

第11回成果報告会プログラム

期日： 2018年（平成30年）3月25日（日）13:00-18:00

会場： 東京理科大学 森戸記念館（新宿区神楽坂4-2-2）
第一フォーラム（オーラル），第一会議室（ポスター）

共催： 認定NPO法人富士山測候所を活用する会
東京理科大学総合研究院大気科学研究部門

後援： 公益財団法人 粟井英朗環境財団
一般社団法人 新技術振興渡辺記念会
公益信託 大成建設自然・歴史環境基金
トヨタ自動車株式会社「トヨタ環境活動助成プログラム」
公益財団法人 日本環境協会 東京ガス環境おうえん基金

13:00 開会宣言 鴨川仁（成果報告会実行委員会）
開会のご挨拶 畠山史郎（NPO理事長）

13:05 - 14:05 オーラルセッションA

座長 小林拓（山梨大学）

13:05	A-01	9年間の富士山頂のCO ₂ 濃度観測結果	○野村渉平，向井人史(国立環境研究所)
13:20	A-02	2017年夏季の富士山でのCO, O ₃ , SO ₂ 測定 * 新技術振興渡辺記念会受託事業	○加藤俊吾，高田大地，千島峻（首都大），三浦和彦（東京理科大），大河内博（早稲田大），小林拓（山梨大），鴨川仁（学芸大）
13:35	A-03	富士山の山頂お鉢および宝永火口における火山ガス調査	○大河内博，山地達也，島田幸治郎（早稲田大），戸田敬，岩崎真和，光石夏澄（熊本大）
13:50	A-04	航空機排ガスが上空大気質に与える影響：富士山頂で調べることができるのか？	○大河内博，山脇拓美，島田幸治郎（早稲田大），皆巳幸也，勝見尚也（石川県立大），小林拓（山梨大），戸田敬（熊本大），米持慎一（埼玉環境科学国際センター），竹内政樹（徳島大）

14:15 - 15:40 オーラルセッションB

座長 皆巳幸也（石川県立大学）

14:15	B-01	富士山頂で昼夜別採取したPM _{2.5} の化学成分の特徴	○米持真一，堀井勇一，藤井佑介，畠山史郎（埼玉環境科学国際センター），大河内博，小西智也，崎山浩太（早稲田大），Ki-Ho Lee，Chul-Goo Hu（韓国済州大）
14:30	B-02	偏光OPC観測ネットワークによる2017夏期観測結果及び精度向上のための検討 * 2017年度粟井英朗環境財団助成事業	沖由裕，石井雄太，○小林拓（山梨大），林政彦，白石浩一（福岡大），財前祐二，五十嵐康人（気象研），佐野到（近畿大），鶴野伊津志（九州大），西澤智明，清水厚，杉本伸夫（国環研），三浦和彦（東京理科大）
14:45	B-03	山岳大気エアロゾルの気候への影響に関する研究	○三浦和彦，森樹大（東京理科大），永野勝裕（東京理科大理工），矢吹正教（京都大），加藤俊吾（首都大），和田龍一（帝京科学大），大河内博（早稲田大），小林拓（山梨大），東秀憲（金沢大），鴨川仁（学芸大），足立光司（気象研），岩本洋子（広島大），青木一真（富山大），櫻井達也（明星大），植松光夫（東京大）
15:00	B-04	富士山麓太郎坊におけるエアロゾル数濃度の変動要因（10分）	○越田勇氣(海城高校)，桃井裕広，三浦和彦(東京理科大)
15:10	B-05	通信機能付き簡易モニタリング機器の実証実験（10分）	○遠藤周(東京大)
15:20	B-06	「理科準備室へようこそ」— 富士山頂での教材開発 VI —	○古田豊，島野誠大（立教新座中・高），田中寛崇，清水拓海，関根幹人，田中隆将，長岡大央，根本侑（立教新座高観測部）
15:35	総説	2017年度富士山測候所活用成果の概要及び今後の展開	成果報告会実行委員長・NPO学術科学委員長 鴨川仁

16:45 - 18:00 オーラルセッションC

座長 加藤俊吾（首都大学東京）

16:45	C-01	ビーコンを活用した富士山登山者の動態把握と今後の展開	○田中義朗（日本工営），畠中雅弘（イノテック），安永隆一（UQコミュニケーションズ），木村知（東急エージェンシー），福崎明伸（センチマーニ），磯谷和也（中日本航空）
17:00	C-02	2017年の雷・大気電気研究チームの成果の概要	○鴨川仁（学芸大），雷・大気電気研究チーム
17:15	C-03	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 * 2015年度トヨタ環境活動助成事業 * 2017年度新技術振興渡辺記念会受託事業	○安本勝（ヤマザキ），鴨川仁（学芸大），佐々木一哉（弘前大），土器屋由紀子（富士山測候所を活用する会）
17:30	C-04	富士山頂（3776m）における歩行バランスの評価と急性高山病(AMS)との関連について	井出里香（都立大塚病院），高木祐介（奈良教育大），関和俊（流通科学大），油井直子（聖マリアンナ医科大学）
17:45	C-05	富士山学校科学講座および高所順応トレーニングの12年間の実践の歩み	浅野勝己（筑波大名誉教授）

15:40 - 16:45 ポスターセッション

15:35	P-01	富士山頂におけるナノ粒子の粒子径分布計測	村本慎仁, チャンドラ インドラ, ○東秀憲, 猪股弥生, イクワンユル, 瀬戸章文, 大谷吉生 (金沢大), 岩本洋子, 森樹大, 三浦和彦 (東京理科大), 加藤俊吾 (首都大)
	P-02	積乱雲の雲頂から飛び上がる巻雲: Jumping Cirrusの観測と定量的解析による特徴	○瀬口貴文, 岩崎杉紀 (防衛大), 鴨川仁 (学芸大), 岡本創 (九州大), 石元裕史 (気象研), 牛山朋来 (土木研)
	P-03	2016-2017年における富士山麓の新粒子生成	○大塚拓弥, 佐藤丈徳, 五十嵐博己, 森樹大, 三浦和彦 (東京理科大)
	P-04	富士山頂における新粒子生成の経年変化	○五十嵐博己, 桃井裕広, 佐藤丈徳, 森樹大, 三浦和彦(東京理科大), 岩本洋子(広島大), 和田龍一(帝京科学大), 加藤俊吾(首都大), 大河内博(早稲田大)
	P-05	2015~2017年夏季の富士山頂における雲凝結核の特性	○佐藤光之介, 五十嵐博己, 小菅愛加里, 森樹大, 三浦和彦 (東京理科大), 岩本洋子 (広島大), 大河内博 (早稲田大), 植松光夫 (東京大)
	P-06	2017年夏季の富士山頂におけるエアロゾルの雲粒特性	○小菅愛加里, 佐藤光之介, 森樹大, 三浦和彦(東京理科大), 鴨川仁(学芸大), 大河内博(早稲田大), 植松光夫(東京大)
	P-07	富士山頂・太郎坊で捕集したエアロゾル粒子の個別分析	○児玉真一, 吉末百花 (東京理科大), 足立光司 (気象研), 五十嵐博己, 大塚拓弥, 森樹大, 三浦和彦 (東京理科大)
	P-08	富士山におけるラドン娘核種の変動と山谷風の関係	○横山慎太郎, 永野勝裕, 三浦和彦 (東京理科大), 櫻井達也 (明星大)
	P-09	2014年から2016年に観測された富士山麓における気柱全体のエアロゾル光学特性	○桃井裕広, 三浦和彦(東京理科大), 青木一真(富山大)
	P-10	富士山頂における窒素酸化物の計測	○和田龍一 (帝京科学大), 定永靖宗 (大阪府立大), 加藤俊吾 (首都大), 勝見尚也 (石川県立大), 大河内博 (早稲田大), 岩本洋子 (広島大), 三浦和彦 (東京理科大), 小林拓 (山梨大), 鴨川仁 (学芸大), 松本淳 (早稲田大), 米村正一郎 (農研機構), 松見豊 (名古屋大), 梶野瑞王 (気象研), 畠山史郎 (埼玉県環境科学国際センター)
	P-11	自由対流圏における水晶振動子システムを活用した水銀挙動測定システム	○野田和俊, 兼保直樹 (産総研), 丸本幸治 (国立水俣病総合研究センター)
	P-12	校正用仮設避雷針の実現と雷対策 * 2015年度トヨタ環境活動助成事業 * 2017年度新技術振興渡辺記念会受託事業	○安本勝 (ヤマザキ), 佐々木一哉 (弘前大), 鴨川仁 (学芸大), 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (富士山測候所を活用する会)
	P-13	富士山山頂の環境を利用した教育プログラムFuji-sat3のデータ解析 - 高大連携プロジェクト -	藤原博伸 (女子聖学院高・早稲田大・学芸大), 鴨川仁 (学芸大), 稲崎弘次 (音羽電機), 大河内博 (早稲田大)
	P-14	登山行動中の血行動態の解明 - マルチセンサー自由行動下24時間血圧計を用いた計測 -	○小森孝洋, 金澤英紀, 星出聡, 苅尾七臣 (自治医科大)
	P-15	高所が身体に及ぼす影響の測定・調査	三ツ元三郎, 杉田浩一 (横浜山岳会)
	P-16	富士山頂で大気中の水分を集めて, 飲料水にする装置の実証実験	○中村亮太 (PicoLabo LLC), 藤崎透, 池田仁志郎 (TERU Inc.), 池英俊 (カンキョー)
	P-17	ネパール高所非電化農村地帯向け, 風力主体ハイブリッド発電機の実証実験	桐原悦雄 (産業技術大学院大)
	P-18	位置情報パケット通信システムの伝搬域の調査 ~ 山地行動者の行動把握を目指して ~	○近藤英一 (山梨大)
	P-19	富士山頂から地球環境問題の最先端を学ぼうプロジェクト * 2017年度東京ガス環境おうえん基金助成事業	○鴨川仁 (学芸大), 宮下敦 (成蹊中・高), 大河内博 (早稲田大)
	P-20	世界文化遺産富士山における山頂・剣ヶ峰および旧富士山測候所の保全 * 2016年度大成建設自然・歴史環境基金助成事業	鴨川仁 (学芸大)

9 年間の富士山頂の CO₂ 濃度観測結果

野村渉平, 向井人史
国立環境研究所

1. はじめに

現在, 大気中のバックグラウンド二酸化炭素(CO₂)濃度の観測が行われている観測点は, 世界に約 180 地点ある。しかしこの観測網は地域的な偏りがある。日本における観測点は, 低緯度の離島に集中しており本州にはわずかしかない。東北大学と気象研究所は, 本州のほぼ中央に位置する富士山の頂上で大気中 CO₂ 濃度の観測をそれぞれ 1980-1981 年と 2002-2004 年に行った。それらの観測結果から富士山頂の CO₂ 濃度は, バックグラウンド濃度であることが示唆された。これらの観測で使用された富士山頂にある測候所が 2004 年に無人化され, それに伴い測候所への定常的な電力の供給が途絶えたため, CO₂ 濃度の観測は中断された。

国立環境研究所は, 2008 年に寒冷で商用電力の供給がない環境においても高精度に CO₂ 濃度の測定が可能なバッテリー駆動の自動 CO₂ 濃度観測システムを開発し, それを測候所に 2009 年 7 月に設置し, 富士山頂大気中の CO₂ 濃度の通年観測を試みた。

本報では本システム設置日から 2018 年 2 月末までの 3141 日の内, 2999 日(全期間の 95%)で実施された CO₂ 濃度観測の結果を報告する。

2. 方法

NDIR(LI-COR; Li-840)が内蔵された CO₂ 計により CO₂ 濃度を測定した。CO₂ 計の保温性を高めるため, CO₂ 計を断熱材で覆い, それを保温コンテナに収納し, そのコンテナを断熱材で覆った。測候所に電力が供給されない 9 月から翌 7 月の電源は並列につながれた 100 個のバッテリー(Energysys; G42EP)を用いた。これらのバッテリーは測候所に電力が供給される 7-8 月に蓄電した。電力の消費を抑えるために CO₂ 計による CO₂ 濃度の計測は毎日 JST22-24 時に行った。測定された CO₂ 濃度は NIES09 スケールの標準ガス 3 本により値付けされた。

3. 電圧と気温

CO₂ 計に電力を供給するバッテリー 100 個の電圧と CO₂ 計を収納した保温庫内, CO₂ 計を設置した測候所内および測候所外の気温を図 1 に示した。観測期間において, 電圧低下に伴う CO₂ 計による CO₂ 濃度観測の中断は生じなかった。また CO₂ 計に電力を供給するバッテリー 100 個のうち 50 個を 2016 年 7 月に新規ものと交換した(写真 1)。その影響により 2016-2017 年のバッテリーの電圧が 2015-2016 年の電圧より 0.2 V 上昇した。CO₂ 計が置かれた富士山測候所の室内

気温は, 冬期においては -15°C まで低下した。一方, CO₂ 計が収納された保温庫内の気温は最も低い時期においても 10°C 程度に留まっていた。

4. CO₂ 濃度

富士山頂の CO₂ 濃度は, 4 月に最も高く, 9 月に最も低かった(図 2)。この富士山の CO₂ 濃度の季節変動は, 北半球中緯度の代表的なハワイのマウナロアの CO₂ 濃度の季節変動より半月から 1 か月ほど早かった。また富士山頂の CO₂ 濃度は, 冬期(12-3 月頃)および夏期(6-8 月頃)に極端に高いおよび低い濃度が観測された。これは夏期においては大陸に分布する植生の光合成により CO₂ 濃度が低下した空気塊が, 冬期においては大陸で人為的に排出された CO₂ により CO₂ 濃度が増加した空気塊が富士山頂に移送されるためである。

富士山頂の CO₂ 濃度は, マウナロアより夏期では約 10 ppm 低く, 冬期では約 10 ppm 高かった(図 3)。富士山の CO₂ 濃度の季節変動を省いた長期トレンドは, マウナロアより約 1 ppm 高く推移した。富士山の CO₂ 濃度増加率(長期トレンドの一日の CO₂ 濃度変化量を一年に換算した値)は, マウナロアの CO₂ 濃度変化率と同調しており, 2012 年以降, 富士山の CO₂ 濃度増加率の値は, マウナロアの値に近かった(図 3)。

5. おわりに

今年度は, 富士山頂における CO₂ 濃度観測を長期継続させるために 2009 年に設置したバッテリー 100 個全てを新規のものとの交換した。これにより今後 20-30 年間安定した CO₂ 濃度の観測が富士山頂で行えると想定される。

また 2017 年 7 月から月 1 回の頻度で富士山頂の大気をフラスコに採取する研究を開始した(写真 2)。これにより, CO₂ 以外の温室効果ガス(CH₄ や N₂O)の濃度についても, 新たな知見が得られると考えられるアジア域のバックグラウンド濃度を示すと考えられる。

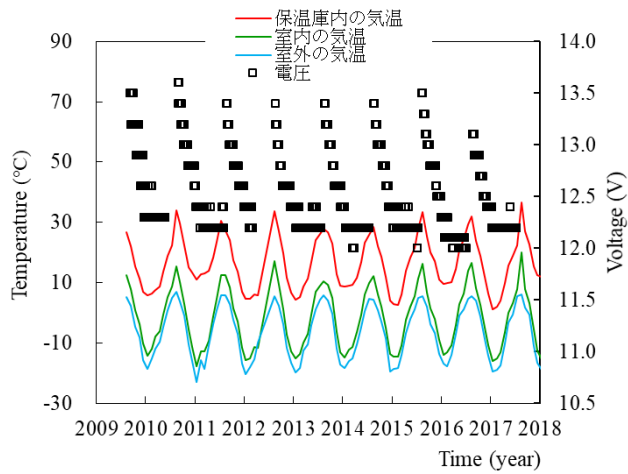


図1 気温とバッテリーの電圧



写真1 新規に交換したバッテリー

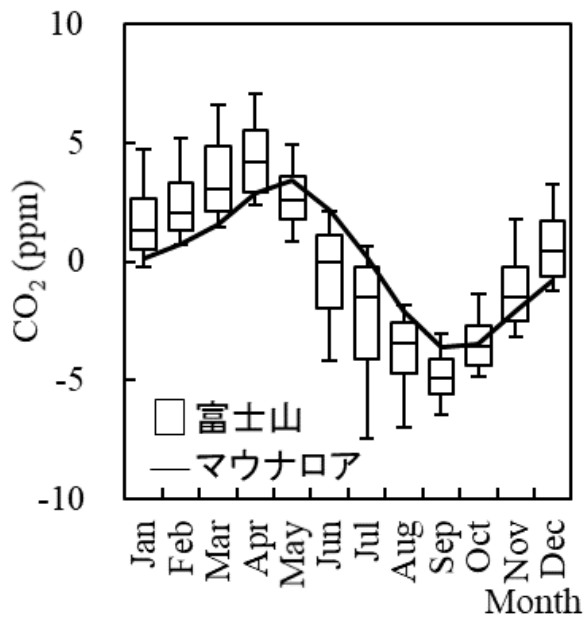


図2 CO₂濃度の季節変動



写真2 大気採取用のフラスコユニット

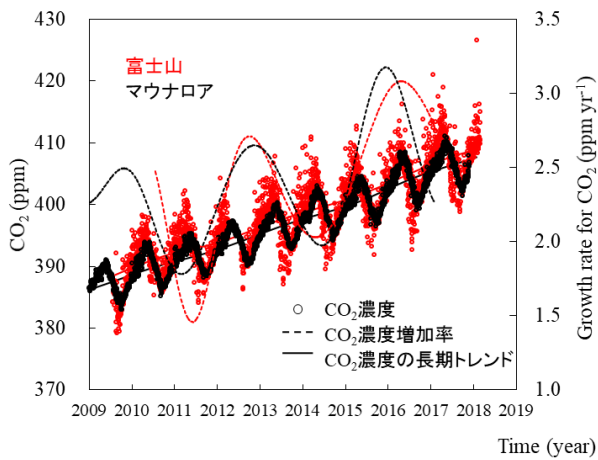


図3 富士山とマウナロアの CO₂濃度

2017 年夏季の富士山での CO, O₃, SO₂ 測定

加藤俊吾¹, 高田大地¹, 千島峻¹, 三浦和彦², 大河内博³, 小林拓⁴, 鴨川仁⁵
 1. 首都大学東京, 2. 東京理科大学, 3. 早稲田大学, 4. 山梨大学, 5. 学芸大学

1. はじめに

高度 3776m の富士山頂は近傍の都市域などからの汚染大気の影響を受けにくく、遠方から長距離輸送される汚染大気塊を捉えるのに適していると考えられる。そのため、夏季の富士山頂において、汚染大気の指標となる一酸化炭素 (CO) およびオゾン (O₃) の観測を行ってきた。また、二酸化硫黄 (SO₂) は主に石炭燃焼から放出されるが、この数年の夏季の富士山頂の観測から、石炭燃焼由来ではなく国内の火山活動により放出される火山性ガスが検出される事例が多数みられた。富士山頂での大気観測ではこれらのような貴重な情報がえられるため、2017 年夏季も継続して行った。また、現在は夏季だけの大気観測を一年を通して行えるようにすることは、富士山などの火山活動の常時モニタリングをするという点からも重要である。しかし、大気微量成分の観測には高価で大型の計測装置が必要であり、消費電力も大きい。富士山頂で商用電源が利用できない期間 (夏季以外) での測定は困難である。そのため、電力消費の少ないガスセンサーを用いて清浄な富士山頂において大気微量成分の測定が行えるかどうかテスト測定を行った。

2. 測定方法

2017 年 7 月 15 日から 8 月 23 日にかけて富士山頂で大気微量成分の連続測定を行った。CO 計と O₃ 計は 1 号庁舎 2 階に設置し、測定データは翌日に web サイト上に公開するようにした。SO₂ 計は 3 号庁舎に設置し、測定データをリアルタイムで web サイト上に公開できるようにして、SO₂ 濃度の変化をどこからでもすぐに確認できるようにした。

CO, O₃, SO₂ の小電力測定には、Alphasense 社のガスセンサー (CO-B4, OX-B431, SO2-B4) をそれぞれ用いた。SO₂ センサーについては商用電源を用いず 12V バッテリーを用いて測定を行った。

3. 結果と考察

CO と O₃ の測定結果を図に示す。清浄な地点である富士山頂においてもある程度の濃度変動が見られており、多くの場合で CO と O₃ の濃度変動は似たような挙動になっていた。空気塊の輸送経路を計算できる後方流跡線から、高濃度の期間は大陸方面から、低濃度の期間は太平洋方面から富士山頂に空気が運ばれてきたとして説明できる。また、CO は低い O₃ だけ高濃度となる場合もあるが、このときには水蒸気濃度も低くなっており、高高度から空気が輸送されてきた

ために O₃ 濃度が高くなっていたことが確認できた。

SO₂ の測定結果はほとんど低濃度で推移していたが、7 月 20 日に 3 時間ほどにわたり高濃度となる現象が見られた。このとき空気塊は北方向から輸送されており、浅間山からの噴煙が輸送されてきた可能性が高い。

ガスセンサーでの CO, O₃ の測定は、比較的高濃度となる都市郊外域 (八王子市南大沢) においては既存の大気汚染測定測器による測定値とよく一致しており、大気観測を行えることを確認していた。低濃度となる富士山頂においては、O₃ はやや感度が違っていたがよく変動をとらえていた。CO についてはおおそ変動をとらえているが、海洋性の大気が輸送されて低濃度となる期間に不一致となることがあり、低濃度となる測定期間で注意が必要となる結果であった。

また、SO₂ センサーについては、標準ガスを用いたテストにおいては数 ppb 程度まで直線性のある応答があることを確認できていたものの、実際の大气測定においてはバックグラウンド信号が観測期間中に大きく変動をしてしまった。低濃度の外気測定にはまだ課題があるが、7 月 20 日の火山性ガス輸送による SO₂ 濃度上昇はわずかにとらえることができた。実際の大气中で火山性ガスをとらえることができるか確認をするため、大涌谷において SO₂ センサーを可搬システムにして測定をおこなった。予想されるような SO₂ シグナルの応答を示しており、高濃度となる近傍からの火山性の SO₂ は実際の大气観測を行えることが確認できた。

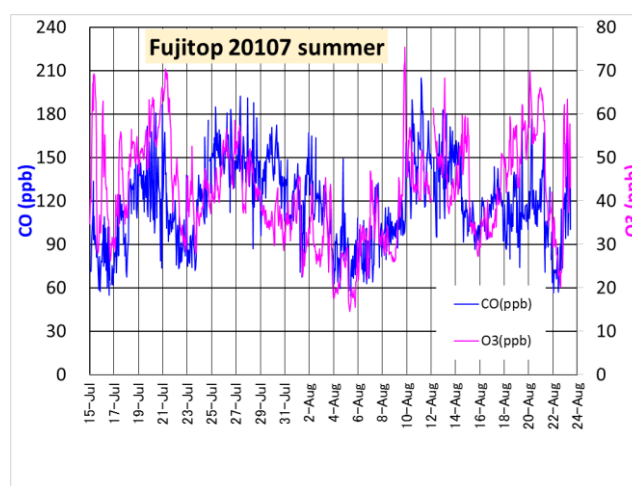


図 2017 富士山頂での夏季の CO, O₃ 濃度変化
 謝辞: ガスセンサーの測定で名古屋大学の松見豊教授に感謝いたします。この研究は新技術振興渡辺記念会の援助を受けて行われた。

富士山の山頂お鉢および宝永火口における火山ガス調査

大河内博¹, 山地達也¹, 島田幸治朗¹, 戸田敬², 岩崎真和², 光石夏澄²

1.早稲田大学, 2.熊本大学

1. はじめに

2014年9月27日に御嶽山が噴火し、多くの登山者が無警戒の状態で大被害、多数の尊い人命が失われました。また、2018年1月23日には白根草津山の本白根山が突然、噴火して12名が死傷しました。この背景として従来の火山学に基づく警戒発令体制の不備が指摘されており、新たな観測体制の構築が急がれています。

これまでの火山ガス観測では、噴煙中の高濃度の火山ガス観測を目的としていますが、噴煙が上がる初期段階では火山ガスは希釈されるため、従来の火山ガス観測に用いられている装置で検知することは困難です。火山ガスの早期検出を行うためには、より微量な火山ガスの検出が行える装置開発が必要となります。

本研究は、将来の富士山噴火に備えて火山ガス(二酸化硫黄と硫化水素)を微量検出可能な連続測定観測システムを構築することを目的としています。昨年の成果報告では、箱根大涌谷と宝永火口で火山ガス調査を行った第一報を報告しました。2017年夏季には富士山頂お鉢とともに、宝永第一火口、第二火口、第三火口で火山ガスの調査を行いました。また、宝永火口の山麓にあたる富士山南東麓太郎坊(1300 m)に火山ガス早期検知テレメーターシステムを設置し、火山ガスの常時観測態勢を構築しました。

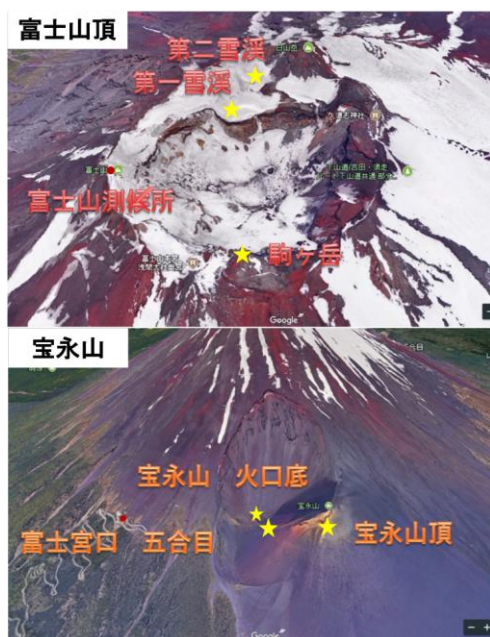


図1 富士山における火山ガスの調査箇所

2. 富士山頂お鉢周辺の火山ガス調査

マイクロガスシステムを携帯しながら計測を行いました。火山ガスは検出されませんでした。しかし、図1に示す富士山測候所、第一雪渓、第二雪渓、駒ヶ岳の礫から硫化カルボニルが検出されました。

3. 富士山宝永火口での火山ガス調査

宝永噴火は1707年12月16日に発生し、翌1708年1月1日まで16日間続いた。宝永火口は将来起こりうる富士山の大规模噴火の一つとして考えられています。2016年の調査と同様に2017年も宝永第一火口、第三火口で0.1~0.2 ppbの硫化水素が検出されました。

4. 富士山南東麓における火山ガス常時監視

図2に示すシステムを構築し、2016年6月から稼働しています。硫化水素は一度も検出されていません。二酸化硫黄も検出されないことがほとんどですが、時々数 ppb に達するピークが検出されることが分かりました。このときには、御嶽山や浅間山など国内火山からの噴煙が輸送されているものと考えられました。



図2 火山ガス早期検知テレメーターシステム

5. おわりに

日本は火山国であり、火山とうまく付き合っていくしかありません。本研究がその一助となれば幸いです。

謝辞

本研究は文科省科研費挑戦的萌芽研究「富士山体から放出される火山ガス早期検知システム」により行われました。グリーンブルー株式会社のご支援に感謝します。

航空機排ガスが上空大気質に与える影響：富士山頂で調べることができるのか？

大河内博¹, 山脇拓美¹, 島田幸治朗¹, 皆巳幸也², 勝見尚也², 小林拓³, 戸田敬⁴, 米持慎一⁵, 竹内政樹⁶
 1.早稲田大学, 2.石川県立大学, 3.山梨大学, 4.熊本大学, 5.CESS, 6.徳島大学

1. はじめに

我々は、自由対流圏における気相(ガス)、固相(エアロゾル)、水相(雲水)中の様々な有機および無機化合物のバックグラウンド大気濃度とバックグラウンド大気汚染要因の解明を目的として、夏季に富士山頂で約 10 年間、大気化学観測を行ってきた。夏季日中には谷風による下層大気の流れを受けることともに、アジア大陸からの空気塊流入により越境輸送の影響を受ける。一方、夜間に海洋大気が上空から流入したときに、ベンゼンやジクロロメタンが高濃度になるという想定外の事例を観測した。この時にはオゾン濃度が高く、湿度が低いことから、自由対流圏上部もしくは成層圏下部からの輸送と推定されたが、その原因解明には至っていなかった。



図 1 富士山頂におけるバックグラウンド大気汚染要因

上空大気の汚染源として想定されるのは航空機排ガスである(図 1)。航空機燃料排出量は典型的な巡航高度である 9-12 km で高いことは知られており、自由対流圏大気に及ぼす影響は無視しえない。日本の航空機燃料燃焼量は米国について世界第二位であることから、日本上空大気質に及ぼす航空機排気ガスの影響評価は不可欠である。航空機排ガスの大部分は窒素と酸素であり、二酸化炭素排出量は全排出量の 3%に過ぎず、窒素酸化物を含む大気汚染物質は 0.4%に満たないことが報告されている。しかしながら、微量成分に関する詳細な報告はほとんどなく、航空機排気ガスのトレーサーは明らかになっていない。そこで、本研究では Kilic et. al (2017) が報告している航空機排ガスの有機化合物分析結果を参考にして、1,2,4-トリメチルベンゼン、1,3,5-トリメチルベンゼン、1,2,4,5-テトラメチルベンゼンに着目し(図 2)、これらを含めて単環芳香族炭化水素 8 種、二環芳香族炭化水素 3 種、

有機塩素系炭化水素 17 種、生物起源揮発性有機化合物 6 種の観測を富士山頂で行った。

2. 2017 年夏季集中観測期間中の VOCs

図 2 に、富士山山頂における 2017 年 8 月 19 日から 23 日の大気中ベンゼン、トリメチルベンゼン、テトラメチルベンゼン濃度の経時変化を、気温、水蒸気混合比、CO および O₃ 濃度ともに示す。8 月 19 日から 20 日にかけて、トリメチルベンゼン、テトラメチルベンゼン濃度は富士山頂で富士山麓よりも

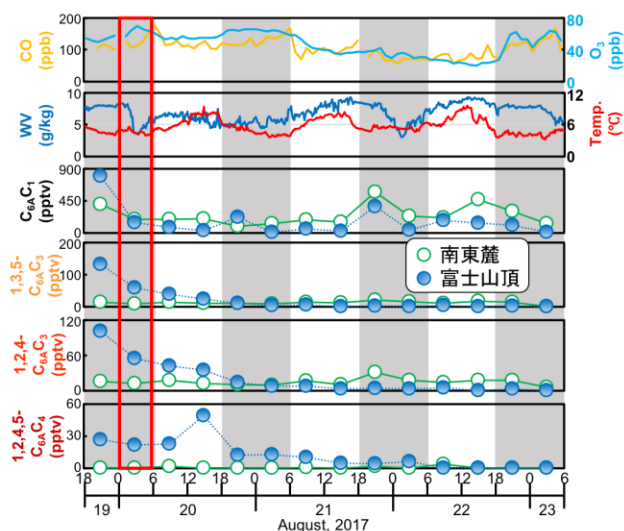


図 2 富士山頂におけるベンゼン類の経時変化

高く、上空に排出源があることを示唆していた。8 月 20 日 0:00-6:00 は O₃ 濃度の上昇、CO 濃度および水蒸気混合比の低下が見られ、後方流跡線は上空 4000m 以上からの下方輸送を示していた。トリメチルベンゼン、テトラメチルベンゼンは航空機排ガスに含まれることから、対流圏界面付近を巡航する航空機からの影響を示唆している。

3. おわりに

今後、飛行場周辺で航空機排ガスの観測を行い、トリメチルベンゼン、テトラメチルベンゼンが航空機排気ガストレーサーとして有効かどうかを検証する。

謝辞

本研究は認定 NPO 法人「富士山測候所を活用する会」の支援の下で行われた。本研究資金の一部は、クラウドファンディング(アカデミスト)、タカハタプレジジョンジャパン株式会社および個人寄付金により行われた。

富士山頂で昼夜別採取したPM_{2.5}の化学成分の特徴

米持真一¹, 堀井勇一¹, 藤井佑介¹, 畠山史郎¹, 大河内博², 小西智也², 崎山浩太², Ki-Ho Lee³, Chul-Goo Hu³
 1. 埼玉県環境科学国際センター, 2. 早稲田大学, 3. 韓国済州大

1. はじめに

日本国内のPM_{2.5}濃度には減少傾向が見られるが, 基準の安定的な達成には, 更なる濃度低減が必要である. 中国でも大気汚染対策が進められているが, 越境大気汚染への社会の関心は依然として高い. 標高3,776 mの自由対流圏に位置する富士山頂を活用することで, 上空に長距離輸送されたPM_{2.5}を調べることが可能である.

我々は2015年, 2016年夏季に各1ヶ月間, 24時間単位のPM_{2.5}採取を行い, その化学組成を調べてきたが, 山岳大気観測では, 日中に暖められた下層の空気が上昇することで影響を及ぼす可能性がある. そこで2017年夏季は日中と夜間に12時間の試料採取を行い, 化学組成の比較を行った. なお, 期間後半に韓国最高峰の済州 Halla 山 (1,950m) 中腹, 中国上海市においてもPM_{2.5}同時採取を行っている.

2. 観測方法

富士山測候所1号庁舎にPM_{2.5}サンプラー(2025i)を設置し, 2017年7月21日~8月15日の26日間採取を行ったが, 29日18時~8月1日18時は, フィルター交換が停止し, 欠測となった. フィルター交換は毎日6時と18時にを行い, 6時~18時を日中, 18時~翌朝6時を夜間とした. 採取はPTFEフィルター(Teflo, Pall)を用い, 水溶性無機イオン(IC法)及び金属元素成分(マイクロウェーブ酸分解-ICP/MS法)を分析した.

3. 結果

Fig.1にPM_{2.5}の濃度変化を示す. 期間中の平均濃度は1.4±1.3 µg/m³であり, 2015年の2.7±1.8 µg/m³, 2016年の2.0±1.3 µg/m³と比べ更に低濃度となった. 最高濃度は7月25日日中の5.0 µg/m³であり, 10試料で秤量値がマイナスとなった. 平均濃度の比較では, 日中が1.7±1.5 µg/m³, 夜間が1.6±1.1 µg/m³と大きな差は無かったが, 相対的な高濃度は, 日中に見られる傾向があった.

Fig.2にアルミニウム(Al)濃度とヒ素(As)/バナジウム(V)比を示す. Alは土壌粒子の指標であり, 2016年に許可を得て採取した表土では, Feに次いで多い元素であった(Siは除く). Alは日中に上昇, 夜間に減少する昼夜変動が見られた. これは登山者や風の影響で表土が飛散したためと考えられた. 一方, 米持ら(2017)が着目してきたAs/VはAlの変動とは逆で, Al上昇時に減少する傾向が見られた. 2016年に採取した富士山表土のAs/Vは0.0059, 一般的な土壌で0.049(Rudnick et al., 2003)であり, 土壌粒子の影響を受ける

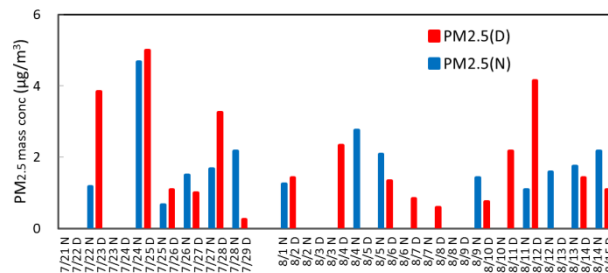


Fig.1 PM_{2.5}濃度[D(赤): 日中, N(夜): 夜間]

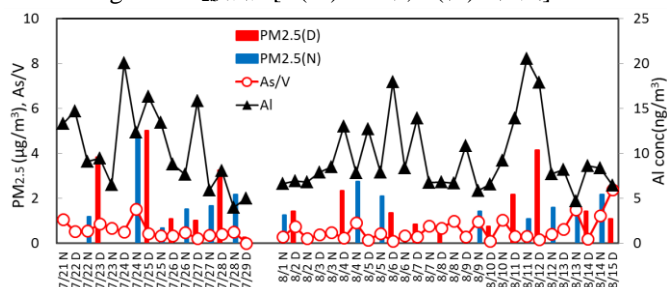


Fig.2 PM_{2.5}とAl濃度およびAs/V比

とは低下することと整合する. 一方, As/Vが0.9以上となった事例は9回あり, 8月15日日中を除く8回は夜間であった. 日中韓の同時観測から得られたAs/Vは, 都心と加須が0.14~0.26であるのに対し, 北京市で2.2~3.0であったことから, As/Vの上昇は, 中国方面から自由対流圏を長距離輸送された気塊の影響による可能性が示唆された.

4. おわりに

昼夜別採取の結果, 日中はAlの上昇とAs/Vの低下が見られた. 一方As/Vの増加のほとんどは夜間に見られた. これらは, 日中は表土巻き上げの影響, 夜間は中国方面からの気塊の長距離輸送を示唆するものであり, 昼夜別採取と富士山頂測候所における大気観測の優位性が示された.

謝辞

本研究は, 埼玉県環境部大気環境課PM_{2.5}対策事業および科研費基盤C(17K00535)により実施されました. 2025iの動作確認は, 山頂班の皆様, 早大大河内研を始め多くの多くの関係者の協力によるものです. 心より感謝申し上げます.

参考文献

- 1) 米持ら, 富士山頂, 韓国済州島および上海で採取したPM_{2.5}の化学組成と起源, 第10回成果報告会講演予稿集, p.32-33 (2017).
- 2) Rudnick *et al.*, Composition of the continental crust, *Treatise On Geochemistry*, 3, pp.1-64 (2003).

