第６回成果報告会

講演予稿集

２０１３年1月２７日（日）

東京大学小柴ホール

NPO 法人富士山測候所を活用する会

第6回成果報告会 目次

＜口頭発表＞　　【セッション1】教育・高所医学

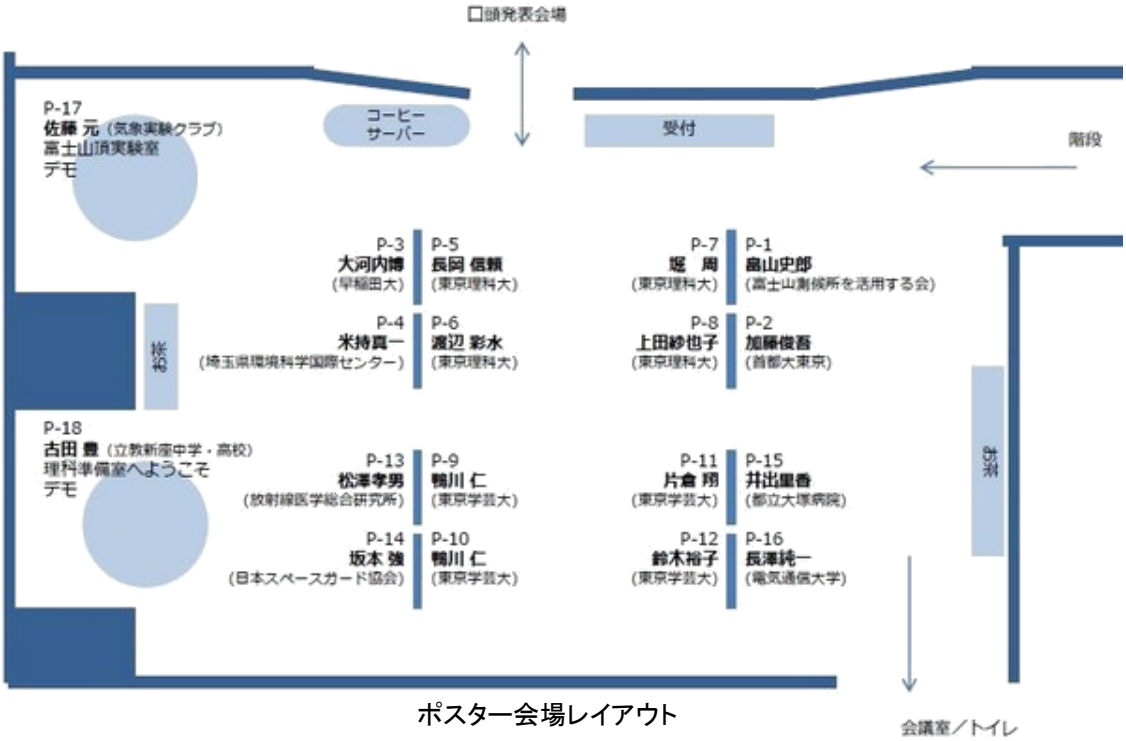
ID	タイトル	発表者・所属
O-01	富士山頂実験室	佐藤 元 (一般社団法人日本気象予報士会 気象実験クラブ)
O-02	「理科準備室へようこそ」―富士山頂での教材開発―	古田 豊 (立教学院立教新座中学校・高等学校)
O-03	富士山頂短期滞在時の安静および運動の動脈系血行動態に及ぼす影響に関する研究	岡崎和伸(大坂市立大学) 堀内雅弘(山梨県環境科学研究所) 浅野勝己(筑波大学名誉教授)

【セッション 2】永久凍土・雷・放射線・大気電気

O-04	富士山の永久凍土再発見と今後の研究展望	池田 敦(筑波大学) 岩花 剛(アラスカ大学)、末吉哲雄(海洋研究開発機構)
O-05	富士山測候所山麓から流れる雷観測電流対策	安本 勝、高橋浩之(東京大学)、佐々木一哉(東海大学)、中村安良(茨木県立土浦工高)、大胡田智寿、土器屋由紀子(富士山測候所を活用する会)
O-06	宇宙線被ばく線量評価の信頼性向上を目的とした富士山での放射線測定	矢島千秋、松澤孝男、保田浩志 (放射線医学総合研究所)
O-07	富士山山頂における大気電気研究~高エネルギー放射線から高高度放電現象まで	鴨川 仁(東京学芸大学)、鳥居建男(日本原子力研究開発機構)

【セッション 3】大気化学 ID

O-08	富士山頂の大気中二酸化炭素濃度の通年観測	野村渉平、向井人史、寺尾有希夫、野尻幸宏 (国立環境研究所 地球環境研究センター)
O-09	日本の自然環境保全のための富士山頂を利用した越境酸性雨観測事業:観測の高度化と精密化を目指して *平成 24 年度年賀寄附金配分助成事業	竹内政樹, 宮崎祐樹(徳島大学) 大河内博, 緒方裕子, 磯部貴陽(早稲田大学), 皆巳幸也(石川県立大学), 畠山史郎(東京農工大学)
O-10	エアロゾルの新粒子生成、成長と雲凝結核に関する研究	三浦和彦、上田紗也子、永野勝裕(東京理科大学) 小林 拓(山梨大学)、加藤 俊吾(首都大学東京)



ポスター会場レイアウト

＜ポスター発表＞

ID	タイトル	発表者・所属
P-01	地球大気環境保全に向けた　富士山測候所の戦略的活用計画:「東アジア高所大気化学観測拠点としての富士山測候所の再生」 *平成 22-25 年度三井物産環境基金活動助成	畠山史郎 (富士山測候所を活用する会)
P-02	夏季の富士山頂におけるオゾン・一酸化炭素の年ごとの比較	加藤俊吾 (首都大学東京)
P-03	富士山体を利用した自由対流圏高度におけるエアロゾル―雲―降水相互作用の観測	大河内博、緒方裕子(早稲田大学)、皆巳幸也(石川県立大学)、米持真一(埼玉県環境科学国際センター)、竹内政樹(徳島大学)、香村一夫(早稲田大学)
P-04	富士山頂、上海および首都圏で同時採取した PM1 の組成と磁気的特徴	米持真一、王効挙、梅沢夏実(埼玉県環境科学国際センター)、大河内博、名古屋俊士、緒方裕子、原田侑己、柳本悠輔(早稲田大学)、城裕樹(さいたま市健康科学研究センター)、Lu Senlin、Zhang Rui (上海大学環境与化学工程学院)
P-05	富士山頂で観測した新粒子生成	長岡信頼、三浦和彦、上田紗也子 (東京理科大学)
P-06	富士山頂で測定した雲凝結核	渡辺彩水、長谷川朋子、三浦和彦、上田紗也子 (東京理科大学)
P-07	富士山太郎坊と山頂におけるエアロゾル粒径分布の変動および霧による影響	堀　周、関山　舞、上田紗也子、三浦和彦 (東京理科大学)
P-08	富士山斜面の雲上下で採取した海塩粒子:雲過程による粒子組成への影響	上田紗也子、広瀬雄揮、三浦和彦 (東京理科大学)
P-09	富士山における福島原発事故起因の放射線測定 *平成 24 年度一般財団法人新技術振興渡辺記念会科学技術調査研究助成	鴨川　仁(東京学芸大学)、大河内博、緒方裕子、田原大祐、米山直樹(早稲田大学), 保田浩志(放射線医学総合研究所)、鳥居建男(日本原子力研究開発機構)、土井妙子(国立環境研究所),久米　恭(若狭湾エネルギー研究センター)、永淵　修(滋賀県立大学)、横山明彦(金沢大学)、土器屋由紀子(富士山測候　所を活用する会)
P-10	富士山山頂越冬用気象環境データ記録システムの構築	鴨川　仁、鈴木裕子(東京学芸大学物理科学分野) 藤原博伸(私立女子聖学院高等学校), 稲崎弘次(NEC システムテクノロジー), 岩崎　洋, 川原庸照, 土器屋由紀子(富士山測候所を活用する会)
P-11	富士山山頂における雷雲発生時における高エネルギー放射線の観測	片倉　翔、御園生諒、池田大輝, 鴨川　仁(東京学芸大学物理科学分野)、鳥居建男、杉田武志(日本原子力研究開発機構)、楠　研(気象庁気象研究所)
P-12	富士山山頂における高高度放電観測	鈴木裕子、御園生諒、成嶌友祐, 池田大輝, 鴨川　仁 (東京学芸大学物理科学分野)
P-13	標高と放射線 －簡易放射線測定器で測った富士山、赤城山および鉄道沿線の環境放射線－	松澤孝男(東京文理学院高等部、放射線医学総合研究所)、布施雅彦(福島高専)、前嶋美紀(㈱まえちゃんねっと)、矢澤正人、玉置晴朗(㈱数理設計研究所)、関根恵(東工大院)、矢島千秋、保田浩志(放射線医学総合研究所)、高垣徹(㈱TAC)
P-14	富士山山頂でのスカイコンディション調査	坂本　強 (日本スペースガード協会)
P-15	富士山頂における歩行バランスの評価	井出里香 (東京都立大塚病院)
P-16	富士登山時の酸化ストレスに対する年齢差の影響	高橋達彦、長澤純一(電気通信大学)、笹尾真美、野口いづみ(鶴見大学)、佐藤章悟、大野秀樹(杏林大学)
P-17	富士山測候所で大気中水銀を測ることの難しさ	永淵　修(滋賀県立大学)

おもて表紙写真(2012 年 10 月 14 日)、うら表紙写真(2012 年 5 月 13 日):いずれも池田　敦氏(筑波大学)撮影

O-01:「富士山頂実験室」

佐藤　元
一般社団法人日本気象予報士会気象実験クラブ

1. 経緯と概要

「富士山頂実験室」というプロジェクトを企画した動機は、私たちにとって富士山という未知の、また未経験の環境下で気象の実験や観測を行ってみたい。その結果はどうなるであろうか、という、気象予報士にとって大きな関心と知的好奇心があったことによる。

この「富士山頂実験室」と言うプロジェクトは、大別して、気象観測と気象関連実験の両者から構成され、2011 年 1 月にスタートした。すなわち、「富士山で実験する」と題して、過去の検討を踏まえ、実験と観測を富士山において実施することを川崎市民活動センターにおいて、公表した。

このための下準備としては、2008 年～2010 年において、富士山頂に至るいくつかの登山ルートを毎年登り、山小屋の施設の程度や混雑度、登山所要時間、登山路の難易度、避難所・救護所の存在、交通の便・不便、地上との携帯電話での通信可能性などを体験しつつ、検討してきた。

2010 年までは、NPO法人富士山測候所を活用する会の存在は特段意識していなかったが、たまたま 2010 年山頂まで登った時、測候所の中から職員と見受けられる若者が現れ出でて、話しする機会を得た。活用する会とのご縁はこの時始まったのである。その翌年の 2011 年、測候所を活用しての観測と実験を実施することとした。私たちにとっては、地上の、というより、ごく普通の標高での実験や観測はいくらでも経験してきているが、富士山のような高所の環境下では未経験の実験であり、観測であった。

実験の項目としては、地上と頂上とで実験結果に明瞭な差がでるものを考え、また手持ちの、気圧を使った実験の中から選択した。観測項目としては、山頂の気象データよりも、むしろ、中腹のデータがどのようになっているかに興味を抱いた。このような思いの中、実行に移すに当たり、せっかくの機会であるから、頂上で行う実験を地上で見ることができないか、との発案があり、頂上と地上とを通信回線で結んでみることとした。ただ、通信環境が必ずしも良好ではないと思われる富士山頂からの通信であるので、いかなる問題が出てくるかもしれず、初年度はまず試行的に行ってみて、順次問題を克服しつつ、より良い条件を探し求めつつ、実施することとした。

2. 試行と結果

★登山日程:2011 年7月 15 日～17 日

山頂測候所～地上とを通信回線、すなわちインターネットで、SKYPE を利用して、画像と音声を地上へ送信し、また地上からも返信を得た。レスポンスタイムは必ずしも良好ではなかったが、3G回線利用なので、やむを得なかった。山頂測候所内でのLANへの接続可能性及び使用可能性の検討を行った。気象観測は行わなかった。

★登山日程:2011 年 8 月 2 日～4 日

富士山頂上測候所～横浜市内の出前講座会場を、インターネットで、SKYPE を利用して、実験内容を双方向で送受信した。3G回線利用のため画像や音声の途切れがあったものの、何を行っているかは明瞭にわかった。気象観測としては、UVの観測を行ったが、霧や雲等のため、必ずしも良好な観測結果を得られなかった。

★登山日程:2011 年 8 月 26 日～28 日

富士山頂上測候所～横浜市内の(別の)出前講座会場を、インターネットで、SKYPE を利用して、実験内容を双方向で送受信した。3G回線利用のため画像や音声の途切れがあったものの、何を行っているかは明瞭にわかった。同年7月に行ったのとほぼ同じ条件で実施できたので、このやり方はある程度使えるやり方である、との感触を得た。

★登山日程: 2012 年7月 20 日～22 日

昨年(2011 年)度の頂上～地上の2元中継に引き続き、富士山及びもと富士山測候所を活用して、頂上と地上の東京都内の出前講座会場とをインターネットで結んで、気象の実験を行った。

通信環境は昨年と同様3G回線を使っての構成とした。送受信の結果は、ほぼ想定した通りの画質・音質であった。

地上会場の子供たちからは、頂上で飛び上がったらどの程度飛び上がれるか、との質問に、実際に飛び上がってその様子を見せたりした。また子供たちから、スーパーボールの弾み具合を地上と頂上とで比較してみようとのリクエストもあり、行ってみた。結果は比較できる共通の条件が作れなかったので有意差はでなかったが、そういうことが出来る、ということが大事なことである、と感じた。

気象観測に関しては、登山時、気象記録計を登山路に設置し、下山時順次回収し、気象データを取得することを計画した。岩陰や木の枝等さまざまな場所に設置することを考えたが、測器の盗難・破損・回収の利便性などを考慮し、終局的には、登山・下山を同じルートとする「須走口コース」の山小屋に設置することとした。このため、事前に各山小屋に直接出向いて説明と、設置のお願いをした。或いは、電話で了解を求め、気象測器の設置実現にこぎつけた。下山時、首尾よく回収できた。具体的な設置場所は、須走ロルートの5合目(東富士山荘)、7合目(大陽館)、本8合目(上江戸屋)、10 合目の山小屋(扇屋)、10 合目の浅間神社、及び剣ヶ峰の測候所とした。

★登山日程: 2012 年8月 02 日～05 日

富士山頂上測候所～いわき市内の出前講座会場～横浜市内の出前講座会場の合計3か所を同時にインターネットで、SKYPE を利用して、実験内容を双方向で送受信した。3G回線利用のため、画像や音声の途切れがあったものの、何を行っているかは明瞭にわかった。しかしながら、交信真っ最中に通信回線が突然切断されてしまったのである(通信会社の工事が入ったためであることが後程判明した)。 過去4回実施してきて、回線切断という事態に遭遇しなかったため、不意打ちであった。通信途絶の原因究明の中、時間が経過し、またバックアップへの切り替え判断と態勢も十分出来ていなかったため、地上会場のお客様、とりわけ子供たちには大変残念な

思いを持たせてしまった。

気象観測に関しては、前回山小屋のご主人とも面識を得られたので、今回の登山時にも気象記録計を山小屋に設置出来た。取得したデータは、気圧、気温、湿度の3種であり、期間中1分間隔で計測記録した。

2012 年夏の登山日程を資料1に、温度データを資料2に掲載した。

3. 気象実験

これまでに行った山頂での主な気象関連実験は下記のものである。

(1) マシュマロ

地上会場では、マシュマロのサイズを 1 気圧のもとで計測し、山頂側でも、同時にサイズを計測し、地上、山頂同じ物差しでサイズを計測・比較した。約 30mm の長さのマシュマロが、約 5mm ほど山頂側が大きかった。

(2) 浮沈子

地上で、浮沈子をビン内に沈め、密閉封入し、頂上へかつぎあげた。頂上で開封した途端、浮沈子が浮上した。

(3) シャボン玉

地上で石鹸液をガラス瓶に封入し、頂上で、瓶の蓋をあけたときに、シャボン玉が膨らんで出てくることを期待した。2011 年実施したが、うまくできなかった。

(4) 水の沸騰点の確認

測候所室内設置のインバーターヒーターで水を沸騰させ、デジタル温度計で、水温の上昇を目視観測した。およそ 89℃でそれ以上の温度上昇は見られなかった。この時、大気圧は、およそ 650hPa であった。

(5) スーパーボール

1.5m 高さからスーパーボールを落下させ、ボールが弾む高さを計測した。およそ 1m 上昇した。しかし地上との比較は、床面のボールの反発条件が異なるため、完全にはできなかった。

(6) 飛び上がり

地上会場からのリクエストがあり、室内で飛び上がってみた。個人の体力の問題もあり、月面での飛び上がりのような結果にはならなかった。

(7) カップラーメンを作る

上記の 89℃の熱湯で、問題なく食べられた。

(8) 粉末のスープ等

上記の 89℃の熱湯に溶かして、食べられた。

(9) 真空パックのご飯

電子レンジで加熱し、食べられた。

(10) 真空パックのカレー

電子レンジで加熱し、食べられた。

4. 地上会場での出前講座と実験

(1)出前講座 1

開催日時:2012 年7月 22 日午前 09:30～11:30

地上会場:東京都目黒区(中目黒青少年プラザ)

スタッフ: 登山(7名)、地上(東京会場5名)

通信: 音声と画像は3G回線を使用し、送受信した。適宜携帯電話で、頂上～地上間で、状況の連絡確認を行った。頂上と地上の中目黒会場とをインターネットで結んだ。

(2)出前講座 2

開催日時:2012 年8月4日、午後1:00～3:30

地上会場:いわき市湯本(福島パルシステム)、横浜市旭区(南希望ヶ丘ケアプラザ)

スタッフ: 登山(7名)、地上(いわき会場5名、横浜会場8名)

通信: 音声と画像は3G回線を使用し、送受信した。適宜携帯電話で、頂上～地上間で状況の連絡確認を行った。頂上と地上のいわき会場とをインターネットで結び、横浜会場へは、さらに、いわき会場～横浜会場の間のコミュニケーションがとれるよう回線網を構築し、3か所同時に画像と音声でコミュニケーションができるようにした。さらに、地上同士(いわき会場～横浜会場)を別回線でインターネットで結んだ。これは、頂上との通信にかかわらず、地上同士のコミュニケーションが取れるようにしたものであった。

5. 気象観測値について

2012 年 8 月 2 日～5日、気圧、気温、湿度を気象記録計で 1 分サイクルで計測した。

取得したデータのうち気温のみ、資料2にグラフ化して示す。気象庁のアメダスデータと対照してみると、高度に応じた気温差が明瞭であることがわかる。なお、測器の設置場所が太陽に面していた山小屋においては、昼間の気温が極端に高く計測された。これも一つのデータであり、メッセージでもある。計測期間における富士山を取り巻く雲の存在や天気との関連は今後の解析に待つ。

6. 来季へ向けて

限られたスタッフ、資金、器材、実験器材の運搬手段、スキルではあるが、特に3G回線については複数の異なる通信メーカーの通信機器を持っておくことが望ましい。障害時対応のため、事前に障害対応訓練を実施しておく必要を痛感したが、もともと障害フリーな出前講座プログラムにしておけば、通信上の問題が生じても、問題を軽減化できることとなったであろう、と後になって気づいた。また、言わずもがなのことではあるが、早期にプロジェクトを立ち上げ、関係者の事前の十分な検討と理解が必要と考える。山小屋等への気象観測測器の設置に関しては、夏季の繁忙期につき、極力迷惑のかからないようにしたい。

このプロジェクトは、関係機関、ボランティアで参加してくださった皆様の費用、時間、エネルギー等莫大なものによって成り立った。これに応えるべく、何とか、最小の努力で最大の効果を上げることができないか、評価の仕方を含め、議論が必要である。

メディア・広報等:

- 東京都目黒区の取材があり、翌日目黒区の Web に掲載された。
- 山頂で、静岡新聞、山梨日々新聞の実況取材があり、翌日の新聞に掲載された。
- JSTサイエンスアゴラ 2012 へ出展した。(2012 年 11 月、台場日本科学未来館にて開催)

謝辞:

2012 年夏のプロジェクトを実行するに当たっては、以下の方々に大変お世話になりました。

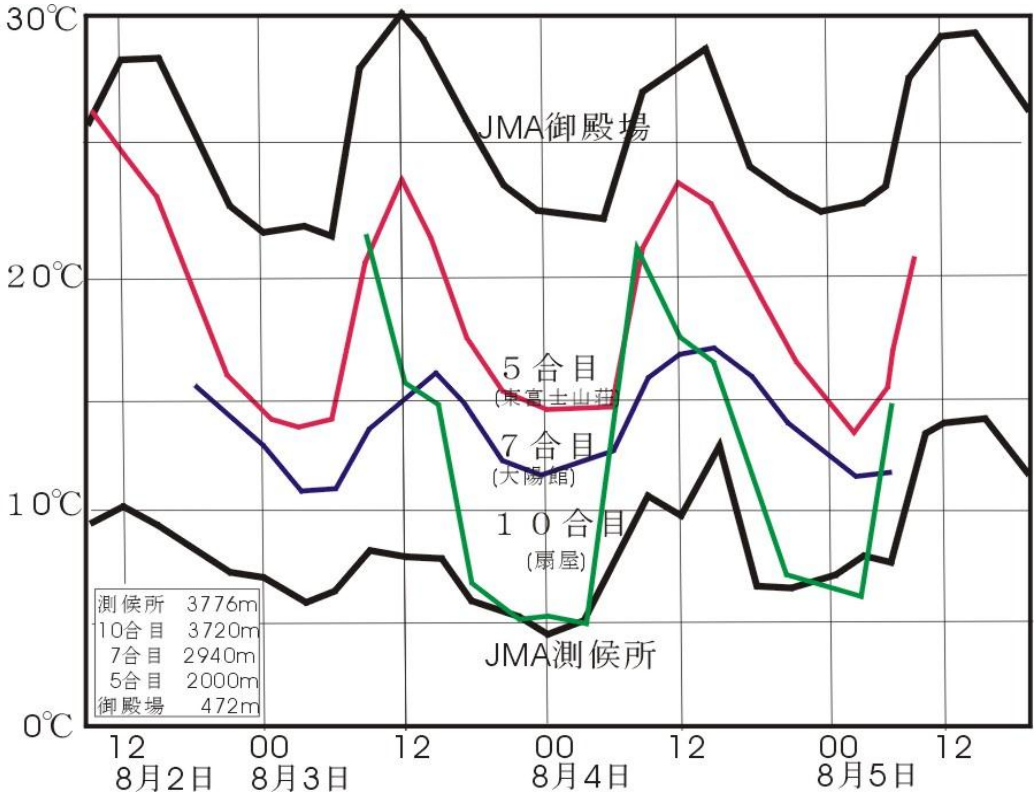
- 一般財団法人日本気象協会
- NPO法人富士山測候所を活用する会
- 放射線医学総合研究所
- 三樹工業
- 富士山山小屋等:5合目(東富士山荘)、7合目(大陽館)、本8合目(上江戸屋)、10 合目(扇屋)、そして、10 合目の浅間大社奥宮
- 横浜国立大学教育人間科学部気象学研究室
- 一般社団法人日本気象予報士会サニーエンジェルス
- 一般社団法人日本気象予報士会気象実験クラブ
- 一般社団法人日本気象予報士会

ありがとうございました。

資料1： 登山の日程および山頂での活動予定（2012 年 7 月＆ 8 月）

7/20(金曜)	8:10JR 御殿場バス、10:00 登山須走口5合目、15:00 大陽館宿泊
7/21(土曜)	4:00 登山、11:00 頂上測候所到着
	★頂上からの眺望実況中継(14:00--15:00)、
	★募集アイデア実験の実施＆実況放送(15:00-17:00)、測候所宿泊
7/22(日曜)	★頂上～地上の実験実況（9:30--12:00）、
	13:00 下山、須走口5合目 17:30。
8/02(木曜)	8:10JR 御殿場バス、10:00 登山須走口5合目、15:00 大陽館宿泊
8/03(金曜)	4:00 登山、11:00 頂上測候所到着、
	★募集アイデア実験の実施＆実況放送テスト(14:00-15:00)、測候所宿泊
8/04(土曜)	★頂上からの眺望実況中継(9:00--11:00)、
	★頂上～地上の実験実況（13:00--15:00）、測候所宿泊
8/05(日曜)	6:00 下山、須走口5合目 11:00 時

資料2. 富士山登山路における気温の連続観測



（山頂測候所及び地上の御殿場のデータは気象庁のアメダスデータを引用させて頂きました。）

*連絡先：佐藤　元（Hajime SATO）, camjsatoh@gmail.com

O-02:「理科準備室へようこそ」―富士山頂での教材開発―

古田豊　Yutaka FURUTA
学校法人立教学院　立教新座中学校・高等学校、Rikkyo Niiza Junior & Senior High School

1. はじめに

理科準備室として富士山頂を活用し、変化する自然環境に応じて教材開発を行った。自然現象と手づくり実験器具、理科実験装置とを繋げ、気圧、風、日照、放射線、身体、天体などの学びを促す理科実験教材を見いだす目的で、2012 年夏 3 回 7 泊 10 日間旧富士山測候所に滞在し、現象の確認と記録、試行実験を行った。

山頂での実験教材候補をもとに、高校生が学校で実験研究を発展させ、また教員が教材展開を行った。自然現象を体感しつつ現象を捉え、身の安全を図り、実験を工夫し、現象を理解する理科の学びの場として活用する旧富士山測候所は、理科教育において貴重なフィールドとなる。

2. 富士山頂の大気圧を利用した実験教材

(1) 新田次郎著『富士山頂』に描写されたヘリコプターの運搬重量を比べる実験として、「空飛ぶドラえもん　手回し発電タケコプター」（科学雑誌「ドラえもん　ふしぎのサイエンスVol.1」（小学館）の付録）に1円玉を複数枚取りつけ浮上実験を行った。約3,775mの富士山頂では約2g運べたが、海抜約35mの学校では約5g運べた。今後運搬重量の測定精度を上げ、手回し操作を改める手掛かりを得た。

(2) 紙製容器を高さ1.7mから自然落下させる実験を動画撮影した。この映像をもとに高校1年生4名が部活動で落下時間を測定し、高地と低地で対照実験を行った。その結果、重さ、大きさ、形の異なる4種の紙製容器の富士山頂での落下時間は、学校での落下時間の約86%であった。高校生によるこの実験研究は平成24年度埼玉県私学文化祭で発表し、佳作の評価を得た。

(3) 空気入りボールを自然落下させ、床で弾む実験を動画撮影した。

(4) ピンポン球をヘアドライヤーからの空気の流れの中に浮かす実験を動画撮影した。

(5) 山頂の空気を袋に詰めて下山し、ボイル・シャルルの法則を学ぶ際の測定例とした。

3. 霧箱による自然放射線の飛跡観察・記録実験教材

自然放射線の飛跡観察を3種の霧箱で行った。ドライアイス冷却式霧箱では飛跡出現条件を整えるまでに時間を要し、現象の記録例が少なかった。空冷式ペルチェ冷却型霧箱では飛跡の動画記録に複数回成功し、高度の異なる場所での対照実験へ繋げる展開が可能となった。

4.「風を釣る」、「風を聴く」手づくり実験教材の開発

「風を釣る」実験では、釣竿に吹き流しをつけ、釣糸の先に気体を封入したポリ袋をつけて、吹く風の中に釣竿を掲げ風向きと風の強さを体感し観察した。「風を聴く」実験では、吹く風の中に管楽器をかざし、音を聴いた。両実験とも、現象の録画録音方法に更なる工夫が必要であることが判明した。

5. おわりに

2012 年度夏に試行した実験教材をもとに、9 月から高校の部活動と高校物理の授業の中で展開した。2013 年 4 月からは「富士山実験」を名づけた高校理科選択授業を開講し、高校生が考案した実験アイデアも取り入れて旧富士山測候所を理科準備室としてさらに教育に活用する計画である。

謝辞

富士山での霧箱取扱上の留意点を伝えて下さった戸田一郎先生、小型ペルチェ霧箱SML-02を貸して下さった株式会社ナリカ様、下山時にご配慮を戴いた野口いづみ先生、浅野勝己先生に感謝致します。

活用報告

古田豊：富士山実験の振り返り　Study Nature　富士山実験の振り返り NPO 法人ガリレオ工房通信 1 月号,7　(2013)
古田豊：富士山山頂で霧箱を通過する自然放射線の飛跡観察　NPO 法人ガリレオ工房通信 11 月号,9　(2012)
古田豊：風を釣る、風を聴く　富士山山頂実験　NPO 法人ガリレオ工房通信 10 月号,14　(2012)

*連絡先：古田豊(Yutaka FURUTA)、furuta@nhss.rikkyo.ne.jp

O-03:富士山頂短期滞在時の安静および運動の動脈系血行動態に及ぼす影響に関する研究

岡崎和伸[1]、堀内雅弘[2]、浅野勝己[3]
1. 大阪市立大学、2. 山梨県環境科学研究所、3. 筑波大学名誉教授

1. はじめに

近年、登山ブームによって国内外の高峰への登山者が増加しており、それに伴い、登山中に急性高山病を発症するケースが急増している。急性高山病は、頭痛に加え、食欲低下や吐き気、全身疲労感や脱力感、めまいや立ちくらみ、睡眠障害のいずれかの症状がある状態である。通常、2,000m以上の高所に到着後、数時間から 3 日程で発症し、重症化すると肺水腫や脳浮腫を経て死に至る場合もある。また、滑落など登山中の事故の背景に潜む原因であることも指摘されている。急性高山病の原因は、高所への滞在による動脈血中の酸素分圧の低下であるが、その発症の詳細なメカニズムは未だ不明な点も多い。2010 年度および 2011 年度、我々は、富士山頂短期滞在時の研究から、動脈血中の酸素分圧の低下に起因した交感神経系の亢進によって、脳の血管の拡張と血流量の増加が引き起こされることを報告し、それらが頭痛や急性高山病の原因と考えられることを示唆した。今年度は、超音波ドップラー法を用いて脳への血流量を正確に測定し、富士山頂短期滞在時において、急性高山病を呈する者では、本当に脳への血流量が増加しているのかどうかを検討した。

2. 方法

1）被験者：成人男性 3 人とした。平地（御殿場、標高：500m）、富士山頂（標高：3,776m）到着の後、滞在 2～3 日目に測定を行った。

2）プロトコール：測定に先立ち、急性高山病の症状を急性高山病スコアによって評価した。仰臥位および立位安静時の測定をそれぞれ5分行った後、踏み台昇降運動を3分間行った。その後、仰臥位安静回復時の測定を 5 分間行った。踏み台昇降運動は、頻度 15 回／分、台高 30.5 cm であり、推定酸素摂取量は 17.3 $ml \cdot kg^{-1} \cdot 分^{-1}$ であった。

