

第10回成果報告会

2007年-2016年 富士山測候所で行った活動の成果

講演予稿集



第10回成果報告会 講演予稿集（平成29年3月）

認定NPO法人富士山測候所を活用する会



第10回成果報告会講演予稿集
2017年3月5日発行



〒102-0069 東京都千代田区麹町 1-6-9 DIK 麹町ビル 901
TEL:03-3265-8287 FAX:03-3265-8297
E-mail: npofuji3776@yahoo.co.jp

期日：平成29年（2017年）3月5日（日）10:00～17:50
会場：東京理科大学 2号館 212 教室, 222 教室（東京都新宿区神楽坂 1-3）

共催：認定NPO法人 富士山測候所を活用する会
東京理科大学総合研究院大気科学研究部門
後援：日本郵便株式会社
トヨタ自動車株式会社「トヨタ環境活動助成プログラム」
NPO法人モバイル・コミュニケーション・ファンド
公益財団法人粟井英朗環境財団

第 10 回成果報告会

講演予稿集

2017 年 3 月 5 日（日）

東京理科大学 2 号館

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

第10回成果報告会プログラム

期日： 2017年（平成29年）3月5日（日）10:00-17:50

会場： 東京理科大学2号館212教室（オーラル）, 222教室（ポスター）（新宿区神楽坂1-3）

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

後援： 日本郵便株式会社
トヨタ自動車株式会社「トヨタ環境活動助成プログラム」
NPO法人モバイル・コミュニケーション・ファンド
公益財団法人粟井英朗環境財団

10:00 開会宣言 佐々木一哉（大会実行委員会）

開会のご挨拶 畠山史郎（理事長）

10:05 - 11:25 オーラルセッション1

座長：鴨川仁（東京学芸大学）

10:05	0-01	富士山学校科学講座および高所順応トレーニングの11年間の実践の歩み	○浅野勝己（筑波大名誉教授）
10:25	0-02	「理科準備室へようこそ」-富士山頂での教材開発V-	○古田豊（立教新座中学校・高等学校）
10:45	0-03	手に取る宇宙～Message in a Bottleプロジェクト@富士山頂	○松井紫朗, 小山田徹（京都市立芸術大）, 本原顕太郎, 高橋英則（東京大）, 古屋梨奈（アーツカウンシル東京）, 佐藤雄（早稲田環境研究所）, 堀切春水（アートコーディネーター）
11:05	0-04	宇宙技術者教育のための富士山山頂の環境を利用した教育プログラムFuji-sat3の運用状況について	○新田英智, 東郷翔帆, 富田悠登, 岡田朋大, 高橋周作, 鶴田拓真, 鴨川仁（東京学芸大）

13:00 - 14:00 オーラルセッション2

座長：加藤俊吾（首都大学東京）

13:00	0-05	今後に求められる測候所接地線の落雷電流観測と雷対策 *2015年度トヨタ環境活動助成プログラム 富士山測候所の被雷対策による温室効果ガス常時監視の実現	○安本勝（ヤマザキ）, 佐々木一哉（弘前大）, 鴨川仁（東京学芸大）, 野村渉平, 向井人史（国立環境研）, 高橋浩之（東京大）, 大胡田智寿, 土器屋由紀子（富士山測候所を活用する会）
13:20	0-06	2016年夏季富士山頂で大気電気・雷観測	○鴨川仁（東京学芸大）, 佐々木一哉（弘前大）, 安本勝（ヤマザキ）, 工藤剛史, 廣岡征紀（音羽電機工業）, 榎戸輝揚（京都大）, 和田有希（東京大）, 高橋周作, 石川朗子, 小名木すみれ（東京学芸大）
13:40	0-07	年賀寄附金配分事業による測候所の保守と大気中水銀の通年観測の試行 *2016年度年賀寄附金配分事業 地球環境観測拠点としての富士山測候所の労力提供型整備事業	○兼保直樹, 野田和俊（産総研）

14:05 - 15:25 オーラルセッション3

座長：大河内博（早稲田大学）

14:05	0-08	富士山頂における反応性総窒素酸化物（NO _x ）の計測	○和田龍一（帝京科学大）, 定永靖宗（大阪府立大）, 加藤俊吾（首都大）, 勝見尚也, 大河内博（早稲田大）, 岩本洋子, 三浦和彦（東京理科大）, 小林拓（山梨大）, 鴨川仁（東京学芸大）, 松本淳（早稲田大）, 米村正一郎（農研機構）
14:25	0-09	富士山頂におけるガス状二酸化硫黄の観測	○佐野亘, 加藤俊吾（首都大）, 三浦和彦（東京理科大）, 大河内博（早稲田大）, 小林拓（山梨大）, 鴨川仁（東京学芸大）
14:45	0-10	8年間の富士山頂のCO ₂ 濃度観測結果	○野村渉平, 向井人史（国立環境研）
15:05	0-11	偏光OPCによる観測ネットワークを用いた越境輸送イベント抽出法の検討	○沖由裕, 小林拓（山梨大）, 林政彦, 原圭一郎, 西田千春（福岡大）, 財前祐二, 五十嵐康人（気象研）, 三浦和彦（東京理科大）, 西澤智明, 杉本伸夫（国立環境研）

16:30 - 17:50 オーラルセッション4

座長：小林拓（山梨大学）

16:30	O-12	エアロゾルの新粒子生成，成長と雲凝結核に関する研究 *2016年度 粟井英朗環境財団 公募助成事業(奨励団体)	○三浦和彦，岩本洋子（東京理科大・理），永野勝裕（東京理科大・理工），速水洋（電力中央研），加藤俊吾（首都大），小林拓（山梨大），矢吹正教（京都大），青木一真（富山大）
16:50	O-13	富士山体を利用したガス・エアロゾル・雲水の環境化学観測	○大河内博，勝見尚也，中野孝教，村田克（早稲田大），皆巴幸也（石川県立大），小林拓（山梨大），戸田敬（熊本大），竹内政樹（徳島大），米持真一（埼玉県環境科学国際センター）
17:10	O-14	日台における国際共同研究（未入稿）	○島田幸治郎（東京農工大），畠山史郎（埼玉県環境科学国際センター）
17:30	O-15	富士山頂，韓国済州島および上海で採取したPM _{2.5} 中の化学組成と起源	○米持真一，堀井勇一（埼玉県環境科学国際センター），大河内博，廣川諒祐（早稲田大），Ki-Ho Lee, Chul-Goo Hu（韓国済州大），Senlin Lu（中国上海大）

15:25 - 16:30 ポスターセッション

15:25	P-01	富士登山者のコンディショニング評価	林綾子（びわこ成蹊スポーツ大），○金森雅夫（立命館大），水津真奏（びわこ成蹊スポーツ大）
	P-02	山頂に設置された雨水フィルターの放射線計測～福島原発事故前後の比較	○石川朗子，高橋周作，鶴田拓真，鴨川仁（東京学芸大）
	P-03	2016年夏季観測された雷雲起源の高エネルギー放射線	○高橋周作，石川朗子（東京学芸大），Gregory Bowers, David Smith (UC Santa Cruz), 岩崎杉紀（防衛大），泉田航，鴨川仁（東京学芸大）
	P-04	2016年富士山測候所から観測された高高度放電発光現象	○小名木すみれ，鈴木智幸，鴨川仁（東京学芸大）
	P-05	NPOホームページのアクセス数と山頂周辺天気の関係について	○泉田航，鴨川仁（東京学芸大）
	P-06	富士山頂における新粒子の生成と成長	○片岡良太，桃井裕広，三浦和彦，岩本洋子（東京理科大），矢吹正教（京都大），加藤俊吾（首都大），Indra Chandra, 瀬戸章文（金沢大）
	P-07	富士山頂で捕集した大気エアロゾルのバルク／個別粒子分析	○土井瀬菜，岩本洋子，三浦和彦（東京理科大），服部祥平（東京工業大），大河内博（早稲田大）
	P-08	2015，2016年夏季の富士山頂における雲凝結核の特性	○佐藤光之介，片岡良太，岩本洋子，三浦和彦（東京理科大）
	P-09	富士山におけるエアロゾルの光学特性	○桃井裕広，三浦和彦（東京理科大），青木一真（富山大）
	P-10	太郎坊におけるラドン・トロン娘核種の変動と気象との関係	○鈴木康太，三浦和彦（東京理科大・理），永野勝裕（東京理科大・理工）
	P-11	2015-2016年の富士山における新粒子生成に関する考察	○小西理愛，片岡良太，桃井裕広，岩本洋子，三浦和彦（東京理科大）
	P-12	2016年夏季における富士山と箱根における火山ガスの観測	山地達也，○大河内博，勝見尚也（早稲田大），戸田敬，溝口竣介，岩崎真和（熊本大）
	P-13	富士山体を利用した自由対流圏の雲水化学特性の解明	○中村恵，大河内博，小川新，緒方裕子，名古屋俊士，勝見尚也（早稲田大），皆巴幸也（石川県立大），小林拓（山梨大），三浦和彦，岩本洋子（東京理科大），加藤俊吾（首都大），植松光夫（東京大）
	P-14	富士山頂におけるナノ粒子の粒径分布の測定	○村本慎仁，Indra Chandra, 猪股弥生，東秀憲，大谷吉生，瀬戸章文（金沢大），三浦和彦，岩本洋子（東京理科大），加藤俊吾（首都大）
	P-15	積乱雲のつべんからジャンプする雲（jumping cirrus）の特徴	○岩崎杉紀（防衛大），鴨川仁（東京学芸大），久保田尚之（東京大），岡本創（九州大），石元裕史（気象研），牛山朋来（土木研）
	P-16	（動画デモ-1）大気科学専門家によるレクチャー動画 *2015年度トコモ市民活動団体への助成(環境分野) 富士山頂から地球環境問題を学んでもらうプロジェクト	三浦和彦，岩本洋子（東京理科大），加藤俊吾（首都大）
	P-17	（動画デモ-2）お鉢回りレビュー	岡田朋大，鶴田拓真（東京学芸大学）
	P-18	（動画デモ-3）富士山測候所360度パノラマビュー	

O-01: 富士山学校科学講座および高所順応トレーニングの 11年間の実践の歩み

浅野 勝己 (筑波大学名誉教授)

1. はじめに

わが認定 NPO 法人 富士山測候所を活用する会の使命の1つとして、社会への教育、啓蒙活動の一環に“富士山学校科学講座”の開講を企画した。

さらに高峰登山者および高所での作業労働を予定される人々への急性高山病予防のための高所順応トレーニングの実施およびその効果機序の解明を試みて来た。

これらの活動について発足以来11年にわたる実践の歩みを報告したい。

2. 富士山学校科学講座 —総計14回—

2006年6月に第1回を東京新宿アイランドウイングで三浦雄一郎副理事長の「エベレストへかける夢、究極のアンチエイジング— および小生の「登山の健康への效用」の2題の講演会におよそ50人の聴衆を得て開講した。

次いで同年7月には山頂での測候所見学を兼ねた「日本で一番高い山での高山病の話」を32人の参加者に小生より講話した。

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

村山貢司氏 「きっと役立つ山の天気入門—

畠山史郎氏 「越境大気汚染と日本—

岩坂泰信氏 「黄砂-その謎を追う—

片山葉子氏 「富士山の微生物—

2007年8月には山頂での測候所見学を兼ねた「日本で一番高い山での高山病の話」を25人の訪問者に小生より講話した。

2009年8月に22人の測候所訪問者に対し高山病を中心に話題を提供した。

2010年8月には江戸川大学の学生15人および横浜市立大学の学生20人の測候所訪問にさいして、2007年以来的の研究成果の一端を大気化学および高所医学の面より解説した。

三浦和彦氏、永渕 修氏、小林 拓氏、村上祐資氏および小生が熱心な聴講の学生に向け話題を提供した。

2012年8月に2回目となる横浜市立大学の学生29人の測候所訪問がなされた。

これに対して大気化学の研究成果について皆已幸也氏よりまた高所医学について小生より分かり易く解説した。

2013年8月にヒマラヤトレッキング隊の10人の山頂での順応トレーニング実践者に対し高山病の機序および予防策を解説した。

2014年8月に3回目となる横浜市立大学の学生26人の測候所訪問がなされた。

これに対し大気化学や高所医学研究の成果を中心に解説した。さらに翌日に滞在されたヒマラヤトレッキング隊10人にも同様に講話した。

2015年8月に中高年女性登山者4人にも同様に解説し、2016年8月に4回目となる横浜市立大学の28人の登頂学生に講話した。

3. 高所順応トレーニングの実施 —総計7回—

2008年8月 日本山岳協会高知岳連
市村隊長以下10人, 2泊3日滞在

2009年8月 日本山岳協会埼玉岳連
鳥隊長以下10人, 2泊3日滞在

2009年8月 日本山岳会青年部8人

2010年7月 静岡市山岳連盟
出利葉隊長以下13人, 2泊3日滞在

2013年8月ヒマラヤトレッキング隊10人

2014年8月ヒマラヤトレッキング隊10人

2015年8月ヒマラヤトレッキング隊4人
各1泊2日滞在

山頂滞在後の動脈血酸素飽和度の有意上昇が確認され本順応トレーニングの有効性が示された。

4. 展望

本科学講座および高所順応トレーニングをさらに発展し永続させていきたい。

0-02: 「理科準備室へようこそ」-富士山頂での教材開発 V-

古田豊

学校法人立教学院 立教新座中学校・高等学校

1. はじめに

富士山頂の環境を活用して教材づくりを行い中等教育の学校現場に実装する本研究は5年目である。2016年度は高等学校の授業と部活動、および来校者への実験イベントを展開した。

2. 高等学校の理科授業での展開

2016年度本校高校3年生13名を対象に毎週1回100分、生徒が富士山頂と学校の自然環境を比較する実験を工夫する、理科選択科目「富士山のサイエンス」の授業を行った。同様の授業「物理実験」を2015年度には6名、2014年度には2名の受講生に対して実施したことに続く実践である。実験を試しては意見交換し、気づきを試す過程で自由な発想を促し進捗を発表する機会を設けた。

【ヘアドライヤーの送風で探る球体の浮上高比較実験】

送風量3段階のもとで、大きさと重さの異なるピンポン球と発泡スチロール球の浮上高を比較した。球体は回転、振動

を伴い浮上高を一意に決めにくい。高校生は多様な実験条件を発想した。空気の流入口に軽量球体を吸い付け送風量を小刻みに変える工夫(図1)、2つの球体を糸で繋ぎ運動の自由度を制限した工夫(図2)など、教員は生徒の試行と試みの多様なやりとりからヒントを得た。

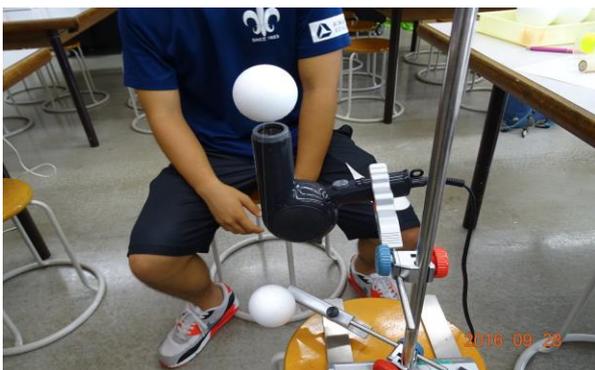
【赤外線ヘリコプターの上昇時重量限界で大気を探る実験】

富士山頂で上昇できる機体とできない機体があり、上昇パターンの多様さに直面した昨年までの経験を受け、機種と錘を選定した。機種は、赤外線コントロール マイクロヘリコプター3 モスキート(京商)、錘は金属製で数珠繋ぎの小球を切って異なる重さのものを、機体下部のスキッドの間隙に挿入した。満充電後に床上1.5mまで上昇するかどうかを同じ重さで3回ずつ測定した。目とヘリコプターを水平にして壁に貼った方眼目盛で高さを読み、動画記録と照合した(図3)。

8月22日、旧測候所滞在中に台風9号が通過した。最低気圧637hPaの環境を活かしたく本実験を行った。床から高さ1.5mまで上昇するヘリコプターは637hPaのとき3.4gの錘を運べ、3.6gの錘を運べなかった。前日の648hPaのときには3.6gの錘を運べた¹⁾。



(図1) 送風量を小刻みに変える工夫



(図2) 2つの軽量白球を糸で繋いで浮上させる工夫



(図3) 旧測候所での赤外線ヘリコプター
(写真中央上部の赤い機体) の上昇実験

3. 中学校・高等学校の授業外での展開

【軽量物体の落下で大気を探る実験】

4～11月まで本校高校生の部活動「観測部」の研究テーマとして展開した。マドレーヌを焼くアルミカップ30枚入りのカップを仕切る紙を落下させ多重露出撮影により運動を調べる実験を行った。高校生はまず目視でストップウォッチを用いて落下時間を計った。カップの大きさによって落下時間が異なることがこのやり方でも分かったと言う。

9月に観測部活動の一環として富士山表口六合目で1泊の実験合宿を行い、学校、富士山頂を併せて3ヶ所の比較実験を行った。11月に「山岳地帯の自然を探った実験の工夫～空気抵抗を受ける物体の落下実験～」と題して第45回私学文化祭（(一社)埼玉県私立中学高等学校協会主催）でポスター発表を行った。旧測候所内(図4)と雲海荘内(図5)で秒10コマの多重露出写真を比較し、標高差約1,280mの違いを探るデータを得た。



(図4) 標高3,776m地点での落下



(図5) 標高2,493m地点での落下

【ヘッドライヤーの送風で探る球体の浮上高比較実験】

7月のオープンキャンパスで受験前の児童生徒とその保護者などが本校の教育活動を体験できる機会に、「理科の実験で探る富士山頂とは」と題して軽い球体を浮かせる実験を体験してもらった。家庭でも実験ができ、見えない空気の動きを類推する手掛かりを、目の前で浮く球体の挙動から探る教材である。(図1)の工夫は小学生がヘッドライヤーを定位置に保つ力が弱く、机の上に置いて実験をしていたこともヒントになった。

10月の学園祭でも同様の実験を体験してもらった。小学生以上大人までの来校者は球体2,3個の同時鉛直浮上、斜方からの送風による浮上等を試み、空気の動きを探るやりとりの場集った。幼児の中には床に座り込み、飽きずに何度も球体を浮かせようと試みていた。

4. 他の教材候補

台風9号通過前、台風対策を施す山頂班の動きが忙しい。窓を木の板で室内から塞ぎ外の様子を見ることはできなかった。風雨が建物を打つ音が微かに数時間続いたが、録音、動画を長時間記録する見通しが問われた。気温・気圧・湿度等を測るデータロガーをポリ袋である程度包み風雨対策を施して屋外に固定したが台風通過後、動作不能になった。

5. 3年間の研究報告

笹川科学研究助成を3年間戴き、平成27年度笹川科学研究奨励賞を受け、実践研究「富士山頂の環境を教育に活用するための実践方法の開拓と実証～富士山頂の自然から学ぶ実験教材の開発と教育効果の検証～」を発表する機会を得た²⁾。

6. おわりに

1つの授業で1年間を全て富士山と学校の環境を探る実験開発に費やして探究活動を行ったが、自由な発想を促す際に相反する2つの側面があった。実験の多様な工夫を共有できた反面、現象の多様な振る舞いに直面し記録が不統一になる傾向があった。例えば浮上球体の振動のために浮上高を決めにくい。軽量物体を落下させる実験者の動作に伴う空気の乱れなどである。統一するには実験方法を確定する必要があり自由な発想による工夫の多様性は失われる。

本研究は、認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。その間、同法人事務局、山頂班、御殿場班等の方々に支援を受けた。特に生越正文氏には山頂での現象の生起に関して示唆を戴いた。また、「富士山頂の自然に学ぶ教材開発～教員と高校生の参画型探究学習手法の創発」のテーマに対して、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団平成28年度科学教育振興助成を受けた。高校生の9月実験合宿時に富士山表口六合目「雲海荘」の渡辺義彦氏にご配慮を戴いた。立教新座中学校・高等学校の綾部俊二教諭、齊藤太郎教諭、林壮一教諭、渡部智博教諭、十文字中学・高等学校の島野誠大教諭には実験の相談に乗って戴いた。記して感謝を申し上げる。

参考文献

- 1) 古田豊 (2016). 気圧 637hPa 台風9号通過中の富士山頂を教材にする。NPO法人ガリレオ工房通信, 343, 9.
- 2) <http://www.jss.or.jp/ikusei/sasakawa/shoureishou/shoureishou27.html>

O-03: 手に取る宇宙～Message in a Bottle プロジェクト@富士山頂

松井紫朗¹, 小山田徹¹, 本原顕太郎², 高橋英則², 古屋梨奈³, 佐藤雄⁴, 堀切春水⁵

1.京都市立芸術大学, 2.東京大学, 3.アーツカウンシル東京, 4.早稲田環境研究所, 5.アートコーディネーター

1. はじめに

私たちを取り巻く世界の解釈について、科学は計測値による実証を目標とするが、芸術は作品鑑賞という経験を通じた直感的な理解を目指す。「手に取る宇宙～Message in a Bottle」は、国際宇宙ステーション軌道上の「宇宙」が封印されたガラスボトルを地球上のさまざまな人々が手にするという経験を通して、日常とは異なる立ち位置から、経験者それぞれの存在についての新たな理解を可能にする芸術的活動である。地理的、文化的、歴史的に特徴のある場所に於いてこの活動を展開中であるが、富士山頂はこのプロジェクトにとり、特に日本の中で一番宇宙に近い重要な場所と位置付けている。



2. 実施内容

8月7日、測候所内八畳の間に於いて、この日まで滞在されていた浅野勝己筑波大学名誉教授にもご参加いただき、茶会の見立ての「手に取る宇宙」の富士山頂ワークショップとなった。(図1)



図1 測候所内八畳の間。

測候所入り口の戸板一枚を板床に見立て、その上には、朝から近辺で探し求めた山頂の石、用意していた果樹天馬紹巴図帛紗の上に宇宙が詰まったガラスボトルを飾り付けた。(図2)



図2 床飾り。

茶をいただきながら「手に取る宇宙」プロジェクトの発想とガラスボトルに宇宙が取り込まれ地球に持ち帰られるまでのさまざまな経緯の説明を行う。

その後、2013年、星出宇宙飛行士の国際宇宙ステーション滞在時にロボットアームを使ってガラスボトルに獲得された宇宙を各自手に取る。(図3)

そこで感じたこと考えたことを用紙に書きとめる。それらは、アーカイブとして Web 上の「手に取る宇宙」のホームページ(<http://www.m-in-a-bottle.org>)に蓄積され、未来の人類に向けたメッセージとして伝えられていくこととなる。(図4)

このワークショップの後、下山までの待ち時間、測候所を出て火口を一周することとした。天気は快晴で日差しも強かったが肌寒くもあり、黄色いヤッケを着ての富士



図3 ガラスボトルを手に取る.



図4 感じたこと考えたことを書きとめる.

山御鉢めぐりとなった。まだワークショップの気分を保ちながらの行動であった為か、高いところから下界を見下ろして回るというより、さらに上方から自分自身が今どのように見えているのだろうかという所に意識があった。黄色いヤッケを着て行動している自分、その軌跡を連続的に辿り、記録することを想像していた。(図5)



図5 御鉢めぐり.

3. まとめ

この「手に取る宇宙」プロジェクトにとって、日本で宇宙に最も近い場所でワークショップを行えたことは意義深い。これに連なるさまざまな場所での展開に於いて、たとえばその場所が地球上のとがったところ、逆にへこんだところ、というように、地球と宇宙との関係性の中から自身の位置を想像するような視点に経験者を誘い出し、してくれるのではないかと期待するからである。

参加者が少人数の中、ワークショップに、人とコト、モノに新しい関係性をもたらすフォーマットである「茶」を用いたことは、参加者それぞれのこれまでの活動とこの場所とを結びつける上で効果的であったと思う。また、「御鉢めぐり」のような場所の特徴と行為を積極的に結びつけるようなパフォーマンスの経験も、今後のワークショップの内容を考える上で収穫であった。

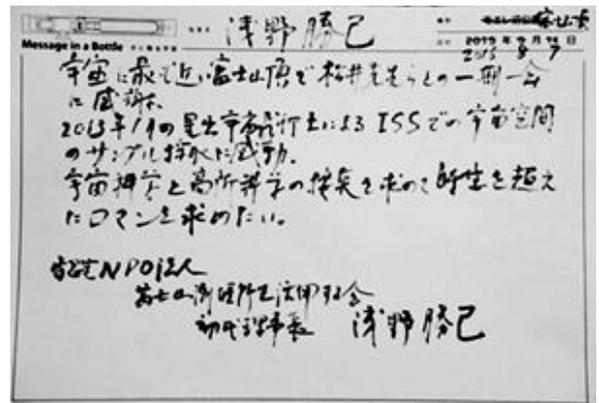


図6 ワークショップに参加した浅野勝己初代理事長のメッセージ.

4. 謝辞

今回、NPO法人「富士山測候所を活用する会」のトライアル利用として採択いただき感謝する。とりわけ、この富士山測候所の存続と活用に当初からご尽力され、またご自身も活用しながら見守って来られた浅野勝己筑波大学名誉教授にワークショップ参加頂いたことに感謝する。

O-04: 宇宙技術者教育のための富士山山頂の環境を利用した教育プログラム Fuji-sat3 の運用状況について

新田英智¹, 東郷翔帆¹, 富田悠登¹, 岡田朋大¹, 高橋周作¹, 鶴田拓真¹, 鴨川仁¹

1. 東京学芸大学

1. はじめに

Can-sat は、1998 年にスタンフォード大学宇宙開発研究所の Bob Twiggs 教授が提案した、教育プログラムで 350ml の管の中に機器を搭載して科学観測などを行うものである。運用期間は数分であり、太陽パネル等は必要ない¹⁾。Balloon-sat とは、気球に乗せる模擬衛星で運用期間が数時間であり、こちらも同様に太陽パネル等は必要ない。運用空間はキャンサットよりも宇宙に近い環境で、長い時間観測を行う。これらに対して、Cube-sat は、実際に宇宙空間に打ち上げられる衛星であり、科学データの取得や技術実証を行う。運用期間は、運用される軌道によるが、おおそ 30 日前後である。同様に、宇宙空間に打ち上げられる大学小型衛星は、運用期間が数か月～数年になる。いずれも太陽パネルによる給電が必要になる。この二つは、それ自体がすでに衛星開発とそん色ないため、宇宙技術者教育としては非常に有効である。これらの特徴を加味すると、運用期間と給電方式の面で、Can-sat や balloon-sat と、Cube-sat や大学小型衛星の間に大きな隔りがある。Cube-sat や大学小型衛星は実際に宇宙空間に衛星を上げる実衛星教育プログラムとすることができる。一方 Can-sat, balloon-sat は、実際に衛星を宇宙空間に上げないので、模擬衛星教育プログラムと呼ぶことができる。

我々は、NPO 富士山測候所を活用する会の一員として、富士山測候所での越冬観測を 2013 年から行っている。中学、高校の授業で使えるような安価で扱いやすいロガーの開発を目的とし、2013 年 8 月から 2014 年 6 月に越冬観測を行った²⁾。富士山測候所は、閉鎖環境で冬場は電源がなく、気温は-20 度近くまで気温が下がる。この環境で、太陽パネルの電圧、気温、自身のバッテリー電圧を測定し、安定して信頼できるデータを取得できていることを確かめた²⁾。この試みを通して、我々は、太陽パネルによる充電システムによって、富士山測候所の越冬観測が十分に行えることを確認した。そこで、Can-sat や Balloon-sat と、Cube-sat や大学小型衛星の間を埋める試みとして、富士山測候所を利用することが有効と考え、その教育プログラムの研究として NPO 富士山測候所を活用する会の学生公募研究に応募しこれを Fuji-sat プロジェクトと名付けた。

2. 観測

閉鎖環境といった場所は、冷蔵庫に入れたり、屋上を立ち入り禁止にすることで再現できる。しかし得られる観測データ

の価値といった面では富士山山頂は非常に優れた場所であるといえる。富士山で取得されるデータは、大気化学や大気電気の研究をはじめ、科学的に非常に価値が高い。富士山は孤立峰で遮蔽物がなく、人工ノイズも少ない。例として、国立環境研究所によって数年にわたり実施された CO₂ 濃度の連続計測は、地球温暖化研究のための世界第一級データとなっており、測候所における観測研究はいずれも学術的価値が極めて高い³⁾。したがって、取得されたデータの二次的活用も期待できる。Can-sat や Balloon-sat は、運用期間で得られるデータよりも、その機器が動くかどうかにか重点が置かれるが、Cube-sat や大学小型衛星は、価値の高い理学ミッションを行うことも多い。Fuji-sat は得られたデータの活用という面において、これまでの模擬衛星教育プログラムよりも、実衛星教育プログラムに近いといえる。

本研究では、放射線の総カウント数の計測にガイガーカウンター(CPI-SR002)を用いた。落雷数は雷センサ(AS3935)で測定を行う。データロガーは自作のものを使用し、マイコンは ATOMEGA1294 をつけた。送信されるデータは各日のデータで、雷はエネルギーの最大値、最小値、平均値、放電地点までの距離の最大値、最小値、平均値、放射線カウント数は最大値、最小値、平均値、および一日の総量、バッテリー電圧は一日の平均値である。太陽パネルは、SY-M30W-12 太陽電池モジュールを使用した。2013 年のデータ¹⁾より、日照時間を見積もり、太陽パネル二枚、蓄電池 3 個が必要であると判断した。蓄電池は、冬季の過酷な環境に耐えうるものを選ぶ必要があるため、国立環境研が山頂で使用しているサイクロン G42EP をお借りした。

3. 結果と考察

図 1 は 2016/8/28 と 8/29 の設置時に回収した一秒サンプリングのデータである。この際、周辺で落雷はなく、雷データは記録されなかった。(考察)バッテリーは、日の出とともに上昇し、ここで充電が行われていることがわかる。一秒間の放射線量は、最大値が 6 最小値が 0 で全体としては 2~4 発が記録されている。このとき雨も降っておらず、周辺で落雷等もなかったことからこれがバックグラウンドの値になると考えられる。

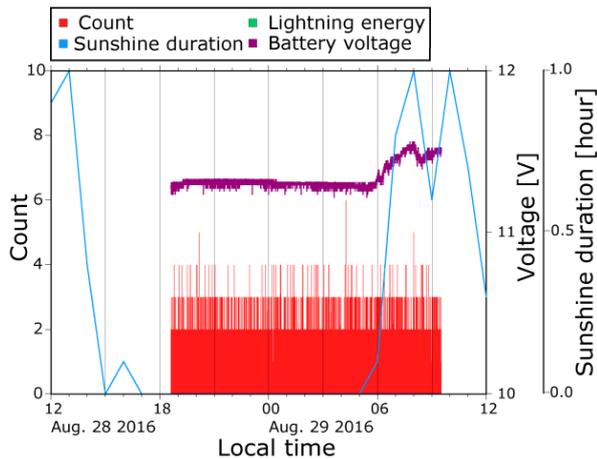


図1 設置時に回収した8/28と8/29の1秒サンプリングデータと気象庁日照系のデータ

図2は2016/8/30から9/16までの一日ごとのデータである。このデータに気象庁が夏季のみ取得している日照系のデータを重ねている。9/1 前後で日照系が高い値が示されているところで、バッテリーが充電されていることがわかる。これより、給電システムが正常に動作していることがわかる。

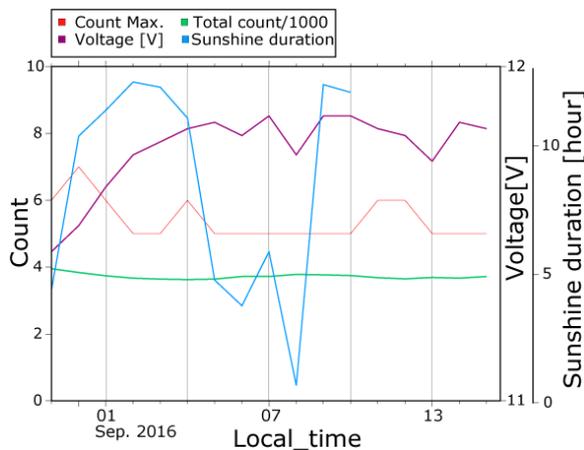


図2 8/30から9/16日までのSMS通信によって取得したデータと気象庁日照系データ

図3に2016年の9月から12月の放射線の一日の総量と、気象庁が提供している富士山山頂の大気圧を示している。図を見ると、この二つはおおむね逆相関であることがわかる。これらの相関を取ると相関係数は-0.33であった。このことから本研究でも、良好なデータがとられていることがわかる。図4は、2016/9/1から、2016/12/31までのバッテリー電圧と、一日の放射線総量である。これを見ると、11月後半ごろから電源電圧が下がっていることがわかる。考えられる原因として、雪が

太陽パネルを設置した窓に付着している、又は山頂で日が当たらない日が続いている可能性が考えられる。12月中旬ごろに一度電源電圧が11.5Vほどまで上昇していることから、給電システムに異常はないと考えられるが、注視が必要である。

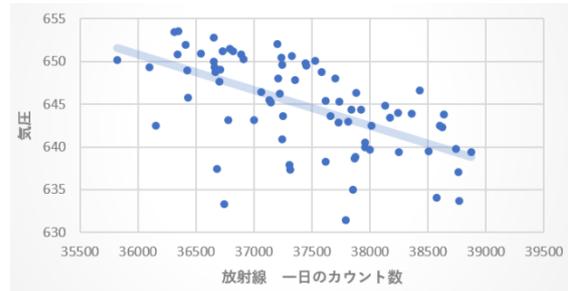


図3 放射線総量と平均気圧の相関

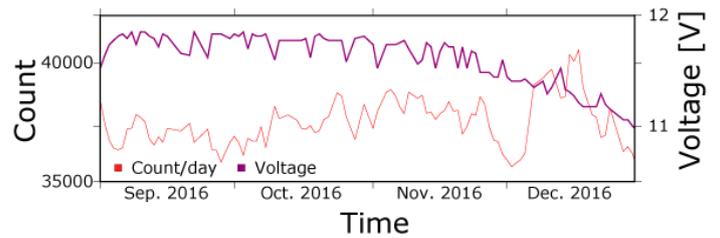


図4 2016/9/1から、2016/12/31の一日の放射線総量と、電源電圧

4. 終わりに

本研究では、富士山山頂の閉鎖環境を用いて、宇宙科学技術者教育のためのプログラム開発を行った。現在も、SMS通信によって日々データを取得できている。今後の展望として、地上から富士山にコマンドを送るアップリンク等の機能が追加できると、教育プログラムとしてより充実すると考えられる。

参考文献

- 1) 中須賀真一, 神武直彦, 佐原宏典, 木村真一, 山崎政彦, 坂本啓, 宮崎康行, 永田晴紀, 和田豊 (2014). コンサット超小型模擬人工衛星. オーム社
- 2) 新田英智, 織原義明, 東郷翔帆, 須藤雄志, 鈴木裕子, 藤原博伸, 稲崎弘次, 鴨川仁, (2016). 学校教育に導入可能な小型測定機器を用いた富士山頂における長期測定実証実験, 東海大学海洋研究所研究報告37巻, 15-20.
- 3) Shohei Nomura, Hitoshi Mukai, Yukio Terao, Toshinobu Machida and Yukihiko Nojiri, (2016). Recent six-year atmospheric CO2 concentration at the summit of Mt. Fuji observed by a battery-powered CO2 measurement system. Atmos. Meas. Tech. Discuss. amt-2016-284.

