、雲形成からの経過時間が短い時点では、累乗関数近似の相関係数は高く、反比例の関係が見られました。これは、各雲粒に含まれる硫酸塩の物質量が狭いことを意味しており、図4に示した相関とは逆に、時間の経過とともに発散していくことが示されました。これらの結果から、雲形成時は凝結核となるエアロゾルの物質量は雲中に均一に存在し

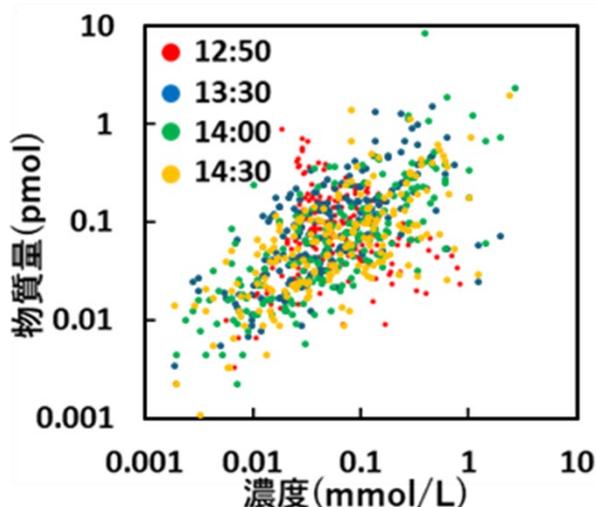


図4 太郎坊上空（高度1590 m）でドローンにより採取された雲滴中硫酸塩の濃度と物質量の関係

ており、時間の経過とともに吸湿や乾燥、合体などの過程を経て、雲粒粒径が揃ってくるのが考えられますが、その詳細については解明の余地が残されています。

5. おわりに

過去3年間に太郎坊観測サイトにおいてドローン採取された雲粒中に含まれる硫酸塩の結果から、夏季の雲粒については本手法の検出下限を下回るものがほとんどであり、気温上昇にともなう大気中水分量による希釈効果が考えられます。ただし、雲凝結核となる海塩エアロゾルや硫酸塩エアロゾルの影響についても考慮する必要があります。

これまで雨滴には、①雨滴体積分布が狭いパターン、②雨滴中の硫酸塩物質質量分布が狭いパターン、③硫酸塩濃度分布が狭いパターンの3種類が存在することが分かっており、時間とともに雨の特徴が変遷していく傾向が確認されていました。しかし、その支配要因や相互関係については未解明でした。今回、雲粒の解析結果からも、パターン②からパターン①へと変遷する傾向が確認され、雲粒の凝結形成から成長を経て、降水するまでの過程について検討する上で重要な手がかりとなる可能性が示されました。

参考文献

- 1) M. Kasahara, S. Akashi, C.-J. Ma, and S. Tohno, *Atmos.Res.*, **2003**, 65, 251.
- 2) C.-J. Ma, S. Tohno, M. Kasahara, and S. Hayakawa, *Anal.Sci.*, **2006**, 22, 415.
- 3) K. Bächmann, I. Haag, T. Prokop, A. Röder, and P. Wagner, *J. Chromatogr. A*, **1993**, 643, 181.
- 4) A. Röder and K. Bächmann, *J. Chromatogr. A*, **1995**, 689, 305.
- 5) B. Tenberken, P. Ebert, M. Hartmann, M. Kiber, A. Mainka, T. Prokop, A. Röder, and K. Bächmann, *J. Chromatogr. A*, **1996**, 745, 209.
- 6) B. Tenberken and K. Bächmann, *J. Chromatogr. A*, **1997**, 775, 372.
- 7) B. Nanzai, Y. Goto, Y. Ishida, and M. Igawa, *Anal. Sci.*, **2019**, 35, 1263.