3）測定項目：心拍数（HR）、収縮期および拡張期血圧（SBP および DBP）、動脈血酸素飽和度（SpO_2）を 1 分ごとに測定した。左前頭部および右大腿（外側広筋）中央部の血行動態および酸素化動態を近赤外分光法（NIRS）によって連続測定し、組織酸素飽和度を示す組織酸素化指標（TOI）、および、組織血液量を示す組織ヘモグロビン指標（nTHI）を評価した。また、仰臥位安静時において、超音波ドップラー法を用いて左総頚動脈および椎骨動脈の血流量を測定した。

3. 結果および考察

仰臥位安静時の総頚動脈血流量について、3 名のうち、富士山頂到着後 1 日目より急性高山病の症状を呈した 1 名について詳細に検討した。御殿場では 276 mL/分であったが、山頂滞在 2 日目には 358 mL/分に増加し、さらに、山頂滞在 3 日目には 465 mL/分に増加した。このように、高所滞在によって脳血流量は増加するが、その増加は滞在 3 日目においても認められた。脳血流量の増加は、高所滞在による SpO_2 の低下に起因した心拍数および血圧の上昇、また、脳血管の拡張によって引き起こされ、高所での頭痛や急性高山病を引き起こす原因であると推察される。

4. 結論

富士山頂短期滞在時において、急性高山病の症状を呈した者では、脳への血流量が増加していた。

*連絡先：岡崎和伸(Kazunobu Okazaki)、okazaki@sports.osaka-cu.ac.jp

O-04:富士山の永久凍土再発見と今後の研究展望

池田　敦[1]、岩花　剛[2]、末吉哲雄[3]
1. 筑波大学、2. アラスカ大学フェアバンクス校、3. 海洋研究開発機構

1. 研究の目的・方法・経過

本研究の目的は、富士山の永久凍土の現状を解明し、その地温変化をモニタリングすることで、将来的に気候変化と火山活動の影響評価につなげることである。山頂部一帯で 2008 年から 2 地点の 3 m 深観測孔と 20 地点の表層（<1.2 m）の地温を通年で観測してきた。また、物理探査（非破壊の地下構造調査）、地温の高度変化の数値実験（感度実験）を行い、さらに 2010 年 8 月には深さ約 10 m の地温観測孔を掘削した。2012 年は、これまでに山頂域に設置済みの地温および微気象測器をメンテナンスし、観測を継続した。また、1969 年まで火山性地熱活動が地表面において特定できた地点で、新たに深さ 3.6 m の観測孔を掘削した。さらに山頂部における今後の地形変化を観測するために詳細な測量を実施した。10m深観測孔に関しては、落雷により観測初年度のデータが欠落したが、2 年度目になって通年の地温変動を示すデータが得られた。その他のデータも概ね無事に回収することができ、ほぼ前年度までと同様の傾向が得られていることが確認できた。

2. 結果と考察

火山礫層と溶結層の互層に掘られた 10 m 深観測孔では、深さ 1 m までは夏季に融解するが、その下には年平均地温が－3℃前後の永久凍土層が存在した。富士山では初めての永久凍土の通年観測記録が得られたことになる。地温がかなり低いことから、その永久凍土は近年あるいは近未来の気候変動によらず長期的に維持されるものと見込まれた（火山性の地熱活動が変化すれば、そのかぎりではない）。同地点は風衝地（雪が風で飛ばされ積もりにくい場所）に位置しているため冬季に効果的に冷却されることと、夏季の降雨浸透による熱伝達がほとんど生じていないことがその低温状態を形成していた。また、同様に風衝地にあり、わずかに北を向いた 3.6 m 深観測孔（1960 年代まで火山性地熱あり）では、季節的融解深が 70 cm と非常に浅く、浅層にはすでに火山性地熱の影響が残っていないようであった。その他、山頂北面や西面の深さ約 1 m の観測孔 2 地点でも同様の地温変動が観測された。

一方、同じく風衝地にある砂礫層中の 3 m 深観測孔では、2008 年以降、秋季に必ず全層が融点を上回った。とくに 9～10 月の大雨（台風等）に伴って深部で地温が急激に上昇することが観測され、年によっては地温が 0℃を大きく上回ることから、その地点には永久凍土が存在しないと考えられた。同様の昇温パターンは、別の 1.2 m 深観測孔や風背地 2 地点（3 m 深と1 m 深まで）でも観測された。融解期の地温変動が場所により 2 パターンに異なることは、難透水層の空間分布が不均一なためと考えられ、急激な昇温パターンが観察された地盤は、透水性が非常によいと思われる。その昇温パターンは、永久凍土が存在する寒冷地で観測されたものとしてはかなり特異なもので、富士山は世界的にみて降雨によりもたらせる熱量が非常に大きいこともおそらく反映している。

観測孔周辺の深さ 20 m までの電気探査結果（比抵抗分布）から、地下構造の異方性は水平距離 50 m 以内でも著しく大きいことが判明した。そのことは、富士山頂では‘あいにく’地表面の形態・構成物の類似性によって地下構造を類推できないこと、つまり永久凍土の平面分布の推定が難しいことを意味していた。ただし、次の理由で風背地は山頂直下でも永久凍土の存在に適さないと見込まれ、非永久凍土分布域に区分けが可能であった。山頂火口周辺の風背地 3 地点のいずれにおいても、初夏には相対的に遅くまで残る積雪によって地温上昇が抑制されていたが、冬季の積雪によって地温低下がそれ以上に抑制されていた。つまり、風背地となる北東向きから東向きの斜面と、吹きだまりとなる顕著な凹状地には、おそらく標高によらず永久凍土がほぼ存在しない。

北斜面 10 地点、南斜面 5 地点の風衝地の地温データは、各方位において地表面温度の高度逓減率が気温の逓減率と等しいことを示していた。また、南斜面と北斜面の地表面温度を比較すると、同

一標高の年平均地表面温度が北斜面で－2.5℃低かった。その温度差は日射量の差に起因すると考えられるので、地表面の方位と傾斜から日射量の年間ポテンシャルを計算することで、積雪がほとんど無視できる場合の地表面温度の空間分布は推定することができた。先に記したように、地下構造の異方性が大きいため、それのみで永久凍土分布を議論することは難しい。しかし、0.5 m 深の年平均値が 0℃を下回る標高が、北斜面において 3100 m にあり、対応する年平均地表面温度－1～－2℃の場所が永久凍土帯下限のひとつの目安になると考えられた（富士山のように、地表付近の温度勾配が深部に向かって正の場合、浅層の年平均地温が 0℃を上回る場所に永久凍土が存在する可能性は低い）。南斜面ではその温度帯が標高 3450～3600 m にある。また、永久凍土帯の下限は、降雨の下方浸透が生じにくい（＝昇温しにくい）地盤で構成されるはずであり、その下限の変動は気温変動に線形に応答すると予想される。測候所の気温記録から算出される積算暖度（夏季融解深の指標）は、1966～1997 年が 480±60℃・days（平均値±1σ）であったが、1998～2012 年の最近 15 年間は 580±50℃・days となり、90 年代後半を境に顕著な温暖化を示している。同じ期間の年平均気温の平均値を比較すると 0.7℃の昇温であり、それによって永久凍土帯下限は標高差 100 m 程度上昇する（現在、上昇中）と見込まれた。

3. 今後の課題

山頂部においては、地表面形態および構成物からは類推が難しい地下構造の異方性が存在することが明らかになった。とくに地表面における熱および水収支の差異が小さいと思われる地点間において、地下の異方性によって、降雨浸透による熱伝達が小さく低温の永久凍土を存在させる場合と、逆に降雨浸透によって深部が顕著に昇温し永久凍土が存在しない場合があった。そのため、今後、永久凍土分布の詳細を議論するためには、確率論的な考え方を導入する必要があると考えられる。つまり電気探査と地中レーダー探査といった異なる物性値を得られる探査法と 1 m 深あたりまでの地温観測を、数多くの地点で併用し、風衝地の何割が永久凍土の存在に適しているかを割り出す研究が必要になる（そのような研究はかなりの労力を要するため、すぐに実現可能というわけではない）。

また、降雨による季節凍土融解の定量化も課題である。山頂気温が正のときの山麓の河口湖測候所の降雨データを抽出し、そこからいくつかの単純な仮定をおいて降雨によって地表にもたらされうる熱量を計算すると、単位面積あたりのそれは日射によって 6～9 月にもたらされる熱量の1％に満たなかった。地表面における様々な熱収支を考慮しても、地表面において降雨がもたらしうる熱量はそれ以外の正味量の 10％未満と推定された。熱量の寄与は必ずしも大きくない降雨が、地温を大きく変動させる地盤の熱伝達過程を、今後、3 m深観測孔の夏季地温と、同時観測中の気温、日射量、降水量、湿度、風速からモデル化する必要がある。ちなみに概算上、山頂への降雨による熱量は、1966～1997 年の平均値に対し、1998～2012 年の平均値は 1.2 倍になっている（気温上昇とそれによる降雨期間の長期化をある程度、反映している）。

富士山の地形変化については、大沢崩れ下流の土砂災害対策の観点から重要視され、国交省が航空レーザー測量を複数回、実施し評価している。将来的にはそのデータを基盤に、地上レーザー測量によって観測頻度を上げ詳細な地形変化を検討し、季節的凍結融解あるいは永久凍土融解が岩盤の破砕にどのように寄与するか定量化できる可能性はある。

参考文献

池田　敦・岩花　剛・末吉哲雄 (2012) 富士山高標高域における浅部地温の通年観測―永久凍土急激融解説の評価も含めて―. 地学雑誌 **121**、306-331.

岩花　剛・池田　敦・福井幸太郎・斉藤和之・末吉哲雄・原田鉱一郎・澤田結基 (2011) 富士山頂における 3 m 深地温測定 (2008–2010 年) ―永久凍土の存在確認と長期変化把握に向けて―. 雪氷 **73**、119-131.

*連絡先：池田　敦 (Atsushi IKEDA)、aikeda@geoenv.tsukuba.ac.jp

O-05: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

安本勝[1]、佐々木一哉[2]、高橋浩之[1]、中村安良[3]、大胡田智寿[4]、土器屋由紀子[4]、鴨川仁[5]
1.東京大学、2.東海大学、3.茨城県立土浦工高、
4.NPO 法人「富士山測候所を活用する会」、5.東京学芸大学

1. はじめに

富士山測候所を活用する会では富士山測候所の特徴を生かした様々な観測・研究を実施している。その充実をはかるため、通年の安定な電源確保は必要であり、そのため、山麓からの通常電源以外に太陽光発電等自然エネルギーも活用した電源確保を予定している。将来的には全てを自然エネルギーで賄う予定である。しかし、富士山測候所の落雷頻度は高く、安定な太陽光発電等の電源確保のため、また安定な観測・研究を可能にするためにも外部観測機器等への落雷対策は必須である。

既に富士山測候所（以下、測候所）の雷対策上の問題点を明らかにし、雷対策方法を提案した。具体化には手間暇、大きな費用が伴うため、実施には高い優先度が必要であり、関係者の援助や理解を得ることが必要である。また効果的な雷対策を進めるため、落雷電流の大きさ等の実態を知ることは重要である。今まで落雷時のすさまじい実態は伝え聞きしているがどのようなものか実際に定量的に把握されていない。その落雷電流の実態を知るため、本年度は山麓からのケーブルに冨士山測候所の落雷電流の大半が流れることに着目して、そのケーブル用雷電流測定器を開発し冨士山測候所落雷電流の観測を実施した。実施した結果、1 ヶ月半ばかりの夏季観測器間に測候所への落雷は無かったが、周辺の雷現象を捉えていた。開発した雷電流検出器、及び新たな雷観測手段にもなり得るその一連の雷観測内容について報告する。

2. 山麓からのケーブルの構成と雷電流路

2-1 測候所落雷電流路

富士山測候所は、3776mの剣ヶ峰(緯度 35.4, 経度 138.7)にあり、建物基礎は導電性の低い熔岩堆積物のため、建物基礎以外にも接地極を設けたり、また導線を引き下げるなど接地抵抗値を小さくするようにしているが、小さくできず大きい。一方、山麓からの接地線が測候所と繋がり、山麓側の接地抵抗は 10Ω以下である。そのため、測候所への落雷電流の大半は山麓側に流れる。

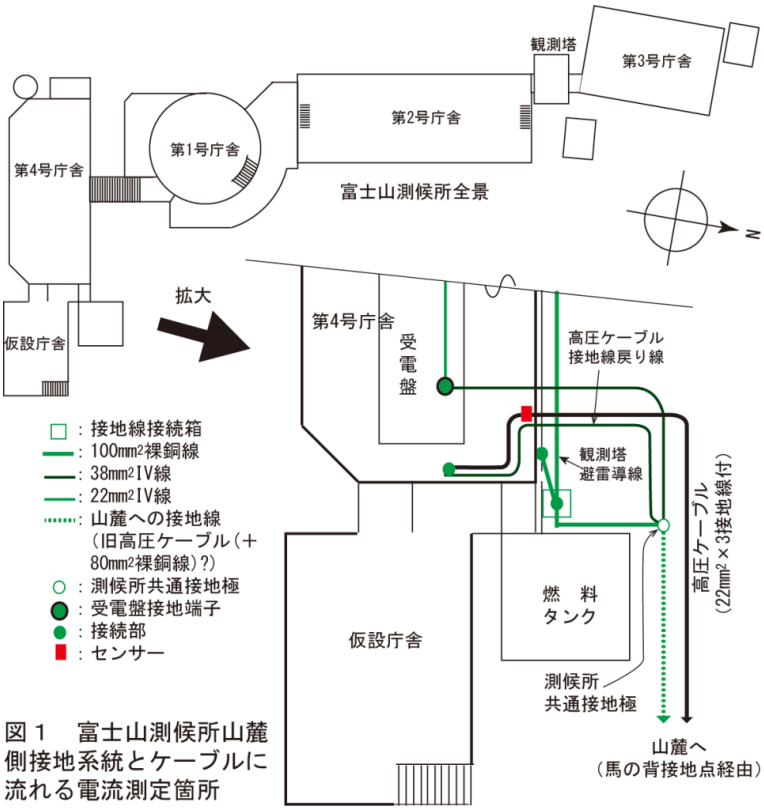


図１　富士山測候所山麓側接地系統とケーブルに流れる電流測定箇所

また、熔岩堆積物上のため、建物基礎の接地抵抗も小さくできず、測候所に流れる落雷電流にも影響する。基礎から大地に逃がすことができないため、測候所内を流れる落雷電流は、落雷点から山麓側共通接地極に、電流路抵抗の逆数に案分され流れる。理想的にはファラデーケージを構成し、外表面を通して山麓側に流れることが好ましいが、接地系統を構成する接地線や屋根・外壁の構造材の接続状態は不十分である。そのため、主に低抵抗にして流路を確保している接地線に流れるが、一部は測候所内に配線された接地線に侵入して流れ、山麓側にある共通接地極に流れている。

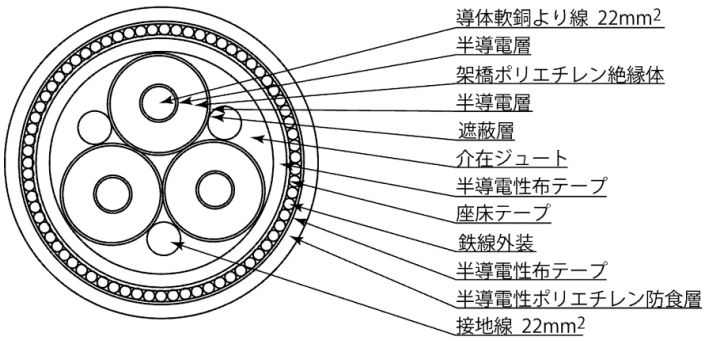


図２　富士山測候所引き込みケーブル
架橋ポリエチレン絶縁ポリエチレンシース一重鉄線外装ポリエチレン防食ケーブル

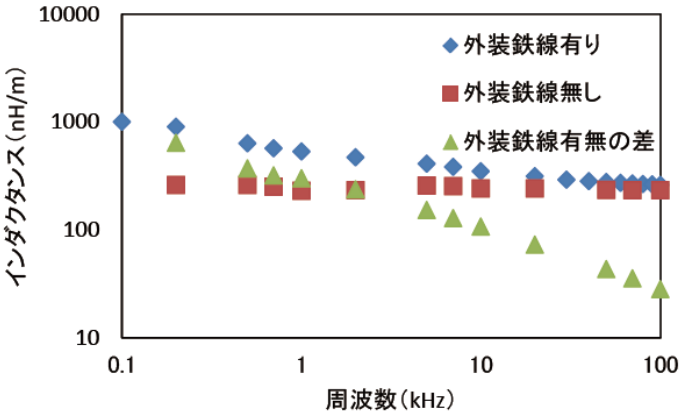


図3 模擬外装鉄線有無のインダクタンスの周波数特性

2-2 引き込み部分の山麓からのケーブルと接地線の構成

富士山測候所の高圧ケーブル及び接地線（以下、ケーブル）の引き込み部分は図 1 のようになっており、変電室のある南端の第 4 号庁舎に引き込まれている。使用されている高圧ケーブルは図2の構成の外装鉄線ケーブルである。遮蔽層のある 3 本の高圧線の導体は 22mm^2、3 本の接地線も 22mm^2 で、全体を外装鉄線で保護し最外装はポリエチレン防食層になっている。外径は 56mm になっているが、引き込み部では補強してあるためか径は若干大きく 61 mm である。高圧線の遮蔽層と接地線は絶縁物を介在させていないため接続状態にあると見なされる。測候所の山麓からの電力供給はこの 3 本の高圧線から三相電力の供給を受けている。接地系統は高圧線ケーブル内接地線のみではなく、旧高圧ケーブルの流用と旧来からの裸銅線（記録では 80mm^2 とされているが、現規格では存在せず、記録誤りで、60mm^2 の可能性もある。）で構成されていることになっている。しかし、裸導線は馬の背の接地状態の調査では確認されておらず、現在は使用されていないようである。現在の接地系統は、基本的に現使用高圧ケーブル内の接地線と接地線に流用した旧高圧ケーブルで構成されているようである。ただし、裸導線を積極的に取り外しているのではないため、所々接続状態になっていると推測している。

測候所の共通接地極は、図1に示す山麓からのケーブル引き込み部分の手前に設けられている。

2-3 測候所引き込み口受電部高電圧回路

測候所の引き込みは、図4に示す構成になっており、真空スイッチ、断路器、遮断器を通して変圧器の高圧側に接続されている。引き込み高圧系統は接地系統とは避雷器を通して接続されている。測候所では、被雷の可能性が高まったとき、電源のダメージを避けるため、高圧系統を切り離している。この操作はオイル遮断器（OCB）を開放し、次に真空スイッチ（VS）を開放にする。この操作により、雷対策を実施した時間帯は測候所の高圧電源系統は真空開閉器で切り離された状態になる。

遮断器操作時は負荷電流が流れている状態であり、一方距離長があるため、山麓側のインダクタンスも無視できない。遮断操作時にその負荷電流を遮断するが、インダクタンスによる電流変化を保持しようとするいわゆる慣性効果が現れる。このためにサージ電圧が発生し、避雷器を作動させ、サージ電流を流す回路を構成することになるものと考えられる。

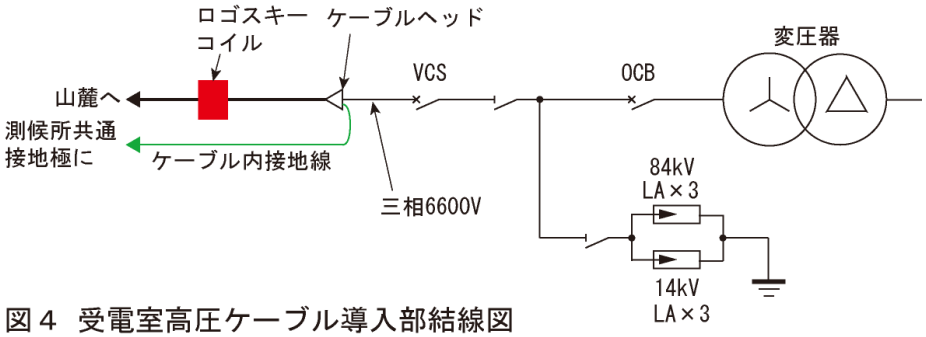


図４　受電室高圧ケーブル導入部結線図
襲雷対策時、先ずOCBを開放し、次にVCSを開放にする

2-4 電力供給線、及び接地線と接地

電力供給線は、電力ケーブルを使用した埋設部分、及び架空線部分に分けられる。接地線もそれぞれに対応した施工が行われている。埋設部分の総延長は 6764m、電柱による架空部分の総延長は 3930m である。埋設部分の接地線は、高圧ケーブル内接地線、旧高圧ケーブルからなる。以前は裸導線も使用されていたが現在は使用されていないが、撤去されているわけでは無く、現在も接続状態になっている個所が残っていると考えられる。架空部分は 1 号柱から 73 号柱までの 73 本の電柱で構成されている。電力供給線とそれを保護する架空地線と電柱埋設部に連なる 38mm^2 裸銅線による埋設地線がある。電柱の高さは地上高約 10 m であり（パンザーマスト R39）、架空地線の高さは、ほぼこの電柱の高さになる。

接地は、埋設ケーブル部分では 10 箇所で実施されている。架空部分では、電柱間で1接地棒を設け埋設地線に接続されている。途中5箇所の電柱で複数の接地棒で接地され、架空地線と接続している。

土質は低抵抗が得にくく一箇所当たりの接地抵抗値は大きい。例えば 2007 年に調査した測候所に最も近い経路(約 300m の距離)にある馬の背ハット接地の接地抵抗は、径 10 m、70mm^2 の環状線に 21 本の 70mm^2 導線が接続され放射状に敷設されているが、それでも 120Ω しか得られないことが報告されている。これは土質の関係によるもので施工部分全般にあてはまり、そのための対策として多数の接地がなされている。

埋設部分の接地線は、架空部分の架空地線と埋設地線に繋がり、東京電力の責任分界点では東京電力側の架空地線に接続されている。従って、接地線は東京電力側の網の目状になっている架空地線に接続されていると考えられる。

3. ケーブルの雷観測電流の測定方法

3-1 ケーブル電流の測定方法

ケーブル電流はケーブル寸法に合わせ設計製作した図5に示すロゴスキーコイルにより検出した。内径 0.0645 m,外径 0.105 m、平均径 0.085 m コイル断面積 7×10^{-4} m^2、および巻数 60 である。ケーブル同相電流は、このセンサーを図 1 中■の位置に設置して測定した。観測系測定器は、ケーブルに流れる電流に比例する信号電圧が得られるように設計した。

被測定電流に比例するロゴスキー出力の検出方法は、①被測定電流が作る磁場による微分出力電圧を積分することで求める方法、および②ロゴスキーコイル出力電流がロゴスキーコイル自己インダクタンスで決まるようにして得られる比例する電流を測定する方法がある。本測定は前者の方法を採用している。

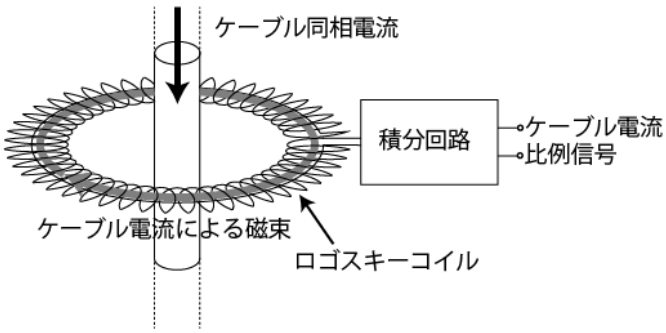


図５ ロゴスキーコイルケーブル電流検出器

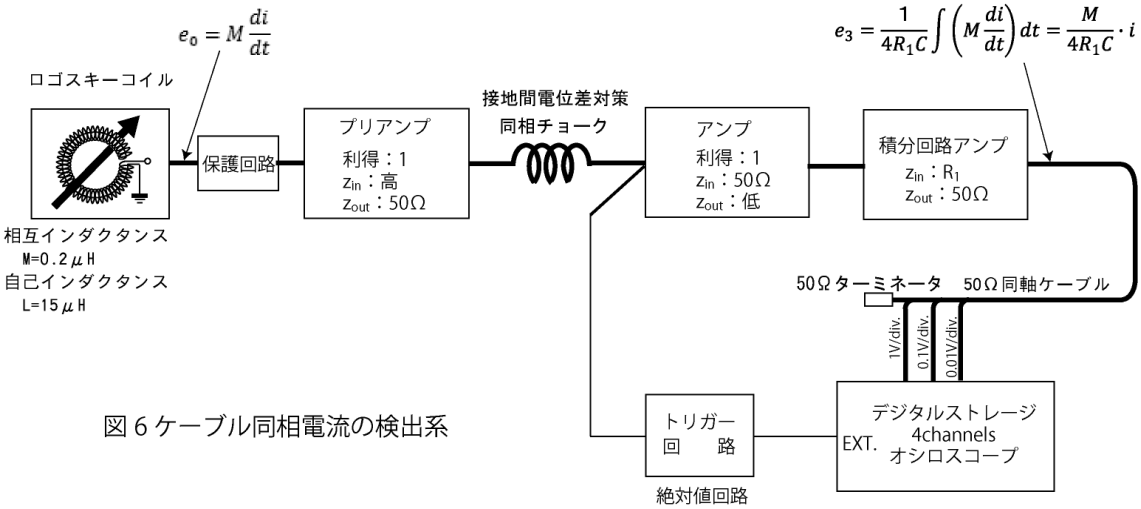


図 6 ケーブル同相電流の検出系

測定系の回路構成は図6の回路構成になる。ロゴスキーコイル出力電圧を取り出し、その出力電圧を積分する回路で構成している。出力電圧は次式になる。

$$e_3 = \frac{1}{4R_1C}\int\left(M\frac{di}{dt}\right)dt = \frac{M}{4R_1C}\cdot i \qquad (1)$$

ケーブルとロゴスキーコイルの相互インダクタンス M、積分回路の入力抵抗 R_1 、および積分コンデンサーC、各定数の各定数の設計値は、0.2 μH、10 kΩ、および 2 nF である。この条件を式に代入することで被測定ケーブルの単位同相電流当たりの出力電圧は 0.25 V/A になる。積分回路の積分コンデンサー並列抵抗は 10 MΩとし 1 ms 程度までの十分遅い現象まで観測可能にした。

伝送路には特性インピーダンスが 50Ωの同軸ケーブルを採用し、検出器側アンプ出力インピーダンスと観測部積分回路入力インピーダンスは同軸ケーブルの 50Ω特性インピーダンスと整合させるため 50Ωとし、検出部と観測部とを接続する同軸ケーブルには、それぞれの接地系統には速い周波数成分の電位差が生じることを前提にして、その電位差を吸収する接地間電位差対策用同相チョークを入れた。ロゴスキーコイル出力電圧はケーブル電流の微分値が得られ、それを積分回路で積分することでケーブル電流に比例する出力電圧が得られる。

ケーブル電流の観測は 4 チャネル・デジタル・オシロスコープを用い 1 チャネルを外部トリガー用に使用し、残り3チャネルを 1V/div.、0.1 V/div.、0.01 V/div.で測定することで3桁を超える広範囲の電流測定を可能にして使用した。電流に換算するとそれぞれ 400 A/div.、40 A/div.、4 A/div.になる。

トリガー回路は、微分出力の絶対値をとることで正負いずれの極性の信号に対してもトリガーできるようにした。

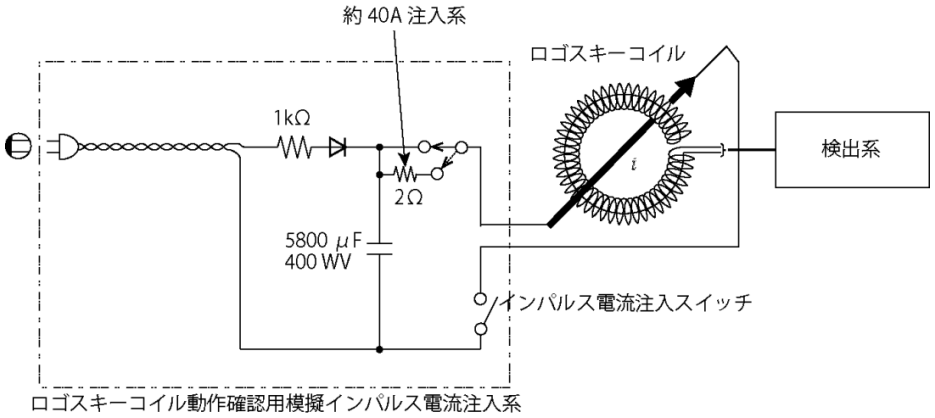


図 7 簡易インパルス電流注入試験器

3-2 簡易インパルス電流注入試験器

動作チェック用として、簡単なインパルス電流注入試験器を制作した。100V 電源を半波整流し 1kΩの高抵抗を通して大容量コンデンサに充電してそれを短絡させることで大きなサージ電流を作り出すようにした。図7は簡易インパルス電流注入試験器の回路構成と回路定数である。大容量コンデンサーは廃棄部品を再利用した。

3-3 雷電流検出器収納ケース

検出器に収納ケースを設けた理由は二つある。先ず、①静電誘導結合による影響を避けること、次に②ケーブル外接地線をまとめ全接地系統の電流を求められるようにすること、である。また構成に際しては検出器の電磁誘導結合に影響を与えないようにするため、収納ケースは循環路を構成しない形状、例えば「コ」状をケーブルの周囲を円周上に回転させた構成にしなければならない。図8はこれを実現した構成である。

接地系統は高圧ケーブル内の接地線だけでは無く、別に 2 系統存在することを想定し、これらの系統も接続して一括できる工夫をしている。しかし、この2系統はまだ不明で有り接続できない状態になっている。高圧ケーブル内接地線のインダクタンスは、昨年度測定結果で 88μH(測定周波数:2.4kHz)を得ている。このインダクタンスの存在は、高圧ケーブル内接地線が循環路の一部であることを示している。図3の模擬外装鉄線のインダクタンスと山麓側約 300m の距離にある馬の背ハット中継点で接地系統が一点に接続されている場合に予測される循環路の値に近く、循環路を構成していることに妥当性を与えるものと考えている。従って、ケーブル内接地系統とは別に少なくとも1接地系統は別に存在している。