O-05: 今後に求められる測候所接地線の落雷電流観測と雷対策

安本勝¹, 佐々木一哉², 鴨川仁³, 野村渉平⁴, 向井人史⁴, 高橋浩之⁵, 大胡田智寿⁶, 土器屋由紀子⁶
 1.(株)ヤマザキ, 2.弘前大 3.東京学芸大, 4.国立環境研, 5.東京大, 6.NPO 法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

2011 年測候所接地線の配線および接地状態を調査した折, 山麓接地極を繋ぐ接地線があることが分かり, 2012 年より富士山の落雷現象を観測できる方法として, この接地線に流れる電流の測定を行っている. 観測で注目している現象は, 周辺雷による電流と直撃雷による電流である. 前者は落雷電荷の集電電流と落雷放電路電流が作る磁束による起電力により接地線に流れる電流になる. 2015 年には直撃雷が観測され, 上向雷の特徴と推測される前兆現象も確認された. 色々な条件を考えると上向き雷は富士山頂では頻度高く生じている可能性があり, その観測も実施できるようにするため, 適正に, また確実に測定できる手法が必要になる. 2016 年度夏期観測では直撃雷の観測はできなかったが, 今までの雷現象による山麓に繋がる接地線電流観測結果を含め, フィールドミル観測結果等とも合わせて解析した結果から明らかになったことを示し, 今後の測定にどのように反映させるべきか, また研究活動拠点に相応しい測候所の雷対策について提案する.

2. 2016 年度接地線電流測定

2-1 接地線電流の原因になる現象

山麓に繋がる接地線に電流を流す原因になる現象は, ①測候所直撃雷, ②上向雷の前兆現象, ③周辺雷による電荷の集電, ④雷放電路電流による誘導電流, ⑤雷雲電位による静電誘導電流, ⑥山麓側接地線からの逆流, および⑦高圧電源の零相電流になる.

①測候所直撃雷 負極性雷と正極正雷があり, それぞれのリーダが上向きか下向きがによってそれぞれに上向雷と

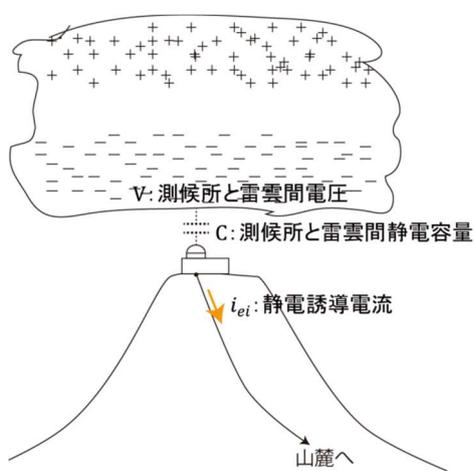


図1 雷雲下部電位変動により山麓に繋がる接地線に流れる静電誘導電流

下向雷がある.

②上向雷の前兆現象 平地では空間電荷層を突出した構造物に生じやすく, 平地では少ない. 富士山測候

所では上向雷発生条件があり一般的に生じている可能性が高い.

③周辺雷による電荷の集電 測候所周辺の落雷電荷を測候所が集電極になって集めて流れる電流である. 集電極の大きさは南北に 50 m, 東西に 25 m, および山麓に垂らした接地線(80 mm²×300 m が 2 本, 80 mm²×400 m が 1 本)である. 等価的には 10000m²の集電極になると考えている.

④雷放電路電流による誘導電流 雷放電路電流が作る周方向磁束による誘起電圧により流れる電流である. 循環路インピーダンスは岩盤抵抗が主になるため, 電流は誘起電圧と同じ波形になる. 雷放電路は, 雲と大地, 雲間の放電路になる.

⑤雷雲電位による静電誘導電流 図1に示す雷雲と測候所の静電容量と雷雲電位それぞれの変化により(1)式の静電誘導電流 i_{ei} が流れる. 結合容量は 100 pF 以下で小さく通常は 0.01 A 以下で無視できると考えている. 測定できるのは雷雲が低くなったとき, また放電等で雷雲電位が大きく変わったときに限られていると推測している.

$$i_{ei} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{(C+\Delta C)(V+\Delta V)-CV}{\Delta t} \approx \frac{\Delta CV+C\Delta V}{\Delta t} \quad (1)$$

⑥山麓側接地線被雷電流の逆流 測候所の山麓に繋がる接地線は, 山麓側で架空地線とも繋がっており, 山麓側の被雷により接地線電位が上昇することで逆に測候所に流れる. 測候所の接地抵抗は大きく, この電流は小さくなると考えている.

⑦高圧電源の零相電流 高圧電源から接地線への漏洩電流, 即ち零相電流は, 例えば高圧ケーブル内接地線に流れるだけであるならば高圧ケーブルに見かけ上流れない. 実際には複数であるため, 零相電流が発生する現象が分流し高圧ケーブルで測定可能になっている. 既に小動物による地絡電流を捉えている.

観測を積み重ねることでそれぞれの起因する現象の特徴を明確にでき整理できるものになると考えている.

2-2 実施した工夫

2016 年度測定は, 昨年度の直撃雷測定を受けて直撃雷のより正確な雷現象が観測可能にするための工夫をした.

一つは①直撃雷全電流を測定可能にし, 山麓に繋がる接地線の測定電流の校正を可能にすることである. 山麓に繋がる接地線は複数であり, また測候所から直接富士山体に流れる電流もあり, 山麓に繋がる 1 線の接地線電流を測定するだけでは測候所被雷電流を知ることはできない. 被雷

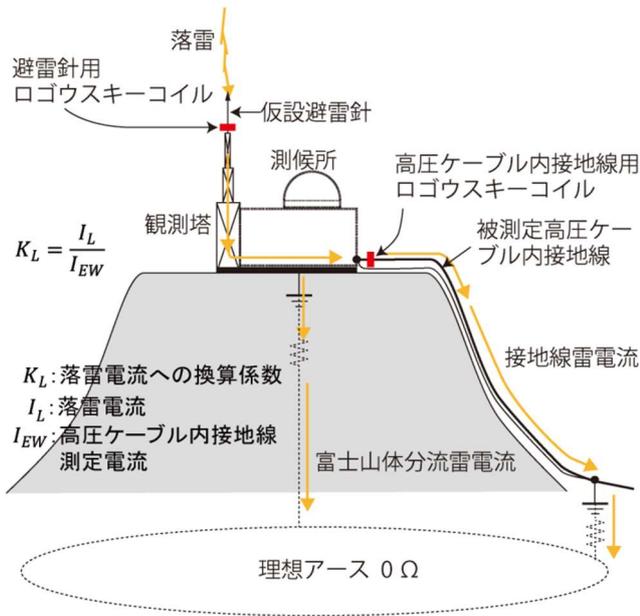
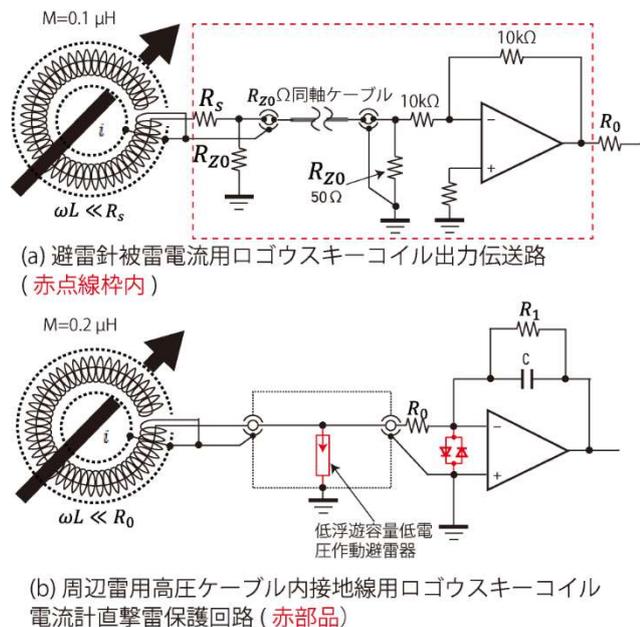


図2 山麓接地極に繋がる接地線電流の校正定数を求める方法

電流の内どの程度被測定高圧ケーブル内接地線に流れるのか知る必要がある。そのため、図2に示すように接地線電流測定と同時に被雷電流も測定することで接地線電流測定値は測候所被雷電流に校正可能である。被雷電流を測定可能にする方法として、被雷頻度が高いと考えられる観測塔にさら仮設避雷針を設けることで被雷箇所を一つにでき、校正可能機会を高めることができる。

被雷電流検出用ロゴウスキーコイルと電流増幅器との間は長距離になるため、インピーダンス整合していないとケーブル両端で反射が生じ正確な信号伝達ができなくなる。そのため、ケーブル両端でインピーダンス整合が必要になる。



(a) 避雷針被雷電流用ロゴウスキーコイル出力伝送路 (赤点線枠内)

(b) 周辺雷用高圧ケーブル内接地線用ロゴウスキーコイル電流計直撃雷保護回路 (赤部品)

図3 ロゴウスキーコイル電流計入力部追加付属回路

この実現に図3(a)に示すように反射が生じないようにするためロゴウスキーコイル出力ラインピーダンスと増幅器入力インピーダンスは伝送路ケーブルの特性インピーダンスに合わせるようにした。

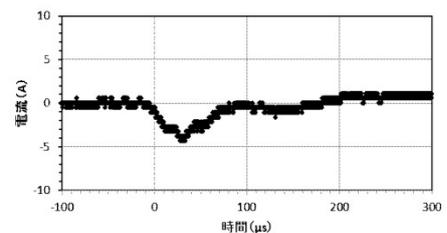
二つ目は②後述する2015年8月13日に観測された直撃雷に前兆現象が観測されており、その持続時間が1s程度で、その時間も観測可能にする必要があった。実現にはデジタルストレージオシロスコープ(以下 DSO)に十分な時間分解能が得られて1s近い記録が可能メモリー長のあるものを使用した。

最後に③周辺雷現象により接地線に流れるロゴウスキーコイル電流検出器は、0.1 A 台の測定を可能にする高感度検出器になるが、一方で直撃雷電流が流れると大きな出力電圧になり破損するため、保護回路を加えた。この実現は図3(b)に示すようにロゴウスキーコイル出力部に電圧抑制に約80Vで放電し、回路への影響が小さい寄生容量が小さいネオン管を用いた。さらに増幅器入力に寄生容量が小さい保護ダイオードを設けた。

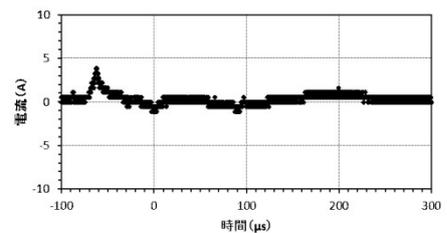
2-3 測定と結果

雷電流測定系は仮設避雷針用、高圧ケーブル内接地線直撃雷用、および同周辺雷用の三系統のロゴウスキーコイル電流計で測定した。それぞれの(被測定電流/出力電圧)は、仮設避雷針被雷電流測定用 10 V/100 kA, 高圧ケーブル内接地線電流測定用で直撃雷電流測定用 10 V/50 kA, 上向き雷前兆現象測定を兼ねた周辺雷用 10 V/100 A である。それぞれの測定時間幅は 500 μs, 10 ms, および 100 ms で行った。

直撃雷電流は仮設避雷針を設け、その被雷電流を測定する予定であったが、準備不足のため実現できず、代わって観測塔の下部にあった避雷導線に設置し落雷電流の一部を測定できるようにした。しかし、直撃雷は無く観測できなかった。一方、測定系設置調整時に他の接地系統と接続されていることが原因とみられ



2016年8月18日9時41分19秒



2016年8月22日18時5分05秒

図4 2016年8月22日7時30分以降 2.5 A を超えた観測結果

る小さな電流変動が DSO のベースラインに認められた。被測定接地線に測候所使用電気機器の漏洩電流が循環していたと推測している。

直撃雷が無かったことで高圧ケーブル内接地線にも直撃雷電流は観測されなかった。

周辺雷用高圧ケーブル内接地線電流測定計の測定時間は、直撃雷の前兆現象測定用も兼ねるようにしたため、周辺雷現象で生じる電流変化に使用した時間幅の 200 倍にした。周辺雷による高圧ケーブル内接地線電流観測頻度は高いが、今回測定は、設定の誤りのため、8 月 18 日 7 時半に設定の誤りを訂正するまで測定が記録されなかった。図4は 8 月 18 日に観測されたものの中で 2.5 A 以上の結果である。測定結果はオフセットをゼロとして作成している。オフセットは大きく、高感度 Channel 側ではスケールオーバーしていた。長期間自動記録にこの変動は無視できず対策が必要である。2A 以下の観測は多数観測されている。波形の形状から周辺の落雷による集電荷を集めた現象は少なく、一方電磁結合による現象は小さなものまで多数観測されている。電磁誘導結合によるものは遠方まで測定可能であるためと推測している。測定結果は分解能が悪い結果になっている。これは、DSO の観測に感度の桁を変え 2Channel で測定したが高感度側がオフセットが大きかったため、スケールオーバーで使用できず、低感度側 Channel の記録を使用したためである。因みに図4はオフセットをゼロレベルとして示している。

今後も観測を継続し積み重ねることで2-1に挙げた①～⑦のいずれに起因する現象が明らかになり、より正確に整理できるものになると考えている。

3. 過去の測定で得られた雷現象の特徴と対策方法

3-1 直撃雷の特徴

直撃雷は負極性雷と正極性雷があり、それぞれにリーダが上向きか下向きかによって、上向き雷と下向き雷がある。測候所の上向き雷の場合、測候所の接地抵抗は小さくリーダ電流による自己バイアスによる抑制効果は小さく連続的に電荷補給がされていると考えることができる。一方、下向き雷は雷雲からの電荷補給が間に合わず、中断しながら進展する。負極性雷の場合、上向き雷と下向き雷は図5に示すものになり、上向き雷は避雷針を空間電荷層から突出させることで発生位置を避雷針位置に制御でき、周辺に与える影響も含めリーダの伸長過程の前兆現象が観測可能になる。一方下向き雷の場合、接地線電流に前兆現象は無いいきなり直撃雷電流が現れることになる。

測候所に直撃雷があった場合、上向き雷は測候所が放電路の起点、下向き雷は終点になる。図6に示すように水平位置検知電流ベクトル位置が放電路の平均値とすれば、検出位置と測候所との差の倍の位置が上向き雷の終点、下向き雷の起点ということになる。正確な起点、終点が決まるため誤

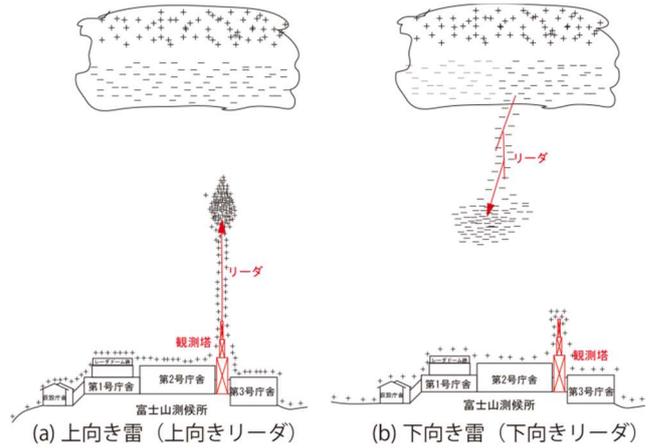


図5 負極性雷の場合の上向き雷と下向き雷
差原因解析に有力な情報になると考えている。2015 年 8 月 13 日測候所への直撃雷の落雷位置は、東に約 1.5 km の位置であり、位置を同定した測定点との間で誤差を作る現象があると推測している。例えば放電路が鉛直で無くだいぶ寝た状態であったか、あるいは御殿場山麓に繋がる長い接地線に落雷電流が流れたことなどによる影響の可能性もあると考えている。

(1) 高圧ケーブル内接地線電流の前兆現象 測定された直撃雷は前兆現象が観測されており上向雷と考えられる。周辺雷用ログウスキーコイル電流計には図7の 4 観測波形が前兆現象として測定された。周辺用ログウスキー電流計に使用した DSO はデータロギングによる USB メモリーへの記録時間中はデッドタイムとなり画面も変化しない。この USB への記録時間は、使用した設定メモリー長 1k サンプルルコードの場合で、USB メモリの種類や空き容量で変わるが ~ 500 ms になる。前兆現象で観測された波形 4 点の内 3 点は

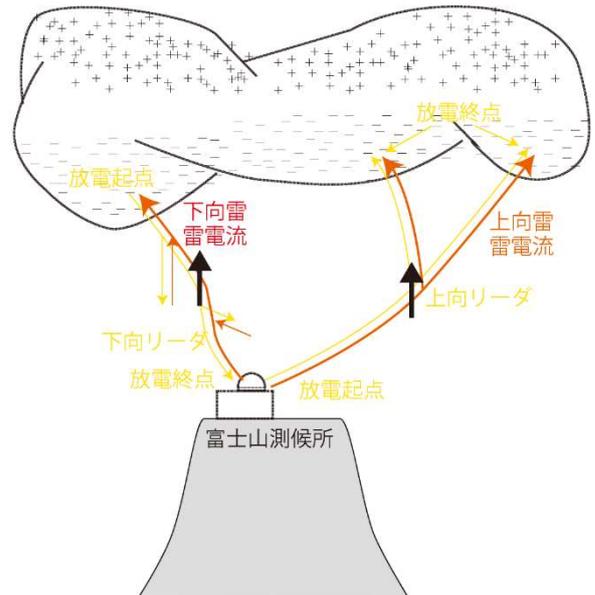


図6 測候所直撃雷の雷放電路の起点・終点、水平位置検知電流ベクトル位置 (↑) (負極性雷の場合)

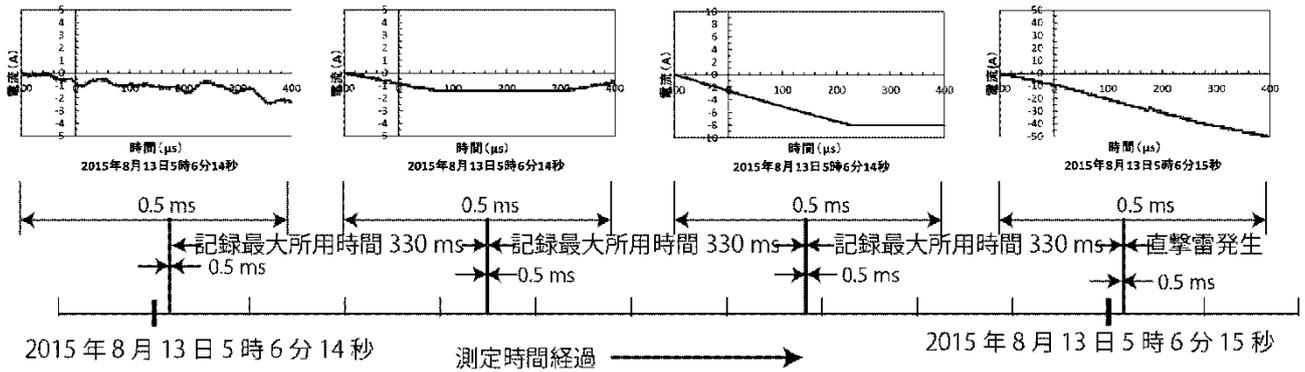


図7 2015年8月13日5時6分直撃雷の前兆現象
 5時6分14秒台に観測され、最後の1点は15秒台に入っている。従って本測定ではデータロギングによる記録時間は最大でも330msと考えられる。一方、画面上測定波形の測定時間は、 $50\mu\text{s}/\text{div}$ から $500\mu\text{s}$ になる。直撃雷は、4点目の記録に後続して発生しUSBメモリーへの記録中に終了したものと推測される。前兆現象は約1秒前から始まっており、最長間隔の場合で、330ms毎に $500\mu\text{s}$ 4点が記録されたことになる。なお測定波形はオフセットをゼロとしている。平らな部分はスケールオーバーしているためである。

(2)フィールドミルに現れた直撃雷と前兆現象 直撃雷はフィールドミルでも対応する時間に図8が観測されている。フィールドミルの仕様に示されている応答時間0.1sを考えると落雷現象時間は3桁小さく観測できるのか疑問があるが、実際に測定できていることを考えると、測定可能にする現象が伴っていることが推測される。

一つは測定された図7の前兆現象の最後が直撃雷のリーダが増殖進展し雷雲に達するまでの電流増加時間変化に伴い生じる電界変化がフィールドミルの測定を可能にしていたと考えられる。DSOに観測された前兆現象が1sと長く、この現象による電界変化は充分観測できるものになる。しかし、この場合でも電界は正までは振れるとは考えられず、別の現象もあると考えている。

もう一つフィールドミルが雷放電検出を可能にしているものは、雷放電後の雷雲電荷空間分布の時間変化、落雷に伴う空間電荷層を構成するイオン分布の時間変化が空間電界にフィールドミルにより検出可能な時間変化を伴ったためと推測している。

図8のフィールドミルに観測された被雷時被雷前変化は5~6min、約60kVから徐々に減少し約20kV/m付近で雷放電が開始している。これは観測塔から徐々にリーダが伸び周囲の遮蔽効果が徐々に高くなっていることを示している。図7に示す高圧ケーブル内接地線に流れる電流に見られる前兆現象は約1sと短い。リーダが伸ばし電流が増加しログウスキーコイル電流計で検出可能になる迄急激に増加し始めたことを示している。以上を考え合わせると、雷雲が作る強電界によりリーダの高さが変動を伴いながら数分掛けて伸び、ある一定電流以上で急激に放電へと進展したものと推測される。

(3)空間電荷層の生成 図9は雷雲襲来時の空間電荷層の生成機構と高さ方向の空間電荷密度を示している。負極性雷の場合、雷雲の負電荷による電界により地表面のコロナ放電による電離イオンの正イオンは上方に移動し一部が雷雲から下方向に移動してくる微少の電子・負イオンと再結合し消滅するが、これは小さいとしている。電離により生じた

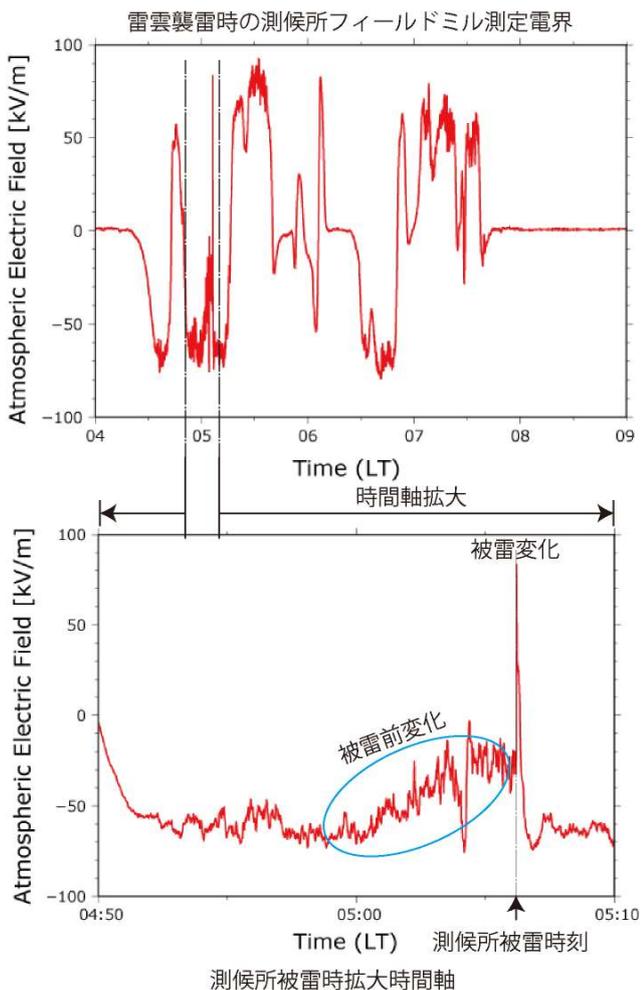


図8 フィールドミル測定電界に現れたの被雷前変化

電子・負イオンは下方方向に移動し地表面での再結合で消滅する。結局、高さ方向の空間電荷分布は図9の空間電荷密度分布に示す変化になる。

(4) 落雷による測候所での空間等電位面・電界 落雷時に生成される電界は、測候所の場合、大地と異なる状況になる。測候所の場合、導体構造物でできている測候所が山麓に低抵抗で接地されているが、落雷電流は大きくその電流による接地極抵抗の電圧降下は非常に大きなものになり、それが測候所の電位になる。その結果、図 10(a)に示すような等電位面を構成し、測候所の電界は大きく緩和される変化になる。この現象の時間変化は速い。この変化を緩和させる現象として落雷による電界変化により空間電荷層等の変化をもたらし平衡状態になるまでの時間変化が大幅に緩和され、フィールドミルによる測定が可能になったものと推測している。この変化があるとすれば、正まで振れることはあるのではないかと考えている。

(5) 落雷による平地での空間等電位面 図 10(b)は平地に生じる落雷による等電位面を示している。考えるにあたって大地地質の抵抗率は一定とし落雷電流は等方的に拡散するものとした。図はそのときにできる大地の電位と空間の等電位面を示している。落雷電流 I_L が落雷点から等方的に

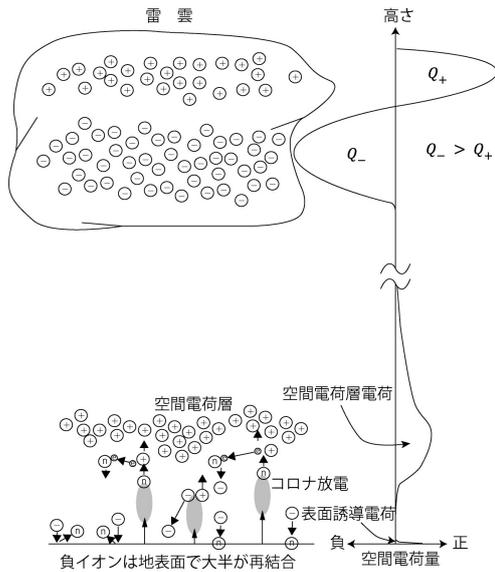


図9 負極性雷雲による空間電荷層生成と垂直軸空間電荷分布

$$V_r = I_L \int_{\infty}^r \rho \frac{1}{2\pi r^2} dr = \frac{-\rho I_L}{2\pi r} \quad (2)$$

この電位と雷雲と大地間の空間電位から落雷個所周辺の電位は概略図10(b)のようになるものと考えている。公開計算プログラムを使用し、上述の境界条件を与えることで正確な等電位分布が求められる。

(6) フィールドミルでの測定を可能にする現象 (4)と(5)の両者を比較し、前者の測候所の電位電界は測候所全

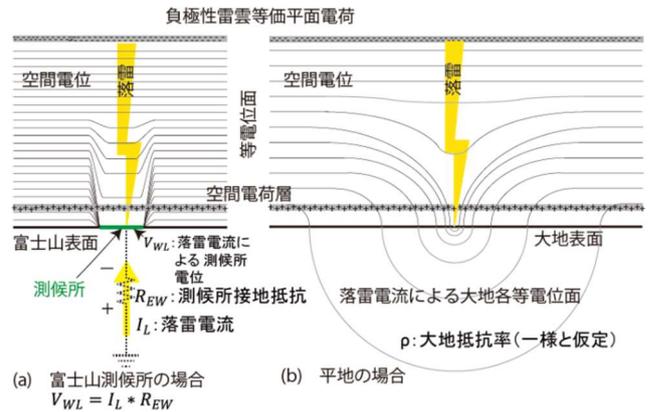


図 10 負極性雷雲下負極性落雷による空間電位・電界体に一様として考えることができるが、後者は落雷点で突出した高電位・高電界が生じるものと考えられる。この電界により空間電荷層の空間電荷分布に変化をもたらし、それが平衡状態に達する時間がフィールドミルの測定を可能にしているものと考えられる。前述した上向き雷によるものと思われる前兆現象が遅い現象になっており、このときに生じる電界変化も同様の時間変化を伴っているものと考えられる。フィールドミルはこれを捉えたものとも考えられる。上向き雷であったことで観測できたとも考えられる。別に、フィールドミル信号伝送路で減衰を上回る大きな電界変化を拾いそれが現れているとも考えられるが、使用したフィールドミルは光伝送を使用しており考えにくい。現象のメカニズムは今後の観測によって明らかになるものと考えている。

(7) 上向き雷のリーダ伸長による電界変化 上向き雷のリーダは測候所の観測塔から発生したと推測している。リーダが発生する前は図 11 中の黒色点線の等電位面により生じる電界で黒矢印に示す大きさであるが、リーダが発生し伸長する

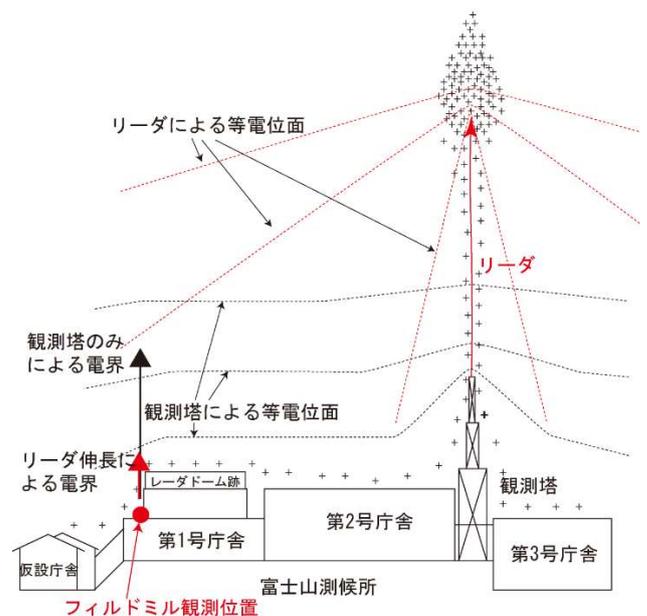


図11 上向き雷のリーダ伸長による電界変化

と赤印点線の等電位面に変わり赤矢印のように電界は小さくなる。測候所に設置したフィールドミルはこの電界変化の影響下にある位置にあったと考えることができる。より精度高い測定が可能な位置に設置することでこの現象をより精度高く把握することが可能になる。

もし、図8のフィールドミルの直撃雷前の電界変化がリーダ伸長によるものであれば、リーダは5～6 min かけ徐々に伸長し、ある一定条件を満たすと図7の前兆現象に示される自己増殖的な成長条件が成立し急激に雷雲に伸長しリターンストロークになったと考えられる。正確な電界を知るため、フィールドミルよりも応答性があり、安定な測定が可能な電界測定器の開発が望まれる。

4. 仮設避雷針の実現

仮設避雷針の目的は、落雷電流と同時に流れる山麓に流れる高圧ケーブル内接地線の電流を比較し校正係数を決めること、上向き雷が観測塔付近から生じている可能性が高いが、それを仮設避雷針にまとめ1個所にすることである。特に上向き雷については周囲より突出した避雷針を設けることで発生個所を仮設避雷針1個所に纏めることができると考えている。

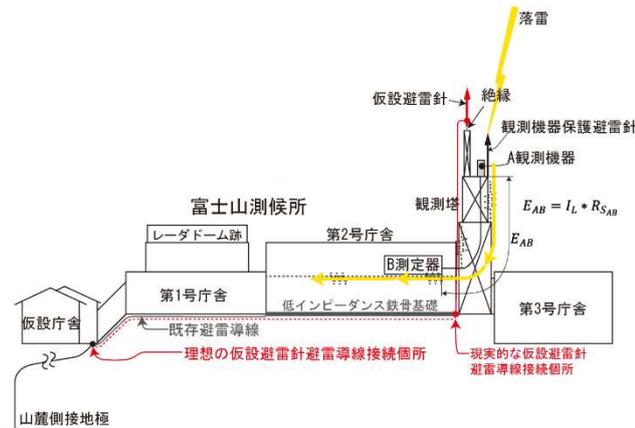


図12 避雷針被雷電流による接地系統電位差を防止する方法

(1) 高圧ケーブル内接地線電流の校正 富士山測候所の接地抵抗は大きく、一方測候所と繋がる山麓側の接地極接地抵抗は小さく、落雷電流の大半が山麓側に流れる。山麓に繋がる接地線は複数であり高圧ケーブル内接地線はそのうちのひとつである。そのため、高圧ケーブル内接地線電流を測定しただけでは測候所落雷電流を測定したことにならない。測定電流から落雷電流を知るには、被測定接地線以外の接地線を通して山麓に流れる電流、および小さいが測候所から直接山体に流れる電流も含めた校正係数を知る必要がある。避雷針の落雷電流の同時測定によりその校正の実現を考えている。

(2) 上向き雷の観測 周囲よりも充分高い仮設避雷針を設けることで今まで観測塔周辺で発生していた上向き雷が

仮設避雷針の1個所に纏められるものと考えられ、落雷電流は測定し易いものになる。フィールドミル等の関連測定器を設置することで詳細な上向きリーダの現象も観測可能になる。

(3) 仮設避雷針の実現 仮設避雷針は観測塔頂部にある固定部フランジに絶縁物を介して避雷針支持用のフランジを強固に固定し、夏季測定期間中に予測される強風に耐えられるものとする。

避雷針の避雷導線は直ぐに鉄骨に接続する場合は一般的で、既存の観測塔避雷針も鉄骨に接続されている。このような場合、図12に示すように避雷針の落雷電流は観測塔鉄骨に流れ山麓側に流れることになる。仮に避雷針の被保護観測機器の制御器が第2号庁舎にあるとすると落雷電流が観測塔鉄骨に流れることで生じる観測塔鉄骨の電圧降下がサージ電圧として観測機器と制御機器間に加わることになる。これを防止するには仮設避雷針の避雷導線は観測塔鉄骨に接続せず、理想的には山麓側の共通接地極に、現実的には第2号庁舎の低インピーダンス鉄骨基礎に接続することで観測塔鉄骨電圧降下による周囲の観測機器への影響はなくなる。

(4) 安定なトリガーの確保 過去の測定を整理して、観測では周辺雷があったにもかかわらず動作しない場合があることが分かった。一つは、DCカップリングの場合、オフセットが変動しエッジ・トリガーレベルを超えたことで動作しなかったと考えられる。二つ目は、オフセットの影響を避けるため、ACカップリングとしエッジ・トリガーで行ったが、ACとしたことで周波数特性が影響し、エッジ・トリガーレベルよりも大きくなければ動作しない。三つ目は、Ext.トリガーに一定レベルのトリガーパルスでなく信号の絶対値を加えたことがトリガー動作の不安定性をもたらした、などの不安定性が原因になっていることなどで引き起こされていた可能性が高い。落雷現象の発生頻度が高い場合はデッドタイムによる不動作も多いと考えられる。安定で正確な基準でトリガー動作を確保する必要がある。デッドタイムを少なくすることも必要である。

5. 今後の測定系

5-1 高圧ケーブル内接地線電流の測定

昨年の高圧ケーブル内蔵接地線電流のロゴウスキーコイル電流測定系は直撃雷用と周辺雷用の2系統で、上向き雷の前兆現象測定用は周辺雷用測定器で兼ねた。前兆現象の持続時間は長く1sが見込まれたため、周辺雷の測定もその時間に合わせ測定した。その結果、直撃雷は無かったため、前兆現象は観測されず、短い現象時間の周辺雷現象によるもののみであった。短い時間で終わる現象を長い時間で測定することは、使用しない部分のデータ処理が加わり煩雑にするだけではなく、また測定時間とUSBメモリーへのデ

ータ転送時間中はデッドタイムになるため、引き続き生じる現象の観測を見落とす確率も大きくなり好ましくない。

このような状態を改善するため、次年度観測では上向雷の前兆現象測定用のログウスキーコイル電流測定系を新たに設ける必要があると考えている。図13に示すように直撃雷測定用と上向雷前兆現象測定用のいずれの DSO も Ext. trigger とし、いずれもある一定の直撃雷立ち上がりレベルをトリガーとし、上向き雷前兆現象測定用は、図 14 に示すように直撃雷トリガー前 750 ms の前兆現象時間を測定できるものにするを予定している。使用 DSO は十分な時間分解能が得られ記録可能なメモリー長にすることが求められる。