偏光 OPC 観測ネットワークによる 2017 夏期観測結果及び 精度向上のための検討

沖由裕¹, 石井雄太¹, 小林拓¹, 林政彦², 白石浩一², 財前祐二³, 五十嵐康人³, 佐野到⁴,
鵜野伊津志⁵, 西澤智明⁶, 清水厚⁶, 杉本伸夫⁶, 三浦和彦⁷

1.山梨大, 2.福岡大, 3.気象研, 4.近畿大, 5.九州大, 6.国立環境研, 7.東京理科大

1. はじめに

大気エアロゾルは自由対流圏を通じ越境輸送され、地球の放射収支や人間の健康に影響を与えることが示唆されている。そのため、自由対流圏中の越境輸送微粒子の量や組成などの動態を把握することが求められている。時間的空間的に規模の大きい越境輸送イベントを捉えるためには、多地点での観測が有効である。そこで、自由対流圏の観測に適した富士山頂および木曾駒ヶ岳千畳敷カール(以下、千畳敷)において偏光 OPC(以下 POPC)を用いた観測を実施した。POPC とは、微粒子によって散乱される光がその微粒子の形状によって偏光特性が変化することを利用し、微粒子の組成を大別し測定する測器である¹⁾。測定した散乱光強度と偏光度から、3区分(人為起源粒子、鉱物粒子、海塩粒子)の質量濃度を推定した²⁾。さらに、粒径区分範囲の細分化および組成毎に複素屈折率を設定することによる質量濃度の推定精度向上方法に関し検討を行った。また、観測ネットワークを構成する各地点に設置された POPC の器差を構成するために可搬型の標準粒子発生装置の開発を実施した。

2. 方法

2-1 山岳域での観測

富士山頂(標高 3776m)に位置する富士山測候所3号庁舎に POPC を設置した。共用インレットを通じて外気を導入した。設置は夏期のみである。また、木曾駒ヶ岳の西南西に位置するホテル千畳敷(標高 2640m)の東側の鉄塔に気象

研究所により設置された観測箱内へ POPC を設置した。外気は、長さ約 0.5m の導電性チューブにより導入した。

2-2 粒径区分範囲の細分化による推定誤差の改善

従来は POPC の測定粒径範囲の 0.5 μm ~10 μm を 4 区分に分け、質量濃度を算出していた。しかし、このビン幅では粗く、粒径分布によっては、各区分の代表径と体積相当径の平均値との差が大きくなる可能性があった。そこで区分範囲の細分化による質量濃度の推定誤差の軽減効果を検証した。ミー散乱理論に基づいて PSL 粒子(複素屈折率:1.590-1.000e-7i)に対する粒径と散乱光強度の関係を算出し、ビン数を 20 とし、新たな粒径区分を設定した。

2-3 組成毎の複素屈折率の設定による推定誤差の改善

従来の手法では、PSL 粒子の複素屈折率を用いて、散乱光強度から粒径を算出していたため、実粒径と異なる可能性があった。そこでビン数を細分化した後、同じく九州大学で観測された 2017 年 1, 2, 5, 8 月のデータを用いて、人為起源粒子、鉱物粒子、海塩粒子それぞれに複素屈折率を仮定した場合の 3 成分の質量濃度の算出を行った。複素屈折率はそれぞれ 1.353-3.603e-9i, 1.550-5.500e-3i, 1.373-3.881e-9i とした。その後、同地点で観測していた ACSA-12(紀本電子工業)の測定結果と比較した。

2-4 可搬型標準粒子発生装置の開発

外気をポンプ(ケー・エヌ・エフ・ジャパン, N86KN.18)にて吸引しマスフロコントローラー(エフコン, CUBEMFC1005-4S2-5L Air)を用いて流量を 5L/min に設定した。吸引した外気はフィルター(ADVANTEC,

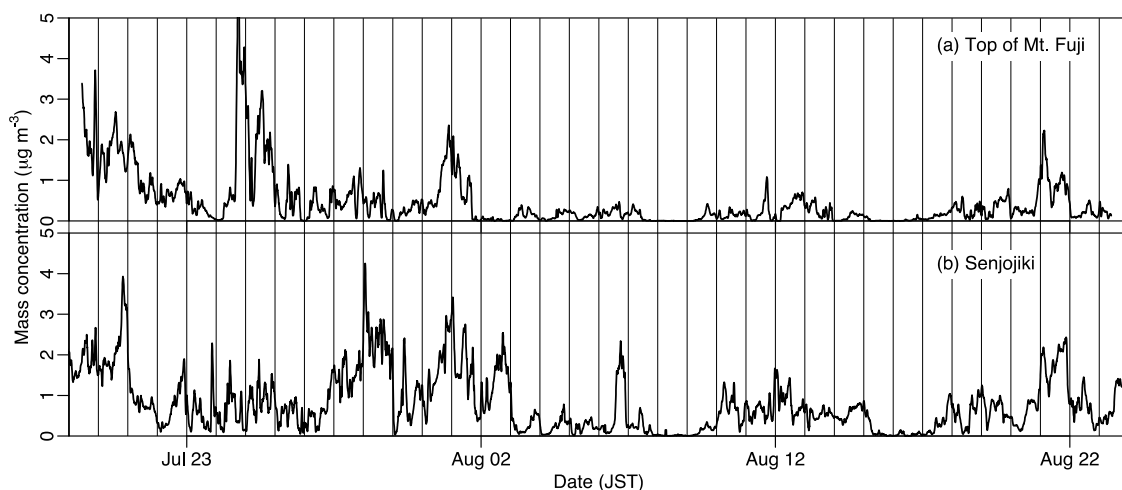


図1 2017年夏季にPOPCで観測された人為起源粒子の質量濃度の時間変動。(a)富士山頂, (b)千畳敷。

CCF-020C1B)を通しクリーンな空気にしたあと、ネブライザー(石山理化学硝子製作所, 平型)を用いて純水中に分散している標準粒子を噴霧させた。サンプルエアはパーマピュアドライヤー(パーマピュア, MD-110-24P)によって乾燥させた後POPCに導入した。各部品とそれを固定するフレームも含め運搬を行うために分解が可能である。標準粒子はPOPCの粒径区分のしきい値として用いている0.5 μm , 1.0 μm , 5 μm を用意した。それぞれはポリスチレンラテックス粒子(PSL粒子)(ライフサイエンス, SC-051-S, SC-103-S, Thermo SCIENTIFIC, 4205A)である。POPCで計測された個々の粒子のパルスデータを統計的に処理し、外れ値を取り除いた。

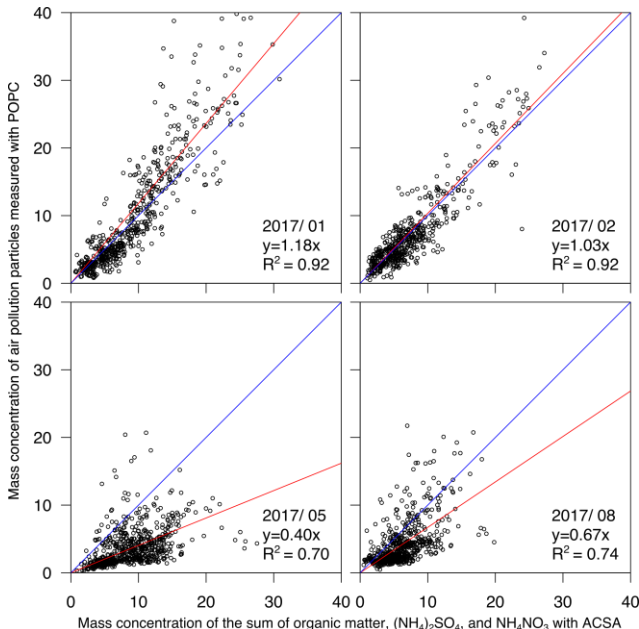


図2 POPCの測定結果から算出した人為起源粒子の質量濃度とACSAの測定結果から推定した有機エアロゾル粒子, 硫酸アンモニウム粒子, 硝酸アンモニウム粒子の質量濃度の和との比較。青線は1:1, 赤線は回帰直線を示す。

3. 結果

図1に富士山頂および千畳敷においてPOPCにより観測された人為起源粒子の質量濃度を示す。一般に山岳域は山谷風の影響を受け、日中、濃度が上昇し、夜間、減少する日変動がみられる。いずれの地点でも日中、比較的濃度が高くなっていた。しかし、7/20前後、8/1, 8/13, そして8/21は双方の地点で夜間の濃度も高くなっていた。NOAA HYSPLITによる後方流跡線解析によると、これらの期間の気塊は大陸方面から飛来していたことが示されており、越境輸送されたと考えられる。

粒径区分の細分化, および, 組成毎に複素屈折率を考慮することにより, 人為起源粒子の質量濃度は約3倍, 鉱物粒子, 海塩粒子は1.1倍増加した。ACSAで測定された SO_4^{2-} , NO_3^- , 水溶性有機物濃度から硫酸アンモニウム粒子, 硝酸

アンモニウム粒子, そして有機エアロゾル粒子の濃度を推定し, これらの和とPOPCで測定した人為起源粒子の質量濃度と比較した(図2)。冬季はほぼ1:1の関係を示したが, 5月, 8月では, POPCの結果が低くなり, 季節の違いによりエアロゾルの組成が異なったためと考えられる。POPCの光学系におけるPSL粒子のミー散乱理論から算出した粒径に対する偏光度の推定値と実測値と比較した(図3)。概ね一致したが, 0.5 μm はS/Nが悪いため, 若干過大評価していた。

5. まとめ

富士山頂および千畳敷に設置されたPOPCの観測結果から同期した濃度上昇がみられ, 後退流跡線解析の結果から越境輸送された気塊を捉えたと考えられる。POPCから質量濃度を推定する際に粒径区分範囲の細分化と成分毎に複素屈折率を考慮することにより, 推定精度が向上した。

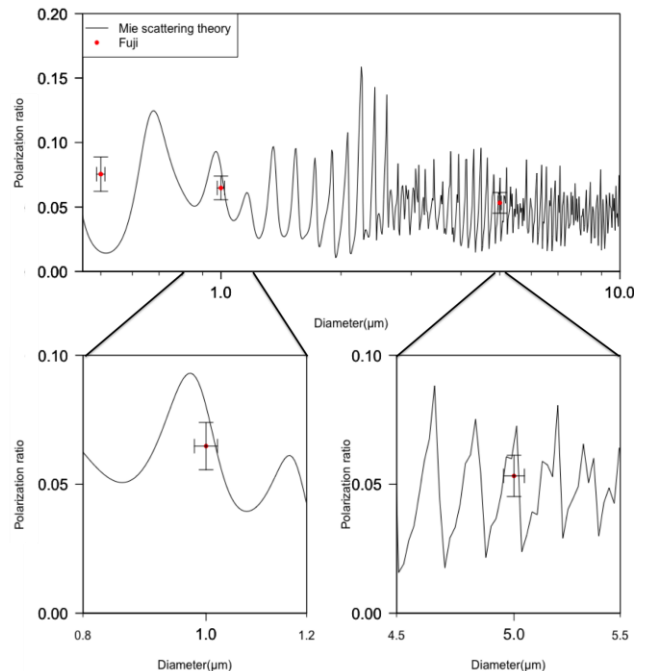


図3 POPCの光学系におけるPSL粒子のミー散乱理論から算出した粒径に対する偏光度の推定値

謝辞：本研究は、粟井英朗環境財団, 科研費基盤(C)24560660, 15K06269, 環境研究総合推進費(5-1502)の助成を受け実施された。中央アルプス観光(株)のご協力に感謝いたします。

参考文献

- 1) Kobayashi *et al.*, Development of a polarization optical particle counter capable of aerosol type classification. *Atmos. Environ.*, **97**, 486-492 (2014).
- 2) 鷹取翔ら, 偏光光散乱式粒子数計測装置による鉱物粒子濃度推定方法の検討. *エアロゾル研究*, **30**, 270-274 (2015)

山岳大気エアロゾルの気候への影響に関する研究

三浦和彦¹, 森 樹大¹, 永野勝裕², 矢吹正教³, 加藤俊吾⁴, 和田龍一⁵, 大河内博⁶, 小林 拓⁷, 東 秀憲⁸, 鴨川仁⁹, 足立光司¹⁰, 岩本洋子¹¹, 青木一真¹², 櫻井達也¹³, 植松光夫¹⁴

1.東京理科大学理, 2.東京理科大学理工, 3.京都大学, 4.首都大学東京, 5.帝京科学大学, 6.早稲田大学, 7.山梨大学, 8.金沢大学, 9.学芸大学, 10.気象研, 11.広島大学, 12.富山大学, 13.明星大学, 14.東京大学

1. はじめに

エアロゾル粒子は太陽光を直接散乱・吸収することにより直接的に、また、雲凝結核となり雲のアルベド・寿命を変えることで間接的に気候に影響するが、いまだ理解の水準は低い(IPCC 2013)。地球規模の影響を評価する場合、自由対流圏エアロゾルの寄与が重要となる。富士山山頂は年間を通して自由対流圏に位置することが多い。そこで、新粒子生成、雲生成のメカニズムを調べるために、2006年から夏季だけではあるが、山頂と太郎坊においてサブミクロン粒子の粒径分布、ラドン、イオンを測定している。山頂では2010年から雲凝結核(CCN)濃度を、2013年からフォグモニターにより霧粒(雲粒)を測定している。2014年からは太郎坊でスカイラジオメータ、ライダーの観測を行った。また、2014年秋から太郎坊において通年観測をしている。ここでは、2017年度の結果を中心に紹介する。

2. 方法

粒径10~5000 nmの大気エアロゾルの乾燥粒子の個数粒径分布を走査型移動度粒径測定器(SMPS)と光散乱式粒子計数器(OPC)を用いて測定した。得られた粒径分布をもとに、核生成モードのエアロゾルが1時間以上にわたって増加し、粒径が成長する時間をNPFイベント(以下、イベント)と定義した。イベントの発生しやすさを見積もるため、Condensation Sink(CS)を粒径分布から求めた。また、雲凝結核濃度(CCN)はCCN計で測定した。

大気ラドン濃度は、ラドン娘核種測定装置を用いて測定した。ラドン(半減期3.8日)やトロン(10.8時間)は発生源が土壌であることから、陸起源エアマスのトレーサーであり、山頂においては境界層の影響を評価できる。

太郎坊に設置されたライダーについては、レーザー波長は532nmで、上空4kmまでの大気を測定している。サブミクロン範囲のエアロゾルに感度があり、後方散乱係数という単位厚さの大気層から散乱角180度の単位立体角への散乱を表す係数を解析に用いた。

3. 結果

3-1. ラドン濃度

2017年夏季の富士山におけるラドン濃度に対し、測定値と

ラドン輸送モデルシミュレーション結果を比較した結果、汚染の由来を4つに分類できた。その一つは山谷風の影響を示唆している。同様な日変化が2016年1月に太郎坊で観測されているが、WRFによる1kmメッシュの計算結果から、この時の谷風方向の輸送は山頂へは到達していないことがわかった。(横山ら, 2018)

3-2. 粒子濃度の経年変化

図1に五十嵐が整理した全粒子、核生成粒子、Aitken粒子、累積粒子の個数濃度の経年変化を示す。若干、核生成粒子の減少が見られる。(Kataoka et al., 2017)

3-3. 新粒子生成

2011年~2017年の7年間に山頂で観測されたデータを再解析し、以下の結果を得た。(a)新粒子生成イベントは、夏期観測期間217日中176回観測された。イベントの観測率は、日中(4~18時)は52.3%、夜間(19~翌3時)は47.7%であった。夜間のイベントの割合が徐々に減少している。日中イベントは8時に、夜間イベントは20~21時に多く観測された。後方流跡線解析の結果、日中も夜間も大陸を經由した空気塊でイベントが多く発生していた。(b)新粒子生成がいつどこで発生したかを推定するため、25nm以下の粒子の成長率から1nmの時刻と場所を推定した。その結果、夜間発生したイベントの割合は減少したものの、数例確認され、光化学反応の他に暗反応によっても発生した可能性が示された。発生時刻の推定が出来た30例は、後方流跡線解析の結果、日本の陸地上空で発生したものであることが示された。(五十嵐ら, 2018)

2016年冬から2017年夏に太郎坊で観測されたデータを解析し、以下の結果を得た。(a)141日のうちNPFイベントが発生した日は90回(60.8%)であり、全て日中観測された。2017年夏期はイベントが観測されなかったが、機器のトラブルと降雨のためである。(b)イベントのタイプを分類したところ、4時間以上成長が続くバナナクリア(BC)型が一番多く46回、2時間以下のアップル型が1例しか観測されなかった。またBC型は冬、春に多かった。(大塚ら, 2018)

3-4. 雲凝結核濃度

佐藤ら(2018)は2015年~2017年に山頂で観測したCCN濃度を解析した結果、以下の結果を得た。(a)CCN特性はエアマスの輸送起源ごとに異なり、CCN活性比は過飽和度によらず大陸起源で最大となった。これは、長距離輸送によるエア

ロゾルのエイジングのため粒径分布が大きい方へシフトし、CCN になりやすくなったためと考えられる。(b) 吸湿性パラメータの値は0.4程度となり、東京や Jungfraujoch などの他のサイトに比べて高いことがわかった。(c) CCN 活性比を用いて実大気中のピーク過飽和度を推定したところ 0.3%程度となり、Jungfraujoch など富士山と似た条件の山岳域において層雲が形成される際の過飽和度に近い値であることがわかった。(佐藤ら, 2018)

3-5. 雲粒濃度

小菅ら(2018)は2017年夏の山頂における雲粒濃度の観測結果から以下の結果を得た。(a) 山頂でできる雲の過飽和度0.1~0.2%であることが多かった。(b) 雲凝結核数濃度が小さいほど雲粒の有効半径が小さくなることが確認された。この関係は吸湿性パラメータには依存せず雲水量(LWC)に依存した。理論値と比較することにより LWC の値は $0.03 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$ であることが示された。

3-6. 個別粒子分析

児玉ら(2018)は2017年夏に山頂と太郎坊においてインパクターで捕集した個別粒子を透過型電子顕微鏡とエネルギー分散型 X 線分析器を用いて、個別粒子の形態観察と元素分析を行い以下の結果を得た。(a) 鉱物は山頂、海塩類は太郎坊でよく見られた。太郎坊は海からの輸送の影響が大きいと考えられる。また、両地点とも硫酸塩の割合が多かった。特に山頂は硫酸塩と鉱物が混合したものが多かった。(b) 山頂8月4日の夜に山頂で捕集した C-rich 粒子は、山頂特有の鉱物が内部混合していた。8月6日に太郎坊で捕集した円形状粒子は硫酸塩の周囲に不揮発性の有機物が付着していると考えられる。8月7日8時に太郎坊で捕集した粒子には、球状、繭状の粒子が56%の割合を占めていた。

謝辞

観測は、認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。本研究の一部は、科研費基盤研究 C (22510019, 25340017) (2010~2015年度), 名古屋大学太陽地球環境研究所「地上ネットワーク観測大型共同研究」(2013~2016年度), 東京理科大学山岳大気研究部門・大気科学研究部門活動経費・活動補助費(2011~2017年度), 東京理科大学特定研究助成金(2013~2014, 2016~2017年度), 京都大学生存圏ミッション研究(2016年度), 公益財団法人栗井英朗環境財団奨励金(2016年度)の助成により行われた。

参考文献

1) Kataoka R. *et al.*, ACPM2017, 2017

- 2) 五十嵐博己ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018
- 3) 大塚拓弥ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018
- 4) 佐藤光之介ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018
- 5) 小菅愛加里ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018
- 6) 児玉真一ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018

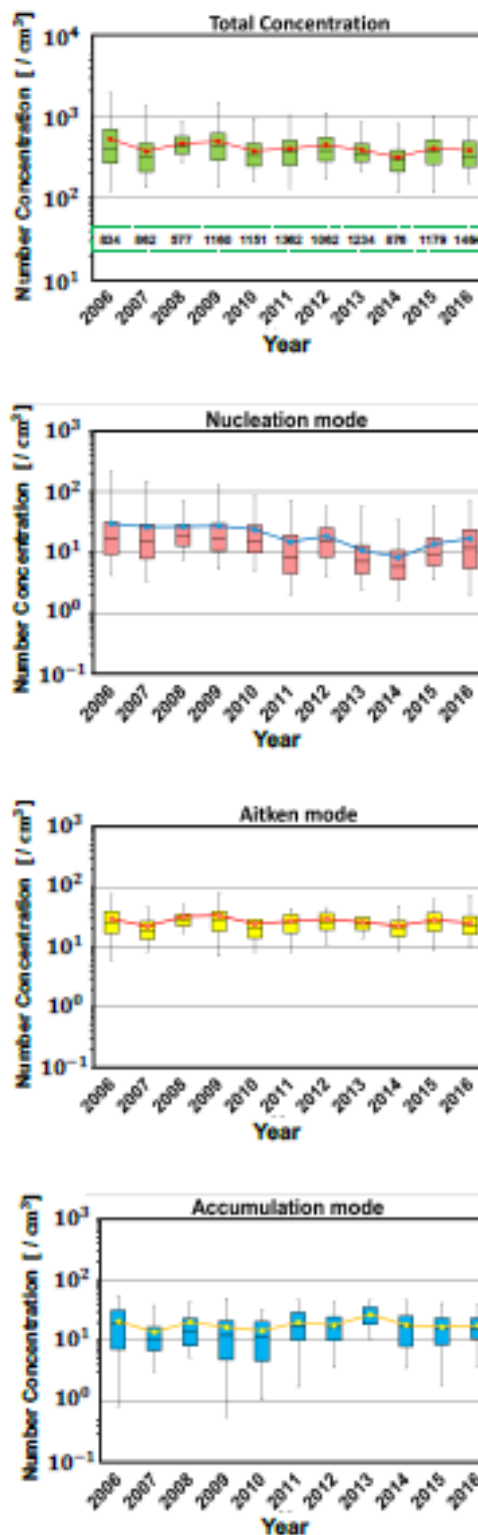


図1 富士山頂で測定した全粒子, 核生成粒子, Aitken 粒子, 累積粒子の個数濃度の経年変化

富士山麓太郎坊におけるエアロゾル数濃度の変動要因

越田勇氣¹, 桃井裕広², 三浦和彦²
1.海城高校, 2.東京理科大学

1. はじめに

PM2.5 などのエアロゾルが環境問題となっている。一部のエアロゾルは人体に影響を及ぼすといわれている。さらに、エアロゾルは太陽光を直接、散乱・吸収することによって地球の反射率(アルベド)を変化させる。また、雲凝結核として働き、アルベドを増加させる効果がある。このように、エアロゾルは地球規模で環境に影響を与え、地球温暖化の重要な要因の一つである。

2. 目的

2016 年夏季に富士山麓の太郎坊観測所でエアロゾルの粒径別数濃度の測定を行った。図 1 に得られたデータの一例を示す。

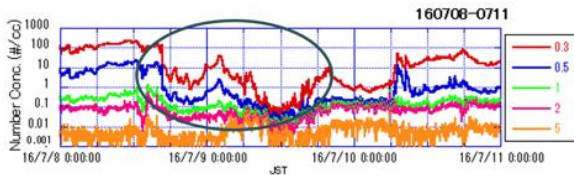


図1 エアロゾル粒径別数濃度の測定例

一番上の線は粒径 0.3 μm以上の数濃度の推移を示している。図 1 より、0.3 μm以上の粒子の数濃度が短時間に二桁以上低下していることがわかる。本研究の目的は、このような数濃度の変化の原因を解析することと、その原因による影響を定量化することの二つである。

3. 観測手法

2016 年 7 月 7 日から 8 月 10 日に静岡県御殿場市にある太郎坊観測所(35.332N,138.804E,標高 1290m)で測定されたエアロゾルの数濃度のデータを用いた。観測所の特徴は、周囲を木々に覆われ、風速があまり大きくならないことである。

光散乱式粒子計数器を用いて、粒径 0.3,0.5,1.0,2.0,5.0 μm以上の粒子数濃度を測定した。また、同様の測定を富士山頂でも実施した。さらに、太郎坊観測所において気温、相対湿度、気圧、降水量、風向、風速の 6 つの気象要素を測定した。

4. 結果・考察

観測期間中に 0.3 μm以上の粒子数濃度が二桁以上低下したイベントが 9 回見られた。同時に観測された気象データから、降水のあった場合と風速が大きい場合にエアロゾル数濃度が大幅に減少していた。そのため、降水と風速の二つがエアロゾル数濃度の減少原因であると考えた。

9 回のイベントの原因を調べると、降水が原因のものが 4 回、

風速が原因のものが 3 回見られ、降水の発生や風速が大きいたことがイベントの発生要因であるとわかった。

図1のように降水、風速による粒子数濃度の変化は粒径により大きく異なる。そこで、粒径分布 $dN/d\log d$ を用い考察した。

4. 1. 降水イベントの考察

降水が連続し、積算降水量が 1 mmを超えた場合を降水イベントと定義した。降水イベントは 9 回観測された。図 2 に 0.3~0.5 μmの粒子の粒径分布の相対値と積算降水量の関係を示す。横軸に積算降水量、縦軸に降水前の粒径分布に対する相対値を取ったものである。また、グラフにプロットした点は 10 分ごとのデータに対応している。

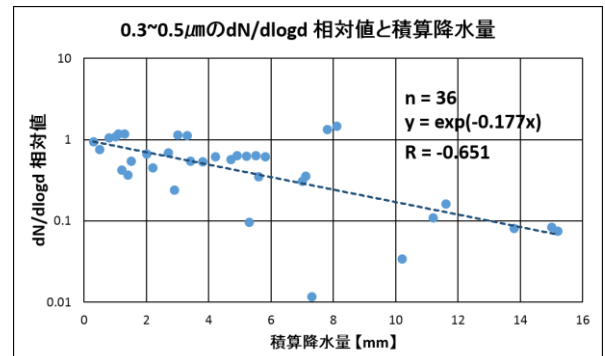


図2 粒径分布と積算降水量の関係

図 2 より、0.3~0.5 μmの粒子では積算降水量が多いほど粒径分布の相対値が減少する傾向が見られた。ほかの粒径について、変化率と相関係数を表 1 に示す。粒径の大きい粒子ではほとんど相関が見られないとわかる。

表1 粒径別の降水変化

dN/dlogd	変化率	相関係数
0.3~0.5μm	-0.177	-0.651
0.5~1.0μm	-0.124	-0.348
1.0~2.0μm	-0.020	-0.222
2.0~5.0μm	0.014	0.055

4. 2. 風速イベントの考察

風速が 1m/s 以上の時間が 5 時間以上続いた場合を風速イベントと定義した。図 3 に 0.3~0.5 μmの粒子の粒径分布の相対値と風速の関係を示す。0.3~0.5 μmの粒子においては、風速が大きいほど粒径分布の相対値が大きく減少する傾向が見られた。また、そのほかの粒径について、変化率と相関係数を表 2 に示す。どの粒径においても、風速が大きいほど粒径分布の相対値が減少する傾向があること、粒径が小さ

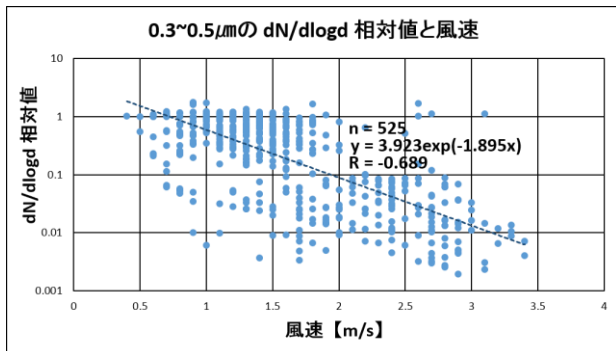


図3 粒径分布と風速の関係

表2 粒径別の風速変化

dN/dlogd	変化率	相関係数
0.3~0.5 μm	-1.895	-0.692
0.5~1.0 μm	-1.618	-0.709
1.0~2.0 μm	-1.035	-0.671
2.0~5.0 μm	-0.857	-0.632

いほど粒径分布の相対値の変化率が大きいことがわかる。

さらに、風速ではどの粒径においても相関係数が 0.6 以上であったことから、風速については粒径ごとの差異を考察することが可能と考えた。

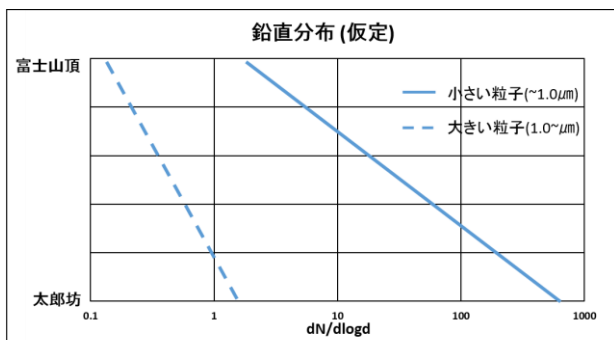


図4 粒径分布の鉛直分布

風速が大きい場合には鉛直方向の拡散が強いと考えられるため、以下の仮定を行った。

仮定 1: どの粒径の粒子も高度が高くなるほど粒径分布の値が減少する。

仮定 2: 粒径の小さい粒子のほうが大きい粒子に比べ減少率が大きい。

これをグラフにしたものが図4である。

図4のような鉛直変化をしていた場合、鉛直拡散が起こった際に、粒径の小さな粒子ほど減少するので、観測結果を再現することができる。

そこで、山頂で計測したエアロゾルの粒径分布のデータと比較を行った。まず、今回の観測期間内の粒径分布の平均値を比較した(表3)。

太郎坊よりも富士山頂のほうがどの粒子においても粒径分布が小さいこと、粒径の比較的小さい粒子(0.3~1.0 μm)のほうが大きい粒子(1.0~5.0 μm)に比べて粒径分布の減少率が

表3 粒径別のdN/dlogdの高度差

dN/dlogd	太郎坊	富士山頂	山頂/太郎坊
0.3~0.5 μm	325.228	67.076	0.206
0.5~1.0 μm	12.631	2.399	0.190
1.0~2.0 μm	0.503	0.282	0.560
2.0~5.0 μm	0.301	0.175	0.581

大きいことがわかる。

次に、風速イベントの期間中における太郎坊と富士山頂での 0.3~0.5 μm の粒子の dN/dlogdの相対値の関係をグラフにしたものが図5である。

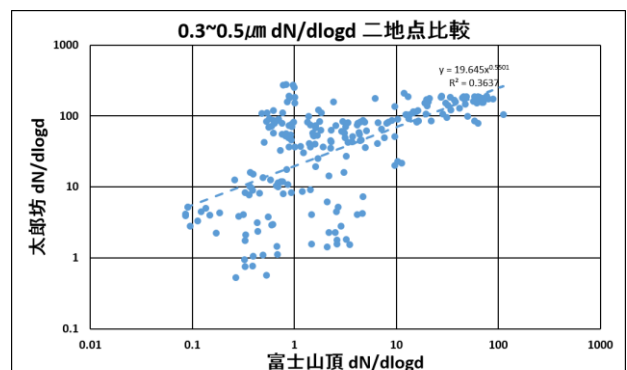


図5 粒径分布の高度変化

太郎坊と富士山頂の dN/dlogdに正の相関があることがわかる。これは太郎坊で粒径分布が減少すると、富士山頂でも減少するという傾向を示唆している。このことから、山頂よりもさらに上空まで鉛直拡散が行われているか、エアロゾル濃度の低い空気塊の流入が起こっていると考えられる。

5. まとめ

太郎坊で測定した数濃度が大きく減少するイベントの原因は降水が連続する場合と風速が大きい時間が長く続く場合であるとわかった。小さい粒子では積算降水量が大きいほど dN/dlogd が大きく減少が、大きい粒子では相関がないこともわかった。また、風速による影響についてはどの粒径においても風速が大きいほど dN/dlogd が減少し、粒径の小さい粒子のほうがより大きく減少する傾向が見られた。これらから、エアロゾルの粒径分布の鉛直分布は粒径に依存すると考えられ、山頂のデータとの比較はこれを支持した。

謝辞

本研究は東京理科大学グローバルサイエンスキャンパスの活動として行った。この場を借りてお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 藤田慎一、三浦和彦、大河内博、速水洋、松田一秀、桜井達也、「越境大気汚染の物理と化学」、成山堂書店、2014年3月28日

通信機能付き簡易モニタリング機器の実証実験

遠藤周¹

1. 東京大学

1. はじめに

富士山測候所で越冬観測を行う際には、通信機器の無いロガーでデータを取ることも多い状況である。そうした環境では、データを得ることができるのが 1 年越しであったり、時には途中でトラブルがあってデータが取得できていないことに回収まで気づけないことがあり得る。

そうした状況下で、様々なセンサと接続できる通信機能付きの簡便なロガーがあれば、研究の幅が広がるであろう。そこで、当研究室が協力して開発している簡易モニタリング機器を使用し、越冬観測に使用することが可能か試験を行った。

2. 機器の概要

「HALKA」は、各種観測に使用できる、リアルタイム通信が可能なロガーである。単三充電電池 3 本および太陽電池で稼働し、データの保管とリアルタイム通信を行う(電池のみで 1 年間の稼働を目指している)。データはクラウドに送信され、いつでも確認することができる。通信の間隔は 1 時間ごとから 24 時間ごとまで(遠隔地から)自由に設定できる。センサ接続用の規格、SDI-12に対応しているため、農業関係のセンサだけでなく様々なセンサに使うことができる。現状は、2 台のセンサと 2 台の HALKA で測候所内の温湿度や気圧の観測を行っている。

3. 方法

2 台の HALKA はどちらも 1 号庁舎 2 階の窓際に取り付けている。

1 台目の HALKA は 7 月 24 日に設置した。電池で駆動させており、METER 社の VP-4 センサを取り付けている。1 号庁舎 2 階の中の、気温、湿度、気圧を計測している。

[http://fewls.x-](http://fewls.x-ability.jp/static/chart.html?imei=860585002581923&sensor=VP-4&after=2017-07-24)

[ability.jp/static/chart.html?imei=860585002581923&sensor=VP-4&after=2017-07-24](http://fewls.x-ability.jp/static/chart.html?imei=860585002581923&sensor=VP-4&after=2017-07-24)

2 台目は 8 月 24 日に設置した。充電池に加え 0.3 W(7cm × 4cm)の太陽電池を取り付けており、METER 社のウェザーステーション ATMOS41 からデータを所得し観測を行っている。こちらは、1 号庁舎 2 階の中の、気温、湿度、気圧に加えて近接している雷を計測している。(雷センサのデータは所得できているが、まだページに反映されていない。)

[http://fewls.x-](http://fewls.x-ability.jp/static/chart.html?imei=860585003206389&after=2017-08-10&sensor=ATM41)

[ability.jp/static/chart.html?imei=860585003206389&after=2017-08-10&sensor=ATM41](http://fewls.x-ability.jp/static/chart.html?imei=860585003206389&after=2017-08-10&sensor=ATM41)

4. 結果

1 台目は 11 月 15 日を最後にデータが送信されなくなってしまった。測候所の回線が弱く、電波を拾うのに電力消費が大きくなってしまったため、短期間で停止してしまったと考えられる。図 2 から、バッテリーの電圧がだんだん低下していった様子がわかる。

Data of the sensor

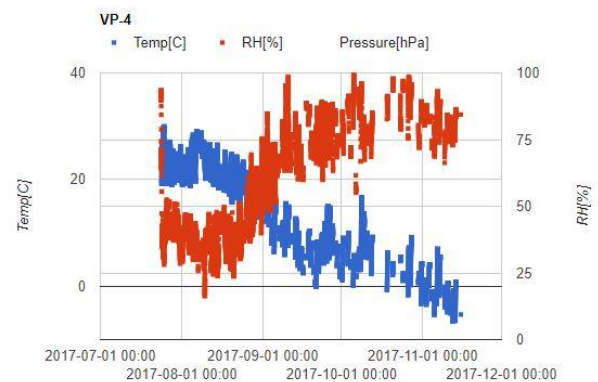


図 1 1 台目の HALKA から取得したデータ

Battery of HALKA

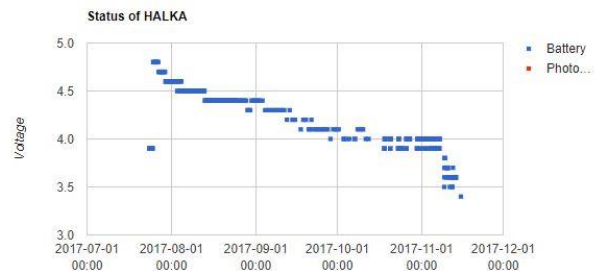


図 2 1 台目の HALKA のバッテリー電圧の変動

2 台目は、図 4 からわかるように、窓の太陽光から充電がなされた結果、バッテリー電圧が保たれたため長期間稼働していた。しかし、1 月 13 日の低気圧による-20 度以下への温度低下(充電池の電圧低下)により動作が停止した。そこから太陽光を受け復帰したが、HALKA 内部の時計が狂う動作不調となってしまった。現在、正常状態への復帰を目指し、クラウド上から HALKA 内部データのフォーマットをかけるテストを行っている。

今後の対策としては、発電再開後の復帰を正常に行えるようにファームウェアの改善を行うことと、スムーズなフォーマット

ト機能の構築が必要である。

また、別の問題として、センサからは-20°C以下のデータが取れていないため、センサメーカーと協力して原因の調査中である。

Data of the sensor ATM41 ▾

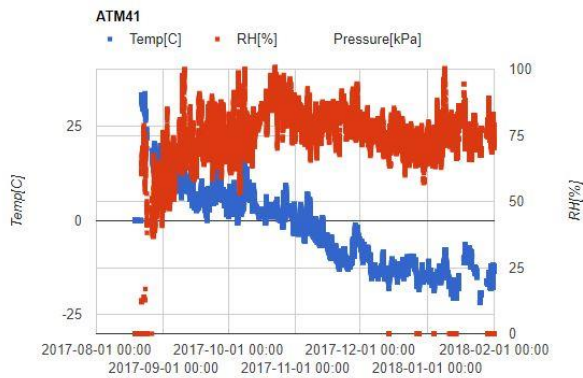


図3 2台目の HALKA から取得したデータ

Battery of HALKA

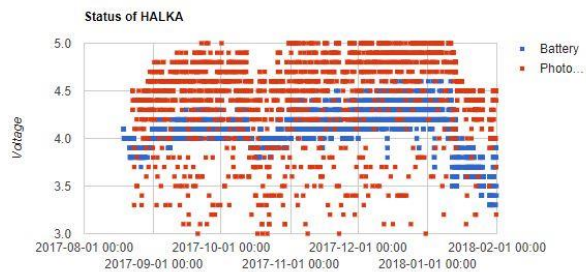


図4 2台目の HALKA のバッテリー電圧(青)および太陽電池電圧(赤)の変動

「理科準備室へようこそ」-富士山頂での教材開発 VI-

古田豊¹, 島野誠大¹, 田中寛崇², 清水拓海², 関根幹人², 田中隆将², 長岡大央², 根本侑²

1.学校法人立教学院 立教新座中学校・高等学校, 2.立教新座高等学校観測部

1. はじめに

2017年度, 6年目の教材開発では, 高等学校の部活動「観測部」の研究テーマに実装した。高校生は新しい条件下での実験を発想した。

2. 高等学校の部活動での展開

高校1年生4人が発想した実験は, 富士山頂で飲み終えた空の飲料水用ペットボトルにエタノールを少量入れて, 栓を閉め学校へ持ち帰ると, ペットボトルの体積変化はどうかであった。検討の結果, 水を入れることにした。

昨年までは, 飲料水を飲み終えたペットボトルには数滴の水が残り, その水を紙に吸収させ乾かしてから栓を閉めた。

【水と空気を封じ込めた容器の体積変化から探る実験】

サンリーの天然水 550 mL 入りペットボトルの水を旧富士山測候所で飲み干し, 残った水滴を割箸の先につけたキッチンペーパーで拭き取り, 5, 10, 20, 50 mL ずつ水を入れて栓を閉めた(図1)。これを3本ずつ作り, 重量を計った。これらを学校へ持ち帰り, 重量と体積を測った。



図1 富士山頂で封じ込めた空気と水入りペットボトル



図2 学校へ持ち帰り回んだ空気と水入りペットボトル

【ヘアドライヤーの送風で浮く軽量球体の浮上高比較】

卓球の公認球(直径 40, 44 mm)と発泡スチロール球(直径 40, 50, 60, 70, 75, 80, 100 mm)をヘアドライヤーの送風で1個ずつ浮かせ, 浮上の様子を富士山頂と学校で比較した。また2個, 3個の球体が同時に浮く条件を探った。



図3 大きさと重さの異なる軽量球体の浮き方を探る

10月の学園祭と11月の第46回私学文化祭((一社)埼玉県私立中学高等学校協会主催)で「空気の体積変化に与える水の量の影響」, 「約3740 mの標高差による軽い球体の浮上高の変化」と題して, 高校1, 2年生がポスター発表を行った。

3. 教材開発進捗

【赤外線ヘリコプターの上昇時重量限界で大気を探る実験】

赤外線コントロール マイクロヘリコプター3 モスキート(京商)の機体下部のスキッドに, 金属製の数珠繋ぎの小球を切って錘にし, 満充電後に床上1.5 mまで上昇するかどうかを動画と目視で記録し, データを積み上げた。

【ペルチェ霧箱の動作】

運搬中の振動を軽減するため, 紐で空中にぶら下げて富士山頂へ運んだ。異常温度上昇は軽減されたが飛跡確認に至らなかった。

4. おわりに

本研究は, 認定 NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。その間, 同法人事務局, 山頂班, 御殿場班等の方々に支援を受けた。感謝致します。

参考文献

- 1) 倉谷恵子(2018) 空に手の届く研究現場から(2) 実業之富山, 73(2), 30-36.