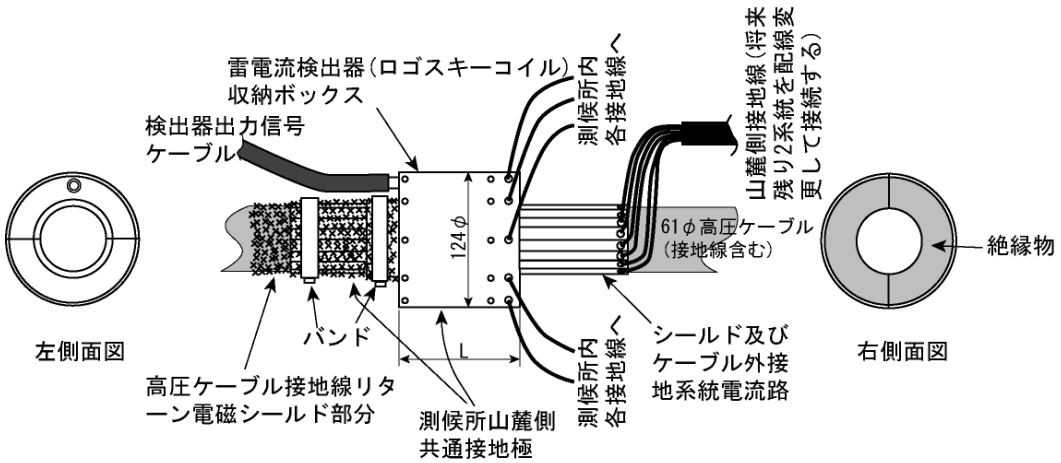


図８ 雷電流検出器(ロゴスキーコイル)収納ケースと結線

3-4 観測系の停電対策

測候所で取られている落雷対策は、雷雲の動きから被雷しそうな期間、高電圧ケーブル引き込み口の遮断器を切る対策をしている。停電期間、重要な電気機器は自家発電に切り換えるが、その区間は停電することになる。観測系は自家発電に切り換えているが、切り換え区間停電するため、常時インバータ出力による完全な無停電 UPS 電源から電源を確保するようにし、また停電時間が長時間になることも想定して、UPS 電源の容量も勘案し、観測系使用電力は 6 時間の停電でも観測できるようにした。

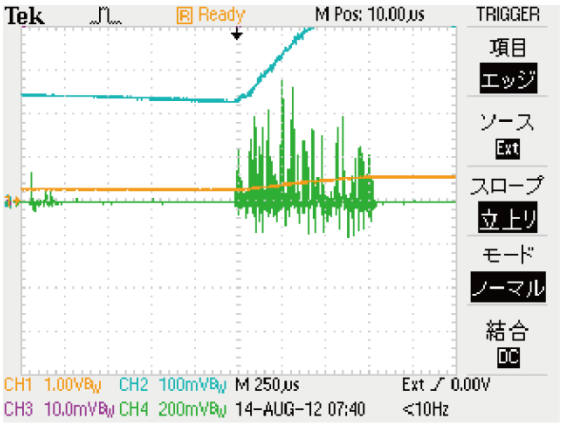
3-5 観測方法

富士山測候所への落雷は、ここ数年間夏季には無い。自動観測を予定していたが間に合わず、落雷に遭遇したときは頻発し観測が間に合わないものと予想されたが、予備的な観測と言うことでマニュアル観測でも十分と考え実施した。マニュアル観測は、ケーブルにサージ電流が流れ、観測に記録された場合、観測表示が現れ、そのことに気がついた時点で観測をUSBメモリーに記録し、測定器のリセットを行うことで引き続き次の観測が行われる。観測記録画面中の時刻表示は、USB メモリーに記録した時の時刻になるが、記録時刻は実時間よりも5分遅れたオシロスコープのクロックが表示されている。

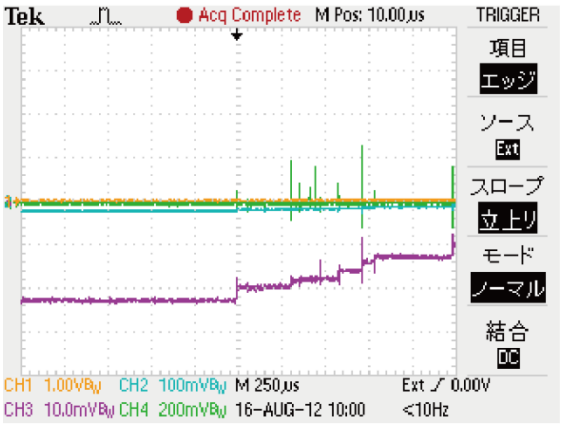
オシロスコープに観測されたときのこの一連の操作は山頂班の方にお願いした。測候所落雷電流を観測するため、雷雲が近づき測候所避雷の可能性が高くなると電源系統保護のため、遮断器を落としているが、そのときにゼロ相電流が流れオシロスコープに記録されてしまう可能性が高いため、リセットしないとその後の測候所落雷電流が観測されなくなってしまう。これを避けるため、遮断器を動作したときには必ずオシロスコープに観測記録表示が現れているか見てもらった。観測されている場合、観測波形を USB メモリに記録しリセットしてもらい、その他は随時見ていただくことをお願いした。

3-6 正確な測候所被雷電流の校正

注目している測候所被雷電流測定箇所は、被雷箇所によらず測候所の被雷電流が測定できる山麓からの接地線・ケーブルである。しかし、山麓側に流れる電流から正確な落雷電流を知るためには測候所での落雷電流を知り、そのうちどの位が山麓側接地線に流れるかを知る必要がある。この方法として測候所によく避雷する観測塔避雷針に流れる落雷電流を測定し、それを真値とし、そのときの山麓側接地線に流れる電流を同時に求めることで、両者の等価回路とその定数を決定することができる。これが決まると山麓側ケーブルに流れる電流を求めるだけで正確な測候所の被雷電流を求めることが可能になる。今回は間に合わず実施できなかったが、次年度以降の課題である。

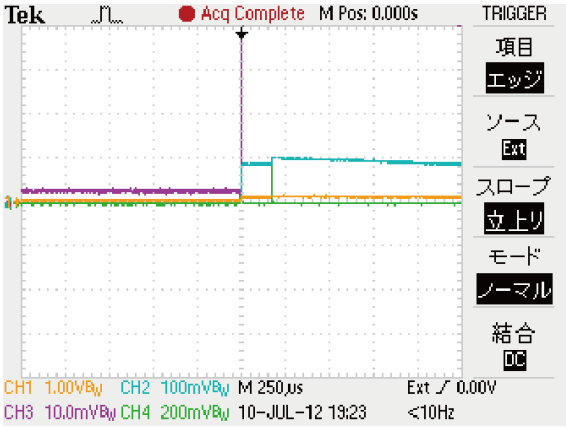


(a) 測候所側VCB遮断時の観測波

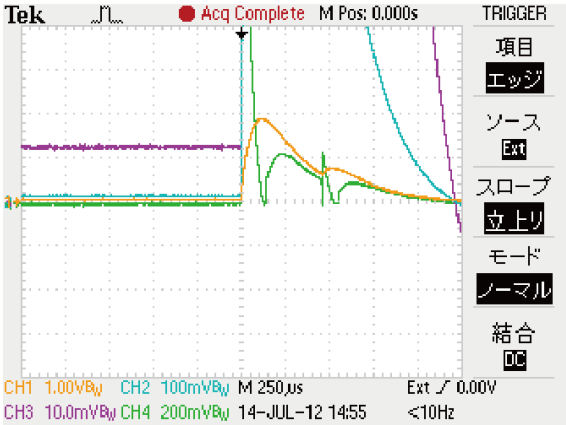


(b) 小動物による停電時観測波形

図10 高電圧電源遮断時ケーブル同相電流観測波形



(a) 約40A注入電流観測波形



(b) 最大注入電流注入時観測波形

図９ 簡易サージ電流注入器による観測波形

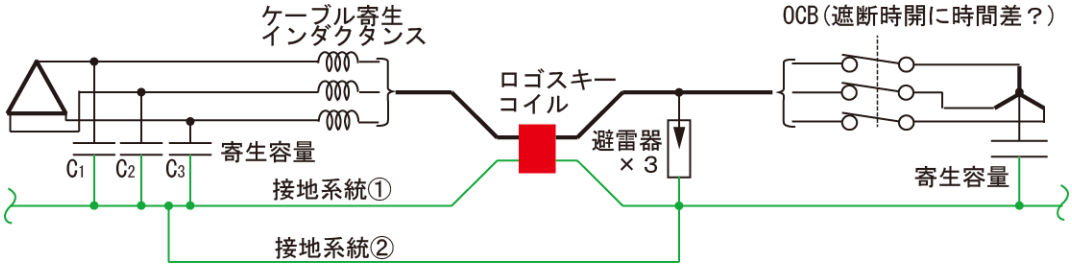
4. 観測結果・考察

4-1 観測系のチェック

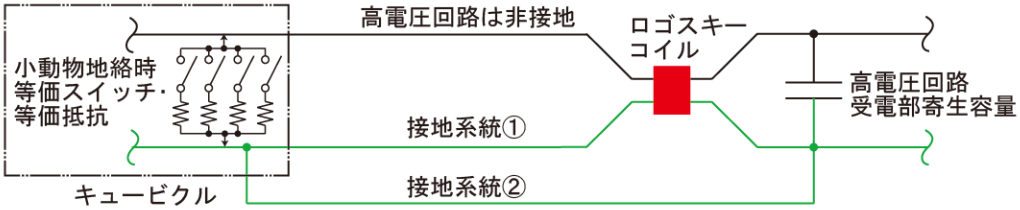
最大インパルス電流は、コンデンサーの最大充電電圧は約 80V になるがそのコンデンサー両極端子を短絡させることで得た。最大充電電圧は整流後の直列抵抗をコンデンサーリーク抵抗が無視できないほど大きく取っているため、理論上得られる値よりも小さくなっている。また 40A のインパルス電流は、80V に充電したコンデンサーを 2Ω抵抗を入れて放電させることで得た。それぞれの電流

をロゴスキーコイルに流してチェックした。40A インパルス電流を加えた結果は図9(a)で、最大インパルス電流を加えた結果は図9(b)であった。またこのインパルス注入試験器は測候所に観測系をセットした直後、また、撤去直前にも正常に動作することを確認するために使用した。

4-2 電源遮断および地絡事故時に観測された電流



(a) OCB遮断時、回路不平衡による同相電流が流れる。



(b) 小動物地絡時に流れた同相電流

図11 高圧電源遮断時に流れるケーブル同相電流の等価回路
電源周期は観測時間幅よりも十分大きく、一定と見なすことができる。

（1）OCB 遮断時電流　測候所の避雷対策に雷雲が近づいたとき、山麓からの高圧電源の遮断を行う。この操作は図4に示す引き込み部分にある OCB 遮断器で先ず遮断し、次に VS 遮断器を動作させる。図 10(a)の観測波形は OCB 遮断時の観測波形と考えられる。図 10(a)はトリガー動作前に既に約 100A 流れており、トリガーしてから電流は上昇し 750 μ s でほぼ一定の約 200A になっている。先行する約 100A を流す現象がなぜトリガーにかからず測定できなかったか不明であるが、たまたま誤動作でトリガーにかからなかったものと推測される。測定結果を説明する等価回路は図 11(a)になる。もしこの電流全てがケーブル内接地線に戻り流れるならばケーブルを流れる同相電流は発生しない。たまたま、別の接地系統②があるために、ケーブルに同相電流が流れるようになり、図 10(a)の電流が観測されたものと考えられる。観測された電流は一部が別の接地系統に分流しているものを観測したものであることを考慮すると、電源に起因する発生電流はさらに大きなものだったと考えられる。しかし、負荷を考慮したとき、高圧電源に流れる各線の電流は大きくても数十 A と考えられ、遮断電流はこの電流を維持しようとして避雷器や不平衡寄生容量を通して流れるはずで有り、100A は大きく、直接遮断から生じたものとは考えにくい。図 11(a)の等価回路から、OCB で遮断したとき、OCB の 3 回路の遮断が時間差を持って動作したとすれば、最初に 1 回路の遮断がトリガー時間前の約 100A の観測波形でトリガー後が 2 回路目の遮断による観測波形であると考えられる。いずれも回路の不平衡静電容量によって接地系統に流れるようになった電流と考えられる。接地系統にサージ電圧源ができていると大きな電流が流れる場合があり、この回路の存在も疑う必要がある。例えば、引き込み口の接地系統である高圧ケーブル内接地線と旧高圧ケーブルは循環路を構成し、その循環路は高圧ケーブル外装鉄線を一巻きした循環路を構成している。遮断時に生じる電源同相電流により作られる外装鉄線の磁束変化で生じる発生起電力によるものの可能性も考えられる。原因を明確にするため、次年度 OCB 遮断を実施し確認する必要がある。なお、図 10(a)の観測波形は Ready 状態であるが、先にリセットボタンを押した操作ミスにより生じたと推測している。

（2） 地絡遮断時電流　　東京電力との責任分界点にある 1 号キュービクル内で小動物による地絡事故により停電が生じた。この時の観測波形は動作時間から 1 号キュービクル内の遮断器の遮断動作を観測したものでは無く、小動物の地絡時の電圧喪失時に流れる同相電流によるものと考えている。図 10(b)の電流観測波形は、小動物の動きによって階段状の電流変化になっており、最終値でも流れる電流は約 3A である。この等価回路は図 11(b)で表すことができる。高電圧回路が非接地のため、地絡すると対地静電容量通して電流が流れるが、その値は地絡状態の進展に対応した地絡抵抗の減少に対応し流れることになる。地絡抵抗が階段状に小さくなった結果、階段状に電流が増加したものと推測している。この電流は高圧電源線、及び接地系統①と②の全てをロゴスキーコイルで測定するようになっている場合には検出されない。ちょうどそのうちの一部が図 11(a)と同様にロゴスキーコイルを通らず図 11(b)の接地系統

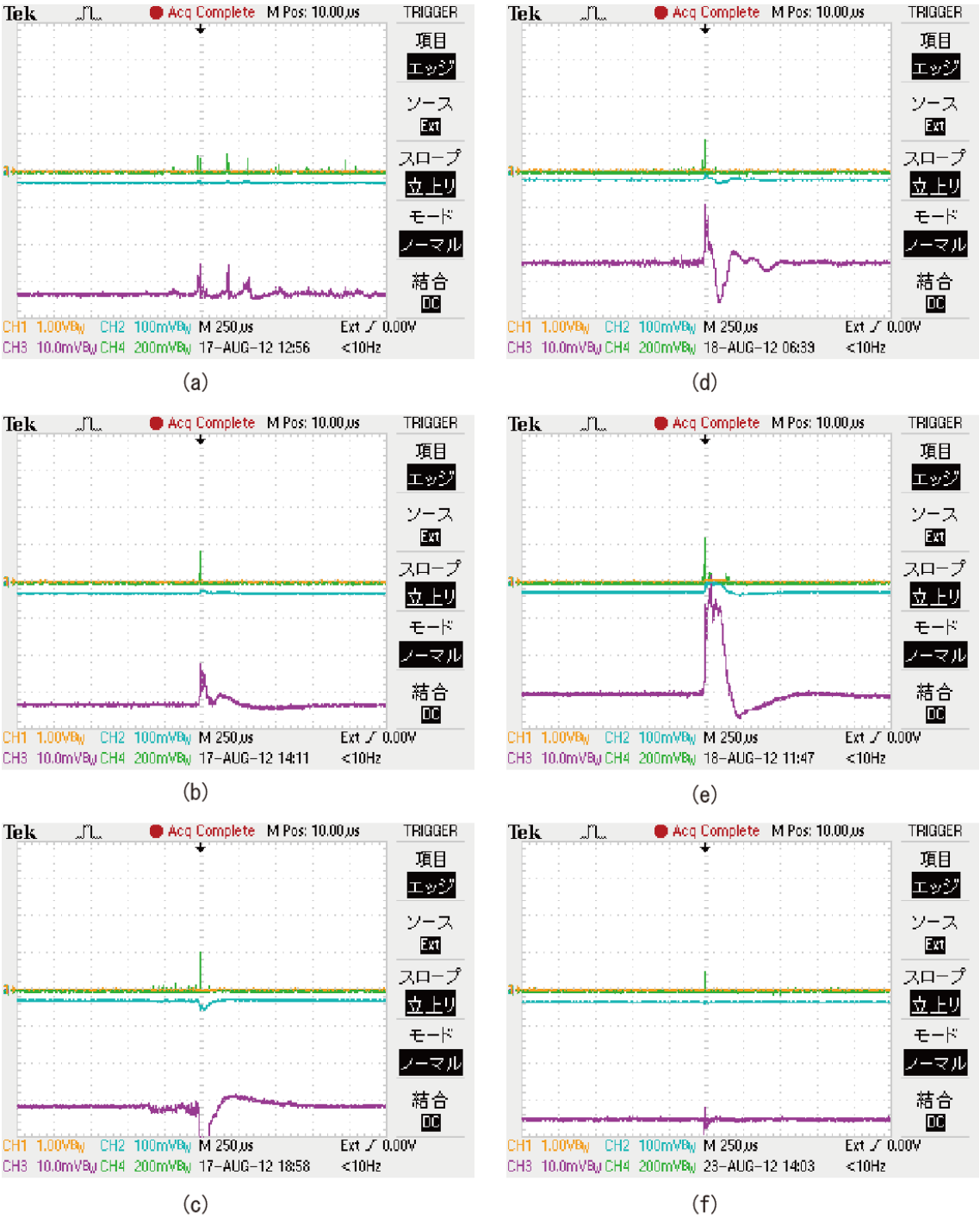


図12　雷現象を捉えたケーブル同相電流の観測波形例

②に流れたことにより、ケーブル同相電流としてロゴスキーコイルで検出されたものと推測している。

電源遮断時の電流波形は、オシロスコープ画面時間幅が 1.25 ms であることを考慮すると、電源周波数が 50Hz で周期は 20 ms と長いため、いずれの観測結果も、等価的に各相に直流の電圧・電流が流れているときに生じる現象として捉えることができる。

遮断器動作時および地絡時に生じた同相電流を観測できたことは、高電圧ケーブル内接地系統以外にも別に接地系統が存在し、分流していることが幸いしていたものと推測している。もし一緒になっていた場合には理想的には測定できない。現実には僅かな不平衡により測定できる可能性はあるが、できても小さなものになっていると推測される。逆に、ケーブル同相電流検出は、接地系統に戻り回路を構成しないようにすることや意図的に分流し、高圧電源異状による電源同相電流がケーブル同相電流として現れる回路を作ることで高圧電源系統の異状の検出にも応用できることを示している。

4-3 観測された雷現象

落雷や雲間放電が無いとき、観測系は動作せず、雷現象が生じているときに動作し、撤去時の動作確認試験でも正常に動作していることから、観測期間中、観測系は正常に動作していたとみなしてよい。

測候所に被雷は無かったため、直接の落雷電流の測定はできなかったが、周辺の落雷現象により生じたケーブル・接地系統に流れる電流が観測されていた。図 12 は、観測結果の一部の観測波形である。

雷現象を捉えた観測波形の一般的特徴は、①10A 以下の大きさであること、②形状は一つを除き全て正に振れていたこと、③アンダーシュートがあるものが多いこと、④現象は大きなものでも 500 μs 以内で終えていることである。①は、接地抵抗が数百Ωであることを考えると接地線には数 kV 程度未満の電圧が加わった場合の現象と考えることができる。また接地ループを考えるとループインピーダンスは数 kΩ 以上あると考えるとループの誘導起電力は数 kV 以上発生しているものと考えることができる。②は、負極雷であることを考えると予想されるところである。③は誘導雷による現象であることを示しているものと考えることができる。④は落雷等の放電現象の持続し時間を示している。

図 12 は観測された波形の内、特徴的なものを観測順に並べた。(a)は多数のインパルス状の電流が観測されたものである。(b)は複数の雷が重畳したものと考えられる。(c)は観測波形の中で唯一負に振れた

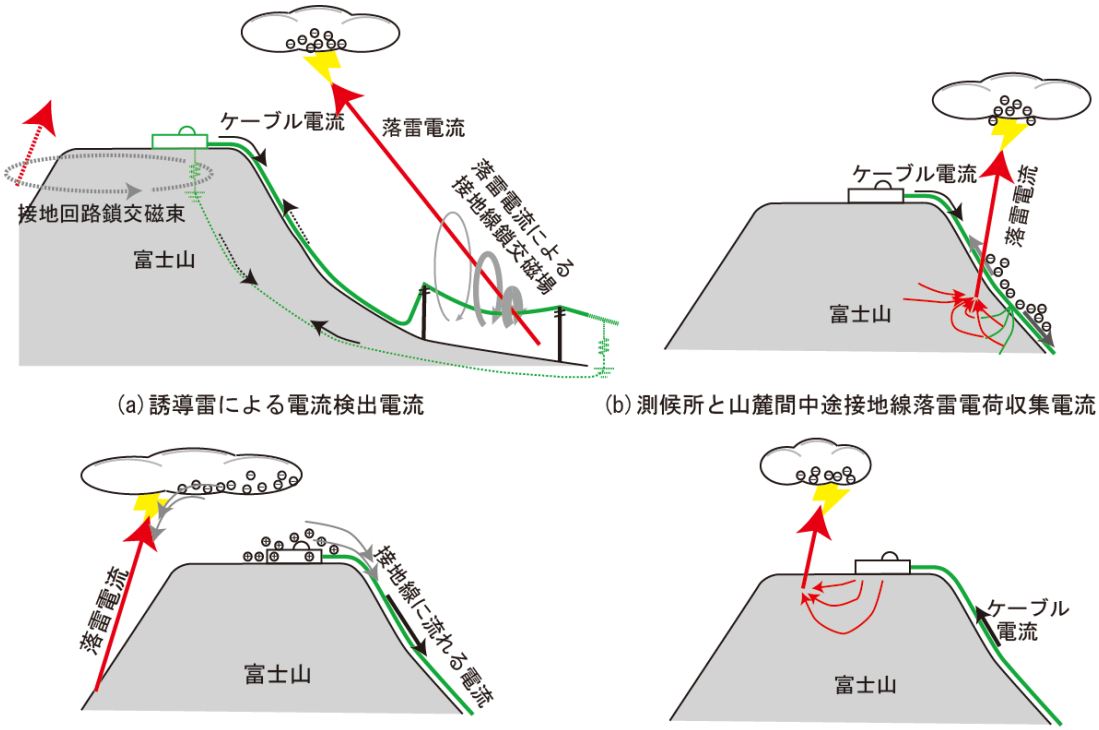


図13 観測ケーブル電流が起因する雷現象モデル
→：落雷電流、→：ケーブル電流、→：電荷移動方向

ものである。(d)は複数の雷が重畳した結果と考えられる。(e)は一発の落雷等放電によるものと考えられるが、入手雷情報エリア内に対応する雷現象は無い。(f)は小さいが天候が良い日が続いているときに観測されたものである。

観測波形には通電中と停電中との差、すなわち通電中に現れると思われる電源系統の避雷器動作の痕跡は見られなかった。従って、電力系統を流れる同相電流は観測されていないことになる。これが無いと言うことは大半の雷現象により流れる同相電流は接地系統を流れていたものと考えることができる。この現象は、多くの測定を得て通電中と停電時の有意な違いがあるかどうか比較することでより、明確にすることができる。

ケーブルの同相電流、主に接地線を流れることによる生じる電流の発生機構は、色々と考えることができ、ここでは図13の(a)～(d)のメカニズムを想定している。落雷等の放電による雷電流の矢印は電流の正方向である。太平洋側では負極性雷が一般的であるため、図では負極性を基準に考えている。従って雷電流の矢印は電荷移動方向と逆方向になる。 (a)は、落雷等放電路に流れる電流が作る磁場が接地線と大地帰路が構成する循環路とを鎖交する磁束の時間変化により生じる誘起電圧を循環路インピーダンスで除した値の電流が流れる。図の実線は接地線のある御殿場側の落雷の場合を示し、電流は正方向であるが、点線は反対側の落雷の場合を示し、電流は負方向になる。(b)は、測候所と山麓とを繋ぐ接地線が接地線周辺に落雷した落雷電荷を集め、その一部が測候所に流れ測候所基礎等の接地面から大地に流れる。(c)は落雷が生じたとき雲底の雷電荷が変化し、測候所の誘導電荷もそれに従い変化するがこの電荷移動により接地線に電流が流れる。(d)は測候所が山麓側の低接地抵抗と接続されているため、高抵抗の冨士山に測候所と言う電極を置いた状態である。そのため測候所の周辺の落雷雷電流はかなり広い範囲で測候所に集まると推測される。(a)(b)(c)いずれも負極性雷の場合、接地線に流れる電流は、山麓側に流れ正の方向になる。(d)は逆方向になる。

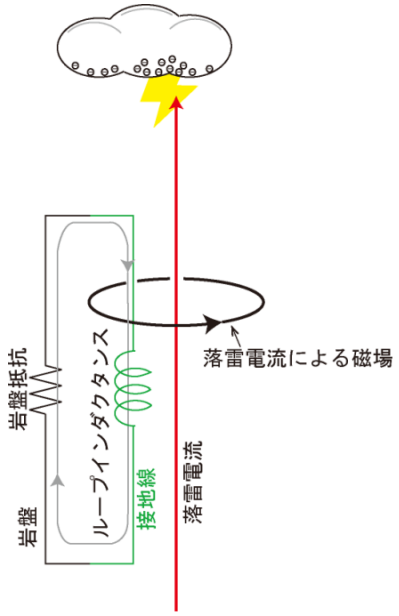


図14 落雷電流と接地線ループの磁気結合による誘導電流モデル

落雷情報の入手エリア外の現象でも作動しており、かなりの広範囲の雷現象を感度良く観測しているようである。このことは接地線が東京電力管轄内の接地線と接続されていることとも関係しているのではないかと推測している。

検出メカニズムは色々と推測できるが断定できるまでになっていない。多くの観測波形の特徴から多くは図13(a)に示すケーブル・接地線と雷放電路との磁気誘導結合によって流れる電流を観測していたものが多いと考えている。もし、(b)(c)(d)である場合でも、磁気誘導結合の影響は多少なりともあり、いずれもこの現象が合わさったものとして現れていると考えている。

例えば、図 14 に示す接地線ループ雷現象検出等価モデルの等価回路を考えると落雷電流は、一方向のみの極性になるが、誘導結合によりケーブル・接地線が作る循環路の起電力は(2)式のように落雷電流変化を微分したものになる。循環路の電流は(3)式を解くことで得られる。式から、この循環路の自己インダクタンスが支配的であれば、循環路に流れる電流はうまい具合に落雷電流に比例するが、実際には抵抗は無視できず、微分出力電圧の影響が現れ、両極性に振れる波形になる。

$$e_l = M_L \frac{di_L}{dt} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$e_l = R_l i_l + L_l \frac{di_l}{dt} \quad \cdots\cdots (3)$$

雷現象時にケーブルに流れる電流を十分な応答で自動観測できるようにし、フランクリンジャパンからの入手雷現象と対応付けを可能にすることで、落雷現象位置に対する検出系の感度、および検出範囲を明確にすることができ、また雷現象の特徴やメカニズムも明確にできる。

4-4 富士山周辺の落雷

ケーブル電流の観測期間は、ケーブル電流検出器を設置した 2012 年 7 月 14 日から撤去した 2012 年 8 月 30 日までは測候所への落雷はなかったが、富士山周辺の雷現象は頻繁に捉えていた。しかし、捉えた可能性のある落雷と雲間放電現象落雷頻度は実際の観測結果を上回るかなりの数で起きていた。例えば、フランクリンジャパンの雷情報では落雷と雲間放電現象は、図 15 に示す 30 km 四方の周辺エリア内（緯度 35.21-35.46，経度 138.62-138.96）で、8 月 14 日 2:17～11:15 の間に 13 回、8 月 17 日 11:33～18:02 の間に 1003 回、および 8 月 18 日 6:34～15:23 の間に 195 回発生している。この 8 月 18 日 6:34～10:50 の間に観測では 11 回捉えているが、エリア内に雷現象は存在しなかった。山麓と測候所を結ぶ接地線・ケーブルが、広範囲の雷現象を捉え、高検出感度を得ていることが分かった。一方、同一時間内でのマニュアル観測は、2回、9回、および 19 回であった。この回数は雷現象の発生に全く対応できていない。

図 15　山麓からの接地線・ケーブルの配線経路と入手落雷情報範囲

図 12 の観測波形例に対応すると予想される雷放電の位置（●）

図 12 の各観測波形とフランクリンジャパンの雷情報と対応付けを行った結果、図 12(a)は図 15 中の(a)点の落雷であった。この落雷は埋設ケーブル近くであり、落雷電流が接地線に流れ込んだもので、図 13(b)モデルによるものと考えられる。図 12(b)は、図 15 中の(b)点の落雷であった。多重雷の誘導雷による電流と考えられ、対応する情報では落雷は 1 秒間に4回続けて起きている。図 12(c)は、図 15 中(c)点の落雷であった。負に振れており、図 13(a)モデルで御殿場側と反対側の負極性落雷によるもの、あるいは図 13(d)モデルによるものと考えられる。もし、後者が事実とすると、測候所が接地線経路の反対側の落雷電流を広範囲で集めていることになる。さらに測定による検証を加える必要がある。図 12(d)は、図 15 中の落雷情報エリア内には該当する落雷点は無かった。エリア外の現象を拾っていたことになり、かなり広い範囲に感度があることになるが、別の現象を拾っていた可能性もある。図 12(e)は、図 15 中の(e)点になる。

図 13(a)モデルによるものと考えられる。波形から一つの落雷によるものであるが、約 10A で観測波形の中で一番大きい。対応する落雷電流は 10 kA であり、それほど大きなものでは無い。ある程度距離が離れていたことで磁気結合が良くなった結果と考えられる。図 12(f)は、図 15 中の(f)点に対応する。入手した落雷情報エリアに無く、別途対応するものとして情報を頂いたものである。30 km 近い距離の落雷を捉えていることになるが、二次的な現象の可能性もある。

観測記録はリセットした時点より観測待ち状態になり、トリガーになり得る大きさのケーブル電流が流れたときに動作する。動作して直ぐに記録しリセットすれば良いが、気がつかずリセットされない期間は記録される雷現象があっても記録されずに経過することになる。

観測期間中測候所への落雷は無かったが、周辺の雷現象を観測していた。観測系は、周辺に雷現象が無いとき動作せず、あるとき動作し、正常に動作していた。また周辺の雷現象を高感度で検出していることが分かった。周辺の雷現象との相関を見るため、検出部になっていると思われる山麓から敷設されているケーブル・接地系統の一定周辺エリアの雷情報をフランクリンジャパンより購入した。それで分かったことは、実際には落雷は頻繁にあり、今回のようなマニュアル観測系では雷現象に追いつくことができず、全体を観測することは無理であることが分かった。