富士山麓太郎坊で測定したエアロゾルは減っているか？

○三浦和彦^{1,2}, 永野勝裕², 大河内 博³, 速水 洋³, 加藤俊吾⁴, 和田龍一⁵, 皆已幸也⁶,
小林 拓⁷, 森 樹大⁸, 矢吹正教⁹, 岩本洋子¹⁰, 上田紗也子¹¹, 青木一真¹², 鴨川 仁¹³

1. 富士山環境研究センター, 2. 東京理科大学, 3. 早稲田大学, 4. 東京都立大学, 5. 帝京科学大学, 6. 石川県立大学,
7. 山梨大学, 8. 慶應義塾大学, 9. 京都大学, 10. 広島大学, 11. 名古屋大学, 12. 富山大学, 13. 静岡県立大学

1. はじめに

二酸化炭素の増加により地球の温度が上がっているのはご存知ですね。富士山頂の二酸化炭素も増加しています。一方、冷却効果のあるエアロゾル粒子は減少しています。エアロゾル粒子が爆発的に増加する、二酸化硫黄や揮発性有機化合物(VOC)などの気体が粒子になる現象を新粒子生成(NPF)といいます。私たちは地球規模での傾向を調べるため、自由対流圏に位置することが多い富士山頂(3776m)で2006年からエアロゾル濃度の観測を始めました。

その結果、富士山頂で測定した2006年から2019年までの夏期のエアロゾル粒子の濃度は13年間に約3分の1に減っていることがわかりました¹⁾。走査型易動度分析装置(SMPS, DMA3081+CPC 3775)を用い粒径約15~470nmの粒径分布を測定しました。図1にあるようにモード別に粒子濃度を見ると、特に核生成モードの減少が著しく、日中、夜間ともに見られました。東京スカイツリー(458m)で測定した粒子濃度も2016年6月から2018年9月までに約3分の1に減ってい

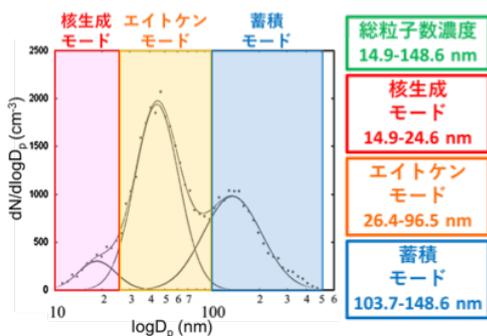


図1 モデル粒径分布の各モードの説明図

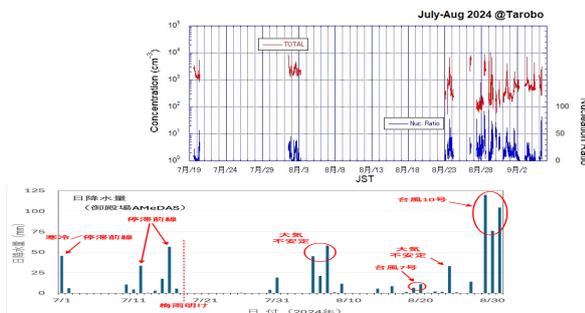


図2 2024年夏期集中観測期間に太郎坊で測定した総粒子濃度、核生成モードの割合(上)と御殿場における降水量(下)

ます²⁾。冷却効果のあるエアロゾルが減少した場合、それ分、温室効果ガスの排出規制をしなくてはなりません。エアロゾルは今後も減少するのでしょうか？

2. 太郎坊での観測

太郎坊(1290m)でのエアロゾル観測は2005年から夏期を中心に断片的に行っていましたが、新型コロナ感染を避けるため山頂での観測を断念し、2020年8月から太郎坊での通年観測を始めました。2024年度は測定器のトラブルのため欠測が多いですが、総粒子濃度は2021年³⁾、2022年⁴⁾、2023年⁵⁾と同様、日中高く夜間に低いという日変化を示しました。また降水量が増加すると、濃度が減少していました。総粒子濃度が減少した時に、核生成モードの割合が大きくなる傾向が見られます。

図3に2017年から2024年に夏期集中観測期間に測定した総粒子濃度、核生成モードの割合と月毎の測定日数を示します。上図は終日、下図は人間活動の少ない夜間(0時~3時)のデータです。山頂の経年変化のような減少傾向は見られず、終日のデータではむしろ増加傾向が見られます。