ビーコンを活用した富士山登山者の動態把握と今後の展開

田中義朗¹, 畠中雅弘², 安永隆一³, 木村知⁴, 福崎明伸⁵, 磯谷和也⁶

1.日本工営(株), 2.イノテック(株), 3.UQ コミュニケーションズ(株), 4. (株)東急エージェンシー, 5.センチメートル(株), 6.中日本航空(株)

1. はじめに

当研究プロジェクトは、多くの登山者が犠牲になった平成26年9月の御嶽山噴火での事故を教訓として、毎年夏シーズン中に訪れる約20万人以上の登山者に対して活火山への登山というリスクの認知度を向上させるとともに、特定の時間帯での登山者の過密状態を解消するために登山者の動態データを収集し「見える化」することで行動変容を促していくことを目指す取り組みである。

この取り組みは2015年より登山者の安全対策を目的として始めたもので、登山者の動態データをリアルタイムで収集し可視化できるシステムの実用化にむけて実証実験を通して様々な課題や技術的問題を確認している。今シーズンから剣ヶ峰での登山者把握のため富士山測候所での機材設置を行った。

2. 実証実験概要

今シーズンは、8月19日～9月1日の14日間で延べ2,368人のモニター登山者の協力をえて、①ビーコンを活用した登山者動態データの収集、②インターネットでの位置情報提供システムの試行のほか、③登山道のレーザー計測による高精度地形測量、④ドローンを活用した登山者把握などを実施した。

(1) ビーコンを活用した登山者動態データの収集

富士山登山道4ルートすべての5合目～山頂間の富士山測候所内ほか25箇所にビーコン検知のためのレーザー機器(スマートフォン)を設置し、それぞれの箇所での登山者数把握と通過時間データを収集した。

(2) インターネットでの位置情報提供システムの試行

モニター協力者に登録してもらった携帯電話番号またはメールアドレスに協力者専用のリアルタイム位置情報を表示するURLを送付し、登山中の位置情報を登山者だけでなく、同行していない家族や友人などと共有できるようにし、その使用感等を確認した。

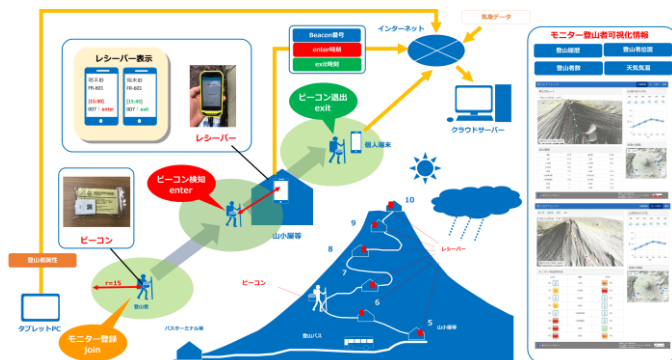


図.1 登山者動態データ収集と位置情報提供



写真.1 (左) 吉田口5合目でのモニター協力依頼の様子

写真.2 (右) モニター登録用アプリ(タブレットPC)

(3) 登山道のレーザー計測による高精度地形測量

吉田口5合目～剣ヶ峰～富士宮口5合目の登山道をハンディタイプレーザー計測器で計測し、高密度の3次元地形点群データを収集した。

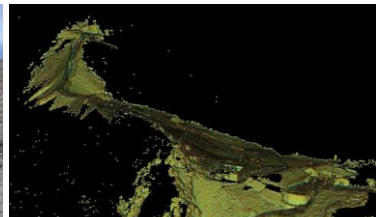


写真.3(左) 登山道でのレーザー計測状況

写真.4(右) 地形点群データによる鳥瞰図

(4) ドローンを活用した登山者把握

御殿場口5合目付近でドローンによるビーコンを所持した登山者遭難者発見やドローンに搭載したスピーカーでの音声確認実験などを行った。



写真.5(左) スピーカーを搭載したドローン飛行

写真.6(右) 実験に使用したドローン

3. 登山者動態データの分析

収集した登山者動態データは、モニター協力者の属性(性別、年齢、国籍、登山回数等)や気象データなどをつき合わせて分析し、登山時間や時間毎の山頂滞在者数など、富士登山の特徴や傾向を整理した。

現在富士登山で問題となっているのが、週末のご来光時の山頂付近の登山者集中による登山道混雑であるが、今回の実証実験で、モニター協力者の山頂滞在時間帯を3時間区分で整理したところ、ご来光の時間帯(3時-6時)の時間帯での山頂滞在者が最も多く、全体の割合でも約53%とデー

タからもご来光時間帯の登山者集中の傾向が確認された。

また、各合目間の登山所要時間を標準的な時間¹⁾とモニター協力者の実績値と比較したが、3 登山道(データ数が少なかった御殿場ルートを除く)のいずれの登山道とも山頂付近での所要時間が標準時間の倍以上かかっていることが確認された。

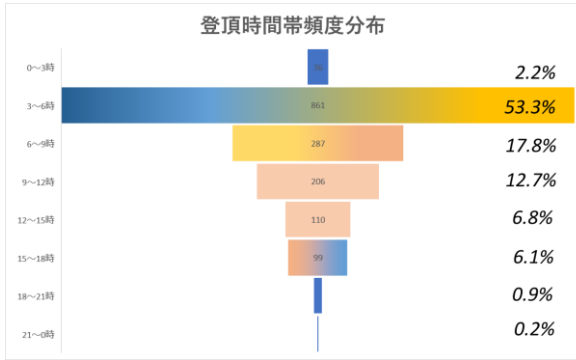


図.2 モニター登山者の登頂時間帯頻度分布

標高 (m)	位置	標準時間 (分)	実績時間 (分)	標準時間 (分)	実績時間 (分)	位置	標高 (m)
3,710	山頂					山頂	3,710
3,450	8.5合目	60	121	75	40	8.5合目	3,450
3,400	本8合目	30	28	8	10	本8合目	3,400
3,100	8合目	80	109	92	90	8合目	3,100
3,000	7合目2	50	52			下山7合目	2,630
2,790	7合目1	20	43	42	30	7合目	2,790
2,390	6合目	80	109			6合目	2,390
2,305	5合目	50	44	35	40	5合目	2,305

図.3 吉田口登山道の登山所要時間比較図

全体の総登山時間(5合目～山頂～5合目)については、概ねすべての登山道で平均して 21 時間～23 時間となっており、登山経験、性別、国籍などの属性による大きな差異は見られなかった。

以上のことから富士登山者の傾向として、①ご来光が主目的の登山、②山小屋に宿泊する 1 泊 2 日が標準で、登山開始時間帯は分散するものの、ご来光の時間帯に山頂到達時間が集中してしまうため登山道が混雑する傾向があるという従来からの問題がデータからも裏付けられる結果となった。

4. 登山者位置情報提供に関する反応

今回モニター登山者に個別の位置情報や気象データを提供するサービスを試行した。特にリアルタイムで位置情報を提供するサービスに関しては、安否確認など家族や友人による見守りとしてや、グループ同士での登山での逸れ防止などにも役立つという評価が聞かれた。一方で、ビーコンが検知できず登山履歴が表示されない、違う下山道を下りている誤表示なども散見され、データ精度の面の課題も確認された。気象情報については、山頂での気温予測や降雨の有無などの情報が提供されることでウェア等の準備に役

立つなど利便性を感じるとの反応が多く聞かれた。

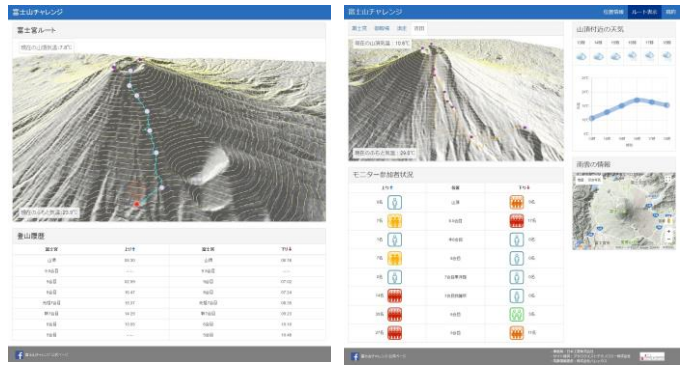


図.4 登山者位置情報提供サービスの画面例

5. 登山道地形データの利活用

今回計測した登山道の高密度3D点群データを活用することで、これまで定性的にしか把握できなかった「登りやすさ」を登山道の路盤状態、勾配、岩場の有無などの情報を定量的に示すことができるようになった。これらのデータを基に、登山者の動態データや将来的にはバイタルデータと組み合わせることで、ストレスの少ない安全な登山をするため情報として活用することが可能となるとともに、課題となっているご来光時間帯の登山道混雑の解消などにも活用が可能になると期待される。

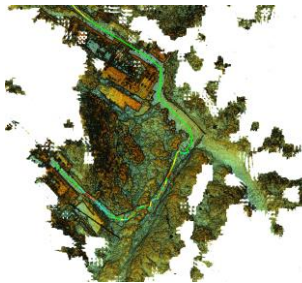


図.5 (左) 登山道の区間勾配分類図

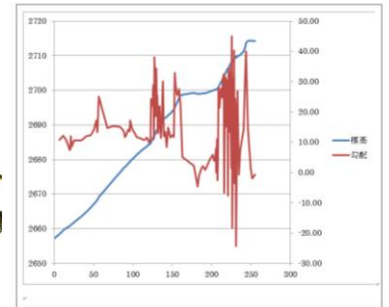


図.6 (右) 登山道標高と区間勾配の相関図

勾配の振幅が大きい場所が岩場となっており、「登りやすさ」を可視化することが可能

6. おわりに

今後は、モニター登山者のデータを更に増やし、かつデータ精度を向上させるとともに、登山者や登山関係者が有益なデータとして活用できる環境整備を行っていくことが必要と考えている。登山に係る様々なデータを収集分析し、「見える化」することで登山者の意識や行動変容を促しながら、自然な形で富士山の環境保全や事前防災を両立させ、後世に残す世界遺産・富士山に少しでも貢献できるようなチャレンジを引き続き目指す所存である。

参考文献

- 1) 山と高原地図(富士山)、昭文社
- 2) 富士山利用者負担制度専門委員会報告書,H25.10
- 3) 富士山保全状況報告書,H28.1,日本国政府

2017 年の雷・大気電気研究チームの成果の概要

鴨川仁¹, 雷・大気電気研究チーム

1. 東京学芸大学

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ある。しかし数年の測定の結果、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 2017 年も観測を行った。現在では、富士山山頂という高所を活用し雷に関連する諸現象の研究を行っている。2017 年では前年度から次の 2 テーマを行った。1) 雷活動において発生する高エネルギー放射線、2) 富士山測候所と山麓を繋ぐ接地線に流れる雷電流観測を行った。本稿では、2017 年の成果のうち 1) についての簡易解析結果を紹介する。詳細な結果は他の講演(安本ら)にて述べる。

2. 観測と結果

雷雲に起因すると考えられる高エネルギー放射線は、冬季雷発生期間においてしばしば観測されている¹⁾。これらは、雷雲中の強電場に起因すると考えられ、10 秒以上持続する長時間の放射線変動である。また、放射線発生源と考えられる雷雲と地表観測地点の距離が短いと検知できるとみられる。このような事象は、かつて、雷雲の高度が高い夏季雷時では地上で観測された報告はなかった。そこで、夏季雷でも冬季雷と同様の事象が発生しているかどうかを調べるために、雷活動が盛んな独立峰である富士山の山頂において雷雲発生時の放射線変動の観測を 2008 年²⁾から我々は行っている。2016 年では、2013 年の 2 事例、2016 年の 1 事例について X-band MP レーダーのデータを活用し、雷雲の成長過程と放射線発生時の関係を調べた。その結果、3 事例とも雷雲の減衰期に発生していたことが分かった。減衰期では、激しい降雨後であることから、雷雲下部の負の電荷領域が消失し始めている。従って、雷雲上部には正の電荷が残されていると推測されることから、この正電荷が放射線源になっている可能性が推察された。

2017 年においては、測定器を京都大学・東京大学によって開発された GROWTH³⁾を採用し、1号庁舎にて夏季観測を行った。その結果 2017 年 8 月 19 日 23 時台、24 時台(20 日 0 時台)に、ロングバーストと呼ばれる継続時間が雷放電継続時間より長い高エネルギー放射線が検知された。X-band レーダー、ひまわりの赤外線バンド(輝度温度を見ることで雲頂高度の推定が可能となる)を調査した結果、従来の 3 事例とは異なる雷雲の成熟期の放射線が検知された。また、過去 3 事

例は 3 MeV 以上のエネルギーカウント数はバックグラウンドに対し 10%程度しか増加していないが、本事例では最大 2 倍近くの変化が見られた。発生源については現時点では特定できていないが、雷雲上部で発生していた過去 3 事例とは異なり雷雲下部ではないかと推定される。

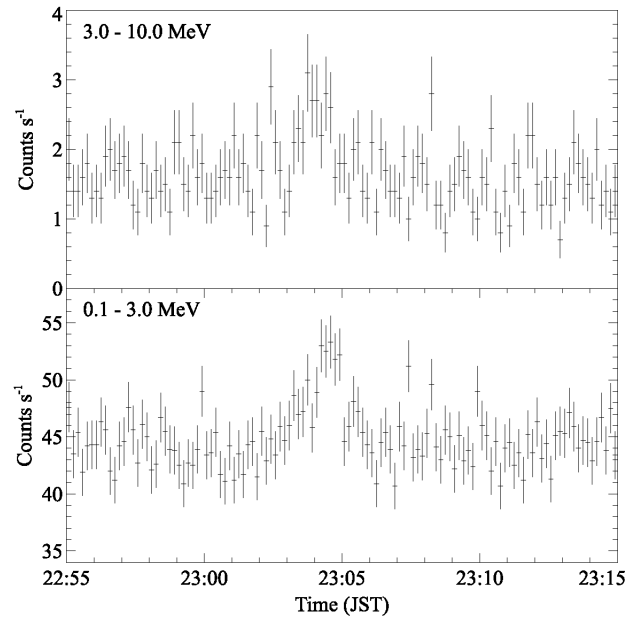


図 1 2017 年 23 時台のガンマ線カウント数。

参考文献

- 1) Torii, T., Sugita, T., Kamogawa, M., Watanabe, Y., Kusunoki, K. (2011), Migrating source of energetic radiation generated by thunderstorm activity, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24801, doi:10.1029/2011GL049731.
- 2) Torii, T., T. Sugita, S. Tanabe, Y. Kimura, M. Kamogawa, K. Yajima and H. Yasuda (2009), Gradual increase of energetic radiation associated with thunderstorm activity at the top of Mt. Fuji, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L13804, doi:10.1029/2008GL037105.
- 3) Enoto, T., Y. Wada, Y. Furuta, K. Nakazawa, T. Yuasa, K. Okuda, K. Makishima, M. Sato, Y. Sato, T. Nakano, et al. (2017), Photonuclear reactions triggered by lightning discharge, *Nature*, 551(7681), 481–484, doi:10.1038/nature24630.

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

安本勝¹, 鴨川仁², 佐々木一哉³, 土器屋由紀子⁴

1.(株)ヤマザキ, 2. 東京学芸大 3.弘前大, 4.NPO 法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

富士山測候所電源は、図1のように山麓から高压ケーブルを引き込んでいる。接地線は高压ケーブルに並行し山麓側の接地極と繋がっている。接地線は、山体と大きなループを構成することになり、雷放電路との大きな電磁結合が期待できる。また富士山測候所は接地線に繋がる 3776 m の高さにある大面積電極の爪と考えることができ、雷雲電荷との大きな静電誘導結合が期待できる。接地線電流を測定することで何れの雷現象に対しても高感度な検出器になることが期待できる。

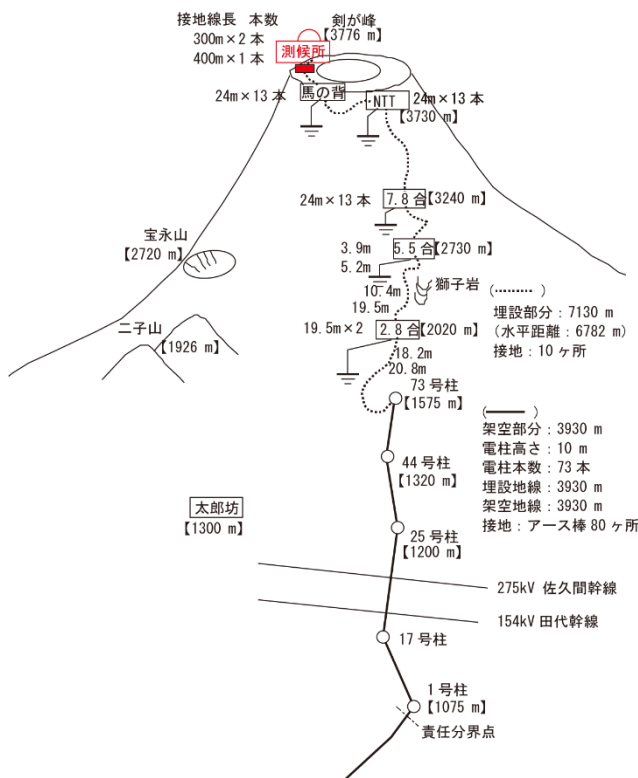


図 1 測候所接地線電流測定箇所 (■)、埋設高压ケーブル・接地線、及び接地箇所

当初、測候所が岩盤上にあり、接地抵抗が大きく、一方、山麓側の接地抵抗が小さいことから、接地線で山麓に流れる測候所直撃雷電流を測定できることを期待して 2012 年に測定を行った。この時は直撃雷は無かったが、代わりに周辺雷による電流が多数測定された。以降、直撃雷と共に周辺雷の測定も行っている。2015 年に直撃雷が観測され、上向き雷の前兆現象も測定されたが、現象時間全体を測定できる適切な測定系が無かったため、細切れな測定で全体像の測定はできなかった。以降、上向き雷前兆現象用測定系を加え、全体像が測定できる測定系に改め測定している。

2017 年度の測定は、従来の測定系がオフセットのために安定なトリガーレベルを確保できていなかったことを改めトリガーはオフセットの影響を受けない測定系にした。具体的にはトリガーに使用するログウスキーコイル電流計出力信号に適度な時定数の AC 結合を通した後に絶対値を取ることによって信号のトリガーレベルがオフセットの影響を受けないようにした。その結果安定なトリガーレベルを確保でき、周辺雷現象により生じる接地線電流の安定な測定が可能になった。

本報告は、既存接地線を用いた雷現象検出器の原理、及び富士山測候所周辺の雷現象に相応しい測定系を明らかにする。また 2017 年夏季周辺雷の測定結果と他の雷情報から雷現象の解明を行い、今後の課題についても明らかにする。

2. 接地線に電流を流す現象

2-1 雷起因接地線電流測定を満足する測定系

2017 年度の測定は以下を満足する測定系で行った。

(1) 適度な積分時定数

雷現象の特性と積分回路の時定数はログウスキーコイルの出力仕様から適切な値を決める必要がある。コンデンサー C の容量は小さくすることで感度は高められるが測定範囲の上限は小さくなる。C の並列抵抗は充電電荷を放電させるもので、一方で正確な積分電圧を決めるには、信号の出現時間よりも十分大きくする必要がある。被測定信号の電流範囲と信号時間から適切な値を決めている。2017 年度測定では 0.01 s (C=1 nF, R=10 MΩ) とした。

(2) 正負いずれの極性の測定も可能

直撃雷は、一般的に負極性雷であるが正極性雷もあり、また周辺雷の場合、位置等で接地線に電流を流す方向が異なるため、極性等に左右されないトリガーにする必要があり、信号成分の絶対値をトリガー信号に使用した。

(3) オフセット変動によるトリガー変動を避ける

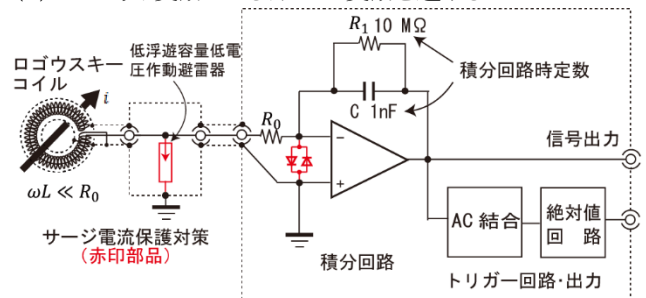


図 2 ログウスキーコイル電流計の基本回路

トリガー信号は信号の絶対値を取るため、トリガー信号がオフセットの変動によりトリガーレベルを超える場合があり、その時トリガーは動作せず、測定漏れが生じる。これを避けるため、トリガー用信号は、信号出力を AC 結合を通してオフセットを無くしてから絶対値を取ることで安定なトリガーを可能にした。

(4) 高感度測定系のサージ電流からの保護

測候所に直撃雷があると、山麓に繋がる接地線には大きな直撃雷電流が流れる。この直撃雷用ログウスキーコイル電流計はこの大電流に合わせた感度になるように設計している。しかし、直撃雷前兆現象用電流計、及び周辺雷現象用電流計は、高感度にするため、大電流により破損する可能性があり、大電流により破損されない保護系が必要になる。具体的には図2に示すように高感度系ログウスキーコイル電流計のログウスキーコイル出力に低電圧(約 80V)放電ネオン管を置き入力電圧を抑制し、抵抗を通してオペアンプ入力電圧をダイオード順方向電圧以下に抑えて回路を保護している。いずれも寄生容量の小さなものを選定している。

(5) 前兆現象を測定可能にする

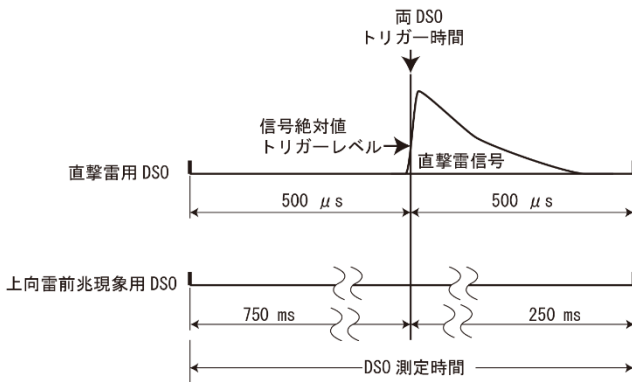


図3 直撃雷と上向雷前兆現象測定用 DSO の信号トリガーレベル・位置と測定時間幅 (2017 年度)

一昨年の上向雷時、上向き雷の前兆現象が測定された。細切れの断片的な測定であったが約 1 秒持続していた。もし上向き雷の直撃雷であった場合、前兆現象全体の測定を可能にするため、図3に示すように直撃雷のトリガーと同時に前兆現象を遡って記録する測定系を設けることで上向き雷前兆現象全体が測定可能になる。

(6) 接地線電流測定系の校正

富士山測候所には山麓側接地極に繋がる複数の接地線がある。接地線の電流測定はそのうちの測候所電源に引き込んでいる高圧ケーブル内蔵接地線で行っている。全接地線に流れる電流に換算するため、校正は必要であるが、まだ実現していない。この校正は、測候所の被雷電流を測定可能にし、被雷頻度を高くした避雷針を設けることで可能になる。しかし、まだ被雷を一ヶ所にまとめる仮設避雷針の設置は実現していない。今回の報告も被測定高圧ケーブル内蔵の接地線に流れる電流を測定した電流である。測定電流

はログウスキーコイル電流計の設計値から求めている。

校正の実現は正確な被雷電流を知る必要があり、測候所の被雷個所を一ヶ所にまとめるようにして、その被雷電流を正確に測定可能にしたシャントと高圧ケーブル内蔵接地線電流測定系と同時測定することで可能になる。

2-2 接地線に電流を流す雷現象

接地線に電流を流す周辺雷現象は、図4に示す、以下の

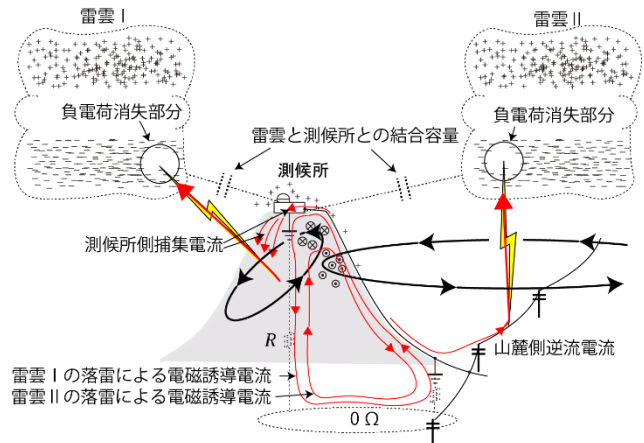


図4 接地線に電流を流す落雷現象 (負極性雷)

電磁誘導電流、静電誘導電流、捕集電流、及び山麓側からの逆流の四つになる。接地線電流はこれらが重畳したものになる。それぞれの現象を解明する上で山麓側からの逆流以外、伝搬時間は測定時間分解能からほぼ同じと見なすことができると考えている。

(1) 電磁誘導電流 電磁誘導電圧は、図5に示す富士山測候所接地線と山体が作る循環路と被測定雷現象の雷放電路電流が作る結合磁束を微分したものになる。循環路のインピーダンスは山体抵抗が支配的になるため、接地線電流は雷放電路電流微分値に比例し、以下の特徴が現れる。

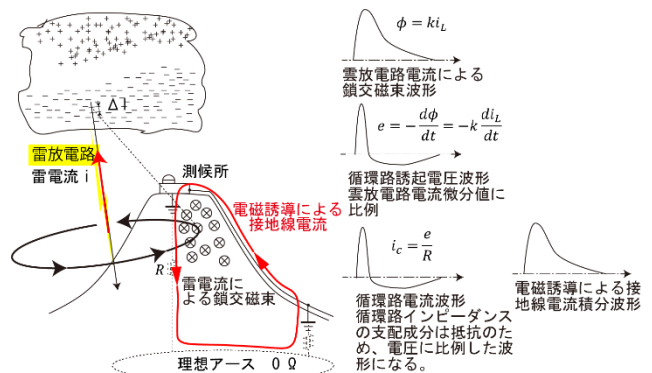


図5 電磁誘導による接地線電流 (測候所西側の負極性対地雷)

- ① 測定電流積分値が雷放電路電流に比例したものになる。
- ② 放電終了後積分値は0になる。
- ③ パルス幅時間は放電持続時間になる。
- ④ 落雷放電路が鉛直の場合、図6に示すように落雷位置によって山麓に繋がる接地線ループの鎖交磁束方向の変換線より東にある落雷位置の初期ピークは正に、西にある落雷

位置の初期ピークは負に変わる。

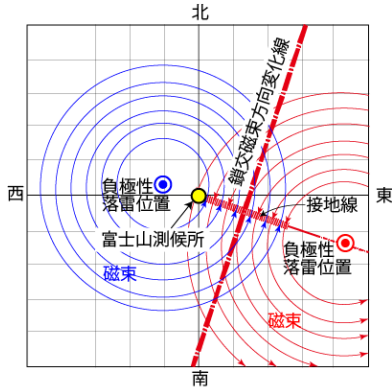


図6 鎖交磁束方向変化線

初期は斜めの放電路が作る鎖交磁束によって決まることになる。

(2) 静電誘導電流 3776 m 上空にある測候所という大面積(南北約 50 m×東西約 25 m)の昇電極と雷雲電荷との等価結合容量により、図7に示す雷雲の移動、雲放電や落雷による雷雲の電荷変化により、山麓接地極と繋がる接地線に静電誘導電流が流れる。この静電誘導電流は以下の特徴がある。

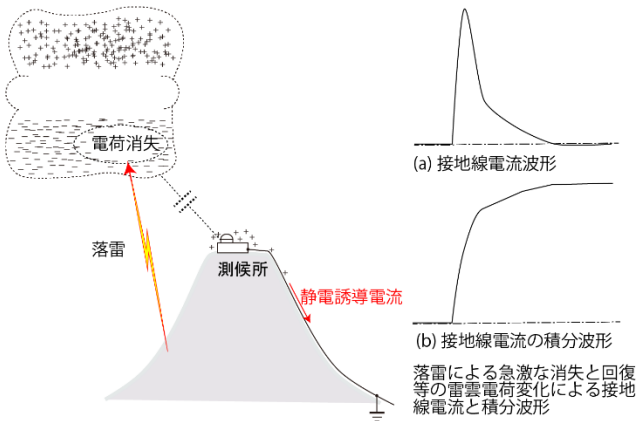


図7 雷雲電荷変化による静電誘導電流

① 放電初期の電荷消失時立ち上がりが大きくなるため、雷雲電荷による静電誘導電流は大きくなる。しかし、放電時は、電磁誘導電流と重畳するため、一般的に見えなくなっている。

② 放電後雷雲電荷の変化は小さくなり測定静電誘導電流変化に明確に現れないが、測定電流を積分することで変化が見えるようになる。

③ 放電後の雷雲電荷が一定の場合は静電誘導電流が0になるため、積分値には変化なく一定になる。なお変化がある場合、積分時定数より十分速い変化であれば、時定数による誤差混入は小さい。

(3) 捕集電流

図8に示すように富士山に落雷した電流を測候所に集め接地線を通し山麓に流れる電流である。測候所電位は、接

この変換線は暫定的に敷設高压ケーブル中央の垂直面を考えているが正確には変換線近傍の落雷位置の電流波形から決めることになる。

実際は放電路が鉛直で無く斜めになる場合も多くあり、その場合は初期ピ

地線で山麓と繋がっているため、山麓電位である。富士山の被雷個所の電位は著しく上昇するため、測候所との電位差により被雷点から測候所に両者の抵抗で除した電流が流れることになる。負極性落雷では負に、正極性落雷では正になる。測候所側の捕集電流は遠方になると小さくなり大地への拡散を考えるとほぼ距離の2乗に反比例するものと考えられる。以下の特徴がある。

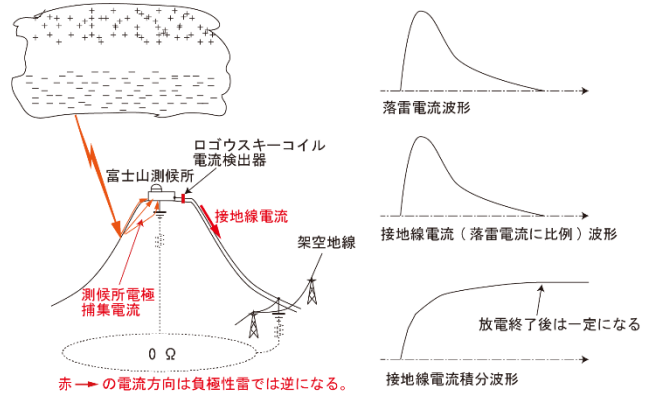


図8 測候所電極捕集電流

① この電流は放電持続時間で終了する。

② 雷放電時間の積分値で一定になる。

(4) 山麓からの逆流電流 図9に示すように山麓側に落雷することで接地線電位を上昇させ、測候所で散逸し大地に流れることで測候所に逆流する電流である。山麓側接地線の電位は被雷等により上昇すると測候所の電位も同じ電位になり測候所接地極より富士山に散逸する電流が流れる。この電流の積分値は放電終了後最大になり一定になる。

山麓側の架空地線等の接地系統が被雷した場合、接地線電位上昇は遠方でも影響があり、測候所に逆流する電流を流すことになると推測される。また、山麓接地系統が作る循

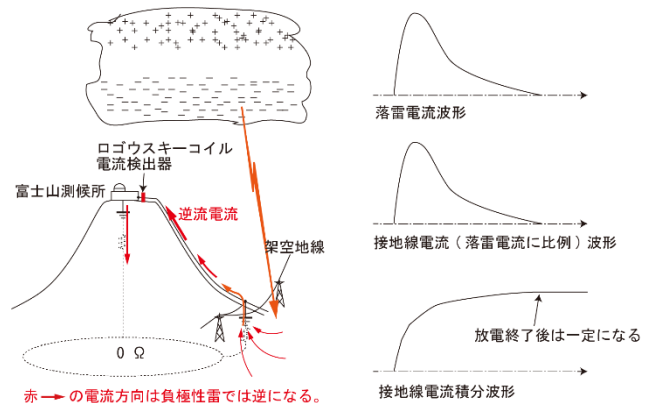


図9 山麓からの逆流電流

環路の誘起電圧による電流も考えられるがこの電流は積分することで0になる。大地への落雷は、接地系統の電位上昇を小さくするため、遠方では検出できなくなると推測できる。この逆流電流は山麓での測定を可能にすることで詳細が解明できるようになると考えている。

空間と接地線線路との到達時間差は、空間と接地線上の

電磁波伝播速度は 3×10^8 m/s と 2.5×10^8 m/s, 伝播線路長が空間直線距離の 1.5 倍, 落雷位置が測候所から 20 km の位置として, 約 50 μ s になる. 逆流現象を考える上で時間差の考慮も必要である.

逆流電流の特徴は以下ようになる.

- ① この電流は放電持続時間で終了する.
- ② 雷放電時間の積分値で一定になる.
- ③ 山麓側接地系統の被雷による電位上昇で流れる電流がある.
- ④ 山麓接地系統の被雷は遠方でも検出する.

なお, 雷現象でない高圧電源同相電流が流れた場合, 接地線が複数でその内の1線を測定しているため同相電流の一部を測定することになる. この電流は遮断時, 事故時などに流れる.

3. 測定

3-1 被測定接地線

山麓に繋がる接地線は少なくとも 2 系統ある. 一つは測候所電源を確保するため, 測候所内に引き込んでいる図 10 に

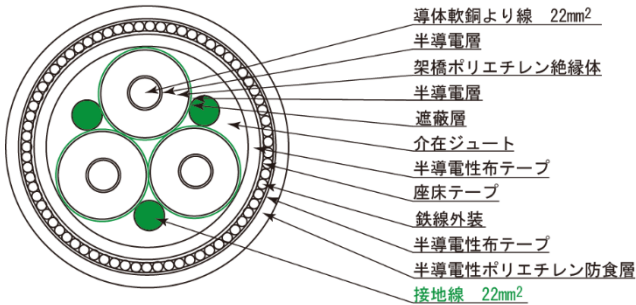


図 10 富士山測候所引き込み高圧ケーブルの構成
架橋ポリエチレン絶縁ポリエチレンシースー重鉄線外装ポリエチレン防食ケーブル
示す高圧ケーブル内蔵接地線で, 他は高圧ケーブルに併設されている接地線, 及び旧埋設高圧ケーブルを接地線に流用したものである.

埋設高圧ケーブル長は約 7 km になる. 帰還接地回路深さを考えると等価ループ面積はかなり大きくなると考えられ, 他のループアンテナとの測定比較により測定感度を定めることは可能と考えている.

山麓に流れる接地線電流の測定は, 測候所内引き込み個所にログウスキーコイルを設置し測定している. 電流の方向は山麓側に流れる電流を正としている.

3-2 接地線電流測定系

雷現象による接地線電流測定は, 図 11 に示すように 3 系統のログウスキーコイル電流計から構成されている. ①直撃雷電流用, ②前兆現象上向き雷電流用, 及び③周辺雷電流用である.

デジタルストレージオシロスコープ(DSO), 及び回路系±15V 電源の 100V 電源は, ノイズカットトランスを介して B 種

接地から絶縁し, さらに UPS を使用している. ログウスキーコイルは高圧ケーブルをアルミfoilでシールドし取り付け, また回路等の設置場所はアルミfoilシールド上でやっている. それぞれシールド網線で接続し一点で接地している. 本測定のための独立した接地体系を構成し, 一点接地

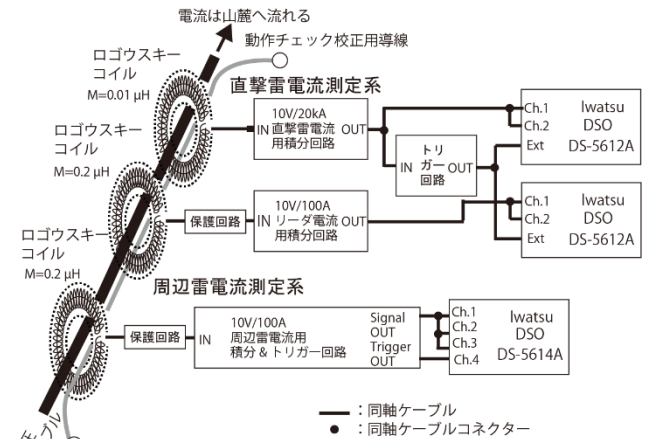


図 11 2017 年度接地線電流測定系

していることになる. 高圧ケーブル, 及びその端末と共通接地極を繋ぐ並列接地線のシールドは, ループを構成して, ログウスキーコイルに遮蔽電流を流さないようにシールドしている. 図 12 は設置した測定系全景である.

ログウスキーコイル電流計の校正は, 被雷確率が高い測候所の観測塔に仮設避雷針を設け, 被雷した時に避雷導線終端に付けたシャントで測定した電流を高圧ケーブル内蔵

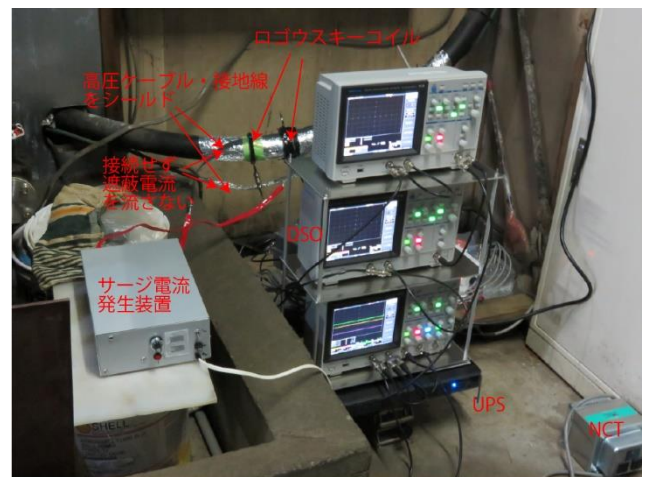


図 12 測定系全景

接地線に流れた電流で除すことで補正係数を求めることができる. 測定した高圧ケーブル内蔵接地線電流にこの補正係数をかけて全接地線に流れる全電流を求めることができる. この補正計数は, 被雷電流だけでなく, 周辺雷現象による電磁誘導, 及び静電誘導電流の校正にも適用できる.

3-3 測定条件

DSO 入力信号の分解能は, 各チャンネルとも 8 bits のため, 最大値の 1/256 になる. そのため, 最大入力に対し小さな

入力信号は分解能を悪くすることになる。

この対策として、直撃雷用と前兆現象上向きリーダ用各2チャンネル DSO は、同一信号入力電圧に対し 2V/div.及び 200 mV/div.に振り分けしている。トリガー信号はいずれも Ext.トリガー入力を使用した。

周辺雷用4チャンネル DSO は3チャンネルを 2 V/div., 500mV/div., 及び 100 mV/div.に振り分けしている。残り信号入力1チャンネルは、信号入力チャンネルが安定なトリガーレベルを確保できるため、トリガー用に使用している。

トリガーレベルは直撃雷用と上向きリーダ用は 0.4 kA とした。一方、周辺雷用は当初 0.5 A としたが 7月18日設置中に雷雲が襲来し、頻繁に作動したため、20時15分頃に 2A に変更した。

4. 測定結果と考察

4-1 雷起因電流の雷現象位置

測定期間は、7月18日(火)設置から8月19日(土)撤収までの約1ヶ月である。雷現象により接地線電流が測定された日は7月18・26・29日、8月1・7・12・18・19日である。測定電流は落雷情報に一致し雷起因であった。測候所への直撃雷は無かった。

7月18日(火)設置調整中に雷雲が襲来した。接地線電流トリガーレベルは、当初予定の0.5Aとしたが、頻繁に動作するため、高めの2Aに変更した。測定結果は変更前までは落雷情報の時刻とほぼ一致する測定ができたが、変更後、動作頻度は半分以下になっている。適切なトリガーレベルにすることで、測定手法の違いによる差は現れるが、周辺雷現象の多くが落雷情報と一致するものとして測定可能である。

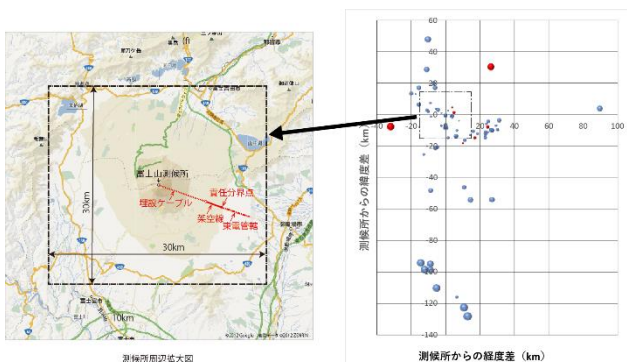


図13 測候所高圧ケーブル内蔵接地線電流で検出した周辺落雷現象 (青:負極性、赤:正極性、円面積:電流値)

図13は落雷情報に一致する測定結果を測候所からの経度と緯度の距離でプロットしたものである。バブルの面積が雷電流に比例している。

4-2 測定結果と結果の整理方法

測定結果では直撃雷は無く、直撃雷と前兆現象上向き雷電流測定系には測定データは得られなかった。しかし周辺雷用測定系には周辺落雷現象に対応した多数の測定が得られた。各測定は、図14に示す「(a)接地線電流波形」と「(b)

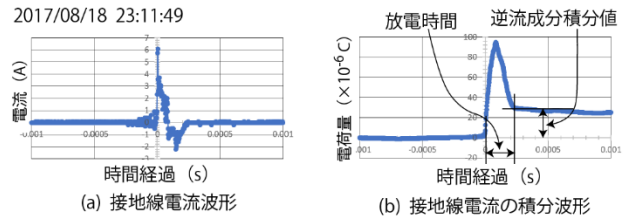


図14 接地線電流測定波形と接地線電流積分波形表示例
測候所起点 経度差: 26.7213 km, 緯度差: -10.0060 km, 電流: -155 kA

接地線電流積分波形」にまとめた。前後者共横軸に時間を、前者縦軸は電流に換算し、オフセットを差し引いた電流値をプロットした波形を、後者縦軸は前電流値を積分した電荷量 ($\times 10^{-6}$ C)をプロットした波形である。後者の電荷量は、横軸時間でのログウスキーコイル検出器を通過した電荷量を現している。

デジタルオシロスコープ(DSO)のデータロギング機能は、トリガーレベルを超えた接地線電流が検出された後、USBメモリーに記録されるまではデッドタイムとなり、記録されない。このデッドタイムは、今回周辺雷用測定系に使用した1kポイントの場合で、一昨年の測定結果から 250 ms~500 ms になる。

落雷情報に対応する測定結果かどうかは、①時刻が誤差範囲内で一致するか、②トリガーレベルに達する現象であるか、③検出可能時間の現象か、④電流極性は合致するか、⑤落雷位置で生じる予測特性が合致するものになるか、で判定した。

雷現象の解明は、測定時刻の測定接地線電流とその積分波形、及び落雷情報(時刻、位置、電流、極性)からはかった。

4-3 雷起因接地線電流の鎖交磁束変換線

接地線と富士山が作る等価的な循環路の鎖交磁束の微分値が循環路の起電圧になり循環路のインピーダンスは抵抗が支配成分になるため測定される接地線電流は鎖交磁束微分値に比例する。電流の向きは(山麓方向を正)循環路の鎖交磁束の向きによって変わり、雷現象位置、及び放電路によって変わる。ここでは放電路が垂直状である場合、放電

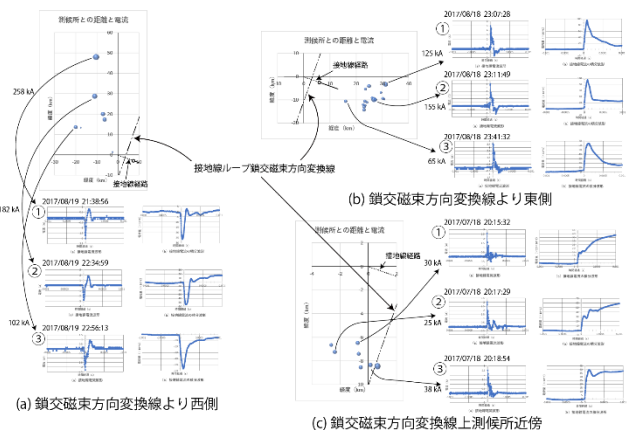


図15 落雷位置による測定波形の特徴

位置によって循環路の支配的な鎖交磁束の方向が決まる循環路の垂直面が存在するはずである。この面を図では鎖交磁束変換線としている。図ではこの変換線を埋設ケーブル中央の垂直面としているが、正確にはこの位置は測定結果から決める必要がある。