マニュアル観測結果では雷現象に対応できる十分なデータが得られず、フランクリンジャパンから得た落雷情報との対応付けが難しい。そのため、センサーとしての測候所と山麓間のケーブルの雷現象の検出位置による感度測定が難しい。次年度以降の測定では雷現象に追従可能な自動雷現象観測系にし、フランクリンジャパンの落雷情報と対応付けを可能にすることで、雷現象の検出感度と検出範囲の特定が可能になる。またどのようなメカニズムで検出されているかも明確にすることができる。

4-5 正確な落雷電流測定

山麓側ケーブル電流測定で正確な測候所被雷電流を知るため、測候所の被雷時、真の測候所への落雷電流を知り、そのときの山麓側ケーブルに流れる電流との比較から、等価回路を決定することで、山麓側ケーブル電流を知るだけで測候所への被雷電流を知ることができる。そのため正確な落雷電流の測定は避雷針に落雷させ、その電流が真値であるとして、測候所から直接大地に流れる電流と山麓側に流れる電流を決める等価回路と定数を決める必要がある。その電流測定は、インダクタンスを無視できないため、インダクタンスの影響を小さくし、無視できるようにした検出器としてシャントがある。測候所で使用する方法にふさわしいものとして図 16 に示す構成を予定している。ポイントは、円筒状のマンガニン標準抵抗値の電圧降下を正確に測定方法として、シャントのインダクタンス低減方法を採用し、測定部への影響を小さくするため端部をマンガニン抵抗部よりも十分長くし端末効果を小さくする。検出部の出力インピーダンスは使用同軸ケーブルの特性インピーダンスと等しくする。また、シャントの接地部と測定系の接地部とは必ずしも電位は同じにならない。この対策として十分なインピーダンスを確保できる同相チョークを通して信号を得る工夫を考えている。

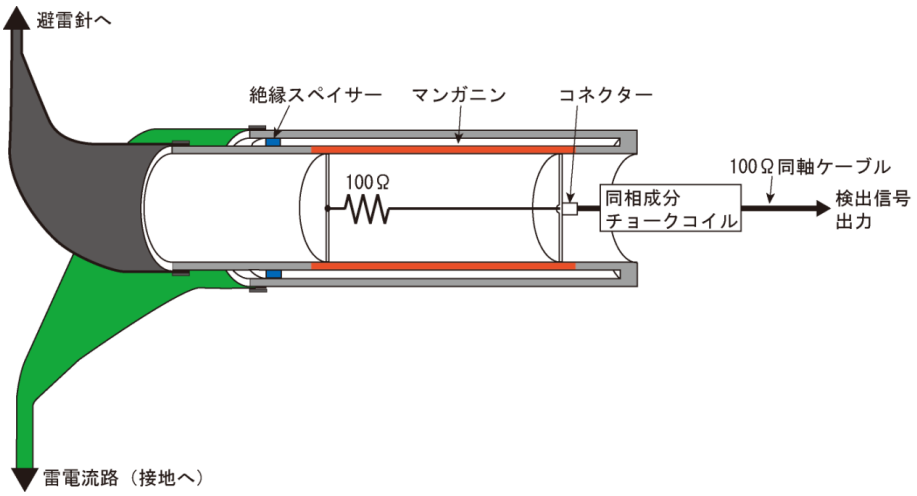


図 16 使用方法を考慮したシャントの構成

6. 終わりに

以上をまとめると以下のようになる。

(1) 高圧ケーブル・接地線に流れる同相電流を測定するロゴスキーコイルを設計製作した。またそれを用いた測定系を設計開発した。

(2) 山麓側接地系統を雷現象観測の観点から整理した。

(3) 雷現象により山麓と測候所をつなぐ接地線内蔵高電圧ケーブルに流れる同相電流を観測した。

(4) 観測結果から雷現象により山麓からの高圧ケーブルを流れる同相電流の発生メカニズムを提案した。

(5) 測候所と山麓間の接地線・ケーブルによる雷現象の詳細な検出機能を知るには雷現象への対応付けが可能な自動観測が必要である。

(6) 広範囲のエリアの雷現象を高感度で観測していることが分かった。

(7) 電源系統内の同相電圧源で生じる同相電流を、高圧ケーブルを流れる同相電流として、測定する方法を提案した。

(8) 冨士山測候所で校正用に使用するために適したシャントの構成を示した。

山麓から測候所までの接地線・ケーブルを活用することで測候所の被雷電流測定だけでは無く、周辺の雷現象のセンサーとしての応用などへの広がりが期待できる。またバックグラウンド磁場、主に地磁気の影響を受けないようにできれば、μA オーダの測定は可能になると考えられる。測候所という大きな電極から、雷雲が近づいたとき、十分な誘導電流が流れる可能性があり、電離電流の観測も可能ではないかと考えている。

また、被雷時の実態を知ることができれば、研究への寄与だけでは無く、測候所の根本的な雷対策に繋がるものと考えている。

7. 謝辞

資料や情報提供等で調査にご協力頂いた西濱孝典・東京管区気象台技術専門官、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・岩崎洋および越生正文・山頂班長、川原庸照、長門敬明、横山勝丘、楠田寧および増本亮・山頂班員、および中山良夫・事務局員の方々の各位に感謝する。

なお、この研究の一部は新技術振興渡辺記念会からの委託研究「富士山頂における東アジア越境オキシダント監視システム構築に関する研究」によっている。また、一部「郵便事業株式会社のカーボンオフセット年賀寄付金配分及び地球温暖化防止活動事業助成」を受けた。記して感謝申し上げる。

参考文献

安本勝, 佐々木一哉, 土器屋由紀子:「富士山測候所の雷対策調査と対策の提案」, 平成 21 年度富士山測候所利活用に関する成果報告会, 14-19(2010).

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:「富士山測候所落雷対策のための雷サージ抑制効果評価実験」, 平成 22 年度富士山測候所利活用に関する成果報告会, 26-33(2011).

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:「富士山測候所雷対策適用上の調査と対策方法」, 平成 23 年度富士山測候所利活用に関する成果報告会, 26-35(2012).

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:「富士山測候所のための落雷対策方法の評価」, 平成 23 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会, Ⅷ-1, 200-205 (2011).

安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 土器屋由紀子:「富士山測候所接地系統のインダクタンスと経路調査」, 第 30 回電気設備学会全国大会, 31-34 (2012).

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: 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(2012).

北川信一郎、河崎善一郎、三浦和彦、道本光一郎:「大気電気学」,東海大学出版会(1996).

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)

電気・電子機器の雷保護検討委員会（委員長横山茂）:「電気・電子機器の雷保護」，電気設備学会(2011-8)
日高邦彦: 高電圧工学，数理工学社(2011).
関電工:富士山測候所送電線接地調査報告書(H19.9.11).
土器屋由紀子，佐々木一哉:「よみがえる富士山測候所」，成山堂書店(2012-6).
志崎大策:「富士山測候所物語」，成山堂書店(2002-9).

*連絡先：安本勝(MasaruYASUMOTO)、Yasumoto@n.t.u-tokyo.ac.jp

O-06:宇宙線被ばく線量評価の信頼性向上を目的とした富士山頂での放射線測定

矢島千秋[1]、松澤孝男[1]、保田浩志[1]
1. 独立行政法人放射線医学総合研究所

1. はじめに

二次宇宙線の強度は高度とともに増加し、航空機高度(10～12 km)における宇宙線による被ばくは、実効線量率で平地の数十倍から百倍近くにも達すると見積もられている。国際放射線防護委員会(ICRP)はジェット機の運行に伴う被ばくを職業被ばくの一部に含める必要性があるとの見解を 1990 年勧告で示し、国内では放射線審議会が「航空機乗務員の宇宙線被ばく管理に関するガイドライン」を 2006 年に策定した。放射線医学総合研究所(放医研)では、航路線量計算システム「JISCARD」を開発・公表するとともに、国内航空会社が 2007 年より自主的に実施している航空機乗務員の宇宙線被ばく管理の支援(主に航路線量計算)を行っている。信頼できる線量値を得るためには、計算モデルの精緻化に加え、適宜、実測により計算の正確さを検証することが必要である。そこで我々は、2010 年より日本最高地に立地する富士山測候所において上空の放射線場を常時監視するための遠隔放射線モニタリングシステムの構築を進めてきた。2010 年度はシステム機器一式を富士山測候所に設置し、9 月から宇宙線中性子の連続測定を開始した。2011 年 1 月はじめに測定は終了したが、約 4 ヶ月間の連続測定に成功した。2011 年度は、バッテリー出力電圧値をモニターするための改良をシステムに施し、バッテリーを追加して、8 月下旬より連続測定を開始した。結果、測定開始から約 5 ヵ月後の 2012 年 1 月下旬に電源電圧低下のため測定は終了した。これまでの 2 年間の成果を踏まえ、本年は通年測定を目指して抜本的に電源部の改善を図る予定であったが、諸事情により測定回路の一部改良と十分でないバッテリー増強で冬季測定に臨むこととなった。ここでは、これまでに得られたモニタリングデータに関して報告する。

2. 装置・測定

遠隔放射線モニタリングシステムは富士山測候所 1 号庁舎 2 階に設置した測定データ送信システムと富士山麓の中継拠点(名古屋大学太陽地球環境研究所富士観測所)に設置したデータ受信システムから成り立っている。システムの概要を図 1 に示す。測定データ送信システムは、エネルギー拡張型レムカウンタ、長距離無線 LAN 装置、独立電源装置、データロガーから構成され、アンテナを除いて防寒・防水用のプラスチックコンテナに格納されている。データ受信システムは、長距離無線 LAN 装置、データ受信・記録用ノート PC、インターネットに接続したモバイルデータ通信端末から構成される。山頂側と麓側のアンテナは対向して設置され、アンテナ間の距離は直線で約 13 km である。長距離無線LANとインターネットにより富士山頂と放医研(千葉市)の間が結ばれ、放医研において富士山頂測定データのモニターが可能となる。本年は、電力容量補強のため鉛バッテリーを追加したが、この補強による測定期間の延長はせいぜい 1 月前後と見込まれている。また、計数レベルの増加を目的としてデータロガーのアンプ回路に改良を施した。このモニタリングシステムを用い、本年は 8 月 27 日から連続測定を開始した。

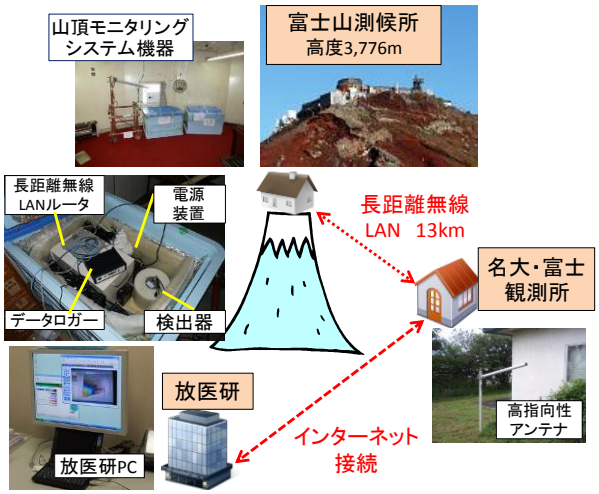


図 1　遠隔放射線モニタリングシステム概要

3. 結果と考察

図 2 に、8 月 27 日～11 月の富士山測候所におけるレムカウンタによる宇宙線中性子計数率(カウント毎時:3 時間の平均値)を、富士山頂の気圧(気象庁データから引用)と基板温度と合わせて示す。8 月下旬の計数率が 9 月～11 月の計数率に比べて 2～3 倍となって突出している。全体の傾向としては、前回の成果報告会で示したデータと同様に、気圧と宇宙線中性子計数率の変化には負の相関が現れている。これは気圧変化により大気の厚さが変化し、二次宇宙線の大気中での減衰が変化するためと考えられる。また、8 月～10 月にかけて基板温度と中性子計数率の変化に正の相関が現れているように見える。しかし、20℃前後での 10℃程度の温度差が、計数値に 2 倍の変化を与える要因になるとは考え難く、相関については今後も要検討である。放医研の ^{241}Am-Be 線源を用いて実施した校正実験から得られた換算係数を用いて実測値から月毎の平均周辺線量当量率を求めると、8 月が 0.11 μSv/h、9 月が 0.05 μSv/h、10 月が 0.04 μSv/h、そして 11 月が 0.04 μSv/h となった。宇宙線スペクトル及び被ばく線量計算プログラム EXPACS(EXcel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum)を用いて計算した月毎の周辺線量当量率は、8 月～11 月の間で 0.12 μSv/h である。計算値と実測値が数値的に良い一致を示したのは 8 月であるが、定量的な評価・考察は今後も続ける。

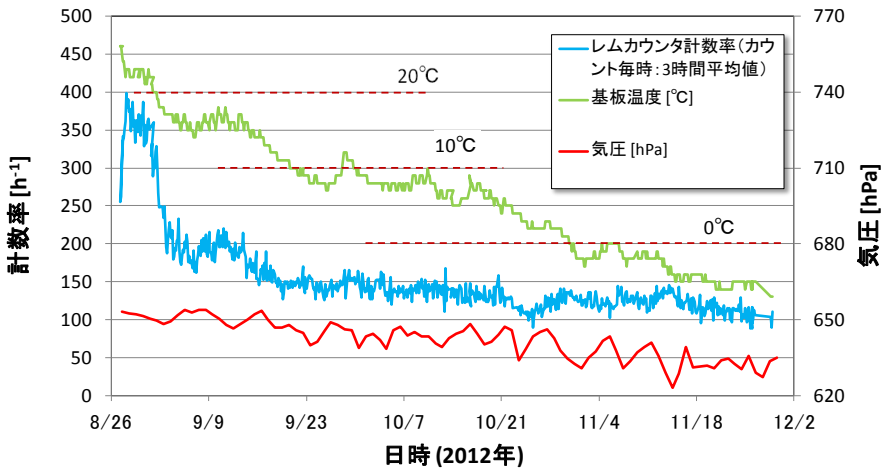


図 2 富士山測候所における宇宙線中性子のレムカウンタ計数率(8 月 27 日～11 月)

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われた。富士山麓のデータ通信中継拠点である名古屋大学太陽地球環境研究所富士観測所の利用にあたっては、同研究所の徳丸宗利教授にお世話になった。また、山頂作業全般にわたって三樹工業株式会社にご協力いただいた。あらためまして、ありがとうございました。

参考文献

H. Yasuda, K. Yajima, S. Yoshida, “Dosimetry of cosmic radiation in the troposphere based on the measurements at the summit of Mt. Fuji” Proc. Radiochim. Acta 1, 67–70 (2011).

T. Sato and K. Niita, "Analytical functions to predict cosmic-ray neutron spectra in the atmosphere" Radiat. Res. 166, 544-555 (2006).

T. Sato, H. Yasuda, K. Niita, A. Endo and L. Sihver, "Development of PARMA: PHITS based Analytical Radiation Model in the Atmosphere", Radiat. Res. 170, 244-259 (2008).

http://phits.jaea.go.jp/expacs/

http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html

*連絡先：矢島千秋(Kazuaki YAJIMA)、k_yajima@nirs.go.jp

O-08:富士山の大気中二酸化炭素濃度の通年観測

野村渉平、向井人史、寺尾有希夫、野尻幸宏
（独）国立環境研究所　地球環境研究センター

1. はじめに

富士山頂にある富士山測候所付近の大気は、地上の影響を受けていない自由対流圏、また広範囲における良く混ざった大気だと考えられている。そのため、測候所付近における外気 CO_2 濃度の通年観測を行うことは、富士山が位置する北半球アジア域の中緯度におけるバックグラウンド CO_2 濃度の変動の解明に寄与すると考えられる。しかし、当測候所は、①夏期(7～8 月)を除くと電源供給がない、②長期間アクセスが不能になるなど、通年観測が困難な場所である。

本研究では、富士山測候所において、通年観測が可能な観測システムの構築をしながら、アジア域の中緯度の CO_2 濃度の長期観測を行うことを目的とした。

本報では、上記の研究を開始した 2007 年から今年(2012 年)までの進捗を報告する。

2. 方法

2－1. 長期観測

観測は、2009 年 7 月 16 日から 1 回/日の頻度で行っている。計測機器は、国立環境研究所が開発した寒冷地仕様の小型で省エネの機器を用いた。測定は、室内空気・野外空気、3 本の標準ガスを連続 4 回繰り返し、測定の安定化と高精度の維持を図った。測定する時間は、深夜とした。測定結果の通信は、イリジウム通信を用いた。計測機器の保温は、機器を冷蔵庫と断熱材で囲う方法をとった。冬期の電力源は、低温用の鉛蓄電池 100 個を用いた。その充電は、測候所で商用電源が利用できる夏期開所中に専用の充電システムにより行った。

2－2. 夏期集中観測

観測は、2012 年 7 月 24 日～8 月 15 日の 22 日間に 1 秒毎の頻度で行った。計測機器は、国立環境研究所が開発した小型で省エネの CO_2 濃度連続計を用いた。測定は、6 時間、野外空気を測定し、その後、4 本の標準ガスを 4 分ずつ測定する事を繰り返し、測定の安定化と高精度の維持を図った。

得られた富士山頂(35.21N, 138.43W, 標高 3776m)の CO_2 濃度は、アメリカ国立海洋大気庁のハワイ マウナロア観測所(19.53N, 155.57W, 標高 3396m)、富士山麓(35.26N, 138.45W, 標高 1100m)、国立環境研究所の観測点(沖縄県波照間島や北海道落石岬)で得られた CO_2 濃度と比較し、その変動の特徴を理解するための解析を進めている。

写真 1. 長期観測用の CO_2 濃度計測機器一式

写真 2. 夏季集中観測用の CO_2 濃度計測機器

3. 結果

3－1. 富士山頂の CO_2 濃度(図 1)

富士山頂の CO_2 濃度は、夏に低く、冬に高い推移を示した。その夏と冬の時期は、濃度のばらつきが目立った。富士山頂大気の CO_2 濃度増加率は、1.93ppm/yr であった。

3－2. 富士山頂とマウナロアとの比較(図 1)

富士山頂の濃度は、ほとんどの日においてマウナロアより平均で2.5ppm 高かった。富士山頂の濃度推移は、マウナロアとほぼ同じであった。

3－3. 富士山の山頂と山麓との比較(図 2)

富士山頂は、山麓と比較すると、濃度については、低く推移した。また季節による濃度変化は、小さかった。

3－4. 山頂と山麓との比較(連続測定、図 3)

富士山頂の 1 日における濃度変動は、1ppm 程度であり、その変動に規則性は見られなかった。山麓の濃度変動は、90ppm 程度であり、その変化に規則性(昼に低く、夜に高い)が見られた。

4. 考察

富士山頂の CO_2 濃度は、マウナロアとほぼ同様の推移を示した(図 1)。また 1 日の濃度変動に規則性が見られず(図 3)、山麓の濃度変動と異なっていた(図 2、3)。マウナロアは、近傍の地上の影響が少なく、広範囲の混ざった大気中 CO_2 濃度を示していると考えられている。したがって、富士山頂の CO_2 濃度測定結果は、当地域のバックグラウンド濃度を示していることが示唆された。

富士山頂の CO_2 濃度は、マウナロアより若干高く推移した(図 1)。また冬に、高濃度の日が見られた(図 1)。これは、中国大陸において人為影響で発生した高濃度の CO_2 を含む大気が、富士山頂に流れてきたため(図 4)だと考えられる。

また夏期に低濃度の日が見られた(図 1)。これらの日の大気は、シベリア大陸を沿っていることから(図 4)、CO_2 濃度が低い、大気塊がシベリアから流れてきたためと考えらえる。

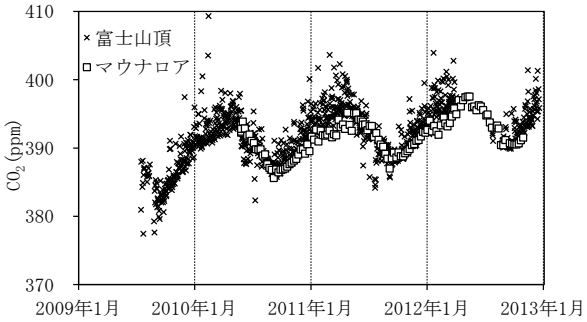


図1. 富士山頂とマウナロアのCO_2濃度

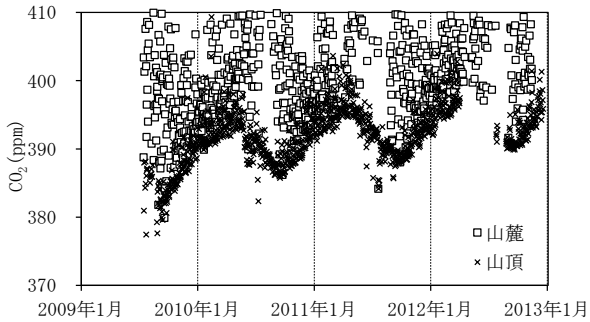


図2. 富士山頂と山麓のCO_2濃度

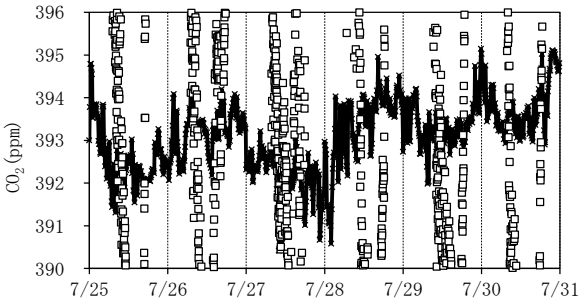


図3. 富士山頂と山麓のCO_2濃度(連続測定)

□ 山麓　━━ 山頂

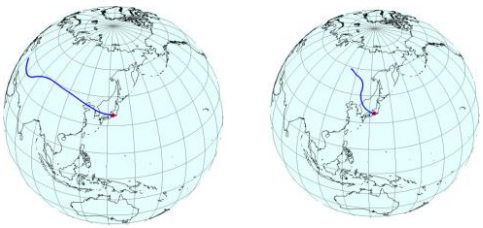


図 4. 後方流跡線解析の結果*

(左図 高濃度の日, 2010/2/13、右図 低濃度の日, 7/6)

*青色線は、富士山頂の空気塊の過去 72 時間の進路を示している

5. むすび

これまでの観測によって、富士山頂の大気が近傍の地上の影響が少なく、北半球におけるアジア中緯度のバックグラウンド大気 CO_2 濃度を捉えられることが分かってきた。今後、富士山頂の CO_2 濃度結果をより蓄積し、アジア地域のバックグラウンドCO_2濃度の変動の解明に寄与していきたい。

*連絡先：野村渉平 (Shohei NOMURA), nomura.shohei@nies.go.jp
向井人史 (Hitoshi MUKAI), lnmukaih@nies.go.jp

O-07:富士山山頂における大気電気観測および超高層大気観測

鴨川仁[1]、鳥居建男[2]
1. 東京学芸大学物理学科、2. 日本原子力研究開発機構、

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観測を行った。本稿では独立したチームでの成果を総括するとともに、今後への課題を提示する。

2. 雷雲・雷放電に起因する高エネルギー放射線

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(Torii et al., 2011)。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行った。その結果、観測初年度である 2008 年から検知でき(Torii et al., 2009)、以後はこの雷雲活動に関連する高エネルギー放射線の発生メカニズムを解明するために毎年観測を行っている。しかし、2012 年においては、雷雲の接近が測定器稼働中にはなく、高エネルギー放射線の測定はできなかった。

2. 高高度放電現象の観測

1990 年代に発見されたスプライト・エルブスは高高度大気中の放電として数多くの画像が残されており発生機構は解明されつつある。しかしその発生のきっかけ、複雑な形状などの根幹については未解明である。特に国内外を通して地上からまとまった数のブルージェットよばれる下部成層圏で発生する放電現象の観測に成功した例はほとんどない。そこで本研究では、夏季の関東平野上空で発生する高高度放電現象の観測を富士山山頂から行うことを目指す。富士山山頂の高度は、観測の障害となる雲の高度を超えるため、視界が遮られることがなく、長い時間の測定が行えると期待される。2012 年はテスト観測として測定装置の試験運用を行った。その結果、落雷は測定できるが、落雷より発光強度が小さいスプライト等は諸所の問題が発生し検知できなかった。これらの問題は 2013 年に解決する予定である。

3. 大気光観測

過去 3 年間の大気電気観測の経験から夏季の期間の山頂は天頂方向については晴天率が高く、超高層大気に向けたが光学測定に適していることが分った。また夏季時では気温が零下にはなることはなく、20 度を超えることもまれであるため屋外における光学機器の装置の運用が比較的行いやすい。そこで大気重力波検知を目的とした電離圏に向けた大気光観測を行うため、2012 年は観測装置の準備を行った。超高感度カメラの発売の関係でテスト観測は行えなかったがそれ以外のシステムの動作確認は完了した。そのため次年度から測定結果が出ると期待できる。

参考文献

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.

*連絡先：鴨川 仁(Masashi KAMOGAWA)、kamogawa@u-gakugei.ac.jp

O-09:日本の自然環境保全のための富士山頂を利用した越境酸性雨観測事業: 観測の高度化と精密化を目指して

竹内政樹[1], 宮崎祐樹[1], 大河内博[2], 緒方裕子[2], 磯部貴陽[2], 皆巳幸也[3], 畠山史郎[4]
1. 徳島大学, 2. 早稲田大学, 3. 石川県立大学, 4. 東京農工大学(NPO 法人富士山測候所を活用)

1. はじめに

雲はエアロゾルを凝結核として水溶性ガスを吸収しながら生成する。このときの雲粒径が臨界直径より小さければ, 雲粒は蒸発して気相にエアロゾルを放出し, 臨界直径より大きければ, 液滴成長して雨滴となり地上に降下する。これらの過程を明らかにすることは, 地球温暖化とその環境影響を予測する上で極めて重要である。我々は, 2005 年より富士山体において, 水溶性ガス, エアロゾル, 雲水および雨水の分析を行ってきた。しかし, ガス/エアロゾルの捕集にはフィルターパック法を用いてきたため, 刻々と変化するガス/エアロゾルの挙動を追跡することは困難であった。そこで, まず始めにガス成分に注目し, 酸性ガス濃度を高時間分解観測できる自動モニタを構築した。本発表では, 酸性ガス自動モニタの特徴と本モニタを用いて富士山体の大気中 HCl, HONO, HNO_3 および SO_2 を測定した結果について報告する。

2. 酸性ガス自動モニタ

Fig. 1 に, 酸性ガスの捕集部として製作したウエットデニューダの模式図を示す。デニューダは両端のプレキシグラス製プレートとテフロン製スペーサで構成される。ガス捕集液(0.5 mM H_2O_2, 0.25 mL/min/plate)はデニューダの上方から両端のプレート内壁に沿って流れ, 大気サンプルはプレート間を下方から上方に向けて吸引される。ガス成分を捕集した捕集液は濃縮カラムに送液され, 濃縮成分はイオンクロマトグラフで逐次的に定量される。本法による 1.5 ppbv SO_2 の捕集効率は, ガス吸引流量 5 L/min で 99.9±0.2%, 10 L/min では 97.1±0.3%と高い値を示した。また, サンプルガスを N_2 から 1.5 ppbv SO_2 に切り替えたときの応答時間(検出シグナルの高さが 10%→90%となるまでに要した時間)は 2.7±0.3 min, 1.5 ppbv SO_2 から N_2 に切り替えたときの応答時間(90%→10%)は 3.5±0.4 min となり, 15 分または 30 分程度の高時間分解観測を行う上で十分な応答時間であった。

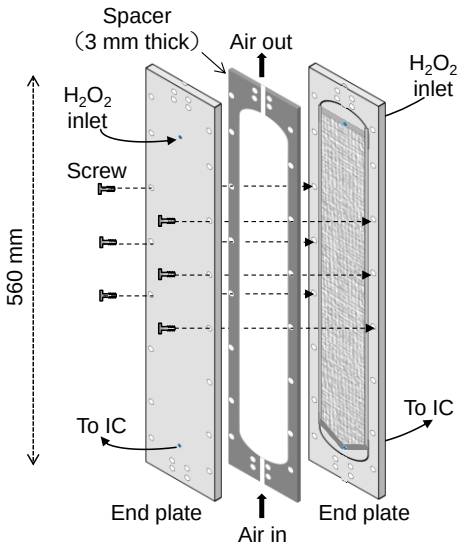


Fig. 1 Schematic of parallel plate wet denuder.

