第 7 回成果報告会

講演予稿集

2014 年 1 月 26 日（日）

東京大学小柴ホール

NPO 法人富士山測候所を活用する会
東京理科大学総合研究機構山岳大気研究部門

第 7 回成果報告会 発表論文

Ⅰ. 口頭発表

【セッション1】雷・放射線・大気電気　　座長:佐々木一哉(東海大学・准教授)

ID	タイトル	発表者・所属
O-01	富士山測候所外部環境下観測システムの雷対策案と落雷により山麓への接地線に流れる電流の観測準備 ＊一般財団法人新技術振興渡辺記念会 2008 年度－2011 年度受託、2012 年度助成 ＊三井物産環境基金活動助成 2010 年度-2013 年度	○安本勝(東京大学、現(株)アンテック)、佐々木一哉(東海大学)、高橋浩之(東京大学)、鴨川仁(東京学芸大学)、野村渉平、向井人史(国立環境研究所)大胡田智寿、土器屋由紀子(富士山測候所を活用する会)
O-02	宇宙線被ばく線量評価の信頼性向上を目的とした富士山頂での放射線モニタリング	○矢島千秋、松澤孝男、保田浩志、米原英典 (放射線医学総合研究所)
O-03	2013 年富士山山頂で行われた大気電気研究	○鴨川仁(東京学芸大学), 鳥居建男(日本原子力研究開発機構), 鈴木裕子(東京学芸大学)

【セッション 2】大気化学　　座長:皆巳 幸也(石川県立大学・准教授)

ID	タイトル	発表者・所属
O-04	富士山頂の二酸化炭素濃度推移が示すこと	○野村渉平、向井人史(国立環境研究所)
O-05	富士山頂における大気中水銀の連続観測と同期する大気汚染物質の観測及び湿性降下物中の水銀濃度の把握	○永淵修、中澤暦(滋賀県立大学)、横田久里子(豊橋技術科学大学)、加藤俊吾(首都大学東京)、西田友規、菱田尚子(滋賀県立大学大学院)
O-06	富士山体を利用したエアロゾルの気候影響の研究―ラドン・イオンで気候変化を探る	○三浦和彦(東理大・理)、永野勝裕(東理大・理工)、小林 拓(山梨大学)
O-07	富士山体を利用した自由対流圏高度におけるエアロゾル－雲－降水相互作用の観測 (1)	○大河内博 (早稲田大学創造理工学部)、緒方裕子、香村一夫, 名古屋俊士(早稲田大学)、皆巳幸也(石川県立大学)、米持真一(埼玉県環境科学国際センター)、竹内政樹(徳島大学)

【セッション 3】教育・高所医学　　座長:井出 里香(都立大塚病院耳鼻咽喉科・医長)

ID	タイトル	発表者・所属
O-08	富士山頂短期滞在時の安静及び運動の動脈系血行動態に及ぼす影響に関する研究	○岡崎和伸(大阪市立大学)、堀内雅弘(山梨県環境科学研究所)、浅野勝己(筑波大学名誉教授)
O-09	「理科準備室へようこそ」～ 富士山頂での教材開発 II ～ ＊公益財団法人日本科学協会 2013 年度笹川科学研究助成[実践研究]	○古田豊(立教新座中学校・高等学校), 島野誠大(十文字中学高等学校),齊藤太郎,渡部智博,林壮一,綾部俊二(立教新座中学校・高等学校)

おもて表紙写真 (撮影場所:富士山南東面標高約 1500㍍付近/撮影日:2013 年 5 月 6 日/撮影者:岩崎 洋)
うら表紙写真(撮影場所:富士山麓太郎坊標高約 1300㍍/撮影日:2013 年 7 月 18 日/撮影者:土器屋由紀子)

Ⅱ. ポスター発表

ID	タイトル	発表者・所属
P-01	富士山頂での粒径別エアロゾル化学成分 ＊公益財団法人日立環境財団 2013 年度助成	○鈴木慶、島田幸治郎、畠山史郎 （東京農工大学）
P-02	2013 年富士山頂での CO,O3,SO2 の観測	○加藤俊吾、塩原 靖弘（首都大学東京），三浦和彦（東京理科大学）
P-03	夏季の富士山頂におけるオゾン・一酸化炭素の 2008-2013 年の比較	○塩原靖弘、加藤俊吾（首都大学東京）、内山一美（首都大学東京大学院），梶井克純（京都大学大学院）
P-04	富士山周辺におけるラドン・トロン娘核種の変動要因に関する研究	○府川明彦・上田修裕・古川理央・三浦和彦（東京理科大学）、永野勝裕・児島 紘（東京理科大学・理工）
P-05	富士山頂で測定した雲凝結核濃度と雲粒濃度	○渡辺彩水・青柳聡太・三浦和彦（東京理科大学・理）、古谷浩志・植松光夫（東京大学・大気海洋研）、大河内博（早稲田大学）
P-06	富士山周辺におけるエアロゾルの光学特性	○中原勇希・中﨑翔太・三浦和彦（東京理科大学）、青木一真（富山大学）
P-07	2013 年夏季富士山頂における偏光 OPC の観測結果	○鷹取 翔, 大橋 正典, 小林 拓 （山梨大学），三浦 和彦（東京理科大学）
P-08	2013 年富士山山頂で観測された雷雲に関連する高エネルギー放射線	○齋藤将監, 庄司智美, 鈴木裕子, 片倉翔(東京学芸大学), 鳥居建男（日本原子力研究開発機構），杉田武志（SSL），楠研一（気象研究所），鈴木智幸, 鴨川 仁（東京学芸大学）
P-09	2013 年富士山山頂で観測された雷雲時の高エネルギー放射線と大気電場	○庄司智美, 齋藤将監, 鈴木裕子, 片倉翔(東京学芸大学), 鳥居建男（日本原子力研究開発機構），杉田武志（SSL），楠研一（気象研究所），鈴木智幸, 鴨川仁（東京学芸大学）
P-10	富士山山頂でカラー撮影された房総沖上空のスプライト	○鈴木裕子, 鈴木智幸, 鴨川 仁 (東京学芸大),奇跡の地球物語撮影班(ジャンプコーポレーション・テレビ朝日)
P-11	富士山山頂で行う定点高高度発光現象観測	○鈴木智幸, 鈴木裕子, 齋藤将監, 庄司智美, 鴨川仁 (東京学芸大)，鳥居建男(日本原子力研究開発機構)
P-12	2012-2013 に行った富士山山頂越冬用気象環境データ記録の動作結果	○須藤雄志, 東郷翔帆, 田中利佳, 中村真帆(東京学芸大), 藤原博伸(私立女子聖学院高等学校), 稲崎弘次(東山技研), 岩崎洋, 川原庸照, 土器屋由紀子, 鴨川仁(NPO 富士山測候所を活用する会)
P-13	2013-2014 に行う富士山山頂越冬データ取得システムの概要	○東郷翔帆, 須藤雄志, 田中利佳, 中村真帆(東京学芸大), 藤原博伸(私立女子聖学院高等学校), 稲崎弘次(東山技研), 岩崎洋, 川原庸照, 土器屋由紀子, 鴨川仁(NPO 富士山測候所を活用する会)
P-14	富士山測候所を利用した安全な雷観測に関する教材作成 ＊東京応化科学技術振興財団 2013 年度助成「科学技術普及・啓発助成部門」	○鴨川仁, 鈴木裕子, 安本勝, 土器屋由紀子(富士山測候所を活用する会)
P-15	富士山頂に貯蔵した茶の熟成効果	○土屋雄人、勝野剛、大宮琢磨、畑中義生、後藤 正（静岡県農林技術研究所茶業研究センター）
P-16	富士山頂で貯蔵した農畜産物の品質変化	○山本寛人（静岡県農林技術研究所），澤野郁夫、増田浩章（静岡県東部農林事務所）後藤正、土屋雄人（静岡県農林技術研究所茶業研究センター），齋藤美英（静岡県畜産技術研究所）岩原健二（静岡県工業技術研究所）
P-17	「理科準備室へようこそ」～ 富士山頂での教材開発 Ⅱ ～	○古田豊(立教新座中学校・高等学校),島野誠大(十文字中学高等学校),齊藤太郎,渡部智博,林壮一,綾部俊二(立教新座中学校・高等学校)
P-18	富士山頂実験室	○佐藤 元（黄金雲プロジェクト）
P-19	簡易同時計数回路による富士山頂の 2 次宇宙線強度の連続測定	○松澤孝男,矢島千秋,保田浩志 （放射線医学総合研究所）
P-20	富士山体を利用した自由対流圏高度におけるエアロゾル－雲－降水相互作用の観測 （2） ＊公益財団法人粟井英朗環境財団 2013 年度助成	○大河内博 (早稲田大学)、緒方裕子、香村一夫, 名古屋俊士（早稲田大学）、皆巳幸也（石川県立大学）、米持真一（埼玉県環境科学国際センター）、竹内政樹（徳島大学）

O-01：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

安本勝[1]、佐々木一哉[2]、高橋浩之[3]、鴨川仁[4]、野村渉平[5]、向井人史[5]、大胡田智寿[6]、土器屋由紀子[6]
1. 東京大学(現(株)アンテック)、2. 東海大学、3. 東京大学、4. 東京学芸大学、5. 国立環境研究所、
6. NPO 法人「富士山測候所を活用する会」

1. はじめに

著者らは、測候所の雷対策方法の研究・提案を行っている。本年度は、二つの点について次年度実施のための準備を行った。一つは、昨年度 CO_2 観測システムが測候所被雷による誘導雷によりデータ送信ができなくなった原因究明とその過程で行った、富士山環境下での測候所に適用する一般的な雷対策方法と問題になっているCO_2観測システムの具体的実施案の検討である。二つ目は、山麓側接地線に流れる電流測定方法である。2012 年度に測候所被雷電流を観測する目的で山麓への接地線に流れる電流観測を実施したが、その夏期間測候所への落雷は無く、落雷電流は観測できなかった。代わって予想していなかった周囲の落雷現象により接地線に流れる電流が観測でき、また測候所に電源供給している高圧電源の操作時や地絡時に流れる電流を観測した。このときの周辺の落雷頻度は高く、マニュアル観測では追従できないことが分かり、本年度は次年度自動観測を実施するための準備を行った。またこの接地線の電流検出感度を高めることで目的以外の新たな現象を見いだせることを期待して電流検出感度を向上させた検出器による予備測定の検討も行った。

2. 富士山測候所の現状の接地系統

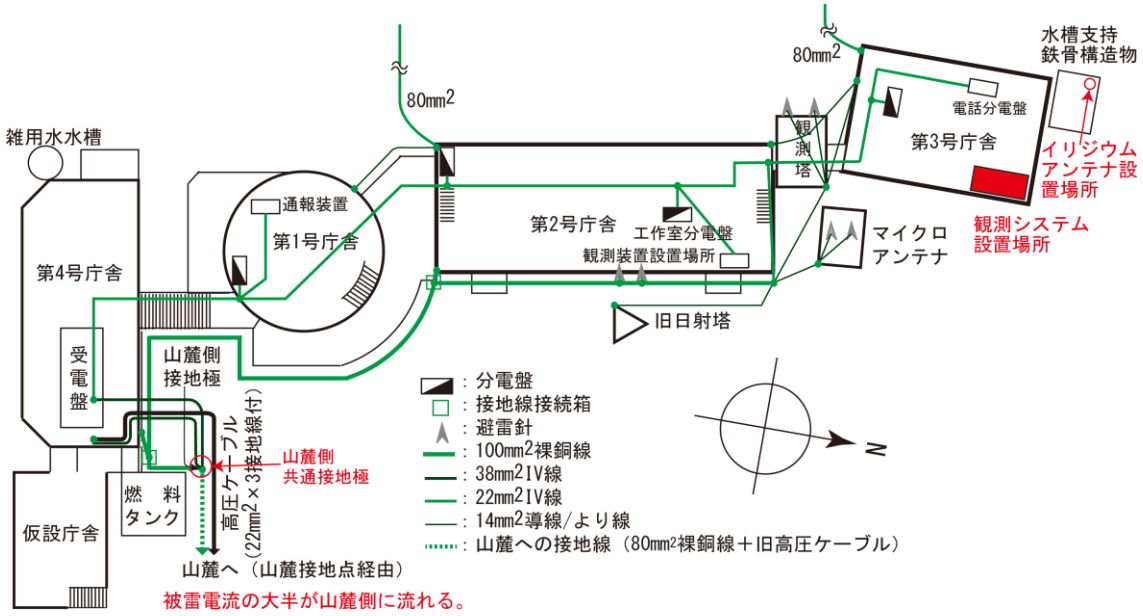


図１　富士山測候所接地系統の概要

富士山測候所は富士山頂の剣が峰(3776 m)にある。標高が高いため落雷頻度は高く、その対応のため各庁舎の外表面は金属製覆いで覆われファラデーケージを考えた構成になっている。ただし部材間の接続や接地経路のインピーダンスは、落雷電流の大きさを考えると無視できるほど小さくなく、理想的になっていない。また、雷電流を大地に逃がすため、接地抵抗の低減がなされているが、岩盤であるため小さくできない。基礎や接地極の接地抵抗は測定限界の 300 Ω以上である。測候所全体でも 100 Ωを超えているものと推測している。そのため接地は山麓側でも行われ、その接地が測候所と繋がっている。この接地抵抗は 10 Ω以下で、測候所の接地抵抗を決めている。図1は富士山測候所の全体の接地系統を示したものである。落雷電流の大半は接地抵抗の低い山麓側接地線に流れるため、測候所の電位

分布は、測候所の落雷地点から山麓側の雷電流路に沿って存在するインピーダンスとそこに流れる雷電流との積の電圧降下によって生じることになる。

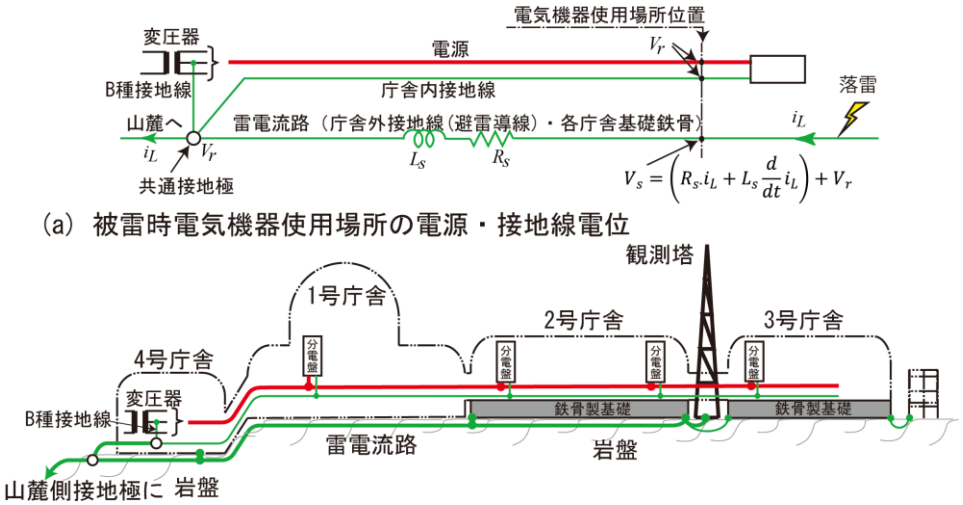
CO_2観測システムの設置場所は、図１に示す、第３号庁舎の２階北東角に、データ送信に使用するイリジウムアンテナは雪囲い付水槽支持鉄骨構造物（以下、鉄骨構造物）の北西に設置している。鉄骨構造物と第３号庁舎の基礎鉄骨との接続は最短距離で複数接続されておらずインダクタンス低減対策が考慮されていない。このことが、鉄骨構造物が被雷したときに大きな電位上昇をもたらしアンテナから静電誘導によるサージ電圧が侵入したものと推測される。このトラブル例は、測候所の落雷位置によっては十分な小さなインピーダンスの落雷電流路が確保されていない場所があることを示す一例である。

測候所の接地インピーダンスは、測候所設置場所の接地インピーダンスが大きく山麓側の低い接地インピーダンスで決まる。そのため、測候所被雷時の雷電流の大半は山麓側の接地に繋がる接地線に流れる。このことに着目すると、測候所の山麓側に繋がる接地線に流れる電流を測定することで測候所被雷電流の観測が可能になる。しかし、現状の山麓側に繋がる接地線は、①高圧ケーブル内の接地線、②80 mm² 裸銅線、および③旧高圧ケーブルの３系統がある。将来的には3系統を一つにまとめる必要があるが、必要工事規模や費用等を考慮すると容易ではなく、次年度も前回測定方法と同様に③高圧ケーブル内の接地線のみに分流する電流測定になる。

３．測候所の雷対策案

３-１．測候所の一般的な対策方法

測候所はファラデーケージ構成にすることを意識され建設されている。これが理想に近い状態であれば、測候所内は測候所被雷の影響は無い。



(a) 被雷時電気機器使用場所の電源・接地線電位

(b) 雷電流路・接地線・電源線の経路

図２　被雷時電気機器使用場所電源・接地線電位と雷電流路・接地線・電源線

しかし測候所は、落雷によるサージ電圧が侵入しトラブルを引き起こしてしまう場合は多くあり、落雷条件によってはファラデーケージを満足しない状態になっている。この原因と対策は以下のようになる。

（1）落雷電流路で生じる電位差によるもの　図2は落雷電流路で生じる電位差の状態を示したものである。落雷電流は測候所に沿って雷電流路を通り山麓側に流れるが、電流が大きく雷電流路に沿って電圧降下が生じる。測候所内電源は変圧器でＢ種接地が受電盤共通接地極（山麓側共通接地極）に接続され、従って測候所内の電源対地電位は、山麓側共通接地極電位と同じである。この電源電位は、漏電が無い限り測候所建物内で同じである。一方電源と対になっている接地系統も共通接地極に接続されており、共通接地極と同じであるが、この接地系統は分電盤側配線先で測候所建物構造材と接続している可能性が高く、測候所建物電位分布に応じた電位分布が生じている可能性が高い。測候所内でのこの対策は、①雷電流路になる部材間接続や接地系統インピーダンスをできるだけ小さくする、②電源はノイズカットトランスを介して導入し電源接地電位の影響を受けないようにする、③測定システムは1点接地を確保する、ことで可能である。もし複数の場所で連携した測定を行う場合、1点接地はできないため、それぞれで1点接地を確保し、それぞれの間を連携するケーブルにコモンモードノイズ対策をすることで、両システム接地間サージ電圧のそれぞれのシステム内部への侵入は抑制できる。

(2)測候所外部の観測施設被雷対策　富士山は岩盤であるため接地抵抗は小さくできない。そのため、観測施設の被雷電流は、設置場所の接地で大地に逃がせないため、測候所と接続する接地線に流れる。その電流と接地線インピーダンスにより観測施設と測候所との間に大きな電位差を作る。観測施設で使用する電源・信号系統が測候所の電位で決まっていると、電源・信号系統にはこの大きな電位が加わり絶縁破壊を引き起こし、雷電流が電源・信号系統に入り込みトラブルを引き起こすことになる。この対策は、被保護ケーブルに図3の構成の雷対策ケーブルを使用することで可能になる。被雷電流は外側電磁シールドに流し、両端に生じる電位差は、外側電磁シールドの相互インダクタンス、および内側電磁シールドの相互インダクタンスにより相殺することで両端に生じる電位差の侵入を抑制する方法である。避雷器は侵入を前提にして抑制電圧に抑制する方法になるが、雷対策ケーブルは被雷によって生じる電位差を相殺吸収する方法になるため、侵入電圧は避雷器等の抑制電圧よりも著しく小さくできる。被対策観測施設と避雷導線に繋がる測候所内(ファラデーケージ面)導入部との間に適用する方法である。

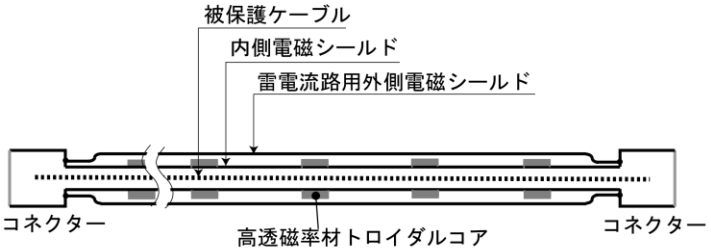


図３　雷対策ケーブル
雷電流が流れ両コネクター間にできる電位差侵入を抑制する。避雷器等侵入電圧抑制方法は、抑制電圧を侵入させるが、雷対策ケーブルの侵入電圧は、著しく小さくでき、容易に1V以下にできる。

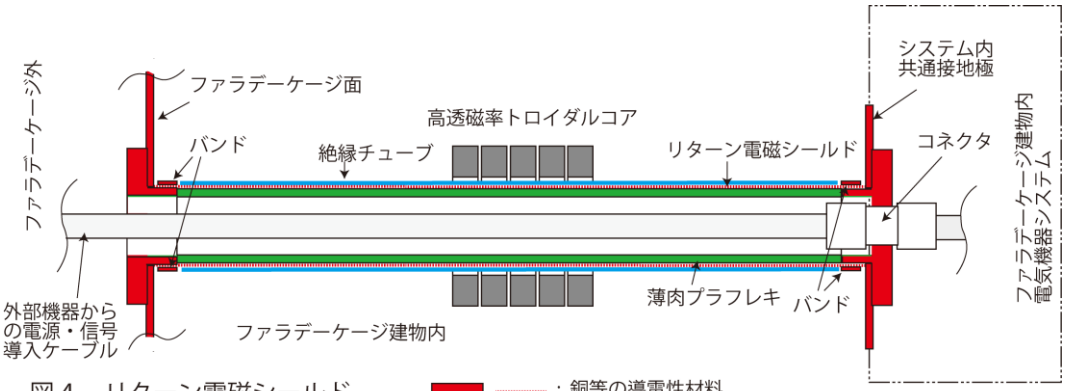
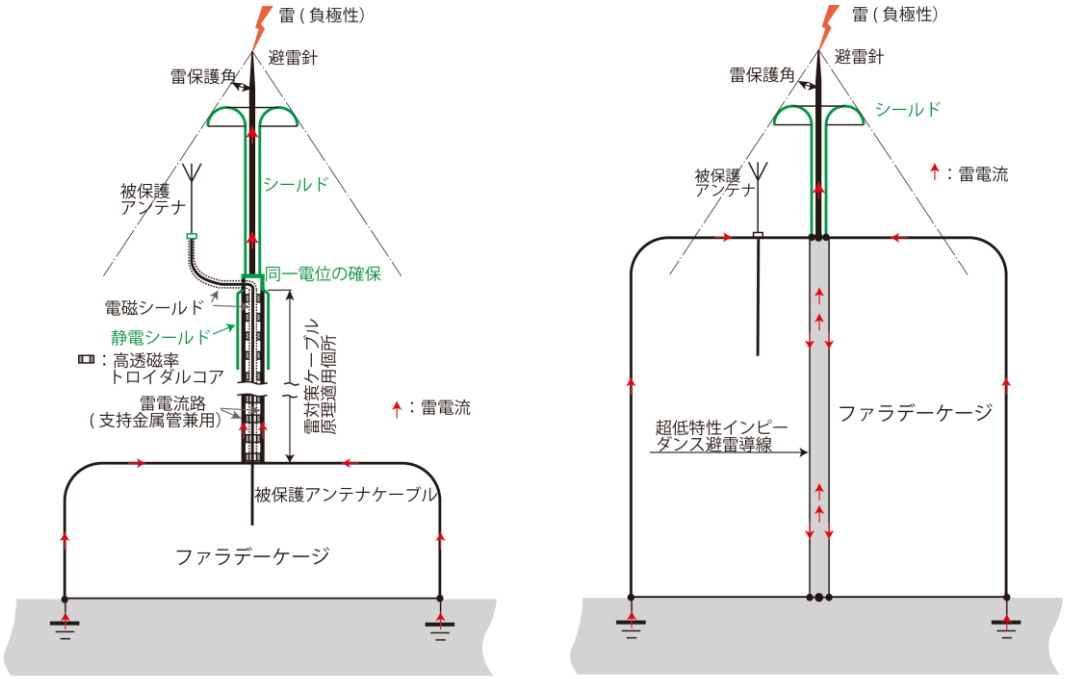


図４　リターン電磁シールド
ファラデーケージ外の導入ケーブルからの侵入電流をファラデーケージに効果的に戻すため、ファラデーケージと電気機器システム共通接地極間の侵入電圧を著しく小さくできる。内部ノイズに対しても循環電流を抑制する大きな効果がある。

外部からケーブルを導入する場合、ケーブルの接地系統(同相)サージ電圧は、庁舎外壁(ファラデーケージ面)導入口とケーブル接地電磁シールド線を接続同一電位にできないとそれと繋がる庁舎(ファラデーケージ)内のシステム接地に大きなサージ電圧として侵入することになる(ファラデーホールの状態)。この対策は、図4に示すリターン電磁シールドを使用する方法で抑制できる。庁舎内部に導入してからシステム接地に接続せざるを得ないケーブルの接地電磁シールドは、ケーブル導入口のファラデーケージ導入口に電磁シールドで戻すことで、インダクタンスを小さくできる。従って、導入口とシステム接地との間の電位差を小さくでき、侵入電圧を小さくできる。また、トロイダルコアは導入ケーブルからの侵入電流をさらに抑制し、一方内部ノイズに対しては漏出および侵入を抑制する効果がある。

(3)落雷による静電・電磁誘導サージ電圧対策　理想的ファラデーケージ内であれば落雷があっても静電・電磁誘導の影響は無い。しかし観測機器や信号等送受信のためのアンテナは、外部に設けざるを得なく、雷の静電・電磁誘導の影響を受けることになる。ファラデーケージの外部になる近辺のアンテナや観測施設等は、直撃雷を避けるため一般的に避雷針を設けるが、避雷針は被雷時、雷放電端の避雷針への移動と被雷時の避雷針電位変動により、静電誘導の影響を受ける。この静電誘導サージ電圧は、図5に示すように放電端と避雷針・被雷導線等電位上昇部分からのシールドで抑制できる。この構成方法



(a) 雷対策ケーブルを用いた方法　　(b) 超低特性インピーダンス避雷導線を用いた方法

図５　避雷針の落雷電位からのアンテナ等のシールド対策と落雷電流からの電磁誘導対策

は二つ考えられる。一つは(a)のようにアンテナをシールドし、ケーブルはシールド電位個所からファラデーケージ面迄は先の雷対策ケーブルの構成にした避雷針支柱内に収め、ファラデケージ内に導入する方法である。この方法はシールドとファラデーケージとの電位差を相殺吸収する一方、電磁誘導は雷電流路の内側を通すことで影響を受けないようにする方法である。

もう一つの静電誘導対策方法は(b)に示すようにシールドはファラデーケージと同一電位にしてシールドする方法である。避雷導線の特性インピーダンスは著しく小さくすることで、避雷電流による避雷導線の電位上昇（パルス立ち上がりは充分速いステップ状パルスとして、10 kA の場合 0.025Ω で 250 V）を抑え、特性インピーダンスが高くなる避雷針の電位上昇（10 kAの場合、200Ωとして2 MVになる）は反射を考えると5 m の避雷針で約 20 ns 程度になる。また避雷導線に流れる雷電流による電磁誘導は、超低特性インピーダンス避雷導線のシールドに避雷導線の雷電流を相殺する電流が流れるため、超低特性インピーダンス避雷導線周囲に電磁誘導は生じない。サージ電圧・電流変化を複雑にする反射もない。相殺電流はファラデーケージを流れるが内部には電磁誘導の影響は無い。超低特性インピーダンス避雷導線は、整合抵抗で終端した低特性インピーダンス同軸ケーブル多数を束ね並列に接続することで実現できる。例えば1000本束ね並列接続すれば特性インピーダンスは 1/1000 にできる。仮に 25Ωの特性インピーダンスであれば、0.025Ωになる。この避雷導線の耐圧は原理的に限界があり、避雷針との接続部に大きな電界が加わらないように緩和機能が必要になる。また、終端抵抗は雷エネルギーを消費できる容量が必要になる。