図15では接地線電流は、変換線の東側で先ず正のピークが、西側で負のピークが測定されている。変換線上近くで測候所近傍の雷現象は、静電誘導電流が大きく影響しているが、小さな正のピークがあり、東側に位置する極性である。この結果から変換線は、西側に推移したものになる。

4-4 雲放電

一般的に雷雲上部が正電荷で下部が負電荷であることを考えると、落雷情報では雲放電は正極性落雷に含まれることになる。雲放電は大地への落雷ではないので接地線電流には電磁誘導電流と静電誘導電流が重畳した電流になる。

パルス幅時間は放電の持続時間と同一になる。従って放電路の傾きが小さくなることで放電路が長くなるため持続時間も長くなり、パルス幅時間も長くなる。

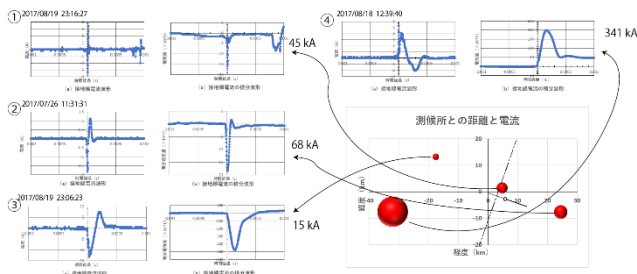


図 16 雲放電による接地線電流測定波形

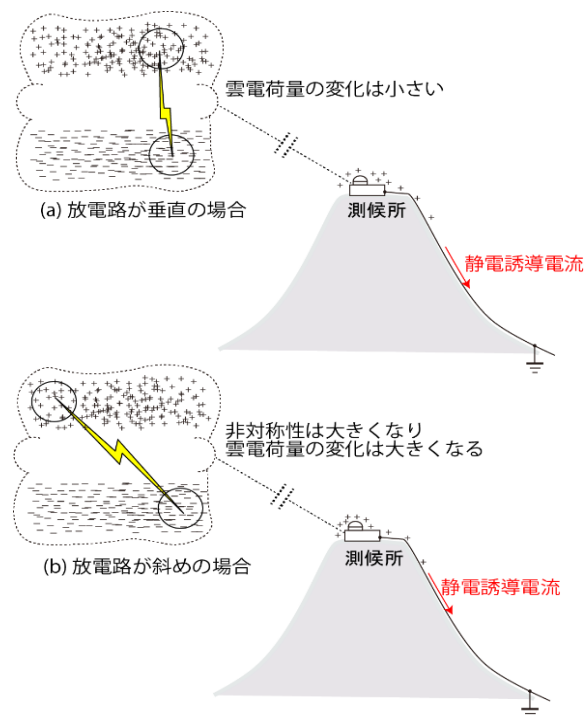


図 17 雲放電の放電路による静電誘導電流

雲放電では正電荷と負電荷が等量消失するため、遠方では雷雲電荷に変化は生じない。しかし、近くではそれぞれの電荷からの距離差により影響を受け静電誘導電流が流れることになる。図 17 に示すように垂直な放電の場合、距離の差は小さいが、放電路が斜めの場合、距離の差は大きくなり、静電誘導電流も大きくなる。図 16④の場合はパルス幅時間と電流の極性から放電路は西から東に斜めと考えられる。またトリガーと同時に現れるインパルス状パルスは、消失正電荷と消失負電荷それぞれの距離差から放電開始と同時に接地線電流に大きな静電誘導電流が流れたと考えられ、一定になる正電荷は放電持続時間中積分した静電誘導電流の積分電荷である。

4-5 ステップリーダ電流

測候所近傍の負極性落雷に観測された接地線電流には正のインパルス状パルスが測定されている。そのパルスの積分値が 0 になる傾向があることを考えると電磁誘導によるものであることを示している。このこととパルス間隔を合わせ考えると、段階的に電荷を補給され延びていくステップリーダ電流との電磁結合が測定されたものである。

伝送路の反射の影響も検討したが、山麓の接地線に該当する終端が伝送路特性インピーダンスよりも小さい場合、反射電流は反対極性になるはずである。その影響は見られず反射の影響は無視できると考えられる。

測候所近傍に多くの測定されたリーダには、静電誘導電流の正方向への増加が重畳している。この傾向は、リーダ進展による雷雲電荷消失による誘導電流が山麓に流れていることを示している。リーダ進展によるリーダ先端電荷によるものではなくリーダは測候所とは別方向に進展していることになる。リーダ電荷が影響する場合、誘導電流は負方向に減少することになる。

図 18 は下向き(①, ②, ③, ④, ⑥, ⑦)と上向き(⑤)リーダによる接地線電流の測定例である。リーダは進展と補給を繰り返し進展し、最終的にリターンストロークになる。測定波形ではリーダによる電流でトリガーリーダの進展途上を捉

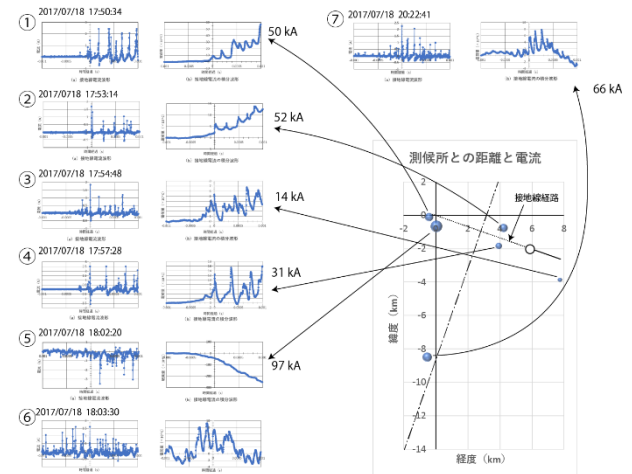


図 18 リーダによる接地線電流測定波形

えているが、リターンストロークは測定時間幅が 1 ms と小さいことと記録時間のデッドタイムで記録されていない。

リターンストロークも記録可能にするにはさらに測定系を追加しトリガレベルをリーダによる電流以上にすることでリターンストロークの記録は可能になる。

⑤は上向きリーダと考えられ、測候所に直撃雷が無かったことを考慮すると直接測候所から開始したものではなく、測候所と適度な抵抗を通して繋がる金属から開始したもので、抵抗値はリーダの成長を損なわない適度な値ではなかったかと考えている。

4-6 測候所近傍雷現象による接地線電流

静電誘導電流が顕著に現れるが電磁誘導電流、静電誘導電流、捕集電流、及び山麓からの逆流電流が重畳したものになる。

図19に示す測候所近くの落雷現象による電流には静電誘導電流と考えられる鋭い正の先行パルス電流が発生し、電流の積分値にもそれぞれに正のピークがある。負極性の落雷の場合、負極性雷雲の負電荷が消失するため、測候所の

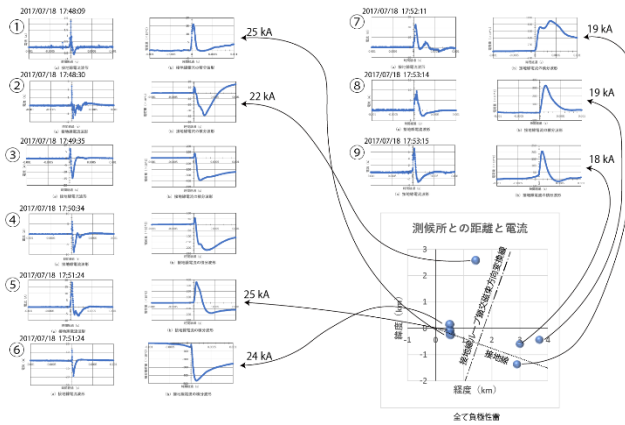


図 19 測候所近く落雷時の接地線電流波形

正の誘導電荷が山麓側に(正の電流方向)流れる。測候所上空の雷雲電荷量との測候所結合容量は無視できず放電初期の電荷消失により正の誘導電荷が山麓側に流れることになり、その電流が測定されたものである。

静電誘導電流は、雲電荷密度分布変化の影響を受ける。測候所近傍のため、放電後の雷雲の電荷変化が大きく影響している。

4-7 駿河湾上大電流雷現象

遠方駿河湾上に図 20 に示す大電流の落雷が観測された。測定された接地線電流の積分値、即ち放電電流の比例分が正負に振れる現象は、鎖交磁束変換線をまたぐ放電路になるか、あるいは下から上へ流れる負極性落雷に引き続き上から下へ流れる雲放電が生じたかいずれかである。

測定結果は、後者の可能性が高く、図21のように負極性落雷と雲放電が時間差を持って続いたものと推測される。

前者の放電路が鎖交磁束変換線をまたがる場合も同様の接地線電流が観測されるが、放電時間を考えると可能性は

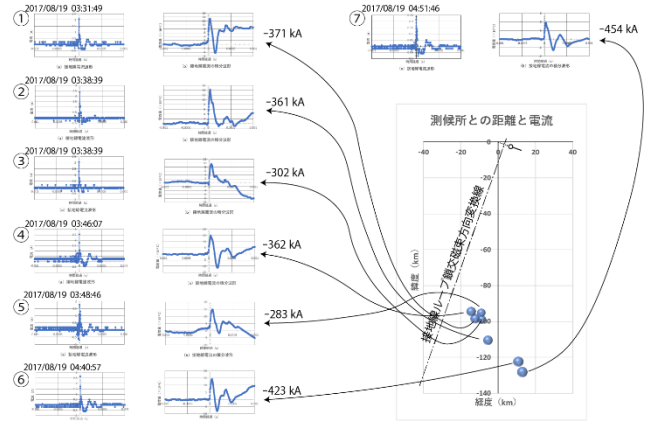


図 20 遠方海上での大落雷電流波形の特徴

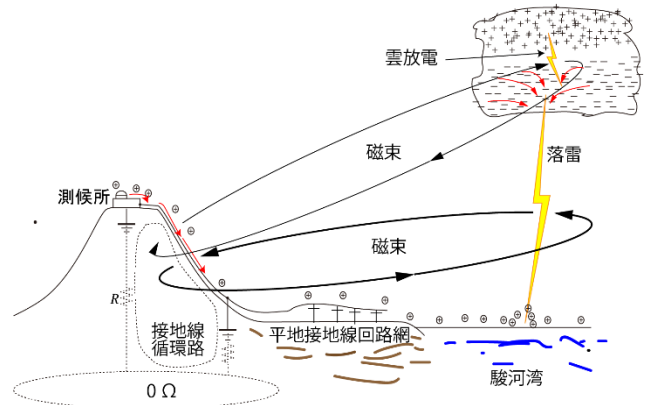


図 21 距離海上での大電流落雷による接地線電流

考えられるが、放電路の長さからは説明が付くか疑問がある。

ベースラインの変動から遠方まで静電誘導電流の影響があることを示している。

4-8 電磁誘導による接地線電流検出感度

接地線電流測定結果と落雷情報により、電磁誘導による接地線電流検出感度を定めることができる。使用する情報は雲放電でパルス時間幅が小さい雷放電路が垂直のものである。落雷情報より電流が分かるので、落雷位置から鎖交磁束が決まり、循環路起電圧を抵抗で除すことで決まる接地線の

電流から検出感度 k が決まる。

例えば、図 22 の (x, y) の位置に垂直な雲放電があると接地線上 (C_x, C_y) からの接地線成分の距離 r_E を次式から求め

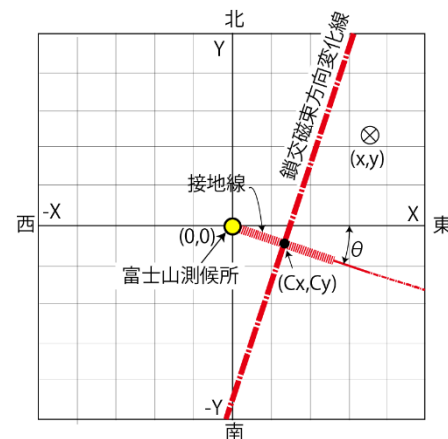


図 22 接地線電流検出器の感度評価方法

る。

$$r_E = (x - C_x) \cos \theta - (y - C_y) \sin \theta \quad (1)$$

落雷情報による雲放電電流 i_{CL} 、測定した接地線電流 i_E とこの距離から一般性のある感度係数 K を次式より決めることができると考えている。

$$i_E = \frac{K}{r_E} i_{CL}, \quad K = \frac{i_E}{i_{CL}} r_E \quad (2)$$

5. 終わりに

(1) 富士山測候所周辺の雷現象を測定できる山麓に繋がる既存接地線を用いた雷現象検出器を開発できた。

(2) 富士山及び周辺で生じる雷現象を捉えることができる接地線電流測定系を決めることができた。

(3) 安定なトリガーレベルを得たことで雷現象に起因する接地線電流の安定な測定を可能にした。また、周辺雷現象の高感度検出器になることが分かった。

(4) 雷現象解明は、それぞれの発生時刻に測定した接地線電流、その電流積分値、及び落雷情報(位置、電流、極性)から特徴を明らかにした。

(5) 雷が接地線に電流を流す雷現象の以下のメカニズムを明らかにした。

- ① 磁誘導電流、
- ② 静電誘導電流、
- ③ 測候所電極捕集電流極、
- ④ 山麓側からの逆流電流

今後の課題としては以下がある。

★オフセットは DSO の高感度入力チャネルをスケールオーバさせやすくなり測定結果の分解能に影響を与える。大きくなると分解能を低下させる。今年度測定結果にもそのことは現れており、次年度はより精度の高い測定を可能にするためトリガーのみではなく測定信号にもオフセットを小さくする対策が必要である。

★測候所近傍用としてステップトリガ測定用(低トリガーレベル)とリターンストローク用(高トリガーレベル)二つの測定系を確保する必要がある。

★他の落雷情報も取り込み測定された落雷現象の解明を図ることになるが、測定数は多くなるため、データ処理の自動化が必要である。各現象との相関を明確にし、それを組み込み処理できるデータ処理プログラムが必要である。

6. 謝辞

考察に関してアドバイスを頂いた横山茂・静岡大学客員教授、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方々、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、生越正文両山頂班長はじめ山頂班員の方々、同 NPO 事務局員各位、および落雷情報を提供して頂いた中電 CTI のご厚意に感謝する。

なお、この研究の一部は一般財団法人新技術振興渡辺記念会の受託事業「富士山噴火予知のための SO₂ 通年観測システム構築に関する研究」として実施し、また、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「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」を受けた。記して感謝申し上げる。

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). 富士山測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). 富士山測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) 電気・電子機器の雷保護検討委員会(委員長横山茂) (2011-8). 電気・電子機器の雷保護, 電気設備学会.
- 8) 石井勝 (2013-9). 上向き雷放電, 第 31 回レーザセンシングシンポジウム特別講演.
- 9) 北川信一郎, 河崎善一郎, 三浦和彦, 道本光一郎 (1996). 大気電気学, 東海大学出版会.
- 10) 北川信一郎 (2001 年). 雷と雷雲の科学, 森北出版.
- 11) 日高邦彦 (2009 年 1 月 10 日). 高電圧工学, 新電気システム工学 TKE-13, 数理工学社.

- 12) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 土器屋由紀子, 野村渉平, 向井人史 (2013). 富士山測候所観測システムへの雷対策案, 第 31 回電気設備学会全国大会講演論文, 405-408.
- 13) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 鴨川仁, 土器屋由紀子, 野村渉平, 向井人史 (2014). 超低特性インピーダンスケーブルの接地適用の検討, 第 32 回電気設備学会全国大会講演論文, 111-114.
- 14) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 土器屋由紀子 (2015). ケーブルへの侵入サージ電圧抑制効果評価方法, 第 33 回電気設備学会全国大会講演論文, 343-346.
- 15) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 大島燦, 高橋浩之, 土器屋由紀子:「富士山測候所導入高圧ケーブル内接地線電流の測定」,第 34 回電気設備学会全国大会講演論文,83-88(2016).
- 16) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 横山茂, 高橋浩之, 土器屋由紀子:「雷現象による富士山測候所と山麓を繋ぐ接地線電流解析」,第 35 回電気設備学会全国大会講演論文,403-408(2017).
- 17) 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.
- 18) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 土器屋由紀子 (2014年). 超低特性インピーダンスケーブルの検討, 電気学会全国大会講演論文, 電磁環境 ESD, 1-154.
- 19) 土器屋由紀子, 佐々木一哉 (2012-6). よみがえる富士山測候所, 成山堂書店.
- 20) 志崎大策 (2002-9). 富士山測候所物語, 成山堂書店.
- 21) 土器屋由紀子, 梶山沙織, 鈴木雅史 (2016 年 10 月). 日本一の高所・富士山頂は宝の山, 公益財団法人静岡県文化財団.

富士山頂(3776m)における歩行バランスの評価と急性高山病(AMS)との関連について

Evaluation of gait balance and relation to Acute Mountain Sickness (AMS) in Mt. Fuji summit (3776m)

井出 里香¹, 高木 祐介², 関 和俊³, 油井 直子⁴,

1. 東京都立大塚病院 耳鼻咽喉科,

2. 奈良教育大学教育学部 保健体育講座

3. 流通科学大学人間社会学部 人間健康学科

4. 聖マリアンナ医科大学スポーツ 医学講座

1. はじめに

富士山は平成 25 年 6 月に世界文化遺産として登録され、海外からの登山者も増えている。富士山頂では平地の 2/3 の気圧(660hpa)となるため、富士山の山岳遭難では急性高山病(Acute Mountain Sickness =以下 AMS)が約半数を占める。めまい・ふらつきも AMS の症状の 1 つであるが、高所(低圧低酸素環境下)でのふらつきは滑落事故の要因にもなっている。本研究では富士登山におけるバランス機能について静的平衡機能検査(重心動揺検査)と動的平衡機能検査(体幹 2 点歩行動揺計)の両方から経時的変化を評価、検討する。また登山中のバランス機能のモニタリング、体調管理の観点から簡易検査(片足立ち、ファンクショナル・リーチテスト(FRT)、主観的なふらつき感)との相関について検証した。同時に滑落事故の要因となる登山中のバランス機能と AMS の重症度との関連性についても検討した。



図 1. 重心動揺計(GP-5000)

2. 対象・方法

22~28 歳(23.7±2.4 歳)の健康男性 6 名を対象とした。

富士宮ルートより富士登山を行い、平地(宿泊施設)→富士山 5 合目(2400m)→富士山頂(3776m)到着時→富士山頂(就寝前)→翌日富士山頂(起床時)→富士山 5 合目→平地(宿泊施設)において計 7 回測定した。

測定項目:

◆ 静的・動的平衡機能および簡易検査の評価

- 1) 重心動揺計(GP-5000)
- 2) 体幹 2 点歩行動揺計(MVP-WS2-S)
- 3) ファンクショナル・リーチテスト(FRT)
- 4) 片足立ち(開眼、閉眼)
- 5) 主観的運動強度 (Borg scale)
- 6) 主観的疲労感・主観的ふらつき感 (Visual Analog Scale)

◆ 急性高山病(AMS)の評価

- 7) AMS score による症状スコアリング
- 8) SpO₂/心拍数(パルスオキシメーター, SAT-2000)
- 9) 血圧測定

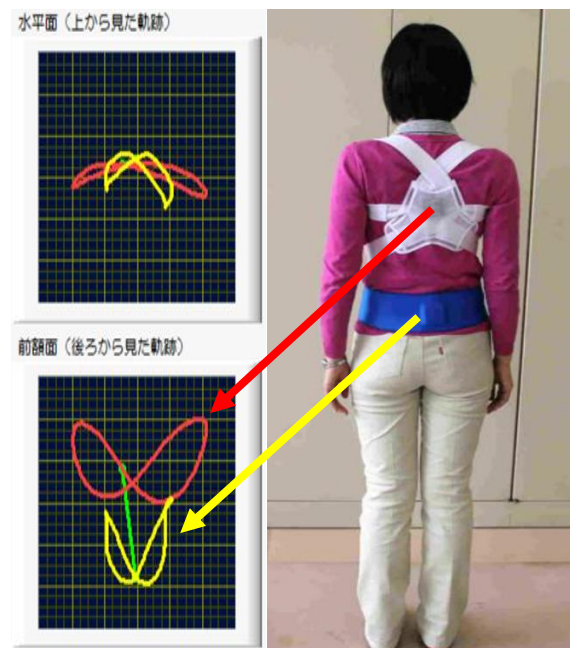


図 2. 体幹 2 点歩行動揺計(MVP-WS2-S)

3. 結果・考察

- 重心動揺検査は各地点での閉眼時の総軌跡長(ふらつきの程度)に有意差は認めず、ラバー負荷(前庭機能の簡易評価)もほとんど変化がみられなかった。
- 体幹 2 点歩行動揺計は上半身のふらつきが大きく(登山時<下山時)、登山前後の平地でのふらつきは同程度であることから、下腿筋疲労などの影響より、高度による影響の方が大きいと思われた。
- FRT は、動的バランス能力の評価法で、転倒の危険性を予測する指標である。5名は頂上(就寝前)では平地と比較して低下していた。
- 開眼片足立ちは大きな変化は認めなかったが、閉眼片足立ちではバラツキが大きかった。バランス能力と下腿筋力には正の相関があるため、下腿筋力や運動能力などの影響により個体差が出たものと思われる。
- 主観的なふらつき感も山頂において有意に高かった。特に山頂到着時で高かったが、半数は翌日には軽快していた。SpO₂も改善していたことから、高度に順応したことによるものと思われた。

4. まとめ

- 静止時の重心動揺検査では前庭機能の変化はほとんど認

めなかったが、歩行時の体幹 2 点歩行動揺計では下山時に上半身のふらつきが大きく、高度による影響の可能性が示唆された。歩行時は酸素消費量が増えるため、高所(低圧低酸素環境)ではより低酸素の影響を受けやすいものと推察された。

- 簡易検査では片足立ちは有意な変化は認めなかったが、FRT では高度の上昇とともに低下し、動的バランス能力の低下を示した。主観的なふらつきも山頂で有意に高値を示していた。登山中のバランス機能のモニタリングや体調管理の簡易指標として FRT、主観的なふらつき感の有用性が示唆された。

参考文献

- 1) 山本正嘉 (2016). 登山の運動生理学とトレーニング学, 340-345.
- 2) 山本正嘉 (2000). 登山の運動生理学百科, 137-138.
- 3) Cemal Clingi, Alper Nabi Erkan. (2000). Ear, nose, and throat effects of high altitude. *European Archived of Oto-Rhino-Laryngology*, 267(3), 467-471
- 4) Mees K, Suckfull M. (2002). Cochlear and vestibular risk at high altitude. *Laryngorhinotologie*, 81(7), 465-468.

富士山学校科学講座および高所順応トレーニングの 12年間の実践の歩み

浅野 勝己 (筑波大学名誉教授)

1. はじめに

わが認定 NPO 法人富士山測候所を活用する会の使命の一つとして、社会への教育活動の一環をになう為に2006年6月に”富士山学校科学講座”の開講を企画した。その後、2017年に至るまで総計15回にわたり大學生および社会人を対象として実施してきている。

高所順応トレーニングは2008年8月以来2017年に至るまで総計9回にわたり高峰登山者およびヒマラヤトレッキング隊員に対して実施してきている。

これらの活動について発足以来12年にわたる実践の歩みを報告したい。

2. 富士山学校科学講座—総計 15 回—

1) 2006年6月に第1回を東京新宿アイランドウイングで三浦雄一郎副理事長の“エベレストへかける夢、究極のアンチエイジング”および小生の“登山の健康への效用”の2題の講演会に約50人の聴衆を迎えて開講することが出来た。

2) 次いで同年7月には山頂での測候所見学者32人に小生より高山病の講話を行った。

その後、12月までは以下の4氏による講座が都内の会場で約30人の参加者に対して行われた。

3) 村山貢司氏 — きっと役立つ山の天気入門

4) 畠山史郎氏 — 越境大気汚染と日本

5) 岩坂泰信氏 — 黄砂—その謎を追う—

6) 片山葉子氏 — 富士山の微生物

7) 2007年8月に測候所見学者25人に対し、また、

8) 2009年8月に測候所見学者22人に対し小生より高山病の講話を行った。

9) 2010年8月には江戸川大の学生15人および横浜市立大の学生20人の測候所訪問にさいし、2007年以降の研究成果の一端を大気化学および高所医学の面より解説した。すなわち三浦和彦氏、永淵修氏、小林拓氏、村上祐資氏および小生が熱心な聴講の学生に向けて話題を提供した。

10) 2012年8月に2回目の横浜市立大の学生29人の測候所訪問がなされた。これに対し大気化学の研究結果

について皆巳幸也氏より、また高所医学について小生より解説した。

11) 2013年8月にはヒマラヤトレッキング隊10人の山頂での順応トレーニング実践者に対し高山病の機序と予防策について解説した。

12) 2014年8月に3回目の横浜市立大の学生26人の測候所訪問がなされた。これに対し研究成果を解説し質疑応答を行った。さらに翌日滞在されたヒマラヤ登山者10人にも同様の講話を行った。

13) 2015年8月には中高年女性登山者4人にも高山病の解説と研究成果を講話した。

14) 2016年8月には4回目の横浜市立大の学生27人の測候所訪問がなされ、講話と熱心な質疑応答が行われた。

15) 2017年8月にヒマラヤ登山者9人の順応滞在があり、高山病の講話および研究成果を解説した。

3. 高所順応トレーニングの実践—総計 9 回—

1) 2008年8月 日本山岳協会高知岳連 市村隊長以下10人、2泊3日滞在。

2) 2009年8月 日本山岳協会「埼玉岳連 烏隊長以下10人、2泊3日滞在。

3) 2009年8月 日本山岳会青年部 総員8人、2泊3日滞在。

4) 2010年7月 静岡市山岳連盟 出利葉隊長以下13人、2泊3日滞在。

5) 2013年8月 ヒマラヤトレッキング隊10人

6) 2014年8月 ヒマラヤトレッキング隊10人

7) 2015年8月 ヒマラヤトレッキング隊4人

8) 2017年8月 ヒマラヤトレッキング隊9人

9) 2017年7-8月 横濱山岳会隊員 2人

各 1泊2日滞在

4. 展望

本科学講座および高所順応トレーニングを今後さらに充実し、発展継続させていきたい。

富士山頂におけるナノ粒子の粒子径分布計測

村本慎仁¹, チャンドラ インドラ¹, 東秀憲¹, 猪股弥生¹, イクワンユル¹,
瀬戸章文¹, 大谷吉生¹, 岩本洋子², 森樹大², 三浦和彦², 加藤俊吾³

1. 金沢大学, 2. 東京理科大学, 3. 首都大学東京

1. はじめに

富士山は標高 3,776 m の孤立峰であるため地表付近(あるいは境界層)の影響が少なく, 自由対流圏における粒子濃度や東アジアから輸送された越境大気汚染物質を測定するのに適している. 大気エアロゾルは太陽光の散乱・吸収, さらに雲凝結核として作用するため, 地球の気候変動に重要な影響を及ぼすと考えられている.

これまでに富士山頂で実施された観測では, 新粒子生成が頻繁に観測されているが¹⁾, 新粒子生成過程を明らかにするためには, より小さい粒子径からの測定が必要である. そこで, 本発表では, 静電分級器(DMA: TSI Inc., Model3085)と凝縮核計数器(CPC: TSI Inc., Model3776)を組み合わせた走査式移動度計測装置(Nano-SMPS)を用いて粒子個数濃度を計測した結果について報告する.

2. 富士山頂におけるフィールド計測

観測期間は 2016 年 7 月 14 日から 8 月 23 日および 2017 年 7 月 15 日から 8 月 24 日で, 富士山特別地域気象観測所(N: 35.21 度, E: 138.43 度)でおこなった. 本研究室では 2016 年より, この夏期集中観測に参加し, 静電分級器(DMA: TSI Inc., Model3085)と凝縮核計数器(CPC: TSI Inc., Model3776)を組み合わせた走査式移動度計測装置(Nano-SMPS)を用いて, 粒子径 2.09 nm~63.8 nm までの粒子を計測した.

3. 測定結果ならびに考察

3.1 粒子径分布

2016 年および 2017 年に Nano-SMPS で測定したナノ粒子の粒子径分布の時間変動の一例を図1に示す. 縦軸に粒子径, 横軸に日にち, 粒子濃度を色分けで示している. 雷等による機材トラブルで計測ができずデータが欠落している日を除くと合計 25 日間および 37 日間の観測で, 粒子が高濃度になるイベントは 2016 年には 15 回, 2017 年には 21 回観測できた. 2016 年に観測されたイベントは, 午後から始まり, 夜にかけて終わるものも多く, 粒子は 10 nm 付近から発生し, その後緩やかに 20~30 nm まで成長した. 一方, 2017 年に観測されたイベントは, 午前中に始まり 4 nm 付近から 20 nm 付近まで成長し, 短時間で終わるものも多く見られた.

3.2 イベントの分類

次に 2016 年と 2017 年に起こった粒子生成イベントを発生した時間と空気塊の由来に基づいて分類した結果を示す. ま

ず, イベントが発生した時間帯について分類し, 5:00 から 12:00 を午前, 12:00 から 18:00 を午後そして 18:00 から 5:00 までを夜間とした. さらに, NOAA の HYSPLIT による後方流跡線解析を行い, イベントが観測された際の空気塊が富士山頂に到達する 48 時間前の後方流跡線を計算することで, その地点の位置から大陸由来および海洋由来のものと分類し, それ以外のものを不明として分類した.

既往の研究では, 富士山頂における新粒子生成イベントは夜間に比較的多く発生していた. 一方, 本研究での測定結果では, 2016 年は粒子生成イベントの半数以上が午後か夜から始まるものであり, また 2017 年は, 観測されたほとんどのイベントが午前中に始まり, 空気塊は大陸由来のものだった.

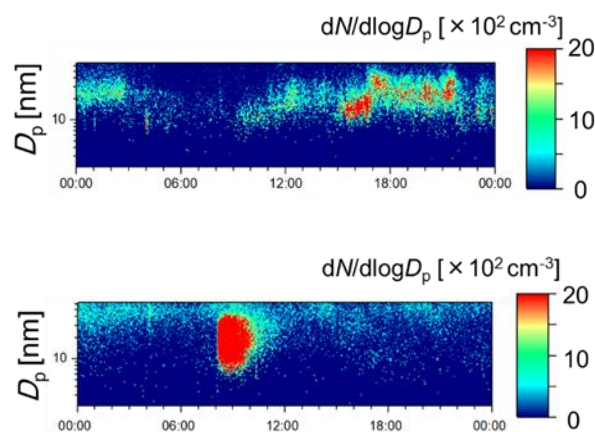


図1 粒子個数濃度のカウンタープロット
(上:2016/8/20, 下:2017/7/29)

3.3 イベント時の種々パラメータの日変化

図2に 2016 年および 2017 年の粒子生成イベントが発生した日に限定し, 3 nm から 25 nm の粒子の個数濃度, CO, O₃, SO₂ の各ガス濃度および水蒸気混合比の平均値を求め, 日変化を表したグラフを示す. 横軸に時間, 縦軸に各パラメータの値を示している.

2016 年のデータでは, 粒子個数濃度が上昇し始める時間帯に水蒸気混合比が上昇しており, 谷風の影響を受けていると考えられる. また, CO および O₃ 濃度は時間変化が小さいため越境汚染の影響は小さかったと考えられる. 一方で新粒子生成の前駆気体でもある SO₂ 濃度に濃度変化はあるものの値は非常に低く, ほぼ検出限界であった. 2017 年の観測では, 粒子個数濃度が上昇する時間帯における水蒸気混合比に 2016 年ほどの変化は見られず, CO, O₃ 濃度に関しては

下降していた。これは粒子個数濃度が上昇する時間帯に、谷風および長距離輸送された汚染大気の影響が比較的少なかったためと考えられる。つまり、2017 年度に多く観測されたイベントは 2016 年と比べて清浄な空気の中で観測されたと考えられる。しかしながら、新粒子生成の前駆気体である SO₂ 濃度はいずれの年も検出限界濃度に近くかなり低いために、新粒子生成は山頂とは異なる場所で起こっている可能性がある。さらに、両年共に、ガス濃度および水蒸気混合比などの個別の因子と粒子個数濃度や粒子径との顕著な相関は見られなかった。

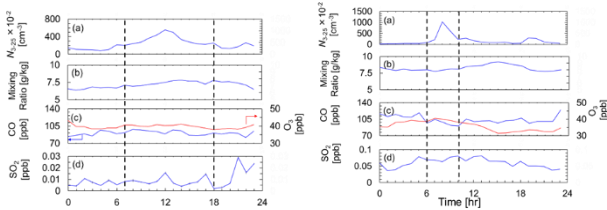


図2 種々パラメータの日変化(a) 3~25 nm の粒子個数濃度、(b) 水蒸気混合比、(c) CO, O₃ 濃度、(d) SO₂ 濃度 (左:2016年, 右:2017年)

3.4 多変量解析

2016 年および 2017 年において、各ガス濃度や水蒸気混合比、温度との複合的な影響を考察するために Eq.1 による多変量解析を行った。図3に多変量解析による初期粒子径の相関結果を示す。

$$D_{p, \text{predicted}} = \sum_i a_i \cdot x_i^{b_i} \quad (1)$$

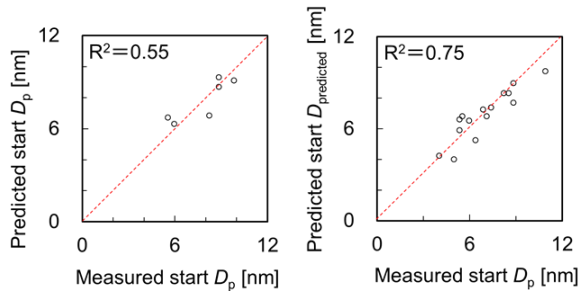


図3 初期粒子径の相関結果(左:2016年, 右:2017年)

図3は横軸に初期粒子径の測定結果、縦軸に式による相関結果をとったグラフで、対角線上にプロットが位置していることから、いずれの年も良好な相関結果が得られた。また、各因子の係数より、2017年のイベントは、SO₂ 濃度と温度が支配的な因子となっており、SO₂ 濃度と正の相関、温度と負の相関を示すことがわかった。つまり、前駆気体である SO₂ 濃度が高いほど初期粒子径は大きくなり、温度が高いほど揮発性物質のガス化により初期粒子径は小さくなる傾向になると考えられる。一方、2016年のイベントは、SO₂ 濃度の影響は小さく、O₃ 濃度と温度が初期粒子径の支配因子となっていることが確認

された。つまり、2016年のイベントは、新粒子生成によるもの以外に、汚染大気の輸送の影響によると考えられる。

3.5 核生成時の位置

前節で述べた通り、粒子生成の前駆気体である SO₂ 濃度は非常に低いいため新粒子生成は富士山頂とは別の場所で起こっている可能性が高い。そこで、Eq.2²⁾により定義した成長速度と後方流跡線解析の結果より、粒子の核生成が始まる粒子径 1 nm の時の位置を推定した。

$$GR = \frac{\Delta D_p}{\Delta t} \quad (2)$$

図4に推定した結果を示す。2016年は一部富士山頂の近くで核生成したと思われる粒子もあるが、主に富士山頂よりはなれたところで核生成が起こっていると考えられ、海上で核生成したと思われる粒子もあった。これらの粒子は富士山頂で計測されたときには、成長速度も遅く、イベント開始時の粒子径も大きいため、ある程度成長した後の粒子が輸送されていると考えられる。これに対し、2017年はほぼすべてのイベントが富士山周辺で核生成しており、輸送距離が短いことから成長途中で富士山頂で観測され、そのため成長速度も速かったものと考えられる。

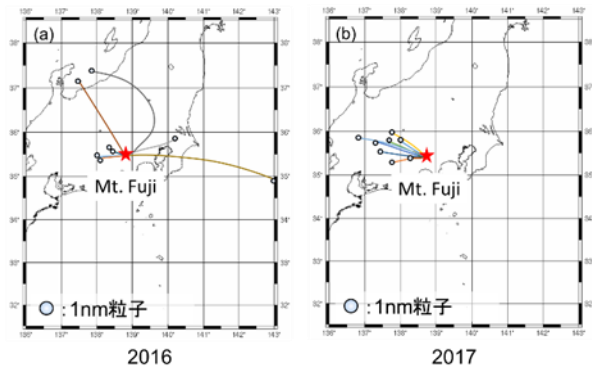


図4 核発生時の位置と富士山頂までの後方流跡線

5. おわりに

2016年のイベントは、主に午後から夜間にかけて発生し、2017年のイベントは、ほとんどが午前中に発生し、大陸由来のものであった。粒子高濃度イベント発生時に、単一のパラメータとの顕著な相関は見られなかったが、多変量解析により初期粒子径が SO₂ 濃度および O₃ 濃度と正の相関、温度と負の相関があった。粒子成長速度と後方流跡線解析の結果より、新粒子生成は富士山以外の場所で起こっており、そのほとんどは日本国内で、核生成が起こった後に自由対流圏および大気境界層を経由して輸送されていることが示唆された。

参考文献

- 1) 片岡ら, 第10回成果報告会要旨集 P-06 (2010)
- 2) Kulmala et al., *J. Aerosol Sci.*, 35, 143-176 (2004)

積乱雲の雲頂から飛び上がる巻雲: Jumping Cirrus の観測と定量的解析による特徴

瀬口貴文¹, 岩崎杉紀¹, 鴨川仁², 岡本創³, 石元裕史⁴, 牛山朋来⁵

1.防衛大, 2.学芸大, 3.九大応力研, 4.気象研, 5.土木研

1 はじめに

Jumping Cirrus (JC) とは, Fujita の飛行機観測により撮影・命名された「かなとこ雲から 1-2 km ジャンプする雲」のことである¹⁾. Wang et al. は, 数値実験で, 非断熱過程(重力波の碎波)により JC が発生することを示した²⁾. しかし, JC の定量的な観測がないため, その定義はおろか, 発生条件や規模, 頻度といった基本的な性質も分かっていない.

Setvák et al. は, JC の雲粒の昇華によりオーバーシュートの上の成層圏が加湿される可能性を衛星データによって示した³⁾. これまでは, オーバーシュートは断熱過程が支配的なため, すぐに沈み, 成層圏に物質輸送することはないと考えられてきた. しかし, JC による成層圏加湿の有無がわかれば, 成層圏・対流圏間の水蒸気輸送の機構が明らかになり, より正確な成層圏の水蒸気量の推定に寄与することが期待される.

本研究は, カメラ撮影により JC を観測し, その形態・特徴を定量的に理解することを目的とする. さらに, 衛星やラジオゾンデ等のデータを用いて当時の大気状態を解析し, 発生条件や成層圏の加湿の有無を明らかにすることを目的とする.

2 観測

2016 年の 7・8 月の間, 富士山頂と防衛大学の屋上(横須賀市)に 3 台ずつ可視カメラを設置して, 15 秒間隔で定点パノラマ撮影を続けた. 表 1 にカメラとレンズの仕様を示す. 本カメラでは, 1 ピクセルのずれが, 100 km 離れると数十 m 程度になる. 観測範囲は富士山・防衛大を基点に, 概ね北西(石川県・能登半島)方向から北東(千葉県・銚子)方向の間をカバーしている.

2016 年は合計で 19 件の JC が撮影出来た. 図 1 はその一例である. 両観測点から同一の JC を捉えられなかったため, ステレオ解析により JC の位置をピンポイントで特定することはできなかった.

2017 年の夏季には, カメラを 3 台増やして, より広範な観測を実施した. それらのデータは現在解析中である.

表 1 カメラとレンズの仕様 (USB3.0 規格)

カメラDMK24UJ003 (IMAGING SOURCE)		レンズVS-1214H1 (VS Technology)	
解像度	3856×2764 (1000万画素)	焦点距離(35mm換算)	67mm
階調	8 bit (モノクロ)	画角	36°(29°×22°)
ピクセルサイズ	1.67μm×1.67μm	歪み	-0.52%

3 解析

まず, 夜間に撮影した写真上の星の位置情報を調べ(星図ソフト, ステラナビゲータ Ver.10, AstroArts 社を使用), 各ピクセルの方位角と仰角(図 1 のグリッド線)を導出し, JC の方位角と仰角を求めた.

次に, ひまわり 8 号のデータによる近い時刻の赤外輝度温度分布(図 2)を確認し, 図 1 で求めた方位角方向に存在する発達した積乱雲を特定して観測点との直線距離を求めた. これと図 1 で求めた仰角を組み合わせて JC の高度を見積もることができる. ただし, JC 自体は衛星から見えないため, 最も対流が発達していると考えられる最低温度の位置を使って直線距離を求めている.

最後に, 茨城県つくば市館野のラジオゾンデのデータを用いて, JC 発生時付近の大気状態を確認した(図 3).

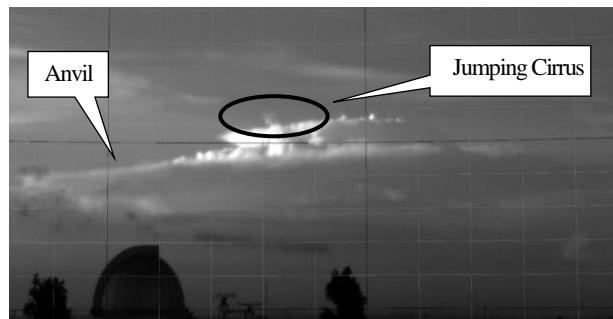


図 1 栃木県鹿沼付近で発生した積乱雲と JC. 2016 年 8 月 4 日 18 時 18 分, 防衛大から撮影. この事例では方位角-3.5°方向に JC が発生. かなとこ雲から 1.3 km ジャンプして高度 16.8 km に達し, 図 3 に示す CPT を越えている.