このような状態を改善する手段として、上向き雷前兆現象用ログウスキーコイル電流測定系を新たに設け、頻度高く現れる周辺雷用は専用の測定系にすることで周辺の雷現象の測定漏れを少なくし、より正確に測定できることになる。

将来的には長時間観測が必要であるが、このデッドタイムはメモリー長を長くするほど大きくなる。雷現象には多重雷もありメモリー長を大きくすると共に十分な分解能が得られるようにする必要がある。またデッドタイムを短くする工夫も必要である。例えば同じ測定系を複数設け 1 測定系が測定に入ると、次の測定系が測定を開始するようにする工夫をすることでデッドタイムは確率的により小さくすることができる。

5-2 避雷針電流測定系

使用ログウスキーコイルは予測される被雷電流を検出できるものにする必要がある。

避雷針電流を検出するログウスキーコイル検出器と庁舎内に設置する測定系との間に距離があるため、正確な信号伝送のため、ログウスキーコイル検出器出力インピーダンスと積分増幅器入力インピーダンスは同軸ケーブル特性インピーダンス(2016年は50Ωを使用)にあわせる必要がある。満足しないと反射の影響で正確な信号伝送ができない。ログウスキー検出器出力電圧は適度に大きくし、減衰させて出力インピーダンスを同軸ケーブルの特性インピーダンスに合

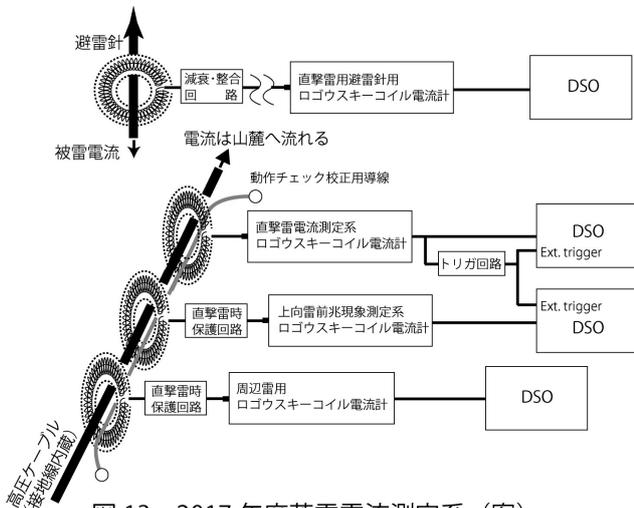


図13 2017年度落雷電流測定系(案)

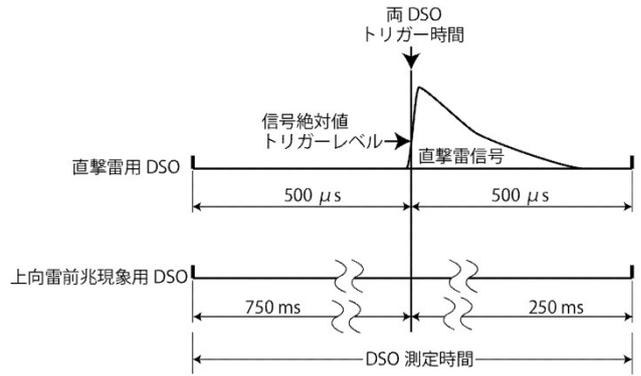


図14 直撃雷と上向雷前兆現象測定用 DSO の信号トリガーレベル・位置と測定時間幅(2017年度予定)

わせるようにする。積分増幅器入力インピーダンスは同軸ケーブル特性インピーダンスに合わせ、積分機能が動作させるため出力インピーダンス変換(理想は0Ω)を入れる必要がある。

また、ログウスキーコイル雷電流検出器は、設置場所の電界変化の影響を受けないように、且つ雷電流検出に影響しないようにシールドする必要がある。シールドには検出電流を抑制する遮蔽電流が流れないようにループを構成しないように切れ込みを入れることが必要になる。さらにケーブルには雷対策ケーブルなどを使用するケーブル上でサージ電圧が侵入しないようにする必要がある。

5-3 山麓側高圧ケーブル内接地線電流測定の実現

測候所引込高圧ケーブルは、図15の○の73号柱で架線

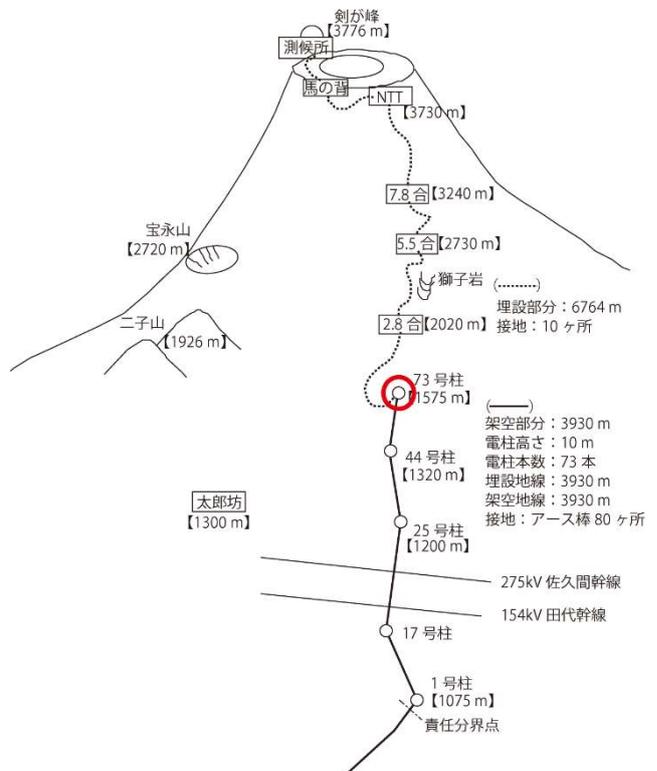


図15 山麓側接地線電流測定箇所(○)

から埋設されている。測候所使用期間外は高圧電源を遮断するが接地線は山麓側と接続状態であり、山麓側で接地線電流の通年観測は、測定環境を整えることで可能である。問題点としては、高圧ケーブルの接地線が途中の接地極に繋がるなどして完全に絶縁されておらず途中の接地の影響を受けることと測候所の測定電流と違いが現れることである。もう一つは電源確保の問題である。100V 電源はないので交換頻度から決まる期間使用可能にする十分な容量のバッテリーが必要になる。

6. 落雷対策

(1) ファラデーケージ構成に近づける

ファラデーケージに近づけるため、導電性の外装材や構造物は等電位ボンディング等をはかり庁舎全体の電氣的接続を良好にすることで内部へのサージ電圧の侵入を抑制できる。大事なことは、庁舎から外部に出る金属配管やケーブル接地系統はファラデーケージに電氣的に完全に接続する必要がある。これが実施されていない場合、外部電位をファラデーケージ内に導入してしまうファラデーホールを作ることになる。

(2) 回転球体法の保護下に置く方法 下向き雷に限られる対策方法になる。上向き雷の対策はできるだけ高い避雷針を設けることになる。高層ビル等の側方雷からも保護する方法として、避雷針の保護角による方法よりも効果的な回転球体法がある。この方法は側方雷が多い富士山測候所にも効果がある方法である。しかし、適用方法には注意が必要である。上方部は避雷針、鉄骨およびファラデーケージ構成の庁舎導電体外装部に接するようにし、他方球体下部は図 16 のように直接大地には接しないように庁舎と電氣的に接続状態にある導電性の鉄柵や簡易避雷針等に接するものにする必要がある。既存のものを流用できなければ簡易避雷針等新たに設ける必要がある。

(3) 回転球体法保護下外観測機器の対策方法 測候所から離れた観測機器は雷が侵入しないようにファラデーケ

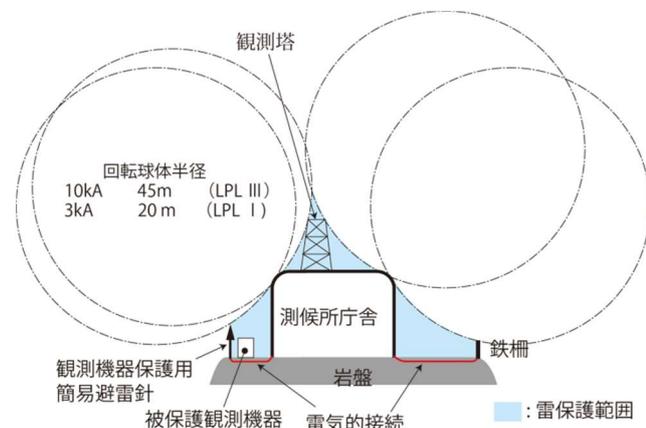


図 16 外部観測機器の落雷対策方法

ージに近づける。その観測機器と測候所を結ぶ信号等の伝達ケーブルは雷対策ケーブルを使用することで観測機器の被雷電流はケーブル上でサージ電圧を侵入させず、ケーブルを通し安全に測候所に流すことができる。この雷対策ケーブルは、また、雷電流が流れ大きなサージ電圧が加わる個所に有効である。

(4) 接地端子間および電源と接地端子間の電位差対策(理想に近い1点接地の実現) 接地はそれぞれの観測システム全体で1点接地になるようにすることが必要である。複数の接地を取った場合複数の接地電位差がシステム内に侵入することになる。また外部に対しては両者の電位差が循環電流を流す原因になる。

どうしても複数接地点が必要となる場合、接地間を繋ぐケーブルは電位差を相殺する雷対策ケーブルや高透磁率トロイダルコアによる同相化が必要である。

一般的に電源も接地されていることが以外と見落とされている。測候所受電室にある電源用変圧器の2次側は一般的に高圧混触保護用として行われているB種接地が実施されている。このため電源の対地電位はB種接地の測候所の共通接地極電位になる。一方接地系統も共通接地極に接続されているため、落雷電流が流れると接地系統に電圧降下を生じ電気機器の電源と接地端子間に共通接地極と接地端子間の電位が加わることになる。サージ電流が大きいと大きなサージ電圧が加わることになる。一般的な対策方法は電源にノイズカットトランスを使用して電源回路を絶縁させることである。最近の電気機器は、省エネ・軽量化等で電源回路

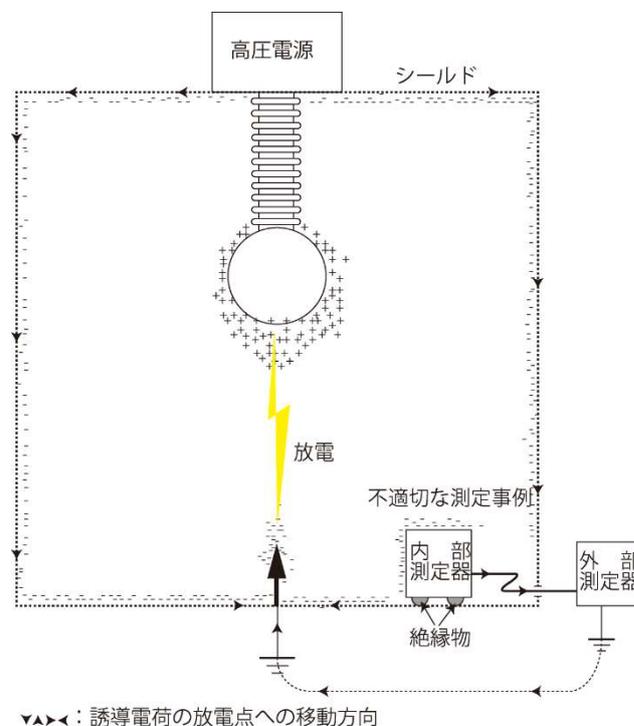


図 17 放電による誘導電荷移動で生じるトラブル発生機構

には絶縁変圧器は使用されなくなっていることで完全に絶縁できず影響を受け易くなっていると考えている。

電源変圧器を混触防止板付き変圧器にすることで二次回路を非接地にすることができる。共同研究場所である測候所には相応しいものであり、将来的には検討すべきことである。但し、万一電源回路に雷サージが侵入する場合、この雷サージを逃がせるようにして対地電圧が上昇しないように変圧器出力端子と接地間に低電圧作動の SPD(避雷器)を設けることが必要である。

(5) 静電誘導 実験設備で見られる静電誘導によるトラブルの発生は図 17 に示すように高電圧放電実験に見られる現象である。図の中央球体が高電圧である場合、周囲の導電性構造物表面に誘導電荷を生じる。もし図に示すように放電させたときに高電圧により誘導されていた電荷は放電個所に移動し中和するが、もし図に示すように導電性構造物内表面と絶縁された内部測定器があった場合、この測定器の誘導電荷は外部測定器を迂回して放電個所に移動することになる。このときに内部、外部測定器間にサージ電圧を発生しトラブルになっている場合が多い。測候所でも外表面の導電性構造物が適切に接地系に接続されておらず、あるいは絶縁されている場合、雷雲電位の誘導変化を受け、その構造物は電位不安定性を生じることになる。露出している検出器でインピーダンスが大きくなる検出器の場合や適切な接地がなされていない場合に影響が現れる。

7. まとめ

今までの山麓接地極と繋がっている富士山測候所接地線電流を測定した結果から測定上の問題点を整理すると共に新たに分かった現象に相応しい測定方法も含め、今後の測定系を考察提案した。また富士山山頂にあることによる接地系統の調査と接地線電流測定から今後の研究拠点に相応しい雷対策方法を示した。

(1) 山麓に繋がる接地線電流により観測できる現象を考察整理した。

(2) 接地線電流測定情報以外にフィールドミルによる電界測定結果および位置情報から上向き雷と思われる直撃雷に伴った現象を考察し、その観測のための測定方法を提案した。

(3) 被雷しても周囲に影響を与えない仮設避雷針の設置方法を明らかにした。

(4) 直撃雷、上向き雷の前兆現象、および周辺雷の今後の対策と測定方法を提案した。

(5) 測候所の共同研究の場としての雷対策方法について以下の提案をした。

①等電位ボンディング強化によるファラデーケージ近似への強化。

②回転球体法の保護下に置く効果的な方法

③回転球体法の保護下に置けない観測機器の対策方法。

④雷電流流ることによる接地系統の電位差対策。

⑤静電誘導対策。

(6) 今後の課題として、山麓での接地線電流測定方法について明らかにした。

8. 謝辞

2015年8月13日に測定された直撃雷の考察に際し、誤りのご指摘を受けアドバイスを頂いた横山茂・静岡大学客員教授、資料や情報提供等で調査にご協力頂いた鈴木寿久・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、および山頂班員の方々、および事務局員の方々の各位に感謝する。

なお、この研究の一部は三井物産環境基金活動助成(K13-0040)「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」その2「世界に開かれた日本一ハイレベルな研究・教育拠点」としての富士山測候所の再生」およびトヨタ自動車株式会社のトヨタ環境活動助成プログラムの援助を受けた。記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 中村安良, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2012). 富士山測候所雷対策適用上の調査と対策方法. 第5回(平成23年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 26-35.
- 2) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 中村安良, 大胡田智寿, 土器屋由紀子, 鴨川仁(2013). 富士山測候所の山麓からのケーブルに流れる雷観測電流, 第6回(平成24年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 14-27..
- 3) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2014). 富士山環境下での測候所雷対策と山麓への接地線電流測定の準備, 第7回(平成25年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 4-11.
- 4) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2015). 富士山測候所の山麓への接地線電流観測と雷対策, 第8回(平成26年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 19-27.
- 5) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2016). 富士山測候所導入高圧ケーブル内接地線電流観測結果と今後の観測方法・雷対策, 第9回(平成27年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 16-25.
- 6) 鴨川仁 (2016). 2015年大気電気・雷研究の成果について

- て, 第9回(平成27年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 13-15..
- 7) 大島燦, 安本勝, 鴨川仁(2016). 2015年8月13日の富士山測候所直撃雷, 第9回(平成27年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 67-70.
 - 8) 電気・電子機器の雷保護検討委員会(委員長横山茂)(2011-8). 電気・電子機器の雷保護, 電気設備学会.
 - 9) 石井勝(2013-9). 上向き雷放電, 第31回レーザセンシングシンポジウム特別講演.
 - 10) 滝川聡, 三宅久仁彦, 横山茂, 横田勤, 酒井勉(1994-10). 冬季雷における放電進展様相と電流波形の特性, 電力中央研究所, T93024.
 - 11) 北川信一郎, 河崎善一郎, 三浦和彦, 道本光一郎(1996). 大気電気学, 東海大学出版会.
 - 12) 北川信一郎(2001年). 雷と雷雲の科学, 森北出版.
 - 13) 日高邦彦(2009年1月10日). 高電圧工学, 新電気システム工学 TKE-13, 数理工学社.
 - 14) 高橋健彦(2003). 接地・等電位ボンディング設計の実務知識, オーム社.
 - 15) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 土器屋由紀子, 野村渉平, 向井人史(2013). 富士山測候所観測システムへの雷対策案, 第31回電気設備学会全国大会講演論文, 405-408.
 - 16) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 鴨川仁, 土器屋由紀子, 野村渉平, 向井人史(2014). 超低特性インピーダンスケーブルの接地適用の検討, 第32回電気設備学会全国大会講演論文, 111-114.
 - 17) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 土器屋由紀子(2015). ケーブルへの侵入サージ電圧抑制効果評価方法, 第33回電気設備学会全国大会講演論文, 343-346.
 - 18) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 大島燦, 高橋浩之, 土器屋由紀子:「富士山測候所導入高圧ケーブル内接地線電流の測定」,第34回電気設備学会全国大会講演論文,83-88(2016).
 - 19) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 中村安良, 大胡田智寿, 土器屋由紀子(2012). 富士山測候所のための落雷対策, 電気学会 A 部門, Vol.132, No.11, 984-992.
 - 20) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 土器屋由紀子(2014年). 超低特性インピーダンスケーブルの検討, 電気学会全国大会講演論文, 電磁環境 ESD, 1-154.
 - 21) 土器屋由紀子, 佐々木一哉(2012-6). よみがえる富士山測候所, 成山堂書店.
 - 22) 志崎大策(2002-9). 富士山測候所物語, 成山堂書店.
 - 23) 土器屋由紀子, 梶山沙織, 鈴木雅史(2016年10月). 日本一の高所・富士山頂は宝の山, 公益財団法人静岡県文化財団.

O-06: 2016 年夏季富士山頂で大気電気・雷観測

鴨川仁¹, 佐々木一哉², 安本勝³, 工藤剛史⁴, 廣岡征紀⁴, 榎戸輝揚⁵, 和田有希⁶,
高橋周作¹, 石川朗子¹, 小名木すみれ¹

1.東京学芸大学, 2.弘前大学, 3.ヤマザキ, 4.音羽電機工業株式会社, 5.京都大学, 6.東京大学

1. はじめに

2008 年からスタートした富士山山頂での大気電気観測は、宇宙線・放射線観測の補助的な役割として始まったものである。しかし数年の測定の結果、取得されたデータから大気電気研究を進展させる成果も得られた。それゆえ、2012 年から大気電気研究は独立したグループとして観測を行った。現在では、富士山山頂という高所を活用し雷に関連する諸現象の研究を行っている。2016 年では引き続き次の 3 テーマ、1) 雷活動において発生する高エネルギー放射線、2) 対流圏と電離圏間で発生する高高度放電発光現象、3) 富士山測候所と山麓を繋ぐ接地線に流れる雷電流観測を行った。またサブテーマとして旧測候所の雨水フィルターを用いて福島原発事故に関連する放射線の山頂へ影響を調査した。本稿では、2016 年の成果を総括するとともに、今後への課題を提示する。

2. 結果の概略

詳細な結果は他の講演(安本, 佐々木ら)および各ポスター発表(高橋ら, 小名木ら, 石川ら)にて述べるため本稿では、以下の概略のみ述べる。

(1). 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¹⁾。これらは、雷雲中の強電場に起因すると考えられ、10 秒以上持続する長時間の放射線変動である。また、放射線発生源と考えられる雷雲と地表観測地点の距離が短いと検知できるとみられる。このような事象は、かつて、雷雲の高度が高い夏季雷時では地上で観測された報告はなかった。そこで、夏季雷でも冬季雷と同様の事象が発生しているかどうかを調べるために、雷活動が盛んな独立峰である富士山の山頂において雷雲発生時の放射線変動の観測を行った。その結果、観測初年度である 2008 年から検知でき²⁾、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。2013 年は、解明に必要なデータを得るため、高エネルギー放射線の連続測定および雷雲が作る大気電場の測定を行ったところ、明瞭な 2 事例を得た。2014 年は放射線発生時の二次校正された大気電場値を知るために計測器の校正を山頂で行った。2015 年では、この電場値が雷雲強電場起因のコロナ放電の遮蔽効果で減少しているかいないかを知るために山頂で大気イオン

測定を行った。2016 年では例年と同様な観測を続けた。また今年、2013 年の 2 事例、2016 年の 1 事例について X-band MP レーダーのデータを活用し、雷雲の成長過程と放射線発生時の関係を調べた。その結果、3 事例とも雷雲の減衰期に発生していたことが分かった。減衰期では、激しい降雨後であることから、雷雲下部の負の電荷領域が消失し始めている。従って、雷雲上部には正の電荷が残されていると推測されることから、この正電荷が放射線源になっている可能性が推察された。

(2). 高高度放電現象の観測

2016 年は、複数事例が検知された 2015 年とは変わって 1 事例も検知できなかった。そのため、2015 年でスプライトが発生した時のメソ対流系と同様な雷雲数、降雨量であったがスプライトを伴わなかった時のメソ対流系との比較を行った。

(3). 接地線に流れる雷電流観測

富士山頂の雷現象解明と雷対策のため、山麓側接地極に繋がる測候所の接地線に流れる測候所被雷電流、および周辺雷による誘導電流の測定を続けている。この測定を自動化することで、測定漏れを無くし、また他の現象の測定とも同期させることにより、その測定結果も考え合わせて富士山頂のダイナミックな雷現象の解明を目的にしている。さらに、富士山頂のように被雷頻度が高く、高所で気圧が低く、および接地インピーダンスが岩盤で大きくなる等の環境下で使用する観測機器の安定な測定を可能にする雷対策方法の開発を目的に実施している。

本年度のロゴスキーコイル観測では、従来の 4 号庁舎での観測に加え 2,3 号庁舎の間でも行った。2016 年は直近落雷がなく、本テーマの進展は次年度に持ち越された。

(4). 福島原発事故に関連する放射線観測

2011 年 3 月の福島第一原発事故による放射能物質の飛来の研究には、シミュレーションとの比較のため、高度方向のデータが貴重と考えられる。そのため、測候所の複数グループによる放射線の研究がなされ、山頂の福島原発事故由来の放射性物質の存在は検知できる範囲以下であると結論づけた。複数の手法によって行われた前測定では、Cs134 は検知限界以下であったが、サンプル量や検出時間が短かった可能性があるため、検知されなかったことも考えられる。このことを再検討するために 2014 年はより高精度

に放射性物質起源の弁別が可能となるゲルマニウム半導体検出器を山頂に設置し, 2015 年には太郎坊に設置した. その結果, これらの観測された放射線測定データを1か月積算することで, 極めて微量のCs134のガンマ線を検知することができた. 一方, 太郎坊では明瞭なCs134が検知されている. 2016 年では, この結果に関係する内容として, 測候所雨水フィルターを持ち帰り, 放射線測定を行った. その結果雨水フィルターでは放射線は検知限界以下であった.

本研究は大学間連携による教員養成の高度化支援システムの構築—教員養成ルネッサンス・HATO プロジェクトにおける放射線教育プロジェクトで行った.

参考文献

- 1) Torii, T., Sugita, T., Kamogawa, M., Watanabe, Y., Kusunoki, K. (2011), Migrating source of energetic radiation generated by thunderstorm activity, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24801, doi:10.1029/2011GL049731.
- 2) Torii, T., T. Sugita, S. Tanabe, Y. Kimura, M. Kamogawa, K. Yajima and H. Yasuda (2009) Gradual increase of energetic radiation associated with thunderstorm activity at the top of Mt. Fuji, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L13804, doi:10.1029/2008GL037105.

O-07: 年賀寄附金配分事業による測候所の保守と大気中水銀の通年観測の試行

兼保直樹, 野田和俊

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

1. 2016 年度年賀寄附金配分事業の概要

旧富士山測候所は老朽化が進み、外壁塗装の剥がれなどが見苦しいのみならず、雨漏りによる水の浸入によって内部の腐食や錆びなど建屋本体に対する損傷が進む可能性がある。このような経年劣化を本格的に補修するには膨大な費用が必要となり、借家人である当 NPO ではとてもまかなえるようなものではない。しかし、比較的軽微な傷みについては自主的な補修により建物の劣化をわずかでも遅らせることができるなら、より本格的な補修作業が実施されるまでの「つなぎ」として大いに意味があると考えられる。そこで、日本郵便株式会社より年賀寄附金の配分を受けて、1 号庁舎外壁の鉄板の境をふさぐコーキング材劣化部分の補修および外壁塗装等の作業等を行った。

年賀寄附金配分による本年の事業のもう一つの柱は、測候所での通年で観測実施の可能性を探るための調査の実施である。庁舎の窓内側に取付けた太陽光発電パネルとバッテリーを組み合わせで得られる程度の電力による大気観測実現の可能性を探るため、本基金により大気中の水銀濃度センサーを3号庁舎に設置した。これは、国立研究開発法人産業技術総合研究所で開発している水晶振動子を利用した省電力型センサーで、まだ試験的な段階のものである。ここでは、2016 年度の事業のうち後者の実施状況について報告する。

2. 測定システムと現場データ

現在、国内では連続水銀濃度測定は秋田、新潟、福岡、沖縄の地上観測点のみであり、越境輸送の観測に不可欠な自由対流圏内での通年測定は行われていない。大気中の水銀は、自由対流圏高度ではガス状元素態水銀と考えられている。そこで、従来から開発を進めてきた水晶振動子(QCM)の金電極と水銀とのアマルガム反応を利用した測定システムを試作し、3号庁舎において測定を開始した。施設の制約上、7~8月のみしか人の出入りと商用電源の利用はできないため、今まで通年で水銀測定は事実上できなかった。そこで、今回は1年程度駆動することを目指し、太陽光発電パネルとバッテリー、小型の測定用ロガー(温湿度・気圧・QCM)の構成で測定を継続中である。

測候所南西方向の外側にガス導入口を取り付け、テフロンパイプ(約 20m)を室内に引き込み、測定用ロガーへサンプルガスを導入した。ロガーは筒状の容器に收容する形式(各1計2)で、それぞれ独立したタイマー制御による電動ポンプ(流量約 300ml/min.)で任意のサンプリング時間大気をこの容

器に引き込み、ここで大気中の水銀が水晶振動子($f_0=20\text{MHz}$)の金電極と反応して周波数変化量を測定する。測定結果の一例を Fig. 1 に示す。一般大気中の水銀濃度は、通常多くても $2\text{ng}/\text{m}^3$ 程度であり、今回の測定(素子交換)期間中の周波数変化は、1Hz 未満が考えられる。そのため、測定地での平常状態のデータと判断している。グラフで示すとおり、湿度の影響を大きく受けているため、短時間の測定では水銀濃度変化を判断できず、長期間にわたる変化(ベース周波数の動き)で検討しなければならない。なお、本測定手法では、金電極素子表面でのアマルガム反応による水銀の固定化により、素子を熱分解して気化した水銀を原子吸光分析器で水銀量を分析可能である。現在、無人測定中の素子(約 10ヶ月)を分析することによって、今まで測定できなかった期間の測定データの一例が示される可能性がある。

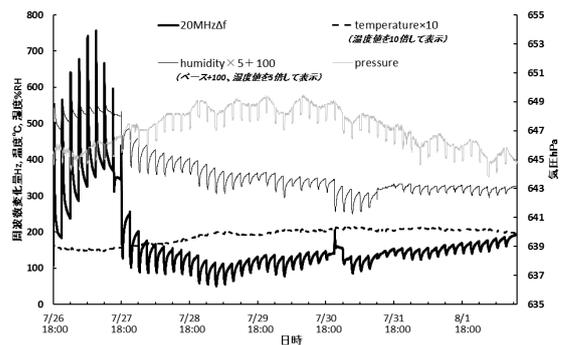


Fig.1 Example of time vs. output (sensor) changes.

3. まとめ

金電極素子 QCM と小型のロガーを活用し、バッテリー駆動によって通年で自由対流圏における水銀の挙動測定システムを構築し、現在も測定を継続中である。実際運用時の課題を克服しながらシステム改良を進める予定である。これまで夏季のごく一部の期間しか利用できていない測候所での通年観測実施のケーススタディとして、本試験のノウハウを NPO 内で共有することにより新たな観測の開始に繋げていくことが期待される。

参考文献

- 1) 野田ほか (2016):「水俣条約に対応するオンサイト水銀検知システム」, 第 33 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 24pm3D7

O-08: 富士山頂における反応性総窒素酸化物(NO_y)の計測

和田龍一¹, 定永靖宗², 加藤俊吾³, 勝見尚也⁴, 大河内博⁴, 岩本洋子⁵, 三浦和彦⁵, 小林拓⁶, 鴨川仁⁷, 松本淳⁴, 米村正一郎⁸

1.帝京科学大, 2.大阪府立大, 3.首都大東京, 4.早稲田大, 5.東京理科大, 6.山梨大, 7.東京学芸大, 8.農研機構

1. はじめに

富士山は独立峰であり, その山頂は自由対流圏に位置することから, 大陸からの越境汚染を調査するのに適した場所であり, オゾン, CO といった微量気体から, 粒子状物質まで観測が行われている. しかしながら, 大気汚染物質として重要な窒素酸化物に関して, 2014 年に NO_x の計測は行われたが, 総反応性窒素酸化物(NO_y)の計測が行われたことはなかった. 本発表では, 大気汚染物質として重要な一酸化窒素(NO)と, 総反応性窒素酸化物(NO_y)を, 市販の化学発光法による窒素酸化物計を改良した装置を用いて, 2015 年夏季に富士山頂にて計測した結果とその濃度変動要因について報告する.

2. 方法

2015 年 8 月 8 日~8 月 19 日の計 12 日間, 旧富士山測候所にて, 大気 NO , NO_y 濃度の計測を行った. NO と NO_y 濃度の計測は, 市販の Mo コンバータ化学発光分析装置 (Thermo Fisher Scientific, model 42i-TL) を改良して用いた. Mo コンバータを大気サンプル取り込み口に直接取り付けすることで硝酸や PAN, 有機硝酸を含んだ, NO_y (総反応性窒素酸化物) と呼ばれる化合物群を測定できる. NO_y は NO_x に比して大気中での寿命が長いことから, 窒素酸化物の越境汚染の指標として有用である. 装置の校正は, NO 標準ガスとゼロガス発生装置 (Thermo Fisher Scientific, model 88) を用いて, 観測期間の前後に富士山頂にて行った.

3. 結果と考察

観測結果を図 1 に示す. 富士山頂にて観測された NO , NO_y 濃度はそれぞれ最大 1.1 ppb, 3.0 ppb を示した. 8 月 8

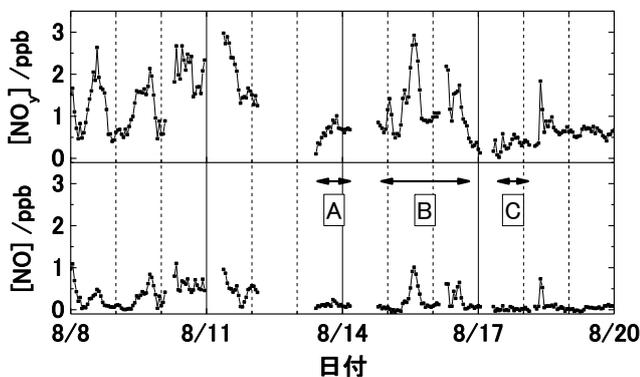


図 1. 2015 年富士山頂における NO と NO_y の観測結果

日から 8 月 11 日の期間に NO , NO_y 濃度が高く, 日変化を観測した. この期間 5 日目や山麓といった近隣から排出された窒素酸化物の影響を強く受けた可能性がある. NO 濃度の低い期間を近隣からの排出の影響が非常に小さい期間と仮定し, 当期間の NO_y 濃度と O_3 濃度の相関を調べた. NO_y 濃度と O_3 濃度により相関 ($r=0.63\sim 0.84$) がみられ¹⁾, 期間毎に 3 つのグループに分類された. これら気塊は, 後方流跡線解析より, 東シナ海海洋から輸送された清浄な気塊, 中国大陸北部・韓国, および中国大陸南部を経由した汚染された気塊と, 異なる地域から富士山頂へ輸送された可能性を示した. 当期間の中国大陸北部・韓国 (B:8/14 21:00-8/16 19:00) および中国大陸南部 (A:8/13 10:00-8/14 4:00) で観測された NO_y 平均濃度と東シナ海海洋 (C:8/17 10:00-8/18 3:00) から輸送された清浄気塊の NO_y 平均濃度は 0.93 ppb, 0.59 ppb, 0.27 ppb であった (表 1). 富士山頂で観測した NO_y 濃度は気塊の起源により変動しており, 観測期間中の中国北部および中国南部から輸送された気塊の NO_y 濃度は東シナ海由来の気塊に比べてそれぞれ, 0.66 ppb, 0.32 ppb 高かったことが分かった.

表 1. 後方流跡線解析から推定した起源毎の

	NO, NO_y , O_3 平均濃度		
	A:中国南部	B:中国韓国	C:東シナ海
$[\text{NO}_y]$ /ppb	0.59	0.93	0.27
$[\text{NO}]$ /ppb	0.11	0.10	0.01
$[\text{O}_3]$ /ppb	39	70	33
東シナ海との $[\text{NO}_y]$ 差 /ppb	0.32	0.66	-

4. まとめ

2015 年夏季富士山頂にて NO と NO_y 濃度の観測を行った. NO , NO_y 濃度は, それぞれ検出下限 (0.12 ppb)~1ppb, 検出下限 (0.10 ppb)~3ppb の間で変動した. NO_y - O_3 の相関解析と後方流跡線解析より, NO_y 濃度は富士山頂に到達した気塊の起源 (中国南部, 中国韓国, 東シナ海) により変動していることを明らかにした.

参考文献

- 1) Koike, M., Kawakami, S., Nakajima, H., Gregory, L., Sachse, W., Singh, B., Browell, V., Merrill, T., Newell, E. (1997). Reactive nitrogen and its correlation with O_3 and CO over the Pacific in winter and early spring. *J. Geophys. Res.*, **102**, 28285-2840.