電位差は、流路の抵抗とインダクタンスを小さくすることで小さくでき、電磁誘導は、金属製部材間の電気的結合を良好にしてファラデーケージを近似し、誘導磁界を相殺する遮蔽電流を流れ易くすることで抑制できる。しかし、富士山測候所も該当するが、一般的に理想的なファラデーケージ構成でない場合が多い。ここに提案する(a)(b)の方法は、そのような場合でも新たな電流路を確保するなどファラデーケージを損なう部分の補償対策を提供しやすい方法になる。

また被対象線路の電磁誘導電圧が相殺できるように撚化する、同軸化することで影響を抑制することも必要である。

3-2. CO_2 観測システムへの対策案

昨年度、誘導雷によりイリジウムアンテナ送信部が故障しデータ送信ができなくなった CO_2 観測システムの考えられる原因から次年度実施予定の雷対策案は以下の内容になる。

(1)1点接地　観測システムは庁舎から絶縁し、システムの共通接地極を1個所に確保し1点接地とする。今年度、既に観測システムの1点接地に必要な絶縁対策は実施した。

(2)絶縁電源の確保　電源はノイズカットトランスを介して導入する。安全対策のため、漏電および過電流遮断器を通して使用する。観測システムの接地個所と電源 B 種接地個所は異なるため、落雷電流が流れた際、両者に大きな電位差が発生するが、絶縁させることでそれを防止できる。電源を介したノイズの対策にもなる。

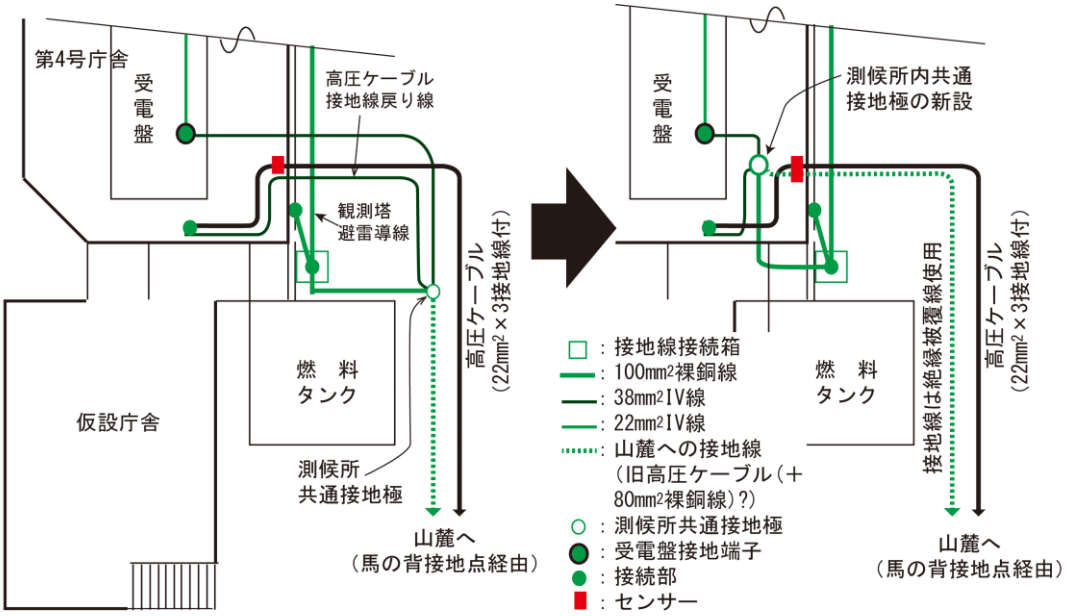
(3)アンテナ設置鉄骨構造物と観測システム設置第 3 号庁舎間インピーダンスの低減　アンテナを設置している鉄骨構造物の鉄骨同士間の接続を良好にした上で、鉄骨構造物と雷電流の良好な流路になる第3号庁舎基礎鉄骨(良好なファラデーケージ構成部)との間の接続インピーダンスを小さくする。鉄骨同士は 38 mm^2 銅線により脚部で熔接接続し、その鉄骨枠と第3号庁舎基礎鉄骨間は 38 mm^2 銅線で最短・最大幅で最低2本を熔接で接続する。

(4)アンテナと観測システム間の電位差の相殺吸収　(3)の対策をしてもどうしても生じる電位差に対する対策方法である。3-1(2)の①雷対策ケーブルと②リターン電磁シールドにより行う方法である。①雷対策ケーブルは、両端の電位差を相互インダクタンスで相殺しサージ電圧の侵入を抑制する方法で、原理的に侵入電圧は設計により著しく小さくできる。この対策の設計仕様は 0.1 V 以下を予定している。アンテナと庁舎内導入部間で使用する。

②リターン電磁シールドは、庁舎内導入ケーブルの実効インダクタンスを著しく小さくすることで、庁舎内導入部と観測システム共通接地極間の電位差を小さくし、サージ電圧の侵入を抑制する。内部のノイズに対しても強くなる。庁舎内導入部と観測システム共通接地極間で使用する・

(5)アンテナの組鉄骨電位上昇からの静電シールド　アンテナは、雷対策ケーブルアンテナ側端末電位でシールドする。そのため、雷対策ケーブル端末は周囲鉄骨構造物に接続し鉄骨電位に合わせる。避雷針設置による直撃雷対策は、イリジウムアンテナに陰を作るため、実施しない。イリジウムアンテナの設置方法が鉄骨構造物の天井面よりも突出しないので直撃雷の可能性は小さいと考え、誘導雷対策のみである。

以上(1)～(5)の対策を実施することで落雷に強い観測システムになる。



(a) 2012年観測時測定回路(2014年観測時も予定)
高圧ケーブル内接地線電流のみの測定

(b) 山麓側接地線に流れる全電流
を測定する回路修正案

図６　山麓側に流れる全電流測定のための接地回路修正案

4. 山麓側接地極に繋がる接地線の電流測定

4-1. 山麓側接地極に繋がる接地線経路

図6(a)に示すように山麓側接地極に繋がる接地系統は3系統ある。①引き込み高圧ケーブル内の高圧線と別に設けられた3本の接地線、②80 mm^2 の裸銅線、および③接地線に転用した旧高圧ケーブルである。次年度は昨年度と同様に電流センサーは引き込み高圧ケーブルに流れる電流のみを測定することになる。全電流測定は(b)のように3系統をまとめ、山麓側接地線は測候所から直接流れ込む電流が無視できるように絶縁させることが必要であるが、この実現には現山麓側共通接地極周辺の掘削による配線変更が必要で費用等を考えると簡単ではない。高圧ケーブルに設置する図7の雷電流センサーケースは他の②③系統の電流をまとめて高圧ケーブル外周軸方向に山麓側に流し、全電流測定を可能にする工夫がされている。電流センサーケースは、設置個所ケーブルの曲率半径でも収められるように短くした。

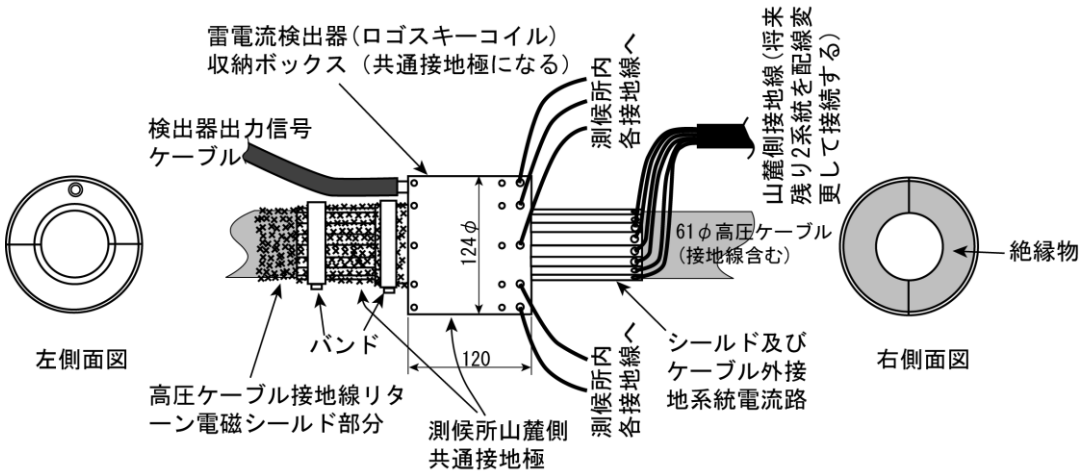


図７　雷電流検出器（ロゴスキーコイル）収納ケースと結線

4-2. ロゴスキーコイルによる接地線に流れる電流の測定

高圧ケーブル内の接地線に流れる電流はロゴスキーコイルにより検出する。観測電流は、(1)測候所被雷電流、および(2)その他の電流、①山麓側接地線周辺の落雷により接地線に流れる電流、と②高圧電源遮断時や地絡事故時等に流れる電流である。(2)の①は昨年度測定で観測されたもので最大で 10 A で、②は VCB 遮断時で約 160 A が観測されている。測候所被雷時に流れる電流の上限は 100 kA 以上

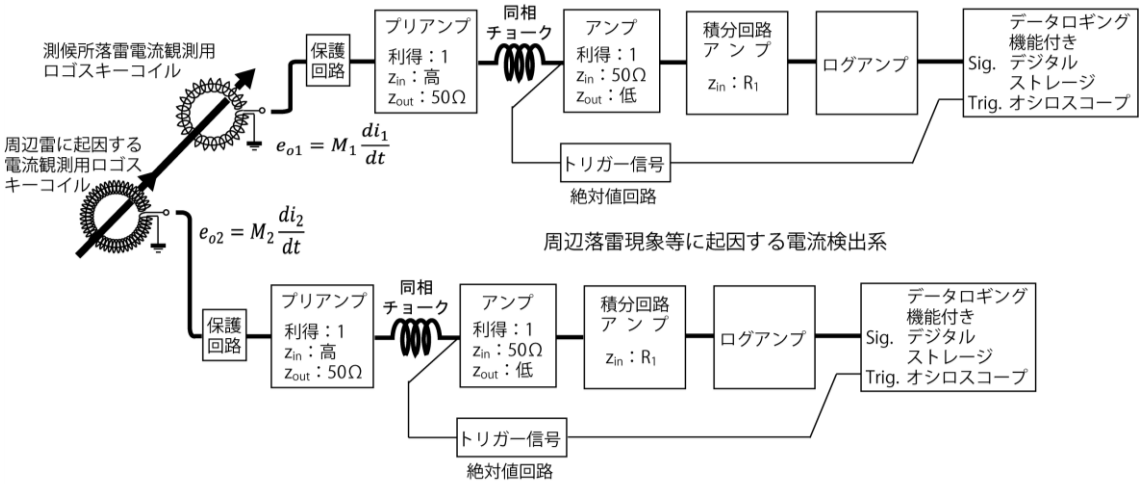


図８　山麓側接地線に流れる電流（引込高圧ケーブル同相電流）の検出系

を考える必要があることを考えると(1)と(2)の桁の差は大きくそれぞれ別々の検出系で測定する予定である。オシロスコープはデータロギング機能付きのデジタルストレージオシロスコープを使用することになるが、記録は1チャンネルのみである。従って2系統を用意し、それぞれ数桁の範囲の記録をしなければならず、低い桁でも必要な分解能を確保するため、ログアンプにより対数変換した出力を記録する準備を行っている。測定系は図8になる。観測データのデータ処理は観測後に行うことになるが、データ数が多くなるため、専用データ処理ソフトを開発用意する必要がある。

4-3. 検出感度向上による空地電流等現象により流れる電流測定の検討

測候所を大きな空地電流収集電極と考えると、空地電流は 1.0～3.0×10^{-12} Am^{-2} になるが富士山測候所電極の表面積を約 1000 m^2 として、電極に集まる電流は 10^{-9} A になる。接地線を切り離し電流計を入れることは困難なため、接地線を流れる電流が作る磁場を測定することで電流測定をすることになる。この場合に予測される電流が作る磁界は小さく、検出困難である。しかし、測候所は富士山頂にあるため、①凸型レンズになることによる収集効果、②雷雲の近接効果、および③測候所だけではなく山腹に垂らした引き下げ接地線(300 m×2 本、400 m×1 本)も含めた周辺表面からの収集(雨で濡れればさらに大きくなる)による測候所等価面積の拡大効果により、空地電流は数桁大きくなる可能性がある。磁場の検出感度を高め、地磁気の影響を抑制することで検出できる可能性がある。

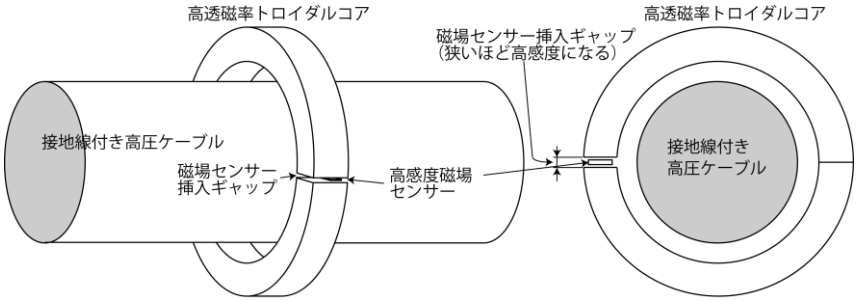


図９　山麓側接地極に繋がる接地線に流れる微少電流の測定方法案

また、以外に他の現象を観測できる可能性もある。測候所の高圧電源に絶縁劣化がある場合、その絶縁劣化によってはその漏洩電流を観測できる可能性がある。高圧電源からの 50 Hz 漏洩電流は、接地線の3系統に分流するため、高圧ケーブルを流れる高圧電源からの漏洩電流から内蔵の接地線に戻る電流を相殺した電流(漏洩電流の約 2/3)を観測することになる。さらに、接地線は山麓側架空地線とも接続されており、何らかの要因によって流れる電流の存在も見つかる可能性がある。

以上のことが次年度予備測定できないか、測定系の検討を行った。測定は接地線内蔵の山麓からの高圧ケーブルに流れる電流が作る磁場を測定することになる。感度を高めるため、図9のようにセンサーを収めるギャップを設けた高透磁率トロイダルコアを用いる方法を予定している。ケーブルを通して使用することはできないため、2 分割にし高圧ケーブルを挟み込むことが可能な方法を検討している。もし興味ある測定が得られれば常時観測を可能にする対策準備が必要である。例えば、落雷があったときに流れる大電流による大磁界からの磁場検出センサー保護と検出感度向上のための磁気回路のギャップ間の吸引力に耐えられるものにするなど、を実施する必要がある。

また、将来は接地系統を1つにまとめさらに感度を高めることが必要である。被測定高圧ケーブル(接地線付)は山麓側の接地線3系統のうちの1系統である。高感度微少電流検出器の周波数成分は低く、分流する電流路のインピーダンスは抵抗依存域である。そのため、ケーブル断面積に案分され、高圧ケーブルの測定電流は全接地線電流の約 1/3 ほどになると推測される。このことは、接地系統を 1 つにまとめられれば、3倍に感度を高めることになる。

5. おわりに

富士山測候所環境下で必要な雷対策を一般化し、明らかにした。また対策が必要な CO2 観測システムの具体案を提案した。提案した雷対策方法の一部は次年度実施予定である。観測機器の設置場所は山岳地帯など接地抵抗を小さくできない場所である場合が多いと考えられ、提案した雷対策方法の基本

的な考え方は、そのような環境下での避雷対策に適用できる方法である。

また測候所の山麓への接地線に流れる電流の次年度観測は、自動記録を採用するため、記録時間内に現象が引き続き起きない限り取りこぼしは無くなる方法になる。そのため、他から得た落雷情報と比較し、対応付けを行うことでより正確な現象把握ができる。また観測電流は、測候所への落雷電流と昨年に観測された周辺の落雷現象による電流いずれも観測できるように準備している。また、山麓側接地極に繋がる接地線に流れる全電流は、山麓への3系統ある接地系統の内の引き込み高圧ケーブル内の接地線に流れる電流のみを観測することになるため、分流割合を推測して求めることになる。正確な測定のため、将来、一本化し全電流を測定できるようにすることが望まれる。

別に高感度な電流検出方法も検討しており、間に合えば予備測定を行う予定である。

6. 謝辞

資料や情報提供等で調査にご協力頂いた西濱孝典・東京管区気象台技術専門官、小志度前孝史・関電工、本研究の遂行に際し、予備実験の実施にご協力頂いた伊藤誠二、森田明・東京大学大学院工学系研究科の各氏に感謝する。

なお、この研究の一部は新技術振興渡辺記念会からの委託研究「富士山頂における東アジア越境オキシダント監視システム構築に関する研究」によっている。また、一部「郵便事業株式会社のカーボンオフセット年賀寄付金配分および地球温暖化防止活動事業助成」および三井物産環境基金 2010 年活動助成(10-039)の援助を受けた。記して感謝申し上げる。

参考文献

安本勝,佐々木一哉,高橋浩之,中村安良,大胡田智寿,土器屋由紀子:「富士山測候所雷対策適用上の調査と対策方法」,平成 23 年度富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集,26-35,2012 年 1 月.

安本勝,佐々木一哉,高橋浩之,中村安良,大胡田智寿,土器屋由紀子:「富士山測候所のための落雷対策」,電気学会 A 部門,Vol.132,No.11,984-992(2012).

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:「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」,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,14-27,2013 年 1 月.

野村渉平,向井人史,寺尾有希夫,野尻幸宏:「富士山の大気中二酸化炭素濃度の通年観測」,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,30-31,2013 年 1 月.

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:「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(2013).

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

電気・電子機器の雷保護検討委員会(委員長横山茂):「電気・電子機器の雷保護」, 電気設備学会 (2011-8)

高橋健彦:「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」, オーム社(2003)

安本勝:「低い接地インピーダンスが得にくい場所での避雷方法」,H21 年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会報告集,計測・制御・回路技術研究会,3-006(2010).

関電工:富士山測候所送電線接地調査報告書(H19.9.11).

土器屋由紀子, 佐々木一哉:「よみがえる富士山測候所」, 成山堂書店(2012-6).

志崎大策:「富士山測候所物語」, 成山堂書店(2002-9).

*連絡先:安本 勝(Masaru YASUMOTO)、myasumoto_2013@yahoo.co.jp

O-02：宇宙線被ばく線量評価の信頼性向上を目的とした富士山頂での放射線モニタリング

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

1. はじめに

地球にふりそそぐ高エネルギーの銀河宇宙線や太陽粒子（一次宇宙線）が大気中の原子核と反応して多量の二次粒子（二次宇宙線）を生成する。二次宇宙線の強度は、高度が上昇するほど（上空 20km 程度まで）、地磁気緯度が大きくなるほど増加し、航空機巡航高度（10～12 km）では実効線量率で平地の数十倍から百倍近くに達すると見積もられている。国際放射線防護委員会（ICRP）は 1990 年勧告（ICRP Publication 60）においてジェット機の運行に伴う乗務員の被ばくを職業被ばくの一部に含める必要性があるとの見解を示した。この見解は 2007 年勧告（ICRP Publication 103）においても維持されている。国内では、放射線審議会によって 2006 年に「航空機乗務員の宇宙線被ばく管理に関するガイドライン」が策定された。放射線医学総合研究所（放医研）では航路線量計算システム「JISCARD」を開発・公表するとともに、2007 年から開始された国内航空会社による自主的な乗務員の宇宙線被ばく管理の支援（主に航路線量計算）を行っている。また、宇宙線被ばくの計算モデルによる評価方法の精度維持のための実測研究、宇宙線測定手法・測定器の開発研究を進めている。

現在、地球の高緯度地域に置かれた中性子モニタによる常時モニタリングが行われている。そこでは大型計数管を用いた測定装置（NM64 モニタ）が標準的に使用されており、世界的な中性子モニタネットワークが形成されている。しかしこれらは中緯度地域の日本から地理的に離れている。日本上空の宇宙線環境を把握し計算モデル精度の実測評価が可能になれば、宇宙線被ばく線量評価のさらなる信頼性向上につながることが期待される。そこで、我々は、日本上空を対象とした独自の宇宙線中性子モニタリングを目指し、2010 年度から日本最高地である富士山頂（標高 3,776 m）の富士山測候所においてレムカウンタベースの遠隔放射線モニタリングシステムの構築に着手した。これまで通年測定は未達成であるが、2012 年度は約 8 カ月間（2012 年 8 月下旬～2013 年 4 月中旬）の連続モニタリングに成功した。本年度は、前年度の実績（バッテリー電圧と装置基板温度データ）をもとに通年測定に必要な容量分のバッテリーを追加した。本報告では、これまで得られたモニタリング結果等について紹介する。

2. 実験

遠隔放射線モニタリングシステムは富士山測候所 1 号庁舎 2 階に設置した測定データ送信システム（図 1）と富士山麓の中継拠点（名古屋大学太陽地球環境研究所富士観測所）に設置したデータ受信システムから成り立っている。測定データ送信システムは、測定装置（中性子レムカウンタ：WENDI-II, Ludlum Measurements, Inc.，特注データロガー：NM10，Melex 社製）、長距離無線 LAN 装置（IP ルータ：AT-TQ 4551, Allied Telesis K.K.，アンテナ：YA2418RD, Allied Telesis K.K.）、独立電源装置（Li イオンバッテリー：UBI-2590, Ultralife Batteries, Inc.，鉛シールド型ディープサイクルバッテリー：G42EP，エナーシス社製，電源切替装置＆充電装置：日本放射線エンジニアリング社製）から構成され、アンテナと鉛バッテリーを除いてプラスチックコンテナに格納されている。WENDI-II のエネルギーレンジは 0.025eV～5GeV であり、広範囲のエネルギー分布を持つ宇宙線中性子の測定に適している。データ受信システムは、長距離無線 LAN 装置（IP ルータ：AT-TQ 4552, Allied Telesis K.K.，アンテナ：YA2418RD, Allied Telesis K.K.）、データ受信用ノート PC、インターネット接続機器から構成される。山頂側と山麓側のアンテナは対向して設置され、アンテナ間の距離は直線で約 13 km である。図 2 に山麓側のアンテナを示す。当初、山麓側のインターネット接続にはモバイル通信端末を利用していたが、2013 年度から光ケーブルインターネットサービスを導入した。長距離無線LANとインターネットにより放医研（千葉市）から富士山測候所における測定データのモニタが可能となる。本年度は独立電源装置に G42EP バッテリーを 30 個追加し、2013 年 8 月 22 日よりバッテリー電源によるモニタリングを開始した。

図１　富士山測候所１号庁舎２階の測定データ送信システム

図２　山麓中継拠点側のアンテナ

3. 結果・考察

図 3 に、富士山測候所において得られた宇宙線中性子計数率(cph)および富士山頂の気圧(気象庁データから引用)を示す。表示した期間は 2013 年 8 月 22 日～2013 年 12 月 16 日である。全体の傾向として、変動が±20%程の範囲内であり平穏である。気圧と宇宙線中性子計数率の変化には負の相関が現れている。これは、気圧変化は大気厚さの変化であり、大気厚さが大きいほど二次宇宙線の大気中での減衰が大きくなるためである。9 月～10 月における急な気圧の低下は台風の接近に一致している。

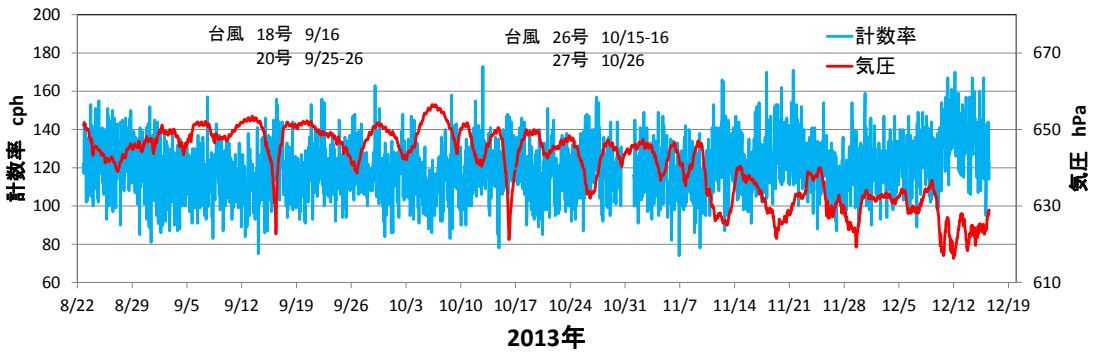


図３　富士山測候所において得られた宇宙線中性子計数率 [cph]　(2013 年 8 月 22 日～2013 年 12 月 16 日)

4. まとめ

本年度は通年測定達成を目指してバッテリーの大幅補強を行った。これまでに得られた宇宙線中性子計数率に急峻な変動は見られず、平穏な様子である。2014 年夏期まで無事測定が継続されることを期待する。今後の課題は線量値として定量的な評価を行うことである。

謝辞

本研究は NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。長距離無線 LAN データ通信中継拠点である名古屋大学太陽地球環境研究所富士観測所の利用にあたっては、同研究所の徳丸宗利教授にお世話になった。また、山頂作業全般にわたって三樹工業株式会社にご協力いただいた。ありがとうございました。

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

O-03:2013 年富士山山頂で行われた大気電気研究

鴨川仁[1]、鳥居建男[2]、鈴木裕子[1]
1. 東京学芸大学物理科学分野、2. 日本原子力研究開発機構、

１．はじめに

2008 年からスタートした富士山山頂での大気電気観測は、宇宙線・放射線観測の補助的な役割として始まったものである。しかし数年の測定の結果、取得されたデータから大気電気研究を進展させる成果も得られた。それゆえ、2012 年から大気電気研究は独立したグループとして観測を行った。2013 年度では以下の主たる 3 つのテーマ(1～3)および 2 つのサブテーマ(4～5)について研究を試みた。本稿では、今年度の成果を総括するとともに、今後への課題を提示する。

２．雷雲・雷放電に起因する高エネルギー放射線

雷雲に起因すると考えられる高エネルギー放射線は、冬季雷発生期間においてしばしば観測されている(Torii et al., 2011)。これらは、雷雲中の強電場に起因すると考えられ、10 秒以上持続する長時間の放射線変動である。また、放射線発生源と考えられる雷雲と地表観測地点の距離が短いと検知できるとみられる。このような事象は、かつて、雷雲の高度が高い夏季雷時では地上で観測された報告はなかった。そこで、夏季雷でも冬季雷と同様の事象が発生しているかどうかを調べるために、雷活動が盛んな独立峰である富士山の山頂において雷雲発生時の放射線変動の観測を行った。その結果、観測初年度である 2008 年から検知でき(Torii et al., 2009)、以後はこの雷雲活動に関連する高エネルギー放射線の発生メカニズムを解明するために毎年観測を行っている。2013 年度は、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、明瞭な事例を得た(図 1)。また、雷雲時の大気電場の変動は大きく、晴天静穏時の微小電場とは最大数桁異なるため、今年度はいずれの現象も計測できるよう装置を開発し、雷雲直近の強電場測定を行った。以上のデータで、雷雲から発生する高エネルギー放射線の発生機構を説明する有力な説「逃走電子仮説」の検証を観測的観点から行うことができる準備ができた。