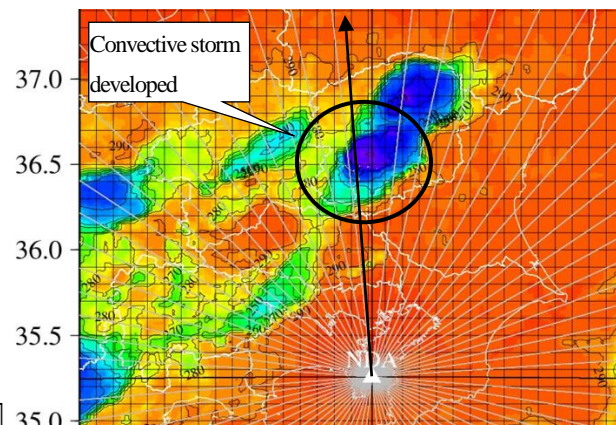


図 2 ひまわり 8 号による赤外帯 (13 ch, 10.4 μm) の輝度温度分布. 2016 年 8 月 4 日 18 時 20 分. 観測点を中心に放射状に 5°毎に方位角を付記. グリッド線は経緯度, 色は温度を示す. 矢印は図 1 で求めた方位角-3.5°方向. 最低温度部は 210 K で観測点から 143.5 km の位置.

4 考察

4.1 JCの特徴

2016年の19件のJCの空間スケールと、当時の大気状態の平均値を表2に示す。JCの到達高度が17 kmを超える事例もあった。

表2 JCの空間スケールと大気状態の平均値

	かなとこ雲	JC
高度	13.3 km	14.6 km
幅	24.8 km	1.4 km
ジャンプ高		1.2 km
雲頂の輝度温度	228 K	
大気状態		
圏界面高度	CPT 17.14 km / DT 16.98 km	

Wang et al. の報告²⁾では、3D非静力学雲モデルを使って、米中西部で1981年8月に発生した積乱雲をシミュレートした結果、JCの到達高度は約15 kmであった。本観測結果はこれとよく一致する。また、オーバーシュートが沈んだ後に飛び上がるJCは、周囲の風向(西風)に逆らってオーバーシュートした方へ向かうという報告通りの特徴を示す事例もみられた。数値実験では、水平スケールには言及していないが、どの程度の規模(対流の強さや、かなとこ雲の大きさ)の積乱雲であればJCが発生できるかは定性的にもわかっていない。

館野のゾンデの気温の鉛直分布と比較すると、3件が対流圏界面(DT: Dynamic Tropopause または CPT: Cold Point Tropopause のいずれか)に達していた(図1~3の事例を含む)。それらの事例では、CAPEが他の事例に比べて大きく、対流が活発であったと考えられる。

一方で、対流が弱くJCの到達高度が圏界面より低い場合でも、風速が急減している高度でJCが発生している事例が15件あった(図1~3の事例を含む)。この場合、該当高度に存在するCritical Layerにおいて重力波が破碎している可能性が高い。このことからJCの発生には風速の鉛直シアが重要であると考えられる。

4.2 大気差

地球の大気圏内を伝播する電磁波は、大気による光の屈折(大気差)の影響を受ける。本観測に使用したカメラも例外ではなく、写った星の位置は実際より浮き上がり高い高度にあるように見えている。したがって、これを基に作成したグリッドでは観測対象が低く写る。この大気差を補正してグリッドをつけると、実際は本結果より100 m程度高度が高くなると予想される。当日は補正後の結果をもって発表する予定である。

5 今後の展望

時空間スケールの把握のため、発生から消滅までの所要

時間と成長速度を求める。また、ひまわり8号のデータは赤外帯だけでなく、可視画像も確認してJCを含む積乱雲の形態を見る。JCは氷粒を含むため、3.9 μm 帯で雲相を確認する。さらに、水蒸気吸収帯である6.2 μm 帯と赤外帯の輝度温度の差分画像を求め、対流の上部の水蒸気の有無を調べる³⁾。

JCの発生機構としては、対流の十分な発達にかかわる断熱過程だけでなく、重力波が壊れる非断熱過程が重要であると考えられるため、風速のプロファイル及び大気安定度にも注目して解析をする予定である。

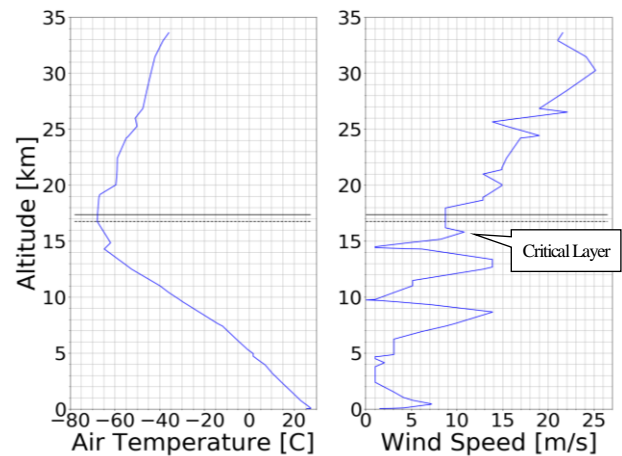


図3 館野における気温(左)と風速(右)の鉛直分布。2016年8月4日21時。雲の場所とは100 kmほど離隔。実線・破線はDTとCPTの高度をそれぞれ示す。本事例では、DT=17.37 km, CPT=16.77 km。CAPE値は782.3。

謝辞

本研究は、認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行なわれた。また、本研究の一部に九州大学応用力学研究所の共同利用研究の助成を頂いた。

参考文献

- 1) Fujita, T. T., 1982: Principle of Stereoscopic Height Computations and their Applications to Stratospheric Cirrus over Severe Thunderstorms. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **60**, 355-368.
- 2) Wang, P. K., S. H. Su, Z. Charvát, J. Št'ástka, H. M. Lin, 2011: Cross Tropopause Transport of Water by Mid-Latitude Deep Convective Storms: A Review. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **22**, 447-462.
- 3) Setvák, M., D. T. Lindsey, R. M. Rabin, P. K. Wang, A. Demeterová, 2008: Indication of water vapor transport into the lower stratosphere above midlatitude convective storms: Meteosat Second Generation satellite observations and radiative transfer model simulations. *Atmos. Res.*, **89**, 170-180.

2016-2017 年における富士山麓の新粒子生成

大塚拓弥¹, 佐藤丈徳¹, 五十嵐博己¹, 森樹大¹, 三浦和彦¹

1. 東京理科大学

1. はじめに

新粒子生成(New Particle Formation; NPF)の主なメカニズムは、二酸化硫黄(SO₂)や窒素酸化物(NO_x)、揮発性有機化合物(VOC)などの前駆気体がオゾンやヒドロキシラジカルなどにより酸化され、酸性物質又は低揮発性物質になり、さらに様々な化学反応をすることによって二次粒子が生成される。

しかし NPF のメカニズムは複雑なため、正確な理解は難しい。そこで本研究では山岳地域の NPF のメカニズムを解明するため、富士山麓にある太郎坊(海拔 1290 m, 35.332 °N, 138.804 °E)で観測を行った。

2. 解析手法

2016 年から 2017 年にかけて太郎坊における観測状況を表 1 に示す。全観測日数は 141 日である。

表 1 2016-2017 年の太郎坊における観測状況

季節	観測期間(年/月/日)	観測日数	使用可能日数
冬	2016/12/23~2017/2/28	68日	65日
春	2017/3/1~2017/4/16	47日	39日
夏	2017/8/5~2017/8/22	18日	16日
秋	2017/9/21~2017/10/12	22日	21日

相対湿度が高いとエアロゾル粒子は吸湿成長するため、試料空気を拡散ドライヤーに通し 30 %以下に乾燥させた。温湿度計測器を拡散ドライヤーの下流に設置することで相対湿度を確認した。その後、微分型移動度分級器(Differential Mobility Analyzer; DMA 3081)でエアロゾル粒子を分級し、凝結粒子計数器(Condensation Particle Counter; CPC 3775)で粒子数濃度をカウントすることで粒径分布を得た(図 1)。

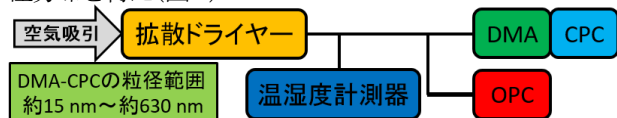


図 1 粒径分布の観測システム

太郎坊近辺の大気成分を見るために環境省のそらまめ君の観測局のデータ(SO₂, NO_x, O_x(光化学オキシダント))を用いた(図 2)。また谷風による前駆気体の輸送を考慮するため、太郎坊に風向 22 °~202 °の角度で吹く風を谷風と定義した¹⁾(図 2)。さらに、Condensation Sink (CS) (気体分子の既存粒子への凝結による除去率)は粒径と粒子数濃度に依存する。この NPF の起こりにくさを示す指標も用いた。



図 2 太郎坊と観測局及び谷風の定義

NPF イベント(以下イベントと呼ぶ)を、25 nm 以下の粒子数の高濃度状態が 1 時間以上継続し、粒子成長を伴うものと定義し、以下の 4 つに分類した²⁾。

(1) Apple type (A 型) は成長率などのパラメータが得られ、粒子が 25 nm を超えて成長しないが、成長が 1~2 時間観測されるイベントをいう(図 3)。

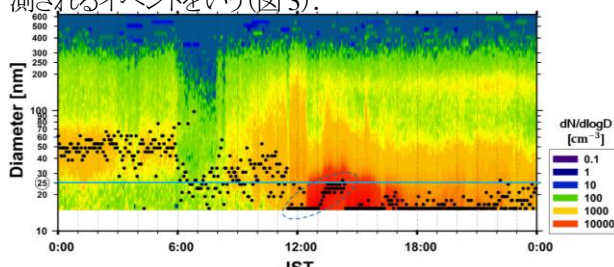


図 3 Apple type (2017/2/10)

(2) Banana Short type (BS 型) は成長率などのパラメータが得られ、粒子が 25 nm を超えて成長し、成長が 2~4 時間観測されるイベントをいう(図 4)。

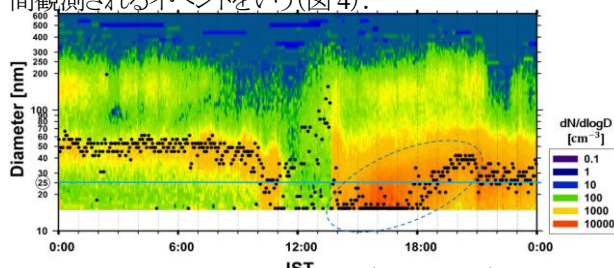


図 4 Banana Short type (2016/12/27)

(3) Banana Clear type (BC 型) は成長率などのパラメータが得られ、粒子が 25 nm を超えて成長し、成長が 4 時間以上観測されるイベントをいう(図 5)。

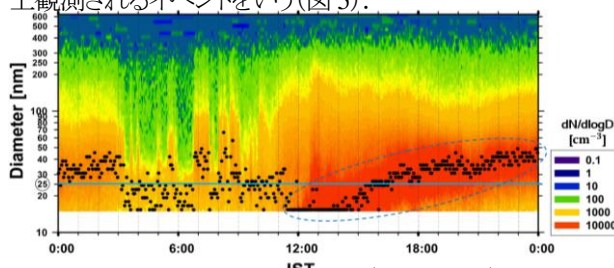


図 5 Banana Clear type (2016/12/24)

(4) Banana Unclear type (BU 型) はモード径のばらつきが多く、成長率などのパラメータが得られないイベントをいう (図 6)。

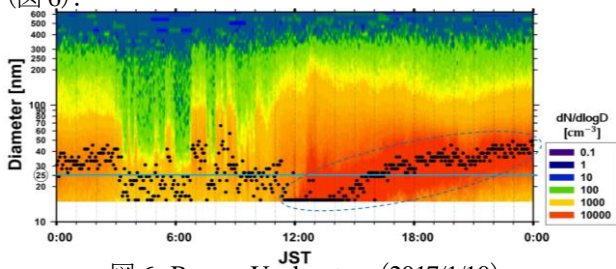


図 6 Banana Unclear type (2017/1/10)

3. 結果・考察

イベントは 141 日中 90 回観測され、BC 型 (46 回)、BU 型 (35 回)、BS 型 (8 回)、A 型 (1 回) の順で多くみられた。春は BC 型 (51.9 %)、秋は BU 型 (60.0 %)、冬は BC 型 (60.4 %) が多く、夏の観測ではイベントは見られなかった (図 7)。

2017 年夏の観測期間中の降雨日は 16 日中 11 日 (68.8 %) であり、2016 年の 8 月の観測期間 18 日中 9 日 (50.0 %) の時と比較すると長期間で雨が降っていたことが分かった。

イベントの観測結果の一例を図 8 に示す。イベント発生前はイベントが観測されない時と比較すると、前駆気体である SO₂ や NO_x の濃度は高かった。また Ox は濃度の上昇時にイベントが発生しているのが見られた。以上から、太郎坊のイベントは下方からの輸送と関連があることが考えられる。

そこで谷風と前駆気体との関連性を見ると、イベント 90 回中 82 回谷風が吹いていた (図 8 にイベント発生前に谷風が吹いている一例を示す)。谷風が吹いているイベントにおいて前駆気体の変動 (SO₂, NO_x の増減) と Ox の上昇が見られた。よって、太郎坊におけるイベントと谷風による前駆気体の輸送との関連が示された。

一方、谷風が吹いているにもかかわらずイベントが観測されない時もあり、その時は雨が降っていたことが原因の一つとして挙げられる (39.5 %)。

気象条件との関係を見るとイベントは雨が降っていない日 (90 回中 68 回) に多かった。降雨中は大気中の前駆気体が減るためイベントが起こりにくくなることが考えられた。

図 9 に雨が降っている日にイベントがあった一例を示す。雨が降っていると、CS の値が下がるのが確認できる。これは、降雨によって既存粒子が除去され新粒子が生成しやすい大気状態だったことが考えられる。よって、イベント直前に雨が降るとイベントが発生しやすいことが示唆された (37 回中 24 回)。

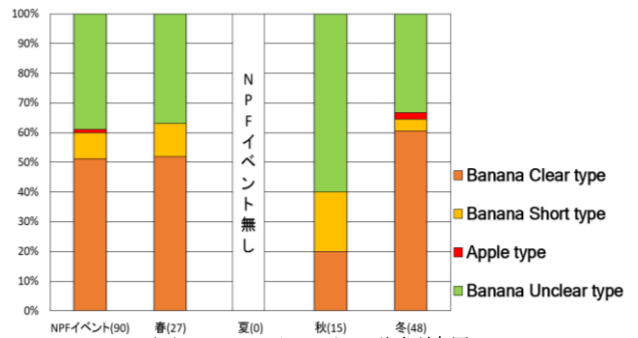


図 7 NPF イベントの分類結果

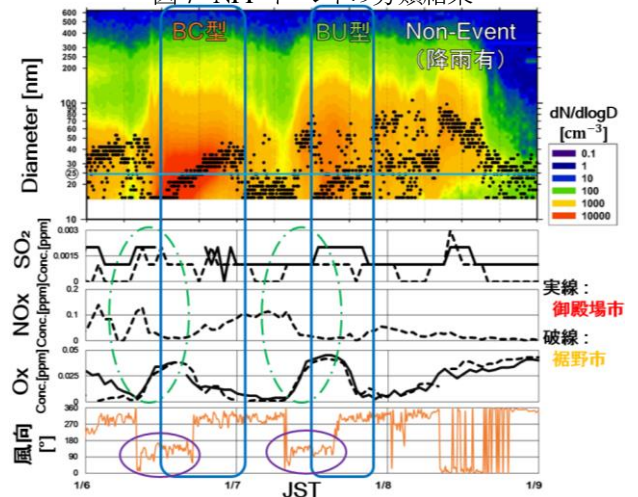


図 8 粒径分布と大気成分及び風向 (2017/1/6-8)

長方形で囲まれた部分をイベント発生時間とする。大気成分の高濃度・谷風を各々破線・実線の丸で示す。

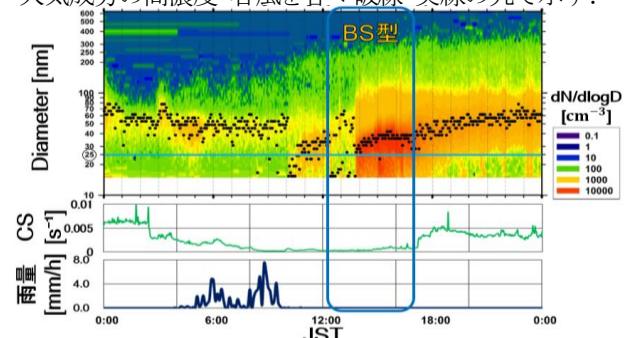


図 9 粒径分布と CS 及び雨量 (2017/9/22-23)

4. まとめ

富士山麓の太郎坊で観測されたイベントは 141 日中 90 回 (60.8 %) あり、春は BC 型、秋は BU 型、冬は BC 型が多く発生していた。イベントは前駆気体や Ox が谷風によって輸送されることにより発生していることが示唆された。また、イベント直前に雨が降ると、イベントが発生しやすくなることも示唆された。

参考文献

- 1) 小西理愛, 2015-2016 年の富士山における新粒子生成に関する考察, 卒業論文, p9,17, 2016
- 2) 佐藤丈徳, 東京スカイツリーで観測された新粒子生成, 卒業論文, p8-9, 2016

富士山頂における新粒子生成の経年変化

五十嵐博己¹, 桃井裕広¹, 佐藤丈徳¹, 森樹大¹, 三浦和彦¹, 岩本洋子², 和田龍一³, 加藤俊吾⁴, 大河内博⁵
 1.東京理科大学, 2.広島大学, 3.帝京科学大学, 4.首都大学東京, 5.早稲田大学

1. はじめに

大気中において、前駆ガスが化学反応することにより核生成を起し、それに引き続き凝結成長することで微小粒子(粒径が数 nm~数十 nm) が生成する過程を新粒子生成(New Particle Formation; NPF) という。NPF で生成された粒子は、太陽光を直接散乱・吸収し直接効果を及ぼす。さらに、生成された粒子の一部が成長・変質し雲凝結核としての能力を持つことで、雲の放射特性にも影響を与える。以上のことから、NPF はエアロゾルによる気候影響を評価する上で重要な意味を持つ。しかし、新粒子生成やその後の成長のメカニズムは複雑で十分に理解されていないのが現状である。

そこで、本研究では富士山頂において自由対流圏や大気境界層上部を定点観測出来る^り他、アジア大陸などからの越境大気汚染を観測することが出来るという利点を活かし、2006 年から 2017 年にわたる長期的な観測を行い、新粒子生成の経年変化や日変化について考察した。

2. 方法

2006 年から 2017 年の夏季(7~8 月)に、富士山特別地域気象観測所(35.360° N, 138.727° E, 3776 m a.s.l.) で大気観測を行った。本要旨では、走査型移動度粒径測定器(SMPS)の同機種 TSI 3034 を用いた 2011 年から 2017 年の観測結果に着目する。解析には、拡散ドライヤーにより相対湿度 30% 以下に乾燥させた粒径 10~487 nm のエアロゾル粒子の個数粒径分布を 3 分毎に連続測定したものをを用いた。

本研究では、粒径 25 nm 以下の粒子数濃度が 1 時間以上増加し成長を伴う現象を NPF イベント(以下、イベント)と定義した(図 1)。

NPF が発生した時刻を推定するために、成長速度(Growth Rate, GR)を算出した。GR はイベント時の 25 nm 以下のモード径の経時変化のグラフに回帰直線を引くことで算出し、決定係数が 0.6 以上のものを有効な値として用いた。

イベント時に富士山頂に到達した気塊の由来(図 2)を調べるために、NOAA HYSPLIT 4 model (<https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>)を用いて、後方流跡線解析を行った。

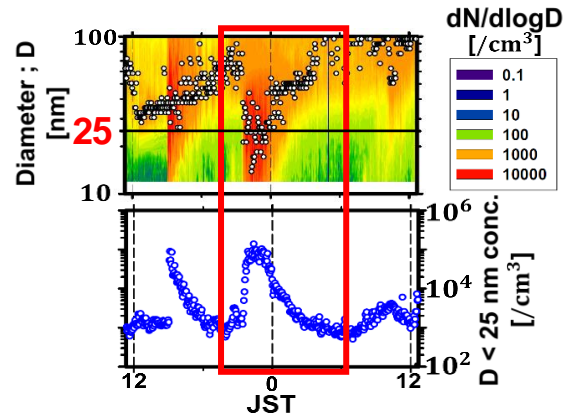


図 1 個数粒径分布と NPF イベント(四角で囲った範囲)(上図○:同時刻における最大数濃度の粒径を示すモード径)

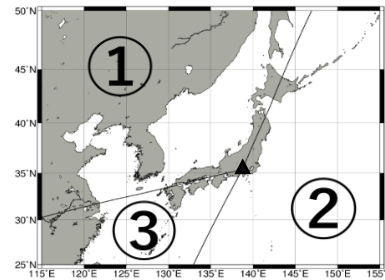


図 2 富士山の位置(▲)と後方流跡線解析の基準線(①大陸経由, ②太平洋経由, ③東シナ海経由, ④その他)

3. 結果と考察

表 1 に 2011 年から 2017 年までの観測日数に対する全イベント数を示す。また、富士山頂における日の出・日の入時刻より日中イベント(5~18 時)と夜間イベント(19~翌 4 時)に分け、それらの回数・割合も同時に示す。この結果より、2014 年を除いた 2011 年から 2015 年では夜間イベントが約 6 割以上みられ、2016 年と 2017 年では日中イベントが 8 割以上あることが分かった。次に、年毎に違いが現れる日中・夜間イベントに着目し考察する。

表 1. 2011~2017 年におけるイベント観測頻度

日中:5~18 時、夜間:19~翌 4 時
 赤字は各観測年における高い割合のイベントを示す

Year	Sample days	Total events		Daytime events		Nighttime events	
		Times	Fraction [%]	Times	Fraction [%]	Times	Fraction [%]
2011	35	30	33.3	10	33.3	20	66.7
2012	27	17	23.5	4	23.5	13	76.5
2013	32	32	40.6	13	40.6	19	59.4
2014	23	17	58.8	10	58.8	7	41.2
2015	31	26	30.8	8	30.8	18	69.2
2016	35	21	81.0	17	81.0	4	19.0
2017	34	33	90.9	30	90.9	3	9.1
Total	217	176	52.3	92	52.3	84	47.7

日中と夜間のイベントの特徴を見るために、イベント観測開始時刻の頻度を由来別で分けた結果を図3に示す。図3から、日中イベントは8時、夜間イベントは20～21時にピークを持つことがわかった。また、日中・夜間イベントのエアマス由来別の結果を見ると、日中・夜間共に大陸を経由した気塊でイベントが多く発生していることが分かった。

日中のイベントは主に光化学反応によりNPFが発生し、夜間のイベントは光化学反応以外のプロセスでNPFが起こると考えられる。そこで、日中に生成された粒子が輸送されることで夜間にイベントが観測された可能性を考慮し、成長速度GRを算出し核生成された時刻と場所を推定した。GRを算出した結果176回のイベント中30回のイベントで有効な値が得られた。GRは1.7～9.9 nm/hとなり、夜間 (3.9 ± 1.2 nm/h) よりも日中 (5.9 ± 2.3 nm/h) の方が約1.5倍大きいことがわかった。この30回のイベントについて、核生成が起こったとされる粒径が1 nmの時刻(NPFが発生した時刻)を推定した(図4)。これより、夜間に発生したNPFの割合は減少したものの日中・夜間ともにNPFの発生が示唆され、光化学反応とは別に日射が影響しない暗反応による新粒子生成も起きていることが示唆された。また、日中と夜間に発生したNPF毎に、富士山頂イベント観測開始時刻から後方流跡線を用いて新粒子が生成されたと推定される地点まで遡った結果を図5に示す。この結果より、GRが算出できるイベントでは、日本の陸地上空でNPFが発生していることが示唆された。

4. まとめ

富士山頂における全イベントは、2011年から2017年の全観測期間217日中176回観測され、日中イベントは52.3% (92回)、夜間イベントは47.7% (84回) 観測された。日中は8時、夜間は20～21時にイベント観測数のピークを持つことがわかり、日中・夜間共に大陸を経由した気塊でイベントが発生しやすいことが示唆された。また、GRは全176回のイベント中30回で算出でき、1.7～9.9 nm/hとなった。また、夜間より日中のGRの値が約1.5倍大きいことがわかった。次にGRを用いてNPFの発生時刻を推定したところ、日中(80%)と夜間(20%)の両方でNPFが発生していることが示唆され、光化学反応と暗反応の両方でNPFが発生している可能性があることが示唆された。また、発生時刻の推定結果から後方流跡線を用いて遡ったところ、GRが算出できる特定のイベントは、日本の陸地上空で発生している可能性が示唆された。

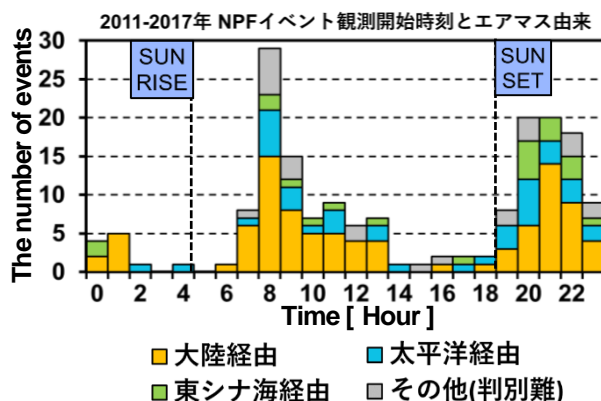


図3 2011～2017年イベント観測開始時刻の由来別頻度

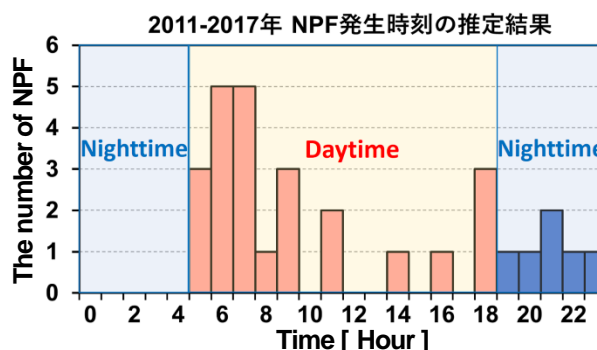


図4 2011～2017年NPF発生時刻の推定結果

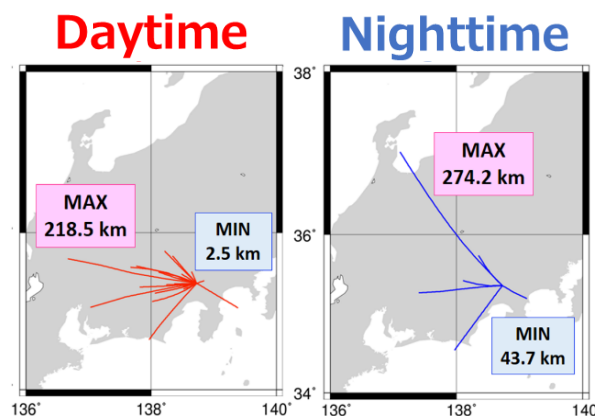


図5 イベント時の富士山頂から粒径が1 nmと推定された地点までの後方流跡線

5. 謝辞

本観測はNPO法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われました。本研究の一部は、科研費基盤研究C(24340017)の助成により行われました。

参考文献

- 1) 五十嵐康人 (2009). 富士山におけるエアロゾル観測とその課題. *Earozoru Kenkyu*, **24**, 90-96.

2015~2017 年夏季の富士山頂における雲凝結核の特性

佐藤光之介¹, 五十嵐博己¹, 小菅愛加里¹, 森樹大¹, 三浦和彦¹, 岩本洋子², 大河内博³, 植松光夫⁴

1. 東京理科大学, 2. 広島大学, 3. 早稲田大学, 4. 東京大学

1. はじめに

大気エアロゾルは、それ自身が太陽光を直接吸収・散乱する直接効果と、雲形成時に雲凝結核(CCN)として働き、雲の光学特性や寿命を変化させる間接効果(雲調整効果)を持つ。あるエアロゾル粒子がCCNになり得るかどうかは、周囲の過飽和度と、粒子自身の乾燥粒径、化学組成(吸湿性)により決定される。一般には、周囲の過飽和度が高い、粒子の乾燥粒径が大きい、吸湿性が大きいほど、CCN になりやすい。

本研究では、夏季に富士山頂(富士山特別地域気象観測所)でCCN 観測を行った。富士山は日本一標高の高い独立峰であり、その山頂は自由対流圏内に位置することが多いため、ローカルな汚染の影響を受けていないエアロゾルの観測が期待できる。本研究では特にエアロゾルの長距離輸送に着目し、後方流跡線解析を用いて、エアマスの由来とCCN の各パラメータとの関係について考察した。さらに、直接観測することが困難な実大気中のピーク過飽和度を推定した。

CCN 数濃度については年度による差異はほとんど見られなかったが、CN 数濃度については 2017 年が他の年度に比べて 2 割ほど低かったことが分かった。そのため、CCN 活性比は 2017 年が最も高かった。2017 年の観測期間全体の CCN 数濃度の平均値は、過飽和度が 0.31% (補正後)の時 $157.2 \pm 120.7 \text{ cm}^{-3}$ となった。また、同期間の CCN 活性比の平均値は、同過飽和度の時 $37.2 \pm 23.5\%$ であった。長谷川¹⁾が 2011 年夏季に富士山頂で測定した CCN 数濃度及び CCN 活性比の平均値は、過飽和度が 0.27% (補正後)の時にそれぞれ $180 \pm 136 \text{ cm}^{-3}$, $36 \pm 22\%$ であったため、今回の測定結果と比較的近い値であった。

また、富士山頂における κ の値は、Jungfraujoch など富士山と似た条件下にある他の山岳域や、都市である東京スカイツリー、神楽坂に比べて約 2 倍から 3 倍ほど大きく、絶対値としては硝酸アンモニウム(0.41)や硫酸アンモニウム(0.51)²⁾に相当する値であることが分かった。一方、 κ には日変動のようなものも見られ、早朝と夕方に大きくなる傾向が確認された。

2. 研究方法

2015 年 7 月 20 日から 8 月 20 日まで、2016 年 7 月 14 日から 8 月 21 日まで、及び 2017 年 7 月 15 日から 8 月 23 日まで、富士山特別地域気象観測所 1 号庁舎 2 階で観測を行った。拡散ドライヤを通して外気を乾燥させ、走査型移動度粒径測定器 (SMPS) 及び光散乱式粒子計数器 (OPC) で凝結核 (CN) 数、雲凝結核計数器 (CCNC) で CCN 数をそれぞれ測定した。測定システムを図 1 に示す。

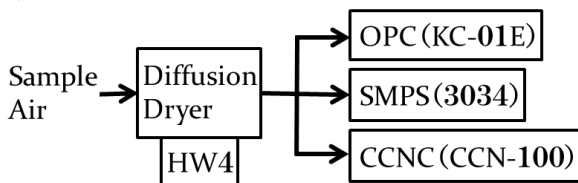


図 1 測定システム

3. 結果と考察

図 2 に、CCN 数濃度、CN 数濃度、及び CCN/CN 比 (CCN 活性比)を年度毎に比較した結果と、様々な観測サイトにおける吸湿性パラメータ (κ) の値を比較した結果を示す。

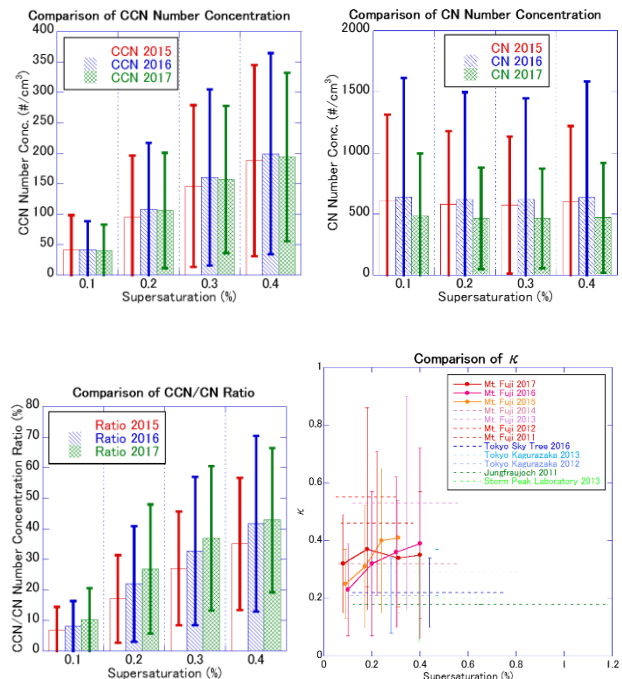


図 2 富士山頂で測定した CCN 数濃度、CN 数濃度、CCN 活性比の年度比較と吸湿性パラメータ

次に、観測期間中の後方流跡線を3時間毎に取得し、エアマスの由来を大陸、海洋、海陸、日本、オホーツクの5種類に大別した。由来別に各要素を比較したグラフを図3に示す。

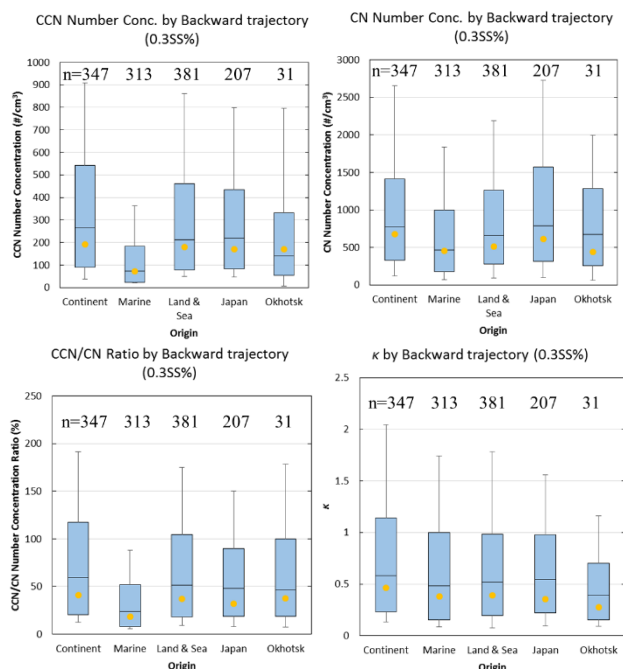


図3 富士山頂で測定したCCN数濃度、CN数濃度(上)、及びCCN活性化比、 κ (下)の流跡線由来別比較(0.355%)

過飽和度が0.3%の時を例に挙げて2015年から2017年までのデータをまとめて由来別に比較すると、CCN数濃度についてはエアマスが海洋由来の時に顕著に低く、その影響でCCN活性化比も海洋由来のエアマスで最小となった。一方、吸湿性パラメータの値はエアマスの由来によらずほぼ似たような値であることが分かった。例えば2016年の観測期間全体の吸湿性パラメータの平均値は、エアマスが大陸、海洋、海陸、日本、オホーツク由来の時にそれぞれ 0.41 ± 0.31 , 0.49 ± 0.30 , 0.32 ± 0.22 , 0.30 ± 0.22 , 0.29 ± 0.18 となった。なお、渡辺³⁾が2013年夏季に測定した大陸、海洋、海陸、日本由来の各エアマスの吸湿性パラメータの平均値は、過飽和度が0.31%の時にそれぞれ 0.47 ± 0.03 , 0.56 ± 0.06 , 0.46 ± 0.04 , 0.25 ± 0.04 であった。

さらに、2017年のデータについて、流跡線解析の結果とCCN活性化比を用いて実大気中のピーク過飽和度を推定した結果を図4に示す。

実大気中のピーク過飽和度は、海陸由来の時に高くなる傾向が見られた。全期間の平均値は約0.3%程度と推算され、Jungfraujochなど富士山と似たような条件の山

岳域において層雲が形成される際の過飽和度⁴⁾に近い値であった。以上のことから、富士山頂のCCNは他の地域より吸湿性が高く、実大気の過飽和度下においては、粒径が小さくても雲粒として活性化する可能性があると考えられる。

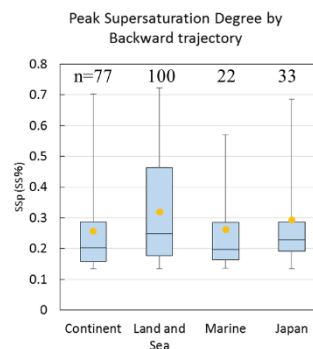


図4 流跡線由来別のピーク過飽和度の推定値

4. 結論

夏季に富士山頂において雲凝結核数濃度の測定を行い、後方流跡線解析をもとに活性比、吸湿性パラメータなどを算出することで、活性比は過飽和度によらず大陸や海陸由来のエアマスで最大、海洋由来のエアマスで最小となることが分かった。また、富士山頂における吸湿性パラメータの値は、他のサイトに比べて大きく、硝酸アンモニウムや硫酸アンモニウムに近い値であること、早朝と夕方が大きくなる傾向があることも分かった。さらに、富士山頂の実大気中のピーク過飽和度は約0.3%程度と推算され、似たような条件下の山岳域において層雲が形成される際の過飽和度に近い値であることが示唆された。

参考文献

- 1) 長谷川朋子(2013). 東京都心部の生成されたばかりの粒子と富士山山頂のエイジングを受けた粒子の雲凝結核特性. 東京理科大学 2012年度修士論文, 19.
- 2) G. Snider *et al.* (2016). Variation in global chemical composition of PM_{2.5}: emerging results from SPARTAN. *Atmos. Chem. Phys.*, **16**, 9629-9653.
- 3) 渡辺彩水(2015). 富士山頂で測定したエアロゾル雲凝結核特性と霧粒特性. 東京理科大学 2014年度修士論文, 18.
- 4) E. Hammer *et al.* (2014). Investigation of the effective peak supersaturation for liquid-phase clouds at the high-alpine site Jungfraujoch, Switzerland (3580 m a.s.l.). *Atmos. Chem. Phys.*, **14**, 1123-1139.