O-09: 富士山頂におけるガス状二酸化硫黄の観測

佐野亘¹, 加藤俊吾¹, 三浦和彦², 大河内博³, 小林拓⁴, 鴨川仁⁵

1. 首都大学東京, 2. 東京理科大学, 3. 早稲田大学, 4. 山梨大学, 5. 学芸大学

1. 緒言

富士山頂の高度は3776 mであり, 対流圏内の自由対流圏に位置している。自由対流圏では地表面からの摩擦の影響が少なく, ジェット気流などの現象が見られ, 地球規模で様々な大気成分が輸送されている。また富士山の山形が急峻な独立峰であることから, 気流が周りの地形から受ける影響は少ない。よって富士山頂における大気観測は, 地表付近の大気に影響されることなく, 長距離の越境汚染がダイレクトに観測できると考えられる。そこで中国, 韓国など大陸からの長距離越境汚染を SO_2 , CO , O_3 を指標に観測するため, 富士山頂の富士山測候所にて, 大気微量成分の測定を行った。日本国内における人為起源 SO_2 の排出は現在では少ないため, 越境汚染の指標として有効な成分である。人為起源 SO_2 の放出は主に化石燃料の燃焼によるものであり, 自然起源では火山活動が挙げられる。また SO_2 の濃度変動を, 主に人為活動から放出される CO の濃度変動と比較することで, 検出された SO_2 が人為起源の排出であるかどうかを区別できる。

2. 測定

観測地点は富士山頂剣ヶ峰に位置する富士山測候所 (3776 m, 35.36°N, 138.73°E), 今年度の観測期間は2016年7月14日から2016年8月21日である。2013年から2016年にかけての4年間, 夏季の約2ヶ月間に計4度観測を行ってきた。測定装置は自動連続測定が可能な, SO_2 計 (Thermo Environmental Instrument, model43C-TL), CO 計 (Thermo Electron, Model 48C), O_3 計 (Thermo Electron, Model 49i) をそれぞれ用い, 観測期間中 CO , O_3 計を富士山測候所1号庁舎に, SO_2 計を3号庁舎に設置した。 SO_2 はハイボリュームサンプラーでインレットから吸引した大気をサンプルとし, 測定データはインターネット経由で確認できるように設定した。

3. 結果

2013年から2016年の4年間の SO_2 の全測定結果を Fig. 1 に示す。4年間の夏季観測期間中, ほとんどの期間で検出限界以下の濃度で推移したが, 高濃度のピークを検出した期間が複数回あった。観測された高濃度の SO_2 ピークは同時に測定している CO との相関がないことから, 化石燃料等の燃焼による人為起源 SO_2 でないことがわかった。そのため観測された SO_2 の挙動は火山活動と関係があると考えた。2013年, 2014年に観測されたピークは, 空気塊の流れをたどる後方流跡線解析の結果より, 桜島由来の火山ガスであると特定された。2015年には複数の高濃度のピークが検出されたが,

2016年には再び低濃度で推移し, SO_2 の観測結果には年ごとに大きな違いが見られた。2015年に観測されたピークは後方流跡線解析によって火山を特定することはできなかったが, 多くが富士山頂から見て北方からきた空気であった。国内の火山活動について気象庁のデータをもとに検討すると, 浅間山の活動が2015年には特に大きく, 富士山頂での観測にその影響が現れたと考えられる (Fig. 2)。富士山頂における SO_2 の観測により, 夏季には越境汚染だけでなく, 浅間山を始めとする日本国内の火山活動の影響を捕えることができると考えられる。このように, 富士山頂は越境汚染だけでなく, 火山ガスのモニタリングにも適した場所である。 SO_2 の観測を今後も継続して行っていくことで, 測定データを日本国内の火山, あるいは富士山自体の噴火予知, 災害対策へ応用することが可能になると考える。

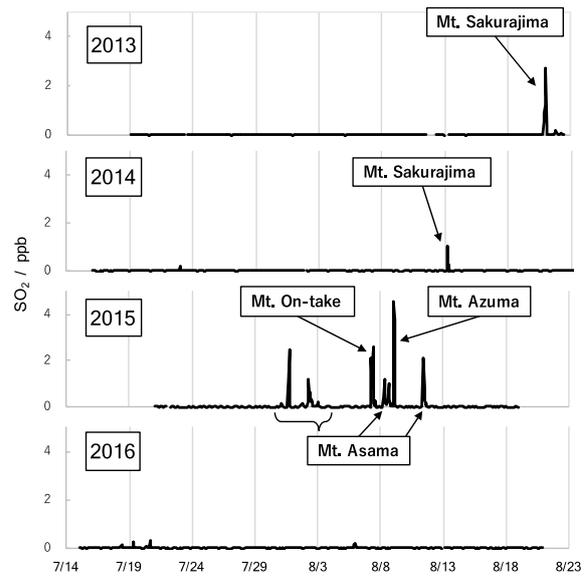


Fig. 1 Time series of SO_2 data at the top of Mt. Fuji (2013 - 2016)

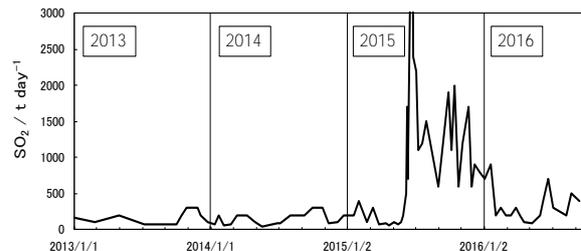


Fig. 2 Time series of SO_2 emission data at Mt. Asama (Japan Meteorological Agency) with period of observation at the top of Mt. Fuji

O-10: 8年間の富士山頂のCO₂濃度観測結果

野村渉平, 向井人史
国立環境研究所

1. はじめに

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

国立環境研究所は, 寒冷条件においても高精度の測定が可能なバッテリー駆動の自動 CO₂ 濃度観測システムを 2008 年に開発した。それを電力の供給が為されない富士山測候所に 2009 年 7 月に設置し, 富士山頂大気中の CO₂ 濃度の通年観測を試みた。

本報では本システム設置日から 2016 年 12 月末までの 2721 日の内, 2555 日(全期間の 94%)で実施された CO₂ 濃度観測の結果を報告する。

2. 方法

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

3. 結果

(1) 電圧と気温

CO₂ 計に電力を供給するバッテリー100個の総電圧と CO₂ 計を収納した保温庫内, CO₂ 計を設置した測候所内および測候所外の気温を図 1 に示した。本 CO₂ 計は供給される電圧値が 10.5V を下回ると稼働停止となる。CO₂ 計による CO₂ 濃度観測は, 観測期間においてバッテリーの電圧が 10.5V を下回らなかったことから, 電圧低下に伴う中断は生じな

かった。CO₂ 計が置かれた富士山測候所の室内気温は, 冬期においては-15°Cまで低下した一方, CO₂ 計が収納された保温庫内の気温は最も低い時期においても 10°C程度であり, 相対的に年間の気温変化が小さかった。

(2) CO₂ 濃度

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

富士山頂の CO₂ 濃度は, マウナロアより夏期では約 10 ppm 低く, 冬期では約 10 ppm 高かった(図 3 (a))。富士山の CO₂ 濃度の季節変動を省いた長期トレンドは, マウナロアより常に高く推移した。しかしこの両者の差は, 年々小さくなる傾向にあった。すなわち富士山で CO₂ 濃度の観測を開始した直後(2010 年)では富士山とマウナロアの差は約 1.3 ppm であったが, それ以降年々両者の濃度差は縮まり, 現在(2015 年)の両者の濃度差は約 0.5 ppm であった。

富士山の CO₂ 濃度増加率(長期トレンドの一日の CO₂ 濃度変化量を一年に換算した値)は, マウナロアの CO₂ 濃度増加率と同調していた(図 3 (b))。また富士山の CO₂ 濃度増加率の振幅はマウナロアより大きかった。さらに富士山の CO₂ 濃度増加率は両者の増加率が増加する時, マウナロアより 0.1 ppm yr⁻¹ 程度上回っており, 両者の増加率が低下する時マウナロアより 0.2-0.4 ppm yr⁻¹ 下回った。

近年の富士山とマウナロアの長期トレンド濃度の差が小さくなっている要因は, 富士山頂の CO₂ 濃度増加率の低下であり, これは大陸における CO₂ の排出量の低下および光合成量の増加によると考えられる。

4. おわりに

今年度は, 富士山頂における CO₂ 濃度観測を長期継続させるために 2009 年に設置したバッテリー100個の内, 50 個を新規のものと交換した。来年度も同様にバッテリー50 個を新規のものと交換する予定である。今後も長期間の富士山頂の CO₂ 濃度の計測を継続させ, 東アジア域の炭素循環の現状と変化を明らかにしていきたい。

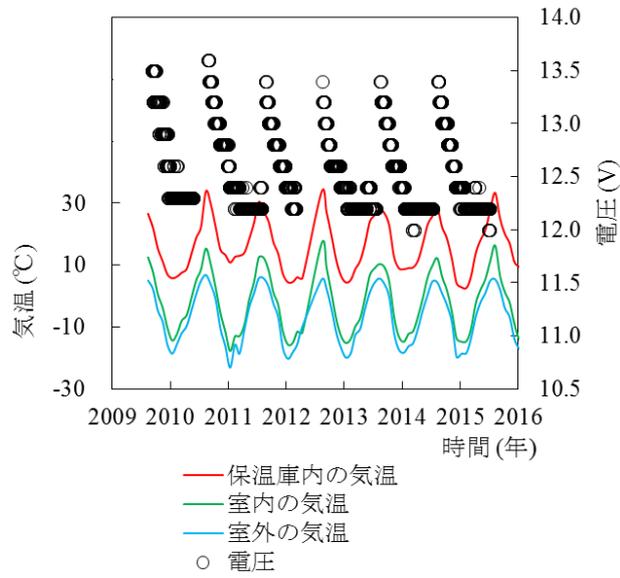


図 1. CO₂ 計に電力を供給するバッテリー100 個の総電圧と CO₂ 計を収納した保温庫内, CO₂ 計を設置した測候所内および測候所外の気温

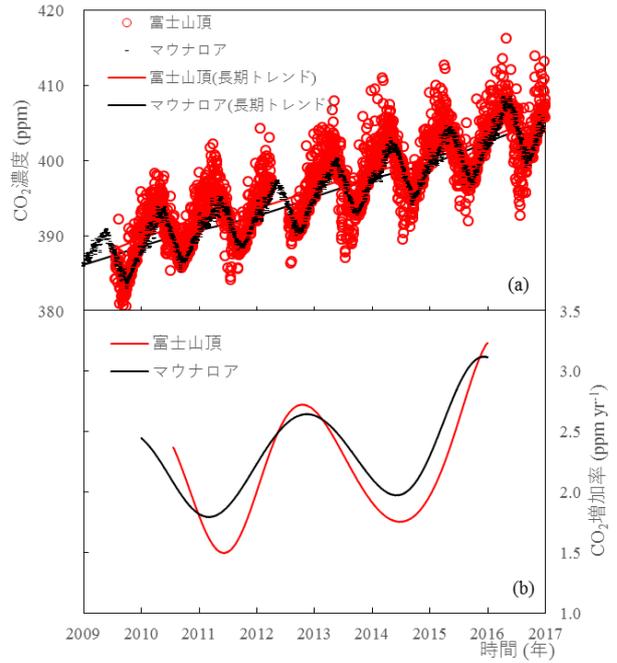


図 3. (a) 富士山頂とマウナロアの CO₂ 濃度の日平均値と季節変動を除いた長期トレンド; (b) 富士山頂とマウナロアの CO₂ 濃度変化率.

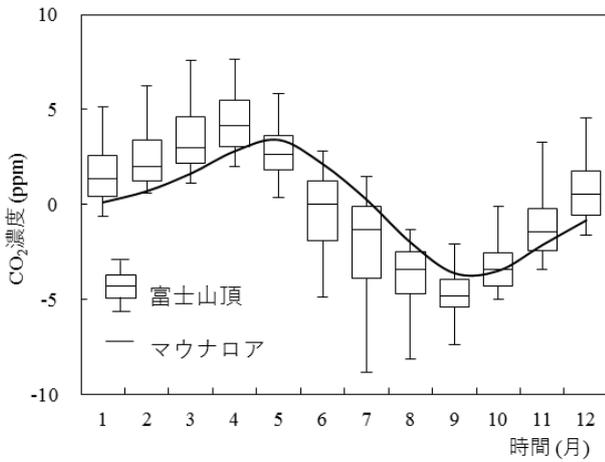


図 2. 富士山頂の CO₂ 濃度の季節変動. 箱内の線は中央値, 箱は中央値を中心に 50%の範囲, エラーバーは中央値を中心に 95%の範囲を示す.

O-11: 偏光 OPC による観測ネットワークを用いた越境輸送イベント抽出法の検討

沖 由裕¹, 小林 拓¹, 林 政彦², 原圭一郎², 西田千春², 財前祐二³, 五十嵐康人³,
三浦和彦⁴, 西澤智明⁵, 杉本伸夫⁵

1.山梨大, 2.福岡大, 3.気象研, 4.東京理科大, 5.国立環境研

1. はじめに

大気エアロゾルは自由対流圏を通じ越境輸送され、地球の放射収支や人間の健康に影響を与えることが示唆されている。そのため、自由対流圏中の越境輸送微粒子の量や組成などの動態を把握することが求められている。時間的空間的に規模の大きい越境輸送イベントを捉えるためには、多地点での観測が有効である。そこで、自由対流圏の観測に適した富士山頂および木曽駒ヶ岳千畳敷カール(以下、千畳敷)において偏光 OPC を用いた観測を実施した。さらに、多地点の観測結果から越境輸送イベントを抽出する方法について検討を行った。

偏光 OPC とは、微粒子によって散乱される光がその微粒子の形状によって偏光特性が異なることを利用し、微粒子の組成を大別し測定する測器である¹⁾。測定した散乱光強度と偏光度から、3区分(人為起源粒子、鉱物粒子、海塩粒子)の質量濃度を推定した²⁾。

2. 観測

富士山頂(標高 3776m)に位置する富士山測候所3号庁舎に偏光 OPC を設置した。共用インレットを通じて外気を導入した。設置は夏期のみである。また、千畳敷に位置するホテル千畳敷(標高 2640m)の東側の鉄塔に気象研究所により設置された観測箱内へ偏光 OPC を設置した。外気は、長さ約 0.5m の導電性チューブにより導入した。

3. 結果

図1に富士山頂および千畳敷で偏光 OPC により観測され

た人為起源粒子の質量濃度を示す。一般に山岳域は山谷風の影響を受け、日中、濃度が上昇し、夜間、減少する日変動がみられる。いずれの地点でも日中、濃度が高くなっていた。しかし、7/28、8/6-7 は双方の地点で夜間の濃度が高くなっていた。NOAA HYSPLIT による後方流跡線解析によると7/28、8/7 の気塊は大陸方面から飛来していたことが示されており、越境輸送イベントである可能性が高い。

多地点の観測データを組み合わせることにより越境輸送イベントを抽出する方法を検討した。観測データを平滑化した後、極大点および極小点を求め、濃度上昇イベントを決定した。各地点のイベントの時間的關係性を考慮し、同一のものであるか判定した。

4. まとめ

富士山頂および千畳敷に設置した偏光 OPC により越境輸送イベントを捉えることができた。今後は抽出法の検討を進め、リアルタイムに判定できるようにしたい。

謝辞：本研究は科研費基盤(C)24560660、15K06269 の助成を受け実施された。中央アルプス観光(株)のご協力に感謝いたします。

参考文献

- 1) Kobayashi, H., Hayashi, M., Shiraishi, K., Nakura, Y., Enomoto, T., Miura, K., Takahashi, H., Igarashi, Y., Naoe, H., Kaneyasu, N., Nishizawa, T. and Sugimoto, N.: Development of a polarization optical particle counter capable of aerosol type classification. *Atmos. Environ.*, **97**, 486-492 (2014).
- 2) 鷹取翔, 小林拓, 松本潔: 偏光光散乱式粒子数計測装置による鉱物粒子濃度推定方法の検討. *エアロゾル研究*, **30**, 270-274 (2015)

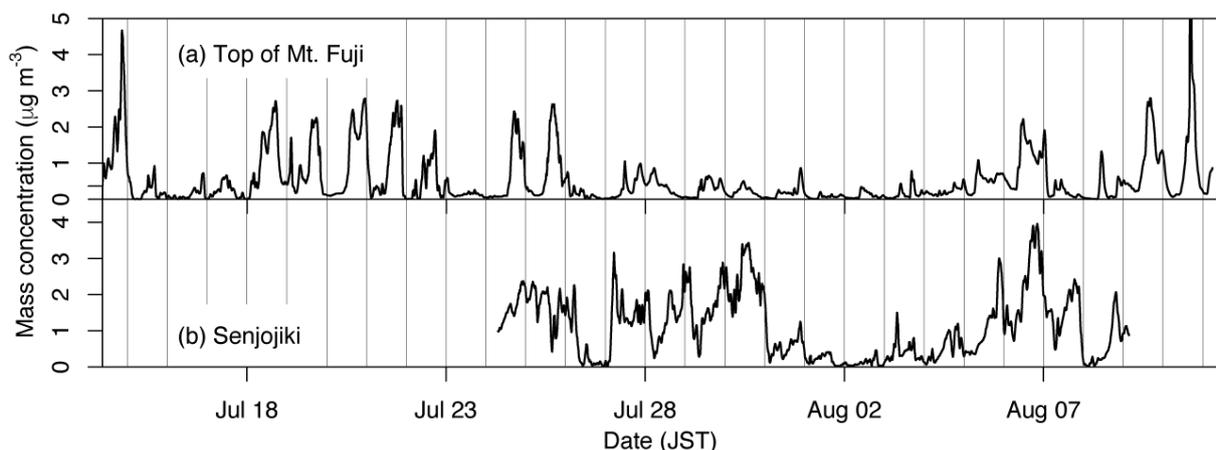


図1 2016年夏季に偏光 OPC で観測された人為起源粒子の質量濃度。(a)富士山頂, (b)千畳敷。

O-12: 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, 岩本洋子¹, 永野勝裕², 速水 洋³, 加藤俊吾⁴, 小林 拓⁵, 矢吹正教⁶, 青木一真⁷

1. 東京理科大学理学部, 2. 東京理科大学理工学部, 3. 電力中央研究所,

4. 首都大学東京, 5. 山梨大学, 6. 京都大学, 7. 富山大学

1. はじめに

エアロゾル粒子は雲凝結核となり, 雲のアルベード, 寿命を変えることで気候に影響するが, いまだ理解の水準は低い(IPCC 2013). 富士山山頂は年間を通して自由対流圏に位置することが多い. そこで, 新粒子生成, 雲生成のメカニズムを調べるために, 2006 年から夏季だけではあるが,

山頂と太郎坊においてサブミクロン粒子の粒径分布, ラドン, イオンを測定している. 山頂では 2010 年から雲凝結核 (CCN) 濃度を, 2013 年からフォグモニターにより霧粒 (雲粒) を測定している. 2014 年からは太郎坊でスカイラジオオメータ, ライダーの観測を行った. また, 2014 年秋から太郎坊において通年観測をしている.

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
2013	7.19~8.21	SMPS*2, KR12	○	○	○, SO2	○	○, fog	インパクター
2014	7.18~8.24	SMPS, KR12*12	○	○	○, SO2	○	○, fog	インパクター
2015	7.19~8.21	SMPS, KC01	○	○	○, SO2	○	○, fog	インパクター、フィルター
2016	7.14~8.21	SMPS, KC01	欠測	○	○, SO2	○	○, fog	インパクター

太郎坊連続観測

	期間	粒径分布	ラドン	オゾン	NOX	イオン	インパクター	備考
2005	7.12~7.19	SMPS, KC18, KC01					○	
2006	7.15~8.28	SMPS, KC01		○	○		○	シーロメータ、コンテナ
2007	7.6~9.8	SMPS, KC01		○	○		○	シーロメータ、コンテナ
2008	7.19~8.25	SMPS, KC01	○	○			○	
2009	7.17~8.25	SMPS, KC01	○	○			○	
2010	7.17~8.25	SMPS, KC01	○	○			○	
2011	8.2~8.25	SMPS, KC18, KC01	○	○	○	○	○	雲凝結核、シーロメータ、コンテナ
2012	7.19~8.20	SMPS, KC01, TEOM	○	○	○	○	○	コンテナ
2013	7.18~8.21	SMPS, KC01	○			○	○	コンテナ
2014	7.3~8.28, 9.10~	SMPS, KC01, TEOM	○			○	○	スカイラジオオメータ、ライダー
2015	連続	SMPS, KC01	○			○	○フィルター	スカイラジオオメータ、ライダー、ソーダー
2016	連続	SMPS, KC01	○			○		スカイラジオオメータ、ライダー

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)
2013	8.8~8.10	KR12, インパクター, オンドトリ			徒歩観測 (太郎坊~宝永山)
2014	8.26~8.28		RS-11G		徒歩観測 (太郎坊~宝永山)
2015	8.3~8.5	KC52, インパクター, オンドトリ	RS-11G		
2016	7.31~8.3		RS-11G		

2. 方法

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

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

太郎坊に設置されたライダーについては、レーザー波長は 532 nm で、上空 4 km までの大気を測定している。サブミクロン範囲のエアロゾルに感度があり、後方散乱係数という単位厚さの大気層から散乱角 180 度の単位立体角への散乱を表す係数を解析に用いた。(表 1)

3. 結果

3-1. ラドン濃度

太郎坊におけるラドン計数値の季節変化を調べた結果、秋から冬にかけて高く、春から夏にかけて低くなる傾向があることが確認できた。また、この原因の一つとしてエアマスの影響が確認できた。シミュレーション値と実測値の比較を行うことで、山谷風によるローカルな輸送を見ることができた。ラドンが日変動している期間は風向も同様な周期性を示し、風向が計数値の変動に大きく関わっていることが分かった。(鈴木ら, 2017)

3-2. 新粒子生成

山頂のその場観測の結果、イベントは合計 300 日にわたる観測期間のうち 236 回発生した。イベントの発生率は、日中 (4~18 時) は 31.3%、夜間 (19~翌 3 時) は 47.3% であった。夜間のイベントが頻繁に観測されるのは世界的にも稀である。日中イベントの約 4 割が 8~9 時に、夜間イベントの約 7 割が 20~22 時に開始しており、イベントの発生頻度のピーク時間があることがわかった。境界層と自由対流圏の界面で、地上で発生した前駆気体を多く含むエアマスと CS が低いエアマスが混合する、NPF に最適な層が形成されると考えられ、この層がイベントの発生頻度のピーク時間付近に通過している可能性が示唆された。(片岡ら, 2017)

一方、太郎坊では、157 日のうち NPF イベントが発生した日は 128 日 (81%) であった。取得したデータからは規則正しい季節変動を見ることができなかったが、世界各地でも見られた山岳地域における谷風条件下でのイベントを確認することができた。日射が有りがつ谷風の時、非常に発生しやすく、その確率は 98% であった。降水直後は 63% の確率で発生し、NPF イベントの発生しにくい夜間でも観測されやすくなっていた。谷風による粒子の輸送と考えられる現象は顕著に見ることができなかったが、7/27 未明に山風によって粒子が輸送されたと考えられる現象が見られた。(小西ら, 2017)

3-3. 雲凝結核濃度

後方流跡線解析から推定した由来ごとに CCN 活性比、乾燥臨界粒径 (D_s) 及び吸湿性パラメータ (κ) を算出した。2015 年に比べ CCN 濃度がやや増加したものの、活性比は 2016 年の方が高かった。 D_s がやや小さくなったにも関わらず、 κ の値はほぼ全ての過飽和度において減少した。これは、比較的粒径の大きい粒子が多い大陸やオホーツク由来のエアマスが多数流入したことが原因として考えられ、粒子の化学組成より粒径分布の方が活性比により大きな影響を与える可能性が示唆された。(佐藤ら, 2017)

謝辞

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

参考文献

片岡良太ら, 第 10 回成果報告会要旨集, 2017
小西理愛ら, 第 10 回成果報告会要旨集, 2017
佐藤光之介ら, 第 10 回成果報告会要旨集, 2017
鈴木康太ら, 第 10 回成果報告会要旨集, 2017

O-13: 富士山体を利用したガス・エアロゾル・雲水の環境化学観測

大河内博¹, 勝見尚也¹, 中野孝教¹, 村田克¹, 皆巳幸也², 小林拓³, 戸田敬⁴, 竹内政樹⁵, 米持真一⁶
 1.早稲田大学, 2.石川県立大学, 3.山梨大学, 4.熊本大学, 5.徳島大学, 6.埼玉県環境科学国際センター

1. はじめに

本研究の目的は、地球規模の大気質の現状を把握するとともに、越境大気汚染物質の実態解明を行うことです。そのために、富士山頂（標高 3776m）と富士山南東麓（標高 1284m）で大気中ガス、粒子、雲水の観測を7月13日～8月22日にかけて行い、酸性物質、重金属元素、有害有機物など様々な大気汚染物質の分析を行いました。

2. 撥水剤・フライパンコーティング成分を富士山で発見！

2.1 フッ素系界面活性物質: PFOS と PFOA

雲粒の大きさや数によって太陽光の散乱のされ方が変わるため、雲粒は気候に大きな影響を与えることが知られています。雲粒の大きさや数に影響を与える物質として界面活性物質があります。身の回りでは油污れを落とすための洗剤、消化剤、撥水剤、フライパンのコーティング剤などとして使われています。当グループでは、2015年から人工界面活性物質であり、有害な残留性有機化合物であるパーフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) とパーフルオロオクタン酸 (PFOA) による地球規模汚染を実態解明のため、PM2.5 (2.5 μm 以下の粒子) にこれらの物質がどれくらい含まれているのか研究を始めました。



2.2 国内地上部と富士山頂との比較

表1に2014年における国内地上部の全国36地点で観測されたPFOS、PFOA濃度と、2016年における富士山頂におけるPFOS、PFOA濃度を比較して示しています。PFOSは国際的にも使用制限されていますので、国内地上部と富士山頂の濃度はあまり変わらないことがわかります。一方、PFOAは使用制限されていないため、国内地上部濃度はPFOSに比べて高く、富士山頂の平均濃度は地上部の1/7程度であることがわかりました。

表1 国内地上部のPFOS・PFOA濃度(2014年)と富士山頂のPFOS・PFOA濃度(2016年)の比較

濃度 pg/m ³	国内 PFOS (n=36)	国内 PFOA (n=36)	富士山頂 PFOS (n=7)	富士山頂 PFOA (n=7)
最大値	8.60	210	5.54	8.26
中央値	3.05	27.5	0.577	3.76
最小値	0.520	2.30	0.270	0.761
平均値	4.02	35.1	1.70	4.50

2.3 国外と富士山頂との比較

富士山頂におけるPM2.5中PFOS、PFOA濃度を空気塊別に分け、世界の観測値と比較してみました(図1)。富士山頂に太平洋から空気が運ばれてきた時のPM2.5中PFOS濃度は0.76 pg/m³、PFOA濃度は0.27 pg/m³でした。この濃度は、近くに汚染源がないセネガル沖の洋上で観測された濃度(PFOS: 0.70 pg/m³, PFOA: 0.3 pg/m³)と同程度でした。これだけはっきりとは言えませんが、富士山頂に太平洋から清浄な空気が流入するときは、排出源からの直接的な影響を受けない地球全体の気質と考えることができます。

一方、富士山頂に中国大陸を通過した空気が運ばれてきた時の濃度は、中国の深圳(Shenzhen)、杏林(Jilin)と同程度でした。PFOSとPFOAは大気中で分解されにくいので、大陸から放出されたPFOSとPFOAが偏西風によって富士山頂まで運ばれてきたものと考えられます。

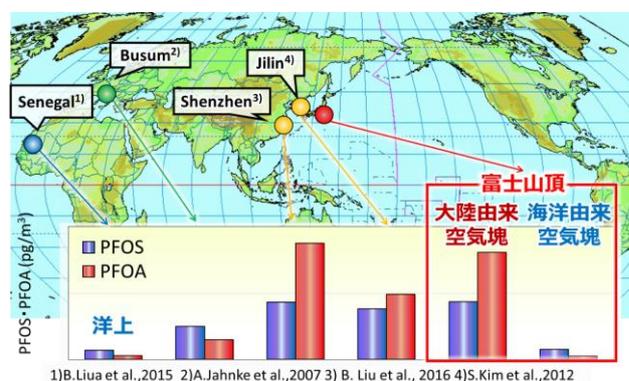


図1 富士山頂におけるPM2.5中界面活性物質濃度と世界との比較

3. おわりに

発表時には、徳島大学が酸性ガス・エアロゾルの高時間分解で観測を行った研究成果も報告します。

O-15: 富士山頂, 韓国濟州島および上海で採取した PM_{2.5} 中の化学組成と起源

米持真一¹, 堀井勇一¹, 大河内博², 廣川諒祐², Ki-Ho Lee³, Chul-Goo Hu³, Senlin Lu⁴
1. 埼玉県環境科学国際センター, 2. 早稲田大学, 3. 韓国濟州大学校, 4. 中国上海大学

1. はじめに

日本国内, 特に関東地域の PM_{2.5} 濃度は緩やかな減少傾向が見られるが, 更なる濃度の低減が必要である. 一方で, 中国の急激な経済発展に伴う, 越境大気汚染への社会の関心は依然として高い. 離島を活用した長距離輸送の解明は有効であるが, 富士山頂を活用することで, 関東上空に輸送された PM_{2.5} を明らかにすることが可能である.

自由対流圏に位置する富士山頂 (標高 3,776m) は, 長距離輸送された PM_{2.5} を調べるには最適である. そこで 2015 年, 2016 年夏季に富士山頂および埼玉県加須市で 1 日単位の PM_{2.5} 採取を行った. また期間後半は, 韓国最高峰の濟州島 halla 山 (1,950m) 中腹および中国上海市においても PM_{2.5} 採取を行った.

本発表では, 富士山頂のほか, 韓国濟州島, 中国上海および埼玉県加須の観測データも得られた 2015 年について考察する.

2. 観測方法

富士山測候所 1 号庁舎に PM_{2.5} シーケンシャルサンプラー (2025i) を設置し, 2015 年 7 月 21 日~8 月 20 日の 30 日間と 2016 年 7 月 24 日~8 月 19 日の 27 日間, 1 日単位の PM_{2.5} 採取を行った. また, 埼玉県環境科学国際センター (埼玉県加須市) では, 2009 年 4 月から 1 日単位の PM_{2.5} 採取を継続しており, 本観測と並行した試料採取を行った. フィルター交換はいずれも午前 0 時とした. また, 韓国濟州島の Halla 山中腹 (標高 1,100m 地点), 中国上海市では, 8 月 7 日~21 日の 14 日間 PM_{2.5} 採取を行った. 同期した全ての観測地点を図 1 に示す. 採取は全て PTFE フィルター (Teflo, Pall) を用い, 水溶性イオン (IC 法) 及び金属元素成分 (マイクロウェーブ酸分解-ICP/MS 法) を分析した.

3. 結果

2016 年と 2015 年夏季¹⁾の富士山頂の PM_{2.5} 濃度を図 2 に示す. 2016 年は $2.0 \pm 1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり, $2.7 \pm 1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった 2015 年より濃度レベルは低く, 最高濃度も 8 月 5 日の $4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ にとどまった. 地上の埼玉県加須でも, 期間中の最高濃度は $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と低く, 例年よりも大幅に光化学スモッグ注意報の発令が減った特異的な夏であった. 一方, 2015 年夏季は, 特に 8 月中旬までは, 地上 (東京新宿, 埼玉県加須) の PM_{2.5} 濃度は高めで推移した. 図 3 に O₃ 濃度の変化を示す. 図示していないが, 地上の各地点の 1 時間値は, 日中に増加, 夜間に低下する明瞭な日内変動が見られた.



図 1 同時観測地点

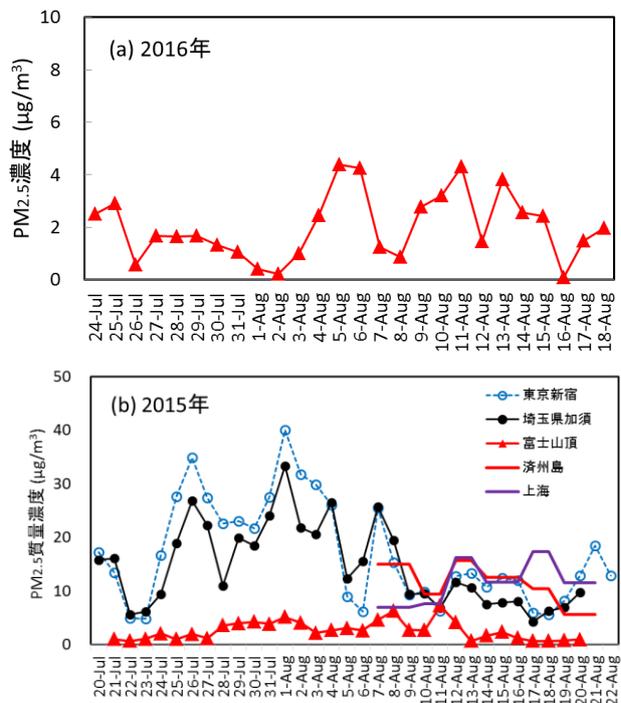


図 2 2016 年, 2015 年夏季の各地点の PM_{2.5} 濃度
東京新宿は大気汚染常時監視測定値²⁾

最高濃度は, 光化学スモッグ注意報発令レベル (120 ppb) に達する日が頻繁に現れたことから³⁾, 東京新宿や埼玉県加須の PM_{2.5} 濃度上昇は, 大気的光化学活性の増加に伴う二次生成によるものと推察される. 一方で, 富士山頂の O₃ 濃度には日内変動は見られず, 地上からの光化学大気汚染の影響は限定的であったと考えられる. なお, 図 2 (b) に濟州島, 上海の PM_{2.5} 濃度も示したが, 新宿と同じレベルであった.

金属元素成分は, PM_{2.5} 中の濃度への寄与は低いもの

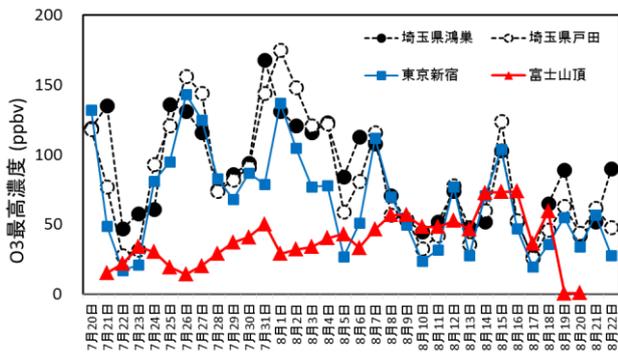


図3 各地点のO₃濃度(1時間値の最高値)
(O₃は首都大加藤准教授の測定データ)

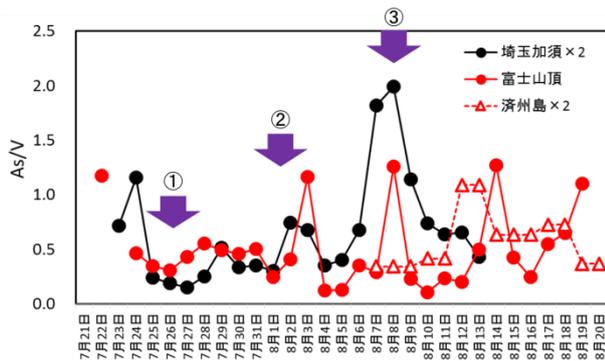


図4 As/V比の推移

の発生源に関する情報を含んでいる。

石炭燃焼の指標の一つとしてヒ素 (As) がある。また、石油(重油)燃焼の指標の一つにバナジウム (V) があり、As/V比は燃料燃焼に占める石炭の相対的な割合を示す指標と考えられる⁴⁾。

期間中のAs/V比の推移を図4に示す。PM_{2.5}濃度の上昇した期間のうち、①7月26日、②8月1日、③8月8日を中心とする期間に着目すると、①では、富士山頂、埼玉加須ともに増加は見られないが、②、③では富士山頂とともに1.3となった。2013年夏季の北京、上海のPM_{2.5}中のAs/V比は、上海の0.20に対して北京は3.0と高い値であったが⁵⁾、これはOkuda (2008)の結果とも整合する。また、期間②、③の後方流跡線は、中国北京もしくは東北部方面からの気塊の飛来を示唆していた。

一方、埼玉加須では期間③に明瞭な比の上昇が見られ、0.99まで上昇した。Asは焼却炉などからも排出されるが、これ以外の期間は0.08~0.57と低いことから、期間③は他の期間とは異なる要因で上昇したと考えられ、上空に長距離

輸送された気塊が、地上へ下降したことにより、As/V比が上昇した可能性がある。

また、中国東北部からの気塊飛来のあった期間③では済州島のAs/V比は低値であったが、その後の8月14日を中心とする期間の後方流跡線は、埼玉加須→富士山上空→済州島→北京方面となっており、同時期の済州島のAs/V比も相対的な上昇が見られた。

4. おわりに

2015年夏季に富士山頂で1日単位で採取したPM_{2.5}試料の分析結果をベースとして、地上(埼玉加須)との比較を行った。地上では、光化学大気汚染による影響を強く受けていたが、上空には長距離輸送された気塊が飛来する期間があった。中国等からの石炭燃焼の指標としてAs/V比に着目すると、8月中旬には、富士山頂と埼玉加須でともに顕著な比の上昇が見られた。また、後方流跡線とAs/V比の上昇はよく整合していた。これらにより、富士山頂測候所において大気観測を行うことの優位性が示された。

謝辞

O₃測定データは首都大学東京加藤俊吾准教授から提供を受けました。本研究資金は、埼玉県環境部大気環境課PM_{2.5}対策事業により実施されました。PM_{2.5}シーケンシャルサンプラーの設置に際しては、山頂班の皆様、早大大河内研、理科大三浦研、帝京科技大和田先生ほか、多くの関係者の方々の協力に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 米持ら(2016). 富士山頂で日単位採取したPM_{2.5}の化学組成と起源. 第9回成果報告会公演予稿集, 11-12.
- 2) 東京都環境局. 大気汚染測定結果ダウンロード. (http://https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/result_measurement.html).
- 3) 埼玉県環境部. 埼玉の大気状況(<http://www.taiki-kansi.pref.saitama.lg.jp>)
- 4) Okuda *et al.*(2008). Trends in hazardous trace metal concentrations in aerosols collected in Beijing, China from 2001 to 2006, *Chemosphere*, **72**, 917-924.
- 5) 米持ら(2016). 希土類元素(レアアース)に着目した中国大都市と首都圏のPM_{2.5}の元素成分と発生源の特徴. 大気環境学会誌, **51**(1), 33-43.