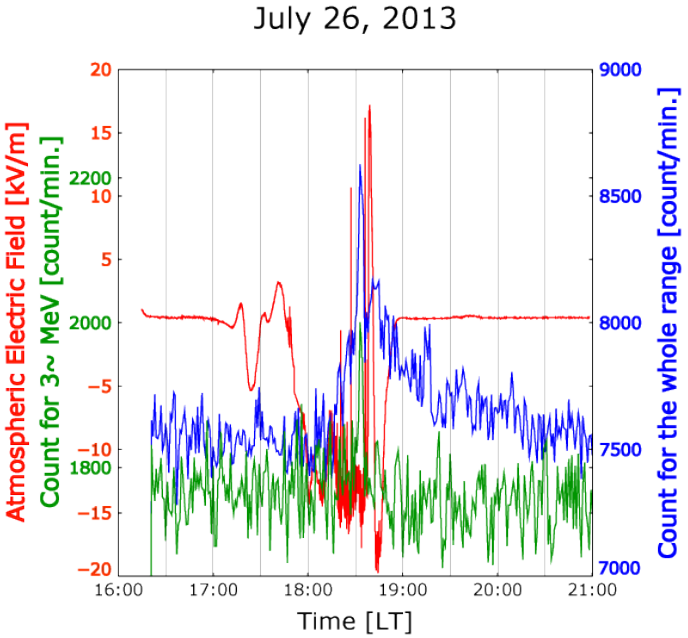


図 1 検知された高エネルギー放射線。天然の放射性核種から発生される γ 線エネルギーより高い 3 MeV 以上の放射線のカウント数、全エネルギー領域のカウント数および大気電場値の時系列。

２．高高度放電現象の観測

1990 年代に発見されたスプライト・エルブスは高高度大気中の放電として数多くの画像が残されており発生機構は解明されつつある。しかしその発生のきっかけ、複雑な形状などの根幹については未解明である。特に国内外を通して地上からまとまった数のブルージェットよばれる下部成層圏で発生する放電現象の観測に成功した例はほとんどない。そこで本研究では、夏季の関東平野上空で発生する高高度放電現象の観測を富士山山頂から行うことを目指す。富士山山頂の高度は、観測の障害となる雲の高度を超えるため、視界が遮られることがなく、長い時間の測定が行えると期待される。2013 年年は、前年度の試験観測の結果を踏まえ、測定装置の改良と測定場所の 変更を行い、スプライトの撮影に成功することができた。画像は、超高感度の定点小型カメラによる連続観測(図 2 (a))および商用一眼デジタルカメラによるキャ ンペーン観測(図 2 (b))で得られた。富士山山頂観測では地上観測に比べ広範囲が見渡せ、母体の雷雲と放電・発光現象の両方を観測できるため観測研究に有利な 場所である。さらに航空機やバルーンでの観測に比べ低予算で長時間のみならず定点観測も可能である。従って、本年の成果から、地表観測に比べ飛躍的に測定 事例数を挙げることのできる環境が構築された。次年度は他の山岳地域との同時多点観測をめざし、方位測定などができるようにする。

(a)

(b)

図 2 (a) 2013 年 7 月 22 日午後 20 時前、富士山測候所で撮影された、福島県郡山で発生した雷雲上空のレッド・スプライト。(b) 2013 年 8 月 3 日午前 3 時ごろ、10 合目吉田口・久須志神社付近で撮影された房総沖 200~300 km に発生した雷雲上空のレッド・スプライト。東京学芸大学およびジャンプコーポレーション(テレビ朝日　奇跡の地球物語)によるキャンペーン観測による画像。

３．大気光観測

山岳回折等によって励起された大気重力波は、電離圏を変動させる。本テーマではそれらの変動を、大気光によって検知する。大気光とは、化学反応によって励起 された高層大気の一部の原子・分子が微弱に発光する現象である。過去 3 年間の大気電気観測の経験から夏季の期間の山頂は天頂方向については晴天率が高く、超高層大気に向けたが光学測定に適していることが分っている。また夏季時では気温が零下にはなることはなく、20 度を超えることもまれであるため屋外における光学機器の装置の運用が比較的行いやすい。そこで大気重力波検知を目的とした電離圏に向けた大気光観測を行うため、2012 年は観測装置の準備を行った。超高感度カメラの発売の関係でテスト観測は行えなかったがそれ以外のシステムの動作確認は完了した。そのため、2013 年では、超感度カメラの動作環境を確認し、どの程度の

微弱な光が山頂の環境で連続観測できるか試験を行った(図 3)。大気光の撮影の全段階として恒星の連続撮影には成功した。しかし装置は概ねは稼働期間動作していたものの雷雲直近時に、カメラが動作不良になったため、今後はこれらの対策が必要となる。

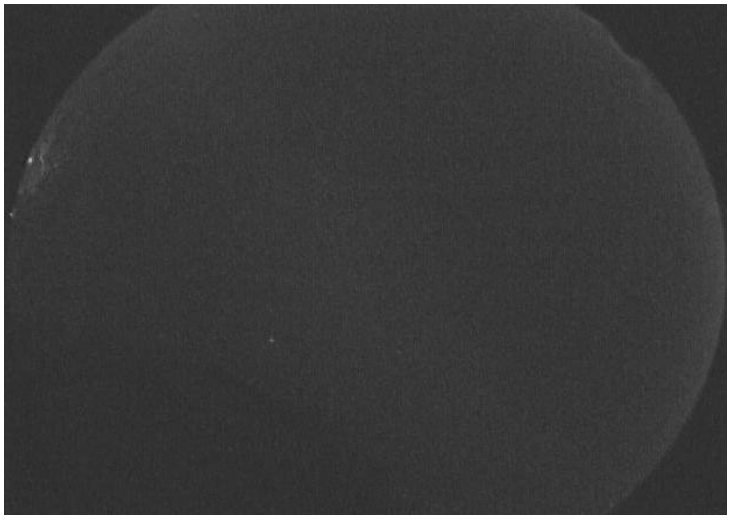


図 3　1号庁舎屋根に設置された超高感度カメラによる晴天時の映像。

４．　超小型データロガーによる通年観測の研究

次にサブテーマとして、超小型データロガーによる通年観測の研究を行った。

商 用電源がない冬季期間においても、大がかりなバッテリーを用いずに連続観測を行うため、低消費電力のデータロガーを開発し、太陽電池による充電と、内部 バッテリーを用いて 1 か月のデータロガーの試験運転を 2012 年の閉所後に行った。また、越冬中の測候所内の環境を測定するため、窓での太陽電池の充電能 力および、屋内の温度測定(図 4)を行った。

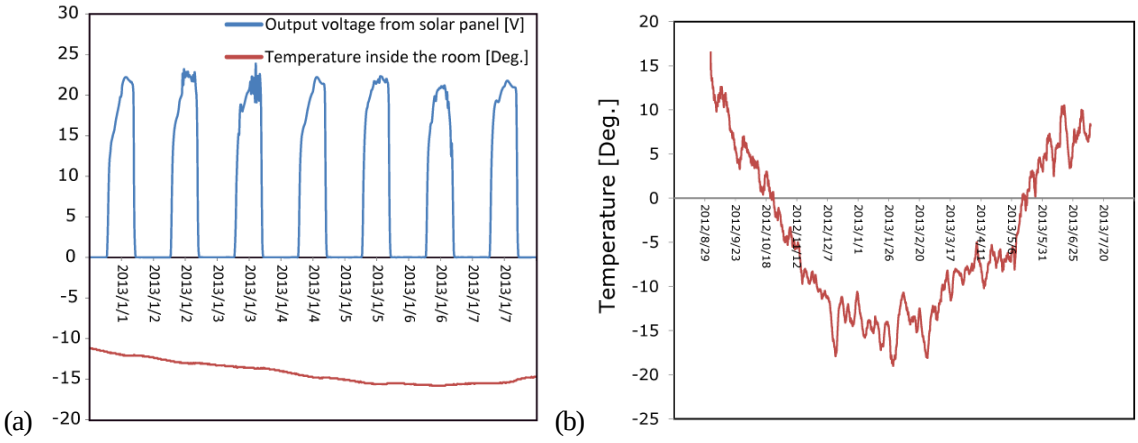


図 4 (a) 太陽パネルによる出力電圧および屋内温度 (b) 越冬時での屋内温度

５．　富士山測候所を利用した安全な雷観測に関する教材作成

もうひとつサブテーマとして、富士山測候所を利用した安全な雷観測に関する教材作成の教育研究を行った。富士山は夏の雷発生が多いことでも知られており夏季雷の理想的な観測地点である。富士山頂には最高峰の剣ヶ峯に 1936 年以来測候所が有るが 2004 年に気象庁の有人観測が終了し、2007 年からは NPO 法人富士山測候所を活用する会が、一部を借用し夏期の 2 か月管理運営している。この間を利用して、雷の直近観測を行うことが可能である。しかし、山岳の雷の観測には雷の直近観測ができるゆえの危険が伴う。夏季の測候所利用者は、研究者のみならず大学生および大学院生まで幅広い。そのため、フ

ィールドの現場へ連れて行き、実地観測を行うためには、雷に対する安全マニュアルを作ることから始めなければならない。本サブテーマではそのための安全マニュアル作りを目的とする。どの程度、雷雲が発生・接近するのかなどの知識を得るために大気電場連続観測を行う。その結果を図 5 に示す。

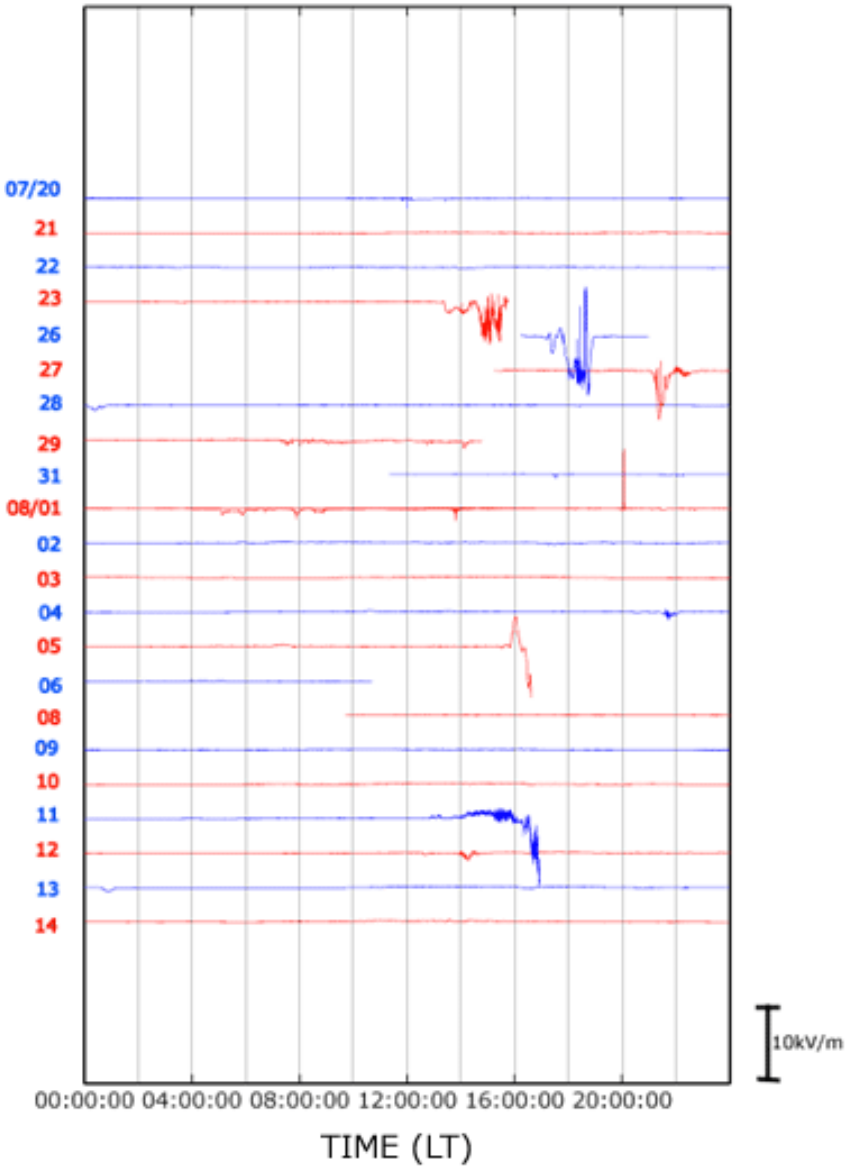


図 5 大気電場の時系列。1段が1日を表している。大きく変動しているところは雷雲が発生しているところとなる。

参考文献

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.

Torii, T., Sugita, T., Kamogawa, M., Watanabe, Y., Kusunoki, K. (2011), Migrating source of energetic radiation generated by thunderstorm activity, Geophys. Res. Lett., 38, L24801, doi:10.1029/2011GL049731.

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

O-04：富士山頂の二酸化炭素濃度推移が示すこと

野村渉平、向井人史
（独）国立環境研究所　地球環境研究センター

1. はじめに

富士山頂にある富士山測候所は、年間を通して、ほぼ地上の影響を受けていない自由対流圏内にある。Nakagawa *et al.* (1984)は、1980 年 10 月、1981 年 6～10 月に富士山頂で CO_2 濃度の計測を行い、CO_2 濃度は、日変化がなく、由来する空気塊により濃度が異なることを明らかにし、本地点の濃度は、東アジアのバックグラウンド濃度であると示した。その後、気象研究所が 2002～2004 年に CO_2 濃度の連続観測を行った(未発表)。2004 年に富士山測候所が無人化されたのに伴い、山頂での CO_2 濃度の観測は中止された。現在、当測候所は、①夏期(7～8 月)を除くと電源供給がない、②長期間アクセスが不能になるなど、CO_2 濃度の通年観測が困難な場所である。

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

本報では、上記の研究により得られた富士山頂の濃度と、他の地点で測定された値を比較する。

2. 方法

2－1. 長期観測

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

2－2. 夏期集中観測

観測は、2013 年 7 月 25 日～8 月 15 日の 21 日間に 1 秒毎の頻度で行った。計測機器は、国立環境研究所が開発した小型で省エネの CO_2 濃度連続計を用いた。測定は、6 時間、野外空気を測定し、その後、4 本の標準ガスを 4 分ずつ測定する事を繰り返し、測定の安定化と高精度の維持を図った。

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

写真 1. 長期観測用の CO_2 濃度計測機器一式

写真 2. 夏季集中観測用の CO_2 濃度計測機器一式

3. 結果

3－1. 富士山頂の CO_2 濃度(図 1)

富士山頂の CO_2 濃度は、夏に低く、冬に高い推移を示した。その夏と冬の時期は、濃度のばらつきが目立った。

3－2. 富士山頂とマウナロアとの比較(図 1)

富士山頂濃度のベースラインは、マウナロアと同等であった。しかし、前述した夏と冬の期間は、富士山頂は、マウナロアより低い、高かかった。特に冬の期間は、ほぼ全ての日で、富士山頂は、マウナロアより高かった。

また両地点の Trend の差分は、富士山頂が常に高く、平均で 1.08ppm の差があった。

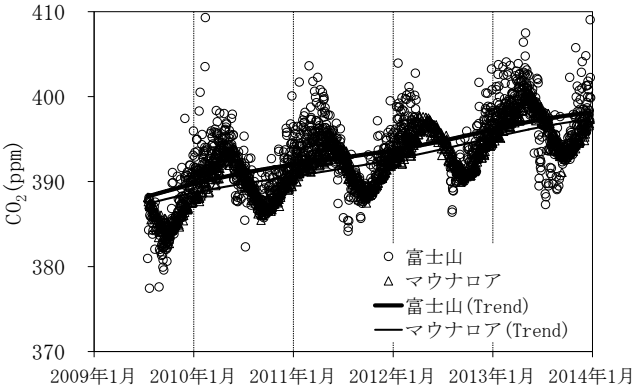


図1. 富士山頂とマウナロアとの比較

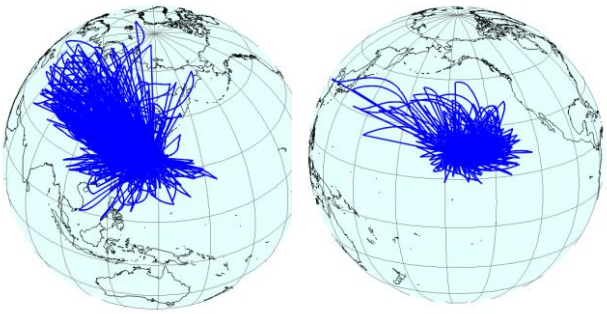


図 2. 2012 年 8 月～2013 年 7 月の後方流跡線解析結果*

(左図 富士山頂、右図 マウナロア)

*青色線は、富士山頂の空気塊の過去 72 時間の進路を示している

4. 考察

富士山頂の CO_2 濃度は、全ての期間(夏期の一部を除き)でマウナロアより高く推移した(図 1)。また冬に、高濃度の日が見られた(図 1)。これは、中国大陸において人為影響で発生した高濃度の CO_2 を含む大気が、富士山頂に流れてきたため(図 2)だと考えられる。

また夏期に低濃度の日が見られた(図 1)。これらの日の大気は、シベリア大陸を沿っていることから(図 2)、CO_2 濃度が低い、大気塊がシベリアから流れてきたためと考えらえる。

5. むすび

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

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

O-05：富士山頂における大気中水銀の連続観測と同期する大気汚染物質の観測及び湿性降下物中の水銀濃度の把握

永淵修[1]、横田久里子[1]、加藤俊吾[3]、中澤暦[1]、西田友規[4]、菱田尚子[4]、
1. 滋賀県立大学、2. 豊橋技術科学大学、3. 首都大学東京、4. 滋賀県立大学大学院

1. はじめに

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

2. 方法

富士山頂での大気中水銀の調査は、2007 年より現在まで夏季のみであるが継続している。採取方法は、新たに開発したアクティブサンプラー、パッシブサンプラーおよび水銀計による連続観測である。アクティブサンプラー法は2007年～2012年、パッシブサンプラーは2008年～2011年、水銀計による連続観測は2010年～2013年まで行った。アクティブサンプラー、パッシブサンプラーは測候所から5m以上離して、1.5m 程度の高さにセットした。水銀計は測候所内にセットし、インレットから大気を吸入した。アジア大陸からの汚染大気の越境輸送を解析するためにオゾンおよびCO濃度の連続データも用いた。

3. 結果と考察

図1に2008年と2010年の観測期間中のHg(0)、COおよびオゾン濃度の変動を示す。図中の数値はpollution eventsを表している。Pollution eventsは以下のようにして決定した。COとオゾンの観測期間中平均濃度より15%以上の濃度が少なくとも12時間以上継続した時をpollution eventsとした。その結果、8eventsが抽出された。

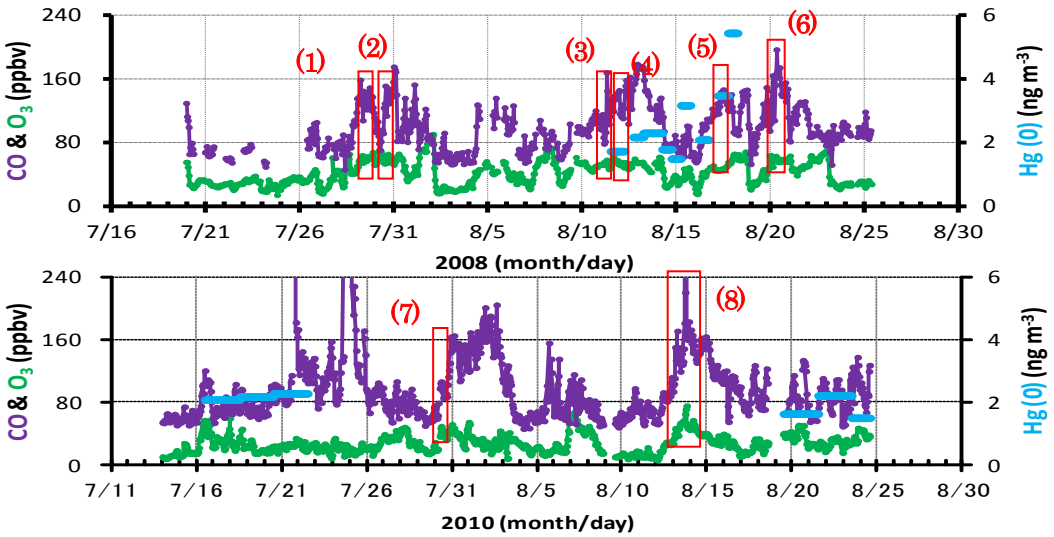


Fig 1 ：Change for Hg (0), CO and O3 observation on the top of Mt. Fuji, 2008 and 2010

表1に8 pollution eventsの要約を示す。

Table 1 : Summary of pollution event at Mt.Fuji, 2008 and 2010

Pollution event				ΔO_3	ΔCO	ΔHg (0)	$\Delta O_3/\Delta CO$	$\Delta Hg(0)/\Delta CO$
	Start	End	hours	(ppbv)		(ng m^{-3})	(ppbv)	(ng m^{-3}/ppbv^{-1})
2008, Mt. Fuji, Japan								
#1	7/29 10:00	7/29 23:00	14	11.8	19.5	No data	0.606	No data
#2	7/30 12:00	7/31 04:00	17	8.5	29.6	No data	0.289	No data
#3	8/11 13:00	8/12 02:00	14	7.6	19.0	-1.204	0.399	-0.063
#4	8/12 14:00	8/13 11:00	22	5.2	47.2	-0.734	0.110	-0.015
#5	8/17 14:00	8/18 01:00	12	4.7	16.5	1.5	0.287	0.091
#6	8/20 07:00	8/20 23:00	17	9.4	41.0	No data	0.228	No data
2010, Mt. Fuji, Japan								
#7	07/30 19:00	07/31 10:00	16	15.9	45.8	No data	0.348	No data
#8	08/13 07:00	08/15 04:00	50	19.0	55.9	No data	0.440	No data
2004, Okinawa, Japan**								
	04/02 2:00	04/04 07:00	29	No data	No data	No data	No data	0.0056
2004, Mt. Bachelor, Oregon, USA*			No data	No data	No data	No data	No data	
	04/10 15:00	04/11 06:00	15	28	40	0.71***	0.00	0.0035***

ここで、(Δ)＝Average$_{pol\,eve}$ - Average $_{year}$,
Average $_{pol\,eve}$:pollution event 中の平均濃度、Average $_{year}$:観測期間中の平均濃度、year は各観測年を示す。

これら events の時の富士山頂へ到達する気塊は、event #8 除き、東アジア大陸からであった。Hg(0)濃度は、pollution events の時、常に高濃度にはならなかった。event #5 の ΔHg(0)は 1.5ng/m^3 であり、各平均値に有意な差が観測された。ΔHg/ΔCO の値は、他の研究より1オーダー大きく、非常に汚染した大気を観測したと考えられる。さらなる議論を行うためには Hg(0)の連続データが必要である。

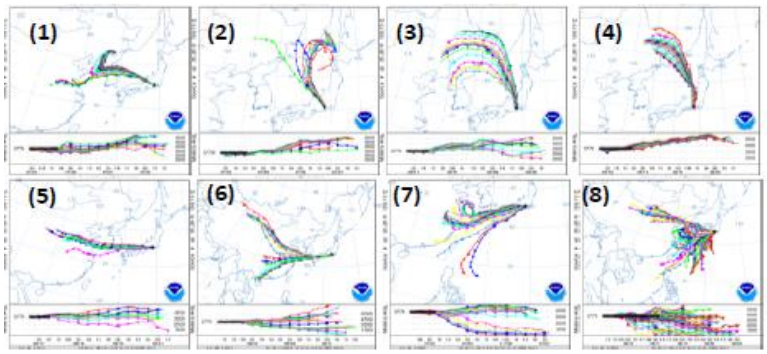


Fig.2 Back trajectory analysis of pollution events

4. おわりに

2008 年と 2010 年の観測から8 pollution events を見出し、この時の気塊は、ほとんどがアジア大陸から来たものであった。特に、event #5 は非常に汚染された気塊であった。当日は 2013 年のHg(0)の連続データを用いた解析結果も示す。

参考文献

Jaffe, D., et. Al., 2005
Peter, W-P., et. Al., 2007

O-06：富士山体を利用したエアロゾルの気候影響の研究
—ラドン・イオンで気候変化を探る—

三浦和彦[1]、永野勝裕[2]、小林　拓[3]
1.　東京理科大学理学部、2. 東京理科大学理工学部、3. 山梨大学

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 年から雲凝結核濃度を測定している。2013 年度は 2 時間サイクルの放射能測定器を導入し山頂で測定した。また、フォグモニターにより霧粒（雲粒）の測定を行った。ここでは、山頂における桜島の噴煙の測定結果について紹介する。また、ポスターセッションにおいて放射能（府川ら、2014）、雲凝結核濃度（渡辺ら、2014）、光学特性（中原ら、2014）について報告する。

2. 方法

山頂、富士山測候所（標高 3776m）において、7 月 18 日～8 月 22 日まで、エアロゾルの粒径分布、雲（霧）粒、雲凝結核濃度、ラドン濃度、イオン濃度の連続測定を行った。1 号庁舎 2 階の窓から外気を引き、拡散ドライヤーで 20%以下に乾燥させ、走査型移動度分析器(SMPS)と光散乱式粒子計数器 (OPC)を用いて 4.4～5000nm にわたる粒径分布と雲凝結核濃度（DMT, CCN-100）を測定した。小イオン濃度、ラドン・トロン、オゾン・一酸化炭素（加藤、2014）は窓から直接捕集した。また、インパクターで捕集した個別粒子を TEM/EDX を用いて形態観察を行った。3 号庁舎に設置したインレットから直接外気を引き、OPC、偏光 OPC(鷹取、2014)、SO2（加藤、2014）を測定した。また、フォグモニター（東大大気海洋研植松先生と共同）を 3 号庁舎西面に設置し、霧粒濃度を連続測定した。

山麓の太郎坊（標高 1300m）において，7 月 17 日～8 月 21 日にエアロゾルの粒径分布、ラドン濃度、イオン濃度、オゾン（電中研速水先生と共同）、一酸化炭素（加藤、2014）の連続測定を行った。また、スカイラジオメータ（富山大青木先生と共同）、ライダー（京都大学矢吹先生と共同）により、鉛直分布の観測を行った。8 月 7 日～10 日に係留気球観測と富士宮口・御殿場口間の徒歩観測を行った。

3. 新粒子生成

20nm 以下の粒子濃度が 3 時間以上継続して高濃度となるイベント（新粒子イベント）は 2006 年～2013 年の夏季 221 日間の測定観測中 120 回観測された（表1）。日中 38 回、夜間 82 回と日中より夜間に多かった。この現象はユングフラウヨッホなどでは見られず、富士山固有のものである。

表1　ナノ粒子の高濃度イベントの回数

	日中	夜間	合計	観測日	割合 (%)
2006	12	5	17	28	60.7
2007	4	17	21	27	77.8
2008	3	11	14	20	70.0
2009	4	12	16	30	53.3
2010	2	11	13	26	50.0
2011	4	11	15	25	60.0
2012	2	5	7	29	24.1
2013	7	10	17	36	47.2
合計	38	82	120	221	54.3

4. 山頂で測定した桜島の噴煙イベント

8 月 20 日 21 時～21 日 3 時にかけ高濃度の SO2 が観測された。流跡線解析、CFORS のシミュレーション結果などから桜島の噴煙が届いたものと判断される。この時の SO2 濃度、粒径分布（SMPS）、霧粒スペクトル、小イオン（正負）濃度を図 1 に示す。SO2 濃度が高くなった時（赤い四角で囲んだ時間帯）、50～100nm の粒子濃度も増加している。また、霧粒計の値も高い。しかし、霧粒か火山灰かは判断できない。

正負の小イオン濃度を比較すると負イオンのみが増加している。これは正に帯電した大きい火山灰が輸送中に沈降し、相対的に負イオン濃度が高くなった可能性がある。今後、検討したい。また、21 日の午前中(赤丸)にナノ粒子の若干の増加が見られたが、噴煙の輸送に伴う新粒子生成かどうかは判断できなかった。