2017 年夏季の富士山頂におけるエアロゾルの雲粒特性

小菅愛加里, 佐藤光之介, 森樹大, 三浦和彦(東京理科大学),
嶋川仁(東京学芸大学), 大河内博(早稲田大学), 植松光夫(東京大学)

1. はじめに

大気中のエアロゾルの一部は雲凝結核となった後、水蒸気が凝結し雲粒となる。そして、雲の反射率や寿命などに影響を及ぼす。これは雲調整効果と呼ばれ、雲粒の大きさや数濃度などによってどの程度冷却するかが変わってくる。一般に雲粒が小さく、数濃度が高いと太陽光を反射しやすくなり、冷却効果が強まる。逆に雲粒が大きく、数濃度が低いと降水が起りやすいため、雲の寿命も短くなり、冷却効果が弱まる。

しかし IPCC2013 の報告によれば、エアロゾルによる冷却効果にはまだ不明確な部分が多く、様々な地域でエアロゾルと雲の相互作用に関する観測を行う必要がある。

富士山頂での地上観測から、雲水量が一定なら、雲凝結核数濃度が高いほど、雲粒が小さくなるということがわかってきた¹⁾。これは大気中の水蒸気量が一定の時、雲凝結核数濃度が高いと一粒あたりの凝結核が凝結できる水分量が少なくなることで、雲粒が小さくなるからである¹⁾。このような観測事例を増やすため、本研究においても 2017 年度のデータを用いて同様の解析を行った。

2. 解析方法

観測は 2017 年 7 月 15 日から 8 月 23 日に、富士山頂の富士山特別地域気象観測所で行った。

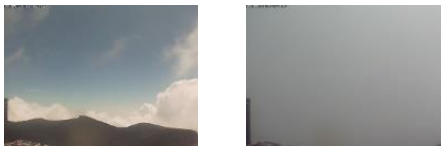


図 1 山頂の雲画像の例(左:雲なし, 右:雲あり)

観測したデータから砂粒などの雲以外のデータを取り除くため、山頂の画像データを用いて雲かどうかを判別した。晴れていれば反対側の火口の稜線が見えるが、雲が発生しているときは全く見えなくなる。このような画像が見つかった時間帯のみを雲イベントとした(図 1)。しかし、画像データで雲発生を判別できるのは昼間のみであったことから、解析では夜間のデータは用いなかった。観測には DMT 社の Fog Monitor (FM-100) と CCNC (CCN-100) を用いた。Fog Monitor は大気から捕集した雲粒にレーザーをあて、その散乱光強度を測定することで、雲粒数濃度、雲水量や雲粒有効半径を求める。CCNC は乾燥後のエアロゾル粒子を設定過飽和度 (SS) 条件下において雲粒活性させ、

Fog Monitor と同様に雲凝結核数濃度を測定する。設定した過飽和度は 0.1, 0.2, 0.3, 0.4% であり、30 分毎に順に切り替わる。それぞれの過飽和度を標準粒子を用いて補正した結果、CCNC 内の真の過飽和度は 0.08, 0.18, 0.31, 0.40% であった。いずれも測定周期は 1 秒となっており、それらを 30 分平均した値を用いて解析した。雲凝結核から雲粒への成長にかかる時間を考慮するため、Fog Monitor のデータの 60 分前の CCNC のデータを比較に用いた。これは時間差なし、30 分差、60 分差における雲凝結核数濃度と雲粒数濃度の結果から最も相関の良い時間差をとった。

3. 結果

雲イベント判別の結果、2017 年度の雲イベントデータ数は全期間中 230 個であった。

下に比較的頻繁に雲イベントが発生した 7 月 25 日から 7 月 30 日の雲粒数濃度 (Ncloud)、雲水量 (LWC)、雲粒有効半径 (Reff) を表したグラフを示す (図 2)。

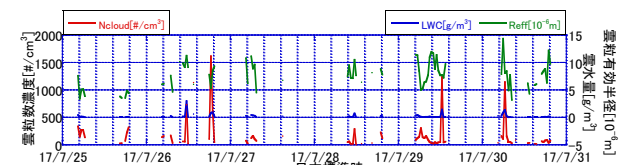


図 2 雲イベント時の雲粒数濃度、雲水量、有効半径

4. 考察

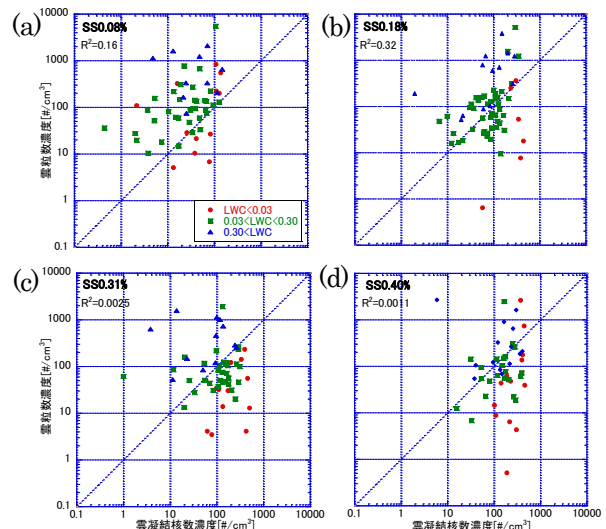


図 3 (a) SS=0.08% (b) SS=0.18% (c) SS=0.31% (d) SS=0.40% の設定過飽和度と雲粒数濃度の関係

図3に設定過飽和度毎の雲凝結核数濃度と雲粒数濃度の関係の結果を示す。Ncloud/Nccn=1に近い部分においては、CCNCで設定した過飽和度が実大気中の過飽和度と近い値であったことを表している。雲凝結核数濃度よりも雲粒数濃度が高い場合には、設定過飽和度が実大気中の過飽和度よりも低かったことが推測される。逆に雲凝結核数濃度よりも雲粒数濃度が低い場合には、設定過飽和度が実大気の過飽和度よりも高かったと考えられる。相関係数が一番高いことから、富士山頂における大気中の過飽和度は0.18%前後だと推定された。

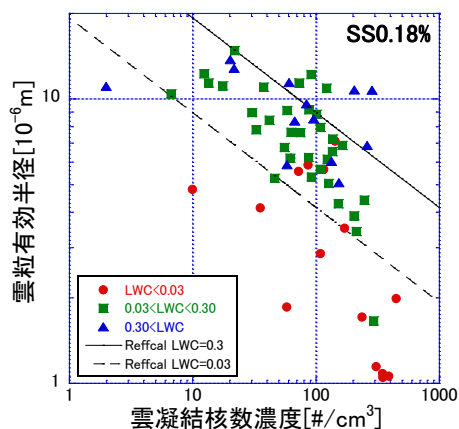


図4 雲水量別の雲凝結核数濃度と有効半径の関係

大気中の水蒸気量が一定の時、雲凝結核数濃度が高い程、雲粒有効半径が小さくなることを確認するために、過飽和度0.18%の時の雲凝結核数濃度と、雲粒有効半径の関係調べた(図4)。雲凝結核数濃度が大きいほど雲粒有効半径が小さくなることと、雲粒内の水分量が少なくなるほど雲粒有効半径が小さくなることがわかった。

次に、雲凝結核数濃度に対する雲粒有効半径の値を下の理論式を用いて計算した²⁾。

$$LWC = \rho_w N_{tot, D_p > 100} \frac{4\pi}{3} R_{eff}^3 \quad (1)$$

(LWCは雲水量、 ρ_w は水の密度、 $N_{tot, D_p > 100}$ は乾燥臨界粒径が $D_p > 100$ における雲凝結核数濃度、 R_{eff} は雲粒有効半径を表す。)

図4中に雲水量0.03mg/m³の時を点線、雲水量0.3mg/m³の時を実線で示した。この範囲内に相当する雲水量の時の実測値が含まれており、理論と実測値がおおよそ一致するということが分かった。また、この範囲内でも同じ雲凝結核数濃度に対して雲粒の大きさが5倍程ばらつくことがわかるが、これはそれぞれの空気塊が異なる過飽和度

を経験した可能性があることを示唆している。また、雲粒活性には過飽和度の他に、エアロゾルの粒径、化学組成などの因子が影響するため、各雲イベントにおけるエアロゾル粒子の微物理量が異なっていたことも考えられる。

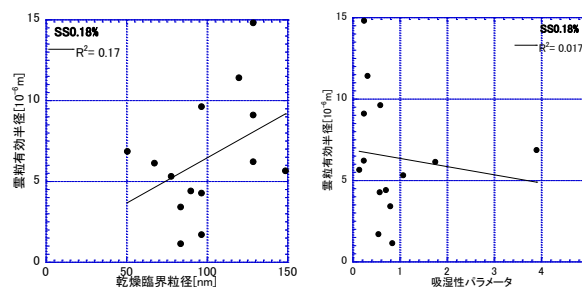


図5 乾燥臨界粒径と雲粒有効半径の関係(左)、吸湿性パラメータと雲粒有効半径の関係(右)

雲粒活性には粒径の影響が強いことが報告されており¹⁾、雲粒有効半径においても粒径の影響があるかどうかを明らかにするために、乾燥臨界粒径と雲粒有効半径の関係を、実大気中で0.18%に近い過飽和度を経験したと考えられる雲イベント時のデータ(0.68 < Ncloud/Nccn < 1.47)を用いて示した(図5)。図5より、乾燥臨界粒径と雲粒有効半径には関係がみられず、雲凝結核の粒径が雲粒有効半径の支配因子の一つである可能性が低いことがわかった。ただし、吸湿性パラメータと雲粒有効半径の関係と比較すると、吸湿性パラメータよりも乾燥臨界粒径のほうが高い可能性があることがわかった。

5. まとめ

2017年夏季に富士山頂で雲粒の観測を行った結果、富士山頂における実大気中の過飽和度は0.18%前後であること、雲凝結核数濃度が大きいほど、雲粒有効半径の小さい雲が形成されていることがわかった。また、雲水量が少ないほど、雲粒有効半径が小さくなることや同じ雲凝結核数濃度でも、それぞれの空気塊が経験する過飽和度によって雲粒の大きさにばらつきがでること、雲粒有効半径の支配要因の一つが乾燥臨界粒径である可能性が低いことがわかった。

参考文献

- 1) 渡辺彩水, 東京理科大学, 2014年度修士論文, 1-37.
- 2) S. Henning *et al.*, Size-dependent aerosol activation at the high-alpine site Jungfraujoch (3580 m asl), *Tellus B*, 54, 82-95, 2002.

富士山頂・太郎坊で捕集したエアロゾル粒子の個別分析

児玉真一¹, 吉末百花¹, 足立光司², 五十嵐博己¹, 大塚拓弥¹, 森樹大¹, 三浦和彦¹

1. 東京理科大学, 2. 気象研究所

1. はじめに

エアロゾル粒子は互いに凝集したり、ガスが凝結することによって、化学組成や形状が変化する。それらの変化に応じて湿度特性や光学特性が変化してしまうため、粒子個々の化学組成や形状、混合状態について調べる必要がある。

本研究では、夏季富士山頂(海拔 3776 m)と富士山麓の太郎坊(海拔 1300 m)で捕集したエアロゾル粒子に対し、透過型電子顕微鏡を用いて粒子個々の組成や形状を調べ、比較した。また、特徴的な事例が見られたサンプルについては追加の分析や分類を行った。

2. 手法

エアロゾル粒子は低圧カスケードインパクター (PIXE Int. Corp., Model I-1L) を用いて、炭素補強されたコロジオン膜上に捕集した。50%カットオフ径が 4.0 μm の S5 ステージを粗大粒子の混入を防ぐために使用し、50%カットオフ径が 0.25 μm の S1 ステージ(微小粒子)と 1.0 μm の S3 ステージ(粗大粒子)に粒子を捕集した。カットオフ径を合わせるため、富士山頂では流量を 0.55 L/min に設定し、60~120 分間捕集した。また、太郎坊では流量を 0.85 L/min に設定し、30~60 分間捕集した。

本研究では、富士山頂において 2017/7/16, 8/4 の 2 日間に捕集された 3 サンプルと太郎坊において 2017/8/6, 8/7 の 2 日間に捕集された 4 サンプルの合計 7 サンプルを対象に個別分析を行った。

透過型電子顕微鏡 (TEM; JEM-1400, JEOL) を用いて粒子の形態を観察し、エネルギー分散型 X 線分析器 (EDS; X-MAX80, Oxford Instruments) を用いて粒子に含まれる元素を特定した。定量した元素は 16 元素で、得られた質量濃度割合を基にエアロゾル粒子を 11 種類に分類した。

また、NOAA Hysplit Model (<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>) を用いて後方流跡線を計算し、気塊の由来を調べた。

3. 結果と考察

3.1 エアロゾル粒子分類結果

山頂で捕集した微小粒子の分類結果を図 1 に示す。3 サンプルとも硫酸塩が約 50%以上を占めていた。海塩の割合は少ないものの鉱物が約 10%を占めており、硫酸塩のうち約 50%は鉱物と混合していた。また、8/4 20 時のサンプルでは C-rich 粒子(煤粒子・有機物)が約 30%を占めており、他 2 つのサンプルと比べて特徴的であった。後方流跡線解析より 7/16 は東シナ海から本州を通過して気塊が到達しており、8/4 は太平洋由来の気塊の到達が示唆された。

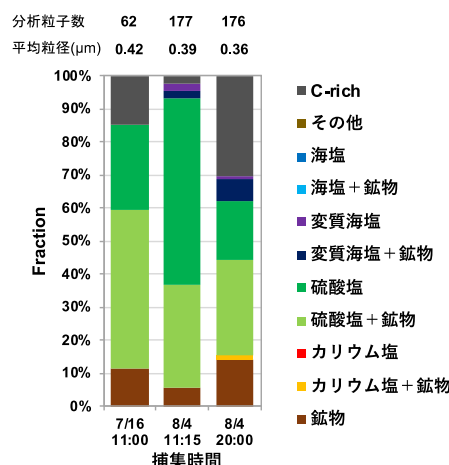


図 1 山頂分類結果 S1(微小粒子)

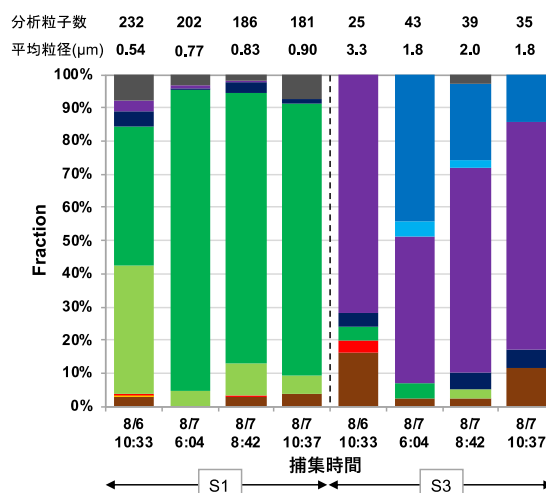


図 2 太郎坊分類結果 S1(微小粒子), S3(粗大粒子)

太郎坊で捕集した微小粒子と粗大粒子の分類結果を図 2 に示す。微小粒子は山頂と同様に硫酸塩が多く、約 80% 以上を占めていた。特に 8/6 のサンプルは、硫酸塩のうち約 50% が鉍物と混合していた。一方、粗大粒子は海塩類の割合が約 70% 以上を占めていた。微小粒子の平均粒径が山頂で捕集された微小粒子に近い値であることから、海由来の気塊が山頂を経由してから到達した可能性が示唆された。また、微小粒子と粗大粒子を比べると、粗大粒子の方が鉍物の割合が多いことが分かった。

3.2 特徴的な事例の考察

8/4 に山頂で捕集した微小粒子の TEM 写真を図 3 に示す。昼前に捕集された粒子は輪郭がはっきりとした固形状、夜に捕集された粒子は輪郭がぼやけた液滴状であり、形状が全く異なっていた。また、夜に捕集されたサンプルは 176 個の粒子のうち C-rich 粒子が 53 個存在しており、TEM 写真から形状を判断し分類した。その結果、煤粒子が 3 個と硫酸塩-有機物、もしくは鉍物-有機物の混合粒子が 50 個確認できた。さらに、EDS による組成データからも C-rich 粒子と分類された 53 個の粒子では硫酸塩由来の硫黄と鉍物由来のケイ素の存在割合が他の元素よりも多いことが分かった。形状と組成データの両方から、混合粒子中の硫酸塩と鉍物の存在が確認できた。

8/6 に太郎坊で捕集した微小粒子は電子線を当てても揮発しない円形状の粒子が多く観察された。一つの粒子の内側と外側に分けて組成を分析したところ、内側は硫黄の割合が多いことから硫酸塩の可能性が示唆された。一方、外側は炭素の質量濃度割合が 76% と圧倒的に多い結果となった。Li et al. (2014)¹⁾ は有機物中の炭素の質量濃度割合は 83±19% と述べている。以上を踏まえると、硫酸塩のまわりに不揮発性の有機物が付着した粒子である可能性が示唆された。

8/7 8 時台に太郎坊で捕集した微小粒子は様々な形状の粒子が確認できたため、分析した粒子 186 個について Ueda et al. (2011)²⁾ を参考に形状を分類した。その結果を図 4 に示す。形状判別ができなかった Others の 6 個を含め、5 種類に分類したところ、粒径 50 nm 以下の粒子が凝集したような形状である Soot aggregation が 14 個、球状・繭状の粒子で、コントラストがはっきりしている Single circular or coccoid が 105 個、侵食地形型で、コントラストがはっきりしていない

Eroded particle が 49 個、球状・繭状の粒子が凝集したような形状である Cluster が 12 個となった。

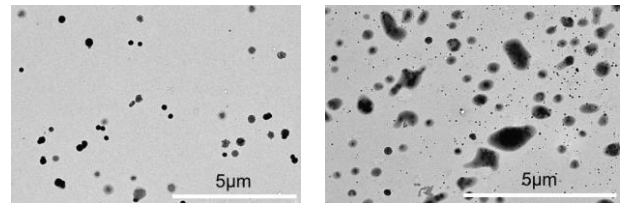


図 3 8/4 に山頂で捕集した微小粒子の TEM 写真 (左:昼 右:夜)

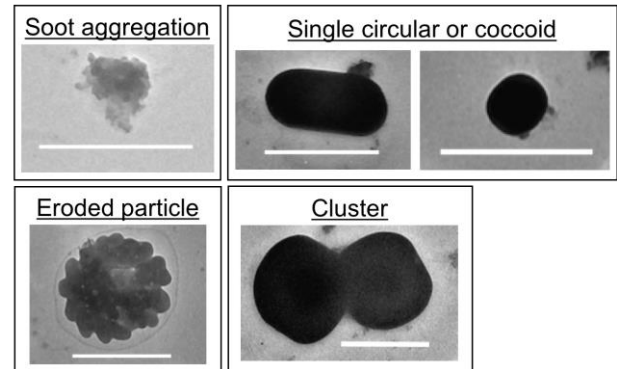


図 4 形状分類画像 (白線は 1 μm を表す)

4. まとめ

鉍物は山頂で、海塩は海からの輸送の影響がより大きいと考えられる太郎坊でよく見られた。両地点とも硫酸塩の割合が多く、特に山頂では太郎坊に比べて、鉍物と混合した硫酸塩が多いことが分かった。また、分析したサンプルの中には特徴的なものが複数存在した。山頂 8/4 S1 夜に捕集した C-rich 粒子は硫酸塩や山頂特有の鉍物が内部混合していた。太郎坊 8/6 S1 に捕集した円形状の粒子は硫酸塩のまわりに不揮発性の有機物が付着している可能性が示唆された。そして、太郎坊 8/7 S1 8 時台では球状・繭状の粒子が 56% を占めていた。

謝辞

本観測は認定 NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。三浦研究室の皆様には富士山頂と太郎坊でサンプリングをしていただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Li et al. (2014), J. Geophys. Res. Atmos., 119, 1044–1059, doi:10.1002/2013JD021003.
- 2) Ueda et al. (2011), J. Geophys. Res., 116, D17207, doi:10.1029/2010JD015565.

富士山におけるラドン娘核種の変動と山谷風の関係

横山慎太郎¹, 永野勝裕¹, 三浦和彦¹, 櫻井達也²

1.東京理科大学, 2.明星大学

1. はじめに

Radon222(ラドン)は主に陸上から発生し, 化学的に安定で大気中での消失は半減期約 3.8 日の放射性壊変に限定され, 陸地由来の物質輸送のトレーサーとして用いられる¹⁾.

また, 富士山頂は年間を通して自由対流圏内に位置することが多く, 東アジアからの越境大気汚染の観測サイトとして重要である. しかし, その汚染の由来は越境汚染のみではなく, 国内汚染や局地汚染が存在し, これらのうちいずれが優位な影響を及ぼしているか判別することが必要である.

本研究では, 2017 年夏季の富士山頂とその麓である太郎坊でのラドン濃度の変動を解析することで, 富士山への汚染由来を 4 つに分類した. また, 2016 年 1 月の太郎坊でのラドン濃度の変動についても考察した.

2. 方法

観測場所は富士山特別地域気象観測所(35.360°N, 138.730°E: 海拔 3776m, 以下山頂, summit)と太郎坊(35.330°N, 138.800°E: 海拔 1282m)で行った. 観測期間は山頂では 2017 年 7 月 15 日~8 月 19 日, 太郎坊は 2016 年 1 月, 2017 年 7 月 13 日~8 月 28 日である.

ラドン濃度の計測は Si 半導体放射線検出器を用いて行った. 大気中のラドン娘核種をフィルターに 1 時間捕集し, その後ラドン娘核種が α 崩壊する際の α 線を 1 時間計測, そのカウント数をラドン濃度に変換した. 測定周期は 2017 年夏が山頂, 太郎坊ともに 2 時間, 2016 年 1 月に関しては 4 時間である.

2017 年夏のラドン濃度については, ラドン輸送のモデルシミュレーションを比較対象として行っている. これは, ラドンの発生源を陸地に限定し, 一様に発生していると仮定, 気象庁の 0.5° メッシュの客観解析データからラドンの輸送をシミュレーションし, ラドンの崩壊による減衰を見込んでその発生源別のラドン濃度を各地点で算出できるものである(図 1). ここで, SimSTotal は全陸域からのラドン濃度, SimSAsia はアジア大陸由来, SimSJapan は日本由来に限定した際のラドン濃度を示している.

また, 2016 年 1 月については National Center for Atmospheric Research 提供の Weather Research & Forecasting(WRF)による風向風速シミュレーションを実施した. WRF は気温, 気圧, 風向風速などの気象パラメータを数値解析するモデルで, 本研究では 5km, 0.5° メッシュの客観解析データを用い, それらをネスティングして 1km メッシュの富士山周りの風向風速データを得た.

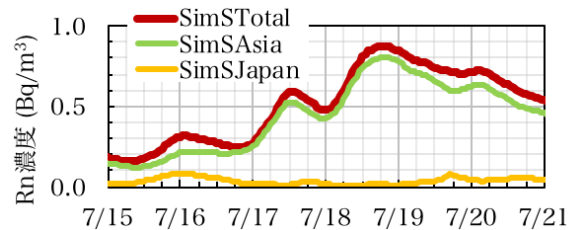


図 1 2017 年夏季の富士山頂での由来別ラドン濃度数値計算結果例

3. 結果・考察

3.1 2017 年夏季の富士山における汚染由来 4 分類

2017 年夏季の富士山頂と太郎坊におけるラドン濃度の代表的な観測結果を図 2 に示す. この図のラドン濃度の変動から汚染由来を Type A~D の 4 つに分類した. Type A は日中に太郎坊でのラドン濃度が上昇しその後山頂でもラドン濃度が上昇する変動である. また, Type B は山頂においてラドン濃度が 0.2Bq/m³ よりも高い値を示す変動, Type C は山頂のラドン濃度が太郎坊のものよりも高くなる変動, Type D は夜間に山頂のラドン濃度のみが上昇する変動である.

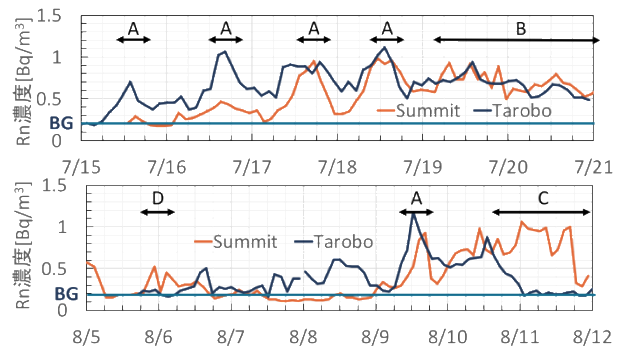


図 2 2017 年夏季の富士山頂と太郎坊におけるラドン濃度の変動と汚染由来 4 分類

Type A の変動は日中谷風によって山頂に麓の気塊が運ばれたと考えられる. Type A として典型的な 8/9 の富士山南東麓の太郎坊での風向風速から, 日中は風向が南東方向であり, 太郎坊から山頂に向かって大気が輸送されていることがわかる(図 3).

また, Type A の日の夜の風向は図 3 のようにいずれも北西の山風方向であり, このとき山頂のラドン濃度は極小値を取っている. 観測期間の中で同様の変動をしているものうち山頂のラドン濃度が最も低いもの(0.2 Bq/m³)が清浄大気(BG)のラドン濃度と判断でき, この値よりも大きいラドン濃度が山頂で計測された場合は, 何らかの汚染の影響が考えられる.

Type B では山頂のラドン濃度が BG より高く(図 2), かつシミュレーションの結果からラドンは大陸から多く運ばれていることがわかる(図 4). このことから越境汚染の影響が考えられ, また後方流跡線からもこの期間は大陸からの大気輸送が確認できる.

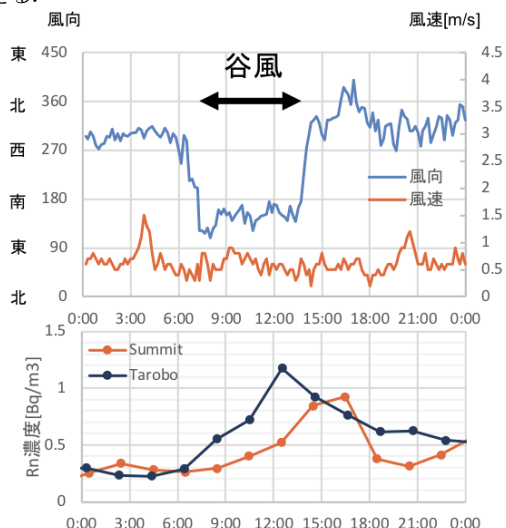


図 3 谷風による太郎坊から山頂への大気輸送が考えられる日(8/9)のラドン濃度変動と太郎坊の風向風速

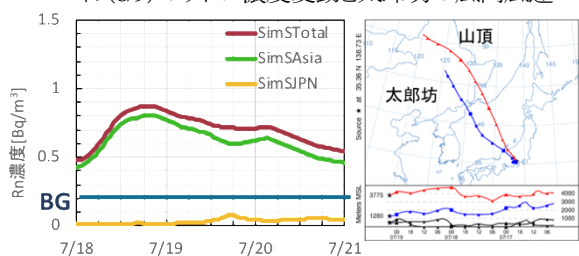


図 4 実測とシミュレーション結果の比較, この期間の富士山で典型的な後方流跡線(7/19 12 時)

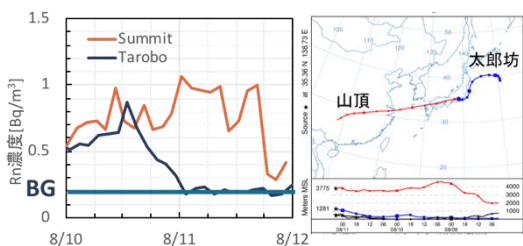


図 5 山頂と太郎坊のラドン濃度逆転, この期間の富士山で典型的な後方流跡線(8/11 12 時)

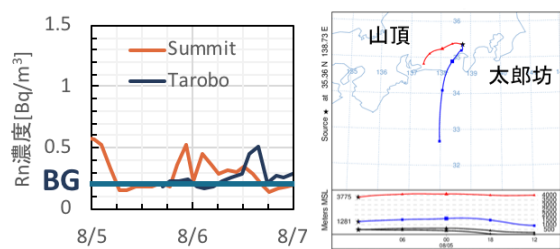


図 6 中部山岳の影響があったと考えられる日のラドン濃度変動と後方流跡線(8/5 9 時)

Type C では, 本来清浄大気が占めることが多いはずである山頂の方が汚染の影響を受けやすい太郎坊よりもラドン濃度が高くなっている. このとき, 後方流跡線をそれぞれの高度で確認すると, 太郎坊は海洋由来, 山頂は大陸由来であることがわかった(図 5).

Type D では, 日中に中部山岳で巻き上がった気塊が山頂に到達したと考えられる⁽²⁾. 後方流跡線からも日中に中部山岳域を通過した気塊が到達していることがわかる(図 6)

3.2 2016 年 1 月の富士山における疑似的な谷風

2016 年 1 月の観測結果から 2017 年夏季の Type A と同様に太郎坊のラドン濃度と風向が変動し, 太郎坊から山頂に大気が輸送されたと考えられた日について, WRF による風向風速シミュレーションを実施した(図 7). 太郎坊で谷風と同様に山頂方向に吹いていた風は駿河湾からの南風や富士山を回り込んできた北風の収束により起きており, 熱的な駆動によって発生する谷風とは異なり山頂には到達せず, 山頂への局地汚染の可能性は低いことがわかった.

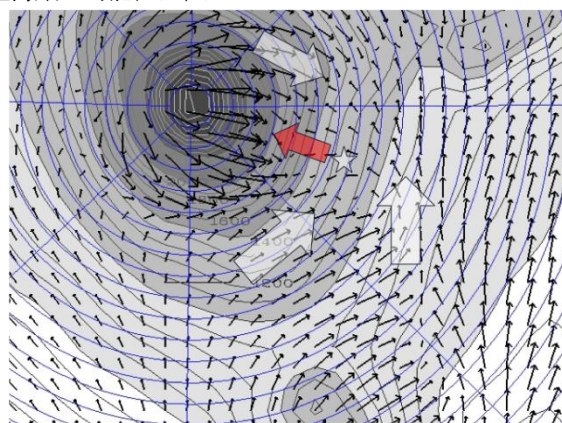


図 7 2016 年 1 月富士山での WRF による風向風速シミュレーション結果. ☆印は太郎坊

4. まとめ

2017 年夏季の富士山におけるラドン濃度の変動から, 汚染の由来を 4 つに分類できた. また, WRF の計算結果から, 2016 年 1 月の太郎坊での谷風方向の大気の輸送は山頂へは到達していないことがわかった.

謝辞

本研究は NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行なわれた.

参考文献

- 1) Wilkening, M. H. and Clements, W. E. (1975). Radon 222 from the ocean surface, *J. Geophys. Res.*, **80**, 3828-3830.
- 2) 府川明彦 東京理科大学大学院修士論文 2014.

2014 年から 2016 年に観測された富士山麓における気柱全体のエアロゾル光学特性

桃井裕広¹, 三浦和彦¹, 青木一真²

1. 東京理科大学, 2. 富山大学

1. はじめに

エアロゾルには太陽光を直接散乱・吸収する直接効果と雲凝結核として放射特性を変化させる間接効果があり、地球の放射バランスに影響を与えている。しかしこれらの影響力は不確実性が大きく、化学組成や生成過程が多様であること、時間および空間依存性が大きいことなどに起因している (IPCC 2013, e.g. 直接効果の放射強制力: $-0.23 \pm 0.5 \text{ Wm}^{-2}$)¹⁾。空間依存性を調べるためには多地点での観測が必要であり、富士山麓でもスカイラジオメータを用いた観測が行われた^{2,5)}。富士山は山頂が自由対流圏に位置しており、山麓と山頂(夏季のみ)の両地点でその場観測が行われている。

2. 方法

静岡県御殿場市に位置する富士山麓太郎坊 (35.33N, 138.80E, 1290 m a.s.l.) においてスカイラジオメータ (POM-02, Prede Co., Ltd.) による放射観測を 2014 年 7 月から 2016 年 11 月に行った。太郎坊は御殿場の市街地から離れており局地的な汚染を受けにくい。また、太郎坊ではスカイラジオメータによる放射観測に加えて、光散乱式粒子計数器 (OPC, KC01E, RION Co., Ltd.) によりその場のエアロゾル粒径分布を測定した。エアロゾルの吸湿成長による粒径分布のシフトを避けるために拡散ドライヤーを用いて相対湿度を 35% 以下に保持した。また、夏季に限り富士山頂 (35.21N, 138.43E, 3776 m a.s.l.) で OPC (2014 年: KR12A, 2015, 2016 年: KC01E, RION Co., Ltd) によるその場観測を実施した。

スカイラジオメータにより、400, 500, 675, 870, 1020 nm の波長について太陽直達光 (I) および散乱光を測定している。地球に散乱体がない場合の直達光 (I_0) を決定し、エアロゾル以外の空気分子による Rayleigh 散乱, オゾンなどの吸収体による光吸収 (τ_{Rayleigh} , τ_{Ozone}) を差し引くことで、直達光からエアロゾルの光学的厚さ (Aerosol Optical Thickness, AOT, τ)

$$\tau = \ln(I/I_0)/m - \tau_{\text{Rayleigh}} - \tau_{\text{Ozone}} \quad (1)$$

を求めた。また、光学的厚さの波長依存性

$$\ln(\tau) = -\alpha \times \ln(\lambda) + \beta \quad (2)$$

からオングストローム指数 (Angstrom Exponent, AE, α) を算出した。オングストローム指数は 1 を指標にして値が大きいほど微小粒子が卓越し、小さいほど粗大粒子が卓越する事を表している。

スカイラジオメータによる直達光観測では太陽面が雲に覆われているときは正しく直接効果を評価できないため、雲の影響があると考えられるデータを除去して解析時間を決

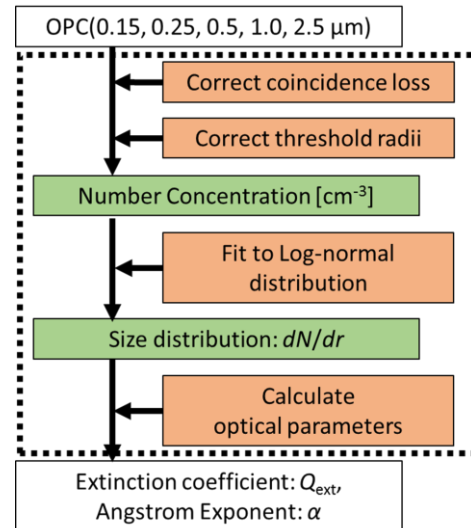


図 1 : 解析フローチャート

定した。

また、散乱光の天空輝度分布を用いて SKYRAD.pack version 4.2⁶⁾ による逆解析を行うことで、気柱全体のエアロゾルの粒径分布および複素屈折率、単一散乱アルベドを推定した。

その場観測との比較は OPC で得られた粒径分布から二山の対数正規分布

$$\frac{dN}{dr} = \sum_i^n \frac{a_i}{\sqrt{2\pi}\sigma_i r} \exp \left[- \left(\frac{\ln r - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 \right]$$

に当てはめ、屈折率を仮定して消散係数を計算した (図 1)。

3. 結果・考察

3. 1. 富士山麓 (太郎坊) の季節変動

富士山麓太郎坊における 500 nm における光学的厚さの年平均と標準偏差は 0.13 ± 0.05 であり、これは東京神楽坂 (35.70N, 139.74E) における 0.22 ± 0.12 の半分程度であった。また、オングストローム指数は富士山麓太郎坊で 1.05 ± 0.16 、東京神楽坂で 1.18 ± 0.28 あった。富士山麓太郎坊における光学的厚さの月平均値は春に高く、冬に低い季節変動を示した。これは、春に黄砂が輸送され、秋から冬にかけて植物が不活性になることが原因であると推測される。また、都市 (東京神楽坂) と経年変化を比較する (図 2) と、光学的厚さは山岳に位置する太郎坊のほうが神楽坂に比べて小さい値を示し、両地点の経年変化に関係が見られた。また、オングストローム指数は両地点で明確な傾向は見られ

なかった。

このことから、富士山は大気境界層上部か自由対流圏などのバックグラウンド大気に位置しており、太郎坊はそれらの大気を観測するのに適した場所であることが示唆された。

3. 2. 富士山の鉛直分布観測

富士山山頂と富士山麓太郎坊において OPC で測定した粒径分布より屈折率を $m^* = 1.500 - 0.005i$, $1.600 - 0.010i$ の二種類仮定して消散係数を計算した(図3)。2016年8月5日の事例では太郎坊の消散係数は午後に山頂と同程度まで減少した。また、2地点の OPC とスカイラジオメータによる消散係数やオングストローム指数の挙動を比較すると、午後は山頂と太郎坊では同一の気塊であったことが考えられる。さらに、太郎坊の OPC とスカイラジオメータを用いてエアロゾル層のスケールハイトを計算すると、午前は約1~2 kmで、午後は約10~20 kmと推定された。この結果は山頂の OPC から得られる消散係数の経時変化とも一致しており、太郎坊と山頂、気柱全体の光学特性、微物理特性を観測することによって鉛直分布が得られることが示唆された。

4. まとめ

富士山は大気境界層上部か自由対流圏などのバックグラウンド大気に位置しており、そのエアロゾルの光学的厚さは都市(東京)よりも清浄で約半分程度であった。

また、富士山での山頂と山麓の同時観測からエアロゾルの鉛直プロファイルとエアロゾル層高度を得ることができ、エアロゾル層高度は山頂と山麓の間に位置することも、山頂より高高度に位置していることもあった。

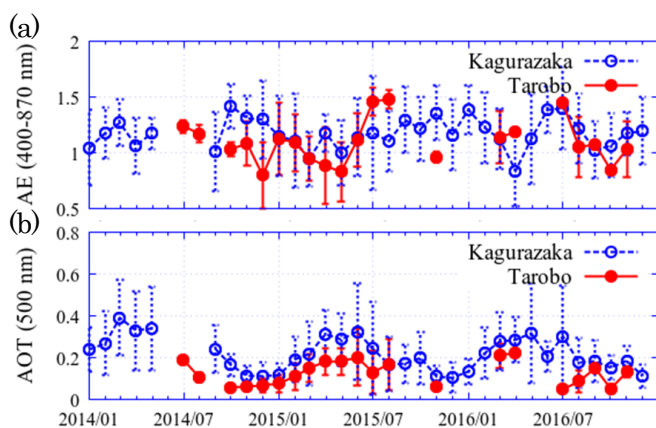


図2：経年変化(2014年 - 2016年)
(a)AE (400 - 870 nm) (b) AOT at 500 nm

謝辞

本研究の一部は認定 NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行なわれた。また、本研究の一部は、東京理科大学特定研究助成共同研究助成(2014-2015 年度、代表 三浦和彦)の助成を受けて行われた。この場を借りて深く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013). Climate Change 2013 The Physical Scientific Basis, <http://www.ipcc.ch/>
- 2) 中原勇希, 中崎翔太, 三浦和彦, 青木一真 (2014). 富士山周辺におけるエアロゾルの光学特性, 第7回成果報告会講演予稿集, 36-37.
- 3) 中原勇希, 三浦和彦, 青木一真 (2015). 富士山周辺および東京神楽坂におけるエアロゾル気柱積算粒径分布と地表レベルの粒径分布との比較, 第8回成果報告会講演予稿集, 35-36
- 4) 橋口翔, 三浦和彦, 青木一真 (2016). 富士山山麓および東京神楽坂におけるエアロゾル物理特性の評価. 第9回成果報告会講演予稿集, 50-51.
- 5) 桃井裕広, 三浦和彦, 青木一真 (2017). 富士山におけるエアロゾルの光学特性. 第10回成果報告会講演予稿集, 51-52.
- 6) Nakajima, T., Tonna, G., Rao, R., Kaufman, Y., and Holben, B. (1996). Use of sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions. *Appl. Opt.*, **35**, 2672-2686.