3. 富士山体における観測

2012 年 7 月 12 日から 8 月 13 日まで, 富士山南東麓に位置する御殿場口太郎坊(標高 1284 m)において, 酸性ガス自動モニタをガス吸引流量 5 L/min で稼働させ, 大気中 HCl, HONO, HNO_3 および SO_2 濃度を 15 分毎に連続測定した。酸性ガス濃度は SO_2 > HNO_3 > HONO > HCl の順に高く, いずれの酸性ガスも日中に高濃度になる傾向がみられた。また, 本サンプリング期間中は, ガス捕集液とイオンクロマトグラフ用溶離液の補充のみを行うことで, n = 3000 もの測定結果を得ることができた。

4. おわりに

発表時には, 富士山頂において自動モニタとフィルターパック法で採取された酸性ガス濃度を比較検討した結果もあわせて報告する。

謝辞：本研究は「平成 24(2012)年度年賀寄附金配分」によって行われた。

*連絡先：竹内政樹 (Masaki TAKEUCHI), masaki.takeuchi@tokushima-u.ac.jp

O-10:エアロゾルの新粒子生成、成長と雲凝結核に関する研究

三浦和彦[1]、上田紗也子[1]、永野勝裕[2]、小林　拓[3]、加藤俊吾[4]、
速水 洋[5]、佐竹晋輔[6]、櫻井達也[6]
1. 東京理科大学理学部、2. 東京理科大学理工学部、3. 山梨大学、4. 首都大学東京、
5. 東京理科大学理学部/電力中央研究所、6. 日本エヌ・ユー・エス株式会社

1. はじめに

エアロゾル粒子は雲凝結核となり、雲の放射特性を変えることで気候変化に影響する。基礎生産性の高い海域から放出される生物起源気体は、海洋エアロゾル粒子の重要な起源である。粒子数が増加することにより、雲は大気の負の放射強制力を増し、温暖化を抑制するという仮説(Charlson *et al.,* 1987)が提唱されている。しかし、大気境界層内には海塩粒子が存在するので新粒子生成は起こりにくく, 海面付近でナノ粒子の増加を観測した例は少ない。そして、それらも自由対流圏で生成したものが高気圧下で沈降したものであろうと考えられている（Covert *et al.,* 1996）。富士山山頂は年間を通して自由対流圏内に位置することが多い。そこで、新粒子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を測定した。また、雲凝結核濃度の特性を調べた。エアマスの由来を調べるため、トレーサの測定とともに、太郎坊においてゾンデ・係留気球観測を行い、気象場のシミュレーションを行った。また、2011 年・2012 年には下山時に雲内外で粒子の計測・捕集を行った。ここでは 7 年間の観測の概要と、ゾンデ観測、シミュレーションの結果について報告する。なお、新粒子生成（長岡ら、2013）、粒子成長（堀ら、2013）、雲凝結核濃度（渡辺ら、2013）、徒歩観測（上田ら、2013）についてはポスター発表で報告する。

2. 方法

富士山測候所（標高 3776m）と山麓の太郎坊（標高 1300m）において，2006 年～2012 年夏季に観測を実施した。観測期間と測定要素を表 1 に示す。1 号庁舎 2 階の窓から外気を引き、拡散ドライヤーで 20%以下に乾燥させ、走査型移動度分析器(SMPS)と光散乱式粒子計

表1　観測期間と測定要素

山頂連続観測

	期間	粒径分布	ラドン	オゾン	CO	イオン	雲凝結核	備考
2006	7.15～8.28	SMPS, KR12		○	○			7.8合、菊屋と同時観測
2007	7.26～9.2	SMPS, KR12	○	○	○			7.8合、菊屋と同時観測
2008	7.19～8.25	SMPS, KR12	○	○	○			インパクター
2009	7.17～8.25	SMPS, KR12	○	○	○			インパクター
2010	7.17～8.25	SMPS, KR12	○	○	○	○	○	インパクター
2011	7.14～8.24	SMPS, KR12	○	○	○	○	○	インパクター
2012	7.20～8.23	SMPS*2, KR12	○	○	○, SO2	○	○	インパクター、3号庁舎と同時測定

太郎坊連続観測

	期間	粒径分布	ラドン	オゾン	NOX	イオン	雲凝結核	備考
2005	7.12～7.19	SMPS, KC18, KC01						インパクター
2006	7.15～8.28	SMPS, KC01		○	○			インパクター、シーロメータ、コンテナ
2007	7.6～9.8	SMPS, KC01		○	○			インパクター、シーロメータ、コンテナ
2008	7.19～8.25	SMPS, KC01	○	○				インパクター
2009	7.17～8.25	SMPS, KC01	○	○				インパクター
2010	7.17～8.25	SMPS, KC01	○	○				インパクター
2011	8.2～8.25	SMPS, KC18, KC01	○	○	○	○	○	インパクター、シーロメータ、コンテナ
2012	7.19～8.20	SMPS, KC01, TEOM	○	○	○	○		インパクター、コンテナ

太郎坊鉛直分布集中観測

	期間	係留気球	ゾンデ	パイバル	備考
2005	7.15～7.17	KR12,CPC,インパクター、ゾンデ	JWA-94W		徒歩観測（太郎坊～宝永山）
2006	7.25～7.26		JWA-94W	○	菊屋と同時観測
2007	8.6～8.8		RS92		菊屋と同時観測
2011	8.20～8.22	KR12,インパクター、オンドトリ	RS-06G(S)		徒歩観測（山頂～太郎坊）
2012	8.18～8.20	KR12,インパクター、オンドトリ, O3, EC	RS-06G(S)		徒歩観測（山頂～太郎坊）

数器（OPC）を用いて 4.4～5000nm にわたる粒径分布を測定した。測定したエアマスの発生源を推定するためのトレーサーとしてラドン、オゾン、一酸化炭素、NOX を測定した。ラドンは、フィルターに捕集したエアロゾルから放射するα線を計数し、放射平衡を仮定して求めた。オゾン、一酸化炭素はそれぞれ、Thermo Environment Model 48C, 49C を用いて測定した。2010 年から、小イオン濃度（コムシステム COM-3400）と雲凝結核濃度（DMT, CCN-100）を測定した。また、インパクターで捕集した個別粒子を TEM/EDX を用いて形態観察・元素分析を行った。 また、鉛直構造を調べるため、太郎坊において 2005 年と 2011～2012 年に係留気球観測、2005～2007 年、2011～2012 年にゾンデ観測を行った。ゾンデ観測は 3 時間ごとに行った。2005 年、2006 年は低層ゾンデにより気温・湿度・気圧（高度）を測定し、風向・風速はパイロットバルーンの観測により求めた。2007 年、2011 年は GPS ゾンデにより気温・湿度・気圧（高度）と同時に風向・風速も測定した。2006 年、2007 年はほぼ良い天気であったが、2011 年は悪天候だった。気象場のシミュレーションは気象モデル（WRF）を用いた。水平方向には 3 段階のネスティングを行い、富士山周辺域を解像度 1km で行った。鉛直方向は上空約 17km までを 50 層に分割した。初期・境界条件には NCEP-FNL 全球再解析データ、気象庁メソ客観解析データを用いた。

表2 ナノ粒子の高濃度イベントの回数

	日中	夜間	合計	観測日	割合（%）
2006	12	5	17	28	60.7
2007	4	17	21	27	77.8
2008	3	11	14	20	70.0
2009	4	12	16	30	53.3
2010	2	11	13	26	50.0
2011	4	11	15	25	60.0
2012	2	5	7	29	24.1
合計	31	72	103	185	55.7

3. 新粒子生成

20nm 以下の粒子濃度が 3 時間以上継続して高濃度となるイベント（新粒子イベント）は 2006 年～2012 年の夏季 185 日間の測定観測中 103 回観測された（表２）。日中 31 回、夜間 72 回と日中より夜間に多かった。この現象はユングフラウヨッホなどでは見られず、富士山固有のものである。この原因を検討するため、気体の既存粒子への凝結速度、水蒸気混合比、エアマスの由来について考察した（長岡ら、2013）。

4. 小イオン濃度

3 年間の測定中、イオン誘発核生成と思われるイベントは 2011 年 8 月 14 日の夜から 15 日の朝にかけ 1 例測定された（図１）。この時、既存粒子への凝集速度が小さかったため、小イオン濃度が高かった。また、O_3/CO の値が低く、水蒸気混合比が低かったことから、上空の空気が下降してきた可能性があることが暗示された。

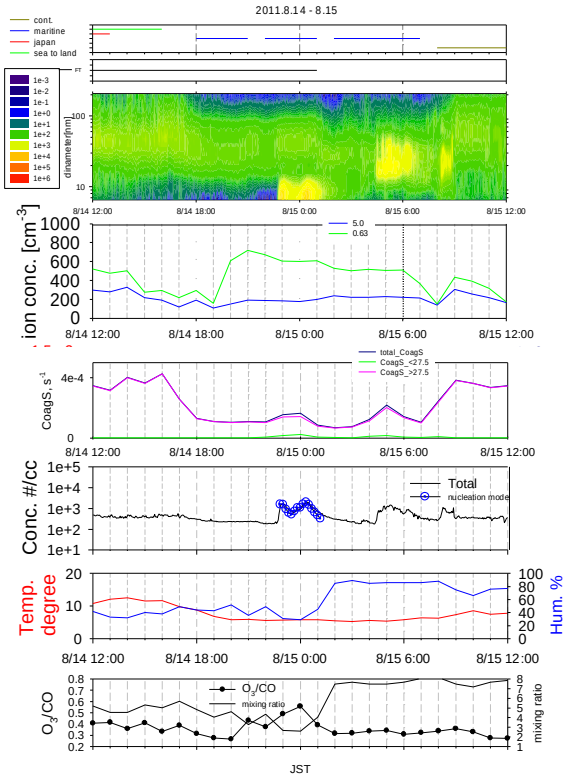


図１ イオン誘発核生成時の粒径分布、小イオン濃度、凝集速度、気温、相対湿度、O_3/CO、水蒸気混合比の時間変化

5. ゾンデ観測と係留気球観測

ゾンデで測定した山頂と同じ高さの自由空間の気温を山頂の気温と比べると、日中はほぼ同じ値を示すが夜間は山頂の気温が下がることが何度かあった（五十嵐、2008）。このとき、雲がなかったことから放射冷却により山頂の気温が下がったことが考えられた。

2007年8月6日～7日の山頂の気温の測定値とシミュレーション結果を図２上に示す。シミュレーション結果の日較差は小さく、山頂の気温を再現できていない。図３に8月7日0時の気温の鉛直分布を示す。実線がゾンデのデータ、十字が山頂のアメダスの測定結果、円がシミュレーション結果である。1kmメッシュのシミュレーションでも山頂の気温を再現できず、ゾンデで測定した自由空間の値に近かった。

2011年のゾンデ観測では山頂が雲に覆われている時のデータを取得することができた（図２下）。この時は、両者の値に明白な違いは見られず、放射冷却の影響がなかったためと思われる。

山頂、７合８勺、須走口、太郎坊におけてOPCで測定した個数濃度を比較した結果、山頂と７合８勺、須走口と太郎坊の濃度変化が似ている事が多かった（藤代ら、2009）。図４に2007年8月10日の例を示す。この日のように、日中、一般風が弱く谷風が発達する時には、下層から順に濃度が高くなる現象が数例、観測された。8時と14時の気象場をシミュレーションした結果を図５に示した。8時には山頂に到達していない谷風が、14時には山頂まで達している事が示され、谷風により下層のエアロゾルが山頂まで輸送されたことがわかる。

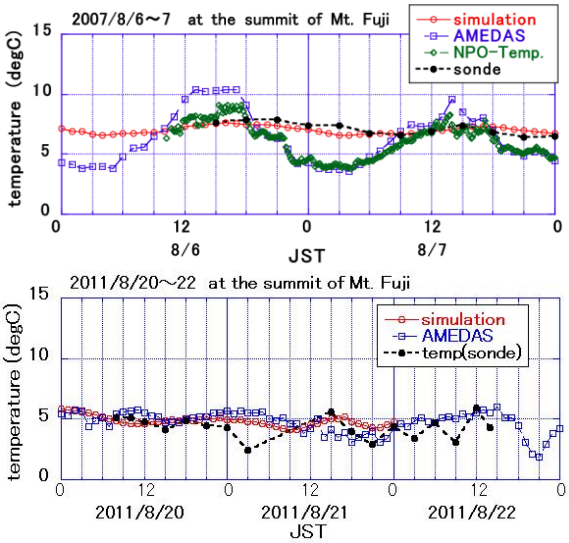


図2　山頂で測定した気温、山頂と同じ高度のゾンデで測定した気温とシミュレーション結果の日変化（上:2007 年 8 月 6 日―7日、下:2011 年 8 月 20 日―22 日

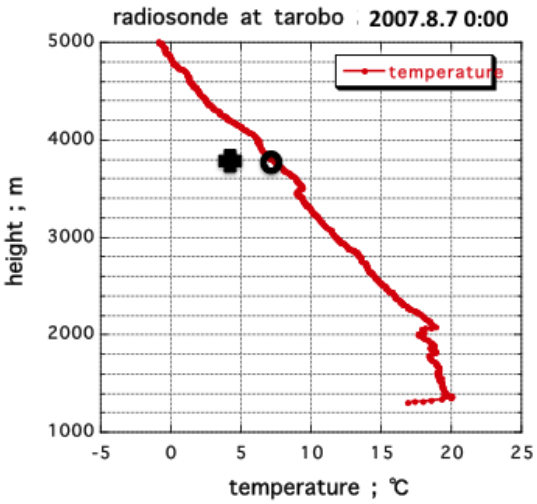


図3　GPSゾンデで測定した気温の鉛直分布と山頂における気温の測定結果とシミュレーション結果

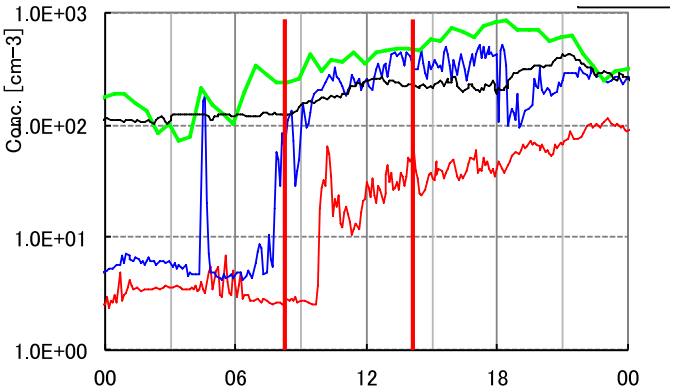


図4　粒子濃度の時間変化（黒:太郎坊、緑:須走、青:7.8 合、赤:山頂）

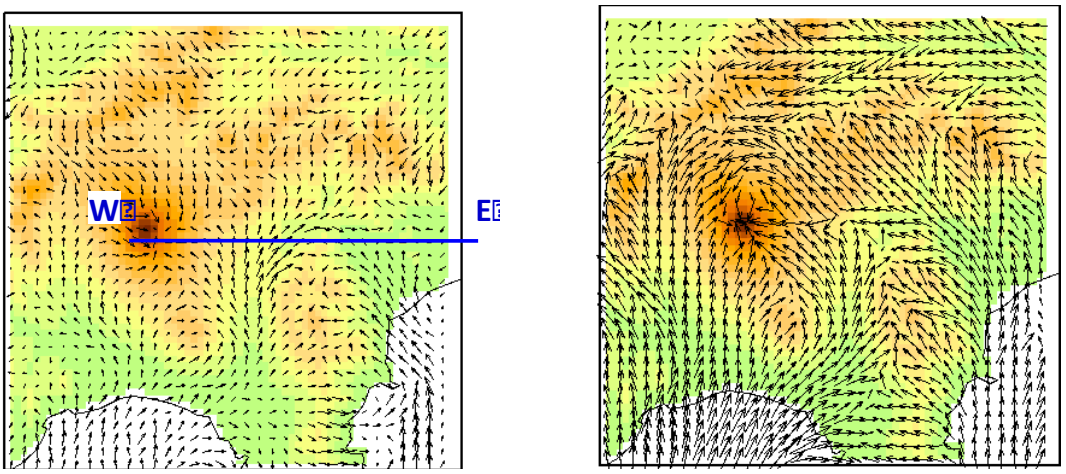


図5　気象場のシミュレーション（左：8 時、右：14 時）

6．3 号庁舎のインレット

新しく設置した 3 号庁舎のインレットと、従来の1号庁舎のインレットとを比較するために、同時に OPC（KR12A）で測定した。その結果、おおかた良い相関が得られた。測定期間の後半、3 号庁舎に設置した OPC が不安定になったため、今回のデータでは定量的な評価は行わない。

謝辞

2006 年の観測は、気象庁の施設を使用させて頂いた。2007～2012 年の観測は、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た。この間、多くの山頂班員、研究者、学生のお世話になった。記して感謝する。本研究の一部は科研費基盤研究 A（17201007）（代表五十嵐康人、2005-2007 年度）、東京理科大学特定研究助成金共同研究（代表三浦和彦、2008・2011 年度）、日本郵便平成 21 年度年賀寄付金配分事業（代表大河内博、2009 年度）、科研費基盤研究 C（22510019）（代表三浦和彦、2010～2012 年度）、東京理科大学総合研究機構山岳大気研究部門 2011～2012 年度活動経費・活動補助費の助成により行われた。

参考文献

Charlson *et al*., *Nature*, **326**, 655, 1987.
Covert *et al.*, *J. Geophys. Res.*, **101**, 6919, 1996.
五十嵐康人、基盤研究 A 研究成果報告書、2008.
藤代恵史、三浦和彦、藤田慎一、小林 拓、エアロゾル研究、24、123-128、2009.
上田紗也子、広瀬雄揮、三浦和彦、第 6 回成果報告会講演予稿集、2013.
長岡信頼、三浦和彦、上田紗也子、第 6 回成果報告会講演予稿集、2013.
堀　周、関山　舞、上田紗也子、三浦和彦、第 6 回成果報告会講演予稿集、2013.
渡辺彩水、長谷川朋子、三浦和彦、上田紗也子、第 6 回成果報告会講演予稿集、2013.

*連絡先：三浦和彦(Kazuhiko MIURA)、miura@rs.kagu.tus.ac.jp

P-01:地球大気環境保全に向けた富士山測候所の戦略的活用計画：『東アジア高所大気化学観測拠点』としての富士山測候所の再生

（三井物産環境基金助成事業）

畠山史郎
NPO 法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

富士山頂はほぼ年間を通して地上付近の影響を受けない自由対流圏に位置することから、国内の影響を受けにくく越境大気汚染や地球規模の大気観測地点として理想的な場所である。2004年に有人観測を終了した富士山測候所の施設の一部を気象庁より借用して観測拠点として使用するための人材と設備の充実を図ることが本研究事業の目的である。

昨年度に引き続き山頂の管理運営は本活動助成金を中心に行っている。2011 年は3．11の地震津波に引き続く原発事故によって、NPO 法人の研究者たちも少なからず影響をうけ、また、2010年まで夏季山頂維持管理の中心となっていたJAMSTECとの共同研究が終了し、一時は夏の観測も実施が危ぶまれていた。しかし、本活動資金のおかげで続けることができた。その結果、日本の象徴的な場所でもある富士山頂が観測の場として維持され続けたことは意義深いことと思われる。今年度は新しい研究費の獲得もあり、昨年度以上の成果を上げることができた。

2. スケジュール概要

(1)3 月－5 月（事前準備フェーズ）

NPO による研究・活用公募審査の結果、3月中旬には参加プロジェクトが選定されたのを受け、山頂に機材を設置するグループについては、気象庁を始め、環境省、静岡県教育委員会へ現状変更申請手続きをとり、5 月 21 日にはその許可が下りた。5 月 25 日に観測の具体的事項に関する関係者の打ち合わせの会議を行い、観測日程、御殿場基地の場所、山頂管理運営委員会による管理体制などを確認した。併行して「安全マニュアル」、緊急連絡体制、関連帳票類、HP(会員限定頁)などの見直し更新を行い、開所に備えた。

(2) 6 月－7 月初旬（設営準備フェーズ）

6 月 7 日山頂へ電気を供給する送電線の定期点検を実施、電線に倒れ掛かる立木を伐採した。15 日には御殿場市内にアパート(昨年と同じ場所)を賃借し、25 日から山頂班が駐在を開始、測候所開所に向けて準備に入った。15 日には登山家7名を雇用し、25 日東京理科大において 6 回目を迎える夏季観測についてプレス発表、29 日に地元の警察署、消防署、市役所などの挨拶回りを行い夏期観測への協力を依頼した。

(3) 7 月中旬－9 月初旬（研究観測フェーズ）

悪天候のため予定より 1 日遅れの 7 月 13 日に開所。同時に御殿場基地には山頂班に代わり、御殿場駐在が1名常駐体制に入った。以降 9 月 3 日まで山頂と御殿場基地が連携しながら研究者の夏期観測の支援にあたった。①8 月 4 日に山頂と地上2箇所(いわき市・横浜市)を結んで実施したライブ中継開始直後に、回線工事のために通信回線が断となり画像音声の送信が不可能となる②8 月 15 日に山麓の送電線配電盤にネズミが入りこんだことが原因で 12 時間にわたり停電するという2件の事故が発生し、少なからぬ影響を受けた。

(4) 9月（撤収・集約フェーズ）

8 月 31 日には研究者はすべて撤収を完了、山頂班が最終整理を行い 9 月 3 日に商用電源を切断し閉所下山、御殿場基地での後片付けを行い 9 月 6 日に御殿場基地も閉所した。9 月 28 日には東京理科大で山頂観測に関する関係者の反省会を行った。

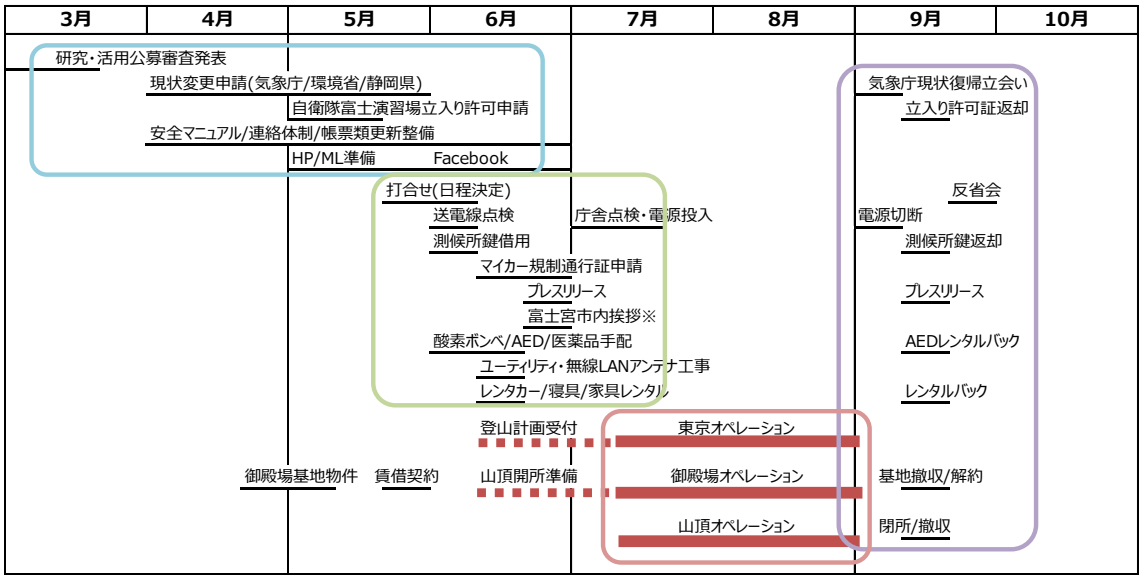


図 2.1　スケジュール概要

3. ロジステックス

夏期観測は、富士山頂に延べ約 400 名の研究者が登山・滞在し、約5ﾄﾝの機材・物資を山頂に荷上げし約 50 日の期間で集中的に実施される。これらの研究活動を安全・円滑に遂行するために、物資の充足、安全・確実な人・物資の輸送、インフラ設備の整備、そして合理的な情報管理が求められる。

(1)補給

食料・飲料水は研究者が自ら調達し、山頂へ運搬するのが基本である。飲料水については、2012 年から事前に需要相当量の飲料水を一括して山頂に荷上げし、宿泊する研究者に山頂で必要量を手渡しする方式を試みたが、需要量予測にもとづく適切な補給が課題となった。なお、ブルの発着する太郎坊にはコンテナ倉庫を確保し、補給基地として有効に活用した。

(2)輸送

観測機材、食料、飲料水、生活用水等はブルで荷上げし、機材、ゴミ、し尿等を荷下げしている。これらの総重量は期間中にそれぞれ 5.1ﾄﾝ、3.5ﾄﾝにも達するため、日程調整によりできる限り効率的な運搬を心がけている。(図 3.1)

特に観測機材の荷上げが集中する開所直後の時期は、翌早朝出発時の混乱を回避するため、前日にブルへの荷積みを行なっている。

研究者等の登下山は徒歩が基本であるが、登山計画書の提出を義務付け、その計画にもとづき山頂班と御殿場基地が緊密な連携をとり登下山の安全確保に努めている。

夏期の登山シーズン中は、富士宮口と須走口において登山客・観光客の集中による交通渋滞を緩和するためマイカー規制が実施される。2012 年度は、研究者からの要望も踏まえ、管轄する各自治体

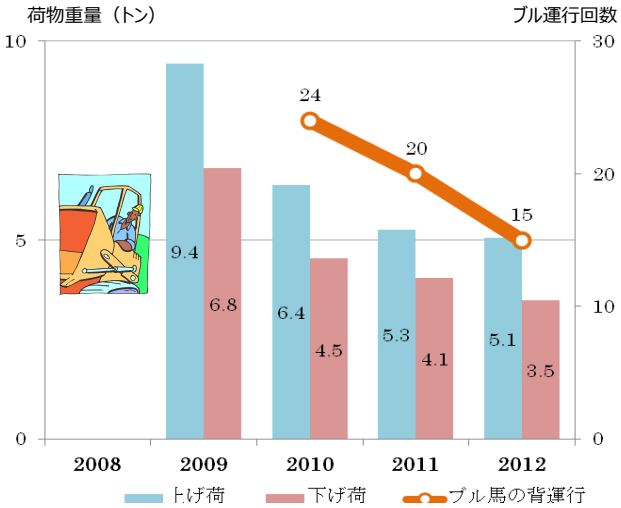


図 3.1　物資のブル輸送実績

（富士宮市および小山町）に車両通行証の一括発行申請を行い、利用者の便宜をはかった。
なお、御殿場基地には夏期観測期間を通してレンタカーを配備し、基地―太郎坊間、基地―ごみ処理場間などの人・物資の輸送に活用したが、遊び(アイドル)時間における有効活用も課題である。

(3)整備

測候所建屋および送電線などのインフラ設備については、開所前の点検により機能確認と必要なメンテナンスを実施し、その機能維持をはかっている。幸い 2012 年度は大きな異常は認められなかったものの、建設から既に 50 年近くを経過しているため電柱腕金の発錆など経年劣化が進行しており次年度には何らかの手当が必要と診断されている。8月 15 日夜間に 12 時間に及ぶ停電事故が発生し、研究グループの観測が少なからぬ影響をうけたが、原因は設備の経年劣化ではなく、麓の太郎坊にある送電線配電盤へネズミが侵入し地絡を引き起こしたものであった。
また、NPO が管理している設備ではないが、山頂に設置した携帯電話のアンテナ工事がたまたまその回線の利用を前提とした NPO の中継イベントと重なり、開始直後に突然通信が途絶するという事故も発生した。富士山では通信回線は不特定多数のユーザーが登山等にも利用していることも考慮すると、設備の工事作業に際しては関係者間の事前連絡と周知徹底が必須要件であるということを改めて思い知らされた。(表 2.2 参照)
観測データの地上でのリアルタイム監視や PC リモートコントロールなどに使用している無線 LAN は、放医研のご好意によりそのサービスを提供していただいているが、シーズンを通して電波状態が不安定で、断続的にデータ転送速度が低下するなどの事象のため有効に活用することができないまま終わり、研究観測のみならずライブカメラ中継にも影響を受けた。研究観測の無線 LAN への依存度を考慮すると新たなルートによるより安定的な通信の確保などの対策が課題である。

表 2.2 電気・通信関係の事故

NO	発生/回復	事象/影響	原因/再発防止策
1	**工事による携帯回線通信不能** 【発生】8月4日(土)13:08 【回復】8月4日(土) 14:47 【支障時間】1H39M	【事象】富士山頂、被災地いわき、横浜の3箇所を携帯電話回線で、子供達を対象に富士山頂実験室としてイベントを開催していたが、突然通信が途絶し、富士山頂の画像音声を送信することができなかった。	【原因】当日13：00から、御殿場中継局の周波数変更工事を行ったため。 【再発防止策】工事作業により停波する可能性がある場合の事務局への事前連絡の徹底と関係者への周知。
2	**山頂12時間停電** 【発生】8月15日(水)21:43 【回復】8月16日(木)9：55 【支障時間】12H12M	【事象】夜間21時43分山頂電気が突然停電となり、翌朝、太郎坊にある1号キュービクルの遮断機を再投入して回復。 【影響】AU携帯不通、研究用装置停止。複数の研究グループはPCの再立ち上げができず、以降の観測を断念した。なお、環境省バイオトイレはこの間は重油に切り替えて対応した。	【原因】キュービクル内でネズミが回路に接触し地絡したと想定される。 【再発防止策】ネズミ侵入防止のためキュービクルの扉を取り替え(来年実施)。

(4)情報管理

大量の研究者・物資の移動および安全確保のためには、そのサービスに直接関わる現場である山頂班、御殿場基地班と事務局(東京)の間で、登下山情報、荷物運搬情報、関連するイベント情報等を共有し、オペレーションの円滑化をはかることが必須要件となる。
研究者からの申請情報は事務局が一元的に集約し、HP(会員限定頁)で随時どこからでも見られるようにして登下山管理の基本となる活動予定などのイベント情報の共有化をはかった。また、事務局と御殿場基地間では、頻繁に関連情報の更新・送受が行われるため、クラウドサービスを活用してデータの共有・同期の効率化をはかったが、次年度は山頂を含めた活用が課題である。
なお、登山道の開通情報、マイカー規制情報、地元で開催される各種行事等は研究者の登下山に影響するため、情報収集に心がけメーリングリストや HP で関係者に周知した。

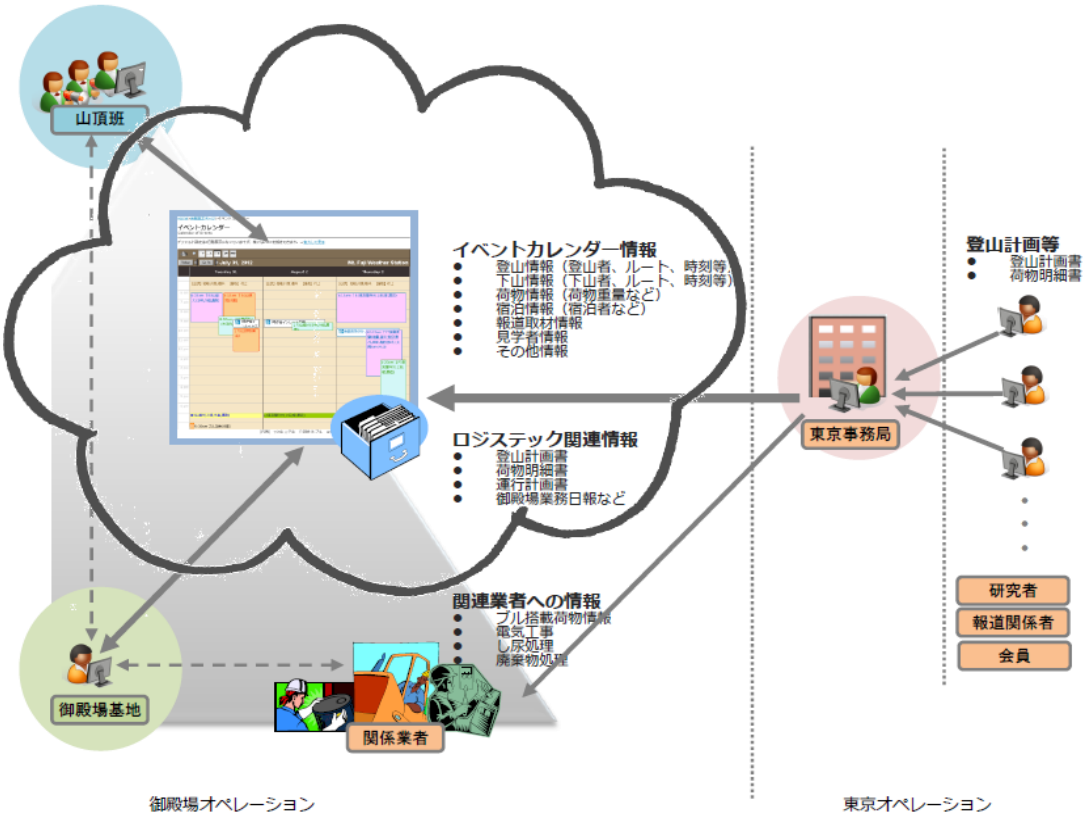


図 3.1 情報の一元化と共有化

4. 参加プロジェクト

参加プロジェクトは 16 件(研究 13 件、活用3件)で、参加者数を含めプロジェクトの規模は昨年とほぼ同程度にとどまった。継続プロジェクトについては観測システムの安定化に伴い、リソース(人員・滞在日数)を減らしてより能率的な研究体制に移行していることもその一因といえよう。一方で研究分野については、新たに天文学(日本スペースガード協会)や中学校・高等学校の理科教材開発といった教育での活用なども加わり、拡がりを見せている。(表 3.1)