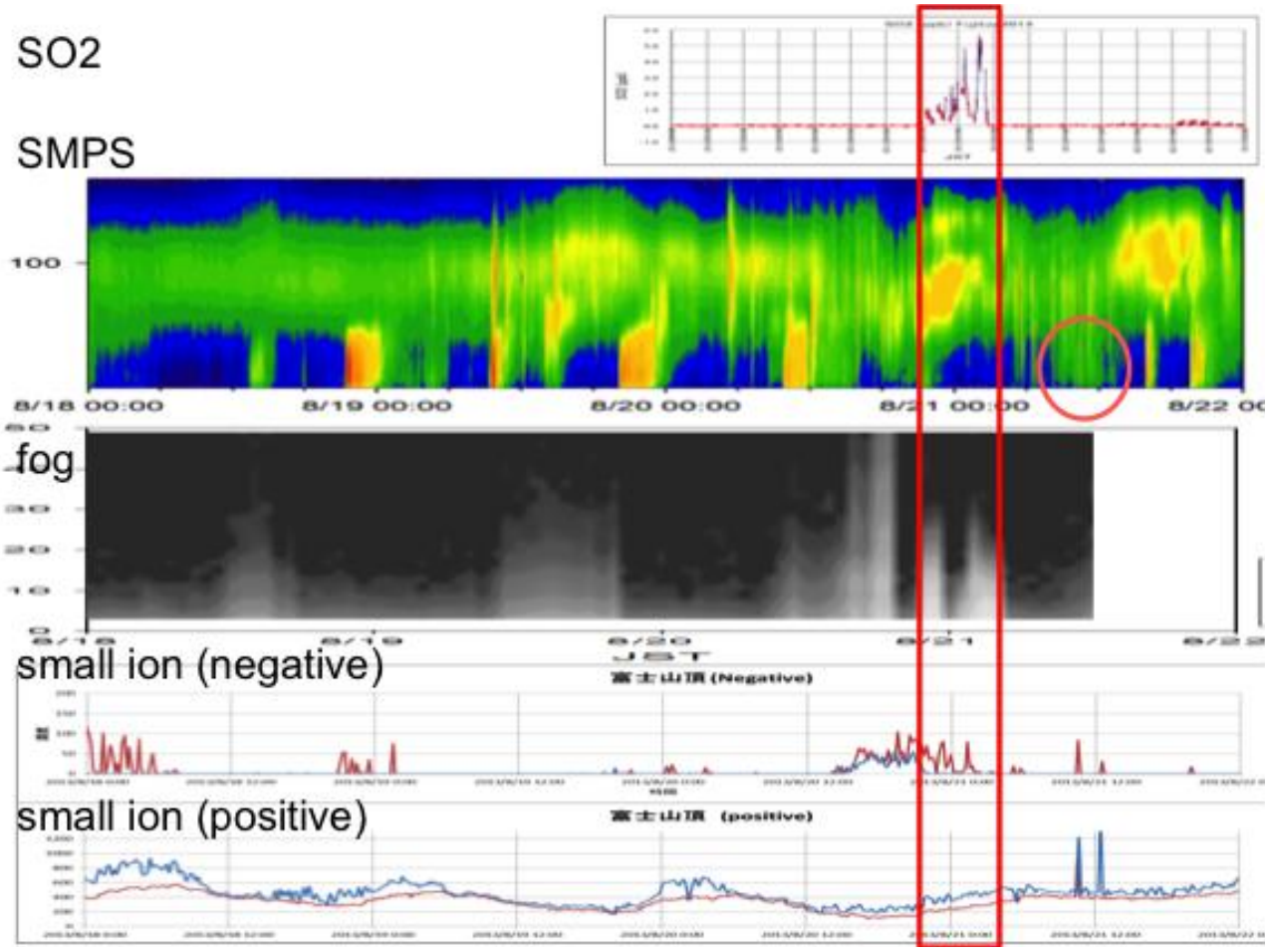


図 1　8 月 18 日～21 日の富士山頂の SO2 濃度、粒径分布、霧粒スペクトル、小イオン(正負)濃度

謝辞

観測は、NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。この間、多くの山頂班員、研究者、学生のお世話になった。記して感謝する。本研究の一部は、科研費基盤研究 C(24340017)(代表三浦和彦、2013 年度)、東京理科大学特定研究助成金共同研究(代表三浦和彦、2013 年度)、東京理科大学総合研究機構山岳大気研究部門 2013 年度活動経費・活動補助費の助成により行われた。

参考文献

府川明彦、上田修裕、古川理央、三浦和彦、永野勝裕、児島　紘:第 7 回成果報告会講演予稿集、2014.
渡辺彩水、青柳聡太、三浦和彦、古谷浩志、植松光夫、大河内博:第 7 回成果報告会講演予稿集、2014.
中原勇希、中﨑翔太、三浦和彦、青木一真:第 7 回成果報告会講演予稿集、2014.
鷹取　翔:第 7 回成果報告会講演予稿集、2014.

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

O-07:富士山体を利用した自由対流圏高度における エアロゾル―雲–降水相互作用

大河内博[1]、緒方裕子[1]、皆巳幸也[2]、米持真一[4]、竹内政樹[5]、香村一夫[1]，名古屋俊士[1]
1. 早稲田大学，2. 石川県立大学，3.埼玉県環境科学国際センター，4. 徳島大学

1. はじめに

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

2. 観測期間・観測地点・観測項目

自由対流圏高度に位置する富士山頂で2013年7月18日から8月22日までエアロゾル(水溶性成分，多環芳香族炭化水素，フミン様物質，球状炭化粒子，黄砂)，ガス(酸性ガス、揮発性有機化合物)，雲水，雨水の観測を行い，日本上空のバックグランド濃度の測定を行った．さらに，ウェットデニューダーを用いて富士山頂および富士山南東麓太郎坊における酸性ガス(塩化水素，亜硝酸，硝酸，二酸化硫黄)の連続観測を行うとともに，PILSを用いた粒子状物質の連続モニタリングを富士山頂で行った。

3. 観測結果

空気塊の流入経路と雲水内化学成分との関係を調べたところ，中国北部および南部からの空気塊のときにHg，Cd，Pb，As，SO_4^{2-}が高濃度であった。8月18日夕方に桜島最大規模の噴火があり，この空気塊が8月21日早朝に富士山頂に到達したが，このときにはHg，Pb，As，H^+，SO_4^{2-}が高濃度であった。図1には，桜島噴煙到達時の大気中SO_2濃度と雲水化学成分濃度を示す。大気中SO_2濃度はフィルターパック法（FP（SO_2））で計測したが，桜島噴煙到達時に高濃度となっていることが分かる．また，このときに発生した雲水は噴煙由来のH_2SO_4により酸性化していた。桜島噴煙の影響により，雲水の酸性化が生じることを実証したのは本研究が初めてである。なお，フィルターパック法（FP（SO_2））は6時間毎の採取であるため時間分解能が悪いものの，首都大学東京・加藤准教授による自動モニターの計測値（SO_2計），PILSを用いたSO_2とSO_4^{2-}の総和（PILS（SO_2+SO_4^{2-}））と同様な挙動を示し，濃度レベルも比較的一致することが分かった。

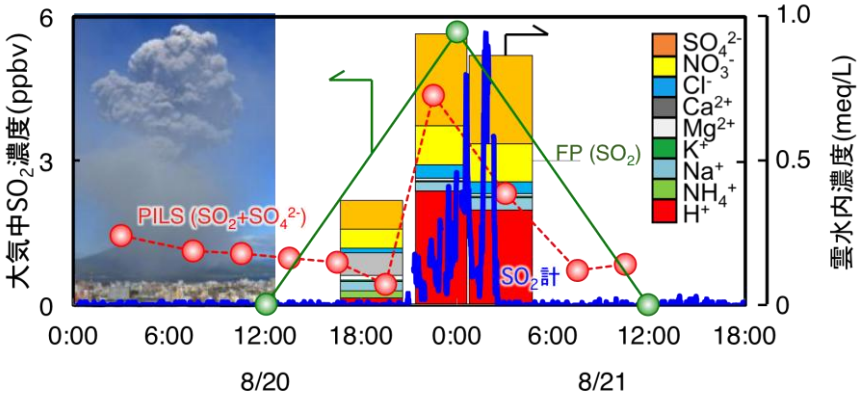


図1　桜島噴煙が富士山頂に到達した2013年8月21日未明の大気中SO_2濃度と雲水組成

謝辞:PILSは東京大学大気海洋研究所・植松光夫教授より借用いたしました．深謝申し上げます．
*連絡先：大河内　博（Hiroshi OKOCHI)、hokochi@waseda.jp

O-08：富士山頂短期滞在時の安静及び運動の動脈系血行動態に及ぼす影響に関する研究

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

1. はじめに

急性高山病は、高所滞在時に頭痛に加え、食欲低下や吐き気、全身疲労感や脱力感、めまいや立ちくらみ、睡眠障害のいずれかの症状がある状態である。急性高山病は、2,000m以上の高所に到着後、数時間から 3 日程で発症し、重症化すると肺水腫や脳浮腫を経て死に至る場合もあり、また、滑落など登山中の事故の背景に潜む原因となることも指摘されており、その発症機序を解明し、改善策を確立することは急務である。我々は、2010～2012 年度の 3 年に渡る富士山頂短期滞在時の研究から、動脈血中の酸素分圧の低下に起因した交感神経系の亢進によって、脳の血管の拡張と血流量の増加が引き起こされることを報告し、それらが頭痛や急性高山病の原因と考えられることを示唆した。しかし、これまでの研究で用いた近赤外分光法による脳の酸素化動態による評価、および、経頭蓋ドップラー法を用いた中大脳動脈の血流速度による評価は、脳の血流量を正確に反映していないことも考えられた。そこで今年度は、富士山頂短期滞在時に超音波ドップラー法を用いて脳への血流量を定量的に測定し、高所滞在時による脳血流量の変化と急性高山病発症との関連を検討した。

2. 方法

1）被験者：成人男性 4 人（年齢：22～46 歳）とした。平地（御殿場、標高：500m）、富士山頂（標高：3,776m）到着の後、滞在 1～3 日目に測定を行った。
2）プロトコール：測定に先立ち、急性高山病の症状を急性高山病スコアによって評価した。仰臥位安静時に超音波ドップラー法を用いて左側の頸動脈血流量を測定した。その後、仰臥位および立位安静時の測定をそれぞれ 5 分間行い、3 分間の踏み台昇降運動後の仰臥位安静回復時の測定を 5 分間行った。
3）頸動脈血流量：総頚動脈、内頸動脈、外頸動脈、および、椎骨動脈の血流量を測定した。
4）その他の測定項目：心拍数、収縮期および拡張期血圧、動脈血酸素飽和度（SpO_2）、呼気終末二酸化炭素濃度、を 1 分ごとに測定した。

3. 結果および考察

急性高山病スコアは、平地の 0 点から、滞在 1、2、3 日目に、ぞれぞれ、2.5±0.9、3.0±1.1、4.0±0.7（平均値±標準誤差）点に上昇した。SpO_2 は、平地の 96.8±0.3%から、滞在 1 日目に 80.3±2.2%に低下した後、滞在 2、3 日目に、それぞれ、83.5±2.1%、85.3±2.3%に漸増した。一方、総頚動脈血流量は、平地の 413±58 mL/分から、滞在 1、2、3 日目に、ぞれぞれ、441±24、510±16、558±48 mL/分に、内頸動脈血流量は、平地の 226±28 mL/分から、滞在 1、2、3 日目に、ぞれぞれ、266±36、283±22、309±22 mL/分に漸増した。椎骨動脈血流量は、平地の 59±7 mL/分から、滞在 1 日目に 88±9 mL/分に上昇した後、滞在 2、3 日目に、それぞれ、84±19、82±19 mL/分に漸減した。外頸動脈血流量は、概ね一定の値を維持した。内頸動脈血流量の増加と共に急性高山病スコアが上昇したことから、高所滞在による脳血流量の増加が、頭痛や急性高山病を引き起こす原因であることが推察された。

4. 結論

富士山頂短期滞在時において、脳血流量の増加と共に急性高山病スコアが上昇した。

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

O-09:「理科準備室へようこそ」～富士山頂での教材開発 II～

古田豊[1]、島野誠大[2]、齊藤太郎[1]、渡部智博[1]、林壮一[1]、綾部俊二[1]
1. 立教新座中学校・高等学校、2. 十文字中学高等学校

1. はじめに

富士山頂の自然を観照したい。「富士山頂とはどういうところか」を探る実験を通じて、学校教育に実装可能な教材開発に取り組んだ。教員が富士山頂で、高校生が富士宮口六合目と学校で同じ実験を行い、比較考察した事例を報告する。実装した高等学校は 2 校、形態は授業と部活動と有志活動である。

2. 高等学校の理科選択授業への実装 実験の改良から学ぶ

立教新座高等学校 3 年生の理科選択科目「物理実験」の授業の年間テーマとして、富士山頂での 3 実験に生徒 2 名が取り組んだ。2012 年夏に富士山頂で行った実験条件と方法を検討し、2013 年夏の実験結果を学校での結果と比較した。(1)プロペラ浮上装置による可搬重量 (2)霧箱による飛跡調べ (3)肺活量測定器具の自作である。(1)では「空飛ぶドラえもん手回し発電タケコプター」(小学館)、「ホームカイト」(タカラトミー)、「赤外線ヘリコプター」(CCP)を用いた。「赤外線ヘリコプター」は富士山測候所の床から浮き上がらず横滑りした。(2)では 2012 年の動画データを 1 分ごとに計数した。

3. 高等学校の部活動への実装 ゴミを利用した実験教材から学ぶ

富士山頂で空のペットボトル 6 本に空気を入れて蓋をし立教新座高校へ持ち帰った。潰れたペットボトルから、富士山頂と学校の自然の違いをボイル・シャルルの法則を用いて考える教材を、観測部活動の実験に実装した。標高約 38m の学校の大気圧は、富士山頂 3,776m で容積 2,099mℓ のペットボトルを、生徒の測定で1,293mℓに、教員の測定で 1,329mℓ に潰した。理論値よりそれぞれ8.9%と6.3%少ない容積であった。また高校生が標高 2,493m の富士宮口六合目で合宿をして同様に持ち帰った 3 本のペットボトルを1,66lmℓ に潰した。変形しにくいペットボトルでもこの程度の値を得ることができ、授業で展開可能な教材準備ができた。今後、授業中の生徒実験で持ち帰った 9 本のペットボトルを使うことができる。

4. 高等学校の部活動への実装 高校生が発想した実験から学ぶ

「空気加圧によるペットボトルの栓の外れ」 立教新座高等学校の生徒達は、自転車用空気入れでペットボトルを加圧すると、栓が外れるまでに富士山頂と学校とで違いが出ると予想し、富士宮口六合目でも実験を行った。その結果、これら 3 地点を通じて納得のいく理解には至らず、空気入れの交換と圧力計測等を加えて実験を継続している。

5. 高等学校の有志活動への実装 高校生が発想した実験結果から学ぶ 「音速の測定」

十文字高等学校の生徒達は、富士山頂と学校の気圧の違いが音速に影響を与えると考え次のような実験を行った。高校物理の教科書では、空気中の音速 v は v =331.5+0.6t(ここで、t は温度である)という式で与えられる。生徒達は、気圧が異なる場合、空気中の隣り合う粒子の間隔が変化すると考え、富士山頂では音速がこの式で与えられないことを予想した。そして、この予想を確かめるために、生徒達は富士山頂と学校で音速測定器により音速を測り、前述の式で与えられる値と比べた。その結果、当初の予想が誤りであり、富士山頂でも前述の式で空気中の音速が表されることが分かった。この実験の詳細を口頭発表とポスター発表で生徒達が説明する。

6. 関連した教育活動

(1) 2012 年から開発し始めた教材を改良し、新たな実験を行い、また十数名の高校生の参画を得た。
(2) 十文字高校生が発想した「純水の沸点測定」のデータ取得と教材化に際しての問題点を確認した。

(3) 十文字高校生が立教新座高校を訪問して合同実験と意見交換を行い、Skype による検討を行った。
(4) 富士山測候所と十文字高校、またガリレオ工房会員数名とを Skype で繋ぎ、測候所内外の紹介と質疑応答を行った。
(5) ガリレオ工房会員の理科系教員 3 名が測候所を日帰り利用して見学し、盆略点前の茶会を催した。
(6) 立教新座高校生が学園祭で「標高の異なる3地点での空気の体積変化」と「空気加圧に伴う圧力弁の外れ」の実験を発表した。また第42回埼玉県私学文化祭作品展研究発表部門で佳作と評価された。

7. おわりに

「富士山頂とはどういうところか」を探る測候所活用 2 年目に、複数の理科教員と複数の高等学校の生徒が協力して教育現場に実装する事例を探ることができた。また実験器具と装置が不具合動作をする場合を確認し、学校で行う実験とは異なる対策を講じるべきことが判明した。これらの問題解決の先に、山頂と学校で同時に実験を行う展開、富士山頂から授業を行う展開など次の活用の可能性が見え始めている。富士山頂と学校で同じ実験を考案し行うことにより、自然を観照する学びを進めたい。

謝辞

富士山頂での実験を手伝ってくださった首都大学東京の塩原靖弘氏に感謝致します。小型ペルチェ霧箱 SML-02 を貸して下さった株式会社ナリカ様、下山時にご配慮を戴いた佐藤元様に感謝致します。本研究は、公益財団法人日本科学協会 平成 25 年度笹川科学研究助成［実践研究］を受けています。

活用報告

古田豊「自然が先生　富士山頂での教材づくり」NPO 法人富士山測候所を活用する会　会報
芙蓉の新風 Vol.8 pp.1-2 (2014)

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

P-01：富士山頂でのエアロゾル化学成分の粒径別測定

鈴木慶[1]、畠山史郎[1]、島田幸治郎[2]
1. 東京農工大学農学部、2. 東京農工大学工学部

1. はじめに

エアロゾルは一般に、燃焼などに伴う凝結過程を経て発生する人為起源のものは微小粒子で、土壌粒子や海塩粒子のように、主に機械的な力を受けて細かく発生した自然起源のものは粗大粒子である。いったんはガスとして大気中に放出されたものが、大気中で粒子に転換してできる「二次粒子」のエアロゾルの割合は、地球規模で見ると 40～50%に及ぶと推定されるが、それらがどのようにできるかというメカニズムは未だ分かっていないことが多い。(笠原ら, 2008)

自由対流圏のエアロゾル粒子の起源は、大気下層から輸送されたか、成層圏から輸送されたもの、あるいは自由対流圏内でガスから生成したものが考えられる。夏の時期は、日本列島は海洋性の太平洋高気圧に覆われるため、大陸からの日本への物質輸送が著しく不活発になると考えられている。しかし、それらの多くは地表面での物質の採取や数値モデルなどから考えられたもので、実証例は意外に少ない。ライダー観測では、ある地点上空のエアロゾルの時間的な濃度・形状の変化を教えてくれるが、この観測方法では広域拡散途中でエアロゾル粒子や周囲の気体成分にどのような物質的変化が生じるかを知ることはできない。(土器屋ら, 2001)

本研究では自由対流圏に位置する富士山頂において、カスケードインパクタを用いて 5 段の粒径別にエアロゾルを捕集した。粒径別に測定を行うことで、粒子に関する詳細な情報を調べることができる。捕集したエアロゾル中の無機化学成分について解析をおこない、富士山頂における無機化学成分の粒径分布や粒径別の発生起源を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

富士山頂において、2013 年 7 月 29 日 18 時から 8 月 2 日 6 時、8 月 19 日 18 時から 8 月 21 日 6 時に、12 時間サンプリングを行った。サンプリングにはカスケードインパクタ（ナノサンプラ KANOMAX MODEL3180）を用い、テフロンフィルター上に 10 μm 以上、2.5-10 μm、1-2.5 μm、0.5-1 μm、0.5 μm 以下の粒子径のエアロゾルを段階別に捕集した。粒子の重量濃度は、フィルターの前秤量と後秤量を行い、その重量の差を積算流量で割ることにより求めた。イオン成分は、イオンクロマトグラフを用いて、Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}の 8 種類を分析した。金属成分は、ICP-MS を用いて、Li、Na、Mg、Al、K、Ca、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Rb、Sr、Mo、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Cs、Ba、La、Tl、Pb、Bi の 31 種類を分析した。

3. 結果と考察

後方流跡線解析によると、期間の前半である 7 月 29 日～8 月 2 日は東アジア地域からの輸送、期間の後半である 8 月 19 日から 8 月 21 日は国内からの輸送が中心であった。イオン成分はどの粒径においてもNH_4^+とSO_4^{2-}が支配的で、両イオンの相関は非常に高いことから、$(NH_4)_2SO_4$の存在が示唆された。また、期間の後半は、K^+と SO_4^{2-}においても高い相関がみられ、K_2SO_4の存在が示唆された。イオン成分の粒径分布は、前半期間

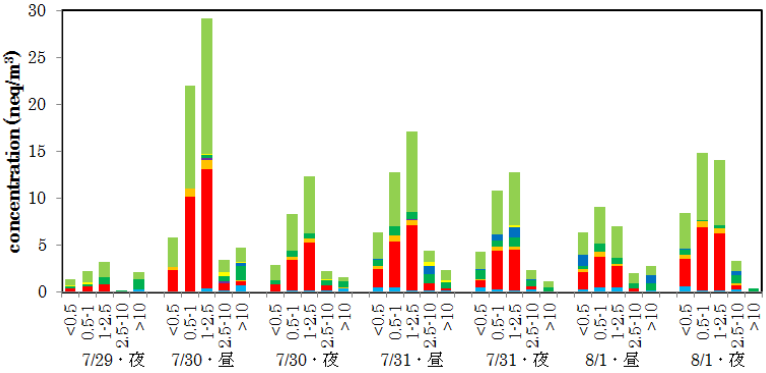


図 1. 前半期間の粒径別イオン濃度

は 0.5-1 μm にピークが存在したのに対して、後半期間は 2.5-10 μm にピークが存在した。前半期間はカチオン濃度、アニオン濃度ともに近い値で、中和されていたのに対して、後半は特に 1-2.5μm や 2.5-10 μm の粒径においてアニオン過剰となった。特に、激しく活動中の桜島による大規模噴火由来の気塊が輸送されてきたときには、アニオン過剰が大きくなっていた。アニオン過剰分を本研究で測定できなかった H^+とすると、H^+と SO_4^{2-}の間に高い相関がみられた。このことから、後半期間は桜島由来の SO_2 が酸化され、NH_4SO_4、K_2SO_4、H_2SO_4 の形態で存在していたと考えられる。また、後半期間においては SO_2 ガスから生成されるエアロゾルが微小域ではなく粗大域に存在していたことから、粗大域へのシフトが示唆された。観測期間において、霧が観測されていたことから、本来微小域に存在するエアロゾルが霧に取り込まれて、粗大域に存在していたと考えられる。

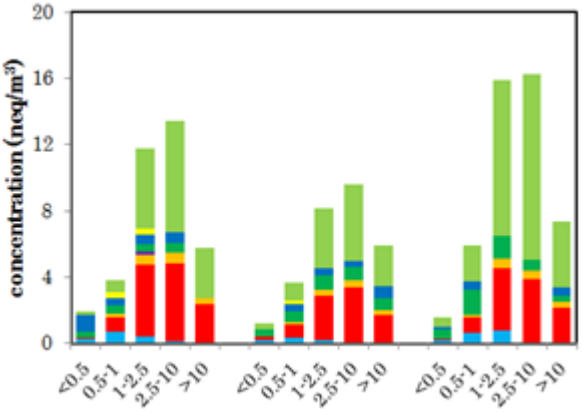


図 2. 期間の後半の粒径別イオン成分濃度

金属元素は、ある元素が代表的な地殻中の元素との比をとることによって土壌起源か人為起源かを判断する指標である EF 値を用いて考察を行った。(Stuart Ross Taylor et al. 1995) EF 値が 2 未満であれその元素は土壌起源、2 から 10 の間にあれば土壌起源と人為起源の両方、10 以上にあれば人為起源を指し示す指標となる。EF 値を各元素ごとに粒径別に見てみたところ、エアロゾルの粒径による違いはほとんど見られなかった。Pb や Cu は EF 値が 10 以上であるために人為起源であることが示唆されたが、後半期間において濃度のピークが 2.5-10 μm の粗大域にみられた。前述のイオン成分と同様に、これらの元素に置いても粗大域へのシフトが示唆された。

4. まとめ

前半期間(7/29～8/2)は東アジア由来、後半期間(8/19～8/21)は国内由来の気塊が輸送されており、フィルターの重量濃度は、前半期間よりも後半期間のほうが高くなっていた。イオン成分においてはどの粒径においても NH_4^+、SO_4^{2-}の濃度が高く、前半期間では 0.5-1, 1-2.5 μm の微小域において濃度が高かったのに対して、後半期間は 2.5-10μm の粗大域において濃度が高かった。イオンバランスは、前半期間は中和されていたが、後半期間は特に粗大域で Anion 過剰となり、過剰な SO_4^{2-}が NH_4SO_4 や K_2SO_4 だけでなく、H_2SO_4 としても存在していた。また、SO_2 ガスによって生成された SO_4^{2-}が粗大域にて観測されたことから、SO_4^{2-}の微小域から粗大域へのシフトが示唆された。金属元素においても、人為起源の物質が粗大域に見られ、SO_4^{2-}と同様に粗大域へのシフトが示唆された。

参考文献

笠原三紀夫, 東野達監修. 京都大学学術出版会(2008). 大気と微粒子の話―エアロゾルと地球環境.
土器屋由紀子, 岩坂泰信, 長田和雄, 直江寛明編. 養賢堂(2001). 山の大気環境科学.
Stuart Ross Taylor, Scott M. Mclennan. (1995) The Geochemical Evolution of the Continental Crust. Reviews of Geophysics, 33(2), 241-265.