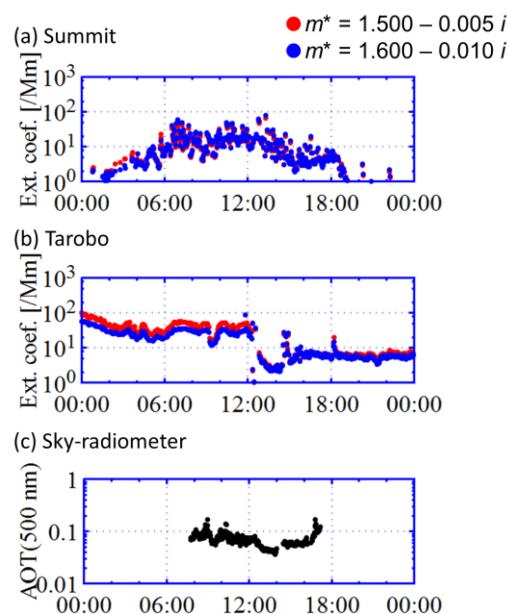


図3：2016年8月5日の事例

富士山頂における窒素酸化物の計測

和田龍一¹, 定永靖宗², 加藤俊吾³, 勝見尚也⁴, 大河内博⁵, 岩本洋子⁶, 三浦和彦⁷, 小林拓⁸, 鴨川仁⁹, 松本淳⁵,
米村正一郎¹⁰, 松見 豊¹¹, 梶野 瑞王¹², 畠山 史郎¹³

1.帝京科学大, 2.大阪府立大, 3.首都大東京, 4.石川県立大, 5.早稲田大, 6.広島大, 7.東京理科大, 8.山梨大
9.東京学芸大, 10.農研機構, 11.名古屋大, 12.気象研, 13.埼玉県環境科学国際センター

1. はじめに

富士山は独立峰であり、その山頂は自由対流圏に位置することから、大陸からの越境汚染を調査するのに適した場所であり、オゾン、CO といった微量気体から、粒子状物質まで観測が行われている。しかしながら、大気汚染物質として重要な窒素酸化物に関して、2014 年に NO_x 、2015 年と 2016 年に総反応性窒素酸化物(NO_y)の計測が行われたものの、越境汚染の指標として重要な NO_z の計測が行われたことはなかった。 NO_z 濃度を求めるのに必要な NO_2 濃度は一般に化学発光分析法により計測されるが、化学発光分析法では化学干渉があることから正確な NO_2 濃度の計測が難しいためである。本研究では、化学干渉がなく、 NO_2 固有の吸収波長を用いることで濃度を正確に計測可能なレーザー分光法と化学発光法を組み合わせることで NO_z 濃度を得る分析手法を開発した。開発した分析手法を用いて 2017 年夏季富士山頂にて、大気の計測を行った。

2. 方法

富士山特別地域気象観測所にて、2017 年 7 月 15 日～8 月 23 日に NO 、 NO_y 濃度を、2017 年 7 月 26 日～8 月 23 日に NO_2 濃度の計測を行った。 NO と NO_y 濃度の計測は、市販の Mo コンバータ化学発光分析装置 (Thermo Fisher Scientific, model 42i-TL) を改良して用いた。Mo コンバータを大気サンプル取り込み口に直接

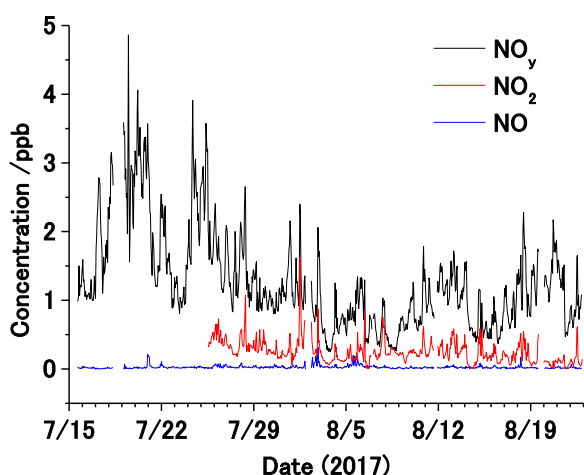


図 1. 2017 年夏季富士山頂で観測した窒素酸化物濃度 (NO_y , NO_2 , NO 濃度)

取り付けることで硝酸や PAN、有機硝酸を含んだ、 NO_y と呼ばれる化合物群を測定できる。装置の校正は、 NO 標準ガスとゼロガス発生装置を用いて、観測期間の前

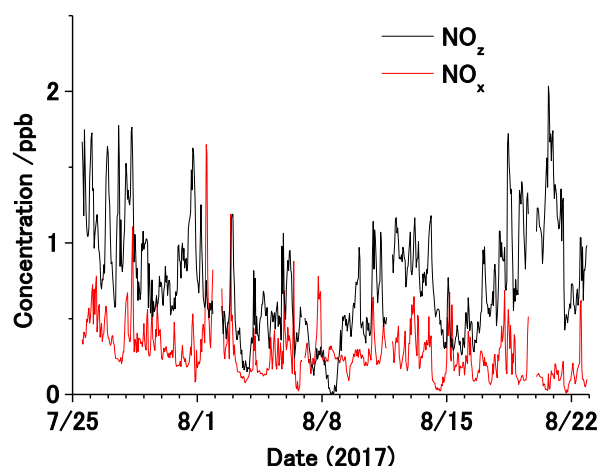


図 2. 2017 年夏季富士山頂の NO_x と NO_z 濃度

後に富士山頂にて行った。 NO_2 濃度はレーザー誘起蛍光装置 (名古屋大学、自作) を用いて計測した。レーザー誘起蛍光法は、大気試料に NO_2 分子の光吸収に共鳴する波長のレーザー光を照射し、電子励起状態に励起した NO_2 分子からの蛍光 (590-2800 nm) を光電子増倍管で直接観測した。 NO_z 濃度は、 NO_y 濃度から NO 濃度と NO_2 濃度を差し引くことで求めた。

3. 結果と考察

富士山頂で観測した NO 、 NO_y 、および NO_2 濃度の観測結果を図 1 に示す。富士山頂にて観測された NO 、 NO_y 、 NO_2 濃度はそれぞれ最大 0.31 ppb、4.86 ppb、1.62 ppb を示した。これら濃度から算出した NO_x と NO_z 濃度を図 2 に示す。 NO_x および NO_z 濃度はそれぞれ最大 1.65 ppb、2.04 ppb、平均はそれぞれ 0.28 ppb、0.74 ppb であった。2017 年夏季の NO 、 NO_y 、 NO_2 、 NO_z 濃度に明瞭な日変化は観測されなかった。

4. まとめ

化学発光分析装置とレーザー分光計測装置を組み合わせた NO_z 計測手法を開発し、2017 年夏季富士山頂における NO_z 濃度の時間変動を明らかにした。

自由対流圏における水晶振動子システムを活用した水銀挙動測定システム

野田和俊¹, 兼保直樹¹, 丸本幸治²

1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2. 国立水俣病総合研究センター

1. はじめに

2017年に日本は水銀に関する水俣条約を批准したことで、今後ますます水銀の使用(利用)の削減と水銀を使用しないシステムへの切り替え等、全般的な対応について取り組みを強化しなければならない。その中の一つとして、主に大陸からの影響を測定するため、近傍のローカル発生源の影響を受けにくい2000m以上の自由対流圏高度での水銀汚染状況の通年観測を2016年から開始した。ここでは、冬場等商用電力が供給されていない状況においても電池程度で動作可能な水晶振動子を活用したシステムについて、その結果と今後の課題¹⁾などについて、簡潔に報告する。

池切れにより5月中旬で停止していた。これから、この程度の電池システムでも正常に通年動作を確認した。

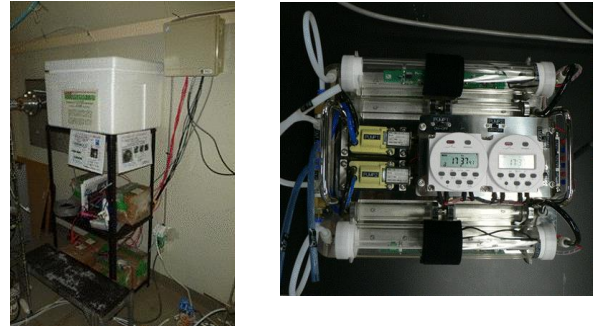


図 2 施設内設置状況の一例

2. 測定システムと現場データ

現在、環境中における水銀挙動について、越境輸送の観測に不可欠な自由対流圏内での通年測定は行われておらず、これから水晶振動子を検知センサ(QCM)とした測定システムを2016年に旧富士山測候所に設置して通年観測を開始した¹⁾。基本的な検知原理について説明する。大気中の水銀は、自由対流圏高度ではガス状元素態水銀と考えられている。そこで、このQCMセンサの電極はもともと金が蒸着されている。この水晶振動子の金電極と大気中の金属水銀(以下、単に水銀)とのアマルガム反応によって電極表面の質量変化が生じ、それに伴う発振周波数変化に変換する測定システムを試作¹⁾し、この測候所内に設置して観測を開始した(図1)。

また、2016年12月下旬~2017年3月中旬まではセンサユニットの温度がほぼ-15~-20°Cの中で正常動作したことも分かった。ガス吸引ポンプは、2月上旬までは設定したプログラムで動作していたようであるが、内蔵圧力センサ出力から考察すると、その後は止まったようである。その後、3月中旬頃から再度動作したことが示されていた。2017年8月に上山して確認すると、タイマー設定が当初の設定とは異なる内容であった。その原因は不明であるが、バッテリーからの給電が止まり誤動作の可能性がある。QCM検知では、設置後約1ヶ月程度まで徐々に上昇しその後の変化は上下変化となった。これから、この最初の期間で大気中の金属水銀と金電極の反応が飽和または反応が止まったものと考えられる。通年で観測するためには、自動的にセンサユニットを切り替えて飽和または反応が止まらない期間で測定するシステムが必要である。

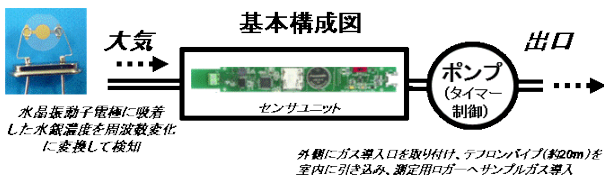


図1 水晶振動子を活用した水銀測定システムの基本構成

測定構成は、旧測候所南西方向の外側から大気をセンサユニットに接続したポンプによって吸引導入(テフロンチューブ・約20m)する構成(図1)である。施設の制約上、7~8月のみしか人の出入りと商用電力の利用ができないため、センサユニットはリチウム電池(CA123A×並列8本)のみで動作させ、耐寒用鉛バッテリーに小型太陽パネルを接続して給電する部分は、ポンプ、タイマー等を動作させる構成である。施設内の状況を図2に示す。

測定結果の一例を図3に示す。同一2組のシステムのうち、1組は2017年上山時点でも正常動作しており、もう1組は電

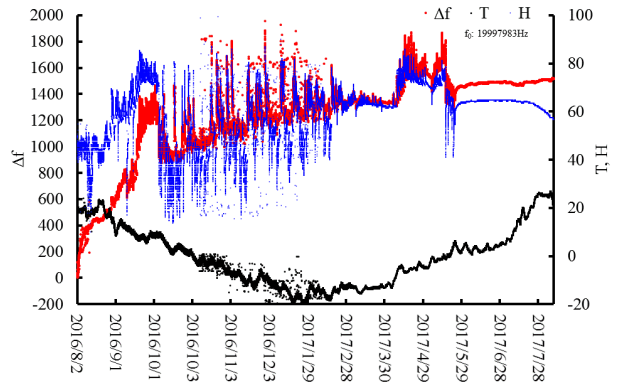


図 3 2016.8~2017.8 までの測定結果の一例

3. まとめ

旧富士山測候所において通年観測可能な金電極素子 QCM によるセンサユニットを活用した水銀測定システムの正常測定が確認できた。しかし、課題も多く、それらを克服しながら引き続き観測する予定である。

本文に記載した、すべての写真・図・グラフは著者が権利を有するものである。

謝辞

本研究は、2016 年度年賀寄附金配分事業の助成を受けました。また、本研究で使用しております旧富士山測候所は、現在 NPO 法人富士山測候所を活用する会が運営管理しております。ここで、改めて感謝いたします。

参考文献

- (1) 野田, 兼保:「自由対流圏における水銀挙動測定システム」, 平成 29 年度電気学会全国大会, E32-A1-3-150 (2016)

校正用仮設避雷針の実現と雷対策

安本勝¹, 佐々木一哉², 鴨川仁³, 大胡田智寿⁴, 土器屋由紀子⁴

1.(株)ヤマザキ, 2.弘前大, 3.東京学芸大, 4.NPO 法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

富士山測候所の山麓に繋がる接地線の電流を測定して富士山周辺の雷現象を観測している。しかし、この接地線電流の測定は高圧ケーブル内接地線のみである。接地線が複数有り全体の電流を知るためには測候所避雷針に被雷した電流と同時測定を行うことで全体の接地線電流への校正が可能になる。そのため、測候所の一番高い観測塔にさらに高い仮設避雷針を設けることで仮設避雷針一ヶ所への被雷頻度を高め、被雷電流は、避雷導線に流すようにし、終端に設けたシャントで絶対測定することで知ることができる。同時に測候所から山麓に繋がる接地線流れる電流を測定することで、全接地線電流は被雷電流としてよいので、被雷電流と測定接地線電流との比を取ることによって全接地電流への換算補正計数を求めることができる。

本報告は、この校正実現のため、仮設避雷針の実現方法、被雷電流の測定方法を提案する。また、測候所の被雷対策方法を提案する。

2. 仮設避雷針の実現方法

2-1 観測塔での実現

測候所への被雷を一ヶ所にまとめられるようにするには測候所の最も高い個所にさらに高くできる仮設避雷針を設けて仮設避雷針への被雷頻度を高める必要がある。

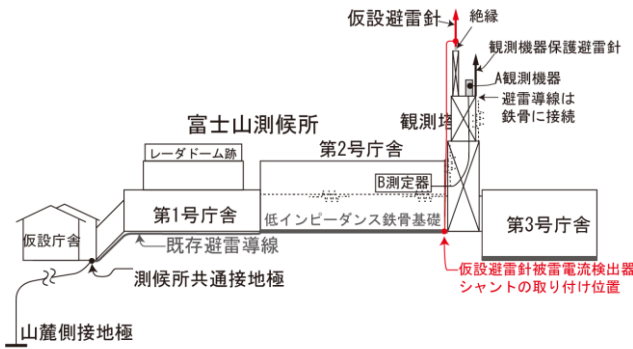


図 1 富士山測候所と仮設避雷針

観測塔は図1に示す測候所の第2号庁舎と第3号庁舎の間にあり、測候所で最も高いところになる。

現状の観測塔には気象観測機器が設置され、これらの観測機器の雷保護は回転球体法の保護下に置かれている。この雷保護下に置くための避雷針も設けられているが、突出した高さのものではなく、また避雷針は固定部の鉄骨に電氣的に接続されているため校正用避雷針には使用できない。

回転球体法保護下に置く受雷部は被雷電流を安全に流

せるようになっていることが前提である。一方避雷針は周囲の落雷を防ぎ避雷針一ヶ所に落雷を集め避雷導線で安全

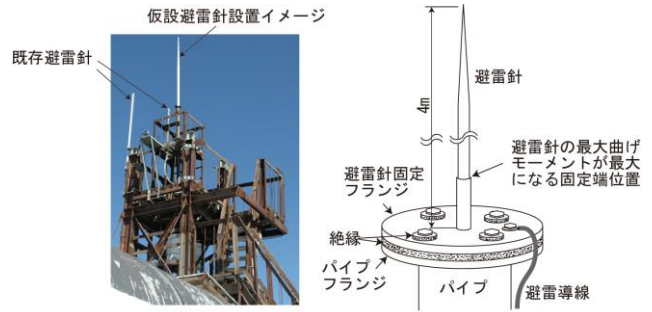


図 2 仮設避雷針を観測塔に設置した場合の設置イメージに接地に流すことができる。このメリットはどこに弱点があるか分からないとき全体を網羅し一括して保護できる点にある。富士山測候所の場合だけでなく一般的にも、掌握できていない個所については、両者を併用することが望ましい。

仮設避雷針は最高部にパイプフランジがあり、このフランジに図2に示すように仮設避雷針を設置することを検討している。仮設避雷針は固定部パイプフランジから絶縁し、被雷電流は低インピーダンス避雷導線を通し、観測塔に電圧降下を生じさせない個所、具体的には2号庁舎基礎に接続し流すことを考えている。被雷電流の測定はこの避雷導線終端接続部にシャントを設け被雷電流の絶対測定を行うことになる。シャントは避雷導線と直列に電氣的に接続されることになるため、シャント出力電圧の測定位置とシャント設置位置との接地系統の電圧降下が加わる。この侵入を小さくするため、シャントは避雷導線終端部に設けることが基本になる。

仮設避雷針は観測期間の都度、避雷導線やシャントも含め設置・撤去をすることは負担・費用を考えると実質的でない。通年、避雷針を固定する基礎部分、避雷導線、及びシャントは残し、観測期間のみ避雷針を基礎部分に固定する方法を採用することが望ましい。基礎部分、避雷導線、及びシャントは観測期間以外は設置したままにする方法である。残存させても機能向上はもたらしても悪化させるものではなく、景観上も問題は生じないと考えている。

2-2 観測塔以外への設置代替案

観測塔に仮設避雷針が設置できない場合、他の場所に設置することになるが、設置場所としては接地線で山麓に繋がる共通接地極に近い場所に観測塔以上の高さの鉄骨塔を作ることになるが、この実現は景観上許可を得ることは難しく、また規模・費用等で現実的に無理である。

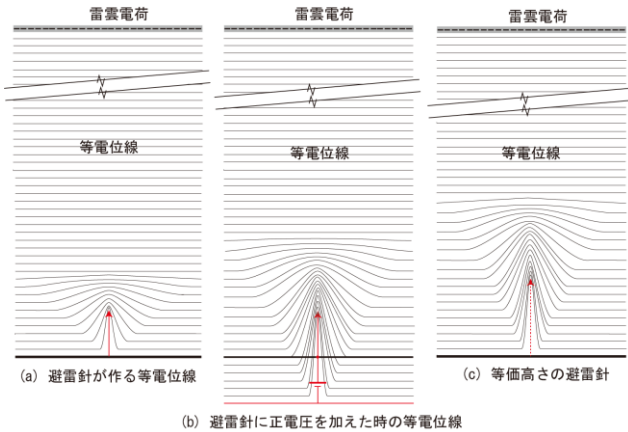


図3 避雷針に電圧を加えて等価的に避雷針を高くする方法
代わる方法として、設置避雷針はコンパクトにでき、等価的に避雷針を高くした効果が期待できる電圧印加避雷針（仮称）がある。負極性雷の場合は避雷針に正電圧を加え、正極性雷の場合は負電圧を加える方法がある。避雷針に電圧を加えることで避雷針に図3に示すような等電位面ができ、避雷針を高くしたと同様の電界強度を作ることかできる。この実用化は図4の基本構成を実現することで可能になると考えている。コンパクトにでき避雷針の高さも低くできるため暴風対策上も好ましい方法になる。基本構成は以下の点である。

- (1) 高電圧が印加できる。
- (2) リターンストローク電流流すことができるトリガー電極付大容量放電管がある。
- (3) 上向き雷のリーダ電流を流すことができる。
- (4) 雷雲の極性を検出でき、印加電圧は極性に合わせて切り換えができる。

高電圧印加避雷針部分は、露出させるため、安全確保が

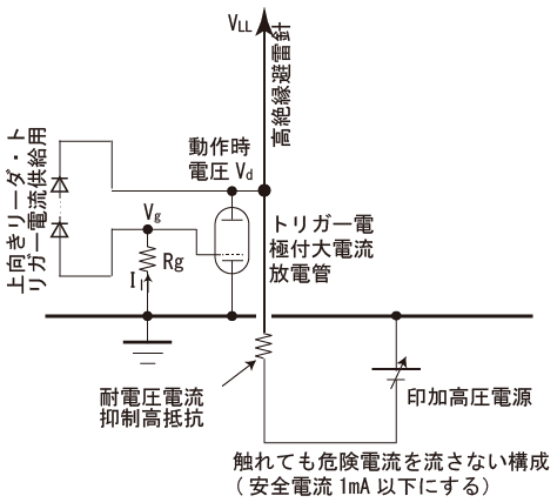


図4 電圧印加避雷針（負極性雷の場合）概念構成図
必要である。充電部に容易に触れることが無いようにし、万一触れた場合にも危険電流は流さないようにする対策が必要である。その方法は以下の3点になる。①人が触れる可能性のある範囲は絶縁させ充電部は触れさせないようにする。②柵を設け印加避雷針部には立ち入りできないようにする。

③電圧源の電流容量は小さくし、1mA以下にする。

印加電圧避雷針が実現でき、効果が確認されれば他の応用など、広範囲に適用可能になると考えている。

3. 被雷電流の測定

被雷電流はシャントを用いて絶対測定することになる。シャントの構成は図5に示すようになっている。温度係数の小さな既知純抵抗のマンガニンの電圧降下を測定することになる。マンガニンに寄生インダクタンスが伴うがこのインダクタンスを無視できるようにするため、マンガニン部分の鎖交

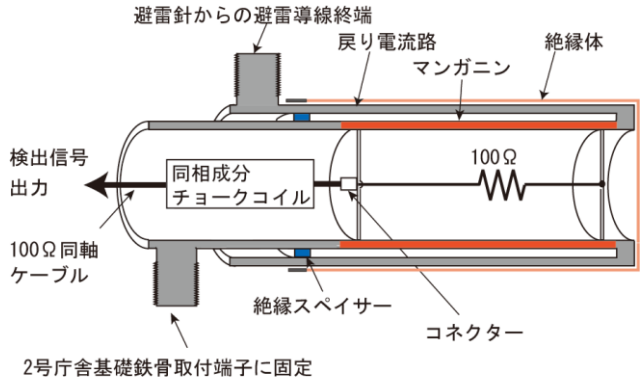


図5 シャントの基本構成

磁束を小さくする戻り電流路を作り、小さな寄生インダクタンスにしている。往還路を工夫することで、さらに寄生インダクタンスを小さくすることは可能であるが被測定電流の周波数特性から図5の構成でも問題無いと考えている。

シャントの出力電圧は図6の測定系で測定することになる。シャントのマンガニンの電圧降下は、図5に示すように 100 Ω の出力インピーダンス出力信号で現れる。シャント出力信号は遠方で測定することになるのが一般的であり、信号伝送路の反射等で歪むことが無いように伝送路入出力部で伝送路ケーブルの特性インピーダンスとインピーダンス整合を取ることが必要である。出力信号は伝送路に特性インピーダンス 100 Ω の同軸ケーブルを使用して 100 Ω 入力イ



図6 仮設避雷針被雷電流のシャントによる測定方法
ンピーダンスにしたデジタルストレージオシロスコープ（以下、DSO）で測定する。インピーダンス整合を取ることでケーブルが長くなる場合に生じる反射を無くし正確な信号伝送が可能になる。測定結果の記録はDSOのデータロギング機能を用いることでUSBメモリーに記録可能になる。

シャントの接地箇所と測定器 DSO の接地箇所の電位は異なり、その電位差が測定系に侵入しないように伝送ケー

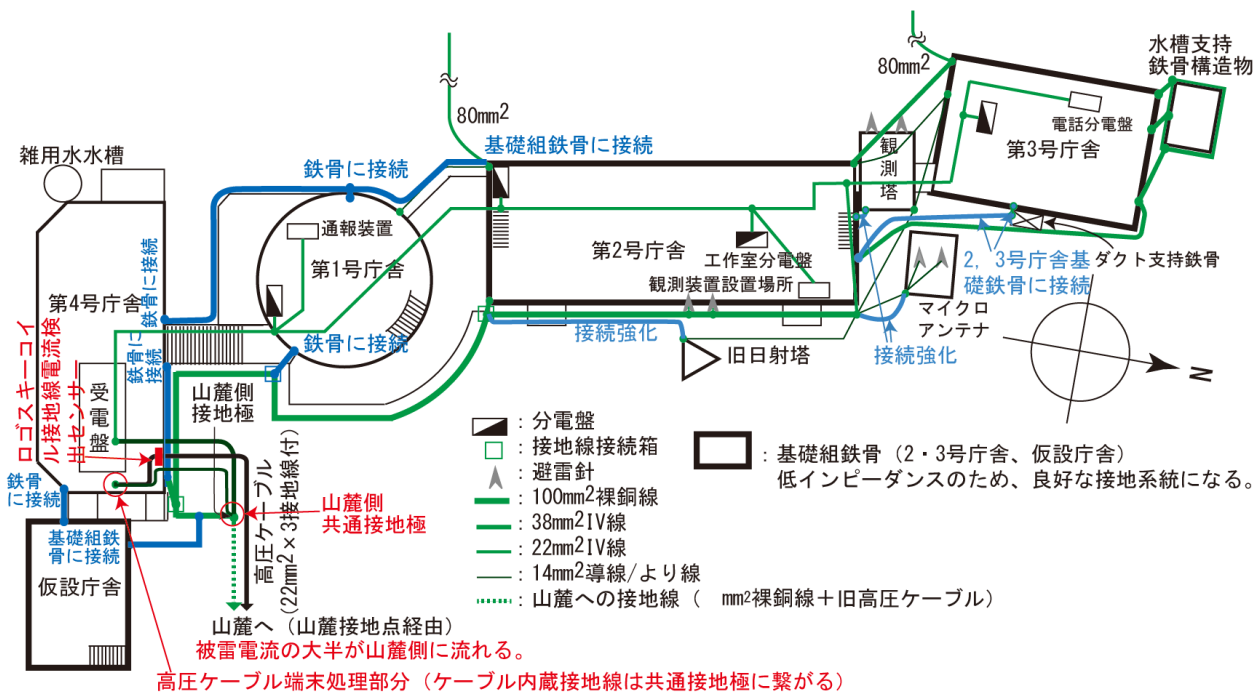


図7 富士山測候所の等電位化を強化すべき箇所（青色部分）

ブルには十分な相殺機能を有する同相チョーク、あるいは雷対策ケーブルを導入する必要がある。電源は、絶縁せずに導入すると電源の接地電位を導入することになるのでノイズカットトランス(以下、NCT)を介して導入する必要がある。

4. 雷対策

富士山測候所は3776 mにあり、落雷頻度が高い場所にある。立地を活用した様々な共同研究場所であり、できるだけ雷対策を意識せずに利用できるようにする必要がある。そのため、測候所が被雷してもトラブルが生じ難い環境を提供できるようにする雷対策が求められることになる。

満足させる対策方法として、①測候所全体の等電位化を高める、②電源電位の影響を受けないようにする、③一点接地の適用が容易にできる、及び④外部観測機器の保護を提供できる、等がある。

4-1 測候所電位と等電位化

測候所接地系統は、4号庁舎東側にある共通接地極を通して山麓側接地極に繋がっている。測候所の接地抵抗は大きく(各接地極とも 300 Ω以上)山麓側接地極に繋がる接地線があり、山麓側接地極の接地抵抗は小さく10 Ω以下である。そのため、通常の測候所電位は山麓側接地線電位で決まることになる。

測候所の被雷対策はファラデーケージが基本になっており、各庁舎は金属製外表面に覆われている。理想的なファラデーケージは0 Ω導体の部材で、接続抵抗も0 Ωで構成されていることから等電位性も確保できることになる。しかし、実際は、部材と接続の抵抗は0 Ωに近いというだけで、満足している訳ではない。さらに部材間、また庁舎鉄骨間の

電氣的接続及び場所は、雷電流の大きさを考慮すると不十分な箇所が存在する。

現在の建物鉄骨間の接続状態は、図7の緑線のようにになっており、被雷時電流を考えるとまだ不十分であり、電氣的接続の強化が必要と考えられる箇所を青線で示している。図のように電氣的接続を強化することで、等電位性が高まり、



図8 回転球体法適用受雷個所等で等電位強化必要箇所と考えられるダクト支持鉄骨

特に庁舎を跨る観測系統の場合、観測系統へのサージ電圧の侵入は抑制できることになる。

例えば、3号庁舎側壁にある図8に示すダクト支持鉄骨は、外観上被雷時被雷電流を流す積極的な流路は確保されていない。2、3号庁舎基礎に避雷導線を接続することで、被雷してもダクト支持鉄骨の電位上昇を抑えることができる。

被雷電流は、被雷点から測候所の第4号庁舎東側前に埋設されている共通電極を通り、山麓側に流れる。流路に沿って電圧降下を生じるため、流路のインピーダンスはできるだけ小さくすることが必要である。

庁舎の基礎鉄骨は、インピーダンスが小さく雷電流が流れたときの電位傾度を小さくするため、有効に活用すべきで、2、3号庁舎の基礎鉄骨は有効に活用されている。未利用の仮設庁舎の基礎鉄骨は、38 mm²以上の銅線で共通接地極

に接続し等電位強化に活用することが望ましい。

4-2 電源の対接地電位

富士山測候所の電源は山麓から引き込んだ 6600 V 高圧電源を変圧器で降圧し、必要な電圧 (100 V) の電源を得ている。低圧側電源は、高圧との混触時の電位上昇が安全範囲内に抑えるため、低圧側電源の1線に B 種接地が設けられ、共通接地極に接続されている。従って、測候所内 100 V 電源の対地電位 (以下、電源電位) は共通接地極の電位になる。

電源使用観測機器使用場所の接地電位は、接地系統に電流が流れていることで共通接地極電位にその電圧降下を加えた電位になっている。測候所被雷電流が接地系統を流れた場合、電圧降下は大きくなり、電源と観測機器の設置場所との電位差は大きなものになる。

こうした接地系統電位の影響を避けるため、100 V 電源は、NCT を介して絶縁させ用いることが基本になる。

受電室の高圧から低圧に変換する降圧変圧器を混触防止板付にすることで非接地電源にできる。しかし、電源にはそれぞれの接地電位場所で使用する多数の測定器が接続される。もし一つでも電源に絶縁不良があると電源全体の電位はその不良個所で決まることになる。こうした場合でも影響を受けないように各観測システムは基本的に NCT を使用することを標準にすべきである。また、混触防止板付変圧器の2次側出力にはサージ電圧が混入する可能性がある。その際、過大電圧が変圧器に加わらないように電源線と接地の間には電圧抑制用避雷器を設けることが必要である。

4-3 一点接地の確保

個々独立の測定系は、それぞれ一点接地を基本としなければならない。複数接地だと、接地間の電位差からノイズ電流が流れ、逆に接地間電位差からノイズが侵入する。そのため、基本的に一点接地を可能にする回路構成が求められる。

一方接地系統には電流が流れることで電位は同一でなく、場所場所で接地電位が異なる。そのため、観測機器の接地が複数になると観測機器に複数の電位を取り込むことになる。雷電流が流れた場合、大きなサージ電圧になって侵入し、観測結果に影響を与える場合がある。

接地系統に電流が流れなければ測候所電位の等電位性は確保できるが現実的ではない。一点接地が確保できない場合が生じて、電流が流れてできる電位差を小さくすることで侵入を抑制できるため、できるだけ接地系統のインピーダンスを小さくすることは必要である。

一般的に接地線に電流を流す原因は、接地間の電位差である。電源使用電気機器の接地が複数あり、その接地間にノイズ電圧があると接地系統のインピーダンスが小さく拡がりがあるために広範囲に循環電流を流すことになる。富士山測候所は、被雷頻度が大きく、被雷電流が大きくなるため、

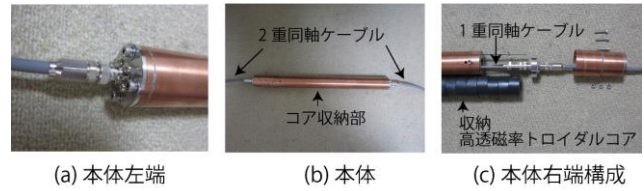


図9 雷対策ケーブルアダプター

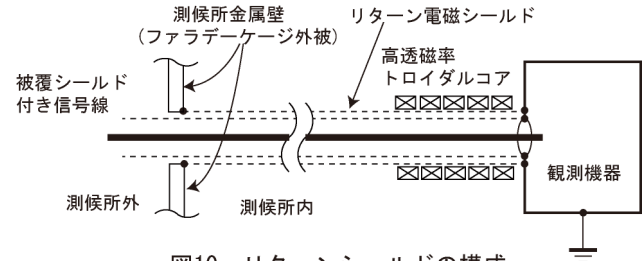


図10 リターンシールドの構成
接地間に大きな電位差を作り、これがサージ電圧になって電気機器回路に侵入する。

また伝送ケーブルが長くなるなど、一点接地を確保できない場所の信号授受の対策には電位差の影響を抑制できる雷対策ケーブルを使用する必要がある。また外部からケーブルを引き込む場合、リターン電磁シールド構成を適用することで外部からのサージ侵入電流を抑制できる。

図9の雷対策ケーブルアダプターは、市販の二重同軸ケーブルを使用することで、雷対策ケーブルと同等の機能が得られるようにしている。図10はリターンシールドの構成を示している。いずれも仮設避雷針の被雷電流検出器の伝送ケーブルに適用することを予定している。

一点接地確保のため、接地電源は NCT を介して使用し非接地電源にする。電気機器の電源は一般的に接地と循環路を構成し、循環電流が流れている場合が多く、それを抑制する意味でも NCT の導入は必要である。

4-4 外部観測機器の雷保護

(1) 測候所に隣接する観測機器

① 庁舎と回転球体法保護下位置の観測機器 測候所の設置場所は富士山頂 3776 m にあるため、上方からだけでなく側方からの落雷もあり、回転球体法保護が基本になってい

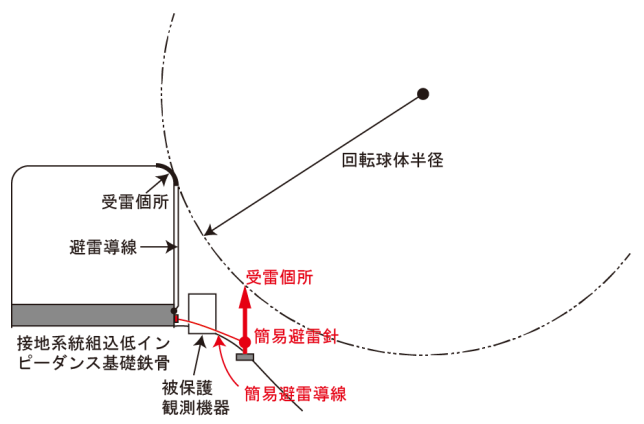


図11 外部観測機器を回転球体法保護下に置く簡易方法

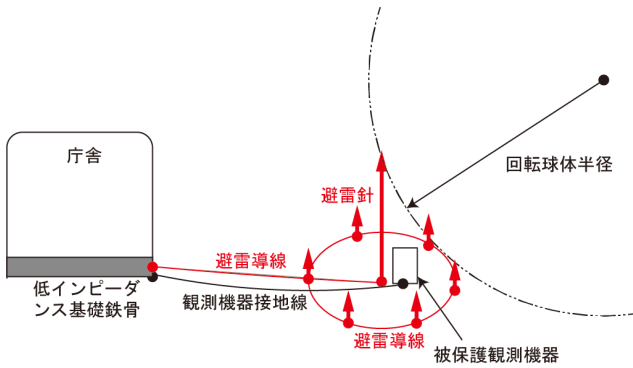


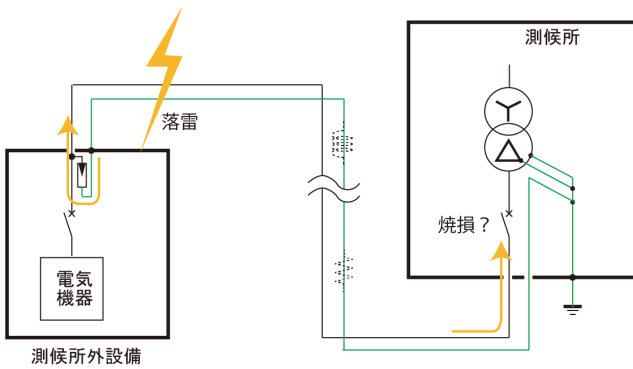
図12 避雷針による回転球体法保護下に置く方法

る。保護に置くための回転球体と接点になる箇所は、被雷に耐え、被雷電流を流すことができるようにしなければならない。例えば、庁舎脇の観測機器は図 11 に示すように簡易避雷針を設けて回転球体法保護下に置く必要がある。

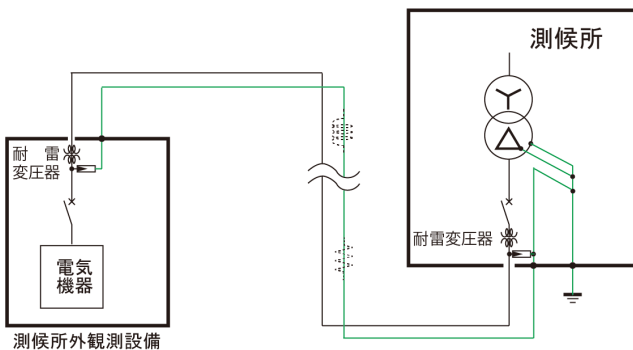
②庁舎と回転球体法保護ができない位置の観測機器 図 12 のように中央の高い避雷針で上方からの被雷を保護し、さらに周囲に低避雷針を配置し側方からの被雷を保護する。被雷電流は十分な電流容量の避雷導線で測候所避雷導線に接続し共通接地極を通し山麓側に流すことになる。

(2) 測候所外遠方観測施設等への供給電源

図 13(a)のように測候所外遠方の観測設備に測候所から電源を供給する場合、遠方観測設備の電源電位は測候所の変圧器 B 種接地極、即ち共通接地極電位になる。また対になる接地線電位も共通接地極電位になる。遠方観測設備が被雷した場合、接地線に被雷電流が流れ共通接地極を



(a) 保護が適切でない場合に予測される落雷被害メカニズム
被雷時、過電流によりブレーカは焼損する可能性が大きい。



(b) 雷保護を考えた測候所引出部と観測設備引込口

図 13 測候所外遠方観測設備の落雷対策方法

通して山麓に流れる。設備の電位は接地線のインピーダンス電圧降下で大きく上昇する。電源電位(共通接地極電位)に対し大きな電圧が加わる状態になる。耐電圧が弱い場所がある場合、あるいは避雷器が遠方観測設備電源入力に避雷器を用いている場合電源と導通状態になり電源線にも被雷電流が流れ測候所引き出し部のブレーカを焼損させることになる。

この対策は図 13(b)の構成により可能である。観測設備と測候所間で信号の授受がある場合、電気信号伝送系は雷対策ケーブルを使用する必要がある。

5. おわりに

- (1) 山麓に繋がる接地線電流の校正方法について提案した。
- (2) 観測塔への仮設避雷針設置方法を提案した。
- (3) 同上の設置が困難な場合の代替案、電圧印加避雷針の基本構成を示し提案をした。
- (4) シャントを用いた絶対測定系を明らかにした。
- (5) 測候所で実施されている雷対策を示し、導入しやすい対策として、①接地系統の等電位化、②絶縁電源の導入、③一点接地による等電位化、及び④外部観測機器の雷保護、を提案した。

仮設避雷針の実現は、接地線電流測定系校正のため、必要である。観測塔に実現できない場合も考え、電圧印加避雷針の開発も進める必要がある。

雷対策は、多くの方が利用する共同研究場所であり、意識せず利用できる環境を提供できるようにする必要がある。

6. 謝辞

考察に関してアドバイスを頂いた横山茂・静岡大学客員教授、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方々、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、生越正文両山頂班長はじめ山頂班員の方々、同 NPO 事務局員各位のご厚意に感謝する。

なお、この研究の一部は一般財団法人新技術振興渡辺記念会の受託事業「富士山噴火予知のための SO₂ 通年観測システム構築に関する研究」として実施し、また、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「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」を受けた。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への準備, 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). 富士山測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). 富士山測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) 電気・電子機器の雷保護検討委員会(委員長横山茂) (2011-8). 電気・電子機器の雷保護, 電気設備学会.
 - 8) 北川信一郎, 河崎善一郎, 三浦和彦, 道本光一郎 (1996). 大気電気学, 東海大学出版会.
 - 9) 北川信一郎 (2001 年). 雷と雷雲の科学, 森北出版.
 - 10) 高橋健彦:「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」, オーム社(2003)
 - 11) 日高邦彦 (2009 年 1 月 10 日). 高電圧工学, 新電気システム工学 TKE-13, 数理工学社.
 - 12) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 土器屋由紀子, 野村渉平, 向井人史 (2013). 富士山測候所観測システムへの雷対策案, 第 31 回電気設備学会全国大会講演論文, 405-408.
 - 13) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 鴨川仁, 土器屋由紀子, 野村渉平, 向井人史 (2014). 超低特性インピーダンスケーブルの接地適用の検討, 第 32 回電気設備学会全国大会講演論文, 111-114.
 - 14) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 土器屋由紀子 (2015). ケーブルへの侵入サージ電圧抑制効果評価方法, 第 33 回電気設備学会全国大会講演論文, 343-346.
 - 15) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 大島燦, 高橋浩之, 土器屋由紀子:「富士山測候所導入高圧ケーブル内接地線電流の測定」,第 34 回電気設備学会全国大会講演論文,83-88(2016).
 - 16) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 横山茂, 高橋浩之, 土器屋由紀子:「雷現象による富士山測候所と山麓を繋ぐ接地線電流解析」,第 35 回電気設備学会全国大会講演論文,403-408(2017).
 - 17) 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.
 - 18) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 土器屋由紀子 (2014 年). 超低特性インピーダンスケーブルの検討, 電気学会全国大会講演論文, 電磁環境 ESD, 1-154.
 - 19) 土器屋由紀子, 佐々木一哉 (2012-6). よみがえる富士山測候所, 成山堂書店.
 - 20) 志崎大策 (2002-9). 富士山測候所物語, 成山堂書店.
 - 21) 土器屋由紀子, 梶山沙織, 鈴木雅史 (2016 年 10 月). 日本一の高所・富士山頂は室の山, 公益財団法人静岡県文化財団.

富士山山頂の環境を利用した教育プログラム Fuji-sat3 のデータ解析

— 高大連携プロジェクト —

藤原博伸^{1,2,3}, 鴨川仁³, 稲崎弘次⁴, 大河内博²

1. 女子聖学院高等学校, 2. 早稲田大学, 3. 東京学芸大学, 4. 音羽電機

1. はじめに

NPO 富士山測候所を活用する会の学生公募として Fuji-sat3 プロジェクトが東京学芸大学の学生によって 2016 年に行われ、模擬衛星が設置された。富士山測候所は、閉鎖環境で冬場は電源がなく、気温は-20 度近くまで気温が下がる。この環境で、大学小型衛星の教育プログラムとして、模擬衛星を運用し、初期成果については報告がなされた¹⁾。本稿では、そのときに得られた越冬データを、高大連携プロジェクトの一環として解析を行った。

2. 観測

本模擬衛星の放射線測定機器部分以外は、著者の一人(稲崎)が設計・開発・製作を行った。放射線はガンマ線総カウント数をガイガー・ミュラー管による測定機器(CPI-SR002)を使用し RS-232C で通信を行った(図 1 の右下)。雷数は雷センサコンポーネント(AS3935)を組み込んだ。データロガー部分は ATOMEGA1294 のマイコンで動作させた。3G 回線を内蔵させ、1 日回のデータ送信を行った。送信データは SMS の機能を使い各々の日のデータで、雷はエネルギーの最大値、最小値、平均値、放電地点までの距離の最大値、最小値、平均値、放射線カウント数は最大値、最小値、平均値、および一日の総量、バッテリー電圧は一日の平均値である。太陽パネルは、SY-M30W-12 太陽電池モジュールを使用している。太陽パネルは 1 号庁舎 2 階の西向き、東向きの窓に 2 枚設置し(図 1)、蓄電池 3 個で動作させた。蓄電池は、国立環境研究所の同一製品のサイクロン G42EP である。

3. 結果と考察

図 2 は 2016/9/1 と 2017/2/18 の放射線カウント数とバッテリー電圧の時系列データである。2017 年 7 月の回収時に得られた 1 秒サンプリングのデータを 180 分平均した。一方、書き込まれたデータを見たところ、雷センサのコンポーネントは動作していないことがわかった。不具合の理由については現時点では不明である。またバッテリーは 2 月中旬で 5 V 未満になり、測定器が動作しなくなっていた。これについても、地上での消費電力の計算で 3 つのバッテリーで越冬動作することは確認していたが、低温によるバッテリーの低いパフォーマンスが理由と想定される。

図 3 に 2016 年の 9 月から 2 月の放射線の一日の総量と、気象庁が提供している富士山山頂の大気圧を示している。図

を見ると、この二つはおおむね逆相関であることがわかる。これは宇宙線が大気圧量によって吸収量が変動することが起因することを意味しており放射線計測は動作していたことは確認できた。



図 1 Fuji-sat3 の設置状況。1 号庁舎 2 階。

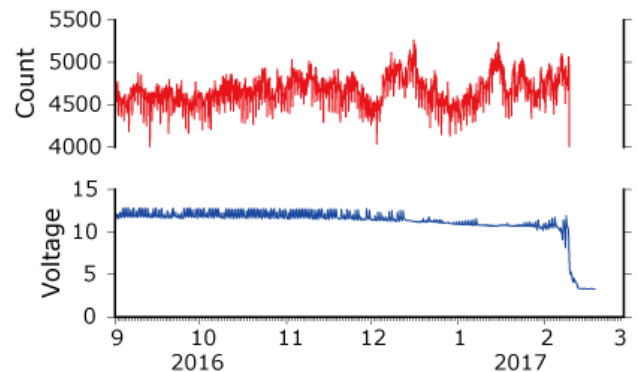


図 2 8/30 から 9/16 日までの SMS 通信によって取得したデータと気象庁日照系データ

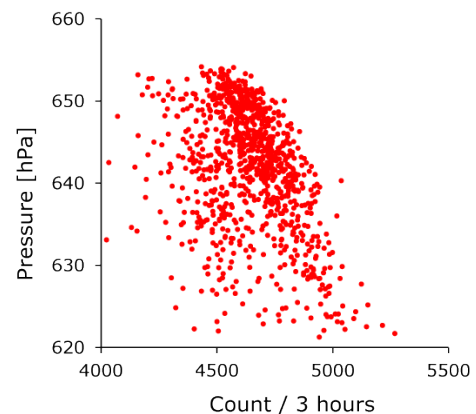


図 3 ガンマ線カウント数(3 時間平均)と気圧の散布図

参考文献

- 1) 新田英智, 織原義明, 東郷翔帆, 須藤雄志, 鈴木裕子, 藤原博伸, 稲崎弘次, 鴨川仁, (2016). 学校教育に導入

可能な小型測定機器を用いた富士山頂における長期測定実証実験, 東海大学海洋研究所研究報告37巻, 15-20.