P-01: 富士登山者のコンディショニング評価

林綾子¹, 金森雅夫², 水津真委¹

1.びわこ成蹊スポーツ大学, 2.立命館大学

1. はじめに

近年再び登山活動への注目が高まり、2016 年から新たな祝日「山の日」が制定されるなど、今後ますます幅広く山を楽しむ人の増加が期待される。著者らは登山活動のヘルスプロモーション効果の研究を継続しており^{1)~3)}、今年度は富士山での調査機会が得られたため、多様な指標を用い、登山者のコンディショニング評価を実施した。これまでの調査は主に 3000m前後の環境にて実施しており、標高の違いなどから貴重なデータが得られた。ここに一部を報告する。

2. 方法

2016年8月13日~15日の2泊3日の行程で8名(男女4名ずつ、大学生5名、社会人3名)にて登山を実施し、富士山測候所にて2泊した。大学生の登山経験はあまり多くないが、3千メートル級での縦走登山の経験はあった。山行を表1に示す。3日分の食料・水持参であったため、ザックの重量は各 20-25kgであった。調査内容は、体温、心拍数、動脈血酸素飽和度(SpO₂)、唾液(コルチゾール・免疫能)、呼吸機能(努力肺活量・1秒量・1秒率)、ヘモグロビン濃度(非侵襲性測定)、活動量、AMS(急性高山病スコア)、主観的運動強度(RPE)、主観的心理評価(不安・モチベーション・コンディション・疲労度・気持ち)であり、事前調査、山中の3食前、下山後、2週間後に測定を行った。

表1. 登山活動内容

8/13	前夜に富士宮口五合目に集合、車内・車外仮眠後 6 時前登山開始、休憩や昼食を挟み、13 時山頂着、測候所宿泊
8/14	お鉢回り等散策、測候所宿泊
8/15	7:30 測候所出発、下山、11 時 5 合目到着

3. 結果と考察

表2に期間中の8名のSpO₂の平均値と標準偏差を示す。標高の高い所では、非常に個人差が大きいことがわかる。

また、AMSスコアの期間中の合計の平均は、26.9(±13.2)と個人差が非常に大きかった。個人別での山中3日間のAMSスコアの合計を図2に示す。期間中を通してSpO₂の高かったA, E, FはAMSスコアが低かった。しかし、急性高山病の症状の発生には個人差が大きく、低下がみられた登山者は特にAMSの中でも疲労感や機能的スコアへの自覚症状との関係がみられた。

表2. 登山者のSpO₂平均値と標準偏差

	事前	登直前	登山中	測候所	測候所	お鉢巡	測候所	測候所	下山後	2W後
	8/4昼	8/13朝	8/13昼	8/13夜	8/14朝	8/14昼	8/14夜	8/15朝	8/15昼	8/29昼
M	97.4	95.6	79.8	83.1	85.2	82.8	82.5	83.7	94.3	97.2
SD	0.6	1.6	5.0	4.0	5.6	3.7	5.1	5.0	1.7	0.7

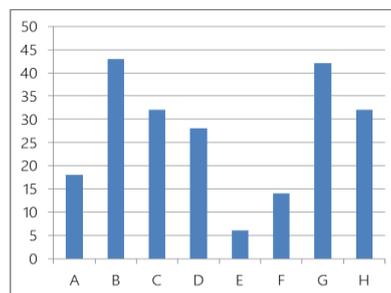


図2. 登山者別 AMS スコアの合計

これまでの調査では、2-3 日の 3000 メートル前後での縦登山体験によるヘモグロビン濃度の向上¹⁾や呼吸機能の向上²⁾が示唆されたが、この度の調査の結果からは、どちらも改善がみられず、登山者がより高い標高における順化への困難を感じ、個人差も大きく、全体として生理面での短期的ヘルスプロモーション効果が確認できなかった。荷物の負荷も大きかったようである。しかし、すべての自覚症状は下山と共にすべて解消され、被験者の多くはスポーツを日常的に実施しているため、下山後のスポーツ活動においては、呼吸面・機能面においての向上の実感が報告された。さらに、充実した登山活動、パーティー内での人間関係の向上、貴重な体験への満足感による精神的な充足は大きく、その後の生活や関わりにおける積極性といった効果が確認され、生理的な面にとどまらない登山のヘルスプロモーションの測定の必要性が示唆された。

4. おわりに

これまでの調査結果と比べると、富士山のより高い標高による登山者のコンディションへの大きな影響が確認された。今後とも心身両面からのコンディショニング評価データの蓄積から、よりヘルスプロモーションに貢献する登山活動の展開方法・指導方法についての検討が必要である。

引用文献

- 1) 林綾子, 金森雅夫, 坂谷充(2013). 北アルプス登山者の「身体負荷と回復過程に関する研究. 登山医学, 33(1): 45-50.
- 2) 林綾子, 金森雅夫, 水津真委(2016). 白馬三山縦走登山前後の呼吸機能の変化. 第36回日本登山医学会学術集会プログラム抄録集, 82.
- 3) 金森雅夫, 林綾子, 坂谷充, 水津真委(2016). 登山前後のヘモグロビンおよび動脈血酸素飽和度・SpO₂の変化-自験例の再解析およびシステムティックレビュー-. 登山医学, 36(1):95-104.

P-02: 山頂に設置された雨水フィルターの放射線計測～福島原発事故前後の比較

石川朗子¹, 高橋周作¹, 鶴田拓真¹, 鴨川仁¹

1.東京学芸大学

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の影響により、福島第一原子力発電所(FDNPP)で炉心溶融(メルトダウン)が起こり、Xe-133, Cs-134, Cs-137, I-131等の大量の放射性物質が放出された。事故後、放射性物質の到達範囲について様々な調査がなされてきた。

富士山山頂は自由対流圏に属しており、放射性物質の鉛直方向の広がりを観測するのに適している。2011年夏季集中観測開始前に山頂付近の雪に含まれる放射性物質を計測したところ、測定下限以下であった。¹⁾ また、7月には放医研・保田グループが富士山麓及び登山道で携帯型ガンマ線サーベイメータとガンマ線スペクトロメータ(NaIシンチレータ使用)を用いて放射線量を携行観測し、山麓のみでCs-134が観測された。¹⁾ さらに、早稲田大学・大河内グループは山頂と太郎坊における雲水の解析から、放射性核種を多く含む空気塊は山頂の高さまで届かなかったと推測した。¹⁾

しかし、2014年夏に東京学芸大学・鴨川グループが富士山山頂においてゲルマニウム半導体検出器を用いて30日間の放射線空間線量測定を行ったところ、わずかながらにCs-134のエネルギースペクトルのピークが観測された。この結果を受け、翌年には太郎坊において同測定器放射線空間線量測定を行い、太郎坊及び山頂に到達したCs-134の量の比は200:1であることを導き出した。^{1,3)}

これらの先行研究を踏まえ、本研究では富士山山頂に設置された雨水濾過フィルターに放射性物質が沈着しているのではないかと仮説を立て、福島原発事故当時で使用していたフィルターと2013年に取り換え2年間使用したフィルターの放射線量を同測定器で測定し、Cs-134に着目して富士山山頂に到達した放射性物質の量を再検討した。

2. 観測方法

富士山測候所付近に設置された雨水濾過フィルター(サンプルA:福島原発事故当時で使用していたもの、サンプルB:2013年に取り換え約2年間使用したもの)の放射線量を東京学芸大学内にてゲルマニウム半導体検出器(Micro-Trans-SPEC, ORTEC Ltd. Co.) (図1)を用いて30日間測定した。測定期間は2016年2月3日より2016年11月24日である。Micro-Trans-SPECは重さ約6.8kgの可搬型ガンマ線検出器であり、電気冷却によって測定されている。Ge半導体の結晶は直径50mm、長さ40mm、相対効率13%である。また0keVから3000keVまでのエネルギー範囲を高分解能で測定可能である。測定する際には検出器と雨水

フィルターサンプルを厚さ5cmの遮蔽用鉛ブロックで四方と下方を囲み(図1)、さらに厚さ2mmの鉛シートで上部を覆うことにより環境放射線を検出しないよう試みた。加えてサンプル資料と同期間バックグラウンドを測定し、サンプル由来の放射線を測定した。なお、測定に用いた雨水フィルターサンプルは約1Lである。

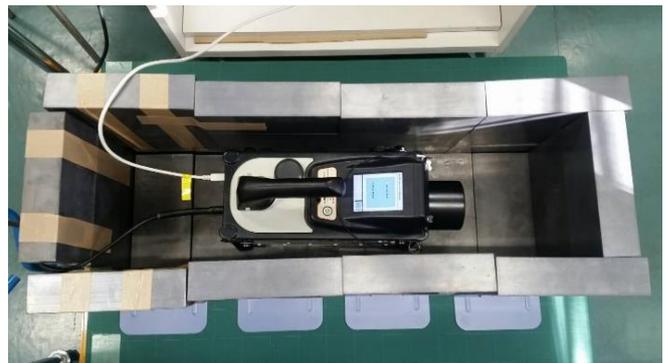


図1 測定に使用したゲルマニウム半導体検出器(Micro-Trans-SPEC, ORTEC Ltd. Co.)と厚さ5cmの遮蔽用鉛ブロック。

3. 観測結果

図2のそれぞれのピークは天然放射性核種のエネルギースペクトルを表す。2014年太郎坊と2015年富士山山頂の空間線量のバックグラウンドには、宇宙線によるものとガンマ線が検出器に捕獲された際のコンプトン散乱によるものが含まれている。サンプルAとサンプルBの線量のバックグラウンドには、ガンマ線が検出器に捕獲された際のコンプトン散乱によるものが含まれている。

表1 放射性物質の半減期と主な放出光子エネルギー⁴⁾

放射性物質	半減期	放出光子エネルギー
Cs-134	2.0652年	563.246 keV (8.338%)
		569.331 keV (15.373%)
		604.721 keV (97.62%)
		795.864 keV (85.46%)
		801.953 keV (8.688%)
Cs-137	30.08年	661.657 keV (85.10%)
Xe-133	5.248日	79.6 keV (0.27%)
		81.0 keV (38.0%)
I-131	8.0252日	364.489 keV (81.5%)
		636.989 keV (7.16%)

Cs-137の顕著な線スペクトルは1950年から1960年代に頻繁に行われた核実験または1986年のチェルノブイリ原発事故起源のものであると考えられる。このCs-137のピークがすべて核実験またはチェルノブイリ原発事故によるものとし、核実験から60年たったと仮定すると、Cs-134とCs-137の比は $3.0 \times 10^{-9} : 1$ となり、現在山頂に、核実験またはチェルノブイリ原発事故起源のCs-134はほとんど存在していないとみなせる。また、Xe-133及びI-131は半減期が非常に短く、福島原発後5年経過した現在では測定が難しい。そこで本研究ではCs-134のスペクトルに着目する。

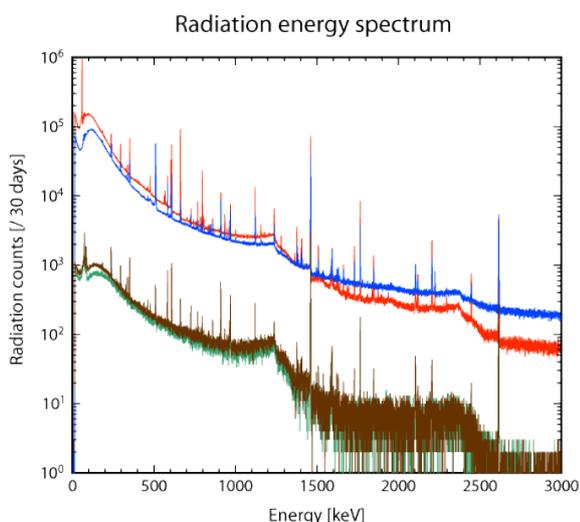


図2 30日分積算した各測定のエネルギースペクトル。青と赤はそれぞれ2014年夏季太郎坊及び2015年夏季富士山山頂における空間線量率、緑と茶はそれぞれサンプルA及びサンプルBの放射線量からバックグラウンドデータを引いたものを示す。

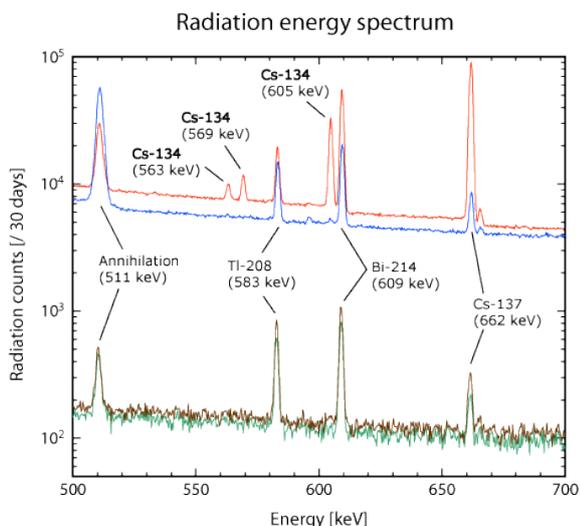


図3 30日分積算した各測定のエネルギースペクトルの拡大図。各ピークの放射性物質とエネルギーを示した。

4. 考察

Cs-134は雲水によって富士山山頂に直接運搬されることは後方流跡線解析の範囲では可能性が低い。考えられる伝搬経路は、自由対流圏まで巻き上げられたものが偏西風により地球全体に拡散したため、それらが山頂へ到達したと考えられる。太郎坊に比べて絶対的な量が少ないながらも検知された理由とかがえられる。また、今回の測定でCs-134が検知されなかった理由は、測定に用いた試料が1Lと少なかったためにこの試料サイズでは測定できなかったと予想される。

5. まとめ

本観測では、富士山山頂に設置された雨水濾過フィルターから放射性物質を検出することができなかった。

参考文献

- 1) 公益財団法人静岡県文化財団ふじのくに芸術回廊 (2016). 多分野協力研究による成果(大気化学と放射線科学) 日本一の高所・富士山頂は宝の山～観測と信仰から読み解く霊峰の頂～, 56-64.
- 2) 保田浩志 (2012). 富士山登山道で放射線を測るー福島第一原子力発電所の事故を受けてー. 芙蓉の新風 Vol. 6, 3.
- 3) 高橋周作, 三浦和彦, 鴨川仁 (2015). 太郎坊における福島原発事故起源の放射線スペクトル測定. 第9回成果報告会公演予稿集, 71-73.
- 4) 社団法人日本アイトープ協会 (2011). アイトープ手帳 11版, 60-64.

P-03: 2016 年夏季観測された雷雲起源の高エネルギー放射線

高橋周作¹, 石川朗子¹, Gregory Bowers², David Smith², 岩崎杉紀³, 泉田航¹, 鴨川仁¹

1.東京学芸大学, 2.UC Santa Cruz 3.防衛大学校

1. はじめに

自然に存在する放射線として、1900 年前後に Becquerel や Curie らが発見した地殻由来のもの(ウラン鉱), 1912 年に Hess が発見した宇宙線がある。そして近年、雷活動及び雷雲に伴う高エネルギー放射線が発生していることがわかってきた¹。この高エネルギー放射線は、落雷時に発生する数ミリ秒オーダーのショートバーストと、雷雲の通過時に発生する数秒から数分オーダーのロングバーストとの 2 種類に分類される。これらの放射線バーストの発生機構として、Relativistic runaway electron avalanche(RREA)説が提案されている²。RREA は宇宙線などから生じた電子が、雷雲内部の強電場で加速され逃走電子(Runaway electron)となり、空気分子と衝突して雪崩的に電子を生じさせ、制動放射による高エネルギーの放射線を放出するメカニズムである。冬季雷時のロングバーストの発生位置は Torii らによって同定されており³、Torii らのモンテカルロ計算によると、地上で検知された放射線量を RREA の理論で説明するには雷雲下部に約 400 kV/m (1 atm 換算) の電場が必要である⁴。しかし、この電場値は気球を用いた雷雲内電場計測によると絶縁破壊閾値を大幅に超えているとみられるため⁵、雷活動及び雷雲に伴う高エネルギー放射線の発生メカニズムは未解明と言ってよい。

本研究では、2013 年及び 2016 年に富士山頂で観測された夏季雷雲起源のロングバーストの観測結果より、ロングバースト発生の場所および発生原因を探る。

2. 観測方法

夏季雷雲の雲底高度は数 km にも及び、雷活動及び雷雲に伴う高エネルギー放射線を地上で観測することは、大気中の減衰によりほとんど不可能である。そこで 7 月から 8 月にかけて、雷雲に接近することのできる高度 3,776m の富士山頂にてロングバースト観測を行った。2013 年には富士山測候所 1 号庁舎 2 階に放射線測定装置(円筒型 NaI シンチレータ)を設置した(図 1(a))。さらに放射線バーストの源である雷放電や雷雲の挙動を検知するため、1 号庁舎屋根に大気電場観測装置(Boltek 社製フィールド・ミル)(低感度・高感度)と天頂カメラ(昼間用・夜間用)同期間設置した(図 1(c))。2016 年には同じく富士山測候所 1 号庁舎 2 階に放射線測定装置(NaI 及びプラスチックシンチレータ; Gamma-ray Observations During Overhead Thunderstorms; GODOT)(図 1(b))、1 号庁舎屋根に大気電場測定装置、各種カメラを設置した。また、雷雲の挙動をより詳しく知るため、国土交通省が設置している X

バンド MP レーダーの富士宮・静岡北・香貫山局のデータ(DIAS 提供)を利用し、気象研究所が開発したツールを用いて反射強度等を求めた。さらに、2 局のデータをデュアルドップラー解析することで雷雲内の上昇流を算出した。加えて、富士山周辺で発生した雷を把握するため WWLLN, DOCOMO, 中部電力の雷データを用いた。

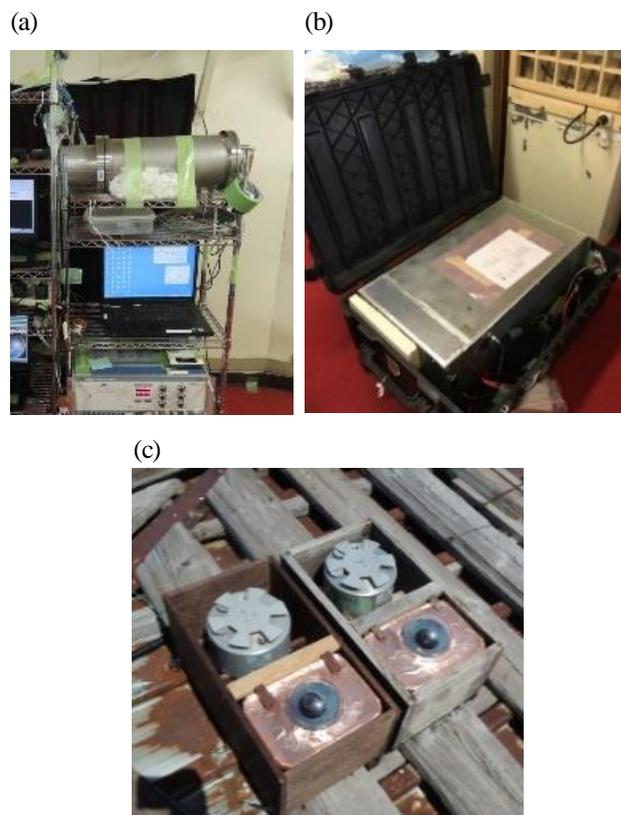


図 1 実験装置。(a)放射線測定装置(円筒型 NaI シンチレータ), (b)放射線測定装置(GODOT), (c)大気電場観測装置と天頂カメラ。

3. 観測結果

2013 年 7 月 23 日 15:20 (LT)頃, 7 月 26 日 15:30 (LT)頃, 8 月 5 日 17:30 (LT)頃, 2016 年 8 月 23 日 16:00 (LT)頃に計 4 件のロングバーストが検知された。このうち X バンド MP レーダーデータが記録されていた 2013 年 7 月 26 日, 8 月 5 日, 2016 年 8 月 23 日の 3 事例の観測結果を図 2 に示す。なお、バースト継続時間はそれぞれ約 5 分, 約 5 分, 約 10 分であった。

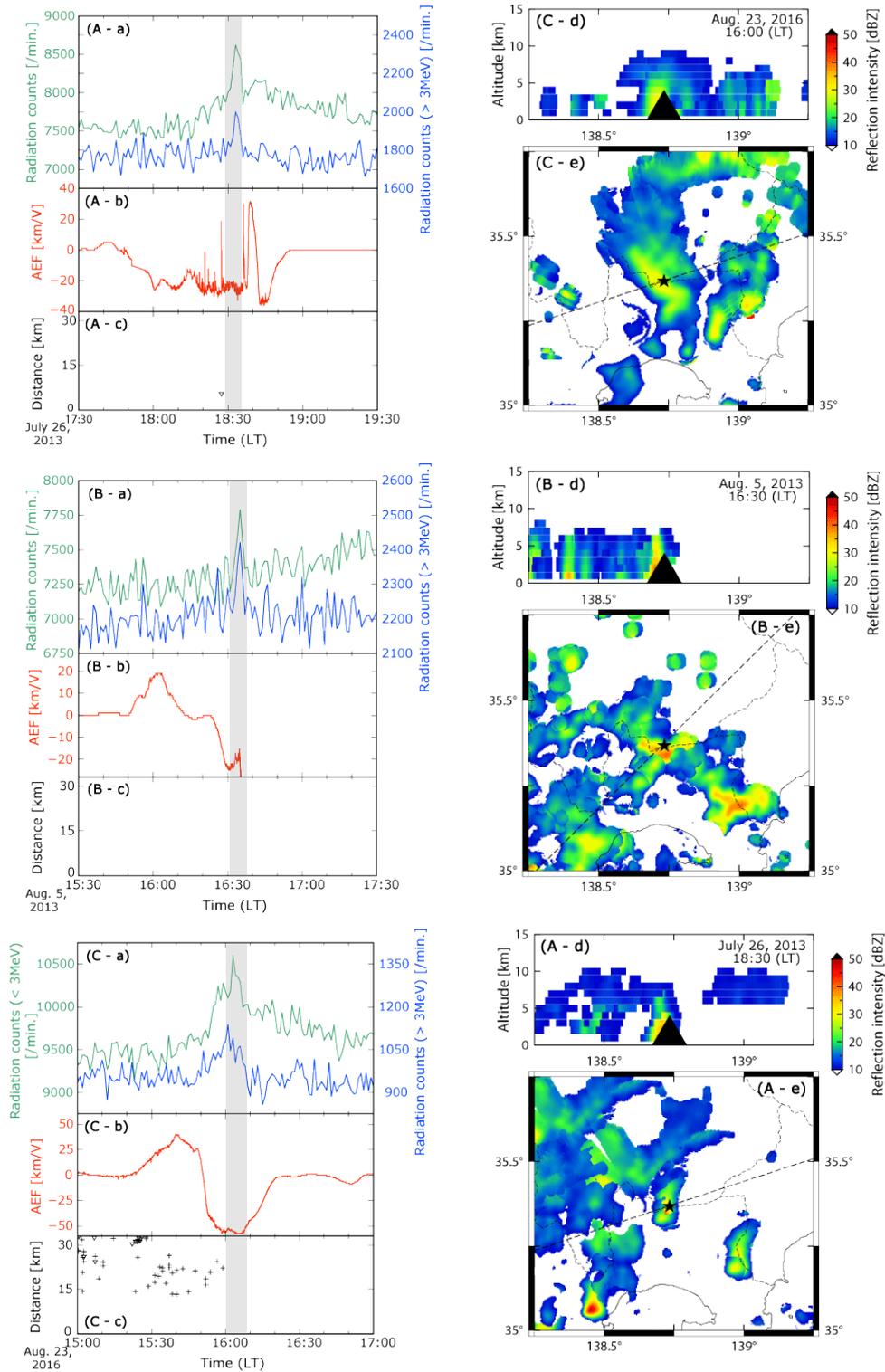


図2 各ロングバースト時の時系列プロットと X バンド MP レーダー反射強度分布図。A は 2013 年 7 月 26 日の事例, B は 2013 年 8 月 5 日の事例, C は 2016 年 8 月 23 日の事例である。(a) 緑は 3 MeV より小さいエネルギーを持つ放射線の 1 分ごとのカウント数, 青は 3 MeV より大きいエネルギーを持つ放射線の 1 分ごとのカウント数。ロングバースト発生時刻帯に網掛けをした。(b) 大気電場の値。大気電場は鉛直上向きを正に取っている。なお事例 B は 16:35 以降データが欠損している。(c) 富士山頂周辺で発生した雷の極性と富士山頂からの水平距離。事例 A は WWLLN 雷データ, 事例 B は DOCOMO 雷データ, 事例 C は中部電力雷データを用いている。+ は正極性落雷, ∇ は負極性落雷を示す。(d) e 図の破線部における反射強度の鉛直断面図。(e) 高度 4km における反射強度の水平断面図。★印は富士山頂, 破線は富士山頂を通過した雲の軌跡を示す。

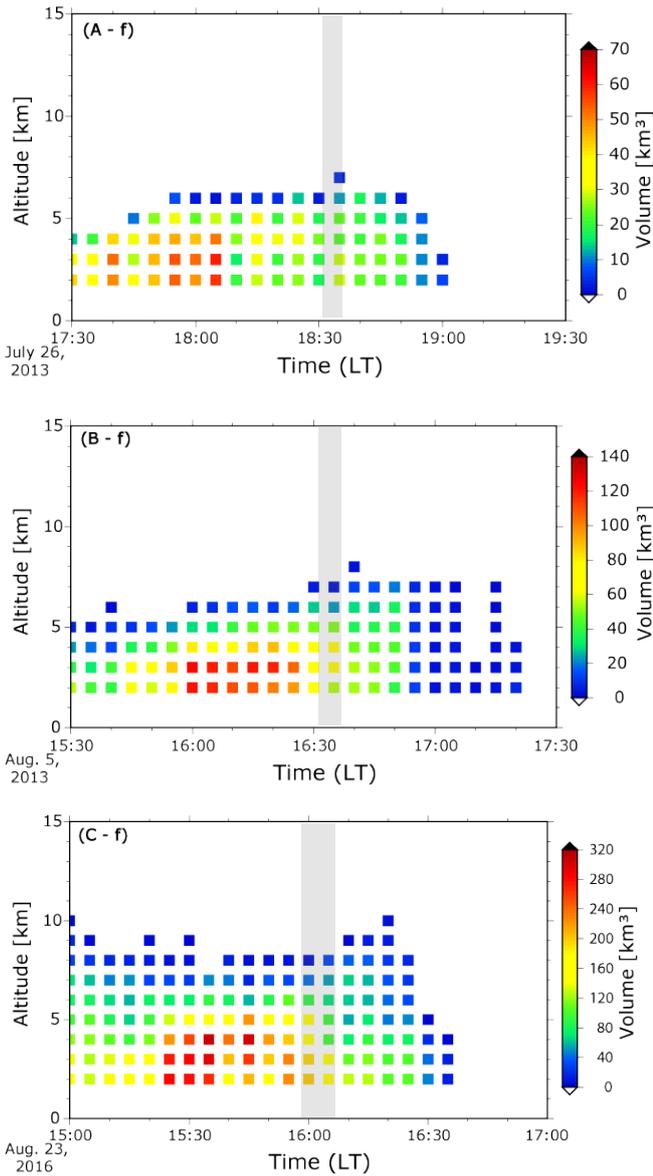


図3 事例 A, B, C のロングバースト発生前後における、雷雲内の高度 1 km ごとの上昇流体積(移動する雷雲内において強い反射強度を示す部分を含むよう、事例毎にある一定の水平断面面積を保持する解析領域を指定し、上昇流を一辺 1 km の単位格子ごとに求め、そのうち上昇流速 0.1 m/s 以上を示す格子の数を積算)の時系列プロット。ロングバースト発生時刻帯に網掛けをした。

4. 考察

図3の上昇流体積プロットより、3事例とも上昇流体積がピークになった後にロングバーストが発生していることがわかる。事例Aについては図2(A-b)の大気電場変動より、事例Cについては図2(C-c)の雷プロットより、雷の発生が収束した後、ロングバーストが発生していることもわかる。雷雲は強い上昇流によって成長し最盛期を迎えると、雲内の降水粒子の落下に伴って下降流が形成され衰弱期に突入する⁶⁾。また、

落雷は雷雲内で粒子がこすれ合うことにより蓄積された電荷が一気に放出される現象であり、雷雲の最盛期に発生する。したがって、今回観測されたロングバーストは雷雲の衰弱期に発生したものであると考えられる。

また、一般的な夏季雷雲の雲内電荷分布については、電場のゾンデ観測や地上観測により、上層に正電荷、中層に負電荷、下層に局所的な正電荷が存在する三極構造を成すと言われており⁷⁾、中層の負電荷は降雨や落雷によって地面に運ばれる⁸⁾。したがって、ロングバーストが発生した雷雲衰弱期において、雷雲内上層の正電荷は中層の負電荷より比較的大きな電荷量を持っているため、雷雲上部の電場は下部の電場より大きいと考えられる。

ここで、ロングバーストの発生源について考える。雷雲下部を放射線発生源であると推論した過去の研究の冬季雷雲下部電場推定値(およそ400 kV/m)と比較して、今回の観測事例 A, B, C はいずれも電場の値がそれほど大きくないため、雷雲下部が放射線の発生源であるという説は考えにくい。そこで本研究では、雷雲内上層の正電荷によって雷雲上部に作られる鉛直上向きの電場が雷雲衰弱期で強められており、且つ雷雲下部と雷雲上部の電場の方向は等しいという点に着目し、雷雲上部を放射線の発生源とする場合について考える。宇宙線などから生じた電子が雷雲上部の鉛直上向き電場によって加速され、制動放射を起こすことで、放射線バーストが発生したと仮定し、Toriiらが開発したモンテカルロシミュレーション⁴⁾を行った。XバンドMPレーダー解析より、雷雲の高度は最高でも高度10 kmほどまでしか到達していなかったため、その上の13.5 kmに線源を設定し、0.28気圧で一樣な空気分子密度の空間において電場の大きさを変化させ、それぞれ線源を100万発打ち込んだ場合の放射線線量を高度200 m毎に計算した。

電場パラメータを変化させたときの計算結果を近似して高度プロファイルを求め、電場0 kV/mのときの結果を1とした放射線線量比率を求めた。電場が100 kV/mあれば富士山頂の高度3,776 mにおける放射線流量比率が1.1を超え、放射線観測において有効な結果であると考えられる。この電場値は絶縁破壊閾値⁵⁾を超えないため、雷雲上部を放射線発生源とする本研究の説は支持される。

5. まとめ

2013年と2016年富士山頂で検知された4件のロングバーストのうち、XバンドMPレーダーデータが記録されていた事例について解析したところ、放射線バーストは雷雲の衰弱期に発生していることが分かった。本研究では、雷雲衰弱期において、雷雲内の電荷の不安定さによって強められる雷雲上部の鉛直上向き電場における電子加速の制動放射を発生起源とした、放射線バースト発生機構の可能性を示唆した。

参考文献

- 1) J. R. Dwyer et al. (2012). High-Energy Atmospheric Physics: Terrestrial Gamma-Ray Flashes and Related Phenomena, *Space Sci. Rev.*, 173, 133-196.
- 2) A. V. Gurevich et al. (1992). Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm, *Phys. Lett. A*, 165, 463-468.
- 3) T. Torii et al. (2011). Migrating source of energetic radiation generated by thunderstorm activity, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24801.
- 4) T. Torri et al. (2014). Monte Carlo Simulation for the Source of Transient Energetic Radiation Generated by Thunderstorm Activity, *J. Atmos. Electricity*, 34, 1-7.
- 5) T. C. Marshall et al. (1995). Electric field magnitudes and lightning initiation in thunderstorms. *J. Geophys. Res.*, 100 (D3), 7079-7103.
- 6) 日本大気電気学会 (2003). 大気電気学概説, 15-17.
- 7) Kuettner, J. (1950). The electrical and meteorological conditions inside thunderclouds, *J. Meteorol.*, 7, 322-332.
- 8) R. P. Feinman, R. B. Leighton, M. L. Sands (1963). Electricity in the Atmosphere, *The Feynman Lectures on Physics*, 2, 9-3.