表 3.1 研究/活用プロジェクト

NO	研究プロジェクト	研究者（所属）	分野	区分
(研究)				
1	富士山頂における長期二酸化炭素濃度観測	向井人史(国立環境研究所)	大気化学	継続
2	富士山頂における一酸化炭素およびオゾンの夏季の長期測定	加藤俊吾(首都大学東京)	大気化学	継続
3	富士山を観測タワーとした大気中水銀の長距離輸送と沈着に関する研究	永淵 修(滋賀県立大学)	大気化学	継続
4	富士山頂におけるエアロゾル粒子と雲凝結核の測定	三浦和彦(東京理科大学)	大気化学	継続
5	富士山体を利用した自由対流圏高度におけるエアロゾル―雲―降水相互作用の観測	大河内博(早稲田大学)	大気化学	継続
6	宇宙線被ばく線量評価の信頼性向上を目的とした富士山頂での放射線測定	矢島千秋(放射線医学総合研)	放射線	継続
7	富士山体を利用した福島原発起源の放射線核種の輸送に関する調査研究	鴨川 仁(富士山測候所を活用す	放射線	新規
8	富士山山頂における大気電気現象および超高層大気の観測	鴨川 仁(東京学芸大学)	大気電気	新規
9	富士山測候所雷対策に関する調査研究	土器屋由紀子(富士山測候所を	大気電気	継続
10	富士山測候所のスカイコンディション調査	坂本強(日本スペースガード協会)	天文学	新規
11	富士山の永久凍土研究：研究の第二段階	池田敦(筑波大学)	永久凍土	継続
12	富士山山頂短期滞在時の安静及び運動の動脈系血行動態に及ぼす影響に関する研究	浅野勝己(筑波大学名誉教授)	高所医学	継続
13	富士山山頂における酸化ストレス上昇に対する口腔内装置と高濃度溶存酸素水の効果	野口いづみ(鶴見大学歯学部)	高所医学	継続
(活用)				
14	富士山旧測候所を利用した通信の可能性について	吉田智将(KDDI株式会社)	通信	継続
15	「富士山頂実験室」	佐藤元(気象実験クラブ)	教育	継続
16	「理科準備室へようこそ」～富士山頂での教材開発～	古田　豊(立教新座中・高等学	教育	新規

研究観測用の機材を山頂に設置するプロジェクトについては、契約書にもとづき気象庁に許可を受けるほか、環境省(自然公園法)および静岡県教育委員会(文化財保護法)へ現状変更許可申請を提出し、それぞれの許可を受けたうえで実施している。さらに、撤収時には通年観測機材を含む残置機材についても気象庁の立ち会いのもと原状回復の確認を受けている。(図 3.1)

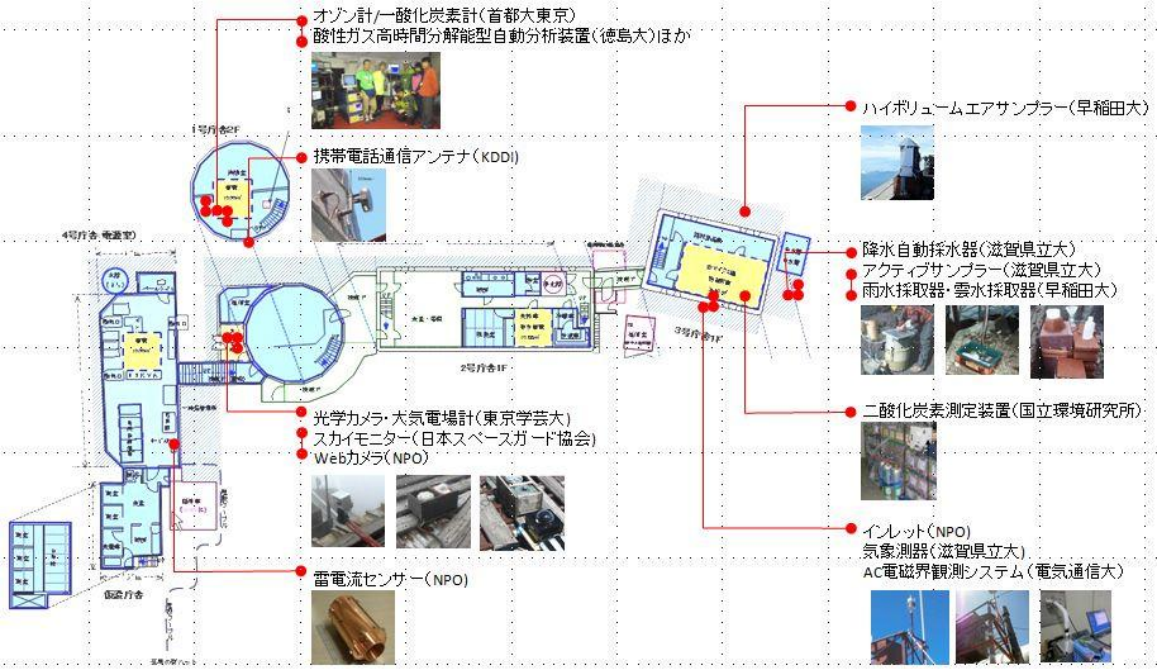


図 3.1 観測機材の設置場所

5. 研究成果

(1)成果の概要

継続プロジェクトでは①新規開発した酸性ガス・粒子の高時間型自動分析装置による酸性ガスの長期連続自動観測(早稲田大・徳島大)②富士山頂のみならず徒歩下山途中および山麓の太郎坊における気球による定点集中観測での大気エアロゾルの鉛直構造の研究(東京理科大)などの新たな取り組み、新規プロジェクトでは③天文分野への応用(日本スペースガード協会)④AC 電磁界測定(電気通信大)なども実施され、その成果が待たれている。

また、研究成果の定量的な指標の一つとして学会等での富士山測候所で実施された研究観測による成果の発表件数があげられるが、2007 年度以降のこれらの発表件数は累計で 223 件に達している。この中には学生を始めとする若手研究者も多く含まれており、彼らが学生賞を連続受賞していることは、富士山の観測が若い人たちによって担われていることを示し、本活動助成の特筆すべき成果でもある。(2012 年度は 2013 年 1 月現在の数値)

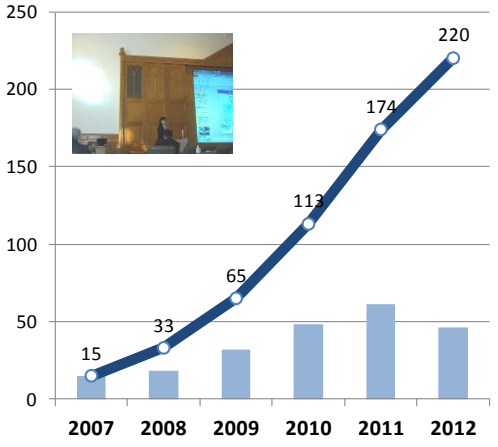


図 5.1 学会等での研究成果の発表実績

(2)インレットの新設

2012 年の特記すべき成果としてインレットの新設による研究環境の整備があげられる。

富士山頂においてオキシダントを始めとする長距離輸送汚染物質を測定するには、多くの場合、何らかのエア・インレットを設置して大気エアロゾルを室内に吸引し、室内で測定機器を導入もしくはサンプラーに捕集を行うこととなる。

現在1号庁舎で使用しているインレットは、2004 年以前の気象庁時代のもので、利用希望者数の増加に対応できないほか登山者の多い 1 号庁舎付近での人為的な汚染などの問題もあり、新たにインレットを増設することが要望されていた。

設置場所は①工事量を最小化②外壁加工を伴わない③外部から目立たない④パイプ補強強度がとれる⑤将来の通年観測に転用できる、などから外側にダクトがある3号庁舎東側とした。

設置工事は7月 30 日に大河内博・早大教授立会いの下に、丸勝工務店が3号庁舎外側の工事を施工し、7月 31 日に小林拓・山梨大准教授が室内分岐部の取り付けを行い、終了後通気テストを経て試験観測を開始した。これにより次年度夏期からの本格的な運用に向けて準備が整った。

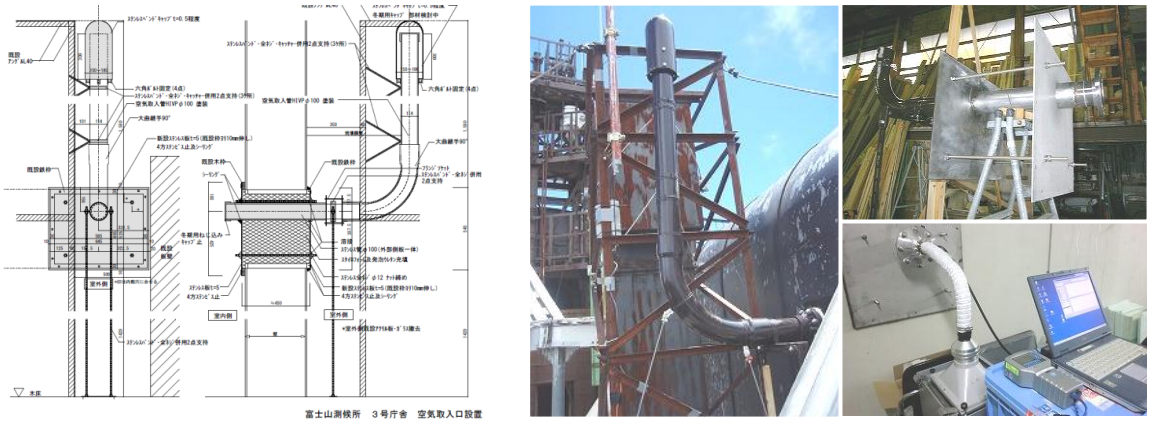


図 5.2 インレット設計図(左)と取り付け完了後(中)工場製作中(右上)室内分岐部(右下)の各写真

6. おわりに

富士山測候所の 2013 年 7 月以降の第 3 期となる貸付については 2012 年 12 月3日に東京管区気象台から公募公示され、富士山測候所を活用する会がこれまでの実績をもとに「企画提案書」を提出、借受者となることが正式に決定した。第3期契約では、借受期間は5年間に延長されたほか、夏期・冬期を通して同一の広い面積を借り受けることができるようになり、通年観測の際の建物利用の自由度が大幅に高まることになる。

過去6年間の富士山測候所を利用した研究者等は延べ 2,200 人以上にも上るが、これまで無事故で終始している。ロジステックスの定義は種々あるが、「大量の人員、設備、物資がかかわる複雑なオペレーションの細部にわたる調整」(*the New Oxford American Dictionary*) であり富士山頂という高所・極地で展開される研究観測活動を安全・円滑に遂行するために重要な役割を占めているといえよう。

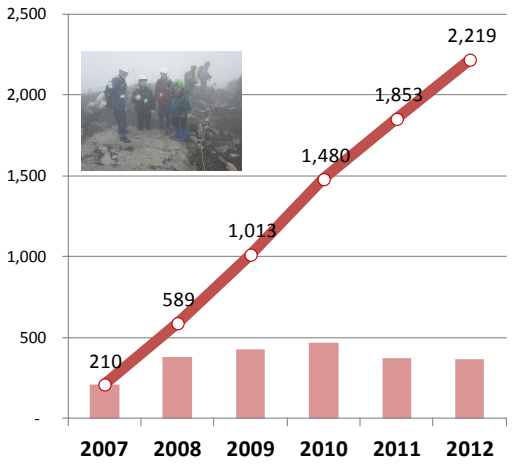


図 6.1 夏期観測参加者の推移

*連絡先:畠山史郎(Shiro HATAKEYAMA), hatashir@cc.tuat.ac.jp

P-02:夏季の富士山頂におけるオゾン・一酸化炭素の年ごとの比較

加藤俊吾[1]
1. 首都大学東京　都市環境学部

1. はじめに

富士山頂は高度が高いため、近傍の大気汚染の影響を受けず日本に到達する大気の観測を行うことができると考えられる。近年オゾン(O_3)が広域的に増加していることが問題となっており、日本の清浄な地点において O_3 の濃度レベルがどの程度であるかを把握しておくことは重要である。また、汚染大気の指標となる一酸化炭素(CO)は大気の起源を推定する上で役に立つ。これらの物質を富士山頂の夏季に、2007 から測定をおこなってきた(2007 は O_3 のみ)。

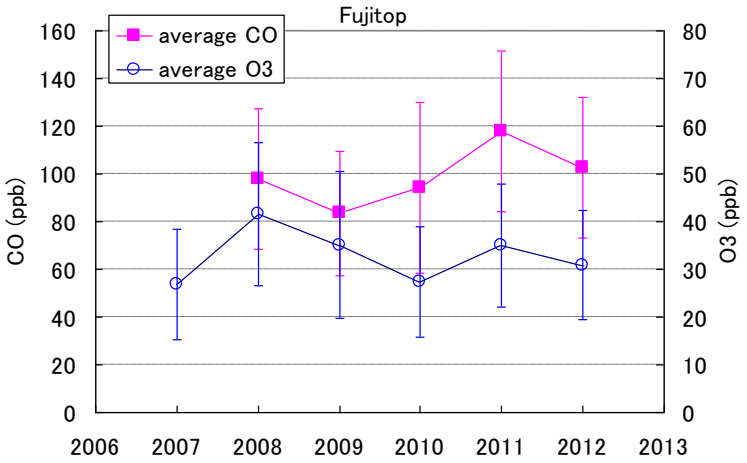
2. 観測

O_3 は紫外吸収法の装置(Thermo Envirinmental Instruments Model49i)、CO は赤外吸収法の装置(Thermo Envirinmental Instruments Model48C)を富士山頂庁舎に設置して、7-8 月の間連続測定を行った。2010 年からは無線 LAN により装置の動作状況把握やデータのリアルタイムの情報が下界にいながら確認できるようになった。

3. 測定結果および考察

富士山頂は発生から離れた地点であるにもかかわらず、O_3, CO は毎年かなり大きな濃度変動を示した。両者は基本的には同様な変動をし、清浄な大気のときには両方低濃度、汚染大気の影響を受けているときは両方高濃度となる傾向がみられた。CO が低濃度だが O_3 だけが高濃度となるのは高高度の大気の影響で、CO だけが高濃度となるのは汚染大気の輸送だが O_3 の光化学生成があまり進んでいない大気の影響を受けていると考えられる。しかし、相関プロットを年ごとにわけてとると、それぞれの年でやや傾向がことなっていた。図に年ごとの平均の O_3, CO 濃度を示すが、両者で必ずしも同じような変動はしておらず、その年の夏季の気象状況が反映されていることが考えられる。

水蒸気濃度は地表からの大気が来たときには高く、上空からの大気が来たときには低いと考えられる。水蒸気濃度のデータを用いてデータを整理した。汚染大気の指標である CO が低いにも関わらず O_3 が高濃度となるときは水蒸気濃度が低く、上空の大気が輸送されてきていることがわかった。しかし、とくに 2012 年の夏季には水蒸気濃度が低いにも関わらず CO も高くなる場合も見られた。後方流跡線など大気がどこから運ばれてきたか調べると上空から大気が運ばれてきたことは確認できており、汚染大気がかなり上空に持ち上げられ輸送されていく大気の影響を受けたのではないかと考えられる。



*連絡先：加藤俊吾(Shungo KATO)、shungo@tmu.ac.jp

P-03:富士山体を利用した自由対流圏高度におけるエアロゾル―雲―降水相互作用

大河内博[1]、緒方裕子[1]、皆巳幸也[2]、米持真一[3]、竹内政樹[4]、香村一夫[1]
1. 早稲田大学、2. 石川県立大学、3.埼玉県環境科学国際センター、4. 徳島大学

1. はじめに

雲はエアロゾルを凝結核として生成し，その成長過程で水溶性ガスを吸収する．雲粒径が臨界直径より小さければ，雲粒は消失して気相にエアロゾルを放出するが，この過程を通じてエアロゾル径を増加させるとともに，水溶性成分を増加させる．雲粒径が臨界直径より大きければ，雲粒はさらに液滴成長して併合衝突により雨滴となって地上に落下する．このエアロゾル―雲―降水相互作用は，地球温暖化とその環境影響の将来予測の観点から注目されている．

2. 観測期間・観測地点・観測項目

自由対流圏高度に位置する富士山頂で2012年7月14日から8月24日までエアロゾル(水溶性成分，多環芳香族炭化水素およびその類縁化合物，フミン様物質，球状炭化粒子，黄砂)，ガス(酸性ガス、揮発性有機化合物，多環芳香族炭化水素およびその類縁化合物)，雲水および雨水の観測を行い，日本上空のバックグランド濃度の測定を行った．また，引き続き、越境汚染あるいは夏季の斜面上昇流に伴う山麓の汚染気塊(国内汚染)の流入に伴うバックグランド大気汚染の特徴およびエアロゾル―雲―降水相互作用をフィールド観測により検討した．

3. 観測結果

2012 年には 33 試料の雲水が採取されたが，体積加重平均 pH は 4.79，総主要無機イオンの平均濃度は 200 μeq/L 以下，主要酸性物質比である NO_3^-/nss SO_4^{2-}比は 0.97(当量比)であり，2009 年以降は比較的安定していた．図 1 には，2012 年 7 月の夏季集中観測期間中に富士山頂で採取された雲水中化学成分総イオンとpHの経時変化を同時に採取したエアロゾル中 NO_3^-， SO_4^{2-}濃度とともに示す。大陸南部からの空気塊の影響を受けている 7 月 14 日には，エアロゾル中 NO_3^-， SO_4^{2-}濃度および雲水内主要無機イオン濃度が高く，低 pH であった．空気塊が海洋に変化すると，エアロゾル中 NO_3^-， SO_4^{2-}濃度および雲水内主要無機イオン濃度は低下し，pH は増加した．雲水試料が 30 以上採取できた 2009 年以降，大陸由来の空気塊が富士山頂に輸送される時に雲水内化学成分濃度の上昇とpHの低下が認められており，富士山頂の雲水は越境汚染の影響により酸性化していることが明らかである．現在，雲水内主要無機イオンの起源解析を行っている．

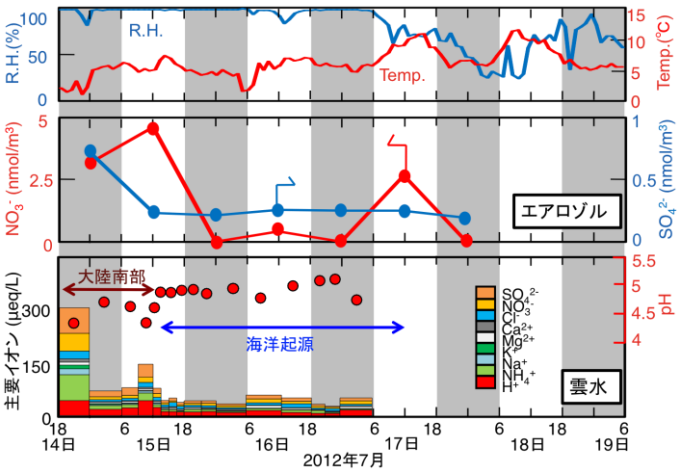


図 1　2012 年 7 月夏季集中観測期間中の富士山頂における雲水化学成分濃度の経時年変化

4. おわりに

発表時にはフミン様物質の動態、酸性ガスおよびエアロゾルの連続観測結果も合わせて報告する。

*連絡先：大河内　博 (Hiroshi OKOCHI)、hokochi@waseda. jp

P-04:富士山頂、上海および首都圏で同時採取した PM_1 の組成と磁気的特徴

米持真一[1]、王効挙[1]、梅沢夏実[1]、大河内博[2]、緒方裕子[2]、名古屋俊士[2]、原田侑宜[2]、柳本悠輔[2]、城裕樹[3]、Lu Senlin[4]、Zhang Rui[4]
1. 埼玉県環境科学国際センター、2. 早稲田大学、3. さいたま市健康科学研究センター、
4.上海大学環境与化学工程学院

1. はじめに

2009 年 9 月、大気中微小粒子状物質($PM_{2.5}$)の環境基準値が告示された。国内の移動発生源、固定発生源への規制強化により、いくつかの組成(Cl^-、元素状炭素(EC)等)には明瞭な減少が見られる一方で、中国の経済発展に伴い越境大気汚染の $PM_{2.5}$ への寄与は相対的に顕在化しつつある。$PM_{2.5}$ は分級特性上、自然由来粒子が一部含まれる。埼玉県環境科学国際センター(加須市)では、これらの影響をほとんど受けない PM_1 にも着目し、2005 年より通年観測を行っている。

本研究では、自由対流圏に位置する富士山頂(図 1 参照)、中国上海市および都心(図 2 参照)と郊外にて微小エアロゾルの同時捕集を行った。主として PM_1 に含まれる金属元素成分に着目し、組成の比較を行うとともに、磁気的性質にも着目した新たな粒子の分類手法(磁気分離法)を検討、適用した結果を紹介する。

2. 調査方法

試料採取は富士山頂、上海市、新宿区(早大)、さいたま市、埼玉県加須市とし、2010 年から 2012 年の夏季に実施した。採取装置は、2010 年と 2011 年の国内の地点は Andersen Low-Volume sampler (AN-200)を、上海市では Moudi-125B を用い、2012 年は全地点で MCI サンプラーを PM_1 仕様にして、大気エアロゾルの多段分級捕集を行った。フィルターはポリフロンフィルター(PF060、PF020)を用い、秤量によって質量測定後、水溶性無機イオンを測定し、主要組成の全体像を把握した。さいたま市を除く 4 地点の試料は、1μm 以下の粒径の試料を対象として、混酸(HNO_3、HF、H_2O_2)を添加後、マイクロウェーブにより分解処理を行い、ICP/MS によって元素成分分析を行った。

更に、試料を-196℃に凍結させて粉砕し、ネオジム磁石を用いて、磁性フラクションと非磁性フラクションとに磁気分離したのち、それぞれを ICP/MS により元素成分分析を行った。

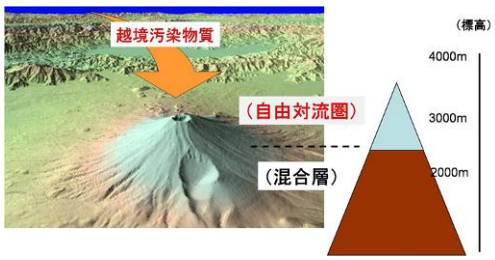


図 1　富士山頂利用の有意性

図 2　試料採取地点周辺の様子
新宿区（左）、上海市（右）

3. 結果と考察

2012 年の夏季試料は、事情により全地点分が揃っていないため、2 年間の各地点の $PM_{2.1}$、$PM_{1.1}$ の平均濃度および $PM_{1.1}/PM_{2.1}$ を図 3 に示す。加須、さいたま、新宿では、質量濃度および $PM_{1.1}/PM_{2.1}$ は地点間の差は小さかった。特に $PM_{1.1}/PM_{2.1}$ は 0.79～0.82 とほとんど同じ値であった。また、富士山頂の質量濃度は首都圏の約 1/2 であった。

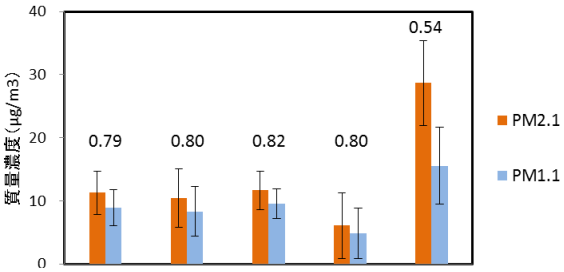


図 3　各地点の微小エアロゾル濃度
図中の数字は $PM_{1.1}$／$PM_{2.1}$

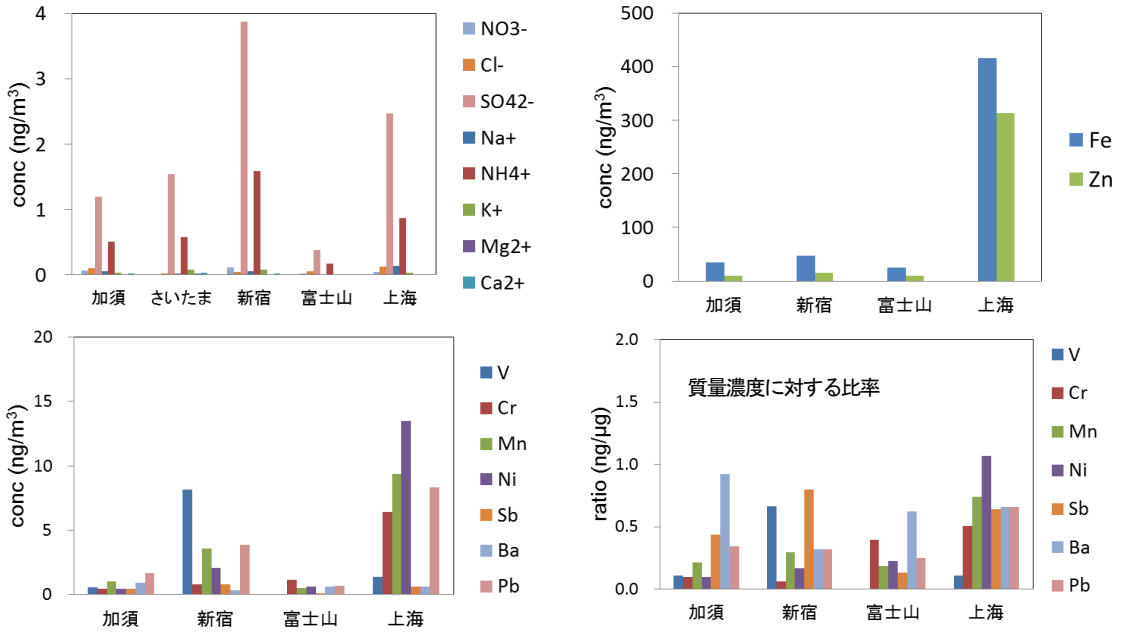


図 4　$PM_{1.1}$ 中の水溶性イオンおよび元素成分の比較

一方、上海市では、$PM_{2.1}$ が 2 倍以上、$PM_{1.1}$ は 1.5 倍程度高かった。更に着目すべきは $PM_{2.1}/PM_{1.1}$ (Moudi125B では $PM_{1.0}/PM_{2.5}$) であり、0.54 と国内に比べて大幅に低い値となっており、富士山頂や首都圏と比較して $PM_{1-2.5}$ の比率が高いことが上海市の特徴と考えられた。

図 4 に水溶性無機イオンおよび分析を行った元素成分の一部を示す。夏季の水溶性無機イオンは全ての地点で SO_4^{2-} が主要成分であり、NH_4^+ とともに硫酸エアロゾルを構成していることが分かるが、粒子質量に対する比率では全ての地点の差は小さかった。

一方、元素成分では地点間の差は大きく、Fe、Zn、Cr、Ni などは上海市の濃度が首都圏の 10 倍以上高く、多種多様な発生源から多くの元素成分が大気中に放出されていることを示していた。逆に富士山頂はほとんどの成分で濃度が最も低かったが、エアロゾルの質量濃度に対する比率(図 4 右下)で見ると、必ずしも低いとは言えないようであった。

次に本試料に対して磁気分離を試みた。各元素成分の非磁性フラクション＋磁性フラクション(T-metal)に対する磁性フラクション(M-metal)の比率の一部を図 5 に示した。Mn、Co、Sr、Ba、Fe などで新宿＜富士山頂≦上海の関係が見られ、富士山頂で得られた $PM_{1.1}$ の磁性フラクションの比率は上海市の値に近いことが分かった。一方、Cr、Ni、Cu の磁性フラクションの比率には、新宿、富士山頂、上海で大きな差が見られなかった。

この結果から、適切な元素の選択と、磁気分離法の組み合わせによって、本手法が越境大気汚染などの長距離輸送の指標として活用できる可能性が示唆された。

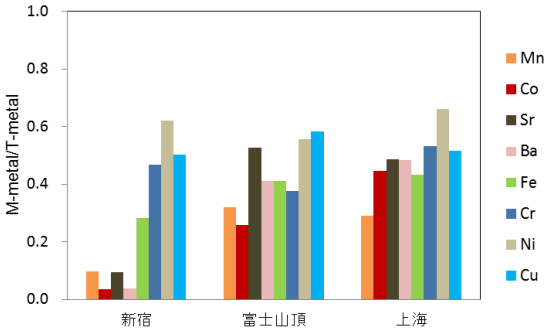


図 5　磁性フラクションの比率

4. おわりに

本研究は JSPS 科研費 24150027 の助成を受けた。また、2012 年度は北京市においても試料採取を実施している。今後、本手法の検証をさらに進めていく予定である。

*連絡先：米持真一(Shinichi YONEMOCHI)、yonemochi.shinichi@pref.saitama.lg.jp

P-05:富士山頂で観測した新粒子生成

長岡信頼、三浦和彦、上田紗也子
東京理科大学

1. はじめに

大気エアロゾルは太陽光を吸収、散乱することで直接気候に影響を与える。また、雲凝結核としても働くため、雲との相互作用を通じ、間接的にも気候に大きな影響を及ぼしている。そのため、気候を考えるうえでエアロゾルが与える影響を理解する必要がある。大気中において、ガスから新粒子が生成する過程は、エアロゾル濃度を決める主要な源であることから、新粒子生成のメカニズムの理解は不可欠となっている。しかし、東アジアにおける高高度の長期観測データは少ない。夏季の富士山頂は自由対流圏に位置することが多く、ローカルな汚染が少ないことが予想されるため、汚染物質の長距離輸送やバックグラウンド大気の測定が期待される。そこで本研究では、この新粒子生成のメカニズムの解明を目標に、夏季の富士山頂で粒径分布の測定を行った。