登山行動中の血行動態の解明 —マルチセンサー自由行動下 24 時間血圧計を用いた計測—

小森孝洋¹, 金澤英紀², 星出聡¹, 苅尾七臣¹

1.自治医科大学循環器内科, 2.自治医科大学放射線科

1. はじめに

循環器疾患を有する患者にとって、登山が運動療法として適しているかは明らかではない。循環器疾患患者には運動療法として有酸素運動が薦められている。登山は有酸素運動主体の運動であり、運動療法のひとつになりうると考えられる。しかし、高所は低酸素環境であり、登山行動中や短期間の高所滞在中に血行動態がどのように変化するかは明らかでなく、安全性も不明である。

登山行動中の血行動態は、測定が困難であることから明らかになっていない。中高齢の登山愛好者が増加するとともに、登山中の死亡事故も増加している。登山中の病気による死因としては、心血管疾患による突然死がかなりの割合を占めていることが考えられている。登山行動中は高所による高度変化、気温変化、低酸素などの環境要因や交感神経活動の亢進、登山の労作などから、血圧上昇が生じる。この血圧の変化が心血管疾患発症による突然死のリスク因子となっている可能性がある。

我々は気圧計・温度計・アクチグラフを内蔵するマルチセンサー自由行動下 24 時間血圧計を開発した。本装置を活用することにより、登山行動中の活動度と生体データが同時に得られる。また、気圧・気温などの登山中の環境因子のデータも同時に得られる。これらの関係を検討することにより、血圧に影響を与える因子を検討することが可能である。

本研究の目的は、健康人の登山行動中および短期間の高所滞在中の血圧、低酸素に関連した生理的反応を明らかにすることである。それをふまえ、循環器疾患患者が安全に登山を行うための血圧管理・全身管理の指針を作成することを目標とする。

2. 方法

(1)対象:心血管疾患のない健康人 4 名

(2)方法:富士山五合目(標高 2305m)から吉田ルートを経て山頂登頂(標高 3776m)し、富士山頂の富士山測候所に宿泊する。翌日は五合目まで下山する。この行程の間、24 時間血圧測定を行い、登山行動中の血行動態を記録する。さらに酸素飽和度の測定を、行動中随時と就寝中に行う。

登山日とは別の日程で日常生活時の 24 時間血圧測定を行う。

評価項目:登山行動中の 24 時間血圧モニタリング(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型血圧計[IMS-ABPM]を用いる。), レイクルーズ高山病ス

コア, SpO₂ モニター(登山行動中適宜, 夜間就寝中は連続的に測定), 登山行動内容の記録, 気象条件(気温, 気圧, 風向風力)の記録, 日常生活時(非登山行動中)の 24 時間血圧測定

判定項目:個人間での登山時・日常生活時の 24 時間血圧変化の差異. 登山行動中の血圧と登山内容の関連性. 睡眠中の血圧値と酸素飽和度の変化。

3. 結果

8 月 18 日に富士山五合目泊, 翌 19 日から 20 日にかけてマルチセンサー自由行動下 24 時間血圧計を装着して登山を行った。対象者は男性 3 名(被検者 A, B, C), 女性 1 名(被検者 D)。全員が富士山頂に登頂した。下山後平地で日常生活時の血圧測定も実施した。表 1 に被験者の背景を示す。

	年齢	性別
被検者 A	40	男
被検者 B	35	男
被検者 C	22	男
被検者 D	36	女

各被検者別の血圧値・血圧変動について以下に示す。

被検者 A は山頂での就寝中に血圧低下が認められない Non-dipper 型を呈していた。夜間の最低 SpO₂ は 38.3%であった。日常生活時の 24 時間血圧は、夜間が低下する Dipper 型を呈していた。

被検者 B は山頂での就寝中に覚醒がみられ、血圧低下が認められなかった。一方、日常生活時は夜間に過降圧を生じる Extreme-dipper 型の血圧変動を呈していた。

被検者 C は山頂での就寝中、日常生活時ともに夜間血圧が低下する Dipper 型を呈していた。

被検者 D はレイクルーズスコアが 6 点と高く、山頂での就寝中の血圧は日中よりも上昇する Riser 型を呈していた。夜間の SpO₂ は 27.3%であった。日常生活時の血圧変動は Dipper 型を呈していた。

富士登山中と日常生活時の血圧レベルを比較すると、富士登山中において血圧レベルは高値を示し、特に夜間の血圧レベルが高値を示した。

表 2. 富士登山中の血圧値, 酸素飽和度

	24 時間血圧 (mmHg)	24 時間脈拍 (bpm)	昼間血圧 (mmHg)	昼間脈拍 (bpm)	夜間血圧 (mmHg)	夜間脈拍 (bpm)	血圧変動	最低 SpO2 (%)	3%ODI
被検者 A	116/75	81	118/79	87	112/66	70	Non-dipper	38.3	54.23
被検者 B	110/68	85	113/72	88	104/62	80	Non-dipper	48.9	53.72
被検者 C	124/71	99	130/77	105	113/61	86	Dipper	55.5	52.96
被検者 D	122/82	113	121/82	115	124/83	110	Riser	27.3	39.71

表 3. 日常生活中の血圧値

	24 時間血圧 (mmHg)	24 時間脈拍 (bpm)	昼間血圧 (mmHg)	昼間脈拍 (bpm)	夜間血圧 (mmHg)	夜間脈拍 (bpm)	血圧変動
被検者 A	108/71	54	111/74	58	98/61	41	Dipper
被検者 B	118/85	65	124/91	67	96/59	57	Extreme-dipper
被検者 C	117/70	70	122/74	75	105/56	65	Dipper
被検者 D	112/76	76	116/79	83	104/68	77	Dipper

表 4. レイクルイーズスコア

	スコア
被検者 A	4
被検者 B	2
被検者 C	4
被検者 D	6

4. 考察

富士登山中および日常生活での血圧レベルおよび血圧変動を評価した。今回の被験者のうち、4名中3名において夜間の血圧低下が認められなかった。血圧レベルは富士登山中において日常生活時よりも高値を示した。

高所曝露は、交感神経活性の亢進を介して心血管系に影響を及ぼすことが知られている^{1,2,3)}。寒冷、身体的ストレス、低酸素が交感神経活性を亢進させる誘因である。高所では、交感神経の活性化により、心拍上昇が生じることが報告されているが、血圧については上昇するとして報告もあれば、変化しないとして報告もあり、一貫していない^{4,5)}。本研究は登山行動中の血圧も含むため、過去の報告と計測条件が異なるが、日常生活中よりも血圧が上昇していた。さらに夜間血圧も上昇しており、血圧日内変動としては、夜間の血圧レベルが低下しない Non-dipper/Riser 型血圧変動異常が認められた。高所滞在中においては、夜間の SpO2 低下が認められており、レイクルイーズスコアが登山開始前よりも上昇していたことから、低酸素や身体的なストレスが血圧に影響を与えていることが考えられる。気温や活動量も同時測定したが、今回滞在中の富士山測候所では気温は保たれており、滞在中の活動量は少なかった。そのため、寒冷や活動量よりも低酸素やストレスが登山行動中の血圧レベルおよび血圧変動

に影響を与えたと考えられた。この機序に交感神経活性亢進が関係していることの検討のために更なる研究が必要と考える。

5. おわりに

富士登山中の血圧レベルおよび血圧変動を 24 時間血圧計を用いて評価し、日常生活での血圧と比較した。登山行動および短期間の高所滞在中は、血圧変動パターンの異常が生じる可能性が示唆された。登山行動中および高所滞在は異常な血圧日内変動を引き起こす可能性が高く、心血管疾患患者が行う場合は注意を要すると考えられた。

参考文献

- 1) Bartsch P and Gibbs JS. (2007). Effect of altitude on the heart and the lungs. *Circulation*, **116**, 2191-202.
- 2) Duplain H, Vollenweider L, Delabays A, Nicod P, Bartsch P and Scherrer U. (1999). Augmented sympathetic activation during short-term hypoxia and high-altitude exposure in subjects susceptible to high-altitude pulmonary edema. *Circulation*, **99**, 1713-8.
- 3) Wolfel EE, Selland MA, Mazzeo RS and Reeves JT. (1994). Systemic hypertension at 4,300 m is related to sympathoadrenal activity. *J Appl Physiol*, **76**, 1643-50.
- 4) Mieske K, Flaherty G and O'Brien T. (2010). Journeys to high altitude--risks and recommendations for travelers with preexisting medical conditions. *J Travel Med*, **17**, 48-62.
- 5) Higgins JP, Tuttle T and Higgins JA. (2010). Altitude and the heart: is going high safe for your cardiac patient? *Am Heart J*, **159**, 25-32.

高所が身体に及ぼす影響の測定・調査

三ツ元三郎, 杉田浩一 (横浜山岳会)

1. はじめに

筆者らの所属する横浜山岳会では2020年のヒマラヤ登山を企画している。デリーから空路1時間で、インド北部ラダック(Ladach)地方の中心都市であるレー(Leh, 標高 3500 m)に行き、そこから自動車で標高4500 mの登山基地に至るという経路を予定している。登山基地まで短時間で行けるということは一般の登山客にとって好都合ではあるが、一方で標高4500 mまで一気に上昇することになり、多くの登山者が激しい高山病にかかるという問題がある。

高山病に対する事前の訓練の一つとして、平地では、低気圧・低酸素濃度の部屋に入り、体への影響を確認しながら高所に順応する方法がある。しかしこの方法では気圧・酸素濃度以外の条件は実際の登山とは異なっている。

富士山は日本で唯一レーの標高を超える高さにあり、その頂上は国内での高所順応の調査研究には最適の場所である。今回筆者らは、単純な高所順応訓練ではなく、身体データを計測しながらの科学的な高所順応訓練を目指して、富士山測候所の活用を実施した。

富士山測候所を利用させていただく理由は以下のとおりである：

- (1) 少しでも高い標高の場所で、睡眠や屋外活動を含む長時間滞在を行う；
- (2) 滞在中に、夜間も含めてできるだけ詳細な身体データを周囲に気兼ねなく取得する；
- (3) 筆者らは特に医学的知識をもつ者ではない。富士山測候所を活用する会のメンバーには高所医学の専門家が多数おられるので、事前・事後を含めその方々のご意見・ご指導を得たい。

2. 調査研究の実施方法

被験者は筆者ら2名で、本稿では被験者A, Bとする：

被験者 A 男性 67歳

最近3年間、膝を痛め登山歴なし

被験者 B 男性 57歳

2週間前穂高連峰(3000 m級)登山

測定項目は以下のとおり：

血中酸素濃度

パルスオキシメーター オニックスII

スタープロダクト(株)

血圧および脈拍

デジタル血圧計 UA-767 (株)エー・アンド・デイ

登山コースは富士宮登山口まで自動車、そこから頂上往復とし、スケジュールは以下のとおりである：

7/31(月) 00時 5合目駐車場着 車中泊

7/31(月) 06時 5合目登山口発

7/31(月) 14時 測候所着 被験者Bのみお鉢廻り

8/1(火) 07時 測候所発

8/1(火) 11時 5合目登山口着

3. 実施結果

計測値およびその際の身体状況を表1に示す。

なお、被験者Aは山頂到達時点で体調不良だったため、お鉢廻りは被験者Bのみが行った。

被験者Aは終始体調が思わしくない状態が続いた。被験者Bは比較的良好な状態が続いたが、下山後に体調が悪化した。ただし、今回の測定内容と体調との関係には特別な所見は見られなかった。

表1 測定結果

日時	測定場所 高度	被験者	脈拍数 (/分)	血圧 (mmHg)	血中酸素 濃度(%)	身体状況
2017/07/31 00時	富士宮登山口 2,400 m	A	70	131/83	91	風邪気味 咳
		B	73	131/83	94	良好
2017/07/31 06時	富士宮登山口 2,400 m	A	79	138/73	91	良好
		B	83	138/73	95	良好
2017/07/31 14時	山頂 3,776 m	A	99	143/77	71	軽い頭痛・疲労感
		B	104	144/89	80	良好
2017/07/31 16時	山頂, お鉢廻り後 3,776 m	A	—	—	—	—
		B	100	143/77	90	良好
2017/07/31 18時	山頂 3,776 m	A	90	143/77	接触不良	軽い頭痛
		B	88	140/68	91	良好
2017/08/01 05時	山頂 3,776 m	A	88	145/72	91	軽い頭痛
		B	88	136/85	87	頭痛

2. 調査研究の実施方法

4. おわりに

当初に記したように、日本最高地点にある富士山測候所を活用することにより、専門家のご意見などもいただきながら、高地順応トレーニングを行いつつ、今後のトレーニングに活用できる科学的知見を売ることが目的であった。しかしながら、初めての試みであったこともあり、当初の目的は達成できなかった。

次年度は今回の反省を踏まえて、事前事後の専門家のアドバイスをいただき、できれば高所医学グループの登山に同行するなどして、目的を達成したいと考えている。

富士山頂で大気中の水分を集めて、飲料水にする装置の実証実験

中村亮太¹, 藤崎透², 池田仁志郎², 池英俊³
 1. PicoLabo LLC, 2. TERU Inc, 3. 株式会社カンキョー

1. はじめに

本稿は、空気中の水分を集める装置の実証実験の結果報告である。株式会社カンキョーの保有する除湿機の特許技術を応用し、大気中の水分を凝縮し、飲料水として利用できる装置を開発した。今回は本装置を使用し、富士山頂で実際にどのくらいの水量を1日に得ることができるか実証実験を行った。また採取した水を水質検査し、飲料に適するか確認した。

本研究の最終目標、水が不足している富士山の山頂で、雨水やブルドーザー運搬に頼らず、安定的に飲料水を供給する仕組みを構築することである。

2. 実験方法

本実験は富士山測候所(3776 m, 35.36N, 138.727E)の1号庁舎2階室内の排気ダクト前に実験装置である造水機本体(44 cm×33 cm×20 cm)を設置し、24時間の連続測定を実施した。

連続測定は2017年8月14日午後12時から、8月15日午後12時まで行われ、毎時2時間の水量を測定した。参考までに実際に使用した実験装置を下記の図1に記載する。



図1 実験装置の写真

3. 測定結果

実証実験の結果、24時間の連続稼働で4290mLの飲料水を収集が確認された。1時間あたりの造水量は平均179mL(最大量220mL/最低量145mL)であった。時間ごとの採取量、室温、湿度の数値を表1に示す。

4. 考察

測定結果より、富士山頂の厳しい環境化においても、大気中から水分を収集できることが実証された。気温と湿度に比例して、採取量が増減することも確認され、飽和水蒸気量と本データ変数を活用することで、採取量をシミュレーションする

表1 24時間の採取量(測定:2時間間隔)

時間	採取量	室温	湿度
00:00-02:00	400	22.0°C	46%
02:00-04:00	340	23.0°C	41%
04:00-06:00	330	22.2°C	32%
06:00-08:00	290	19.8°C	35%
08:00-10:00	300	18.0°C	28%
10:00-12:00	310	17.4°C	32%
12:00-14:00	340	16.9°C	32%
14:00-16:00	340	16.4°C	35%
16:00-18:00	350	16.5°C	41%
18:00-20:00	430	17.0°C	44%
20:00-22:00	420	17.7°C	45%
22:00-24:00	440	18.3°C	46%

ことも可能である。図2は時間ごとの採取量と湿度の相関関係のグラフである。

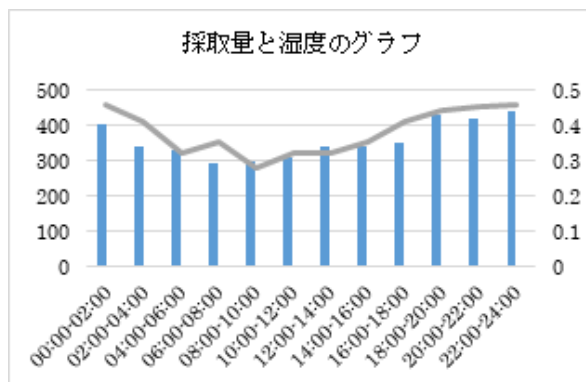


図2 時間ごとの採取量と湿度のグラフ
(測定:2時間間隔)

5. おわりに

今回はトライアル利用の初参加のため、簡易実験のみ行ったが、今後は大学や研究機関と協力し、より多くの実験を行いたいと考えております。本装置を利用した実験にご興味がある方は気軽にお問い合わせください。よろしく願い致します。

6. 謝辞

本実験は、認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」の皆さまのご協力により実現されました。貴重な機会を頂き、本当に有り難うございます。改めて感謝申し上げます。

ネパール高所非電化農村地帯向け、風力主体ハイブリッド発電機の実証実験

桐原悦雄¹

1.産業技術大学院大学

はじめに

ネパールは、国土の 40%が無電化である一方有力な電力資源と考えられる風力発電はほとんど調査されていない。ネパールの電源確保のため再生エネルギー発電の有効活用を目指して、風力を主にしたハイブリッド発電機を設置した。今後は 3000 m 級山村の電力供給に向けて無電化農村地帯の課題である突風で羽根破損がない状況の試験・実験を日本の富士山山頂にて実証し、ネパール山村に展開を計画する。2017年度はトライアルとして、8月9日に富士山測候所にて風況調査と共に風力発電機を設置する場所選定し風況を実施した²⁾。

1. プロジェクトで設置する風力発電装置

風力発電機を無電化農村の集落に設置することが前提であることから発電機の規模は数百ワット以下が限度と考え、弱風において風力発電が機能しないときもある程度安定した電力を得るため、風力とソーラを組み合わせたハイブリッド発電とした。

このため、人力で持ち運び可能な 1 kW 程度小型風力発電と太陽光 20 W 程度および鉛電池(2個)からなるハイブリッド発電を利用する。

ネパールでは短い送電線に配電して電源のない農村での照明用などの電源、携帯電話の充電や通信機器の電源などとしても活用する。

2. 風力発電を予備調査の基本的な考え方

富士山測候所での風力発電の実施に当たっては、まずは、設置環境の十分な調査が必要である。

この調査としては、風力利用の一番の基礎となる富士山測候所の風力マップの作成が必要になり、活動が夏のある短い期間となることからこれに合わせた、風速の調査方法を検証した。



図1 8/9風速調査中

3. 8月9日の風速調査.

この測定は MASTECH MS6252B ポータブルデジタル風速計 ハンドヘルド式を利用した。風力発電機の機器設置想定場所にて調査した。

3.1 調査結果

台風通過後の 8 月 9 日に調査を実施した(図 1)。天候快晴、温度 15.4°C、風速は最大 8.14 m/s あった(図 2)。山頂に吹き上げる風で一定方向より固まりで襲うが、場所を数メートルずらすと風速が違った。

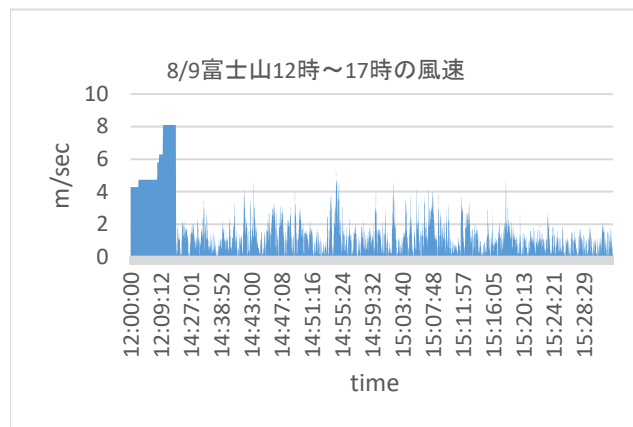


図2 風速の調査

3.2 今後の予定

突風に備えて4カ所に風力計を設置して風向や風速データを探取し、風車を停止するシステムを研究すると共に富士山頂周辺の風の乱れの可視化を実施する。図 3 が風の流れを可視化したサンプル例である。

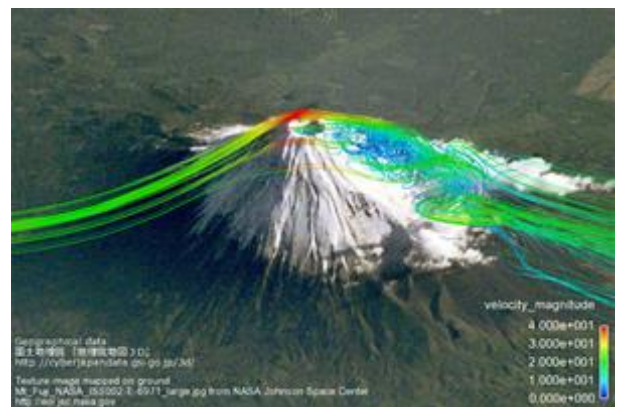


図3 風を可視化したサンプル例³⁾

4. 風力発電機の機器設置場所の選定

風力発電機の設置箇所の考え方は、国立公園内であると共に世界遺産であり規制に従って富士山測候所エリア内に場所を選定した。かつ、建造物のより高い位置に設置できるように考慮した。

測候所3号庁舎横の水槽の上を小型風力発電機の設置場所として選定し、設置を申請する予定である。



図4 小型風力発電機の設置申請予定場所

5. おわりに

富士山測候所の活動は、常設機材もなく風速計による調査を半日のみしか採取できなかったが、2018年度も引き続き風力調査をしたい。また発電機を設置してデータ採取、突風によるブレーキ動作検証を実施したい。

参考文献

- 1) 牛山 泉, “ネパールの風力と風力発電”, 風力とエネルギー, Vol. 19 (1995), No. 1 , pp. 5-9
- 2) 桐原悦雄, マハラジャン ナレス, 片岡信弘, 前田充浩”ネパール貧困農村のための風力発電導入パイロットプロジェクト”, 電子情報通信学会技術研究報告, SWIM2017-13, 2017
- 3) <http://www.cybernet.co.jp/ansys/case/analysis/371.html>
富士山頂周辺の流れ場解析(特定地形形状周りの流れ場) サイバネットシステム株式会社
- 4) 土器屋由紀子, “2009年富士山測候所報告書(速報)”, NPO 富士山測候所を活用する会, 2010年

位置情報パケット通信システムの伝搬域の調査 ～山地行動者の行動把握を目指して～

近藤英一
山梨大学工学部

1. はじめに

携帯電話網の整備により、登山者や林業従事者などの「山地行動者」との通信や位置情報把握は、以前に比べて格段に容易になった。しかし、携帯電話通信が可能であるのは、近くに基地局がありかつ指向性アンテナのビームがわざわざ山岳地に向けられている場合である。登山者の多い地域に限られ、名もない低山や林地ではいまだに通信状況は芳しくない。

著者らは、小型の位置情報発信機を携帯した山地行動者の通信中継システムについて検討を行ってきた。山岳地における位置情報の高精度化には、当時テスト稼働中だった準天頂衛星「みちびき」を利用し、中継局を利用して谷筋の行動者の位置情報を回収することに成功している[1]。

当然であるが、山地では電波通信がさえぎられやすい。良好な通信を確保するためには受信アンテナを多数設置する必要があるが、経済性が低い山地では現実的ではない。今回、富士山頂に位置情報の受信システムを設置し、受信エリアを調査した。

2. APRS システムについて

位置情報を含む通信は、Automatic Packet Report System (APRS)のものを利用した。これはアマチュア無線家が発信するパケット情報を中継するシステムであり、現在はほとんどが位置情報伝送目的で利用されている。位置情報は無線従事者同士のコミュニケーションのために自主的に発信されており、公開を前提としているため個人情報取り扱い上の制約もない。移動する車内や歩行中の位置情報が得られる。多くの利用者があり、移動位置も広範にわたるから、蓄積することによって海上を含む日本国内の広い位置からの位置情報電波を受信できる。

APRSは開発当初は電波による中継を前提としていた。現在では受信された位置情報は、インターネット経由で集約されている。情報は GoogleMaps 上に表示され[2]、これはだれでもどこでも閲覧可能である。受信局も自主的に運用されており、全国に多数分布している。

3. 設置システムについて

144MHz 帯トランシーバーTM-710D (Kenwood)を受信機として用いた。アンテナは無指向性フレキシブル型のものを、3号庁舎の西側窓に貼り付けた。受信音声パケット(1200

bps)はノートパソコンのターミナルソフトウェアでデコードし、前記の集約システムAPRS-ISに送信した。サーバーにデータに必ずしも当方のタグがつくわけではないので(同じデータの場合は早く着信した発信者のタグがつく)、解析はローカルPCに残るログデータを図上に表示して行った。稼働期間は2017年7月13日から同年8月23日の約40日間である。落雷対策時以外、ほとんどデータ欠落はなかった。

4. 受信エリアデータと考察

(1) 見通し域からの受信

人口の多い関東地区ではAPRSの信号は非常に多く発信されている。実際、測候所建屋外で受信すると簡単なアンテナでも絶え間なく信号が受信できた。しかし今回設置設備では、電波暗室となっている建屋内で小さな開口部から受信しており、その信号数は極めて少なくなった。

7月19日から7月28日(UTC)に受信できた無線局の位置を図1に示す。西方の窓越しにアンテナを設置しているため、東側からの信号は西側からに比べて極端に少ないことがわかる。

道沿いに分布しているのは、大半が移動する車両からの信号だからである。このように、今回の受信エリア調査はあくまで無線局が存在することが前提であり、任意の地点からの通信についてはわからない。しかし、同一局でも移動しながら頻繁に位置情報の送信を行っており、長い期間にわたって蓄積することにより傾向を把握することが可能となる。

図1の受信エリア西方は、富士山頂剣が峰から直接見通



図1 7月19日～7月28日(UTC)の間に受信できた局の位置(大縮尺)

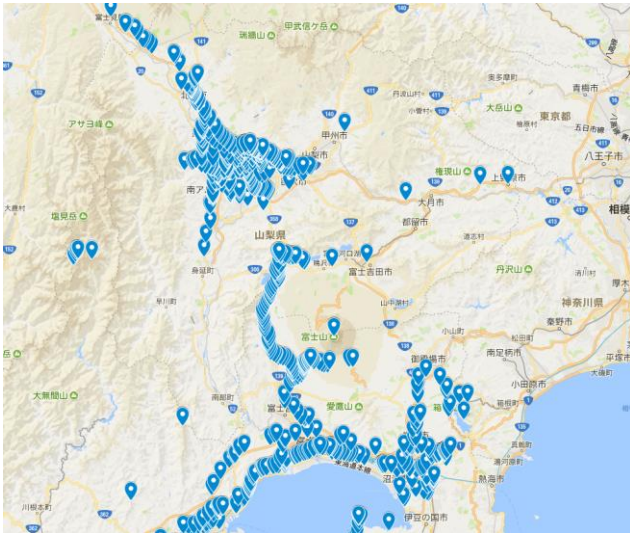


図2 7月19日～7月28日(UTC)の間に受信できた局の位置(富士山周辺)

せる範囲とおおむね一致している。これを顕著に示しているのが、図2に示す富士山周辺のデータ、特に甲府盆地内のデータである。甲府盆地内の住宅地・商業地など人口の多いところでは、期間を長くすれば全体に発信位置が分布する。たしかに、韮崎市～南アルプス市～甲府市中北部の範囲については、発信位置が面状に広く分布している。しかし、人口集中地域でも、市川三郷町～甲府市南部～笛吹市南部～甲州市南部からの信号は全く入感しない。この一帯は御坂山系の北麓であり、剣が峰からは御坂山系によって見通せなくなる。電波は回折する性質があるので、剣が峰からこのようにはっきりと見通し(LoS)確認ができることは意外でもあった。

(2) 反射・回折による受信

図1を再び見よう。無線局の多い東京、埼玉地区からは、東方であるためほとんど入感がない。興味深いのは、電波が受信できないはずの筑波エリアや群馬、栃木からの信号が拾えていることである。これは、直接波ではなく回折波、反射波によるものである。単純に鏡面反射と考えると、南アルプス山系で反射していることになる。甲府盆地のアマチュア無線家の間では、南アルプスによる反射現象は広く認識されている。都心部や山梨県東部郡内地域からの入感も同様であろう。富士山南東部、沼津市～御殿場市～箱根一帯からもたくさんの信号が入感している。これらの地域はアンテナ窓の裏手になり、窓からは見通すことはできない。剣が峰に対して対称位置となる郡内地域と同じく、回折によるものと考えている。

受信できた最遠地点は、三重県南牟婁郡御浜町のやや高台で約310 km 離れている。富士山最遠望地点は和歌山県那智勝浦町の山地(約320 km)といわれている。御浜町は、そのごく東側であり、通常の居住域としては最遠といってい

よい。なお、御浜町は剣が峰からはLoS上とはならないので、高台からの信号が海面反射した可能性もある。

(3) 山岳部からの信号

山岳部からの信号は、もともと移動無線局が少ないこともあり、受信数は多くない。図2にあるように、南アルプス(赤石山脈)荒川岳付近尾根筋からの信号が受信できている。これは登山者が携帯するハンディトランシーバのものからと思われる。今回の調査趣旨に最も見合ったデータといえる。図1、図2に示す期間以外でも登山者の位置情報信号の受信に成功している。微弱な送信電力でごく小型のアンテナを具備したハンディトランシーバからの信号を約50 km 離れた場所でも受信し位置情報デコードできることがわかる。ハンディトランシーバからの最遠信号は御前崎周辺からでその距離は約100 km になり、富士山頂に受信機を設置する効果は絶大であるといえる。

しかしながら、近距離の甲府盆地からでも、直接波以外では受信がむづかしい。さらに小送信電力で低性能アンテナのハンディトランシーバで谷筋からの送信された場合、今回の設備では受信が難しいであろうということがわかった。

5. 課題と整理(おわりに代えて)

旧測候所内西壁窓に受信アンテナを設置し、アマチュア無線の位置情報パケット信号を継続的に受信した。富士山頂という理想的な受信環境を活かし、300 km 以上離れた地点からの微弱な信号を受信することができた。ただし、測候所建屋の窓に簡単なアンテナを設置しただけであるので、受信性能が十分でないことは残念だった。

受信できた位置信号は、非可視域からのものも多く、山岳反射・回折による複雑な伝搬を確認できたと思われる。山地行動者の信号はN数が小さく限られたものであったが、非可視域からの発信を受信し活用できる可能性は十分あるものと考えている。外部アンテナを含めよりよい受信設備で実験ができることを希望する。電磁波は反射・回折により偏波の位相が変わるため、それを利用して直接波と反射・回折波の違いの検証も進めたい。

今回の受信データは、アマチュア無線家が自発的に発信する情報を活用したものである。送信電力、アンテナなどの設備環境はさまざまであり、想定する携帯送信機と同じとは限らない。さらに言えば、位置情報も必ずしも正確であるわけではないので、設備や発信位置を特定した精密な実験も今後必要であろう。

参考文献

- 1) 山梨大学アマチュア無線クラブ (2011). 準天頂衛星みちびみで APRS 実験. CQ Ham Radio, June 2001, 72-75.
- 2) Google Maps APRS, <https://aprs.fi>

富士山頂から地球環境問題の最先端を学ぼうプロジェクト

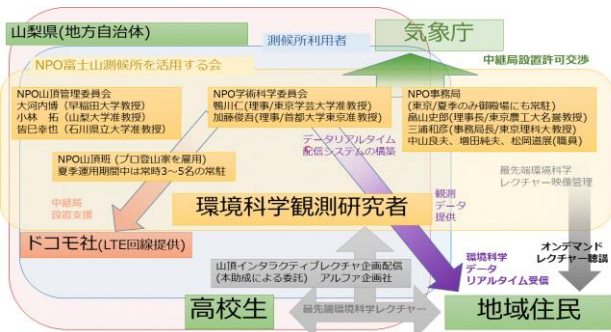
鴨川仁¹, 宮下敦², 大河内博³

1. 東京学芸大学, 2. 成蹊中学・高等学校, 3. 早稲田大学

1. はじめに

NPO 法人富士山測候所を活用する会は、大学・研究機関などの大気環境科学研究者を中心に、研究および教育を旧気象庁富士山測候所内で行うために場所の提供、インフラの提供などを行っている団体である。発足後 10 年経過し環境問題に対し世界的に高い成果を出している本 NPO であるが、その成果が広く国内外に周知されておらず、また地域住民にも活動の成果が行き渡っているとはいえない。

富士山頂からの環境活動に関する情報発信は、富士山への注目度から一般市民への環境問題意識向上への波及効果がみこまれる。本 NPO は、多くの専門家を有することから、旧富士山測候所を「新しいタイプの開かれた研究・教育の拠点」とすることを目的としている。そこで、2015 年度ドコモ市民活動団体（環境分野）助成により「地球環境問題を学んでもらうプロジェクト」を実施し、山頂で取得した環境データ（二酸化硫黄）のリアルタイム配信、3 名の大気科学研究者によるレクチャーをネット動画配信し、環境問題の基礎知識のみならず、環境科学研究現場の最前線についての啓蒙を行った。この活動による波及効果が認められたため、さらに高みを目指すべく 2017 年度東京ガス環境おうえん基金助成によりいくつかの環境問題の啓蒙にかかわる活動を行った。



富士山頂から地球環境問題の最先端を学ぼうプロジェクトの概念図

2. 実施内容

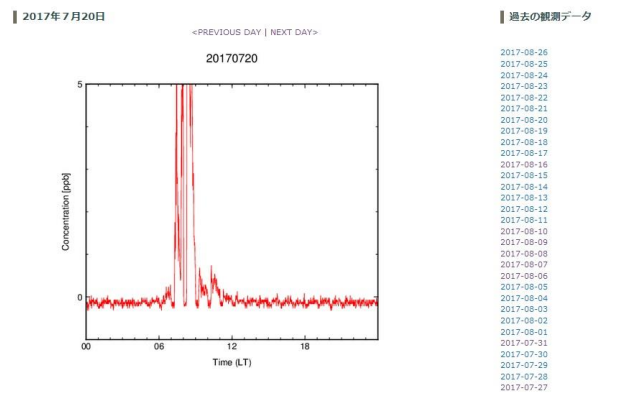
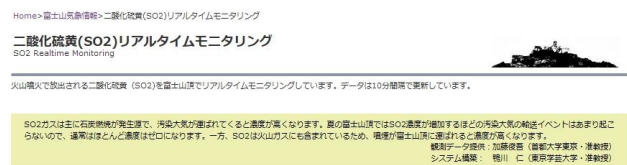
(1) SO₂ 環境観測データのリアルタイム配信の安定化

SO₂ ガスは、主に石炭燃焼が発生源で、汚染大気が運ばれてくると濃度が高くなる。また、SO₂ は火山噴火によっても放出されるため、噴煙が富士山頂に運ばれると濃度が高くなり、2013 年、2014 年には桜島噴火の約 2 日後に濃度が顕著に上がったことが報告されている。

首都大学東京の加藤俊吾・准教授は 2007 年から、オキシ

ダントなどの微量気体のモニタリングを行っているが、2015 年から東京学芸大学鴨川研究室の協力を得てシステム構築を行い、SO₂ の 10 分ごとのリアルタイムデータを NPO のホームページから公開している。

夏の富士山頂では、SO₂ 濃度が増加するほどの汚染大気の輸送イベントはあまりおこらないので、通常ほとんど濃度はゼロになるが、遠方の火山噴火検知や富士山噴火の事前検知に貢献することが期待されている。



ホームページでの SO₂ リアルタイムデータの公開

(2) 大気化学研究者によるビデオレクチャー

前年に制作したレクチャーは3講座から構成されており、講座①岩本洋子・東京理科大学助教による富士山頂に設置してある各観測機材とその観測内容のレクチャー、講座②加藤俊吾・首都大学東京准教授による「富士山頂での夏季 O₃, CO, SO₂ の観測」、講座③三浦和彦・東京理科大学教授によるレクチャーである。

2017 年度はさらに中村恵・早稲田大学学生等により、山頂に設置している観測機材のうち、「ハイボリュウムエアサンプリャー」および「雲水採取器」を使った観測内容とその採取データの取り出し方などをわかりやすく動画で説明する内容の 2 本のコンテンツを新たに制作追加した。

この動画は、こちら [パンダスタジオ渋谷](#) > 公開中の講座一覧 > [パンダスタジオ富士山頂](#) から見ることができ、富士山頂からの環境活動に関する情報発信は、国民への環境問題意識向上への波及効果が期待されている。



ビデオレクチャー動画(上)雲水採取器(下)ハイボリューム
エアースンプラー

(3) 山頂からインタラクティブ・レクチャーのライブ配信(東京学芸大学および成蹊高校の共同事業)

8月24日(木)標高3776mの富士山頂と下界の成蹊高校をインターネットで結んでインタラクティブ授業を行った。



インタラクティブ・レクチャーの様子 (上)山頂(下)成蹊高校

山頂で講義を担当したのは鴨川仁・東京学芸大学准教授。成蹊高校の教室には、部活の天文気象部の高校生5人が待機。事前に部活の夏期合宿でも、この授業で聴きたいことなどを勉強しておいたようだ。

なお、成蹊高校の天文気象部は、同じ高感度カメラを用いた流星の研究を行い、撮像もしている。一昨年あたりからは高高度発光現象について調べる活動をしている。

- 富士山頂で観測をするのに、どのくらいお金がかかっているのですか。
- 鴨川先生が富士山頂で観測を始めたきっかけは何ですか？ 誰かのお勧めがあったのですか？
- 雷の研究というのは、どのようなところに活かされているのですか？
- 成蹊高校でやっている雷の観測と、富士山頂に置いた場合では、見える範囲など、どの程度違うのですか？
- 雷雲から放電するときに、下向きに雷なって落ちると、上向きのスプライトができるのと、どちらが先ですか？
- 富士山頂の雷観測は、夏以外ではどのようにしているのですか？

高校生の質問内容

高校生の質問も専門的な雷の研究のことから、山頂の施設の維持にかかる費用まで広範なものであったが、山頂周辺の中継映像を見せながら、高校生でも理解できるようわかりやすく噛み砕いて説明した。

3. おわりに

インタラクティブ・レクチャーのような科学啓蒙活動は、南極昭和基地や国際宇宙ステーションのような場所でも行われているが、富士山でこのような教育活動を行ったのは初めてで a. 引き続き、今後も本 NPO ではこのような一般市民にも向けた貢献を行っていく予定である。

謝辞 本プロジェクトは2017年度東京ガス環境おうえん基金助成事業により実施した。記して御礼申上げる。

世界文化遺産富士山における山頂・剣ヶ峰および旧富士山測候所の保全

鴨川仁
東京学芸大学

1. はじめに

年間 30 万人前後の登山客を有する富士山では、世界文化遺産認定時におけるイコモスの勧告にもあったように、山頂保全は喫緊の課題となっている。多くの登山者が目指す日本最高地点となる山頂・剣ヶ峰では、登山者による環境悪化が深刻であり、環境省、気象庁の保全だけでは追いつかないのが実情である。

一方、大成建設によって建てられた気象庁旧富士山測候所は、2004 年の気象庁無人化後の建物の劣化は著しく進行しており、建物そのものの保全も急務となっている。

2. 実施内容

2017 年度は大成建設自然・歴史環境基金の助成において、旧測候所周辺の整備および建物の保守を行った。気象庁も現在、建物の保守は行っているが、予算に限りがあるとされ、

十分にはできないとのことであり、NPO 富士山測候所を活用する会が旧測候所のペンキ塗り、1号庁舎屋根の保護板交換も実施した。

3. おわりに

多くの民間助成では、環境保護活動や研究を対象にしたものが中心であるが、本助成は、旧測候所の周辺、建物の保全に使えるというものであり、老朽化しつつあるインフラを事業の基盤に据えている当 NPO 法人にとっては非常にありがたい助成である。今後も恒久的な観測を続けるために、中長期的な取り組みでインフラを整備していく予定である。

謝辞 本プロジェクトは 2016 年度大成建設自然・歴史環境基金助成事業により実施した。記して感謝申上げる。