謝辞:本研究は、公益財団法人日立環境財団の助成を受けて行った。感謝申し上げます。

*連絡先：鈴木　慶 (Kei SUZUKI)、50010153032@st.tuat.ac.jp

P-02：2013 年富士山頂での CO,O_3,SO_2 の観測

加藤俊吾[1]、塩原靖宏[1]、三浦和彦[2]
1. 首都大学東京、2. 東京理科大学

1. はじめに

一酸化炭素（CO）は大気中で 1-2 か月の寿命があるため、大気汚染が輸送されてきている指標として使うことができる。オゾン（O_3）は汚染大気が光化学反応をすることによって生成され、光化学オキシダント増加や植物への悪影響をおよぼす。富士山頂は近傍の大気汚染発生源の影響を受けにくく、長距離越境汚染の影響を捕らえるのに適している。CO と O_3 を富士山頂で測定し、長距離輸送されてくる大気汚染についての検討を行った。また、二酸化硫黄は石炭燃焼などから発生し酸性雨の原因となるため、SO_2 についても測定を行った。

2. 測定

富士山測候所において 2013 年 7 月 18 日から 8 月 22 日にかけて自動連続測定装置により大気観測を行った。CO は Thermo Environmental Instruments 社の 48C, O_3 は 49i、SO_2 は 43C-TL を使用した。CO および O_3 計は1号庁舎に設置して外気測定を行った。SO_2 計は微量のコンタミを避けるため 3 号庁舎に設置し、ハイボリュームサンプラーで吸引しているインレットから大気を採取した。

3. 結果

CO および O_3 は発生源から十分離れている富士山頂においても大きな濃度変動がみられた。夏季に富士山頂に到達する空気は清浄な海洋性の大気、発生源の影響を受けている大陸方面からの大気が入れ替わっているためである。基本的には清浄な大気は CO,O_3 ともに低濃度で、汚染大気は両者とも高濃度となるが、汚染大気の指標である CO が低いにもかかわらず O_3 だけ高濃度となる場合がみられた。このような期間には水蒸気量が少なくなっており、大気上空の成層圏 O_3 の影響をうけていることが確認できた。

SO_2 は観測期間中ほぼ検出限界以下で推移しており、夏季の富士山付近まで到達する大気ではすでに大気中から除去されていることが考えられる。しかし、8 月 20 日夜に 5ppb 程度の高濃度となる現象がみられた。このときに CO の増加は見られなかったこと、後方流跡線などから判断すると、桜島の噴煙をとらえていたと考えられる。遠く離れた場所での火山活動の大気への影響を富士山頂において観測することができた。

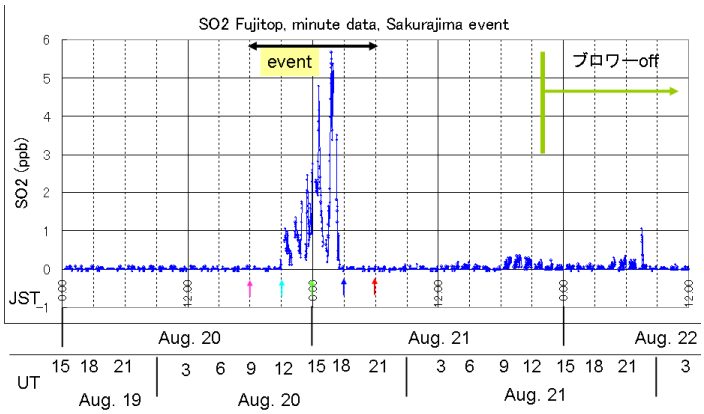


図 1　SO_2 の高濃度イベント

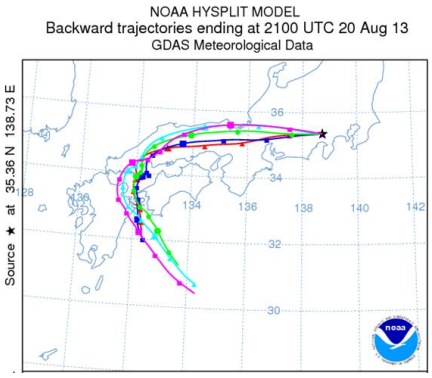


図 2　SO_2 高濃度時の後方流跡線

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

P-03：夏季の富士山頂におけるオゾン・一酸化炭素の 2008-2013 年の比較

塩原靖弘[1]、加藤俊吾[1]、梶井克純[2]、内山一美[1]
1. 首都大学東京大学院、2. 京都大学大学院

1. はじめに

近年、東アジア地域での人間活動が活発化し、今なお発展し続けている。それに伴う大気環境の悪化が見られ、日本を含む近隣諸国への環境汚染物質の影響が及ぶ長距離越境汚染が危惧される。また、日本は東アジア地域の中でも東に位置し、偏西風などの気象条件により大陸からの影響を受けると考えられる。観測地の富士山頂は自由対流圏に位置し、近傍の大気汚染源の影響を受けにくい。そのため、長距離越境汚染の影響を確認することに適すると考えられる。本研究では、一酸化炭素とオゾンの観測を行った。この二つ物質は人為起源による大気汚染を考える上で、重要な意味を持つ。一酸化炭素の主な放出起源は燃焼であり、人間活動と大きく関係する。また、その寿命は1～2ヵ月であるため、汚染大気の長距離輸送の影響を知ることができる。オゾンには成層圏のものと対流圏のもので特徴が異なる。成層圏オゾンは太陽からの有害な紫外線が地表に届くことを防ぐ。対流圏オゾンは植物や人体に害を与える光化学オキシダントの主成分である。本研究では、富士山頂における一酸化炭素とオゾンの観測データから汚染大気の長距離輸送について考察することを目的とした。

2. 観測

富士山頂の測候所にて2008年から2013年までの夏季期間で一酸化炭素とオゾンの濃度を測定した。観測には Thrmoenvironment 社の model49i と model48C を用いた。また、観測地点に到達する空気塊の起源を検討するためにアメリカ海洋大気庁が開発した HYSPLIT モデルで後方流跡線解析を行い、空気塊を水平方向と鉛直方向の分類を行った。

3. 結果・考察

図1に後方流跡線解析の各年別頻度を示す。年ごとに特徴があり、2010 年と 2012 年では海洋性の空気塊が比較的に多く流入し、2008年と2013年は大陸性の空気塊が比較的に多く流入したことがわかった。このように年により、観測地点に流入する空気塊が大きく異なることが示された。

図2に起源分類ごとの一酸化炭素の平均濃度を示す。図から濃度と起源分類に傾向があることが確認できた。中国系由来の空気塊の濃度が最大と予想されたが、ロシアを含む大陸北部由来の空気塊の濃度が最大であるとわかった。

同様にオゾンについても図3に示す。オゾンにも一酸化炭素と同様に傾向が確認できた。一酸化炭素の同様に中国由来の空気塊の濃度が最大であると予想されたが、ロシアを含む大陸北部由来の空気塊の濃度が最大であった。大陸北部分類には高高度の空気塊が多かったため、成層圏からの大気の流入があったと考えられる。成層圏にはオゾン層があるため、オゾン濃度が高い空気が流入したことによる高いオゾン濃度を示した。

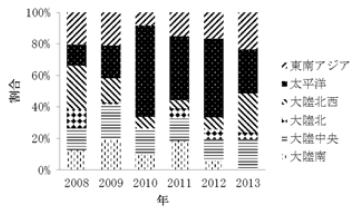


図１　後方流跡線解析の各年別頻度

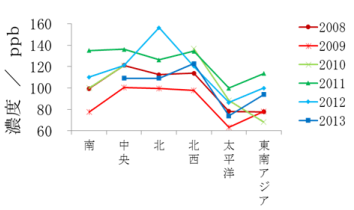


図２　起源分類ごとのCO平均濃度

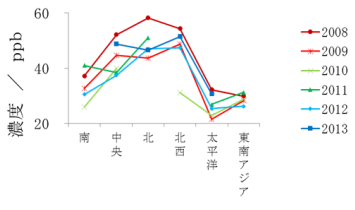


図３　起源分類ごとのO_3平均濃度

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

P-04：富士山周辺におけるラドン・トロン娘核種の変動要因に関する研究

府川明彦[1]、上田修裕[1]、古川理央[1]、三浦和彦[1]、永野勝裕[2]、児島紘[2]
1.　東京理科大学　理、2. 東京理科大学　理工

1. はじめに

富士山頂は1年を通して、自由対流圏内に位置することが多く、東アジアからの長距離輸送の観測に適している。しかし、例えば藤代ら(2009)の報告にあるように、エアロゾルが谷風により山麓から山頂に輸送されるなど、大気境界層の影響は無視できない。そのため、富士山頂で観測を行う中で、山頂に到達するエアマスの輸送過程を知る必要がある。ラドンとトロンは発生源が陸地に限られている。ラドンの半減期は約3.8日であり、大気中では放射性壊変以外の消滅過程がないので、陸地からの物質輸送のトレーサーとして用いられる。トロンは、娘核種の半減期が最長で約10 時間なので、近傍の陸地からの輸送の指標になる。本研究では、ラドン・トロンの娘核種を測定することで、大気境界層から山頂へのエアマスの輸送を調べた。また、気象場のシミュレーションと比較を行い、輸送経路を考察した。

2. 方法

観測は毎年夏期に富士山頂(3776 m)の富士山特別地域気象観測所で行った。本研究では 2007 年・2010 年・2011 年・2013 年のデータを用いた。測定にはラドン娘核種測定装置を用いた。フィルターに捕集したラドン・トロンの娘核種(RaA・RaC'・ThC')が崩壊時に出す α 線を検出している。その結果から、ラドンの娘核種のカウント(Rn のカウント)とトロンの娘核種のカウント(ThC'のカウント)に分類し、カウント数の変化より、エアマスの輸送時間の違いを考察した。また、気象場のシミュレーションには気象モデル(WRF)を用いた。富士山周辺域の解像度は 1 km である(佐竹ら、2012)。

3. 結果・考察

どの年もThC'のカウントは日中よりも夜間に高いピークが見られた(図1.)。ThC'のカウントが増加した時は、近傍の陸地から山頂にエアマスが輸送されてきたと考えられる。日中の増加は、富士山の谷風の影響と思われる。しかし、夜間に増加する原因はわからなかった。そこで、ThC'の増加が顕著な日(2007 年 8 月 10 日)の変化と富士山周辺の気象場のシミュレーションを比較することで、ThC'の変化の原因を考察した。この日の粒子数と Rn・ThC'のカウントの変化を見ると、谷風が発生し下層の空気が輸送されてきたことがわかる。この様子はモデルでも確認できた。しかし、カウントは谷風がやんだ夜間も上昇し続けた。ThC'のカウントが高いので、近傍の陸地からエアマスが輸送されてきたことがわかる。気象場のシミュレーションで、この日の富士山周辺 100 km 四方の地上の鉛直風を見ると、日中に富士山の西側の山岳地帯で複数の上昇風が発生していた。その山岳地帯では 13 時～18 時の間に、3000 m ～3500 m まで吹く上昇風が確認できた。この日の後方流跡線を見ると、エアマスは北西方向から運ばれてきた。そこで、山岳地帯から輸送されたと仮定し、輸送時間を計算した。山頂から山岳地帯までの距離を約 70 km とし、上空の風速を、WRF の結果より平均風速約 3 m/s、最大風速約 6 m/s を用いて計算すると、輸送時間は 3～6.5 時間となった。このことから、日中に持ち上げられたエアマスが輸送され、夜間に山頂に到達したと考えられる。

また、ThC'のカウントが高くなった他の日の後方流跡線を見ると、多くが富士山の西～北方向から来ていた(図 2.)。しかし、2013 年のみ少し異なる結果であった(図 2.)。これは、発生源周辺の気温が関係していることがわかった。

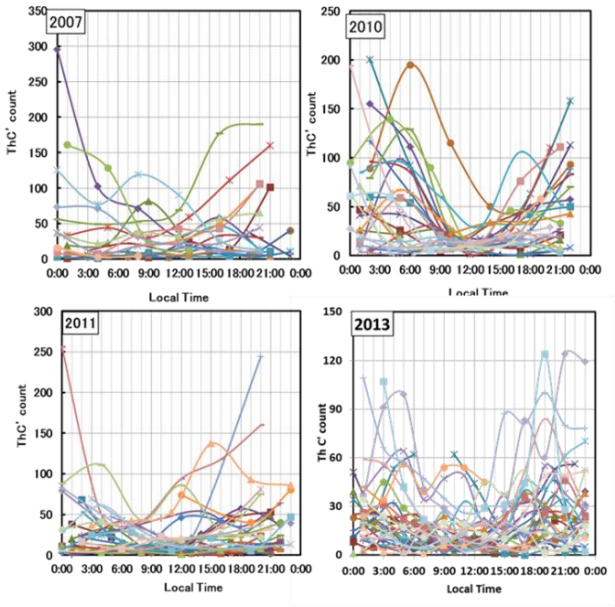


図 1. ThC' のカウントの日変化

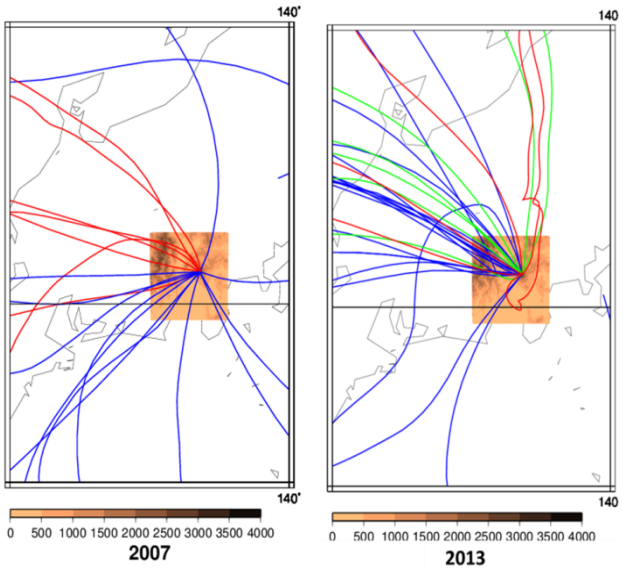


図 2. 2007 年・2013 年の夜間の後方流跡線。
色：ThC'のカウントの数
(2007 年、青：0～100、赤：100～)
(2013 年、青：0～50、緑：50～75、赤：75～)

4. おわりに

富士山頂でRnのカウントは由来により変化するが、RnとThC'のカウントが同時に増加することがあり、日中と夜間では異なる要因で増加していた。日中は富士山の谷風により、山麓から山頂に下層のエアマスが輸送されてきたことが原因であった。夜間は富士山の北西方向などの山岳地帯で持ち上げられた下層のエアマスが山頂に輸送されたことが原因であった。また上空の一般風は西～北風が多いので、山岳地帯で持ち上げられたエアマスは富士山の方向に輸送されやすい。これらの条件により、夜間 Rn と ThC'のカウントが増加しやすい。2013 年は少し異なる傾向があった。その変化の要因を調べると、ThC'のカウントは発生源周辺の気温と関係があることがわかった。これらの要因により、富士山周辺のラドン・トロン娘核種が変動していることがわかった。

参考文献

佐竹晋輔、櫻井達也、三浦和彦、(2012):富士山を対象とした気象シミュレーションによる風況解析、東京理科大学総合研究機構山岳大気研究部門 第一回成果報告会要旨集、p.2
藤代恵史、三浦和彦、藤田慎一、小林拓、(2009):富士山の谷風による輸送量、エアロゾル研究、24(2)、123－128

*連絡先:府川 明彦(Akihiko FUKAWA)、akihiko.07293141@gmail.com

P-05：富士山山頂で測定した雲凝結核濃度と雲粒濃度

渡辺彩水[1]、青柳聡太[1]、三浦和彦[1]、古谷浩志[2]、植松光夫[2]、大河内博[3]
1.東京理大・理、2.東大大気海洋研、3.早稲田大

1. はじめに

エアロゾルには直接効果と雲調節効果（間接効果）がある。直接効果は太陽光を吸収散乱する効果、雲調節効果は雲形成時に雲凝結核（CCN）として働く効果である。CCN は雲の光学特性や寿命を変化させる働きがあり、雲による地球冷却効果に影響を及ぼす。IPCC(2013)の放射強制力に関する報告書によれば、雲調節効果に関するエラーバーが大きく理解度が低い。そのため、多くの地域でCCNを測定することが必要となっている。今回、富士山で CCN を観測した目的として、富士山山頂は自由対流圏にあることが多いためローカルな影響を受けにくくバックグラウンド大気や汚染質の長距離輸送などを見るのに適していることと、自由対流圏中での CCN 観測例が少ないということが挙げられる。また CCN と実際の大気で雲粒として活性している粒子の比較を行った。

ある粒子が CCN になりうるかどうかは過飽和度、乾燥粒径、粒子成分（吸湿性）によって決定する。周囲の過飽和度が大きい、また粒子の乾燥粒径、吸湿性が大きいほど CCN になりやすい。どの要素が CCN 活性への寄与が大きいか、エアロゾルの粒径や粒子組成などをパラメータ化し計算で求めた CCN 濃度（Nccn cal）と実測値（Nccn）を比較することで調べた。

2. 測定方法

2013年7月19日から8月24日の間、富士山山頂に位置する富士山特別地域気象観測所（35.365° N, 138.727° ）で観測を行った。ディフュージョンドライヤを通して空気を乾燥させ SMPS と OPC で凝結核（CN）濃度(N_{cn})とその粒径分布、CCNC で CCN 濃度（N_{ccn}）、Fog Monitor で雲粒濃度（N_{FM}）とその粒径分布を測定した。測定システムを図1に示す。

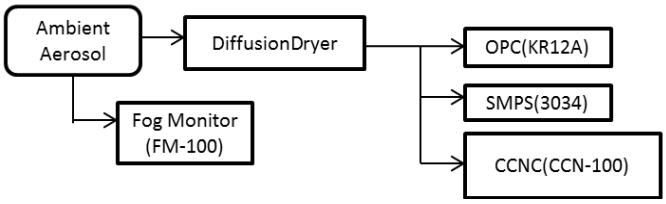


図１　測定システム

3. 結果、考察

NOAA の HYSPLIT の後方流跡線を用いて山頂が自由対流圏に位置していたと考えられる期間と輸送されてきたエアマスの起源を分類し、粒径分布、N_{cn}、N_{ccn} の測定結果と比較した（図2）。CCN 活性比（Nccn/Ncn）を求めたところ他の起源と比較して大陸起源で最も割合が大きくなり最も CCN になりやすいことがわかった。粒径分布の幾何平均径は大陸起源で大きく、これは長距離輸送されて粒子が成長したからである。大陸起源で CCN になりやすい理由は粒子の幾何平均径が大きいためと考えられる。また観測期間中、約 40%が大陸起源であり例年より多かった。FT（自由対流圏）起源とそうでない期間では FT 起源のほうがCCN活性する粒子濃度は高くなった。境界層の影響を受けたほうが Ncn、Nccn とも高くなると予想できるが異なる結果となった。これは、FT 起源に大陸起源の割合が多かったためと考えられる。富士山山頂では輸送起源によって CCN 特性は変化し、ローカルな影響は受けにくいことが分かった。次に κ ーケーラー理論を用いて粒子の吸湿性を表すパラメータ κ を算出した。全観測期間の平均値は 0.55 ±0.31 で 2011 年、2012 年の結果と大きな違いは見られなかった。

富士山山頂にライブカメラを設置し雲中にあった時間を分類した。また、夜間は写真で判別できないため昼間の雲中期間の雲水量の 25%値より大きい時を雲中とした。その結果、観測期間の約 20%雲中にあった。雲中と雲なしの期間の比較を表1に示す。雲中では CCN 活性比、κ ともに大きくなった。

4. まとめ

・エアマスの起源別にみると大陸起源で最も CCN 活性する粒子濃度が高くなった。また観測期間中、大陸起源が卓越していた。富士山山頂では輸送起源によって CCN 特性は変化し、幾何平均径が大きい粒子が CCN 活性しやすいことが分かった。

・全観測期間の吸湿性パラメータ κ の平均値は 0.55±0.31 であった。

・実大気の雲の有無に伴って CCN 特性を表すパラメータも変化した。

他に測定から得られる臨界過飽和度、CCN 濃度の計算値と実測値の比較から求めた雲凝結核特性について示す予定である。

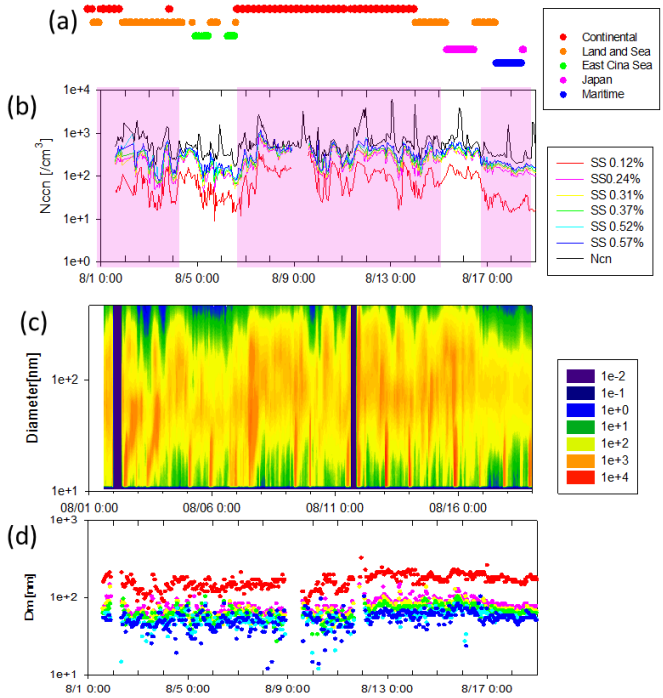


図２　富士山で測定した各種結果時系列
エアマスの起源(a)、Ncn と Nccn(b)、粒径分布(c)、
臨界乾燥粒径(d)

図３ライブカメラ例（上：雲あり　下：雲なし）

表１　雲中と雲なし期間の測定結果

	$N^{FM}[/cm^3]$	LWC[mg/m^3]	気温[℃]	風速 [m/s]	Nccn[$/cm^3$] (SS0.52%)	Nccn/Ncn	κ
雲中	0.089	0.048	5.72	3.07	343.1	0.48	0.63±0.43
雲なし	0.002	0.0008	7.58	3.31	297.6	0.46	0.47±1.01

参考文献

1) Climate Change 2013：The Physical Science Basis IPCC WGI Fourth Assessment Report
2)The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
http://www.arl.noaa.gov/ready.html
3) Petters, M. D. and Kreidenweis, S. M. (2007) Atmos. Chem. Phys., 7, 1961-1971
4) Z. Jurányi et al.(2011)JGR, VOL. 116, D10204

*連絡先：渡辺彩水(Ayami WATANABE)、a.watanabe.tus@gmail.com

P-06：富士山周辺におけるエアロゾルの光学特性

中原勇希[1]、中崎翔太[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

大気中に存在する微粒子や液滴であるエアロゾルは、太陽光を直接散乱および吸収する事により放射バランスを制御する、または雲調整効果を持つなど気候へ影響を及ぼす事が知られており、数多くの研究や観測がなされている。IPCC(2013)の報告によると、エアロゾルの放射強制力は大半のエアロゾルによる負の放射強制力と黒色炭素が太陽放射を吸収する事による正の放射強制力に分けられ、正味の冷却効果が低いことが示された。しかし、未だ気候への影響を評価する上で未知な点が多く、中でもその空間分布を実際に捉える事が重要となってくる。本研究では都市域などの排出源から遠い富士山山麓太郎坊にスカイラジオメータを設置し、太郎坊上空のエアロゾルの光学特性を調べる事を目的としている。

2. 測定方法

観測は2013年7月22日から8月22日に富士山麓太郎坊(標高:1290 m, 北緯 35.22, 東経 138.80)にSkyradiometer(POM-2;Prede)を設置し、太陽周辺光強度を測定した。得られた太陽周辺光強度はSKYRAD.pack ver4.2(Nakajima et al.;1996)を用いて解析する事によりエアロゾル光学的厚さ(以下 AOD)、体積カラム濃度などが得られる。エアロゾルの光学的厚さの波長依存性から、粒径に依存するオングストローム指数(以下 α)を算出した。また参照データとして太郎坊及び富士山山頂に設置した走査型移動度粒径測定器(SMPS)、光散乱式粒子計数器(OPC)の粒子数濃度を用いた。

3. 結果・考察

観測期間中の波長 500 nm における AOD、及びαの時系列、横軸に AOD、縦軸にαを取った散布図を図1に示す。日平均にして AOD は8月7日に最小値 0.12 を記録したが、同じ時期の東京の AOD と比べ低いため、太郎坊上空は比較的清浄な大気であると言える。一方で8月9日に最大値 0.56 を示した。8月9日や10日は太郎坊および富士山山頂に設置した粒子計測器でも観測期間を通して比較的高濃度であり、汚染気塊が飛来したことに伴う AOD の上昇ととらえることができる。α は 1.2～1.7 であり、太郎坊上空では微小粒子が卓越している結果となった。

次に体積カラム濃度を図2a, b に示す。概ね、半径 0.1 μm と 10 μm 付近でピークを持つ二山分布であるが、8月7日は 1 μm 付近にもピークが見られている三山分布であった。この時、太郎坊では南風の影響下であり、海塩粒子が飛来した事が原因と考えられる。図 2.b に示される8月9日と10日の体積カラム濃度はレベルが高く、AOD が比較的高いことと共通している。また、10 μm 付近に現れているピークが 0.1 μm のものに比べ高く、α が低い時期とも一致する。

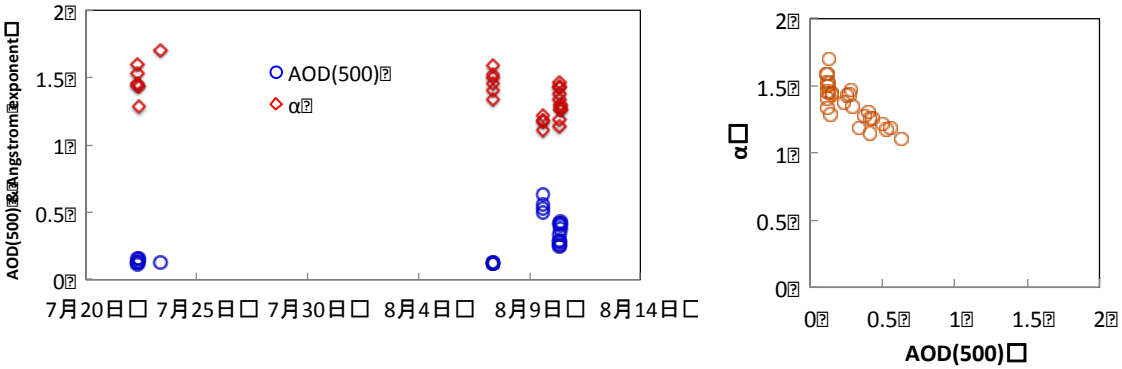


図1　観測期間中の AOD とαの時系列(左)と散布図(右)

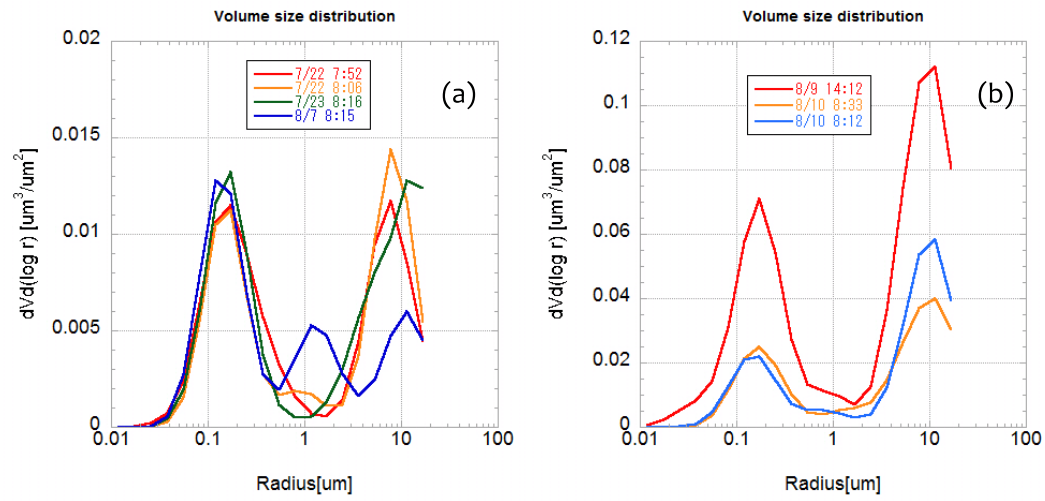


図２　体積カラム濃度(a)7/22,23,8/7 (b)8/9,10

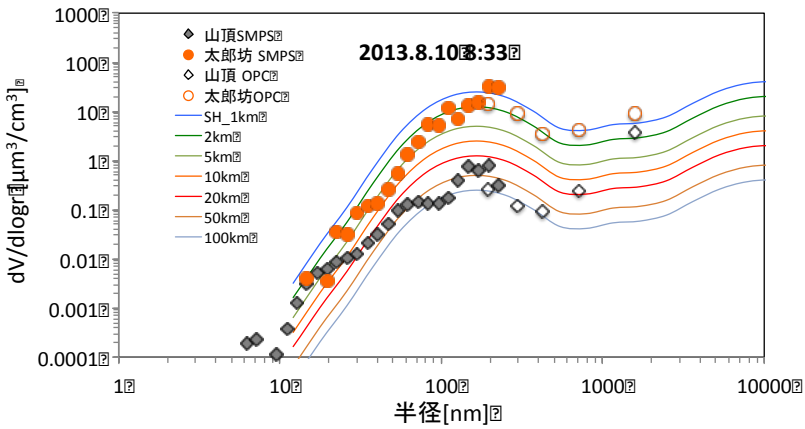


図３ 体積濃度分布の比較

Skyradiometer から得られた体積濃度分布と富士山山頂および太郎坊で得られた体積濃度分布を図３に示す。実線はエアロゾル層の高さを仮定して体積カラム濃度を平均化したものである。太郎坊の濃度が鉛直方向に均質に存在すると仮定する(Lorraine et al.；1997)と、エアロゾル層は約 2 km～5 km の高さを有すると推定した。今後の課題として、太郎坊に設置した Lidar で得られた消散係数の鉛直分布と比較を行ない、エアロゾルの鉛直分布について考察していく。