P-04: 2016年富士山測候所から観測された高高度放電発光現象

小名木すみれ¹, 鈴木智幸¹, 鴨川仁¹
1.東京学芸大学

1. はじめに

高高度放電発光現象(TLEs:Transient Luminous Events)とは、雷放電や積乱雲の活動に伴い中層大気から超高層大気が放電発光する現象である¹⁾。TLEsのなかでも代表的なものとして、スプライトと呼ばれる発光現象がある。近年の高感度カメラの発達により、光学観測を行うことでTLEsとその親対地雷の全体像を同時に捉えることが可能になっている。また、カメラにGPSを繋いで時刻同期をしているため、取得した映像データからTLEsが発生した正確な時刻情報を得ることができる。夏季雷に伴って発生するTLEsは冬季に比べて高度が高く地上からの観測が困難であるため、高度が高く孤立峰で広範囲の観測が可能となる富士山頂でTLEsの定点観測を行っている。2015年に富士山頂にて同様の観測を行ったところ、8月2日に活発な雷活動とそれに伴い発生したスプライトが観測された。一方2016年8月1日から2日にかけて関東地方で活発な雷活動を観測したが、雷に伴ったスプライトは発生しなかった。ここでは2016年富士山頂から観測された雷活動を発生させた積乱雲の降水量をもとに、TLEsが発生しなかった原因について検討する。

2. 観測方法

富士山測候所の3号庁舎屋外にWATEC社の高感度CCDカメラ2台(図1)とSONY社のα7(図2)を南東方向に向けて設置した。高感度CCDカメラは16.7msの時間間隔でGPS時刻をもとにした詳細な時刻を画面に挿入することが可能な構成になっており、ミリ秒までの時刻同期が可能となっている。得られた画像はPCに入力される。PCに入力された画像は、動体監視ソフトにより、画面内の輝度変化が設定閾値を超えた時刻の前後数秒間を記録するように設定されている。



図1 観測に使用したWATEC社高感度CCDカメラ



図2 観測に使用したSONY社α7

3. 観測結果

図3は富士山から2016年8月2日10時~15時(UTC)にWATEC社CCDカメラによって観測された雷活動の一部である。この時間帯で合計149件の雷活動をカメラで撮影した。これらすべての落雷画像を確認したところ、スプライトの発光は見られなかった。この雷活動を発生させた地点での降水量を図4に、降水の強度を示すレーダーエコーデータを図5に示す。また、比較として2015年8月2日にスプライトが発生した際の雷雲の落雷数と降水量を図6に示す。



図3 2016年8月1日に観測された雷活動の一部

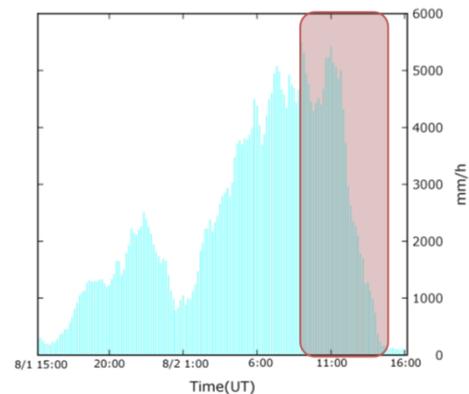


図4 2016年8月1日から2日に観測された雷活動を発生させた積乱雲の降水量(着色部分が雷が発生した時間帯)

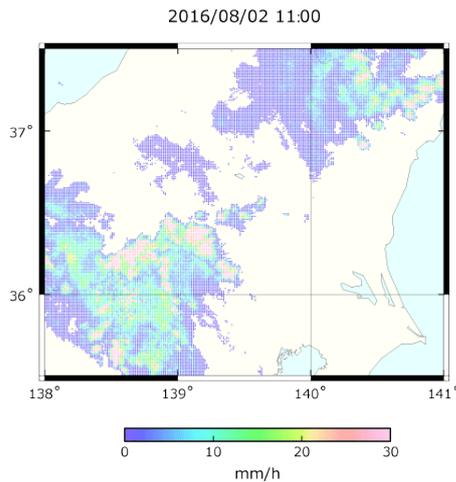


図5 2016年8月2日11:00のレーダーエコー図

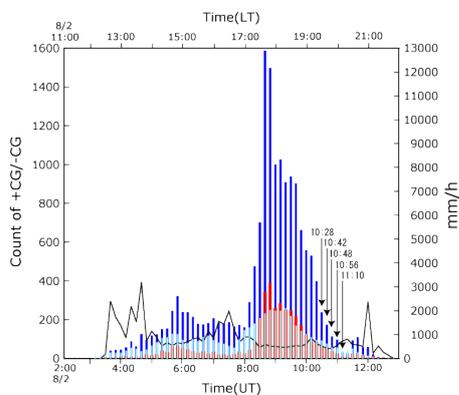


図6 2015年8月2日の雷雲の降水量(水色), 落雷数(正極性落雷:赤色, 負極性落雷:青色), 矢印はスプライト発生時刻

4. 考察

図6から降水量と落雷数が減少傾向にあるときにスプライトが発生していることがわかる。これは、まずはじめに降水によって雷雲内の負電荷が地上に落ちたことによって、雷雲内に正電荷が溜まり、雷雲内の正電荷と地上の負電荷が中和するように正極性落雷が発生し、最終的に雷雲上部の負電荷と電離圏との間に強い電場を生じることによってスプライトが発生しているということがわかる。つまり雷雲のライフサイクルが終息へ向かう際にスプライトが発生している。一方、図4では、雷雲の降水量が減っていく途中で落雷が頻繁に発生しているが、その際にスプライトの発生はみられなかった。図4と図6で降水量を比較すると、スプライトが発生していない2016年の方が降水量は多く、雷雲の活動は活発であった。

5. まとめ

2016年の夏季雷に伴って発生する高高度放電発光現象は観測されなかった。雷雲の降水量のデータを用いて2015年夏季にスプライトが発生した際との比較を行ったが、スプライトの発生と降水量との間に関連はみられない。

参考文献

- 1) 高橋幸弘, (2011). 雷研究の新時代, *JGL*, Vol.7, 9-11.

P-05: NPO ホームページのアクセス数と山頂周辺天気の関係について

泉田航¹, 鴨川仁¹
1. 東京学芸大学

1. はじめに

認定 NPO 法人富士山測候所を活用する会は、ホームページを運営し、富士山測候所を活用した研究・教育活動についての情報発信や富士山関連のニュースリリースなどを行っている。当ホームページへのアクセス数と御来光などの山頂気象データの相関および関連データとの比較解析を行った。

2. 解析方法

NPO 富士山測候所を活用する会のホームページでは、Web サーバーにアクセス解析ツールが導入されている。アクセス解析ツールでは、時間別、ページごとのアクセス数が提供されている。本研究では用いていないが、検索ワード、訪問者ドメインの情報も得られる。本研究では、この時間ごとのアクセス数を用いて以下の分析を行う。また、アクセス数は、訪問ページ数とした。旧富士山測候所に研究者が利用していた期間は 2016 年 7 月 2 日から 8 月 29 日であるので、アクセス数データは 2016 年 7 月 1 日から 8 月 31 日までを使用した。

比較分析するデータとして、日照時間との関係性を調べるために気象庁富士山特別地域気象観測所データ (www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html), 登山者数との関係性を調べるために環境省設置赤外線カウンターデータ (www.env.go.jp/park/fujihakone/data/fuji_tozansha.html) も用いた。使用データはそれぞれアクセス数データの期間に合わせて 2016 年 7 月 1 日から 8 月 31 日までとした。

分析は、アクセス数と日照時間の相関解析、アクセス数と登山者数の解析、アクセス数 1 時間積算値、アクセス数 1 日積算値を行った。

3. 結果と考察

図1はアクセス数の一日積算値のグラフである。アクセス数の大きさを調べるため、全データの中央値(12711)以上のアクセスがあった日にオレンジ色を付けた。ここからアクセス数が特に多いのは 7 月 11 日～8 月 21 日頃までと分かる。開始時については、2016 年全登山口開山時期(7 月 10 日)から、図2に示すように NPO のライブカメラ映像の公開がスタートした時期(7 月 9 日)とも近いことがわかる。富士山が開山し世間の注目が集まっている状況で、当ホームページが関連サイトとしてヒットしている可能性がある。

また、図1においては 7 月 4 日に集中アクセスがあったことがわかる。時間別に調べてみると朝 7 時に集中してお

り、ある特定の国内ドメインからの集中したアクセスであるが詳細は不明であった。

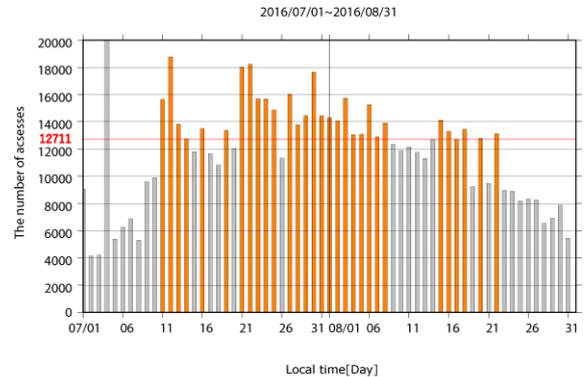


図1 アクセス数の1日積算値のグラフ



図2 NPO ホームページ ニュースリリース情報

図3はアクセス数1日積算値と富士山登山者数のグラフである。アクセス数は青色、登山者数は赤色で示している。さらに図4はこれらを曜日ごとに積算して中央値をとったもので、色分けは同様にしてある。登山者数は週末にかけて増加し、アクセス数は月曜日を最大にむしろ平日に若干多いことが分かった。図3と図4より登山者数とアクセス数にはやや逆相関となっている。同様に、図1よりアクセス数が 8 月 9 日～14 日まで少ないことがわかる。時期として、山の日を含んだお盆休み(8 月 11 日～16 日)と重なる日が多い。このことも、登山者が多い時はアクセス数が少ないということと一致する。

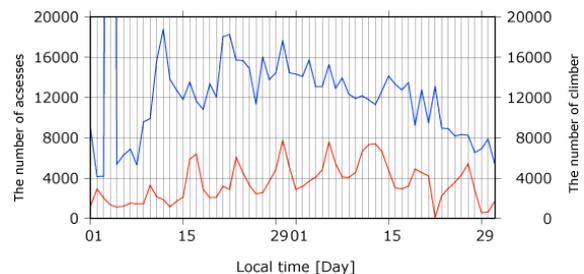


図3 アクセス数1日積算値と富士山登山者数のグラフ

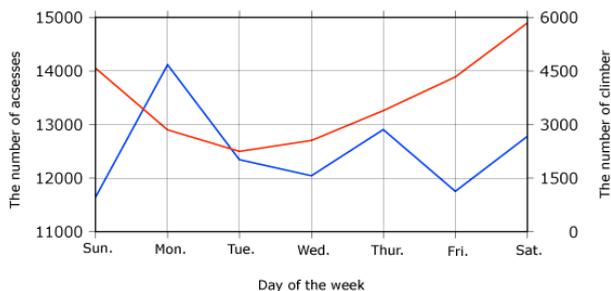


図4 アクセス数と登山者数の週変化のグラフ

図5はアクセス数の1時間積算値の日変化グラフである。午後4時前にアクセス数の急な増加が見られる。一般に日本では、4時から5時のインターネットトラフィックが1日の最小であることから、いわゆる富士山登山の名物となる御来光がライブカメラから見られることがトラフィック増加の開始を早めていると推察される。

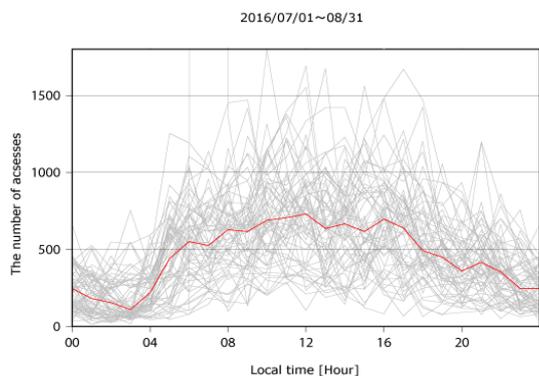


図5 アクセス数の1時間積算値のグラフ。赤線は各時刻の中央値

御来光や好天時の山頂景色を眺めるために、ホームページにアクセスしてライブカメラ映像を視聴する人が増えると仮定して、アクセス数1日積算値を横軸、5:00~18:00の日照時間積算を縦軸に取り描いた相関図を図6とする。ここから特に相関はみられなかった。ここから推察できることは、まずアクセス者周辺の天気などにかかわらずまずアクセス者がいるということが予想される。

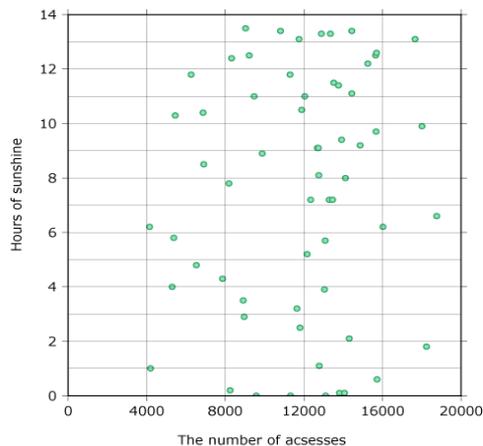


図6 アクセス数1日積算値と富士山山頂の日照時間の相関図

4. まとめ

アクセス数解析により、御来光時のアクセスが多いことが分かった。また日照には山頂天気(日照時間)との相関はみられなかった。このことからライブカメラに対する期待は高いと予想された。

参考文献

- 1) 総務省, 平成26年度情報通信白書 (2014)

P-06: 富士山頂における新粒子の生成と成長

片岡良太¹, 桃井裕広¹, 三浦和彦¹, 岩本洋子¹, 矢吹正教², 加藤俊吾³, Indra Chandra⁴, 瀬戸章文⁴

1. 東京理科大, 2. 京都大, 3. 首都大学東京, 4. 金沢大

1. はじめに

新粒子生成(New Particle Formation;NPF)とは, 気体がエアロゾル粒子へと変化することである. NPFによって核生成モード(直径が約 25 nm 以下)のエアロゾルの個数濃度は大幅に増加し, その後, 一部は雲凝結核に寄与する粒径範囲(約 50~100 nm)まで成長する. 雲凝結核の半分以上が NPF によって生成されると考えられており, NPF は気候に重大な影響を与える現象である. しかし NPF メカニズムは複雑であるため実験的な再現が難しく, 様々な場所で観測を行うとともに理論との比較検証を進めていく必要がある.

本研究では, 2006~2016 年の夏季富士山頂(標高 3776 m)における大気その場観測の結果と, 2015・2016 年の富士山中腹の太郎坊(標高約 1300 m)におけるライダーによるエアロゾルの遠隔測定の結果を示す. 富士山は孤立峰であり, 世界の山々と比較すると山の形が尖っていることが特徴である. したがって境界層の影響を比較的受けづらく, 自由対流圏のバックグラウンド大気を定点観測できる可能性が高い. しかし, 日中は山岳部特有の上昇風である谷風により大気境界層のエアマスが輸送されることもある.

2. 方法

山頂のその場観測では, 粒径 10~5000 nm の大気エアロゾルの乾燥粒子の個数粒径分布を走査型移動度粒径測定器(SMPS)と光散乱式粒子計数器(OPC)を用いて測定した. 得られた粒径分布をもとに, 核生成モードのエ

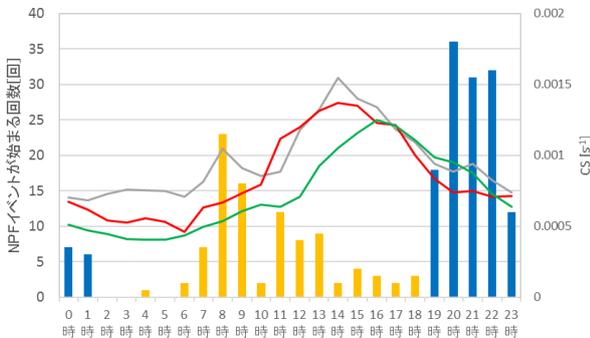


図 1. 2006~2016 年に富士山頂で観測された NPF イベント(棒グラフ)と 2014~2016 年の CS(折れ線グラフ)を表す. NPF イベントについては, 黄色が日中のイベント, 青色が夜間のイベントを示す. CS については, 灰色が 2014 年, 赤色が 2015 年, 緑色が 2016 年を示す.

アロゾルが 1 時間以上にわたって増加し, 粒径が成長する時間を NPF イベント(以下, イベント)と定義した. イベントの発生しやすさを見積もるため, Condensation Sink (CS) を粒径分布から求めた¹⁾. CS が高い状態の方が, 前駆気体(硫酸やアンモニア, 揮発性有機化合物など)が既存粒子に吸着しやすいため, NPF は発生しづらいと考えられる. また, 大気ラドン濃度については, ラドン娘核種測定装置を用いて測定した. ラドン(半減期 3.8 日)やトロン(10.8 時間)は発生源が土壌であることから, 陸起源エアマスのトレーサーであり, 山頂においては境界層の影響を評価できる. 太郎坊に設置されたライダーの波長は 532 nm で, 上空 4 km までの大気を測定している. サブミクロン範囲のエアロゾルに感度があり, 後方散乱係数という単位厚さの大気層から散乱角 180 度の単位立体角への散乱を表す係数を解析に用いた.

3. 結果・考察

山頂のその場観測の結果, イベントは合計 300 日にわたる観測期間のうち 236 回発生した. イベントの発生率は, 日中(4~18 時)は 31.3%, 夜間(19~翌 3 時)は 47.3%であった. 夜間のイベントが頻繁に観測されるのは世界的にも稀である. 日中イベントの約 4 割が 8~9 時に, 夜間イベントの約 7 割が 20~22 時に開始しており, イベントの発生頻度のピーク時間があることがわかった(図 1). また CS の平均値は, 14~16 時に最大になり早朝に最小となる日変化を示し, CS が高い時間帯はイベントが少ない傾向が見られた.

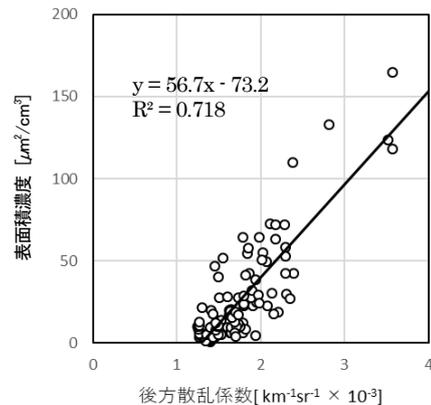


図 2. 2015 年 8 月 5~7 日にライダーから得られた山頂高度の後方散乱係数(横軸)と, 山頂の OPC で得られた 0.3~5.0 μm のエアロゾルの表面積濃度(縦軸)の相関. 表面積濃度はエアロゾルの吸湿成長を加味して算出している.

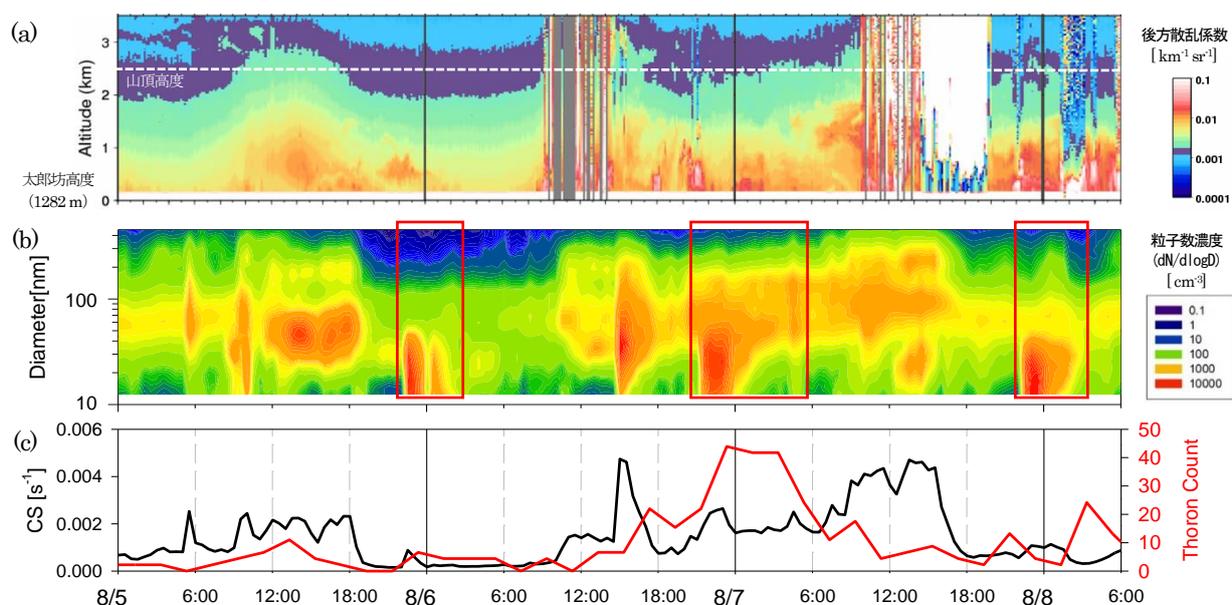


図3. 2015年8月5~7日における観測結果。(a) 太郎坊に設置したライダーから得られた後方散乱係数の時間変化。縦軸は太郎坊から見た高度を示す。後方散乱係数が $1.2 \sim 1.8 \times 10^{-3} \text{ km}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ の範囲(紫色)を強調している。白点線は山頂高度を示す。(b) 山頂における SMPS で得られたエアロゾル個数粒径分布の時間変化。縦軸は粒径を、色は粒子数濃度 (dN/dlogD) を、赤枠は NPF イベントを示す。(c) 山頂における CS とトロンカウント数の時間変化を示す。

後方流跡線解析により3日前からのエアマスの由来を分類した結果、大陸由来エアマスのときは夜間イベントが少なかった。大陸由来エアマスの CS が高かったことから、夜間イベントは CS が低い状態で起きやすく日中イベントは CS が高くても発生する可能性が示唆された。

2015年8月5~7日の観測結果を図2, 3に示す。山頂のその場観測とライダーの比較を行った結果、山頂で観測した $0.3 \sim 5.0 \mu\text{m}$ のエアロゾルの表面積濃度とライダーで観測した後方散乱係数(山頂高度)に強い正の相関が見られた(図2)。なお、この表面積濃度は粒子を硫酸アンモニウムと仮定し、湿度による粒子成長を加味して算出したものである²⁾。この結果から、山頂と太郎坊上空(水平距離約8 km)は同じエアマスだと判断できる。さらに、図3上段のライダーデータのように、エアロゾル層が日中上昇して、夕方ごろから下降する1日周期の上下動が観測された。また、図3中段は山頂の SMPS で観測した粒径分布であり、赤枠はイベントを示している。ライダーデータと比較すると、後方散乱係数が $1.2 \sim 1.8 \times 10^{-3} \text{ km}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ (紫色の範囲)のときにイベントが発生している。イベントが開始する直前は CS が比較的低く、既存粒子の少ない自由対流圏の影響を受けていると考えられる。したがって境界層と自由対流圏の界面で、地上で発生した前駆気体を多く含むエアマスと CS が低いエアマスが混合する、NPF に最適な層が形成されると考えられる。この NPF に適した層が、イベントの発生頻度のピーク時間付近に通過している可能性が示唆された。また、6日の夜から7日未明にかけてのイベントは粒子成長が長く続いた。その時間はトロンカウント数が大きく増

加し、後方散乱係数も比較的高いことから境界層エアマスの流入があった可能性が高い。したがって、前駆気体濃度が高かったため、粒子成長が活発化したのだと推察される。

2016年の観測において約 $3 \sim 70 \text{ nm}$ の粒子を測定した結果、 5 nm 以下の粒子数濃度が増加するイベントは少なかった。したがって、山頂近傍で NPF が発生しているというよりは、NPF 発生後に約 10 nm まで成長した粒子が山頂に輸送された可能性が高い。エアマスの後方流跡線からイベントを遡り NPF が発生したと考えられる場所を見積もった結果、平均で水平距離 $12 \sim 275 \text{ km}$ 遠方で NPF が発生している可能性が示唆された。

4. 謝辞

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

参考文献

- 1) Kulmala, M., Dal Maso M., Mäkalä, J. M., Pirjola, L., Väkeva, M., Aalto, P., Miiikkulainen, P., Hameri, K., O'Dowd, C. D. (2001). On the formation, growth, and composition of nucleation mode particles. *Tellus*, **53B**, 479-490.
- 2) Cheng, Y., Su, H., Koop, T., Mikhailov, E., Pöschl, U. (2015). Size dependence of phase transitions in aerosol nanoparticles. *Nat. Commun.*, **6**, 5923, doi:10.1038/ncomms6923.

P-07: 富士山頂で捕集した大気エアロゾルのバルク／個別粒子分析

土井瀬菜¹,岩本洋子¹,三浦和彦¹,服部祥平²,大河内博³

1.東京理科大学, 2.東京工業大学, 3.早稲田大学

1.はじめに

エアロゾル粒子の放射特性や雲凝結核能はその化学的,物理的性質に依存するので,個々のエアロゾル粒子の形状や混合状態を解明することが重要である.エアロゾル粒子は長距離輸送されることで,発生源付近だけでなく,より広範囲の地域に影響を及ぼす.また,長距離輸送過程においてエアロゾル粒子の形状や組成は変化する.長距離輸送されたエアロゾル粒子の性質を調べるために,ローカルな発生源の影響を受けにくい富士山頂で2014年,2015年の夏季に観測を行った.また,富士山頂において捕集したガス・エアロゾル試料について初めて同位体分析を試みた.観測では図1(a)の様なクラスター状の粒子(Cluster)が捕集された.Clusterの存在は,これまで沖縄県辺戸岬¹⁾,石川県能登半島²⁾において報告されている.また,Clusterは低湿度下において,固体状の硫酸塩が凝集して生成するとされている¹⁾.エアロゾル粒子の凝集過程は,粒径や形状を変化させ,放射特性や雲凝結核能に影響するため重要である.しかしながら,Clusterの生成機構に関する知見は少ない.本研究では,同位体分析,個別粒子分析を用いて長距離輸送されたエアロゾル粒子の性状を調べるとともに,Clusterの生成機構を明らかにすることを目的とした.

2.手法

2.1.観測方法

富士山測候所の一号庁舎二階で観測を行った.屋外から導電チューブを伸ばし,室内に設置した低圧カスケードインパクターで大気エアロゾルを捕集した.先端に粗大粒子カット用のカットオフ径 $4.0\ \mu\text{m}$ のインパクターを接続し,粒子の捕集にはカットオフ径 $0.25\ \mu\text{m}$ と $1.0\ \mu\text{m}$ のインパクターを用いた.粒子はインパクター内のステージ上に炭素補強を施した銅グリッド上に捕集した.流量は $0.55\ \text{Lmin}^{-1}$ に設定し,1時間捕集を行った.また,雲中の硫酸塩を捕集するために,早稲田大学大河内研究室の雲水サンプラーを用いて雲水の捕集を行った.

2.2.分析方法

雲水のpHの測定は早稲田大学大河内研究室のMA235 Advanced pH/Ion/°C Meterを用いて行った.また,雲水中の硫酸塩の同位体比の測定は東京工業大学吉田・山田研究室のガスクロマトグラフィー(GC)を用いて行った.

個々の粒子の形状,化学組成を,エネルギー分散型X線分析器(EDX)を搭載した透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて分析した.さらに,電子線照射前後の写真から,揮発性と不揮発性の粒子を判別し,混合状態

を調べた.

後方流跡線解析を用いて,大陸由来と海洋由来の気塊に分類した.

3.結果と考察

3.1.捕集状況

大気エアロゾルの捕集によって,11試料が得られた.そのうち6試料においてClusterが見られた.また,その場の気象状況と比較することで,高湿度下でもClusterが存在していることが分かった.

3.2.雲水中の硫酸塩の同位体分析

GCを用いて雲水中の硫酸塩の $\Delta^{17}\text{O}$ を測定することで,富士山頂における硫酸塩の酸化過程を特定することを試みた.その結果, $\Delta^{17}\text{O}$ はpHと正相関があり(図2),富士山頂における硫酸塩の酸化過程には O_3 による寄与が大きいことが分かった.本研究では個別粒子分析の結果と雲水中の硫酸塩の同位体比との比較を行うことはできなかった.TEM-EDX分析によって富士山頂において遷移金属の存在が明らかになったので,今後,雲水の同位体分析に加え,個別粒子分析を用いて個々の粒子の遷移金属との混合状態を調べることで,遷移金属を触媒とした酸化反応について理解を深めることができる可能性が示唆された.

3.3.TEMによる個別粒子分析

富士山頂に存在する粒子の種類,化学組成を調べるために,TEM-EDXを用いた元素分析を行った.その結果,

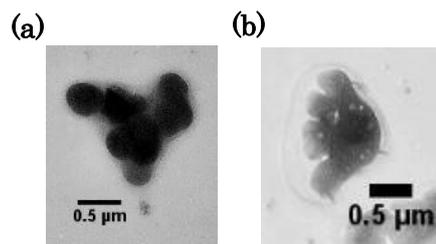


図1 TEM画像.(a)Cluster.(b)Eroded

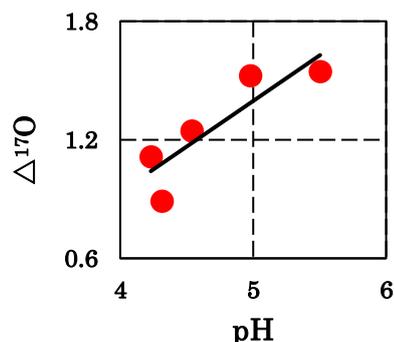


図2 $\Delta^{17}\text{O}$ とpHの相関図

硫黄含有粒子の割合が 80%となり、人為起源の粒子が他の地域と比較して多く存在する北京の 85%以上³⁾および長距離輸送の影響があるシャングリラ(中国)の 70%以上⁴⁾と同程度であった。また、Ca(NO₃)₂ や Fly-ash などの人為起源粒子が存在していたことから、富士山頂は長距離輸送してきた人為起源の気塊の影響を受けていたことが分かった。

続いて、捕集した個々の粒子を Ueda *et al.*, 2010¹⁾を参考に形状ごとに分類し、大陸由来と海洋由来の気塊別に割合を示した(図 3)。その結果、水溶性有機物を含む硫酸塩 (Eroded)(図 1 (b)) および Cluster の割合は海洋由来よりも大陸由来で多く観察され、これらの粒子は粒子数濃度の高い地域で多く生成されることが分かった。更に、Cluster は凝集によって他の形状の硫酸塩よりも粒径が大きい粒子を形成していることが分かった。

Cluster の混合状態をもとに粒子を分類した。その結果、全体の 40%は他の粒子と内部混合しており、その中でも特に鉱物との内部混合の割合が最も高く 57%であった。Cluster の内部混合割合は他の形状の硫酸塩と比較して最も高かった。鉱物の様な疎水性の粒子は、硫酸塩との内部混合により雲凝結核能が向上する効果が期待される。したがって、Cluster は粒子成長だけでなく、内部混合という点でも重要な粒子であるといえる。また、電子線照射後に Cluster の周囲に不揮発性の被膜が残存したことから、Cluster の形状が高湿度下においても保たれている要因として、非水溶性の有機物の被膜の存在が示唆された。

3.4.凝集速度関数を用いた計算

Cluster の生成機構を明らかにするために、単分散粒子に対して、フラクタル次元を考慮した凝集速度関数を用いた計算を行った。その結果、硫酸塩の粒子数濃度が高い地域でより多くの Cluster が生成することが示唆された(図 4)。また、計算によって得られる Cluster の割合は、初期条件として多分散性を増加させるほど、観測結果に近づく可能性が示唆された。

4.まとめ

GC による雲水内の硫酸塩の同位体分析と TEM-EDX による個別粒子分析を行うことで、長距離輸送されたエアロゾル粒子の性状を調べた。同位体分析から、O₃ による酸化過程が優位である可能性が示唆された。個別粒子分析の結果から、富士山頂は人為起源の気塊の影響を受けている可能性が示唆された。また、海洋由来よりも大陸由来の気塊の方が、Eroded と Cluster の全体に対する割合が高かった。さらに、電子線照射前後の写真を比較することで、Cluster の形状が高湿度下においても保たれている要因として、非水溶性の有機物の被膜の存在が示唆された。また、フラクタル次元を考慮した凝集速度関数を用いた計算を行うことで、Cluster は粒子数が高い地域で生成する可能性が示唆された。また、多分散性を増加させるほど、観測結果に近づくことが示唆された。

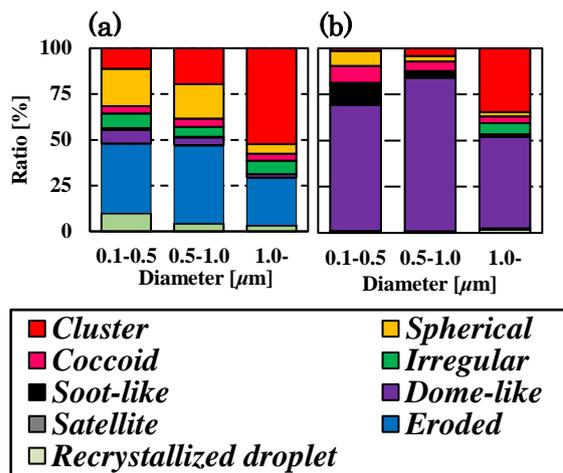


図 3 各粒径範囲における粒子の形状割合。(a)大陸由来の気塊。(b)海洋由来の気塊。

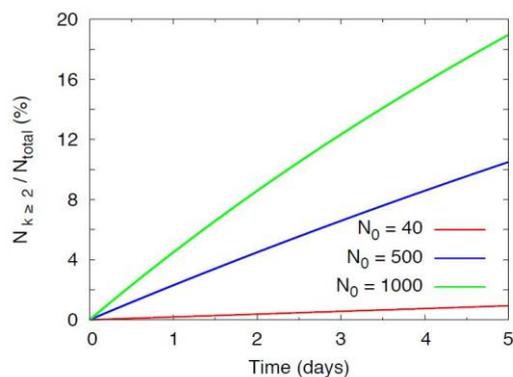


図 4 粒径 0.3 μm を初期値にした場合の全体に対する Cluster の割合の時間変化。 N_0 は粒子数濃度 [#/cc] を示してゐる。

謝辞

本観測は認定 NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。本研究の一部は科研費基盤研究 C(24340017, 代表, 三浦和彦)の助成を得て行われた。共同研究者である早稲田大学の大河内博先生、東京工業大学の服部祥平先生には観測・分析方法など、細部にわたるご指導をいただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) Ueda S., Osada K., and Takami A. (2011). *Journal of Geophysical Research*, **116**, D17207, doi: 10.1029/2010JD015565
- 2) Ueda S., Nakayama T. Taketani F. Adachi K. Matsuki A. Iwamoto Y. Sadanaga Y., and Matsumi Y. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics*, **15**, 25089–25138
- 3) Weijun L. and Longyi S. (2009). *Journal of Geophysical Research*, **114**, D09302, doi: 10.1029/2008JD011285
- 4) Jingsen F. Longyi S. Ying H. Jianying W. Jing W. and Jianzhong M. (2016). *Atmospheric Pollution Research*, **7**, 833–842

P-08: 2015, 2016 年夏季の富士山頂における雲凝結核の特性

佐藤光之介¹, 片岡良太¹, 岩本洋子¹, 三浦和彦¹

1. 東京理科大学

1. はじめに

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

本研究では、夏季に富士山頂 (富士山特別地域気象観測所) で CCN 観測を行った。富士山は日本一標高の高い独立峰であり、その山頂は自由対流圏内に位置することが多いため、ローカルな汚染の影響を受けていないエアロゾルの観測が期待できる。今回はエアロゾルの長距離輸送に着目し、後方流跡線を用いて山岳大気の CCN 活性を解析した。そして、エアマスの由来別に、CCN 活性比との関係について考察した。

2. 測定方法と解析原理

2015 年 7 月 20 日から 8 月 20 日まで、及び 2016 年 7 月 14 日から 8 月 21 日まで、富士山特別地域気象観測所 1 号庁舎 2 階で観測を行った。HW4 を用いて温湿度をモニタリングした拡散ドライヤを通して外気を乾燥させ、走査型移動度粒径測定器 (SMPS) 及び光散乱式粒子計数器 (OPC) で凝結核 (CN) 数、雲凝結核計数器 (CCNC) で CCN 数をそれぞれ測定した。測定システムを図 1 に示す。

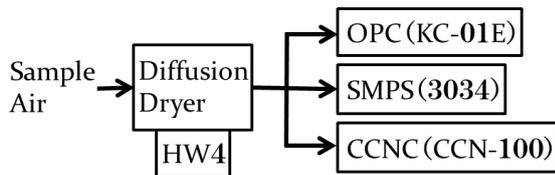


図 1 測定システム

粒子の化学組成に依存する吸湿性パラメータ (κ) の値は、周辺大気の飽和度 (S_c)、乾燥臨界粒径 (D_c)、温度 (T) によって決まり、次式で与えられる。 σ_w , M_w , ρ_w はそれぞれ水の表面張力、分子量、密度であり、 R は気体定数である。

$$\kappa = \frac{4A^3}{27D_c^3 (\ln S_c)^2} \approx \frac{1.15 \times 10^{-18}}{27T^3 D_c^3 (\ln S_c)^2}$$

$$\left(A = \frac{4\sigma_w M_w}{\rho_w RT} \approx \frac{0.66 \times 10^{-6}}{T} \right)$$

また、後方流跡線解析では、NOAA HYSPLIT Model の 72 時間遡行流跡線データを 3 時間毎に取得し、それぞれの由来域を大別して図 2 のように分類した。