図4に2017年8月~2024年12月まで太郎坊において同じ装置で測定した総粒子数濃度、核生成モードの割合、測

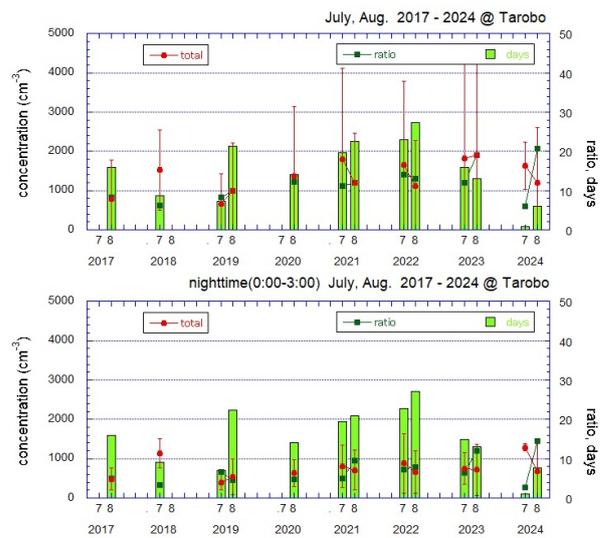


図3 2017年から2024年夏期集中観測期間に測定した総粒子濃度、核生成モードの割合と月毎の測定日数 上: 終日データ, 下: 夜間のみのデータ

定日数の経年変化（上）とモード別粒子数濃度の経年変化（下）を示します。左図は終日、右図は夜間のデータです。2017年から2024年の季節変化を見ると、冬期の、特に夜間(0-3時)の冬期の核生成モードの割合が高い傾向が見られます。

核生成モードの粒子の増加からNPF イベントが多いことが予想されます。新粒子生成の前駆ガスとして二酸化硫黄、窒素酸化物、揮発性有機化合物(VOC)が考えられます。図5に和田ら⁶⁾が太郎坊で測定したNO_z(硝酸塩粒子)とAitkenモード、核生成モードの粒子濃度と関係を示します。一般に、窒素化合物による新粒子生成は二酸化硫黄、VOCより可能性が低いと言われますが、核生成モードの粒子濃度との正相関が見られ、窒素酸化物による新粒子生成を示唆する結果が得られました。