参考文献

Nakajima, T., Tonna, G., Rao, R., Kaufman, Y., and Holben, B. (1996) Use of sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions. Appl. Optics, 35, 2672-2686

Lorraine A. Remer, Santiago Gassó, Dean A. Hegg, Yoram J. Kaufman, and Brent N. Holben (1997) Urban/industrial aerosol: Ground-based Sun/sky radiometer and airborne in situ measurements. J. Geophys. Res. 102, 14, 16849-16859

*連絡先：中原勇希(Yuki NAKAHARA)、j1213620@ ed. tus. ac. jp

P-07：2013 年夏季富士山頂における偏光 OPC の観測結果

鷹取 翔[1], 大橋 正典[1], 小林 拓[1], 三浦 和彦[2]
1. 山梨大学, 2. 東京理科大学

1. はじめに

大気汚染微粒子や黄砂といった大気中の微粒子は，太陽放射を散乱・吸収し地球の放射収支に影響を与える．また，それらの微粒子は自由対流圏を通じ越境輸送されることが知られており(Osada et al., 2003)，遠隔地の環境に影響を与える．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解明が重要である．そこで，自由対流圏の観測に最適である富士山頂(五十嵐, 2009)において偏光 OPC を用いた観測を実施した．これにより，自由対流圏越境輸送微粒子の組成別大気濃度変動をリアルタイムで直接観測することを目的とする．

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．偏光 OPC では外部から導入した微粒子にレーザー光を照射し，散乱光から粒径，大気中の個数濃度，粒子の形状の指標となる偏光度を測定する．偏光度は値が小さいほど球形，大きいほど非球形を表す．一般に，燃焼由来の大気汚染物質ならば粒径は小さく，形状は球に近い，黄砂であれば粒径は比較的大きく，形状は非球形であるなど粒径と形状から組成情報を得ることが出来る．

2. 方法

偏光 OPC を富士山測候所(標高 3776m)に設置し，2013 年 7 月 19 日～8 月 22 日まで観測を行った．測定された粒子数は，粒径に関し 4bin，さらに偏光度に関し 10bin の計 40bin に区分している．これらの各 bin と微粒子の組成別との関連を調べるため，2013 年甲府（山梨大学 B2 号館 2F）において行った偏光 OPC 観測結果とフィルターサンプリングから得た化学成分データを用い，統計手法（ファジーC 平均法によるクラスタリング)と化学成分との相関分析により分類を行った．ファジーC 平均法はある要素が帰属するクラスターを 1 つに決めるのではなく，曖昧さを許し帰属する割合を求め分類する手法である．表1にクラスター分析結果を示した．POPC 観測と化学成分との相関分析からクラスター1 は燃焼起源大気汚染微粒子，クラスター2 は具体的な組成は特定できなかったが球形粗大粒子，クラスター3 は鉱物粒子を主に表すと想定した．この分類を用い富士山測候所での偏光 OPC 観測結果から組成別体積濃度を求めた．

表1 ファジーC平均法により求めた
各binの各クラスターへの帰属率

粒径	偏光度	帰属率		
		クラスター1	クラスター2	クラスター3
0.5-1μm	0.1	0.958	0.030	0.012
	0.2	0.891	0.075	0.034
	0.3-0.4	0.977	0.017	0.006
	0.5	0.646	0.290	0.064
	0.6-0.7	0.178	0.736	0.086
	0.8	0.067	0.773	0.160
	0.9	0.075	0.679	0.246
	1.0	0.071	0.230	0.699
1μm-3μm	0.1	0.975	0.018	0.006
	0.2	0.802	0.158	0.040
	0.3-0.7	0.178	0.742	0.080
	0.8	0.067	0.397	0.536
	0.9	0.057	0.238	0.705
3μm-5μm	0.1	0.241	0.656	0.103
	0.2	0.049	0.887	0.064
	0.3-0.5	0.018	0.946	0.036
	0.6	0.064	0.360	0.576
	0.7	0.052	0.199	0.749
5μm-10μm	0.1	0.088	0.402	0.510
	0.2	0.063	0.270	0.667
	0.3	0.058	0.260	0.682
	0.4	0.058	0.271	0.672
	0.5	0.054	0.219	0.727
	0.6	0.059	0.193	0.747

3. 結果・考察

各成分の体積濃度は昼間高く，夜間に小さくなる日変動を示した．昼間の濃度上昇は山岳特有の山谷風による麓などからの大気輸送によるものであると考えられる．

また，球形粗大粒子，鉱物粒子は大気汚染微粒子比べ，日中，特に高い値を示した．これは，山頂近傍での砂埃の舞い上がりが影響していると思われる．深夜から早朝にかけては低濃度を示す事が多く，比較的ローカルな影響を受けていない自由対流圏微粒子を観測出来ると考えられる．観測期間の多くは昼間に濃度が上昇し，夜間に減少する変動を示したが，夜間においても濃度が減少しない測定例を図1～3に示す．7月21日は他の多くの観測と同様に夜間低濃度であり正午付近に高濃度を示している．図1から大気汚染微粒子の濃度は7月28日，8月8日の夜間に濃度が減少せず7月21日と比較して10倍ほどの高い値を示していた．しかし，他の組成の濃度は同様の変化は見られなかった．後方流跡線解析の結果，大陸からの気塊輸送が示された．そのため，7月28日は大陸からの大気汚染微粒子越境輸送を観測していると考えられる．球形粗大粒子と鉱物粒子は，8月8日のみ夜間高濃度であった．その濃度は他の日と比べ10倍ほど高かった．この日の後方流跡線も大陸からの気塊輸送を示した．したがって，8月8日は大気汚染微粒子だけでなく黄砂などが混合した空気塊が越境輸送されてきたと考えられる．

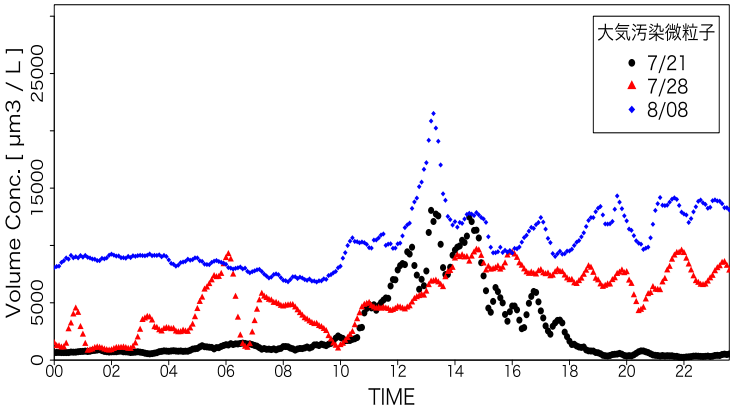


図1 7/21,28, 8/08における大気汚染微粒子の体積濃度時間変化

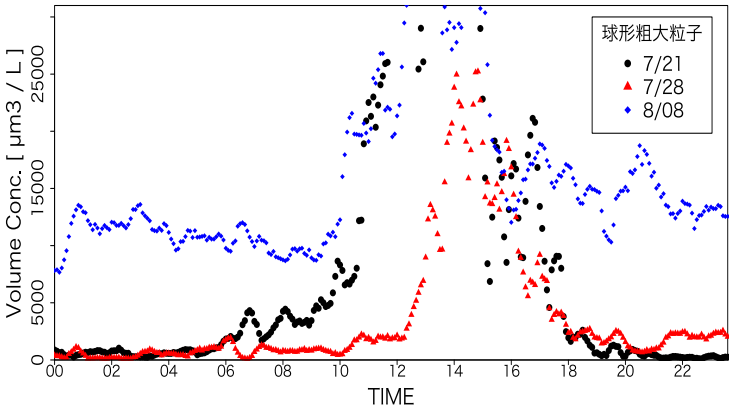


図2 7/21,28, 8/08における球形粗大粒子体積濃度時間変化

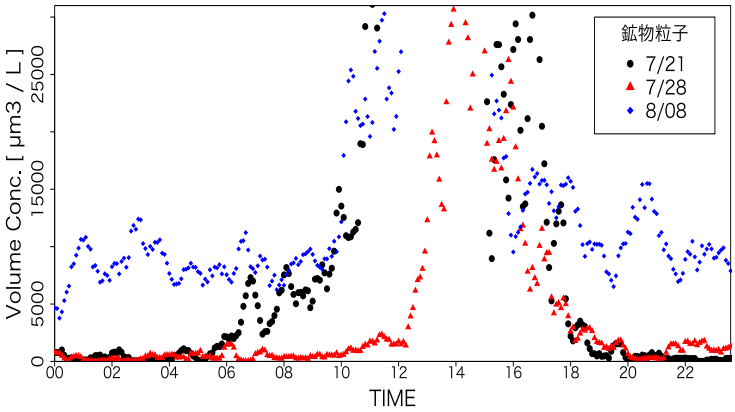


図3 7/21,28, 8/08における鉱物粒子の体積濃度時間変化

4. まとめ

富士山頂において偏光OPCを用いた自由対流圏越境輸送微粒子のリアルタイム直接観測を行った．その結果，自由対流圏を越境輸送された大気汚染微粒子及び黄砂の濃度を観測することができた．

参考文献

Osada at al., Seasonal variation of free tropospheric aerosol particles at Mt. Tateyama, central Japan, *Journal of Geophysical Research*, **108**, No. D23, 8667, 2003

五十嵐康人，富士山におけるエアロゾル観測とその課題，*エアロゾル研究*, **24**(2), 90-96, 2009

*連絡先:鷹取 翔(Shou TAKATORI)、g13mf007@yamanshi.ac.jp

P-08：2013 年富士山山頂で観測された雷雲に関連する高エネルギー放射線

齋藤将監[1]，庄司智美[1]，鈴木裕子[1]，片倉翔[1]，鳥居建男[2]，杉田武志[3]，楠研一[4]，鈴木智幸[1]，鴨川仁[1]
1. 東京学芸大学物理科学分野、2 .日本原子力研究開発機構、3. SSL、4. 気象研究所

1.はじめに

雷活動に起因すると考えられる放射線が、Torii らを始めとして雷活動中に観測されている(Torii et al.,2002)。これらの事例は冬季雷中に報告されていた。このような現象は雷雲の高度が高い夏季には報告されていなかったが、夏季雷でも発生するのかということを検証するために、2008 年から富士山山頂で観測し始めた。富士山で観測した理由は、放射線が大気によって減衰するということと、放射線発生源と考えられる雷雲と観測地点との距離を短くするために富士山である。雷活動を起因とする放射線は 2 種類観測されている。1 つは雷放電時に発生する約 1 ミリ秒の放射線変動であり、もう 1 つは雷雲発生時ではあるが雷放電時ではない 10 秒以上かつ数 MeV から 10 MeV 強の放射線変動である。前者は Runaway Breakdown (RB)によって発生していると考えられる。一方、後者は Relativistic Runaway Electron Avalanche (RREA)過程が発生機構であると考えられている(Torii et al./ 2009)。以上より、本研究では雷放電時ではない 10 秒を超える高エネルギー放射線変動の仮説を支持するか検証を行う。

2.観測方法

雷雲中の放射線を直近で検知するために、2013 年の夏季に、雷活動が盛んな標高 3,776m の富士山山頂において雷活動時の放射線変動を観測した。場所は富士山頂にある富士山測候所内で、厚さ 2mm のアルミ製のカバーで覆われた 5 インチの円筒型 NaI シンチレーション検出器を設置し、γ 線を測定した。この NaI シンチレーターの仕組みは、円柱の中に入っている NaI は電磁波を受けるとその強度によって異なる蛍光反応を示す。この光を光電子増倍管によって捕えγ線が来たことを検知する。ただし、このときはコンプトン散乱が起きるので様々な波長が検出される。この検出器の測定エネルギー範囲は、150keV から 23MeV である。さらに測候所屋根に Boltek 社製のフィールドミルを 2 つ設置し、雷雲活動で生じる大気電場の測定を行った。2 つのフィールドミルのうち、1 つは雷雲が近づいた時のために低感度(Low)に設定し、もう 1 つは雷活動が活発でない晴天時などの大気電場を測定するために高感度(Sensitive)に設定した。電場測定値の校正は限りなく海面に近い小笠原諸島の海岸のデータを基準に行い、小笠原、富士山、共に快晴だった 2013 年 8 月 12 日 3:30～4:00 の大気電場のデータを比較して校正した。この校正方法はグローバルサーキット理論に基づき、遠方でも同一の大気電場を示していることを前提にしている。

3.観測結果

2013 年富士山頂夏季観測の Low と Sensitive 全日分の時系列データを示す(図 1、図 2)。このデータの中で特に電場変動が大きかったのは、2013 年 7 月 23 日、7 月 26 日、7 月 27 日、8 月 5 日、8 月 11 日である。さらに、これらの中で NaI シンチレーション検出器によって放射線量が大きく変動している日は 7 月 23 日と 7 月 26 日となる。いずれも大気電場が大きく変動していると同時に放射線量も大きく変動している。

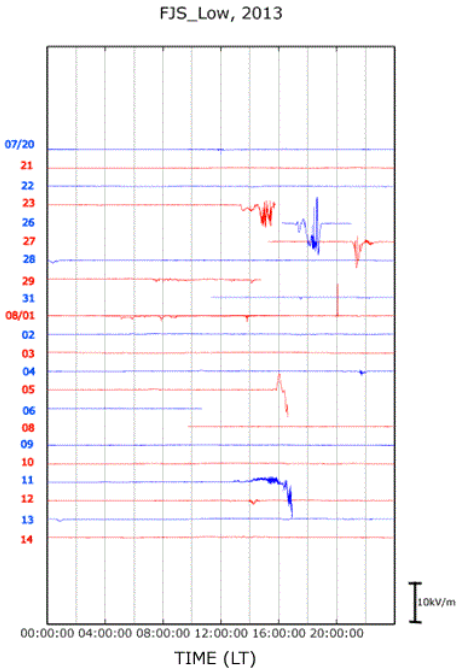


図 1　2013 年夏季の低感度大気電場

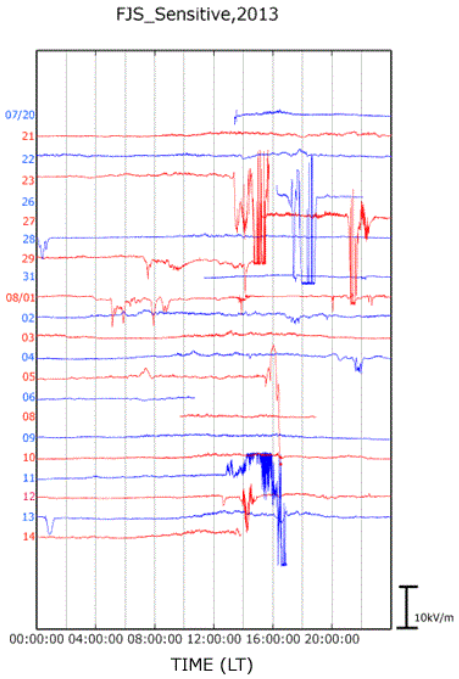


図 2　2013 年夏季の高感度大気電場

4.まとめ

2013 年度に高エネルギー放射線の測定および雷雲が作る大気電場の測定を行ったところ、7 月 23 日と 7 月 26 日の放射線量の変動は雷雲活動と同期した。自然放射性核種のラドンが降雨中に溶け出し、一時的に放射線量が増加することもあるが、それは緩やかな増加であり、今回のような急激な増加とはそぐわない。よって、降雨による変動とは異なるため、高エネルギー放射線が発生している可能性が高いと言える。観測結果から、雷雲から発生する高エネルギー放射線の発生機構を説明する有力な説「逃走電子仮説」の検証を行う準備ができたと言える。

今後は、雷雲の位置を同定すると同時に雷雲中の電荷分布を推定することが課題である。

参考文献

Torii, T., M. Takeishi, and T. Hosono (2002), Observation of gamma-ray dose increase associated with winter thunderstorm and lightning activity, *J. Geophys. Res.*, **107**(D17), 4324.

Tsuchiya, H., T. Enoto, S. Yamada, T. Yuasa, M. Kawaharada, T. Kitaguchi, M. Kokubun, H. Kato, M. Okano, S. Nakamura, K. Makishima (2007) Detection of high-energy gamma rays from winter thunderclouds, *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 165002.

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.

Tsuchiya, H., T. Enoto, T. Torii, K. Nakazawa, T. Yuasa, S. Torii, T. Fukuyama, T. Yamaguchi, H. Kato, M. Okano, M. Takita, K. Makishima (2009) Observation of an energetic radiation burst from mountain-top thunderclouds, *Phys. Rev. Lett.*, **102**, 255003.

*連絡先:齋藤将監(Shogen SAITO)、b112314n@st.u-gakugei.ac.jp

P-09：2013 年富士山山頂で観測された雷雲時の高エネルギー放射線と大気電場

庄司智美[1],齋藤将監[1] ,鈴木裕子[1], 片倉翔[1], 鳥居建[2], 杉田武志[3], 楠研一[4], 鈴木智幸[1], 鴨川仁[1]
1.東京学芸大学物理科学分野, 2.日本原子力研究開発機構,
3.SSL, 4.気象研究所

1. はじめに

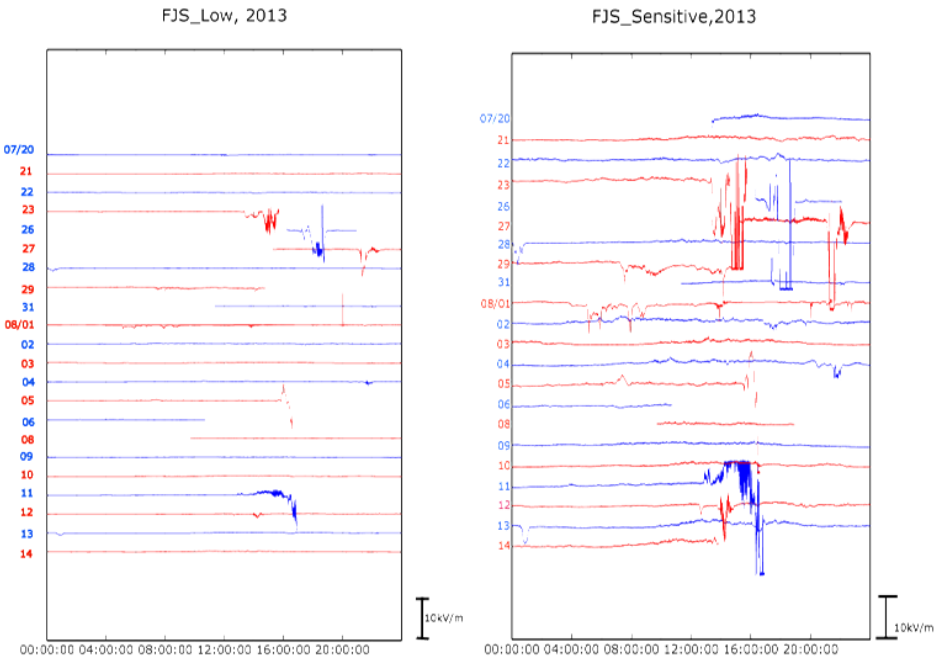
以前から雷雲通過時に高エネルギーの放射線が観測される事例がいくつか発表されている。その事例のうち地上で観測されるものは冬季であったが、これは雷雲中の摩擦による電場の分布高度が冬季は低いことが原因で、山岳や航空機など高度の高い場所では夏季でも観測される。このことから、雷雲と放射線の関係には雷雲内の電場が深く関係していることが示唆される。観測されている高エネルギーの放射線とは、地殻起源の自然放射線に存在しない 3MeV 以上のエネルギーをもつ放射線のことで、10MeV 超のエネルギーをもつ放射線も観測されている。このことから、宇宙線や自然放射線が雷雲内の強い電場に入射して、大気中の分子との衝突、二次電子の電場による加速、制動放射線の発生が繰り返され雪崩的にこの現象が進んでいくことで、地上で高エネルギーの放射線が観測されるのではないかと考えられている。そこで、我々は雷雲起源の高エネルギー放射線のメカニズムに貢献するため、2008 年度から夏季に富士山頂での観測を行っている。本発表は 2013 年度の結果報告である。

2. 測定方法

私達は 2013 年夏季に約 1 か月間、富士山頂での観測を行った。大気電場の観測として富士山頂測候所の屋根にフィールドミルを 2 つ設置した。この 2 つのうち 1 つは抵抗を入れて低感度用、もう 1 つは抵抗を入れず高感度用とした。こうすることで、雷雲時はデータが振り切れず、晴天時はわずかな動きもデータとして得ることできるので、広いレンジの測定が可能になった。また、このフィールドミルの横に天頂カメラを 2 つ設置し、測定時の天頂の様子を後から画像で確認することができるようにした。このカメラ 2 つのうち 1 つは夜間用の高感度モノクロカメラで夜間の様子も観察することができる。大気電場測定の校正は同時刻の小笠原のデータを使用した。山岳効果の影響を踏まえて、2 つの地点が晴天で時刻は真夜中のデータで校正を行った。
放射線の測定には、厚さ 2 mm のアルミ製のカバーで覆われた 5 インチの円筒型 NaI シンチレーション検出器を 2 つ用意し、富士山測候所屋内と登山客用の環境省トイレ 2 か所に設置した。

3. 研究結果

約1か月間の観測で得られた大気電場の全日プロットを図1に示す。左のグラフが抵抗を入れて測った低感度用のグラフ、右が抵抗を入れずに測った高感度用のグラフである。この 2 つのグラフを比べることで抵抗を入れた成果が顕著にみられる。このことで雷雲時のデータが飽和せず得ることができ、晴天時のわずかな変動から山岳効果も観測できた。



(左:低感度用の測定器で得られたデータ　右:高感度用の測定器で得られたデータ)

図 1　大気電場の全日プロット

約 1 か月間のうち、7 月 23 日、7 月 26 日、8 月 5 日は大気電場が激しく変動していることから注目して解析を行った。

いずれも大気電場の変動のピークと放射線量増加のピークがほぼ同時であることが見られ、このデータを得たことで、雷雲起源の高エネルギー放射線の発生機構を探るための一歩を踏みだすことができた。今後はこの日のデータの解析を進めていく予定である。

4. 今後の課題

今回得られたデータから同時刻の雷雲の位置を調べて、雷雲内の電荷分布を同定することが今後の課題である。

また、今回の観測では雷が原因で電源が落ちてしまったことで、雷雲到達時のデータの欠損が多く見られたので、電源の配置を考え直すことが次回の観測における課題となっている。

*連絡先:庄司智美 (Shoji　Tomomi)、b112321m@st.u-gakugei.ac.jp

P-10:2013 年富士山山頂でカラー撮影された房総沖上空のスプライト

鈴木裕子 1、鈴木智幸 1、鴨川　仁 1、奇跡の地球物語撮影班 2
1.東京学芸大学物理学科、2.ジャンプコーポレーション・テレビ朝日

1. はじめに

1990 年代に発見されたスプライト・エルブスは高高度大気中の放電として数多くの画像が残されており発生機構は解明されつつある。しかしその発生のきっかけ、複雑な形状などの根幹については未解明である。特に国内外を通して地上からまとまった数のブルージェットと呼ばれる下部成層圏で発生する放電現象の観測に成功した例はほとんどない。

夏季関東では、非常に活発な雷活動が発生する。このため、関東上空では、多数の夏季スプライトをはじめとする高高度発光現象が発生することが予想された。実際に 2004 年にスプライトが、2008 年にはブルージェットと呼ばれる雷雲上部から成層圏への放電が確認された。これらの発生が確認されたのは北関東であり、北関東よりも大きな雷雲が発生しやすい南関東での観測事例はほとんどないため、高高度発光現象観測の空白域となっている。これは、関東南部で雷雲が発生すると関東地方は広く雷雲が作る雲に覆われてしまうため、陸上から雷雲上空を観測できる場所が限られるためである。本研究では、夏季の関東平野上空で発生する高高度放電現象の観測を山岳から行う。富士山山頂の高度は、観測の障害となる雲の高度を超えるため、視界が遮られることがなく、長い時間の測定が行えると期待される。

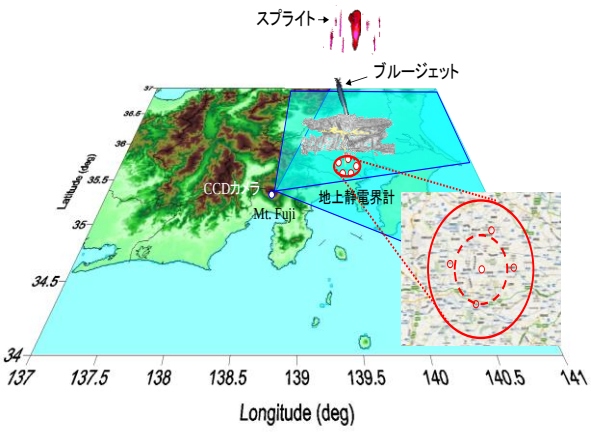


図 1　スプライト観測イメージ

2. 観測

我々は、南関東での観測の空白域を埋め、多くの観測事例を得るために、見晴らしがよく、南関東で雷雲が発生した際にも雷雲上空を観測できる可能性が高い富士山山頂に 2012 年から 2013 年夏季に高感度 CCD カメラを設置して観測を行った。

2013 年 7 月 31 日から 8 月 2 日の夜間には富士山山頂吉田口付近にカラーハイビジョンカメラを設置し、関東上空から太平洋海上に発生する夏季スプライトとブルージェットの観測を試みた。観測イメージは図1の通りである。

3. 結果

2013 年 7 月 31 日から 8 月 2 日の夜間観測に置いてのスプライトの光学観測に成功した(図2)。

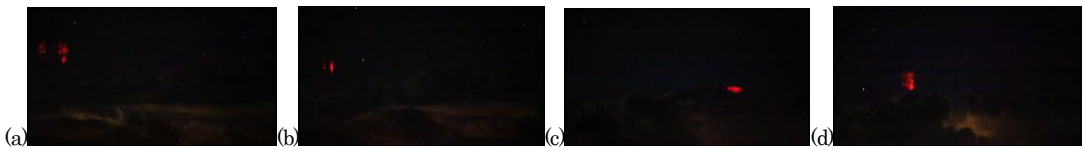


図 2 スプライトカラー画像 全て JST (a)8 月 2 日 1:46:48 (b)8 月 2 日 1:52:01 (c)8 月 2 日 2:36:22 (d) 8 月 2 日 2:45:28

図 3　スプライト発生時の落雷情報

関東地方が雲に覆われていたにもかかわらず、雲の隙間を通して富士山から 500-800 km離れた陸上及び海上で発生したスプライトの光学観測に初めて成功した。海上で発生したスプライトのカラーハイビジョン撮影により、真紅のスプライトが発生する様が鮮明にとらえられた。スプライト発生時の落雷情報は図 3 の通りである。富士山山頂での観測を継続することで、関東上空で発生する高高度発光現象の発生分布や原因となる放電との関係について明らかにするための足掛かりを得た。

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

P-11：富士山山頂で行う定点高高度発光現象観測

鈴木智幸[1]、鈴木裕子[1]、齋藤将監[1]、庄司智美[1]、鳥居建男[2]、鴨川仁[1]
1.　東京学芸大学物理科学分野
2.　日本原子力開発機構

1. はじめに

1990 年代に発見された高高度大気中の放電であるスプライト・エルブスは数多くの画像が取得されており、その発生機構が徐々に解明されつつある。しかし、その発生のきっかけや多様な形状となる原因などの根幹については未解明である。また、ブルージェットと呼ばれる下部成層圏で発生する放電現象については、国内外を通して地上からまとまった数の観測に成功した例はほとんどない。本研究では、夏季の関東平野上空で発生する高高度放電現象の観測を山岳から行う。特に富士山山頂は、観測の障害となる下層雲の高度を超えるため、視界が遮られる可能性が減り、長い時間の定点測定が行えるものと期待される。