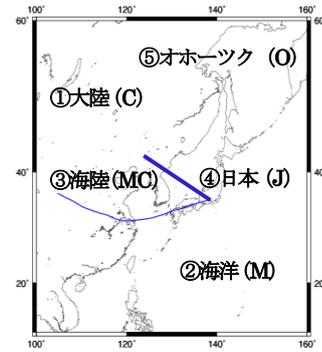


図 2 後方流跡線分類

3. 結果と考察

表 1 に、CCN 数濃度、CN 数濃度、及び CCN/CN 比 (CCN 活性比) を年度毎に比較した結果を示す。

表 1 富士山頂で測定した CCN 数濃度、CN 数濃度、CCN 活性比の年度比較

SS (%)	Year	CCN Number Conc. (#/cm ³)	CN Number Conc. (#/cm ³)	Number Conc. Ratio (%)
0.1	2015	41.8 ± 56.9	612.1 ± 703.0	6.9 ± 7.6
	2016	41.7 ± 47.0	637.2 ± 977.4	8.1 ± 8.3
0.2	2015	95.4 ± 101.1	578.7 ± 600.7	17.1 ± 14.3
	2016	108.0 ± 109.8	621.0 ± 874.7	22.0 ± 18.9
0.3	2015	146.5 ± 132.8	573.2 ± 560.1	27.1 ± 18.6
	2016	160.9 ± 144.6	618.3 ± 828.6	32.8 ± 24.3
0.4	2015	188.5 ± 157.2	597.5 ± 624.3	35.1 ± 21.7
	2016	199.3 ± 165.2	634.7 ± 952.7	41.7 ± 28.7

これらの結果より、過飽和度が大きいほど CCN 数濃度や CCN 活性比が高くなる一般的な傾向が確認された。また、CCN と CN の数濃度については、ほぼ全ての過飽和度で 2016 年の方が高かったが、CCN 数濃度の増加率がより大きかったため、活性比も 2016 年の方が高かった。2016 年の観測期間全体の CCN 数濃度の平均値は、過飽和度が 0.3% の時 160.9 ± 144.6 (#/cm³) となった。同期間の CCN 活性比の平均値は、過飽和度 0.3% の時 32.8 ± 24.3 [%] であった。長谷川^りが 2011 年夏季に測定した CCN 数濃度及び CCN 活性比の平均値は、過飽和度が 0.27% の時にそれぞれ 180 ± 136 (#/cm³)、36 ± 22 [%] であったため、今回の測定結果の方が CCN 数濃度、CCN 活性比ともにやや小さくなった。

次に、インレットの温度、乾燥臨界粒径、及び吸湿性パラメータを年度毎に比較した結果を表2に示す。

表2 富士山頂で測定したインレット温度、乾燥臨界粒径、吸湿性パラメータの年度比較

SS (%)	Year	Inlet Temp. (K)	Dry Critical Diameter (nm)	κ
0.1	2015	304.22±2.46	215.6±50.6	0.25±0.12
	2016	301.21±3.13 ▼	210.3±59.3 ▼	0.23±0.16 ▼
0.2	2015	304.23±2.45	134.0±46.8	0.31±0.21
	2016	301.16±3.14 ▼	132.0±73.2 ▼	0.32±0.25 △
0.3	2015	304.22±2.44	98.6±42.4	0.40±0.25
	2016	301.19±3.10 ▼	95.2±60.7 ▼	0.36±0.26 ▼
0.4	2015	304.22±2.44	78.9±25.9	0.41±0.24
	2016	301.20±3.06 ▼	77.0±55.0 ▼	0.39±0.33 ▼

乾燥臨界粒径については全ての過飽和度においてやや小さくなり、吸湿性パラメータは過飽和度が0.2%の時を除いてやや小さくなったことが分かった。2016年の観測期間全体の乾燥臨界粒径の平均値は、過飽和度が0.3%の時95.2±60.7[nm]となった。また、同期間の吸湿性パラメータの平均値は、過飽和度0.3%の時0.36±0.26であった。長谷川¹⁾が2011年夏季に測定した乾燥臨界粒径及び吸湿性パラメータの平均値は、過飽和度が0.27%の時にそれぞれ82.3±26.3[nm]、0.50±0.31であったため、今回の測定結果の方が乾燥臨界粒径は大きく、吸湿性パラメータは小さくなった。

このように年度毎に傾向が変化する要因として、輸送されるエアマスが異なることが考えられるため、観測期間中の後方流跡線を3時間毎に取得し、その由来別に各要素を比較した(表3, 図3, 図4)。

表3 後方流跡線サンプル数

Year	Continent	Marine	Land and Sea	Japan	Okhotsk
2015	79	172	52	46	—
2016	74	72	134	96	30

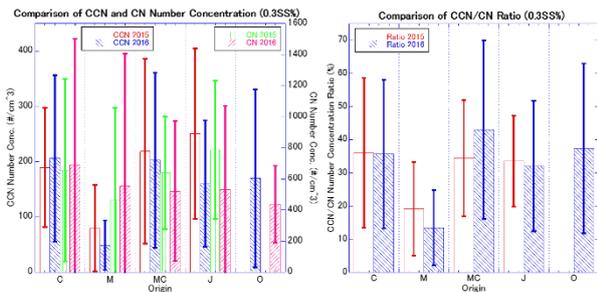


図3 富士山頂で測定したCCN数濃度、CN数濃度(左)、及びCCN活性比(右)の流跡線由来別年度比較(0.3SS%)

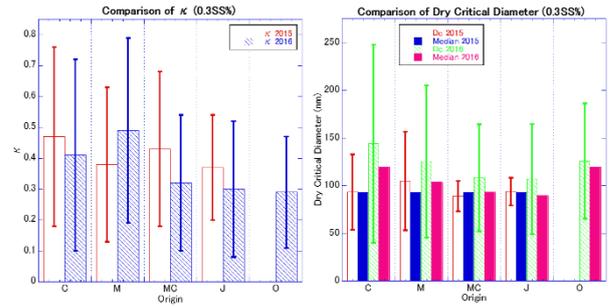


図4 富士山頂で測定した吸湿性パラメータ(左)、及び乾燥臨界粒径(右)の流跡線由来別年度比較(0.3SS%)

過飽和度が0.3%の時を例に挙げると、2015年に比べ、CCN数濃度についてはエアマスが大陸由来の時のみ高く、CCN活性比は海陸由来の時のみ高くなったが、吸湿性パラメータの値は海洋由来の時に大きくなったことが分かった。2016年の観測期間全体の吸湿性パラメータの平均値は、エアマスが大陸、海洋、海陸、日本、オホーツク由来の時にそれぞれ0.41±0.31、0.49±0.30、0.32±0.22、0.30±0.22、0.29±0.18となった。渡辺²⁾が2013年夏季に測定した大陸、海洋、海陸、日本由来の各エアマスの吸湿性パラメータの平均値は、過飽和度が0.31%の時にそれぞれ0.47±0.03、0.56±0.06、0.46±0.04、0.25±0.04であったため、今回の測定結果の方が日本由来を除いて小さくなった。

2015年と2016年の比較において、2016年の方が吸湿性パラメータの値が小さくなったのは、年によって主要なエアマスの由来が異なることが原因として考えられる。一般に吸湿性パラメータの値は、水溶性に乏しい有機物が多いと考えられる大陸や海陸由来のエアマスで小さく、海洋由来のエアマスで大きくなる。2016年は、海洋由来のエアマスが支配的であった2015年に比べて大陸やオホーツクからのエアマスが多数流入したため、エイジングにより粒径が大きくなり、その結果CCN活性比が高くなったと考えられる。このことから、活性比は個々の粒子の化学的な組成よりも、エアマス全体の粒径分布により強く依存していると考えられる。

謝辞

本研究は、認定NPO法人富士山測候所を活用する会が、気象庁より富士山特別地域気象観測所の施設の一部を借用している期間に行われた。本研究の一部は、東京理科大学共同研究助成金(2016年度)の助成により行われた。

参考文献

- 1) 長谷川朋子 (2013). 東京都心部の生成されたばかりの粒子と富士山山頂のエイジングを受けた粒子の雲凝結核特性. 東京理科大学修士論文, 19.
- 2) 渡辺彩水 (2015). 富士山頂で測定したエアロゾル雲凝結核特性と霧粒特性. 東京理科大学修士論文, 18.

P-09: 富士山におけるエアロゾルの光学特性

桃井裕広¹, 三浦和彦¹, 青木一真²

1.東京理科大学, 2.富山大学

1. はじめに

エアロゾル粒子は太陽光を吸収・散乱する直接効果と雲凝結核として雲の放射特性に影響を及ぼす間接効果により、地球の放射バランスに影響を及ぼすことが知られている。しかし、放射強制力に関する見積もりには未だ多くの不確実性が存在する¹⁾。直接効果の大きさはエアロゾルの光学特性および微物理特性に起因しており、地上のエアロゾルについてだけではなく上空のエアロゾルも考慮する必要がある。本研究は、直達光と散乱光を測定するスカイラジオメータによる2014年からの長期観測を行い²⁾、気柱全体の時間・空間変動を捉え、富士山頂と山麓でのその場観測のデータを用いることで、富士山におけるエアロゾルの光学特性を調べた。

2. 方法

静岡県御殿場市に位置する富士山麓太郎坊(北緯 35.33 度, 東経 138.80 度, 標高 1290 m)でスカイラジオメータ(POM-02, Prede)を用いた気柱全体の光学特性および微物理特性の観測を2014年10月から2016年10月に行った。

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

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

を求めた。また、光学厚さの波長依存性

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

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

スカイラジオメータによる直達光観測では太陽面が雲に覆われているときは正しく直接効果を評価できないため、雲の影響があると考えられるデータを除去して解析時間を決定し、500nmにおけるエアロゾルの光学厚さ(AOT500)の日最小値を解析日の代表値として採用した。

3. 結果・考察

観測期間中の解析日数を図1, 光学厚さとオングストローム指数の季節変動を図2, 3に示す。各図とも全解析日を月ごとに平均した値と標準偏差を表している。AOT500の年平均値は0.11, オングストローム指数は0.73であった(表1)。都心に位置する東京神楽坂においても同様の観測を行っており、

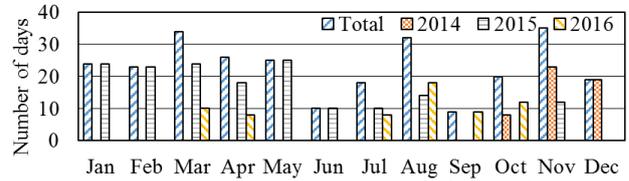


図1 2014/10 から 2016/10 の解析日数

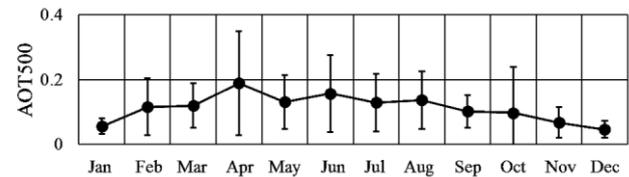


図2 光学的厚さ(500nm)の季節変化(2014-2016)

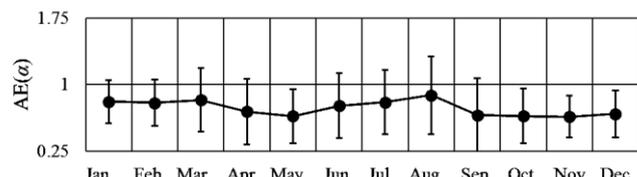


図3 オングストローム指数の季節変化(2014-2016)

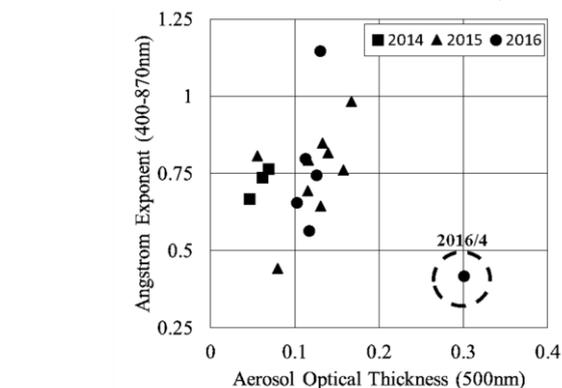


図4 AOT500 とオングストローム指数の関係(月別値)

AOT500の年平均値は0.19, オングストローム指数は1.1であった(2015年)。この違いは神楽坂が自動車排気ガスなどに代表される人為起源の微小粒子の排出源が多いことによりAOT500とオングストローム指数が大きくなるのに対し、太郎坊は市街地から離れているために人為起源エアロゾルが少なく清浄な大気であり、海塩粒子や黄砂などの粗大粒子の影響が表れやすいためと考えられる。AOT500(図2)とオングストローム指数(図3)はともに夏に高く、冬に低い季節変動がみられた。これは、夏にエアロゾル濃度の増加と微小粒子の卓越を表しており、夏は森林から生成した有機エアロゾルの増加が富士山上空のエアロゾル粒径分布に影響を及ぼしていることが原因と考えられる。また、図4に示されたようにAOT500とオングストローム指数には正の相関がみられ、2016年4月が他の月と異なってAOT500が高く、オングスト

ローム指数が低いことから黄砂の影響であると推測された。

次に、AOT500 とオングストローム指数の頻度分布を図 5, 6 に示す。このとき、12-2 月を冬、3-5 月を春、6-8 月を夏、9-10 月を秋とした。AOT500 の頻度は冬が 0-0.05 の範囲、他の季節が 0.05-0.1 の範囲にピークをもつ一山分布である(図 5)。一方でオングストローム指数は、どの季節も 0.4-1.2 の範囲で頻度の変化が乏しく、季節ごとの明確な違いはみられなかった(図 6)。

また太郎坊上空の気象を知るために、富士山山頂(北緯 35.36 度、東経 138.73 度、標高 3776m)に設置されたアメダス(気象庁)で観測された相対湿度の日平均値について解析日の頻度分布を調べた(図 7)。夏と冬は解析日の 5 割が相対湿度 70%を超えており、春と秋でも 3 割程度の解析日で相対湿度 70%を超えていた。大気上層に吸湿性エアロゾルが浮遊していれば、夏と冬は吸湿成長が顕著であるものと考えられる。一方で太郎坊は、図 8 に示すように冬から春にかけて湿度が低くなり、夏から秋にかけて高くなる傾向があるので、夏から秋にかけて吸湿成長が起こりやすい。しかし、太郎坊で観測された気柱全体のエアロゾル粒径分布は夏にかけて微小粒

子が卓越し、成長していないので、太郎坊周辺で生成したエアロゾルは非吸湿性のものであると考えられる。

4. まとめ

スカイラジオメータを用いて直達光の解析からエアロゾルの季節変動を調べた。

光学的厚さとオングストローム指数が夏に高く、冬に低くなる季節変動がみられ、吸湿成長に十分な湿度があるにもかかわらずオングストローム指数が大きいことから、夏は森林から生成した非吸湿性の有機エアロゾルが増加して富士山上空のエアロゾルに影響を及ぼしていることが示唆された。

参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2013 The Physical Scientific Basis (2013). <http://www.ipcc.ch/>
- 2) 橋口翔, 三浦和彦, 青木一真(2016). 富士山山麓および東京神楽坂におけるエアロゾル物理特性の評価. 第 9 回成果報告会講演予稿集, 50-51.

表 1 AOT500 とオングストローム指数の平均値

	All	Spring	Summer	Autumn	Winter
AOT500	0.11 ± 0.04	0.15 ± 0.03	0.14 ± 0.01	0.09 ± 0.02	0.07 ± 0.03
Ångström	0.73 ± 0.08	0.72 ± 0.08	0.81 ± 0.05	0.65 ± 0.01	0.76 ± 0.06

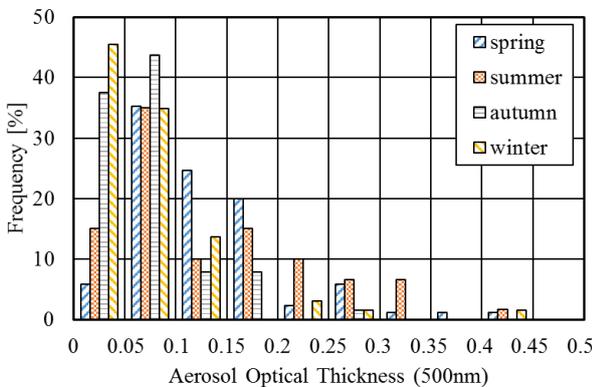


図 5 光学的厚さの頻度分布(2014-2016)

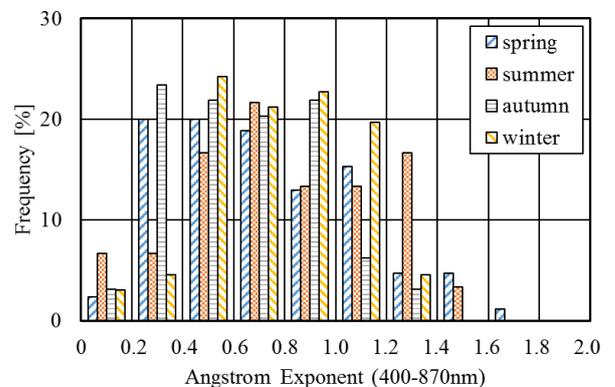


図 6 オングストローム指数の頻度分布(2014-2016)

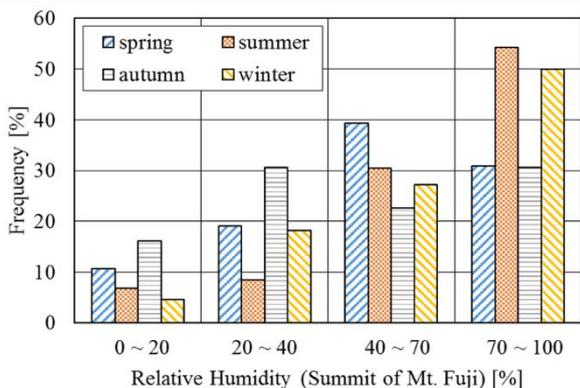


図 7 富士山頂の相対湿度の頻度分布(2014-2016)

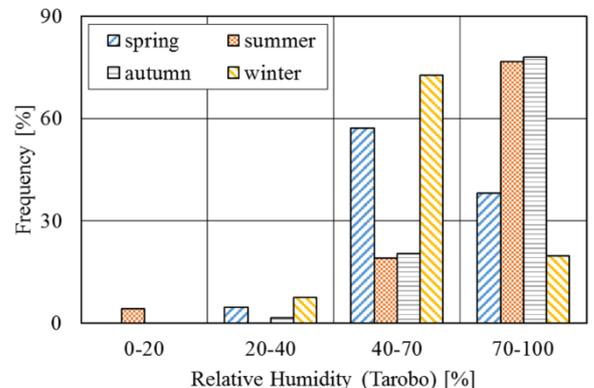


図 8 太郎坊の相対湿度の頻度分布(2014-2016)

P-10: 太郎坊におけるラドン・トロン娘核種の変動と気象との関係

鈴木康太¹, 三浦和彦¹, 永野勝裕²

1.東理大・理 2.東理大・理工

1.はじめに

近年、大気中の汚染物質の増加により環境問題は深刻になっている。そのため大気中の物質輸送を解析することは非常に重要であり、ラドンをを用いた研究はこれまでも行われてきた。ラドンは発生源が陸上に限定され消失過程が放射性壊変以外持たないため、大陸起源の物質輸送のトレーサーとして有用である。

本研究では2016年夏季の太郎坊における山谷風影響下でのシミュレーション結果と観測結果の比較や気象データとの比較を行うことでローカルな大気輸送を解析する。

2.方法

本研究では富士山麓太郎坊(N35.330, E138.800, H1282m)にてラドン・トロン娘核種を測定し、2014年8月～2016年8月のデータを解析した。Si半導体検出器(ES-7267)を用い、装置上部のポンプより試料空気を吸引しフィルター上にエアロゾル粒子を捕集し、捕集した粒子に付着したラドンの娘核種が崩壊時に放出されるエネルギーを測定した。

また、永野(東理大・理工)が計算をした太郎坊における由来別ラドン濃度シミュレーションの結果と、観測値との比較を行った。このモデルでは水平方向の格子間隔 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (約50km)、鉛直方向は対流圏を10層に分割しているため、山谷風の影響は考慮されていない。

放射性物質であるラドンには主な崩壊系列としてウラン系列とトリウム系列の2種類が存在する。ラドン系列で α 崩壊するのはRaA, RaC', トリウム系列はThA, ThC, ThC'である。これらを合わせたものをラドントータルカウントと定義した。ラドンは主に遠距離輸送のトレーサーとして、トロンはラドンよりも近距離輸送のトレーサーとして用いるが、トロンのカウント数は非常に少ないため、本研究では扱いを慎重に行った。

3.結果・考察

太郎坊の2014年8月～2016年8月における観測結果^{2,3}を月ごとにまとめたものを図1に示す。

平地のラドン濃度の季節変動はいくつか報告があり、冬に濃度が高く、夏にかけて濃度が低くなる季節変動を示し、大気の安定度が要因とされる⁴。

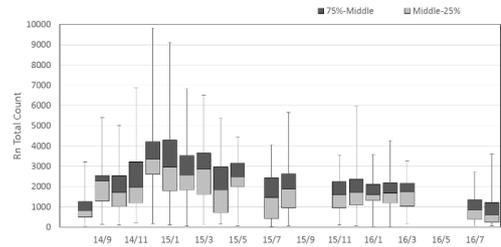


図1 太郎坊におけるラドントータルカウントの経年変化

本研究でも平地と同様な季節変動を示したが、太郎坊では山谷風などのローカルな輸送やアジアなどからの遠距離輸送の影響もあるため、平地とは要因が異なると考えられる。要因の一つとしてエアマスの違いが考えられ、実際に調べた結果、2016年1月に比べ2016年8月はアジア大陸由来のエアマスは少なかった。

次に、2016年太郎坊夏季におけるラドンとトロンの観測結果を図2に示す。

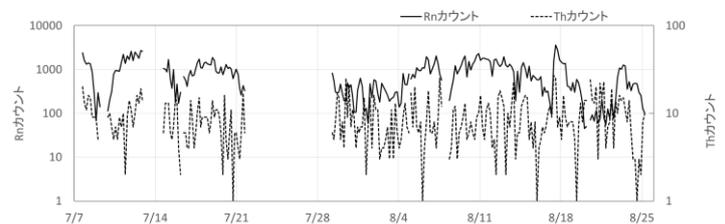


図2 2016年夏季太郎坊におけるラドン・トロンの変動

8月18日はラドンカウントが急激に上昇している。このとき台風によりエアマスの由来が、海洋由来からアジア大陸由来に変化していることが確認できた。

次に山谷風のようなローカルな輸送の解析を行うため、シミュレーション結果と観測値の比較を行った。2016年8月の太郎坊における観測結果とシミュレーション結果を図3に示す。尚、比較のため観測結果の値は補正係数をかけ濃度に換算している。

全体を通してシミュレーション値と実測値は一致している。しかし、8月6日や8月12日など一致しないところもあった。シミュレーション値と実測値が一致しなかった8月6日の例を詳しく解析するため、ラドンの実測値と風向・風速の比較を行った。2016年8月4日～8月11日のラドンの実測値と風向・風速を図4に示す。

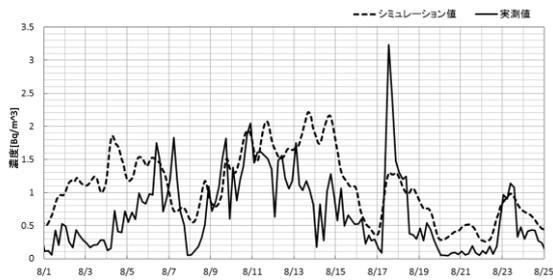


図3 シミュレーション(破線)と実測値(実線)の比較

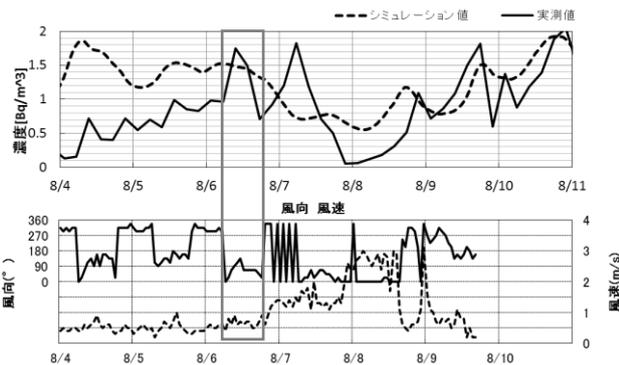


図4 ラドンと風向・風速の比較

8月6日昼間はシミュレーション値では減少しているが実測値は増加している。このとき風向は山風から谷風に変化し、風速は安定でエアマスは一定であった。谷風により山岳下部のエアマスが運ばれ、ラドンカウントが上昇したと考えられる。これはシミュレーションでは得られないローカルな輸送が見られたと考えられる。

8月7日も同様な変化を示しているが、ラドンカウント上昇時に山風であることから、別の要因が考えられ、更なる解析を行いたい。

次に、ラドンカウントの周期性について調べた。太郎坊の2016年1月1日～1月7日におけるラドンカウントの変動を図5に示す。

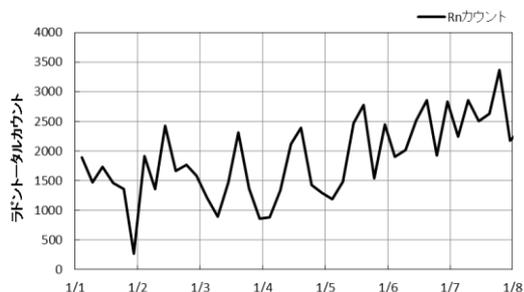


図5 1月1日～1月7日のラドンカウントの変動

この期間のラドンカウントは夕方から朝にかけて減少し、日中上昇する変化が一日周期で起こっている。また風向に

についても調べた結果、ラドンと同様に1日周期で変化していることがわかった。

この期間の風向を昼夜別に調べた結果を図6に示す。尚、ここで谷風は $22.5^{\circ} \sim 202.5^{\circ}$ 、山風は $202.5^{\circ} \sim 22.5^{\circ}$ と定義している。

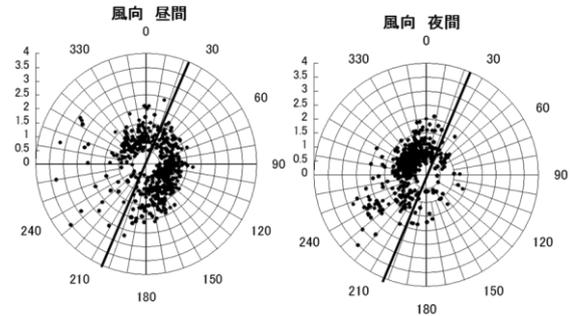


図6 夜間と昼間の山谷風の比較

この期間の風向は夜間に山風が優勢で、昼間に谷風が多いことが分かった。このことから、昼間は谷風により平野部から空気が輸送されることが原因でラドン濃度が増加したと考えられる。

4. まとめ

ラドンカウントの季節変化を調べた結果、秋から冬にかけてラドンカウントが高く、春から夏にかけてカウントが低くなる傾向があることが確認できた。また、この原因の一つとしてエアマス由来による影響もあることが確認できた。

シミュレーション値と実測値の比較を行うことで、山谷風によるローカルな輸送を見ることができた。

ラドンが一日周期で変動している期間では風向も同様な周期性を示し、風向がラドンカウントの変動に大きく関わっていることが分かった。

参考文献

- 1) 永野勝裕”夏期の富士山頂におけるラドンの起源”第2回山岳大気シンポジウム要旨集, p5-8, NPO 法人富士山測候所を活用する会
- 2) 横山慎太郎.”富士山頂と太郎坊におけるラドン娘核種の変動”. 平成26年度 東京理科大学 卒業論文
- 3) 川口尚輝.”富士山頂, 太郎坊におけるラドン娘核種の変動とその特徴”. 平成27年度 東京理科大学 卒業論文
- 4) 日本大気電気学会:大気電気学概論, コロナ社, p82-87, 2003

P-11: 2015–2016 年の富士山における新粒子生成に関する考察

小西理愛¹, 片岡良太¹, 桃井裕広¹, 岩本洋子¹, 三浦和彦¹

1.東京理科大学

1. はじめに

大気エアロゾルは、太陽光を直接散乱・吸収する直接効果、雲凝結核となることで雲の放射特性を変える間接効果などにより放射収支および気候に影響を与える。ところが、IPCC AR5(気候変動に関する政府間パネル第5次報告書)によると、この影響についてはまだ不確実性が大きく、わかっていないことが多い。大気エアロゾル粒子の濃度は、気体の化学反応によって粒子が生成される新粒子生成(NPF)に大きく影響されるが、その理論的な予測は難しく十分な理解がなされていない。NPFには様々な気象要素が密接に関係しているため、本研究は、粒子数濃度と複数の気象要素を観測し、その関連を見出すことを目的とした。

観測場所として富士山山麓にある太郎坊を選んだのは、ここが山岳地域かつ森林地域であるゆえ、世界各地の山岳地域において見られた谷風条件下でのNPFを確認し、また森林地域において季節ごとの比較をすることでBVOC(生物起源揮発性有機化合物)のNPFへの影響について考察することができるためである。これまで太郎坊では、堀井(2015)¹が2014年7月～12月、須藤(2016)²が2015年1月～8月のデータを解析し、降水時以外は日中ほぼ毎日NPFイベントが発生することを報告している。本研究では2015年11月～2016年8月のデータを解析した。さらに、自由対流圏にある富士山山頂での観測結果と比較することで、エアロゾルの山岳輸送のメカニズムを探ることも本研究の目的とした。

2. 研究方法

データとしては、富士山山麓にある太郎坊(35.332N, 138.804E, 海拔1290m)において2015/10/31～2016/8/3に観測したものと、富士山山頂(35.360N, 138.730E, 海拔3776m)において2016/7/14～2016/8/3に観測したものをを用いた。2地点それぞれにおいて、走査型移動度粒径分布計測器(SMPS, TSI xxxx)によって粒子数濃度を、気象計により風向・風速・気温・湿度・気圧・降雨量を計測し、風向は22°～202°の角度で吹く風を谷風、それ以外の角度で吹く風を山風と分類した。またスカイラジオメータ(Prede POM-02)により計測した直達光強度をグラフ化し、Sun levelが 8×10^3 を境界の目安として、それ以上だったときを日射あり、それ以下だった時を日射なしと判断した。

NPFイベントの定義は、①約25nm以下の粒子数濃度が朝方より明らかに上昇する、②比較的高濃度である状態が3時間以上継続している、の双方を満たすものとした。

3. 結果, 考察

太郎坊における月ごとのNPFイベントの発生率を表1に示す。得られたデータからは季節による明瞭な変化を見ることができなかった。

表1 太郎坊における月ごとの新粒子生成

	2015年11月	2015年12月	2016年1月	2016年2月	2016年3月	2016年4月	2016年5月	2016年6月	2016年7月	2016年8月	計
データ取得日数	30	26	31	13	14	13	0	0	24	6	157
NPF発生日数	22	24	29	10	12	8			17	6	128
NPF発生率	0.73	0.92	0.94	0.77	0.86	0.62			0.71	1.00	0.81

日射量の多い日はバナナシェイプ型の粒径分布がみられ、NPFイベントが発生している(図1)。また、山風(北東の風)から谷風(南西の風)に変わっている午前～正午頃にNPFイベントが開始する日が多かった(図2)。これらを集計しまとめたものが表2である。日射があり谷風である時のNPFイベントの発生確率は極めて高かった。また、太郎坊において夜間にNPFイベントが発生するケースは少なかった。

表2 日射の有無・風向でみた、太郎坊におけるNPF発生の確率

	2015年11月	2015年12月	2016年1月	2016年2月	2016年3月	2016年4月	2016年5月	2016年6月	2016年7月	2016年8月	計
NPF発生日数[日]	22	24	28	10	12	8	17	6	127		127
日射有り[%]	78				100	78	91	100	89		89
谷風時[%]	79	89	89	80	86	62	83	100	84		84
日射有又は谷風[%]	73				85	62	76	100	79		79
日射有かつ谷風[%]	100				100	78	100	100	96		96

降水中は粒径に関わらず全体的に粒子数濃度が少なくなる(図1)。これは、大気中の粒子が洗い流されるためと考えられる。また降水直後のNPFイベントの有無を調べたところ、降水イベント19回に対し直後のNPFイベントは12回(63%)であった。さらに夜157回の間に観測されたNPFイベントは11回だが、このうち5回は降水直後だった。以上よりNPFの発生しにくい夜間を含め降水直後はNPFイベントがみられることが多いといえるが、これは、大気中の粒子が非常に少なくなっている降水直後は、粒子が生成されやすくなっているためだと考えられる。

山頂・山麓間の大気輸送については風向と粒子数濃度から、高濃度粒子の移動があったと思われる期間で考察した。データ取得期間において、山麓から山頂に吹く風による粒子の輸送と考えられる現象を顕著に見ることができなかったが、7/27は、普段であれば粒子数濃度が低くなっている未明に粒子数濃度が突出して高い現象が両地点で見られた

(図3). 実際に観測された風速は太郎坊において 0.50[m/s], 山頂において 2.12[m/s]であったが, 2地点間の直線距離と粒子数濃度のピークの時間差から, 考えられる輸送速度を 0.91[m/s]と求めた. これは風が山頂から山麓に直線的に吹き下ろしていると仮定した場合であるが, 2地点間の平均風速 1.31[m/s]と大差なく, 気塊が山頂から山麓に移動している現象が発生した事例であると考えることができる.

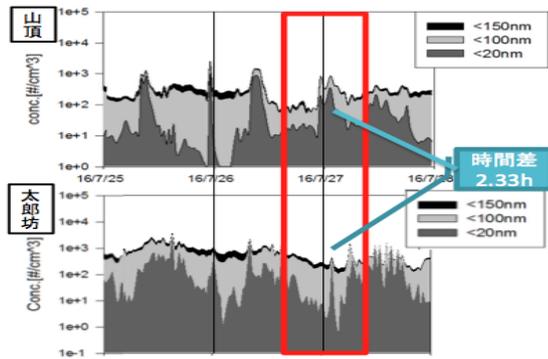


図3 山頂と太郎坊における粒子数濃度

4. まとめ

太郎坊における 2015/10/31~2016/8/3 の観測の結果, デ

ータが取得できた 157 日のうち, NPF イベントが発生した日は 128 日(81%)であった. 取得したデータからは, 粒子数濃度が季節によって変動する様子を見るができなかったが, 世界各地でも見られた山岳地域における谷風条件下でのイベントを確認することができた. 日射が有り, かつ谷風の時, 非常に発生しやすく, その確率は 98%であった. 降水直後は 63%の確率で発生し, NPF イベントの発生しにくい夜間でも観測されやすくなっていた.

富士山山頂における 2016/7/14~2016/8/3 の観測結果と太郎坊におけるものを比較したところ, 山麓から山頂に吹く風による粒子の輸送と考えられる現象は顕著に見ることができなかったが, 7/27 未明に山頂から山麓に吹く風によって粒子が輸送されたと考えられる現象が見られた.

参考文献

- 1) 堀井憲一(2015). 東京理科大学 2014 年度卒業論文.
- 2) 須藤俊明(2016). NPO 第 9 回成果報告会, 52-53.

謝辞 本研究の一部は栗井英朗環境財団の助成を受けて行われた. この場を借りて深く御礼申し上げる.