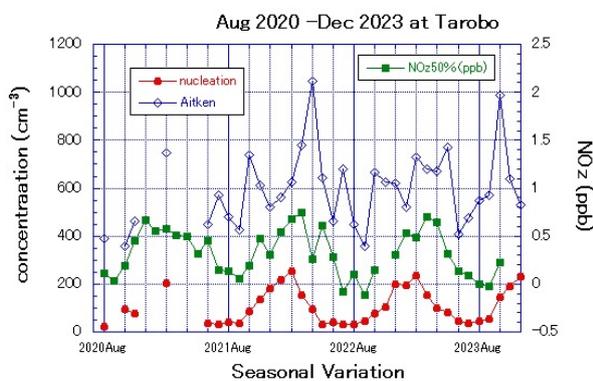


図5 2020年8月から2023年12月に測定したAitkenモード、核生成モードとNO_z(硝酸塩粒子)との関係

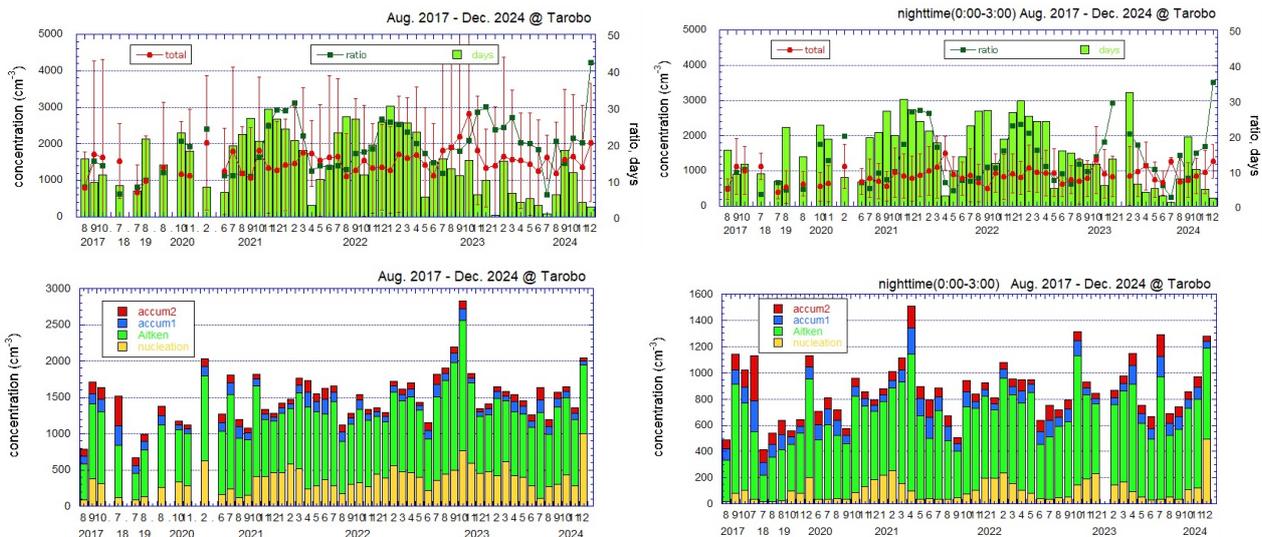


図4 2017年8月～2024年12月まで太郎坊において同じSMPSで測定した総粒子数濃度、核生成モードの割合、測定日数の経年変化（上）とモード別粒子数濃度の経年変化（下）
左：終日データ、右：夜間のみのデータ

3. おわりに

太郎坊における総粒子数濃度には減少の傾向は見られませんでした。冬期の核生成モードの割合が高い傾向が見られました。窒素酸化物による新粒子生成を示唆する結果が得られましたが、今後、二酸化硫黄やVOCとの関連も調べたいと思います。また、太郎坊において自由対流圏のエアマスが測定できるかどうか、夜間のデータや風系を考慮して検討したいと思います。

謝辞

本研究の一部は、科研費基盤研究B(19H04238, 22H03732)(代表 矢吹正教, 2019-2021年度, 2022-2024年度)の助成により行われました。

参考文献

- 1) 五十嵐博己ら(2022)夏季の富士山頂における粒子数濃度の経年変化, *エアロゾル研究* **37**(1), 36-44.
- 2) 三浦和彦(2021)東京都心における大気エアロゾル粒子の変動, *大気化学研究* **45**, A03
- 3) 三浦和彦ら(2022)微粒子が気候を変える!—富士山体を利用したエアロゾルの気候影響の研究—, 第15回成果報告会要旨講演予稿集, 14-15.
- 4) 三浦和彦ら(2023)気温を下げるエアロゾルは減っているか, 第16回成果報告会要旨講演予稿集, 10-11.
- 5) 三浦和彦ら(2024)気温を下げるエアロゾルは減っているか, 第17回成果報告会要旨講演予稿集, 47-48.
- 6) 和田龍一ら(2024)富士山太郎坊で山頂と同じ大気汚染物質の濃度を観測できる? 第17回成果報告会要旨講演予稿集, 55.

富士山科学学校

クラウドファンディングリターン
認定 NPO 法人富士山測候所を活用する会

1. クラウドファンディング

2020年6月26日～8月15日までの間、新型コロナウイルス感染防止による夏期観測の中止のため「世界遺産富士山を活用した研究がピンチに！測候所存続のために力を！」と題しクラウドファンディングプロジェクトを実施しました。その後、山頂測候所での感染対策からリターンを実施できずでしたが、この度「富士山科学学校 -ガイドつき富士山登山とレクチャー受講-」を行いました。

2. スケジュール

日時:7月23日(火), 7月24日(水)の2日間

行程:

7月23日(火)

09:30 JR三島駅集合

09:45 富士宮口五合目へ

11:00 五合目着

11:20 登山開始 宝永火口を經由して御殿場登山道の七合五尺のわらじ館へ

15:50 わらじ館着

7月24日(水)

05:00 山小屋発 登山開始

08:20 浅間大社奥宮着 参拝後測候所へ

08:50 測候所着

11:20 測候所発

11:35 ブル乗車

14:10 太郎坊着

14:30 太郎坊発 御体内温泉へ

15:00 御胎内温泉で入浴

16:00 御胎内温泉発 三島駅へ

16:45 三島駅着

3. リターン内容

クラウドファンディングにご寄附をいただいた松井様ご夫婦を山岳ガイドのプロフェッショナルである本NPO御殿場班の古谷朋之(株式会社KAZEエクスペディション)のアテンドで山頂測候所まで富士山登山を行いました。2日目には本NPO大河内副理事長と加藤理事が夏期観測で行われている観測・研究についてレクチャーしました。

1号1階(通信会社、ベッド)

1号2階(大気など観測機器、ベッド)

2号1階(応接室)

3号2階(大気など観測機器)