2. 方法

観測は 2012 年 7 月 19 日から 8 月 23 日の期間、富士山山頂 (3776m, 35.36N, 138.73E)で行った。エアロゾル濃度を SMPS（DMA と CPC）で直径 4 - 107 nm、SMPS (3034) で直径 10 - 453 nm 、光散乱式粒子測定器(OPC：KR12A)で 0.3 μm 以上を 3 分ごとに測定した。SMPS と OPC は導電性チューブから直接引いた外気をディフュージョン・ドライヤーに通して相対湿度 30％以下の乾燥状態にして測定した。

3. 結果と考察

ナノ粒子が高濃度になるイベントは 2006 年～2012 年の夏季観測で、186 日間の観測中 101 回観測した。また日中に 31 回、夜間に 72 回と日中より夜間が多かった(表 1)。エアロゾルの粒径分布は他の山岳地域でも多く測定されているが、主に日中にイベントを観測している。そのため、夜間に多くイベントを観測する現象は富士山固有のものである。

2012 年は新粒子生成イベントを測定期間の間で日中に 2 回、夜間に 5 回の計 7 回観測した。図 1 にエアロゾルの粒径分布と Condensation Sink (CS)、水蒸気混合比の時系列を示し、赤帯が日中のイベント、青帯が夜間のイベントを示す。CS は低揮発性気体成分が既存粒子の凝縮によって除去される速さで、既存粒子が新粒子を抑制する効果の目安として用いられる。CS は SMPS と OPC より、 Kulmala *et al.* (2001) の式に基づいて算出した。日中に観測した新粒子生成イベント時の CS は観測期間中の CS の平均値よりも低く、新粒子生成により適した条件になっていたことを示唆する。その一方で、夜間のイベント時に関して CS は低い値を示さない場合があった。夜間のイベントは他地点からの輸送などが考えられ、夜間のイベント発生時の多くで水蒸気混合比の減少を確認した。これは、上層から沈降したナノ粒子を観測した可能性を示唆する。

次にエアマスの輸送経路および輸送高度が新粒子生成に与える影響を調べるために、NOAA の HYSPLIT モデルを用いて、3 日前までの後方流跡線を一時間ごとに計算した。その結果より、エアマスを大陸由来、日本由来、海洋から陸由来、海洋由来、オホーツク由来の 5 つの由来別に分けた。図 2 にイベント発生時の流跡線を示す。左図が輸送経路、右図が輸送高度を示し、赤が日中、青が夜間のイベント時の流跡線を示している。新粒子イベントの時は様々な輸送経路、高度からのエアマスで、明確な傾向は見られなかった。しかし、観測期間中は海洋由来のエアマスが多かったため、由来別のイベント発生頻度で考えた場合は大陸由来のエアマスが最も高かった(図 2)。

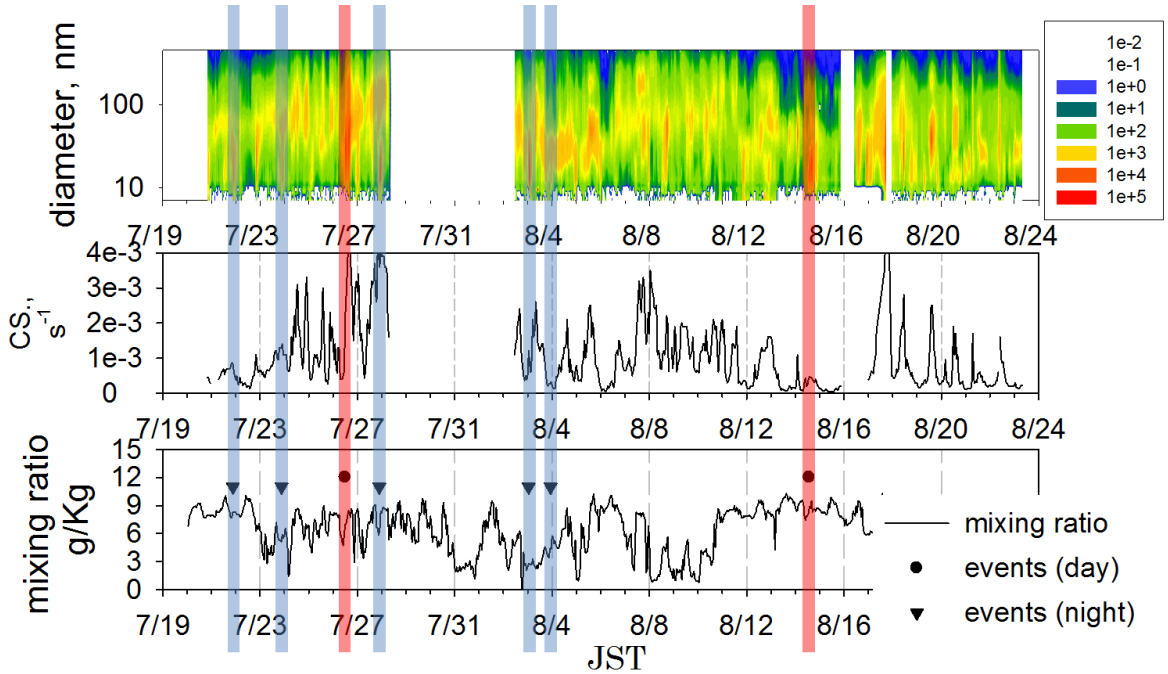


図 1　測定期間の粒径分布（上）と Condensation sink(中)と水蒸気混合比(下)

表 1　ナノ粒子の高濃度イベント回数

	day	night	total evens	observation days
2006	12	5	17	28
2007	4	17	21	27
2008	3	11	14	20
2009	4	12	16	30
2010	2	11	13	26
2011	4	11	15	25
2012	2	5	7	29

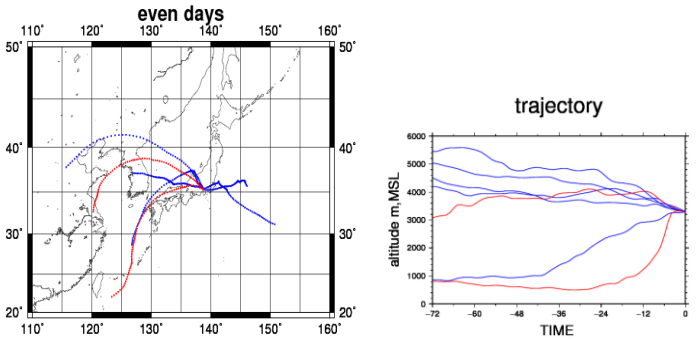


図 2 イベント時の三日間の後方流跡線

参考文献

Hervé　Venzac, et.al., (2008) High frequency new particle formation in the Himalayas, PNAS, 105, 41,15666-15671

Kulmala, M., et.al., (2001) On the formation, growth and composition of nucleation mode particles, Tellus B, 53, 479–490

西田千春、長田和雄(2009) 乗鞍における大気エアロゾルの観測: 粒子数粒径分布の変化とその要因, エアロゾル研究, 24, 105-111

*連絡先：長岡　信頼(Nobuyori Nagaoka)、j1212628@ed.tus.ac.jp

P-06:富士山山頂で測定した雲凝結核

渡辺彩水、長谷川朋子、三浦和彦、上田紗也子
東京理科大学

1. はじめに

エアロゾルには直接効果と雲アルベド効果（間接効果）がある。直接効果は太陽光を吸収散乱する効果、雲アルベド効果は雲形成時に雲凝結核（CCN）として働く効果である。CCN は雲の光学特性や寿命を変化させる働きがあり、雲による地球冷却効果に影響を及ぼす。IPCC(2007)の放射強制力に関する報告書によれば、エアロゾル効果の内の雲アルベド効果に関してはエラーバーが大きく、理解度が低い。そのため、多くの地域で、雲粒になり得る粒子である CCN を測定することが必要となっている。近年では全球気候モデル等に組み込むために、エアロゾルの粒径や化学組成など CCN 活性に寄与するもののパラメータ化がよく行われている。それらのパラメータから計算（推定）する CCN 濃度（Nccn_cal）と実測値（Nccn）を比較することを CCN closure study という。今回、富士山山頂で CCN 濃度を測定し κ ーケーラー理論（Petters and Kreidenweis, 2007）を用いて CCN closure study を行うことで、CCN 活性に寄与するものを調べた。自由対流圏に位置することが多い富士山山頂での観測はローカルな影響を受けにくく、大陸からの汚染質の長距離輸送などをみるのに適しているという利点がある。我々は 2011 年度から夏期のみではあるが CCN 測定を行っている。昨年の結果については長谷川ら（2011）に報告した。本研究では 2012 年度の結果について報告する。

2. 測定方法

2012 年 7 月 20 日～8 月 23 日の期間に、富士山特別地域気象観測所で測定を行った。測定には SMPS（Model 3034, TSI）、OPC(KR12A, RION)、CCNC(CCN-100, DMT)を用いた。ディフュージョンドライヤーを通して空気を乾燥させ、SMPS と OPC で凝結核（CN）濃度(Ncn)とその粒径分布を、CCNC で 0.05、0.11、0.17、0.24、0.30、0.36%の 6 つの過飽和度における CCN 濃度(Nccn)を測定した。

3. 結果、考察

観測結果を図1に示す。ピンクに色付けされている部分は NOAA の HYSPLIT の後方流跡線を用いて山頂が自由対流圏に位置していたと考えられる期間、青に色付けされている部分は降水があった期間である。粒径分布の幾何平均径は大陸由来で大きく、海洋由来で小さくなることがわかった。これは大陸からの長距離輸送によって、粒子が成長したためだと考えられる。

粒径分布と N_{CCN} から臨界乾燥粒径（Dm）を算出し、κ ーケーラー理論を用いて吸湿性パラメータ κ を求めたところ、観測期間中の κ の平均値は 0.47 だった。ユングフラウヨッホ（Jurányi et al., 2010）で測定した κ は 0.34 であり富士山のほうが吸湿性が大きいことがわかった。また、大陸由来の κ は 0.44、海洋由来の κ は 0.51 と海洋由来のほうが大きくなった。

粒子が十分に内部混合していると仮定すると N_{CCN} は以下の式から計算できる。観測データを用いて下式から算出した CCN 濃度（Nccn cal）と実際に測定した CCN 濃度（Nccn）を比較した。本研究では下式中の粒径分布（n（log Dp））を平均で固定する方法と κ（Dm）を固定する方法で二種類の CCN 濃度を算出した。

$$\int_{D_0}^{Dm} n(\log D_P) d\log D_P = N_{CN} - N_{CCN}$$

その結果、粒径分布を固定した場合のほうがばらつきは大きくなった（図 2）。よって、富士山山頂では粒子の吸湿性(成分)より粒径分布の寄与が大きいことがわかった。

4. おわりに

富士山山頂で CCN 濃度の測定を行ったところ以下のことがわかった。

(1)観測期間中の κ の平均値は 0.47 となった。

(2) κ の値は大陸由来より海洋由来のほうが大きくなった。

(3)CCN closure study から山頂では CCN 活性には粒子の吸湿性より、粒径分布の寄与が大きいことがわかった。

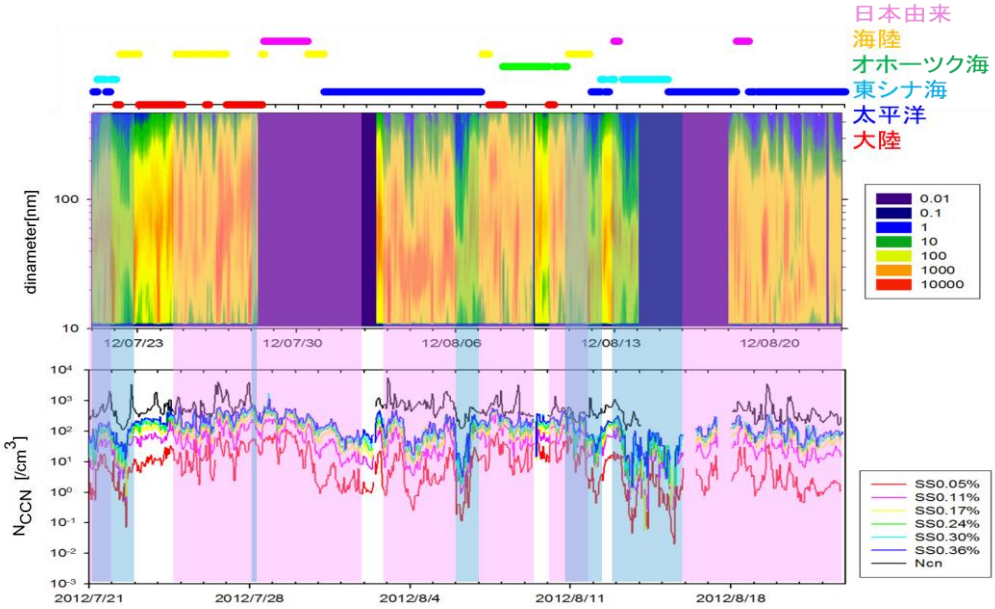


図1 エアマスの由来(上)、粒径分布(中)、CCN 濃度(下)

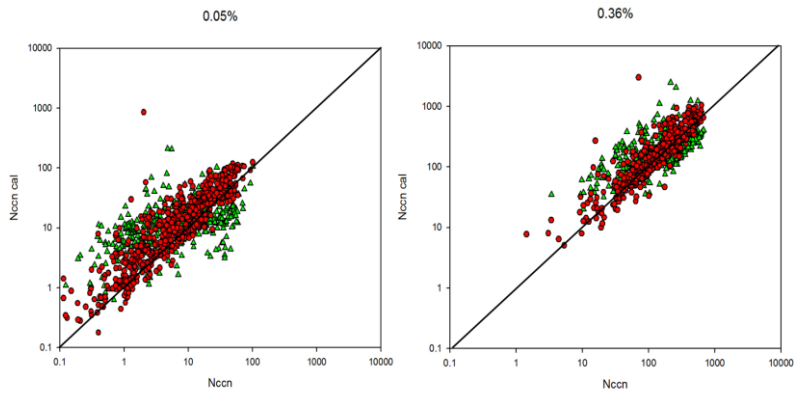


図2 過飽和度 0.05%(左)と 0.36%(右)における CCN 濃度の実測値と計算値の比較
(緑:粒径分布を固定、赤: κ を固定)

参考文献

Jurányi, Z., Gysel. M., Weingarner, E., DeCarlo, P. F., Kammermann, L. and Baltensperger, U. (2010) Measured and modelled cloud condensation nuclei number concentration at the high alpine site Jungfraujoch, Atmos. Chem. Phys., **10**, 7891-7906

Petters, M. D. and Kreidenweis, S. M. (2007) A single parameter representation of hygroscopic growth and cloud condensation nucleus activity, Atmos. Chem. Phys., **7**, 1961-1971

長谷川朋子、三浦和彦 (2012) 第5回成果報告会 講演予稿集 52-53

*連絡先:渡辺彩水(Ayami WATANABE)、j1209098@ed.tus.ac.jp

P-07:富士山太郎坊と山頂におけるエアロゾル粒径分布の変動および霧による影響

堀　周、関山　舞、上田紗也子、三浦和彦
東京理科大学

1. はじめに

エアロゾルは大気中に浮遊する直径数 nm から数 μm の微粒子である。エアロゾル粒子による太陽放射の光散乱効果を考慮する上で、粒子のサイズと濃度、およびその変化要因を理解する必要がある。本研究では、自由対流圏内に位置する富士山頂とその山麓（太郎坊）での観測によりエアロゾルの粒径分布の変動要因について数値計算を用いた検証を行った。

2. 測定および解析方法

2012 年 7 月から 8 月に、富士山測候所（標高 3776 m）と山麓の太郎坊（標高 1300 m）で観測を行った。外気を拡散ドライヤーで 20%以下に乾燥させ、走査式粒子粒径分布計測器（山頂 SMPS; 3034,TSI 社製,10-453 nm, 太郎坊 DMA; 3080,TSI 社製 + CPC; 3025,TSI 社製,3.9-107 nm）と光散乱式粒子計数器（OPC; KR12, RION 社製>0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 5 μm）を用いて数ナノメートルから数ミクロンのサイズの粒径分布を測定した。また、山頂に設置されているライブカメラを用いて山頂の測候所周辺の雲の有無を調べた。

エアロゾル粒径分布は対数正規分布の峰（モード）の足し合せによって表すことができる。粒径分布の一時間平均値に対し、3 山または 4 山の対数正規分布によりフィッティングを行い、モード粒径およびモード毎の粒子数濃度の変動を確認した。ここでは、30 nm 以下を核生成モード、30 nm～85 nm をエイトケンモード、85 nm 以上を蓄積モードと定義した。

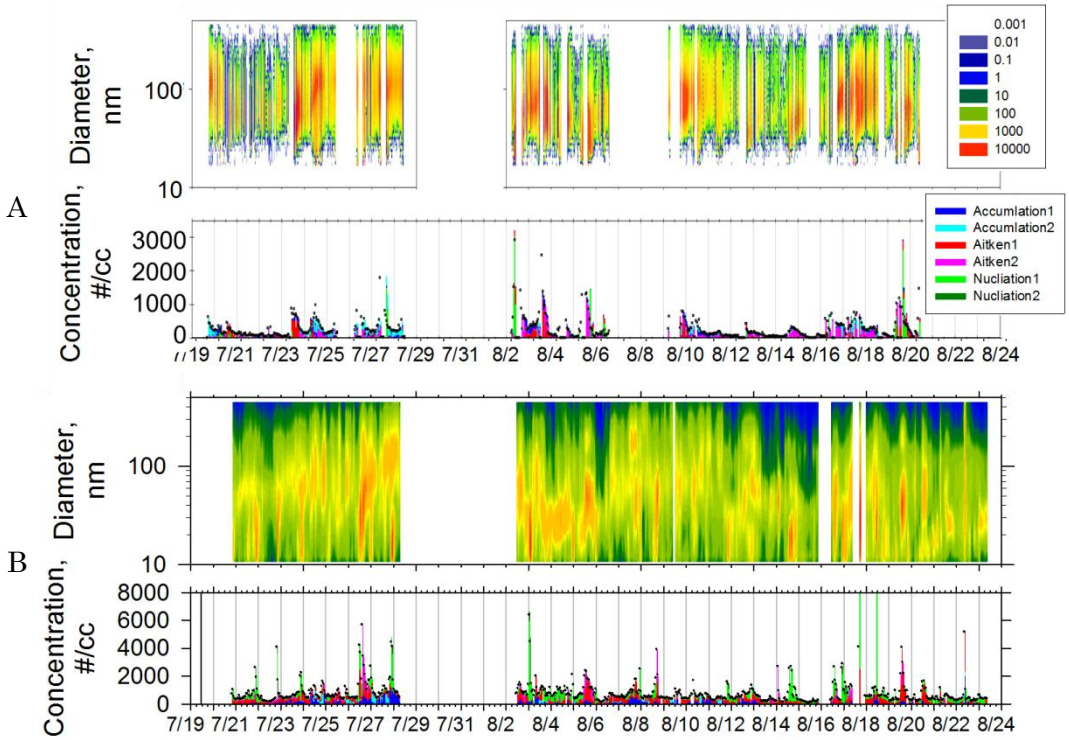


図１　太郎坊(A)と富士山頂(B)における粒径分布

3. 太郎坊および山頂のエアロゾル粒径分布の変動

山頂と太郎坊の両方で、エイトケンモード粒子の個数濃度が卓越していた。また、二つのエイトケンモード、または二つの蓄積モードを有する四つ山の粒径分布が多く見られた。エイトケンモードから蓄積モードにかけて、半日から一日の時間スケールで粒径が大きくなる様子が多く見られた。顕著な変化があり、且つ後方流跡線により気塊の変化がない期間についてフィッティングにより得られたモード粒径の変化の一部を例として表 1 に示す。なお、表 1 以外にも成長は多く見られた。

表 1　顕著な粒子成長が見られた期間と粒径の変化

太郎坊		富士山頂	
期間	粒径	期間	粒径
7/22　21:00　～　7/23 22:00	32 nm　～　71 nm	7/24 1:00　～　7/24 21:00	63 nm　～　112 nm
7/24　00:00　～　7/25 00:00	60 nm　～　78nm	7/27 8:00　～　7/27 14:00	88 nm　～　112　nm
8/3 18:00　～　8/4 00:00	66 nm　～　71 nm	8/5 14:00　～　8/5 20:00	49 nm　～　55 nm

4. 凝集および雲過程を考慮した粒子成長の見積もり

富士山頂で観測された 7/27 の蓄積モード粒子の成長（表 1）について、粒子同士の凝集を考慮した数値計算から、説明が可能であるか検証を行った。初期粒径 88 nm の粒子に対し、数値計算の結果を図 2 に示す。まず、粒子サイズを乾燥粒径のまま凝集を仮定したところ、ほとんど粒径に変化はみられなかった。一方、観測では乾燥粒子のサイズ・濃度を測定しているが、高濃度の大気中では粒子のサイズは大きくなり得る。7/27 の山頂付近には、近くに雲が多く存在しており、観測された気塊は雲を経験した可能性が高い。そこで、粒子が雲粒サイズに成長した際に凝集する過程を考慮し、雲粒が乾燥した後の粒子直径を見積もった（図 2）。雲過程を考慮した場合では、数時間で数十 nm の成長が可能であり、雲粒のサイズが大きいほど成長速度が速いことが示された。

以上のように、エアロゾル粒子が 1 μm 程度の雲粒に成長した際の雲粒併合過程を考慮することで、観測された蓄積モード粒子の粒子成長速度を再現することができた。

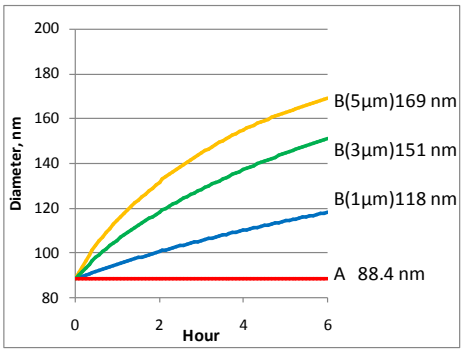


図 2　凝集による粒子サイズの時間変化。(A)乾燥粒径の凝集(B)雲過程を考慮した凝集。雲粒サイズを 1, 3, 5 μm に仮定して計算した。

5. まとめ

富士山頂と太郎坊で観測されたエアロゾル粒径分布によれば、エイトケンモードと蓄積モード粒子の卓越した四つ山の粒径分布が期間中多く、そのモード粒径が一日程度継続して成長する様子がしばしば見られた。数値計算を用いて成長要因を検討したところ、雲を介した凝集・併合過程を考慮することで、観測に近い成長速度を再現することができた。太郎坊および山頂では、霧が発生すること、または雲に非常に近いことが多かった点でも、雲を介した粒子成長過程は、本観測で多く見られたエイトケンモードと蓄積モード粒子の粒径変化を説明する有力なプロセスと考えられる。

*連絡先：堀　周(Itaru HORI)、itaru.hori@gmail.com

P-08:富士山斜面の雲上下で採取した海塩粒子：雲過程による粒子組成への影響

上田紗也子、広瀬雄揮、三浦和彦
東京理科大学

1. はじめに

大気中には、人為的・自然的要因により発生する種々の微粒子（大気エアロゾル粒子）が存在する。個々のエアロゾル粒子の組成や大きさは、気体物質の凝縮や凝集、雲を介した過程（雲過程）などの変質過程により、大気中で変化する。このうち、雲過程とは、エアロゾル粒子が雲粒に成長し、雲粒同士の衝突や気体物質の取り込まれることで、水分が蒸発した際の粒子組成とサイズが変わる過程を指す。この過程は、凝縮や凝集による変質と比べ、数百 nm 程度の粒子のサイズ・質量を飛躍的に変え得る過程と言われているが、観測的に変質の程度を見積もった研究報告は少ない。本研究では、雲過程によるエアロゾル粒子の変化を見積もることを目的とし、富士山斜面を下りながらエアロゾル粒子に関する観測を行い、雲の上中下でのエアロゾル粒子の比較を行った。

2. 観測・測定方法

2011 年と 2012 年の 7-8 月に富士山頂から御殿場ルートでの徒歩観測を行った。雲上、雲中、雲下の高度に 20 分程度留まり、光散乱式粒子数濃度計数器（OPC）を用いた粒子数濃度の測定と透過型電子顕微鏡（TEM）用サンプルの採取を行った。OPC には拡散ドライヤーを配し、相対湿度 30%以下でのサイズ別粒子数濃度を測定した。インレット部分に、２分毎にインパクター（50%カットオフ径、5 μm）を取り付けることで、霧粒を除いた粒子数濃度も得た。TEM 用サンプルは、拡散ドライヤー（RH<30%）を通し乾燥させた後、並列に組んだ 2 段のインパクター（50%カットオフ径、1 μm、0.3 μm）で採取した。TEM 試料は、白金パラジウムを斜めから蒸着した後に観察し、エネルギー分散型 X 線分析器による個別粒子の元素分析を行った。粒子サイズ（球相当径）は、TEM 画像での粒子面積と白金パラジウムによる影の長さから見積もった粒子体積より算出した。観測は、2011 年に 4 回、2012 年に 5 回行った。本研究では雲過程前後の気塊を比較するため、主風向が斜面下側からであり、かつ 3 日間の後方流跡線が、雲の上下でほぼ同一経路の 5 例（2011 年 7/15、8/11、2012 年 7/26、8/2、8/9）について解析を行った。7/15（2011）と 8/2（2012）は太平洋側から、8/11（2011）、7/26（2012）、8/9（2012）は日本海側からの気塊であった。

3. 結果

OPC で測定した粒径分布は、雲下から雲上で類似していた。雲内での測定によれば、>0.3 μm 粒子中の雲粒は、 2011 年 7/15、8/11、2012 年 7/26、8/2、8/9 でそれぞれ 4、43、18、16、28%であった。図 1 に 7/15、8/11（2011）、7/26、8/2、8/9（2012）に採取したサンプルの粒径 0.5～2.0 μm の EDX 分析結果を示す。硫酸塩が多く見られた 7/26（2012）を除き、Na を主成分とする海塩粒子が半分以上を占めた。海塩粒子は海水から生成される NaCl を母体とした粒子であるが、亜硫酸ガスや硝酸ガスによる置換により Na_2SO_4 や $NaNO_3$ に変わり得る。海塩粒子の多い 7/15、8/11（2011）、8/2、8/9（2012）について、各試料中海塩粒子の Cl/Na と S/Na のモル比を高度別に示す（図 2）。7/15（2011）は、雲下における Cl/Na の中央値（0.20）は雲上では 0 と小さかった。雲下と雲上の S/Na は違いがわずかであったことから、海塩粒子中の Cl が硝酸などによって置換されたと考えられる。8/11（2011）と 8/2(2012)、8/9（2012）の Cl/Na 比は雲上下ともに 0 だった。しかし、8/11（2011）と 8/9（2012）の雲上における S/Na 比は雲下に比べて高い傾向を示した。8/2(2012)の雲上下での S/Na 比の差異は小さいが、高い高度でわずかに高かった。これら 3 例ではいずれの試料でも Cl/Na 比がほぼ 0 であったことから、既に置換された海塩粒子に、さらに硫酸が付加されたことを示唆している。8/2(2012)のケースでは、太平洋からの気塊で、かつ粒子数濃度が比較的少ない条件であった。

雲粒への溶け込みや衝突に必要な気体物質や粒子が低濃度の条件とすれば、雲の上下での違いが小さいことと整合的である。8/11（2011）、8/2（2012）および 8/9（2012）について、置換後の海塩粒子に H_2SO_4 が付加したと仮定し、雲下の S/Na 比が雲上の S/Na 比になるのに必要な H_2SO_4 を見積もったところ、0.5～1 μm の粒子で単体粒子質量あたりそれぞれ、12、4、11%と見積もられた。

4. まとめ

2011 年と 2012 年の夏期に行った富士山下山道での徒歩観測では、雲上下の粒径分布には大きな違いが見られなかったものの、電子顕微鏡による解析から、雲過程による影響と思われる海塩粒子の組成変化を確認することができた。元素分析から見積もられた一度の雲過程による粒子一個の質量変化は 0.5～1 μm の粒子 1 割程度で、粒径にすればさらに 1/3 乗の小さな寄与ではあるが、鉛直観測と個別粒子組成分析とを組み合わせたことで雲過程による変化を見積もることができた。

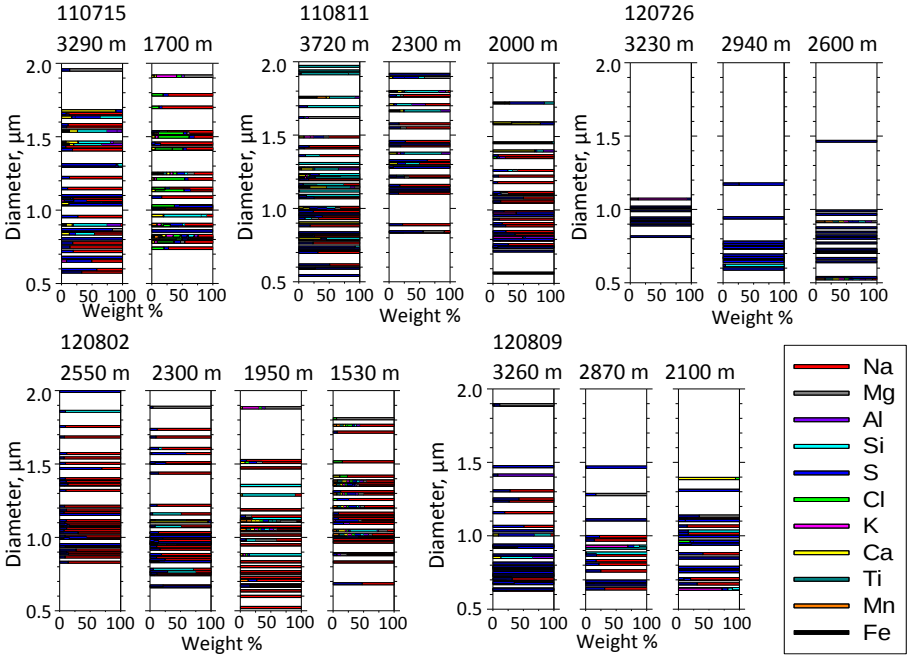


図１．雲内外試料中粒子の個別粒子組成

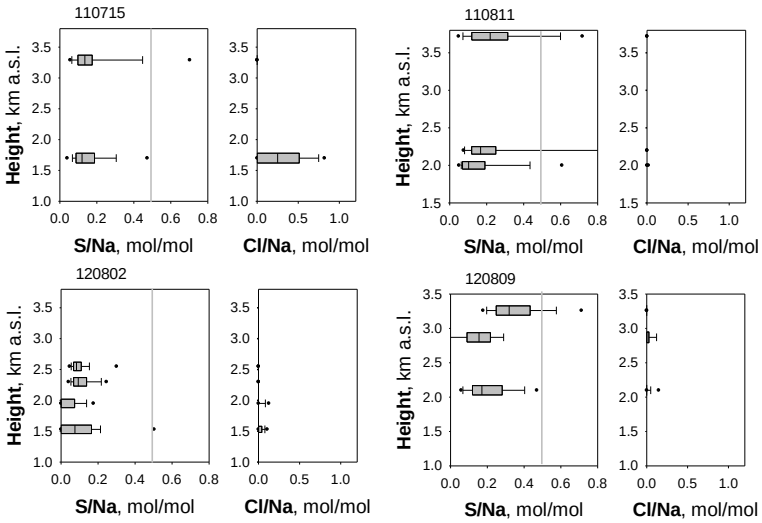


図２．高度別試料中の海塩粒子 Cl/Na、S/Na モル比の頻度分布

*連絡先：上田紗也子(Sayako UEDA)、ueda@rs.tus.ac.jp

P-09:富士山における福島原発事故起因の放射線測定

鴨川仁 [1,2]、大河内博 [1,3]、保田浩志 [1,4]、鳥居建男 [1,5]、土井妙子 [6]、久米恭 [7]、永淵修 [1,8]、
横山明彦 [9]、緒方裕子 [1,3]、田原大祐 [1,3]、米山直樹 [1,3]、土器屋由紀子 [1]
1. 富士山測候所を活用する会、2. 東京学芸大学、3. 早稲田大学、4. 放射線医学総合研究所、
5. 日本原子力研究開発機構、6. 国立環境研究所、7. 若狭湾エネルギー研究センター、
8. 滋賀県立大学、9. 金沢大学