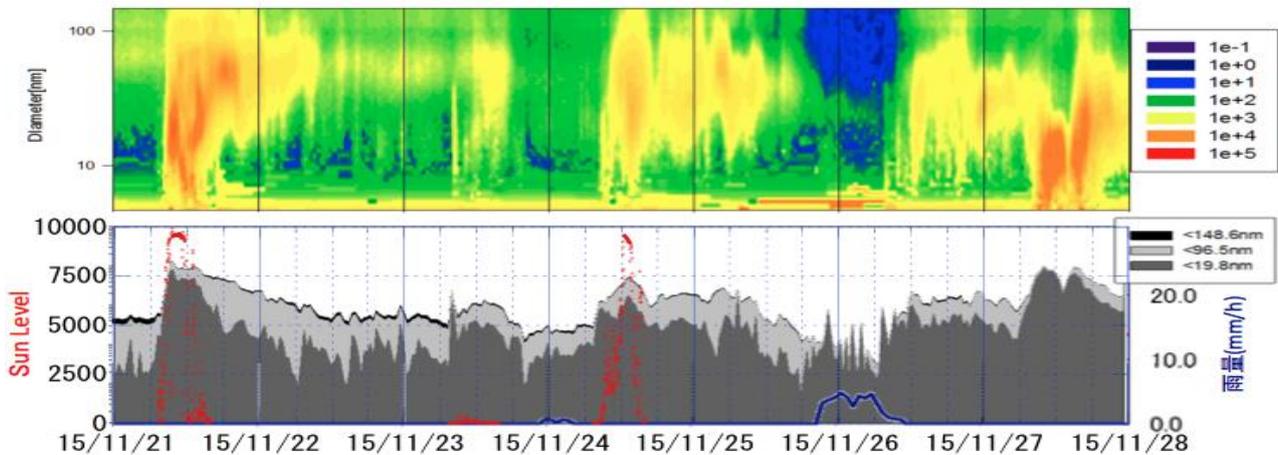


図1 太郎坊における粒径分布・粒子数濃度と直達光強度・降雨量の関係

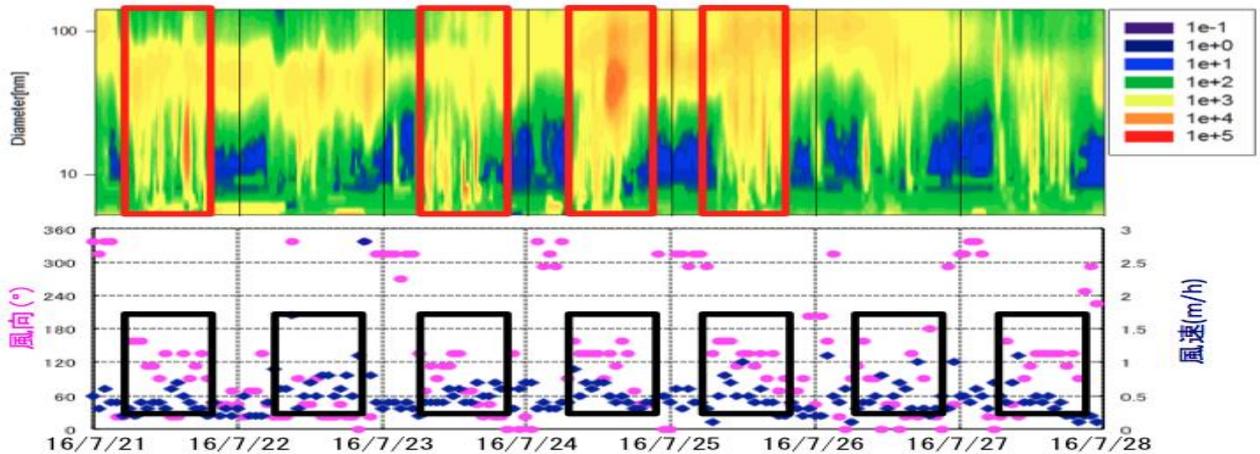


図2 太郎坊における粒径分布と風向・風速の関係

P-12: 2016年夏季における富士山と箱根における火山ガスの観測

山地達也¹, 大河内博¹, 勝見尚也¹, 戸田敬², 溝口峻介², 岩崎真和²

1. 早稲田大学, 2. 熊本大学

1. はじめに

2014年9月27日に御嶽山が噴火し、多くの登山者が無警戒の状態では被災し、多数の尊い人命が失われました。この背景として、従来の火山学に基づく警戒発令体制の不備が指摘されており、新たな観測体制の構築が急がれています。

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

本研究では、将来の富士山噴火に備えて火山ガス(二酸化硫黄と硫化水素)を微量で検出できる装置を開発しました。2016年の夏季に、箱根大涌谷と300年前に噴火した宝永火口で火山ガス調査を初めて行った結果を報告します。

2. 箱根大涌谷での火山ガス調査

約3,000年前の冠ヶ岳の誕生以降、大涌谷周辺で5回ほどの水蒸気爆発が起こったと考えられています¹⁾が、噴火は観測されていませんでした。しかし、2015年4月26日から火山性微動が増加し、2015年6月に箱根火山としては観測史上初めてとなる小規模な噴火が大涌谷で起こりました。その結果、大涌谷周辺の立ち入り禁止となりましたが、2016年7月26日から県道734号(大涌谷-小涌谷線)の大涌谷三叉路から大涌谷園地駐車場までの日中の立入が許可されました。

そこで、2016年8月16日に熊本大学の戸田教授が開発した μ Gas システムを用いて、二酸化硫黄と硫化水素の大涌谷周辺の自動車による走行サーベイと大涌谷駐車場周辺の徒歩調査を熊本大学と早稲田大学の合同調査を行いました(図1)。



図1 箱根大涌谷における火山ガス調査

図2に火山ガス調査の結果を示しますが、走行サーベイでは大涌谷に近づくにつれて二酸化硫黄(青色)濃度が増加しましたが、大涌谷近傍では低濃度であることが分かりました。一方、硫化水素(赤色)は大涌谷のごく近傍は高濃度ですが、周辺道路では検出されませんでした。このような大涌谷周辺の火山ガスの濃度分布は本研究ではじめて分かりました。

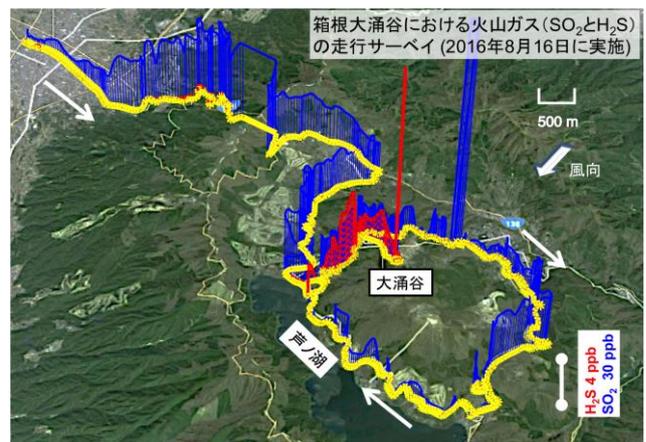


図2 箱根大涌谷とその周辺における火山ガス調査結果

2. 富士山宝永火口での火山ガス調査

宝永噴火は1707年12月16日に発生し、翌1708年1月1日まで16日間続いた噴火であり、富士山としては稀な大規模噴火²⁾です。宝永火口は将来起こりうる富士山の大規模噴火の一つとして考えられており、その兆候を知るには地震計、ひずみ計などの地殻情報とともに、微量火山ガスの観測も有効と考えられます。

将来的には常時監視を目標にしていますが、2016年は徒歩による予備的調査を熊本大学と早稲田大学で行いました。火山ガスは検出されないものと予想していましたが、大涌谷に比べれば低濃度ですが、二酸化硫黄、硫化水素ともに検出されました。

3. おわりに

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

4. 参考文献

- 1) 箱根ジオミュージアム, <http://www.hakone-geomuseum.jp/owakudani/>
- 2) 宮地直道・小山真人 (2007) 富士火山, pp.339-348.

P-13: 富士山体を利用した自由対流圏の雲水化学特性の解明

中村恵¹, 大河内博¹, 小川新¹, 緒方裕子¹, 名古屋俊士¹, 勝見尚也¹, 皆巳幸也², 小林拓³,
三浦和彦⁴, 岩本洋子⁴, 加藤俊吾⁵, 植松光夫⁶

1. 早稲田大学大学院創造理工学研究科, 2. 石川県立大学生物資源環境学部, 3. 山梨大学生命環境学部,
4. 東京理科大学理学部第一部, 5. 首都大学東京都市環境学部, 6. 東京大学大気海洋研究所

1. はじめに

世界的にも 3000 m 以上の高所で大気化学観測を行える場所は限られているが、富士山は標高が 3776 m でスマートな山体の孤立峰であり、山頂は自由対流圏高度に位置する。そのため、国内の大気汚染の影響を受けにくく、日本上空の大気中および雲水中の様々な物質のバックグラウンド濃度、アジア大陸からの長距離輸送による越境汚染の状況、ガス-エアロゾル-雲相互作用の観測を行うことができる。また、山頂は森林限界以上にあることから、樹木に妨げられることなく雲水の採取ができる。ここでは、雲水中の主要無機イオンと微量元素元素に焦点を当て、自由対流圏高度における雲水化学特性について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

富士山頂 (3776 m) での雲水採取には細線式パッシブサンプラー (臼井工業, FWP-500) を用いた。試料は回収後に密栓して冷蔵保存して研究室に持ち帰り、0.45 μm メンブランフィルターで吸引ろ過後に、直ちに pH と導電率を測定した。主要無機イオンの分析はイオンクロマトグラフ (陽イオン:DX-1000, 陰イオン:DX-320), 微量元素元素 (Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb) は ICP-MS (Agilent 7700x), 水銀の分析は還元気化水銀測定装置 (日本インスツルメンツ, マーキュリー/RA-3) で行った。ここで、総水銀 (Hg-T) はろ過前の分析値, 溶存態水銀 (Hg-D) はろ過後の分析値, 懸濁態水銀 (Hg-P) は総水銀から溶存

態水銀の分析値を引いた値と定義した。雲発生時間中の空気塊については、後方流跡線解析 (HYSPPLIT: <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPPLIT.php>) を行った。

3. 結果と考察

Fig. 1 に 2014 年における溶存態微量元素の空気塊毎の濃度を示す。棒グラフで大陸北部, 大陸南部, 海洋由来の空気塊が輸送された場合の雲水中の各元素の濃度を示した。また、折れ線グラフで大陸由来と海洋由来の雲水の濃度比を示す。ほぼすべての元素において大陸北部で最も濃度が高く, 海洋由来の雲水で最も濃度が低くなる傾向が見られた。特に, As, Se, Cd ではその濃度差が大きく, 大陸と海洋の濃度比が他元素に比べて非常に高くなった。また, As に対する Se, Cd, nss-SO₄²⁻の相関分析を行った。その結果, 非常に高い相関が見られた。As, Se, Cd, nss-SO₄²⁻は石炭燃焼に由来すると考えられることから大陸からの越境汚染が考えられる。

Fig. 2 に 2014 年における各イオン, 溶存態微量元素の雲水中高度別空気塊毎の濃度比を示す。ここで, 2000 m 以上は, 空気塊が後方流跡線の解析時間 (72 時間) 中に 2000 m 以上のみを通過した雲とした。2000 m 以下は, 後方流跡線の出発点のうち, 半分以上が 2000 m 以下を通過している場合とした。これを踏まえて, 2000 m 以下を通過した雲の濃度を分子, 2000 m 以上を通過した雲の濃度を分母とした。大陸北部では Hg 以外のイオン, 微量元素で比が 1

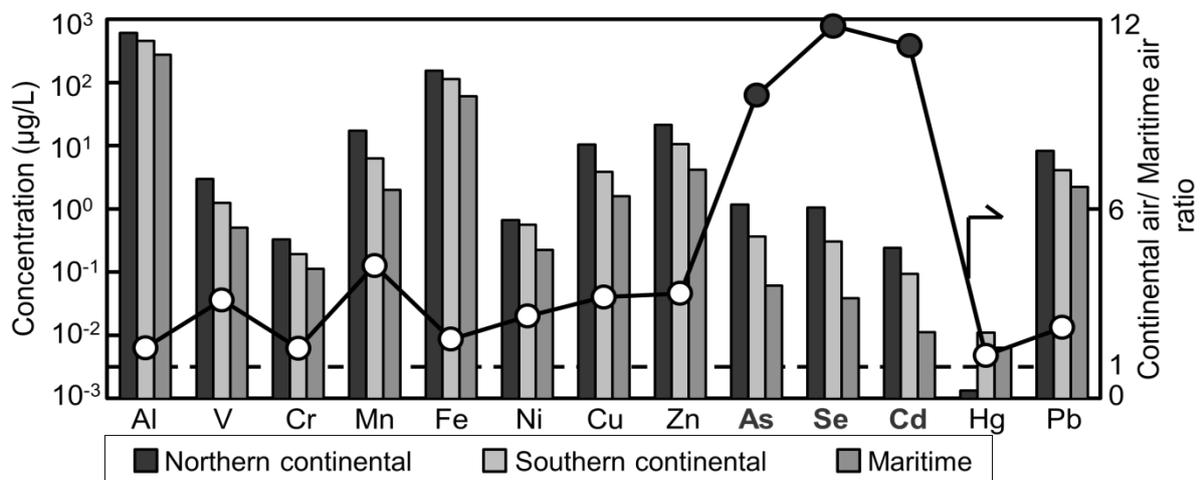


Fig. 1 Comparison of trace metals according to the origin of air mass in 2014

以上となり、2000 m 以下の雲水で濃度が非常に大きくなる傾向が見られた。後方流跡線の解析時間を 2 週間としてみると、2000 m 以上の雲水のうち高度 10 km から下降している雲水で最も溶存態 Hg 濃度が高くなった。このことから、上空において元素状 Hg が酸化されることで雲水に含まれると考えられる。具体的にはオゾンの存在がある。オゾンは高度が 10 km を超えるとその濃度が上昇する¹⁾。オゾン濃度が上昇することで大気中の元素状 Hg がオゾンにより酸化される速度が上昇し、粒子状 Hg である HgO になり²⁾、雲水に含まれることとなったと考えられる。

海洋由来の雲ではすべてのイオンと微量金属元素で比が 1 付近を示し、雲水中濃度は輸送高度に依存していないことが分かった。一方、大陸南部由来の雲水では比が 1 を下回るイオン、微量金属元素が多く、特に SO₄²⁻、Cr、Zn、Cd で顕著であった。

4. 結論

自由対流圏の雲水では空気塊別に分類して濃度を比較することで、輸送経路により濃度に大きな差が見られ、特に

As、Se、Cd でその濃度差が顕著であることが示唆された。また、これらの元素には高い相関関係が見られたことと、石炭燃焼由来の元素であることから、大陸からの越境汚染の影響があることが示唆された。さらに、高度別に分類して濃度を比較することで、輸送高度により濃度に大きな差が見られ、特に大陸北部でその高度別の濃度差が顕著であることが示唆された。

参考文献

- 1) United Nations Environment Programme, World Meteorological Organization, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Aeronautics and Space Administration (1994). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994 Executive Summary. World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 37, xxv.
- 2) 津崎昌東, 速水洋, 朝倉一雄 (2006). 東アジアを対象とした水銀の輸送モデルの開発. 電力中央研究所報告 研究報告:V05014, 3-4.

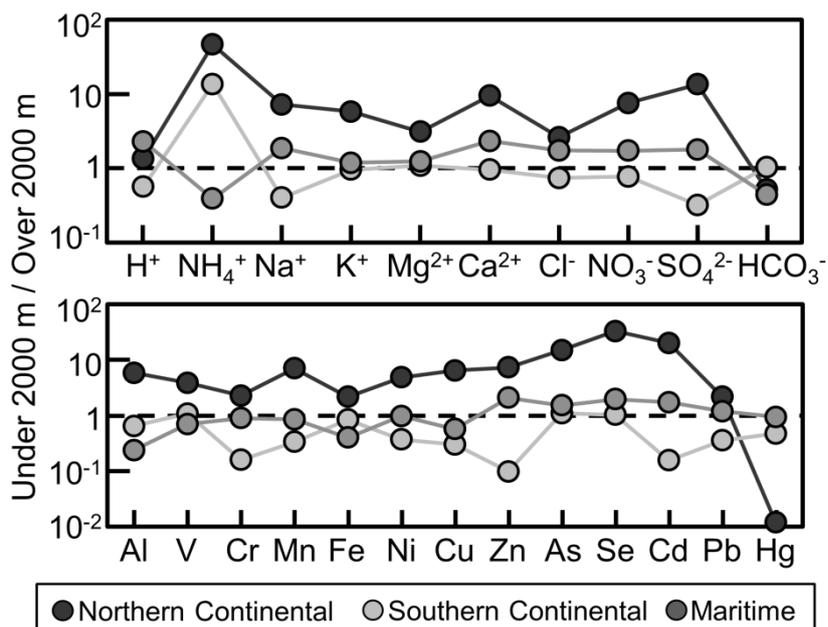


Fig. 2 Concentration ratio of major ions and dissolved trace metals in cloud water with respect to altitude

P-14: 富士山頂におけるナノ粒子の粒径分布の測定

村本慎仁¹, Indra Chandra¹, 猪股弥生¹, 東秀憲¹, 大谷吉生¹, 瀬戸章文¹, 三浦和彦², 岩本洋子², 加藤俊吾³

1. 金沢大学, 2. 東京理科大学, 3. 首都大学東京

1. はじめに

富士山は標高3776 mの孤立峰であるため地表付近(あるいは境界層)の影響が少なく, 自由対流圏における粒子濃度や東アジアから輸送された越境大気汚染物質を測定するのに適している. 大気エアロゾルは太陽光の散乱・吸収, さらに雲凝結核として作用するため, 地球の気候変動に重要な影響を及ぼすと考えられている.

これまでに富士山頂で実施された観測では, 新粒子生成が頻繁に観測されているが¹⁻⁵⁾, その粒径は5~5000 nmであり, 新粒子生成過程を明らかにするためには, より小さい粒径からの測定が必要である. そこで, 本発表では, 静電分級器(DMA: TSI Inc., Model3085)と凝縮核计数器(CPC: TSI Inc., Model3776)を組み合わせた走査式移動度計測装置(Nano-SMPS)を開発し⁶⁾, 粒径2.5 nm~64 nmまでの粒子を計測した結果について発表する.

2. 方法

観測期間は2016年7月14日から8月23日まで, 富士山特別地域気象観測所(N:35.21度, E:138.43度)でおこなった. そのうち7月16日から7月29日までは計測装置(DMA)のトラブルによりデータの取得はできなかった. 図1に, 実験装置の写真を示す. 大気試料は10 L/minで吸入し, ディフュージョンドライヤーにより乾燥させた後, DMAで粒子を分級し, CPCで個数濃度を検出した. 空気塊の輸送経路を調べるために, NOAA HYSPLITモデル(http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.php)を用いて, 48時間後方流跡線解析を行った.



図1 走査式移動度計測装置(Nano-SMPS)による計測

3. 結果と考察

図2に2016年7月14日から8月23日に富士山頂において観測した(a)粒径分布, (b)核生成モード(3~25 nm)およびAitkenモード(25~100 nm)の個数濃度, (c) O₃およびSO₂濃度の時間変動を示す. 観測期間中, 3 nm以下の粒子が生成する顕著な新粒子生成イベントは見られなかったものの, 粒子個数濃度が増加するイベントが何度かあった(図2(a)). これらのイベント時には, 25 nm<D_p<100 nmの範囲の核生成モードの粒径範囲の濃度の急激な増加に関連して粒子の成長が見られた(図2(b)).

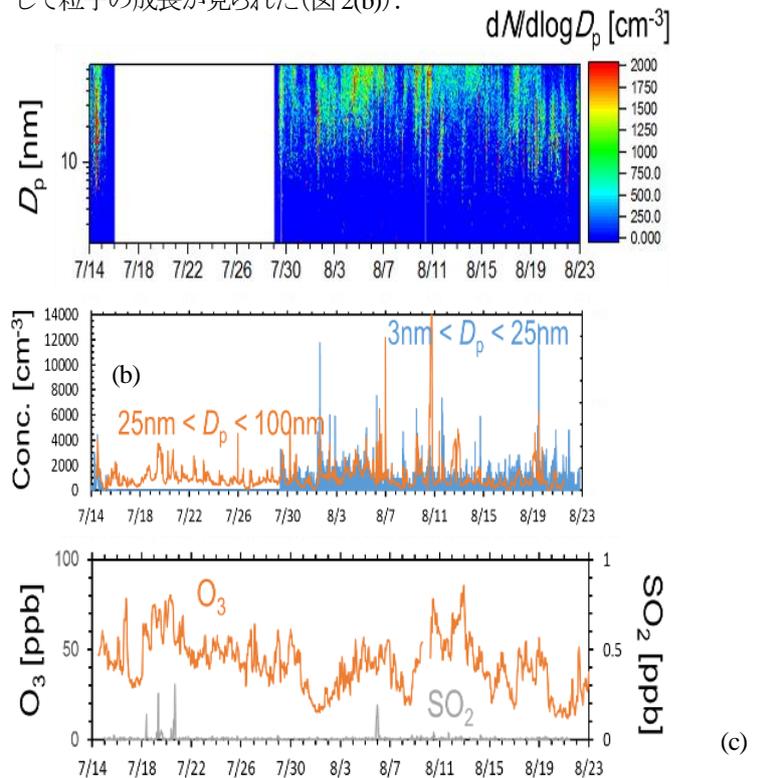


図2 2016年7月14日から8月23日に富士山頂で観測した(a)粒径分布, (b)粒径別粒子個数濃度, (c)O₃とSO₂

2016年8月10~12日にかけて, O₃濃度が高く, 相対湿度(RH)が低い期間があった. そのうち, 8月10日から8月11日の粒径分布, O₃およびSO₂濃度, 気温(T)・相対湿度(RH)を図3に示す. この日のイベントは, O₃濃度が高く(最大:78.2 ppb, 平均:65.3 ppb), また, 相対湿度が非常に低い(10%)ときに始まっていた. 天気図から, 日本上空は高気圧に覆われていたこと, O₃濃度に日変化が認められないことから, より高い高度からの空気が沈降していたと考えられる. また, この日の後方流跡線(図4)から, 観測された大気

はアジア大陸上空(朝鮮半島, モンゴル)の比較的低い高度(境界層に相当する2000 m以下)を通過しており, アジア大陸起源の汚染物質(前駆気体)の輸送もあった可能性がある。

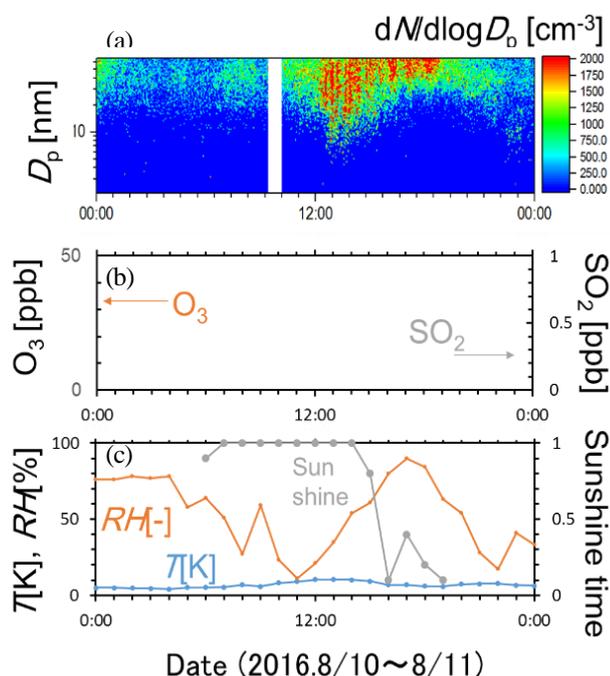


図3 2016年8月10日から8月11日の富士山頂における (a)粒径分布, (b) O_3 と SO_2 濃度, (c) 相対湿度, 温度および日照時間。

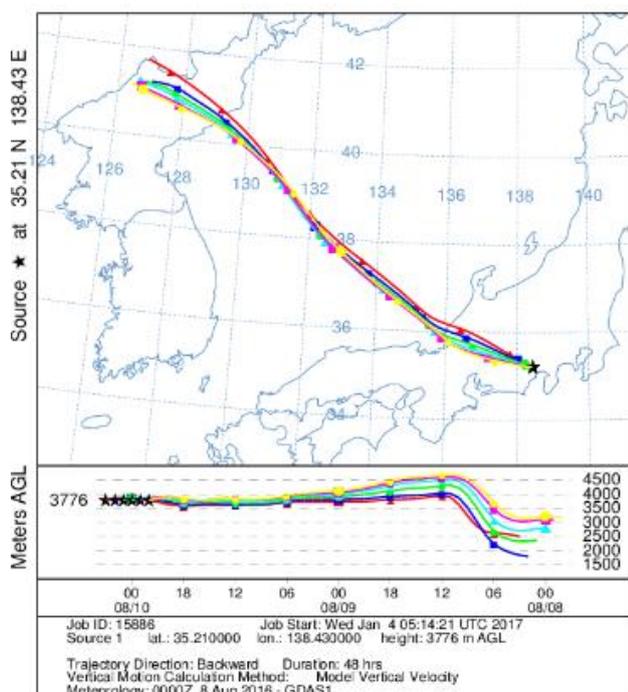


図4 2016年8月10日の後方流跡線

4. おわりに

今回の観測では, これまで観測できなかった小さいナノ粒子の測定に成功した. 粒子径 3 nm 以下の顕著な新粒子生成イベントは見られなかったが, 粒子個数濃度が増加するイベントが何度か観測された. これらのイベントは, 特に O_3 濃度が高く, 相対湿度 RH が低いときに発生した. 今後は他の要素との比較も行い, さらなる関連について検討する。

参考文献

- 1) キャリン・セレグリ, 松木 篤, ジュリアン・ブーロン (2010). 富士山山頂における新粒子生成の観測. 2010年度富士山測候所 研究報告書(速報 その8).
- 2) Nagaoka, N., Miura, K., Ueda, S., Kato, S., Uno, I. (2013). Observation of new particle formation at the summit of Mt. Fuji. American Geophysical Union, Fall Meeting 2013, abstract #A53F-0238.
- 3) 片岡良太, 堀井憲一, 横山慎太郎, 渡辺彩水, 三浦和彦, 岩本洋子, 加藤俊吾, 小林拓 (2015). 富士山頂における新粒子生成に関する研究. 第8回成果報告会講演予稿集, P-02.
- 4) 監物友幸, 須藤俊明, 川口尚輝, 片岡良太, 岩本洋子, 三浦和彦, 加藤俊吾 (2016). 富士山頂における粒径分布の測定. 第9回成果報告会講演予稿集, 54-55.
- 5) 片岡良太, 監物友幸, 須藤俊明, 川口尚輝, 岩本洋子, 三浦和彦, 加藤俊吾 (2016). 富士山頂および富士山麓太郎坊における粒径分布の測定. 第9回成果報告会講演予稿集, 56-57.
- 6) Seto, T., Seyoung, K., Otani, Y., Takami, A., Kaneyasu, N., Fujimoto, T., Okuyama, K., Takamura, T., Hatakeyama, S. (2013). New particle formation and growth associated with East-Asia long range transportation observed at Fukue Island, Japan in March 2012, Atmospheric Environment, 74, 29-36.

P-15: 積乱雲のてっぺんからジャンプする雲(jumping cirrus)の特徴

岩崎杉紀¹, 鴨川仁², 久保田尚之³, 岡本創⁴, 石元裕史⁵, 牛山朋来⁶

1.防衛大学校, 2.東京学芸大, 3.東京大, 4.九州大, 5.気象研, 6.土木研

1. はじめに

成層圏の水蒸気量は地球の温暖化計算の精密化には不可欠であることは知られている¹⁾。しかし、成層圏の水蒸気量がどのように供給されているか、定量的には分かっていない。Dessler et al. (2016)は気候モデルを用い、成層圏の水蒸気の上昇量の50-80%は熱帯圏界面(TTL)の温暖化で説明できるが、それ以外は積乱雲などでTTLや下部成層圏に運ばれた雲粒による昇華によるものではないかと示した。積乱雲は氷粒を下部成層圏に運び加湿すると述べている。しかし、古くはDanielsen (1982)が、積乱雲は空気を断熱過程で上昇させるので、積乱雲の上端の空気は冷たく(冷たいと飽和水蒸気圧も低くなるので)乾燥しており、放射も考慮すると成層圏を乾燥させることを提案した。いまだに積乱雲は成層圏を加湿するのか乾燥させるのかまだ分かっていない。

一方、Setvák et al. (2008)は、活発な積乱雲の上の成層圏が湿っていることを観測から示した。この現象はFujita (1983)が飛行機観測で撮影した「積乱雲のかなとこ雲から1-2kmジャンプする雲(jumping cirrus と命名)」の雲粒が昇華して加湿したのではないかと推測した。Wang (2004)でjumping cirrus が実在できることを数値実験で確認したとはいえ、定量的な観測がないため、jumping cirrus はどのような条件でどの程度ジャンプするのか、1回のジャンプで供給する水の量、といった基本的なことさえ分かっていない雲である。

本研究では、富士山特別地域気象観測所(旧富士山測候所)にカメラを設置し、jumping cirrus の形態からその特徴を理解することを目的とする。

2. 観測方法

2016年7月11日から8月11日の1か月間、1,000万画素のUSB3.0カメラ3台並べてパノラマ撮影を行った。カメラ



図1 山頂に設置した北から東北東に向けたカメラ。



図2 北からの等方位角(縦線)と等仰角(横線)のグリッド線を写真に添付した例。カメラから対流の距離が分かるので、左下の線の長さが2kmに対応する。2015年の山頂に設置された学芸大カメラの画像利用。

一台の水平視野角は25度なので、隣り合うカメラの画像の重複を入れるとおおよそ70度の視野のあるパノラマ写真となる。図1のようにカメラを並べ、北から東北東を撮影した。なお、地上付近をあまり撮影しないように仰角は8度とした。USB3.0のケーブル長は規格で3mまでしか動作保証していない。パソコンと屋外のカメラをつなぐには短すぎるので、パソコンから規格外の30mのUSB3.0の延長ケーブルをつなげ、その先にUSB3.0のハブを使い3台のカメラを接続した。ハブと延長ケーブルにそれぞれ電源が必要である。同様のカメラは防衛大学校の屋上(横須賀市、標高100m程度)にも設置した。

カメラの設定を、日中は15秒ごとに1枚撮影、夜間は1分に1枚撮影とした。夜間の撮影は雲観測用ではなく、星撮影用である。

3. 解析方法

解析手順は以下のとおりである。

1. 写真内の星の座標と星図を比較することで1ピクセルごとに北からの方位角と仰角を求める(図2)。
2. 時系列に並んだ写真を動画に変換し、積乱雲やその周辺から雲がジャンプしているものをjumping cirrus候補とする。ジャンプの判定は肉眼で行う。また、その候補の雲の方位角と仰角を求める。
3. 山頂から方位角方向にある活発な積乱雲の位置を10分

毎のレーダ画像から特定する。そこ富士山頂との距離を求め、仰角・距離・地球の曲率から雲頂高度が圏界面に達しているか否かを判定した。圏界面に達しているものを *jumping cirrus* とした。なお、圏界面の高度は館野(つくば市)のラジオゾンデの気温の鉛直分布を用いた。

4. 結果

2016年の解析がまだ途中のため、*jumping cirrus* 候補(圏界面まで達しているか未確認)の簡単なまとめを述べる。

2016年は、山頂のカメラに7個 *jumping cirrus* 候補が撮影出来た。すべて7月29日以降である。東海から関東にかけての梅雨明けは7月28-29日なので、梅雨明け以降に観測されていた。梅雨の間は、対流がないか山頂に雲がかかるといふため何も見えないかのどちらかであった。北向きカメラ(北関東から南福島)が5個と最も多く撮影できた。図3に2016年8月2日の例を載せる。この *jumping cirrus* が撮影された時、都心では1時間に20mm前後の雨が降っていた。この積乱雲は千葉市に設置されている日本無線の気象用 *phased array radar* (従来の気象レーダより時間分解能が10倍程度高い)で観測で来ているはずである。

一方、防大カメラは、この1か月間は *jumping cirrus* 候補は一つも撮影できなかった。これは下層雲に視界が遮られることが多かったためである。図3の例の8月2日も撮影はしているが、多くの下層雲に視界を遮られ、該当する積乱雲を特定することさえできなかった。

少なくとも2016年夏では、通常の地表面(横須賀)より富士山山頂のほうが *jumping cirrus* を観測しやすかったことが分かる。

5. おわりに

2016年度は初観測ではあったが、カメラ用のパソコンの操作をネットワーク経由で行えたので、大きな問題なく1か月間の観測を終えることが出来た。成果報告会では、今回の観測された *jumping cirrus* の特徴を定量的に報告する。

以下に来年度の課題を述べる。今回使ったカメラは自動で絞りを変える機能(*auto iris*)は有していない。来年度は、紫外線が当たると暗くなる平板の調光板をカメラとカメラケースのガラスの間に挟み *auto iris* 代わりとする予定である。すでにテストを行い、絞りを全開にしても雲を白飛びすることなく撮影できることを確認している。また、夜間は半月程度でも雲を撮影できる *GigE* カメラを導入する。*GigE* カメラとは、*Lan* ケーブルだけでデータ通信と電源供給できるものである。配線が普通の *Lan* ケーブルだけですので、*Hub* から数十メートルまで伸ばすことが出来る。これらにより設置を容易にし、夕方の積乱雲が活発な時間も撮影がしやすくなる。

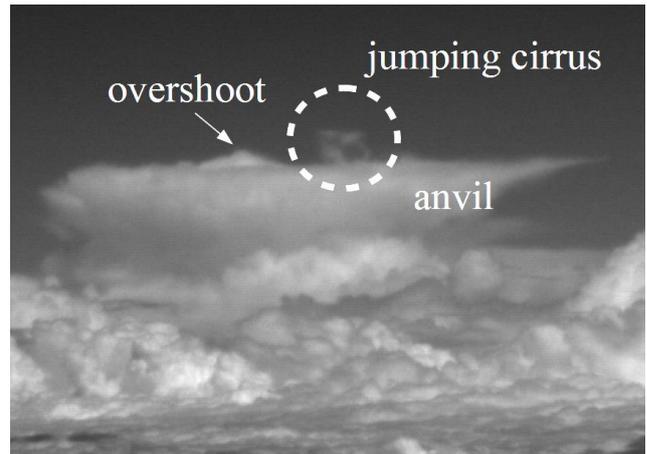


図3 2016年8月2日12時27分に山頂から東北東の方向(都心の方向)に撮影された *jumping cirrus* (候補)の例。積乱雲の中にある個々の対流(*turret*)の中には発達して下部成層圏に達するもの(*overshoot*)がある。*Jumping cirrus* を誘発した *overshoot* はすでに沈んで見ることは出来ない。写真の *overshoot* は *jumping cirrus* を誘発しなかった。

謝辞

本研究の一部は、九州大学応用力学研究所の共同利用研究の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Solomon et al. (2010). Contributions of Stratospheric Water Vapor to Decadal Changes in the Rate of Global Warming, *Science*, **327**, 1219-1223.
- 2) Dessler et al. (2016). Transport of ice into the stratosphere and the humidification of the stratosphere over the 21st century, *Geophys. Res. Lett.*, **43**, 2323-2329.
- 3) Danielsen, E.F. (1993). In situ evidence of rapid, vertical, irreversible transport of lower tropospheric air into the lower tropical stratosphere by convective cloud turrets and by large scale upwelling in tropical cyclones. *J. Geophys. Res.*, **98** (D5), 8665-8681.
- 4) Fujita, T. T. (1982). Principle of stereographic height computations and their application to stratospheric cirrus over severe thunderstorms. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **60**, 355-368.
- 5) Wang, P. K. (2004). A cloud model interpretation of jumping cirrus above storm top. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L18106, doi: 10.1029/2004GL020787.