図 1　設置したカメラ

2. 観測

我々は富士山測候所三号庁舎屋外に超高感度カメラを二台設置し（図 1)、夏季観測を実施しており、今年度は観測２年度目である。初年度の課題であった①昼間のピント合わせでは、夜間撮影時にピントが合わない点、②風が強くカメラの安定度が悪い点③登山者のライトの映り込んでしまう点④ネットワークが不安定な点の 4 点を解決するために、設置箇所を風が弱く登山者が立ち入れない三号庁舎屋外に位置に移動した。また、山頂班の方に依頼して、夜簡にカメラのピント合わせを行った。ネットワークの問題を解決し、外部からリモートメンテナンスを行うために、携帯会社の提供するインターネット回線（NTT Docomo 社の LTE 回線及び日本通信社の IDEOS）を利用した。

３．結果

観測の結果、複数のスプライトが観測された（図 2)。初年度は様々な問題に直面し、落雷データしか取得できなかったため、今年度スプライトが撮影できたことは、我々の研究にとって大きな一歩となった。カメラのピント問題に関しては、昨年と比較するとかなり改善され、クリアな画像を取得でき、風による振動でピントがずれることもなかった。また、三号庁舎屋外には登山者が立ち入れないことから、登山者のライトなどによる誤検知をすることもなくなった。しかし、ネットワークの問題に関しては携帯会社のインターネット回線が不安定で、外部からのリモートメンテナンスを行うことが困難であった。さらに、今年度の観測ではパソコンの動作不良が新たな課題として浮上した。特に 8 月には入ると、パソコンが動作が安定せず、画像を取得することが出来なかった。パソコンのハードディスクは気圧も考慮して製造されているため、富士山頂の気圧では安定作動しないものと考えられる。しかし、この 2 点を改善することができれば、取得出来るイベント数は飛躍的に増えると考えられる。

図 2 スプライト撮影例

*連絡先：鈴木 智幸（Tomoyuki SUZUKI)、tsuzuki@u-gakugei.ac.jp

P-12：2013-2014 に行う富士山山頂越冬データ取得システムの概要

須藤雄志[1]、東郷翔帆[1]、田中利佳[1]、中村真帆[1]、藤原博伸[2]、稲崎弘次[3]、
岩崎洋[4]、川原庸照[4]、土器屋由紀子[4]、鴨川仁[4]
1.東京学芸大学、2.私立女子聖学院高等学校、3.東山技研、4.NPO 富士山測候所を活用する会

1.はじめに

地震や火災等の災害や様々な環境問題が表面化する現代において、人工衛星を使った地球観測はもはや必要不可欠な技術といえる。特に災害情報や環境データを宇宙から効率よく取得する技術は現在様々なミッションが模索されている。

一般的に、地球観測衛星や惑星探査衛星は打ち上げから運用終了まで非常に長期間となる場合が多い。一度打ち上げてしまった衛星は運用期間中、技術者が再び直接的に手を加えることはできない。よってこれらの場合、あらかじめ長期運用に耐えられるだけの機器設計や観測技術が不可欠となる。しかし現在の宇宙技術者の教育の場においては、CAN-SAT や BALLOON-SAT 等の短期的な打ち上げ訓練の場は充実していても(川島ら, 2004)これらの長期観測を十分に経験することのできる場は非常に少ない。せっかく打ち上げた大学衛星においても運用がうまくいかずにもともとのミッションを達成できない場合がほとんどである。

彼らが長期観測を経験するにおいて、まず観測機器が一つの障害となる。観測においては物理量を継続的に観測するためのデータロガーと呼ばれる自動デジタル記録計は必須の装置といえるが、商用の場合これらの多くは複雑化されており教育現場に適しているとはいえない。これらの高機能化に伴う高価格化はもとより、機能のほとんどがブラックボックス化されており、学習者が観測状況に即して自由に最適化できないことが大きな問題となる。長期観測を目的とする場合においては特に必要な機能を選定し、消費電力を操作することは非常に大切である。

これらの現状から、宇宙技術者を目指す学生が自らの学習のために使用することのできる長期観測用環境データ記録システムが開発されれば彼らの学習に役立つことはもちろん、現在教育の場としてのみ消費されつつある大学衛星をより有用な技術的・科学的研究の場として昇華させることも可能である。よって本研究では、教育活動に利用可能なシステムとして以下の 3 つの特性を合わせ持ったデータロガーの設計を目標とする。

1).様々な観測に対応可能な凡庸性
2).過酷な宇宙環境でも運用が期待できる安定性
3).学習活動に利用可能な安価性

本稿ではこれらの設計の詳細と実験的な運用の初期データを報告する。

2.データロガーの設計

本研究では鴨川らが過去に極地観測用に設計し数回の性能実験を行ったもの(鴨川ら, 2012)に改良を加える形での設計を行った。データロガーは単体で動作するものから、パソコンに接続して記録するものまでさまざまなものが存在する。パソコンを用いるものは記録と同時にグラフ化等の処理も行うことができるという利点を持つが、OS 自体の動作が不安定であることや過酷な環境で長期間電源を確保しながらパソコンを起動し続けなければならないという難点がある。よって本研究では単体で動作可能なデータロガーの設計を行う。なお、前章の目標を踏まえ①凡庸性のあるシンプルな構造、②過酷な環境での長期運用が可能な安定性、③一般に流通している部品を使って安価に製作すること、の 3 点に配慮した。図 1. 2 に開発したデータロガーの回路図、図 3 にブロック図を示す。

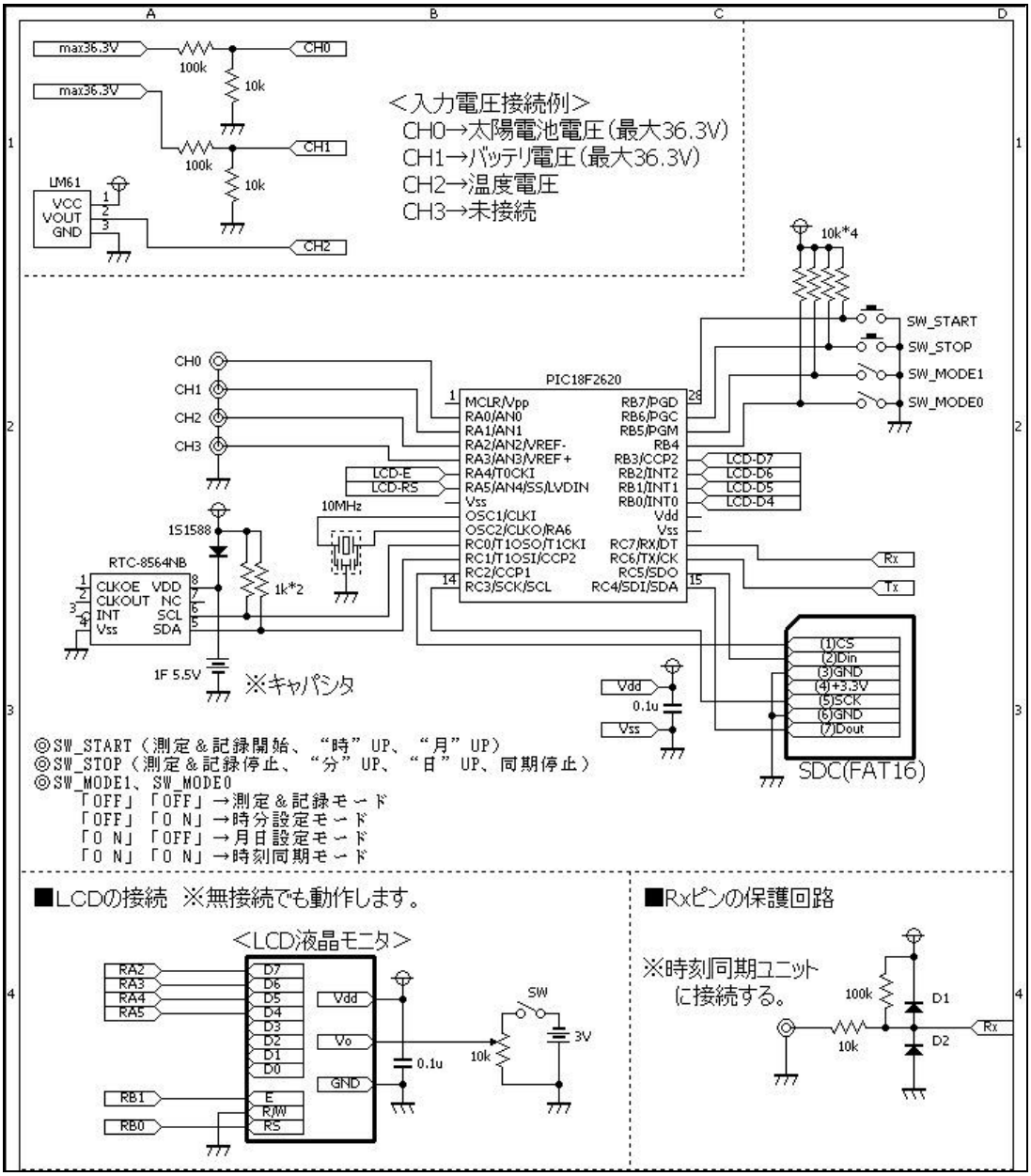


図 1.ロガー回路図(システム部)

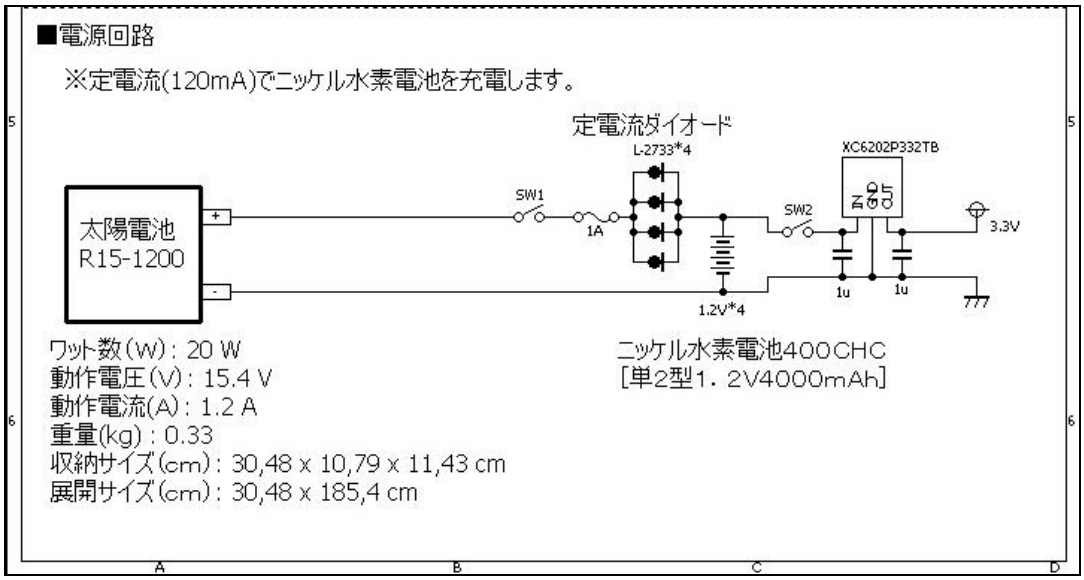


図 2.ロガー回路図(電源部)

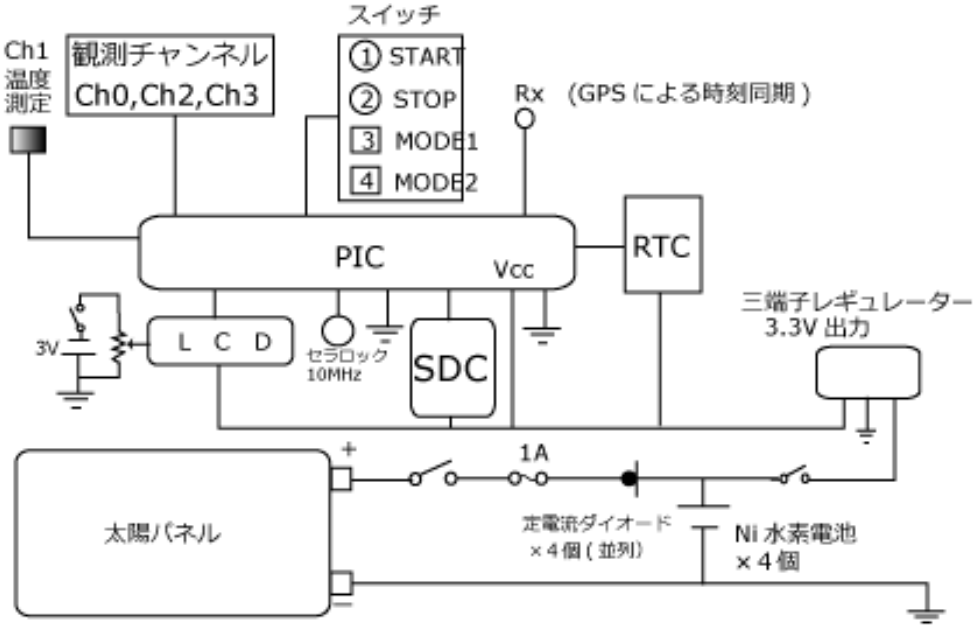


図 3.データロガーのブロック図

2.1. 凡庸性における設計

技術者として長期運用を経験するうえで、機器のシステムを理解することは非常に大切である。また、様々な観測目的に合わせて技術者が自由に最適化できる構造も望ましい。よって本研究ではシステム上でブラックボックス化されている部分が非常に少なく、様々な観測への凡庸性のあるシンプルな構造の設計を行った。

本データロガーは観測した値が電圧値で出力されるように設計してある。これにより校正の作業は必要になるが、電圧値で出力する計器を接続すれば様々な物理量を観測可能である。4 チャンネルの出力が可能であるため、一度に様々な物理量を観測することもできる。また入力電圧範囲は初期設定で 0～5V だが、分圧抵抗を設置することで容易に範囲を変更することも可能である。

なお、内蔵するプログラムの言語は最も凡庸性が高いであろう C 言語ベースを使用している。これにより後述するサンプリング周期等の設定も含め、様々な設定を使用者が自由に変更することも可能だろう。

2. 2. 安定性における設計

本研究では宇宙空間に近い過酷な環境でも運用可能な機器の設計を行う。この場合、特に注意すべき点として電源と熱の管理が挙げられる。よって今回は十分に商用の電源も確保できないような厳しい温度環境での長期運用を想定して設計を行った。

設計したデータロガーには、低消費電力における測定を目指すためにプログラマブル IC である PIC(Peripheral Interface Controller)マイコンを用いた。これにより運用時は 0.4W ほどの低消費電力となっている。また、接続した太陽光パネル等から充電できるように設計しており、商用の電源や大型のバッテリを使わずとも 1.2V の単 1 電池 4 本ほどの内部バッテリで長期観測が可能である。特に太陽光パネルによる充電は衛星を運用するうえで欠かせない設計であるため、衛星運用の訓練機器として非常に有用な機能といえる。なお、鴨川らの設計したデータロガーは約 1 年程度の運用を想定して電源計画がなされていた(鴨川ら, 2012)。しかし本研究は衛星運用に近い長期間の運用を視野に入れているため、運用期間や日照条件に合わせて外付けの外部バッテリも接続が可能なように設計した。

非常にシンプルな構造を持つ本データロガーにとって、過酷な温度状況で最も心配されることはバッテリの出力効率低下である。しかし近年の電池の機能向上により-20 度でも使用可能なものが増えてきているため、将来的にこの問題は大きく改善されるだろう。なお、時刻管理を行う RTC(リアルタイムクロック)も動作温度範囲が-40 度～+85 度という温度変化に耐性のあるものを使用した。また、これ以外の使用機器に関しても、東郷らの富士山頂での観測実験から強い温度変化耐性を持つことがわかっている(東郷ら, 2014)。

サンプリング周期は 10 分と 1 分から選択可能であり、データ記録媒体には SD カードを使用する。1 分サンプリングで記録した場合、テキストデータで 1 日当たり 40kB ほどのデータ量になるが、SD カードの FAT16(File Allocation Table)というフォーマットを使えば 2GB までの記録が可能であるため、十分に数年の長期観測が可能である。時刻管理は RTC によって周波数偏差$(5\pm23)\times10^{-6}$(月差 1 分相当)の精度で行われるが、それに加え GPS による時刻同期を行うこともできる。

2.3.安価性における設計

本研究では、基本的に一般に入手可能なもののみを使用して安価にデータロガーを設計した。今回使用した PIC もそのものの価格は数百円程度であり、内蔵するプログラムも C 言語ベースであるために無料のコンパイラも多く公開されている。運用期間中にパソコンを占有しないという前提の設計も、教育目的での気軽な利用を後押しするものと考える。

3.実地観測

本研究で設計したデータロガーの性能を確かめるために、富士山頂の閉鎖環境での性能実験を行った。利用した富士山測候所は山頂の剣ヶ峰に建設され、3776 m に位置する日本最標高の気象観測所である。毎年 9 月～6 月の期間は封鎖され、冬の過酷な温度状況での閉鎖された環境となる。また、取得することのできる電源が太陽光によるものに制限されることからも、擬似的な宇宙空間として運用実験をするには最適な環境である。今回は設計したデータロガーを使用して 2013 年 8 月 25 日から翌年 7 月にかけての越冬観測を行った。なお、観測にあっては NPO 法人富士山測候所を活用する会に観測環境の提供等のご協力をいただいた。

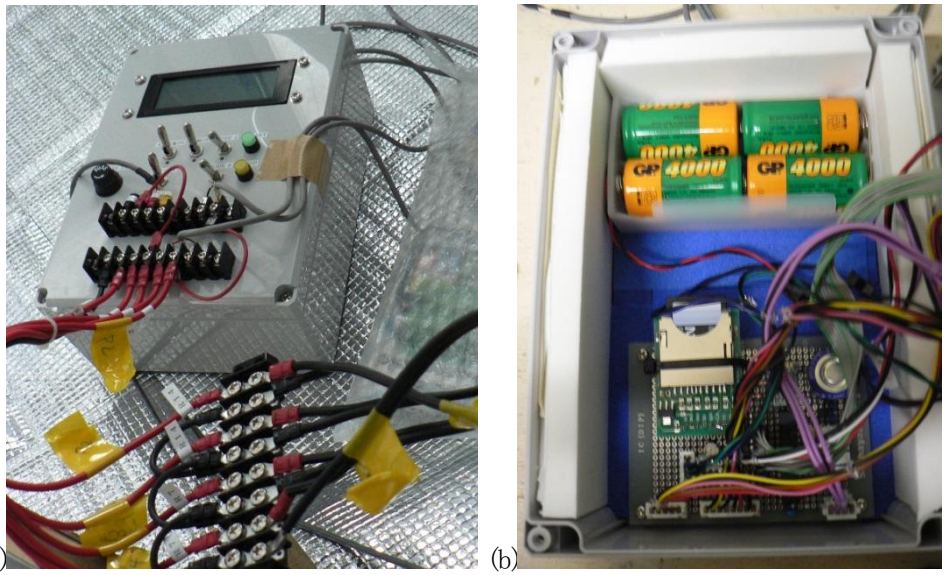


図 4.作成したデータロガー (a)概観 (b)本体内部

観測においてデータロガー(図 4)は測候所 3 号庁舎に設置し、並列に接続した 2 枚の太陽光パネルによる外部電圧値とバッテリによる内部電圧値を 10 分サンプリングで測定した。太陽光パネルは過去の観測により屋外設置による劣化が激しいことがわかっているため(図 5)、図 6 のように庁舎の 2 重窓内に直接張り付けた。なお越冬中、この 2 重窓は断熱材によって覆われ太陽光パネルは完全な孤立状態となる。

バッテリは内部バッテリに加え、内部バッテリと同様の電池ボックスを 10 個並列に接続した外部バッテリを用意した。内部電圧値を測定することでこれらのバッテリが正常に動作していることを確認する。なお、太陽光パネルによる外部電圧はデータロガー内に充電される。

図 5.屋外設置で劣化した太陽光パネル　図 6.太陽光パネルの設置状況

4.観測結果

観測機器は 2014 年 7 月まで越冬観測中であるため、初期報告として機器設置から我々が下山するまでの約 1 日(8 月 26 日～)で取得したデータを報告する。

得られたデータは ch.0 に外部電圧値、ch.1 に内部電圧値が出力される。なおそれぞれ得られた生データは、一緒に接続していた商用電圧ロガーの値との相関係数を計算したうえで校正を行った。それによって得られた外部電圧値と内部電圧値を図 7 が示す。なお、これらの値と商用ロガーとの相関係数は 0.9998 であり、十分に信頼できる測定値であると判断できる。

得られたデータの外部電圧値は太陽光パネルからの出力値とともにデータロガー内に充電される電圧

を示す。図 7 で、日照時は電圧が高くなり日没ではほぼ 0 V に近づくことから正しく測定できていることがわかる。また、バッテリの出力電圧値を示す内部電圧値がほぼ一定に保たれていることから電源が正常に動作していることもわかる。

これらの結果によって短期間であるが、本研究で設計したデータロガーに富士山頂の過酷な環境下であっても継続的に観測をする性能が備わっていることが検証できた。

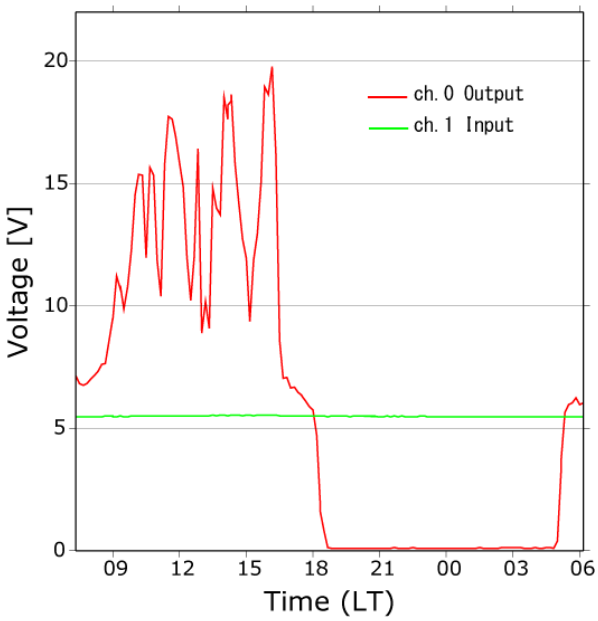


図 7.測定した電圧値

5.まとめ

本研究により宇宙技術者教育に必要な①凡庸性のあるシンプルな構造、②過酷な環境での長期運用が可能な安定性、③一般に流通している部品を使って安価に製作すること、の 3 点を十分に満たすデータロガーの設計を行うことができた。また短期的な観測であるが、②の過酷な環境での運用が実際に可能であることを富士山頂での性能実験により示した。2014 年 7 月に越冬観測を終えたデータを回収すれば本データロガーの長期観測に対する有用性を示すことができるだろう。また、今回性能実験のために利用した富士山頂の環境は、宇宙での機器運用を目指す技術者たちの前段階の訓練環境として非常に優秀であるということも本研究から確認することができた。今後は様々な教育プロジェクトの場としての利用が期待される。本研究において今後さらに様々な環境での観測を視野に入れた改良や性能実験を繰り返していくことで、将来的には宇宙技術者を目指す多くの学生が長期観測経験の場を得ることができるだろう。

参考文献

川島レイ, (2004) 上がれ！空き缶衛星 –CANSAT PROJECT-. 新潮社.

鴨川仁, 藤原博伸, 稲崎弘次, 織原義明, 岩崎洋, 川原庸照, 鈴木優子, 大洞恒星, 土器屋由紀子. (2012) 小型化した環境データ記録システムの製作. 東京学芸大学環境教育研究センター　研究報告　環境教育学研究　第 22 号. 3-10.

東郷翔帆, 須藤雄志, 田中利佳, 中村真帆, 藤原博伸, 稲崎弘次, 岩崎洋, 川原庸照, 土器屋由紀子, 鴨川仁. (2014) 2012-2013 に行った富士山山頂越冬用気象環境データ記録の動作結果. 第 7 回 NPO 成果報告会予稿集.