（要旨）

2011 年 3 月の福島第一原発事故による放射能物質の飛来は大きな社会問題となった。多くの研究グループによるシミュレーションが直ちに公表され、後に複数点の地上観測データを組み込んだシミュレーションが公表された。しかし、その後の航空機モニタリングによる詳細な表面への放射性物質の沈着状況マップなどからは差異が見られることからシミュレーションの精度を高めるにはまだ多くの観測データを必要としている。それらの有用なデータになりうるのが富士山の高度方向の放射線等の測定データであると考えられる。

富士山測候所を活用する会では、山頂、五合目などで放射線、大気物質の夏季ないしは通年観測が数年行われている。それ故、これらのデータの解析により、原発事故前後の放射線変動データが高々度についても得られる。とりわけ、航空機モニタリングでは取得できていない山頂に関するデータは有用とみられる。

解析の範囲では、五合目では原発事故起因の放射性物質は確認され、3700m を越える山頂では放射性物質はバックグラウンドレベルの範囲内で増加は確認できなかった。また得られた結果について、航空機モニタリングで報告されている結果を参照し解釈を行う。

*連絡先：鴨川 仁(Masashi KAMOGAWA)、kamogawa@u-gakugei.ac.jp

P-10:富士山山頂越冬用気象環境データ記録システムの構築

鴨川仁[1,2]、藤原博伸[3]、稲崎弘次[4]、岩崎洋[2]、川原庸照[2]、土器屋由紀子[2]、鈴木裕子[1,2]
1. 東京学芸大学物理学科、2. NPO 法人富士山測候所を活用する会
3. 女子聖学院高等学校 4. 東山技研

(要旨)

小型データロガーを用いた通年観測を目指すため、基礎実験を行う。富士山山頂におけるソーラーパネルによる発電は、屋外であるとパネルへの着雪による発電低下、被雷、厳しい自然環境による劣化など観測条件が厳しい。それゆえ、本実験では、測候所の窓から得られる日光を利用した屋内発電で低消費電力のデーターロガーを冬季に運用させる。ソーラーパネルは富士ファインケミカル株式会社製折りたたみ式パネルを用い、ロガーは本研究の目的に合わせて専用品を製作した。

ロガーは低消費電力における測定を目指すためにプログラマブル IC である PIC (Peripheral Interface Controller)マイコンを用いる。特徴は計測装置をできるだけ省電力モードで作動させるように設計し、ソーラーパネルでの充電が可能で、電力収支計算によれば富士山の越冬観測が行えるものである。現段階での設計では、4チャンネル分の計測ができるようにしてある。記録可能な入力電圧は、0V から 5V 迄となっているが、分圧抵抗を付加する事により電圧範囲を容易に変更することが可能となっている。測定したデータは、SD カードに記録され、2 GB までの記録ができる。データはテキストフォーマットで書き込まれ日時と4チャネル分の電圧が記録される。今回行う 10 分サンプリングの場合1日 4 kB 程度であり、2 GB 記録可能な SD カードであれば、1 年の記録は十二分に行える。ロガーの動作の確認は LCD モニターで行うが、本体の消費電力を下げるために動作開始後は OFF にし取り外すことが可能である。消費電力は運用時 0.4W 程度である。時刻管理は RTC(リアルタイムクロック)により、周波数偏差 (5 ± 23) ×10-6 (月差 1 分相当)、動作温度範囲 −40 ℃ ～ ＋85 ℃ の精度で記録可能である。バッテリーについては、1.2V の二次電池を4本使用する。今回のような準屋外での運用はバッテリーの低温化により出力効率低下が発生する可能性がある。

本測定器を 2012 年 9 月 2 日に富士山山頂富士山測候所内に設置した(図 1)。これらは越冬耐久実験をめざしている。この越冬耐久実験では、次の4つのデータを取得することにした。チャンネル0(CH0)は、太陽パネルその1、チャンネル1(CH1)はロガーのバッテリー電圧ないしはバッテリーに印加される電圧、チャンネル2(CH2)は温度計で、チャンネル1(CH1)とチャンネル3(CH0)は2つの太陽パネルの出力電圧となっている。太陽パネルは測候所の窓から入る日光を取るべく屋内に設置した。9 月 2 日から 3 日の半日分のデータを調査したところ、夜間のバッテリーが発生させる電圧は約 4.8V とすでに充電された状態であった。その後、日の出とともに太陽パネルに電圧が発生すると、バッテリーに印加された電圧は 4.8V を超えた。それゆえ充電ができる状態になっていることがわかった。2013 年夏季にロガーの回収を行い本基礎実験の評価を行う。

図 1 設置したロガーとソーラーパネル

*連絡先：鴨川 仁(Masashi KAMOGAWA)、kamogawa@u-gakugei.ac.jp

P-11:富士山山頂における雷雲発生時における高エネルギー放射線の観測

片倉 翔[1]、鳥居建男[2]、杉田武士[2]御園生諒[1]、池田大輝[1]、楠 研一[3]、鴨川 仁[1]
1. 東京学芸大学物理学科、2. 日本原子力研究開発機構、3. 気象庁気象研究所

1. はじめに

雷雲に起因すると考えられる高エネルギー放射線が、冬季雷では雲底が低いため地上観測で、夏季雷では雲底が高いため山岳や航空機などの高高度で観測されている。この放射線には、雷雲中の強い電場が原因と考えられる10秒以上持続する長時間の放射線変動である(Torii et al., 2011)。またエネルギーは数 MeV から 10 MeV 超と高く、ラドンなどの地殻起源の自然放射線には存在しないエネルギー領域である。このことから、二次宇宙線ないしは大地から放出され雷雲に含まれるラドンの放射性崩壊によるβ線(電子）が雷雲の強い電場領域で加速され雪崩的な衝突から生じる制動放射線（光子）によって、現象が起きていると思われる。そこで、我々は2008年度より雷活動が盛んな独立峰である富士山の山頂において、高エネルギー放射線発生のメカニズムに貢献すべく雷活動時の放射線変動観測を行っている。本発表では 2012 年度の夏季観測の結果報告を行う。

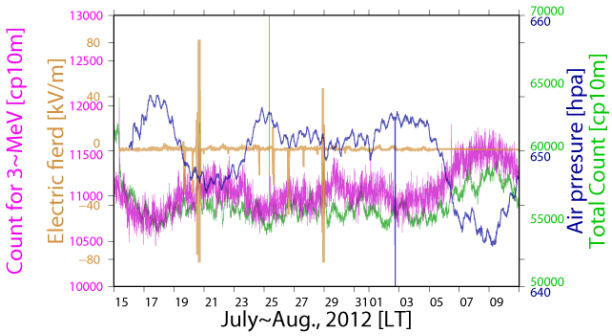


Fig. 1 2012 年夏に観測された高エネルギー領域(3MeV～)、全領域エネルギーカウント数、大気電場及び大気圧。

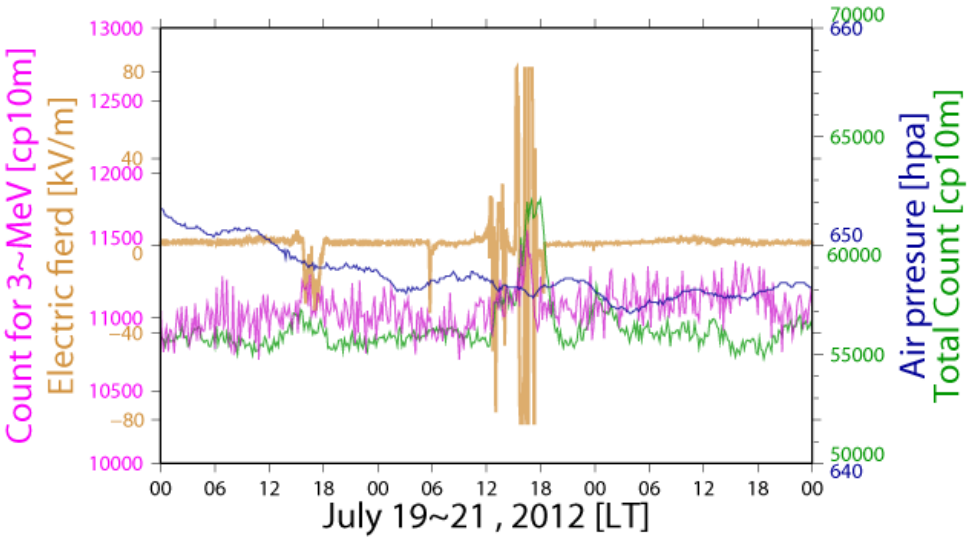


Fig.2 NaI によって取得された高エネルギー領域(3~ MeV)及び全領域エネルギーカウント数、大気圧及び大気電場。矢印の位置で高エネルギー放射線カウント数に増加が見られた。

2. 測定方法

雷雲中の放射線を直近で検知するために、2012 年 7 月 15 日から 8 月 10 日に標高 3,776 m の富士山の山頂で観測した。これらの観測は、過去我々が行った観測(Torii et al., 2009; Kamogawa et al., 2011; 片倉ら, 2012)と同様なものである。2012 年での測定は、厚さ 2 mm のアルミ製のカバーで覆われた 5 インチの円筒型 NaI シンチレーション検出器を使用し富士山測候所屋内に設置した。さらに測候所

屋根にフィールドミルを用いて雷雲活動で生じる大気電場の測定を行った。

３. 観測結果

2012 年の観測でも観測期間は 8 月 29 日まで設けられたが 8 月 15 日以降、半日にも及ぶ中規模の停電が発生し、さらに大気電場測定装置も連動し故障したため、以後の観測が困難になった(Fig. 1)。以上により本解析では 8 月 15 日までのデータを用いている。富士山で測定された大気圧(JMA データ)および全領域エネルギーカウント数は大気圧の逆相関になっている(Fig. 1)。

2012 年では高エネルギーの放射線の変動が 7 月 20 日午後に観測された(Fig. 2)。この放射線変動は 2008 年度(Torii et al., 2009)および 2009 年度(Kamogawa et al., 2011)とは異なり放射線計数率の変動は小さく、2011 年度と同程度であった(片倉ら, 2012)。しかし、継続時間が約 2 時間と長く従来測定されている時間(Torii et al., 2011; Torii et al., 2009; Kamogawa et al., 2011; 片倉ら 2012)より極端に長い。一方大気電場は測定点でも飽和しており(最大値 80kV/m)、2012 年の間では最大の変動であった。Fig.1 で示される大気圧変動および全領域カウント数から推測すると、宇宙線起源である可能性は低く、また天然放射性核種において、少なくとも 3 MeV 以上のエネルギー領域で γ 線を放出する天然核種は存在しないこと、及び強い電場が観測されていることから、これらの変動は従来の論文(Torii et al., 2011; Torii et al., 2009)で判定していた雷雲起源と判定する条件は満たしている。しかしながら 2 時間にもわたる上昇など想定される物理機構から考えにくく、強電場中における計測上の問題などの可能性が残る。

４. 結論および今後の課題

2012 年度の観測では、強電場発生中に高エネルギー放射線が測定された。しかしながら、物理的機構の観点および従来とは大きく異なる変動継続時間であることから、雷雲起源とは考えにくく、考えられる他の要因を十分に検討する必要がある。

５. 謝辞

本研究を進めるにあたって、NPO 富士山測候所を活用する会には度重なる登山ならびに測定器設置・運用で多大なるお力添えをいただいた。

参考文献

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.

Moore, C. B., Eack, K. B., Aulich, G. D., Rison, W., (2001), Energetic radiation associated with lightning stepped‐leaders, Geophys. Res. Lett., 28, 2141–2144.

Torii, T., Sugita, T., Tanabe, S., Kimura, Y., Kamogawa, M., Yajima, K., Yasuda, H. (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.

Kamogawa, M., Torii, T., Tanaka, A., Sugita, T., Ikuta, M., Watanabe, Y., Hashimoto, S., Katakura, S., Yasuda, H., and Kusunoki, K. (2011), Energetic Radiation Associated with Summer Thunderstorm Activity on Mt. Fuji, The 14th International Conference of Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil 8-12, August.

片倉翔, 鳥居建男, 杉田武志, 保田浩志, 鴨川仁 (2012), 富士山山頂における雷雲発生時における高エネルギー放射線の観測, 大気電気学会誌, 80, 105-106.

Torii, T., Nishijima, T., Kawasaki, Z. I., Sugita. T. (2004), Downward emission of runaway electrons and bremsstrahlung photons in thunderstorm electric fields, Geophys. Res. Lett., 31, L05113.

*連絡先：片倉 翔(Syou KATAKURA)、magnamsanganbare@yahoo.co.jp

P-12:富士山山頂で行った高高度発光現象観測

鈴木裕子[1]、鈴木智幸、成嶌友祐[1]、御園生諒[1]、池田大輝[1]、鴨川 仁[1]
1. 東京学芸大学物理学科

1. はじめに

1990 年代に発見されたスプライト・エルブスは高高度大気中の放電として数多くの画像が残されており発生機構は解明されつつある。しかしその発生のきっかけ、複雑な形状などの根幹については未解明である。特に国内外を通して地上からまとまった数のブルージェットよばれる下部成層圏で発生する放電現象の観測に成功した例はほとんどない。本研究では、夏季の関東平野上空で発生する高高度放電現象の観測を山岳から行う。富士山山頂の高度は、観測の障害となる雲の高度を超えるため、視界が遮られることがなく、長い時間の測定が行えると期待される。

2. 観測および結果

富士山測候所一号庁舎屋外に超高感度カメラを設置し（図 1)、計測を開始した。今年は観測初年度であるため、今回はテスト観測として観測可能性について調査を行った。

観測の結果、期待したような落雷検知は頻繁に行えた（図 2)。ただし、カメラのピントをはじめとした観測の微調整が厳しい観測条件ゆえに難しく、設定調整が頻繁にできなかった。その結果、スプライトを検知できるような調整が最終的に行えなかった。また登山者のライトがノイズ源になることがわかり、設置箇所の検討も必要である

図 1　設置したカメラ

図 2 落雷撮影例

3. 謝辞

本研究を進めるにあたって、NPO 富士山測候所を活用する会には度重なる登山ならびに測定器設置・運用で多大なるお力添えをいただいた。

*連絡先：鈴木裕子(Yuko SUZUKI)、f097131m@st.u-gakugei.ac.jp

P-14:富士山山頂でのスカイコンディション調査

坂本 強[1]、浦川 聖太郎[1]、吉川 真[2]
1. 日本スペースガード協会、2. 宇宙航空研究開発機構

1. はじめに

近年天文学は、広い波長域にわたり時間的に連続して観測する時代に入りつつある。従って地球上の様々な地域に観測施設が必要であり、特に日本を含む東経135度付近の地域は、観測適地であるハワイの次に夜がやってくるので、観測上大変重要な地域となる。しかし、日本の天文台は晴天率や大気透過率の低い土地に設置されており、よりよい観測サイト探索が必要である。

富士山は3776mと非常に高地にあるので大気透過率が高いと期待される。一方、強風が吹くことからシーイングなどが悪く、光学観測には不適であるという推測もあり、状況は混沌としている。しかし、これまで詳細な調査はほとんど行われておらず、可視域における晴天率や大気透過率など基本的な情報さえ得られていない。そこで我々は現地調査を行うとともに、スカイモニター(全天カメラ)を設置し、晴天率や限界等級の調査を行った。

2. スカイモニター

我々は魚眼レンズと一眼レフデジタルカメラ、超小型パソコンからなるスカイモニターを構築し、1 号庁舎屋根に設置した。南側は高度 0 度まで、北側は約 50 度までカバーしている。低軌道(高度300-1000km)を運動する人工天体を検出するため、露出時間は15秒とした。スカイモニターは7月30日から8月27日まで設置したが、8月14日の長時間にわたる停電の後パソコンが自動復帰しなかったため、観測データがあるのは8月15日までである。

3. 結果

測光夜(雲が全くない夜)は2夜、半夜以上晴れが続いた夜は9夜であった。半夜以上晴れが続いた夜を晴天夜と定義すると、晴天率は 53%であることがわかった。これはこの時期の日本の晴天率(約 30%)より格段に高い。また、恒星の限界等級は約 5 等(高度 45 度以上で 90%以上の天体を検出した明るさ)であることがわかった。11 月初旬から12月上旬に岡山県井原市美星町(標高467m)において行った試験では限界等級は約3.5-4等であり、富士山山頂では少なくとも2倍以上暗い天体まで検出できることを意味する。スカイモニターは点状の星だけでなく、線状に延びた人工天体も多く検出している。北アメリカ航空宇宙防衛司令部が提供する人工天体の軌道要素カタログを用いた試験では16個の人工衛星やロケットボディを同定することができた。今後はより長い期間にわたる晴天率を調査するとともに、小型望遠鏡を設置し、シーイング調査を行いたい。

4. まとめ

我々はスカイモニターを設置し、スカイコンディション調査を行った。晴天率は 53%であり、少なくとも夏季は国内のサイトとしては非常に高い晴天率をもっていることがわかった。限界等級は5等程度であり、低地に比べ、1等程度暗い星まで検出していることがわかった。明るい人工衛星やロケットボディも検出していた。

*連絡先:坂本 強(Tsuyoshi SAKAMOTO)、sakamoto@spaceguard.or.jp

P-15:富士山頂における歩行バランスの評価

井出　里香[1)]　五島　史行[2)]　吉田　泰行[3)]
1.東京都立大塚病院耳鼻咽喉科、2.独立行政法人国立病院機構東京医療センター耳鼻咽喉科
3.栗山中央病院耳鼻咽喉科

1. はじめに

急性高山病（Acute Mountain Sickness ; AMS）には、めまい、ふらつきなどの症状もあり、登山中に身体バランスを崩して滑落事故につながるケースも多い。このような身体動揺はAMSの発症前から出現するとの報告があり、体調管理における早期のパラメーターとして安全な登山に寄与できる可能性が大きい。本研究では、加速度センサー（8チャンネル小型無線モーションレコーダー，Micro Stone 社製）を用いて歩行時の身体動揺を記録し、歩行バランスについて富士山頂と平地で比較検討した。
同時に AMS score の重症度との関連についても検討を行った。

2. 対象・方法

健常成人7名（男性3名、女性4名）、年齢 42 歳～78 歳（60.4±13.8 歳）を対象として、
下記の項目について、山頂到着後（1 日目）、山頂滞在翌日（2 日目）および下山後（平地）で比較検討した。

- 歩行解析
  加速度センサー（8チャンネル小型無線モーションレコーダー；MicroStone 社製）を用いて、歩行（階段の昇り・降り、平坦）における身体動揺を記録した。歩行時の身体動揺は、リサージュ図（X-Y 平面加速度）で視覚化し、X-Y 平均ベクトルで動揺の程度を数値化した。

- 急性高山病の症状スコア（AMS score）
  歩行開始前に、AMS score にて症状のスコアリングを行った。

- SpO2（経皮的動脈血酸素飽和度）、HR(心拍数)、BP（血圧）の測定
  歩行開始前に、パルスオキシメーター（PULSOX-A , Konica Minolta 社製）にて SpO_2、HR を測定した。

3. 結 果

1）平坦歩行では、平地と山頂での比較、山頂到着後（1 日目）と山頂滞在翌日（2 日目）での比較において動揺軌跡に大きな変化は認めなかった。山頂の階段の昇りで 1 名、降りでは4名の動揺軌跡が増大した。また山頂到着後（1 日目）より山頂滞在翌日（2 日目）において、動揺軌跡は階段

の昇りで 1 名、階段の降りで 3 名増大した。

2）山頂到着後（1 日目）の AMS score 3以上の3名は SpO_2 も 70%前後と低値であり、AMS の症状も明らかであった。この 3 名中 2 名は、動揺軌跡も大きかった。

3）歩行において平地と山頂での比較、山頂到着後（1 日目）と山頂滞在翌日（2 日目）での比較、AMS score 3 以上と AMS score 3 未満での比較、SpO_2 80％以上と SpO_2 80%未満での比較では、いずれも統計学的有意差は見られなかった。

4. まとめ

歩行（階段の昇り、降り、平坦）における動揺軌跡は、山頂の階段の降りで最も大きく、階段の昇り、平坦歩行の順であった。降りでは接地する際に身体の平衡バランスの影響を受けやすく、さらに衝撃強度も大きいためにより負担が大きいと思われる。これらの要因も降りでの滑落事故が多いという事実を裏付ける要因の 1 つとして考えられた。AMS score3以上の 3 名中 2 名は、動揺軌跡も増大していた。この要因として平坦歩行に比べ階段の昇り・降りで酸素消費量が増大するため、AMS score の高い方がその傾向がより出やすいと考えられた。AMS score の重症度と身体動揺の関連については、AMS と関連した平衡機能低下、下腿筋の緊張や疲労、歩行条件による衝撃強度など様々な要因が関与しているため、歩行バランスとして総合的に評価し、登山中の滑落事故の防止や体調管理における早期のパラメーターとしての可能性について、今後さらに検証を重ねていきたい。

5. 参考文献

1）cymerman A et al. High altitude medicine & biology ; 12(4) 509-514. 2001
2）Gellborn E et al. Am J physiol ; 164(3) 748-751.1951
3）笹子悠歩、山本正嘉：富士登山時の生理的・物理的な負担度 ―登山経験豊富な中高年者を対象として―, 登山医学, 30:105-113, 2010.

連絡先： 井出 里香（Rika IDE）、ride@m6.dion.ne.jp

P-16:富士登山時の酸化ストレスに対する年齢の影響

高橋達彦[1]、長澤純一[1]、笹尾真美[2]、野口いづみ[2]、佐藤章悟[3]、大野秀樹[3]
1.電気通信大学, 2.鶴見大学, 3.杏林大学

1. 目的

登山に対する酸化ストレス応答は年齢によって異なるものと考えられる。本研究では、富士登山による低圧・低酸素環境が、ヒトの酸化ストレスマーカーにおよぼす影響を調査し、登山に対する酸化ストレスの応答を年齢差の影響として評価した。

2. 方法

高齢者（n=6, 64.5 ± 3.3 歳）および大学生（n=6, 21.8 ± 0.5 歳）を対象に、2 泊 3 日の行程で富士登山を行い、登山前 2 合目、1 日目山頂到着直後、山頂 1 泊後の夕方、およびその翌日下山直後に採血および採尿を行った。登行の影響を評価するために登山前 2 合目と山頂到着時までの差分を登行局面（ASC）、山頂 1 泊後と下山時 2 合目までの差分を下山局面（DES）とした。酸化ストレスの指標として、血清ヒドロペルオキシド濃度（d-ROMs 法）、血清 MDA-LDL 濃度（ELISA 法)および尿中 8-OHdG（イムノクロマト法）を測定した。なお、8-OHdG はクレアチン濃度で補正し 8-OHdG/CRE として評価した。また、抗酸化力の指標として血漿の鉄還元能(FRAP 法）を定量した。食事内容は全被験者で同等とし、水は自由摂取とした。

3. 結果と考察

血漿ヒドロペルオキシド濃度は、大学生群が ASC において－24.0±44.0 *U.CARR*、DES で－12.0±16.3 *U.CARR*、高齢者群では ASC:－24.5 ± 19.3 *U.CARR* および DES:－17.5 ± 19.7 *U.CARR* であった。8－OHdG/CRE は大学生群で ASC:7.0 ± 4.2 および DES:1.5 ± 2.5、高齢者群で ASC:0.1 ± 3.9 および DES:2.0 ± 1.2 となり、これらの値には有意差は認められなかった。鉄還元能は、学生群が ASC:－233.7 ± 198.9、DES:－275.0 ± 103.8 で、高齢者群が ASC:48.3 ± 45.4、DES:－181.0 ± 96.4 となった。血清 MDA-LDL 濃度は ASC では大学生群が－6.3 ± 5.0 *mIU/ml*、高齢者群が 2.0 ± 6.5 *mIU/ml* で有意差は認められなかったものの、DES では学生群の 14.2 ± 3.2 *mIU/ml* に対し、高齢者群は 28.7 ± 7.7 *mIU/ml* となった(図 1)。以上より、一回の富士登山では、年齢にかかわらず、身体の抗酸化機構を大きく破綻させる結果とはならないものの、登行時よりも下山時において酸化ストレスが高くなる可能性のあることが示された。

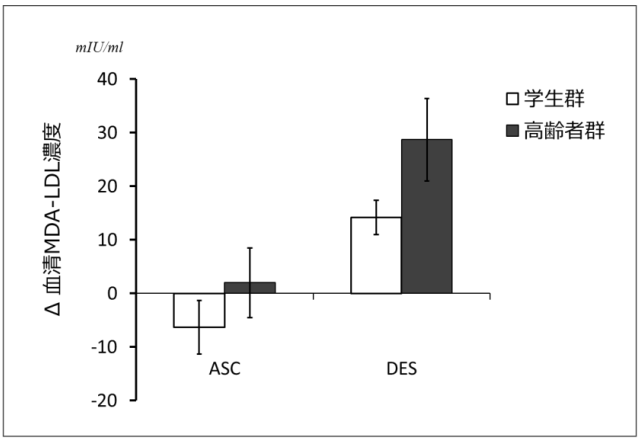


図1 登行時(ASC)および下山時(DES)における血清MDA-LDL濃度の変動

*連絡先：長澤純一(Junichi NAGASAWA)、nagasawa@pc.uec.ac.jp

P-17:富士山測候所で大気中水銀を測ることの難しさ

永淵 修[1]
1. 滋賀県立大学

1. はじめに

国連環境計画(UNEP)は 2005 年に水銀に関する Decision 23/9I を採択し、各国政府機関ならびにNGO 等関連組織に対して環境への放出量健康リスクの削減を求めた。その要求を受け、2006 年には日本を含む 6 ヶ国が参加して水銀の大気輸送に関する研究分野の Global Partnership が発足した。これは、水銀の越境移動や極地における水銀の沈着、高地における大気中水銀濃度などに関する研究を促すもので、大気中水銀の拡散状況の把握が国際的にも重要な課題であるという認識に立ったものである。しかし、我が国で高所での大気中水銀の動態に関する研究はなされてない。そこで自由対流圏にある富士山測候所での水銀観測を始めることにした。

2. 方法

富士山頂での大気中水銀の調査は、2007 年より現在まで夏季のみであるが継続している。採取方法は、新たに開発したアクティブサンプラー、パッシブサンプラーおよび水銀計による連続観測である。アクティブサンプラー法は 2007 年～2012 年、パッシブサンプラーは 2008 年～2011 年、水銀計による連続観測は 2010 年～2012 年まで行った。アクティブサンプラー、パッシブサンプラーは測候所から 5m 以上離して、1.5m 程度の高さにセットした。水銀計は測候所内にセットし、インレットから大気を吸入した。

3. 結果と考察

アクティブサンプラー、パッシブサンプラーは室外に設置するため自由大気の結果を反映してくれるが、マンパワーが必要になる。7 月、8 月の全データを獲得しようとする測候所に人を張り付ける必要がある。特に自由対流圏と地上付近の影響がある昼と夜を分けて採取するとなると人的、予算的にも無理である。実際 7 月、8 月の 2 か月間で 1 週間から 2 週間が限度であった。一方、水銀計による連続は 2010 年から始めたが、濃度が高くでることが多く、その原因は分からなかった。2011 年にも同様な調査を継続していたが、インレットの吸入部と水銀計を結ぶテフロン管が水銀計から外れその時間帯の水銀濃度が 100ng/m^3 を超える異常な濃度を示した。そこでこの室内の空気の濃度が正しいかどうか連続で検討してみたが、やはり濃度は高いことが分かった。そこでインレットも影響を受けている可能性が否定できないのでテフロンチューブの吸い込み口をインレットの外に出した。この結果、インレットの外に出すと北半球のバックグラウンド値に近づいたため、このインレットは水銀で汚染されていることが分かった。2012 年はチューブをインレットの外に出してサンプリングを行ったが、屋内の影響があることが分かった。2012 年度はインレットがそのままであったため新しいインレットから吸入を試すことができなかった。2013 年は、これらの問題点を解決し、夏季の連続データを獲得できるようにしたい。2012 年の 10 月に 2870m の乗鞍で大陸の気団が入ってくることによる水銀濃度の上昇を確認しており、富士山頂で長距離輸送の正確なデータが獲得できたら非常に貴重な調査データになることは間違いなく、環境行政に大いに役立つであろう。

4. おわりに

富士山測候所は、気象観測所であったため測器に水銀を使ったものが多かったのであろう。その破片等から漏れた金属水銀からの汚染が今も継続して起こっていると考えられる。一般的な感覚として、10 年近く前に閉鎖になった気象台でこのような水銀汚染が起こっていることはなかなか理解できないであろう。しかし、昨年末我々の研究室の大掃除の日水銀温度計を 1 本割っただけで、水銀計の濃度が 100ng/m^3 を超えた。また、割れた部屋は水銀研究室でなく一般の研究室であったが、そこで掃除をしていた学生が水銀計等を設置している部屋に出入りしただけで数十 ng/m^3 と濃度が上昇し、除染と外気の導入で汚染を回復しようと試みているが未だ濃度は下がらない。このように大気中の水銀を測ることはかなり難しいことが分かった。

*連絡先:永淵 修(Osamu Nagafuchi)、yakushiama2006@yahoo.co.jp