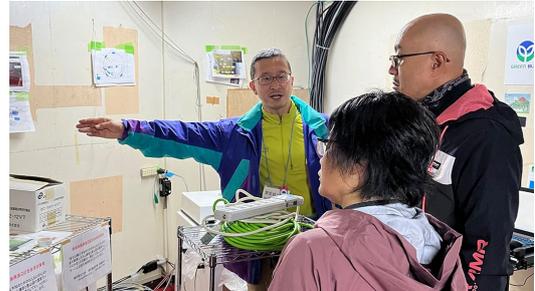
3号西側外(大気サンプリング機器)



松井様ご夫妻と大河内副理事長



松井様ご夫妻とガイドを務めた古谷朋之



測候所内でのレクチャー風景

連絡先 : NPO 事務局 (NPO Mount Fuji Research Station) tyo-ofc@npofuji3776.org

4. 松井様からのお礼のお手紙

2日間の富士山での体験を無事に終了して、後日松井様からご丁寧なお礼のお手紙をいただきましたので紹介させていただきます。

(原文ママ)

先週、富士山測候所にお邪魔いたしました松井徹、松井千春です。

その節は、本当に何から何まで皆さまに良くしていただき、ありがとうございました。とりわけ、早稲田大学 大河内先生とゼミの学生さん、東京都立大学 加藤先生には、お忙しい中測候所の施設や活動内容を分かりやすくご説明いただき大変勉強になりました。また、今回全行程付き添ってくださった古谷さんには、出発前の準備から、富士山特有の歩き方、高地での呼吸の仕方まで丁寧なアドバイスをいただき、本当に助かりました。言い尽くせないほど感謝の気持ちで一杯です。

「人生で一度くらいは富士山に登ってみたいね」と何年か前から夫婦で話をしていた、たまたま新聞記事で貴法人のクラウドファンディングのこと、富士山と測候所ツアーのリワードのことを知り、何気ない気持ちで参加しました。恥ずかしながら、それまで富士山測候所の状況も貴 NPO 法人のこともまったく存じ上げませんでした。

今回初めて測候所で行われている研究の重要性を知り、改めて、我々のファンディングが多少なりとも測候所の存続に貢献できたとしたら非常に光栄だなと思いました。

少し前の話ですがユヴァル・ノア・ハラリさんの「サピエンス全史」を読んだ時に、地道に細かなエビデンスを長年積み重ね、それをグローバルに集めて整理して分析することによってはじめて壮大な事実が見えてくるということを学び、感動を覚えた記憶があります。測候所で現在行われている測定や研究は、まさに壮大な事実を解明するための非常に重要なものだと思いました。今後も安定して継続されることを切に望みます。

さて、我々の富士山初体験は、二人とも高山病にもならず怪我もなく、楽しみながら比較的順調に頂上にたどり着くことができて、とても思い出深いものになりました。途中で家内が足をつって、それ以降古谷さんに家内のリュックもずっと背負ってもらったとか、私も少し歩くとすぐ足に乳酸が溜まって休み休みになるのでどうしても遅れ気味になったとか、古谷さんにご迷惑かけっぱなしではありましたが、辛抱強くお付き合いくださった古谷さんに改めて感謝です。あと、山頂浅間神社の鳥居にたどり着いて「やったー！ 登り切った！」と喜んだのも束の間、身の危険を感じるほどの強風吹きすさぶ馬の背の遥か先にそびえたつ測候所が目に入ったときはかなり心が折れましたが、それも何とか克服できて、今ではむしろ良い思い出です。

どうしても特筆すべきは、アイリッシュ音楽の愛好家グループでバグパイプを吹いている家内が、仲間からの期待に応えて、山頂で童謡「ふじの山」をバグパイプで独奏するというイベントが実現できたことです。富士山頂でバグパイプが演奏されたのは、もしかしたら有史以来初めてではないでしょうか。家内が歴史に名を残せてよかったです。もっとも本人は、平地との気圧の違いの影響で音程がへろへろになっている自分の演奏を後でビデオで見て、かなり落ち込んでいますが、いろいろ書いてまいりましたが、このあたりで筆をおきたいと思います。

最後に改めて、今回お世話になった皆さまに心より感謝するとともに、今後も測候所がより良い形で存続され研究が順調に進みますことを心よりお祈り申し上げます。

2024年7月 松井徹、千春



松井様奥様のバグパイプ独奏

5. おわりに

クラウドファイティング終了から初めてとなる富士山科学学校が無事に終了しました。ご参加いただいた松井様ご夫妻に感謝するとともに全行程が事故なく無事に終了したことに関係者一同胸を撫で下ろしています。



測候所前で記念写真



第18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