*連絡先:須藤　雄志(Yushi SUTO)、a110342x@st.u-gakugei.ac.jp

P-13:教育現場において有用な小型測定機器の開発

須藤雄志[1]、東郷翔帆[1]、田中利佳[1]、中村真帆[1]、藤原博伸[2]、稲崎弘次[3]、
岩崎洋[4]、川原庸照[4]、土器屋由紀子[4]、鴨川仁[4]
1.東京学芸大学、2.私立女子聖学院高等学校、3.東山技研、4.NPO 富士山測候所を活用する会

1. はじめに

近年、様々な災害が多発し地球環境の問題というのは人類における永年の課題である。そこで、学校教育の現場でのそれらの課題に対する教育は、最重要事項であるといえる。学生が意欲的に自らそれらを学ぶには、まず興味を引くことが大事であり、そのためには観察や観測といった実体験が必須である。教育現場において、実際に観察や計測を行う機会は、時間や経費の問題を考慮すると十分に行えておらず、計測機器を正しく操作し、計測を正しく行える力を養うことが必要である。

観測機器としては、物理量を継続的に観測するための自動デジタル記録計であるデータロガーと呼ばれるものがある。これは必須の装置であるといえるが、市販のデータロガーでは機能がブラックボックス化されておりデータ処理がしづらく、さらに処理過程の複雑さゆえに消費電力があがり、屋外の長期観測には不向きであるという難点がある。他にパソコンを用いた記録計は、グラフ化などを合わせて行えるという点があり有用であるのだが、OS 自体が不安定な動作をするので長期無人観測は不向きであり、消費電力も大きい。また、教育現場において観測用にパソコン 1 台を保有するということは、経費の面を考慮しても不向きであるといえる。したがって、(1)生徒や学生が扱いやすく、(2)様々な観測に汎用性があり、(3)長期観測が可能であり、(4)悪い観測条件に耐えることができ(安定した観測)、(5)教育現場で扱えるように安価である、という 5 つの条件を満たすような小型観測機器の開発は非常に有用であるといえる。

本研究では、実験的に作成したデータロガーを用いて、通年のデータを用いることにより本装置を評価し、学校教育において有用な小型観測機器を開発することを最終成果物とする。

本稿では、鴨川らが行った初期データの研究(鴨川ら, 2012)に対して、2012-2013 に富士山山頂で行った実験的な観測のデータと、本装置の設計について報告する。

2. 観測方法

2. 1. 小型観測装置の設計

図 1 は今回作成したデータロガーのシステム・ブロック図である。図 2 及び図 3 は制作した回路図である。

本研究で開発する小型観測機器は、低消費電力における測定を目指すためにプログラマブル IC である PIC(Peripheral Interface Controller)マイコンを用いて設計を行った。PIC マイコンを用いることで、計測装置をできるだけ省電力モードで作動させるように設計しており、太陽電池などを接続することによる充電も可能であり、商用電源や大型バッテリーがなくとも長期間観測が可能である。本装置には、1.2V の二次電池 4 本をバッテリーとして使用する。屋外ないしはそれに近い環境に設置する場合、バッテリーの低温化により出力効率が低下する恐れがある。しかし、近年では一般消費者用製品でも-20 度まで動作可能なほど二次電池の機能が向上しているため、将来的にはこれらの問題は大きく改善されるだろう。プログラマブルは組み込み機械や衛星などでも使われる高級 IC などが各種存在するが、本制作で取り扱う PIC そのものは価格も数百円であり、内蔵するプログラムの言語も汎用性のある C 言語ベースであるため無料のコンパイラもあり、一般消費者もネットから簡単に手に入れやすく取り扱いやすい。

現段階での設計では、4 チャンネル分の測定ができるようにしてあり、測定したデータは SD カードに記録される。SD カードは SDHC フォーマットには対応していないが、FAT16(File Allocation Table)といわれるフォーマットで、2GB までの記録ができる。1 分サンプリングの場合であると 1 日 40kB 程度であり、2GB の容量の SD カードであれば、1 年間の記録は十二分に行うことができる。データの記録は、日時と 4 チャンネル分の電圧値が記録され、テキストデータとして書き込まれる。サンプリングは

10 分、1 分の切り替えができるような設計になっており、本実験では 10 分サンプリングに設定した。なお、消費電力は運用時0.4Wである。書き込まれる日時の時刻管理は、実装しているRTC(リアルタイムクロック)により行う。精度は、動作温度範囲が$-40℃ \sim +85℃$、周波数偏差が$(5 \pm 23) \times 10^{-6}$であり、これは月差 1 分に相当する。また、GPS と組み合わせ時刻同期を行うことにより、精度向上も図ることができる。

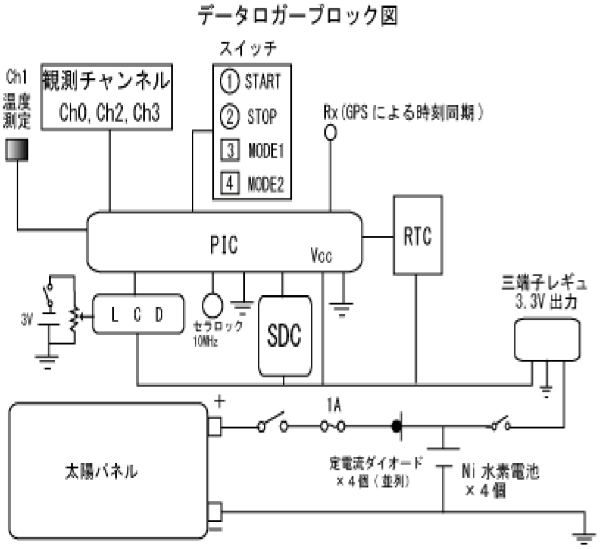


図 1. データロガーのシステム・ブロック図

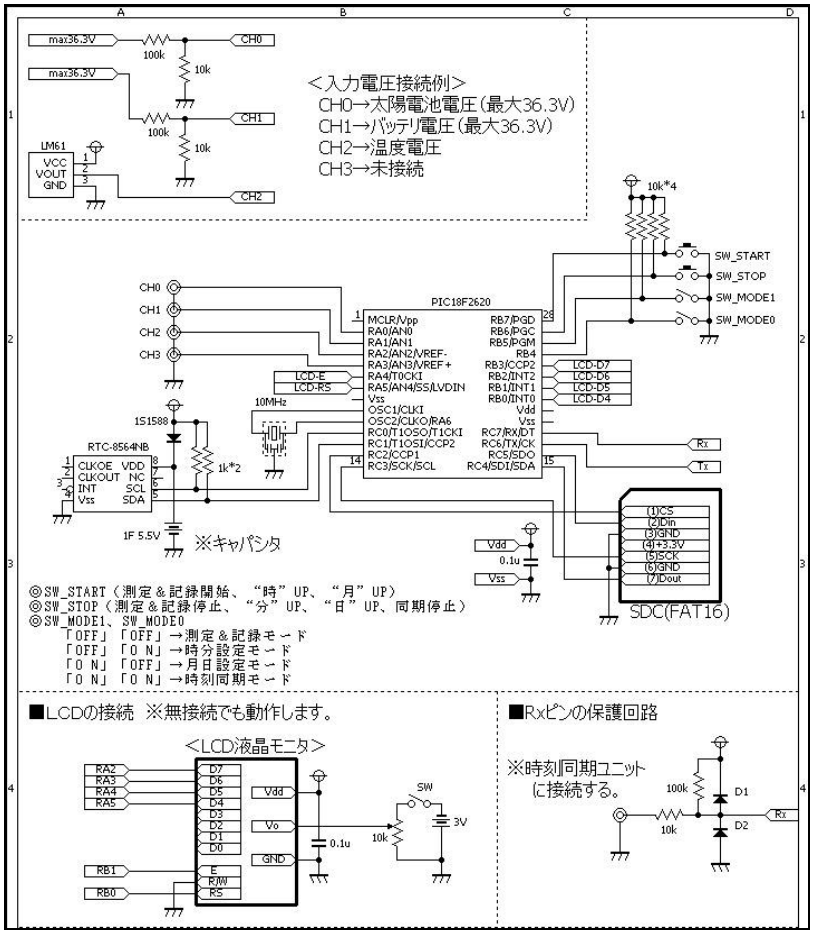


図 2. ロガー回路図(システム部)

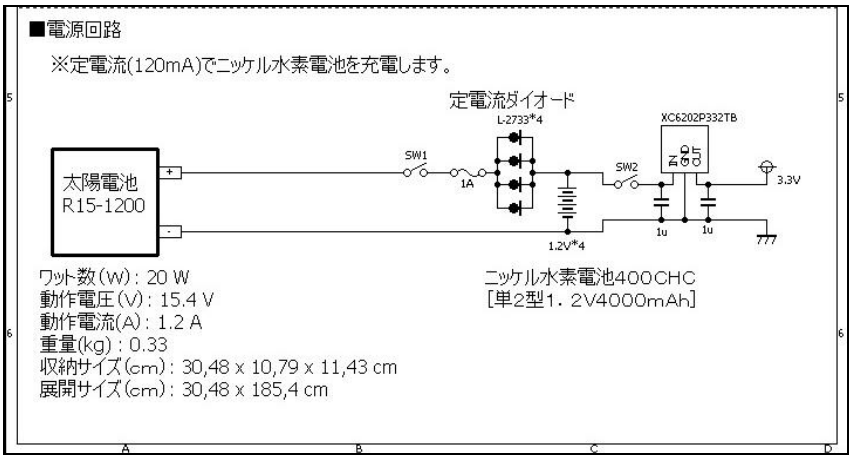
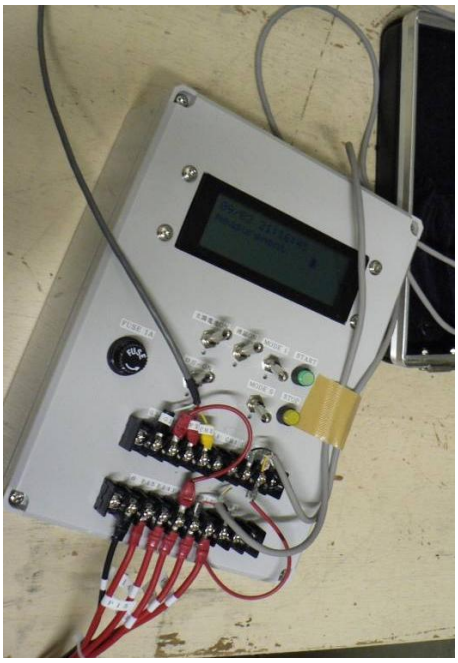
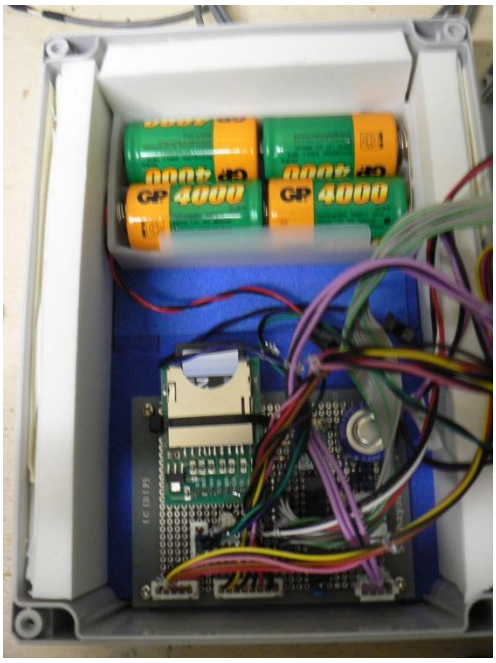


図 3. ロガー回路図(電源部)



(a) 外観



(b) 本体内部

図 4. 作成したデータロガー

2. 2. 観測場所

富士山測候所は山頂の剣ヶ峰に建設され、標高 3776 メートルに位置する日本最標高にある気象観測所である。冬季期間は閉鎖され、夏季期間のみ科学的観測がなされ、そこでは最先端の科学計測のみならず教育実習プログラムも行われている(土器屋, 佐々木, 2012)。

作成したデータロガーを設置したのは、測候所 3 号庁舎屋内である。太陽パネルは、図 5 のように 3 号庁舎の西向きの窓からの日光を取り入れることができるように、また富士山山頂は厳しい気象環境であり、落雷を避けるために屋内に設置した。夜間時は仮想的なセンサーとして利用した。なお、その時の消費電力は 0.23W 程度である。また、この太陽パネルは、軟らかく軽量なソーラーパネルである米グローバル・ソーラー・エナジー社の PowerFLEX というものである。

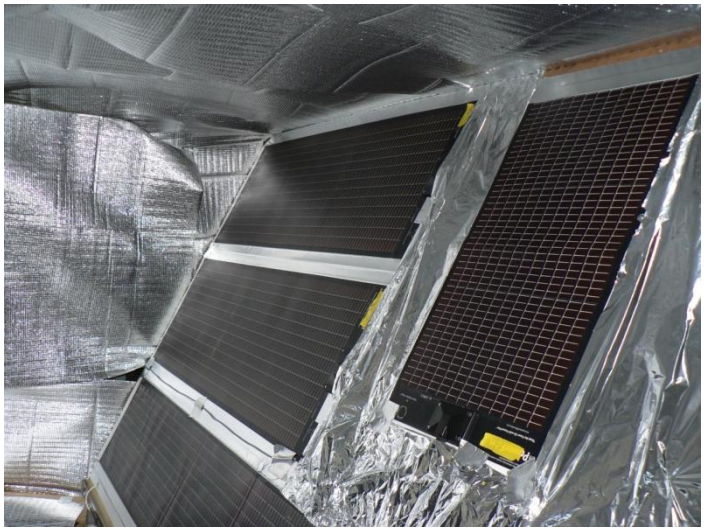


図 5. 太陽パネルの設置。 本実験では上段の 2 枚をデータロガーに接続した。

3. 観測結果

本測定機器を 2102 年 9 月 2 日に設置してからの、取得したデータを報告する。
作成したデータロガーでは、4 チャンネル分のデータを取得できるので、次のように接続しデータを取得した。Ch0 と Ch3 には 2 枚の太陽パネルの電圧の出力、Ch1 には内部バッテリーの出力、Ch2 には 3 号庁舎内の温度が出力されるように接続した。
図 6、図 7 は 4 チャンネル分の取得したデータの測定結果である。1.2V の二次電池 4 本で約 1 カ月運用することができた。なお、取得したデータの値は、同時に測定を行った市販のデータロガーで校正を行った。

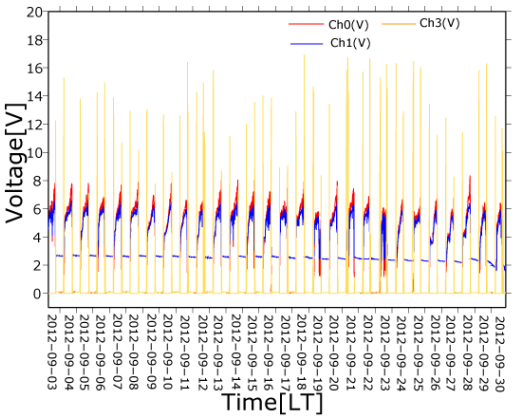


図 6. 測定結果 Ch0、Ch1、Ch3

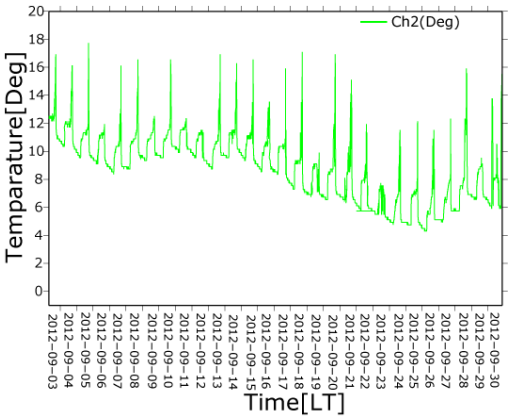


図 7. 測定結果 Ch2

内部バッテリーの電圧の値は、6V を超えているのが分かるが、昼に仮想センサーである太陽パネルが充電機能として働いており、用意した二次電池の 4.8V という値を超えている。一方、夜間時は仮想センサーとして電力を消費しているために徐々に値が低くなっていることが分かる。

4. まとめ

本研究においての目標である、学校教育のための小型観測機器の開発のための実験的な観測として、約１ヵ月間安定的な運用を行うことができた。今後は、長期的な観測という課題が残る。今回は太陽パネルをデータロガーに接続し夜間は仮想的なセンサーとして利用したが、長期観測となるとやはりできるだけ消費電力を抑えたいものである。太陽パネルを昼の充電のみに使用することでより長期的な観測が可能になる。

毎年実験的に観測を行い、改良を重ねることで学校教育の場で実用できる有用な小型観測機器の開発を実現することができる。

参考文献

土器屋由紀子, 佐々木一哉(編著). (2012)よみがえる富士山測候所　2005-2011. 成文堂

稲崎弘次

鴨川仁, 藤原博伸, 稲崎弘次, 織原義明, 岩崎洋, 川原庸照, 鈴木優子, 大洞恒星, 土器屋由紀子. (2012)小型化した環境データ記録システムの製作. 東京学芸大学環境教育研究センター　研究報告　環境教育学研究　第 22 号. 3-10.

東郷翔帆, 須藤雄志, 田中利佳, 中村真帆, 藤原博伸, 稲崎弘次, 岩崎洋, 川原庸照, 土器屋由紀子, 鴨川仁. (2014) 2012-2013 に行った富士山山頂越冬用気象環境データ記録の動作結果. 第 7 回 NPO 成果報告会予稿集.

*連絡先：東郷　翔帆(Shoho TOGO)、f117126w@st.u-gakugei.ac.jp

P-14:富士山測候所を利用した安全な雷観測に関する教材作成
～東京応化科学技術振興財団助成「科学技術普及・啓発助成部門」

鴨川仁[1]、鈴木裕子[1]、安本勝[1]、土器屋由紀子[1]
1. NPO 富士山測候所を活用する会

富士山測候所を利用した安全な雷観測に関する教材作成の教育研究を行った。富士山は夏の雷発生が多いことでも知られており夏季雷の理想的な観測地点である。富士山頂には最高峰の剣ヶ峯に 1936 年以来測候所が有るが 2004 年に気象庁の有人観測が終了し、2007 年からは NPO 法人富士山測候所を活用する会が、一部を借用し夏期の 2 か月管理運営している。この間を利用して、雷の直近観測を行うことが可能である。しかし、山岳の雷の観測には雷の直近観測ができるゆえの危険が伴う。夏季の測候所利用者は、研究者のみならず大学生および大学院生まで幅広い。そのため、フィールドの現場へ連れて行き、実地観測を行うためには、雷に対する安全マニュアルを作ることから始めなければならない。本研究ではそのための安全マニュアル作りを目的とする。どの程度、雷雲が発生・接近するのかなどの知識を得るために大気電場連続観測を行う。その結果を図 1 示す。

現在の成果としては、TV 局の制作する科学番組において登山時における落雷の危険性について富士山頂において解説を行った(テレビ朝日　奇跡の地球物語～近未来創造サイエンス～, Episode185 富士山が見つめる日本列島～異常気象 2013～)。

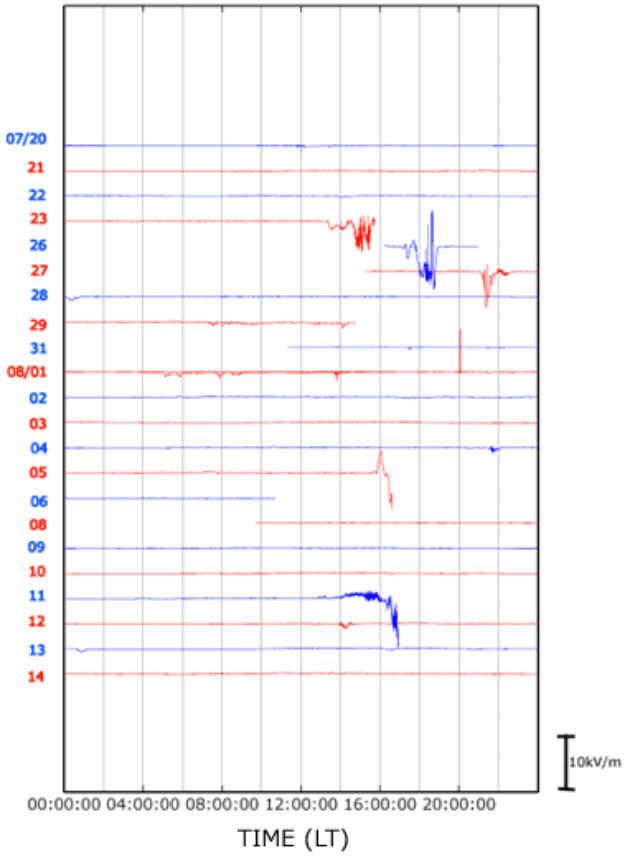


図 1 大気電場の時系列。1段が1日を表している。大きく変動しているところは雷雲が発生しているところとなる。

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

P-15：富士山頂に貯蔵した茶の熟成効果

土屋雄人、勝野剛、大宮琢磨、畑中義生、後藤正
静岡県農林技術研究所茶業研究センター

1. はじめに

茶の熟成効果についてはこれまで煎茶、てん茶について行われており、青臭味などが消え、香味がまろやかになるなどの効果が報告されている。しかし、煎茶の熟成効果を積極的に販売戦略に活用する事例はほとんどない。また、貯蔵場所である富士山頂の観測施設は低温、低気圧、低酸素の特殊な環境であるが、このような条件下での熟成効果についても知見がない。

本研究では、2013 年夏季に富士山頂に貯蔵した茶（緑茶、紅茶、半発酵茶）の官能評価および成分分析を行い、茶の後熟について調査することを目的とする。なお、本試験は 2013 年から 2014 年にかけて継続中であるため、本発表では 2013 年の夏季貯蔵試験の結果を報告する。本試験では新たな茶の熟成効果が期待されるため、従来にない個性ある茶の開発、ひいては新規の地域ブランドの創出が可能と考えている。

2. 材料と方法

（1）官能評価

1） 試験場所　静岡県農林技術研究所茶業研究センター

2） 供試材料　緑茶、紅茶、半発酵茶（包種茶に近いもの）の荒茶
「やぶきた」の一番茶使用（2013 年 4 月茶業研究センター圃場摘採）

3） 試験構成

（ア）貯蔵期間　2013.7.18～2013.8.7（21 日間）および 2013.7.18～2013.8.7（41 日間）

（イ）貯蔵場所　富士山測候所（所内倉庫（窓、空調設備なし））、及び冷凍庫（茶業研究センター内冷凍庫（-25℃））

（ウ）試験区　冷凍庫内に置いた対照区に、貯蔵期間と包装条件の異なる以下の 8 処理区を加え、1茶種につき 9 処理区とした（表 1）。各区 3 反復。

表 1　サンプル表

茶種	区分	貯蔵場所	貯蔵期間	包装条件	
緑茶・紅茶・半発酵茶	対照区	冷凍庫（-25℃）	（0 日相当）	アルミ	真空
	試験区	富士山測候所	21 日（2013.7.18～2013.8.7）	アルミ	真空
					窒素
					含気
				クラフト	－
			41 日（2013.7.18～2013.8.27）	アルミ	真空
					窒素
					含気
				クラフト	－

注）アルミ：アルミ蒸着、クラフト：クラフト紙

（エ）貯蔵方法　200g 用の包材に 100g の茶葉（荒茶）を充填して包装し、摘採袋に包んだ。その袋を茶摘用の竹かごに入れ、かご全体を網掛けの袋で覆った（図 1）。この状態で富士山測候所の倉庫内に静置した（図 2）。

図１ 茶の入った竹かご(左:外観、右:内部)

図２ 実際の設置状況

4) 調査方法

(ア)パネル　茶業研究センター職員 30 名(女性 10 名、男性 20 名、20～50 代)

(イ)実施日　2013 年 10 月 7 日、8 日

(ウ)浸出方法　茶葉 6 g に湯 450 ml で 90 秒間浸出した。湯温は、緑茶が 70℃、紅茶と半発酵茶が 90℃で行った。

(エ)評価方法　対照区を除いた 8 点のサンプルを、好ましく思う(おいしいと思う)順に順位を付ける方法(順位法)により評価した。得られた結果に対し、クラスカル・ワーリス検定およびケンドールの一致性係数を用い、群間の有意差と順位の一致性について検定した。また、対照区と比較したときのサンプルの香味の違いについては自由記述式とした。

(オ)貯蔵環境　㈱T＆D 社製おんどとり TR-72Ui を使用し、摘採袋内の温湿度を測定した。

(2)品質関連項目調査

1) 試験場所　(1)に同じ。

2) 供試材料　(1)に同じ。

3) 試験構成　(1)に同じ。

4) 調査方法

(ア)調査試料　富士山から平地に戻したのち、熟成が進まないようにするため、全てのサンプルの保存時の包装条件を、「アルミ蒸着袋・真空包装」に統一した。その後、ミキサーで茶を粉砕し、水分、ビタミン C、カテキン類、メチルキサンチン類(カフェインなど)、アミノ酸類を測定した。なお、紅茶はビタミン C をほとんど含まないため分析していない。

(イ)調査項目と分析方法

ア)水分　任意の重量の茶粉末を乾燥機(105℃)で 24 時間加熱したのち、恒量に達するまでデシケーター内で静置し、乾燥前後の重量から水分を算出した(常圧加熱乾燥法)。

イ)ビタミン C　茶粉末 500mg を 2%メタりん酸 50mlで 30 分間室温で抽出し、抽出液を希釈して 0.45μm マイクロフィルターでろ過したものを HPLC(㈱島津製作所製)に供した。検出は UV 吸収で行った。

ウ)カテキン類　茶粉末 250mg を 50%アセトニトリル 50mlで 40 分間 30℃で抽出し、抽出液を希釈して 0.45μm マイクロフィルターでろ過したものを HPLC(㈱島津製作所製)に供した。検出は UV 吸収で行った。

エ)メチルキサンチン類　ウ)カテキン類に同じ。

オ)アミノ酸類　茶粉末 50mg を熱水 50mlで 30 分間 80℃で抽出し、抽出液を PVPP で処理してポリフェノール類を除去した。その後、処理液に内部標準物質グリシルグリシンを添加し、希釈して 0.45μm マイクロフィルターでろ過したものを HPLC(㈱島津製作所製)に供した。プレカラム誘導体化による蛍光検出法を用いた。

3. 結果

(1)官能評価

1)富士山頂に貯蔵した摘採袋内の温湿度は、平均で9.5℃、69%RHであった。温度は4.0～15.8℃の間、湿度は39～79%の間で変動した(図3)。

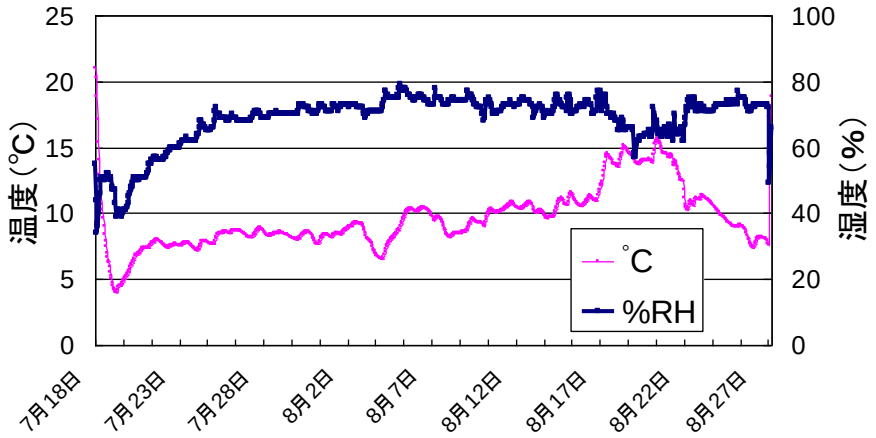


図3 容器内の温湿度

2)茶の官能評価を行った結果、いずれの茶においても、群間の有意差や順位の一致性はなかった。緑茶と半発酵茶のクラフト41日貯蔵のサンプルが比較的高い順位であった(表2および図4)。緑茶のクラフト41日には甘味や旨味、半発酵茶のクラフト41日には花様の香りに関する感想がそれぞれ多かった(表3)。

表2 順位の集計結果

	緑茶								紅茶								半発酵茶							
	真空		窒素		含気		クラフト		真空		窒素		含気		クラフト		真空		窒素		含気		クラフト	
	21日	41日	21日	41日	21日	41日	21日	41日	21日	41日	21日	41日	21日	41日	21日	41日	21日	41日	21日	41日	21日	41日	21日	41日
平均値	4.8	4.6	4.8	4.1	4.5	4.6	4.8	3.9	4.1	4.4	4.6	5.0	3.8	4.5	4.8	4.7	4.5	4.4	4.4	4.7	4.7	5.1	4.3	3.8
中央値	5	5	4.5	4	4	5	5	3	4	4	5	5	3.5	4.5	5	5	4	5	4	5	5	5.5	4	3
最頻値	7	6	8	7	4	6	7	1	4	8	7	7	3	6	8	7	4	6	7	6	8	8	7	1

注)数字が小さいほど順位が高いことを示す。

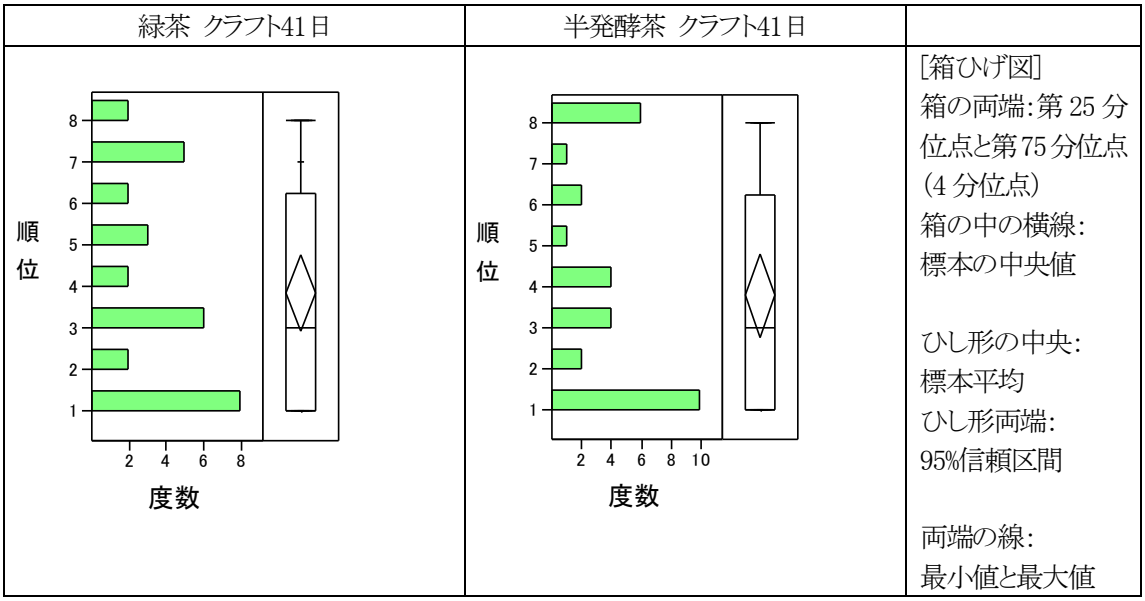


図4 緑茶クラフト41日と半発酵茶クラフト41日の順位分布

表 3　緑茶クラフト 41 日と半発酵茶クラフト 41 日の概評

緑茶　クラフト 41 日			半発酵茶　クラフト 41 日		
良い評価 (19)	**味 (11)**	**・甘味(4) ・旨味・コク(2)　など**	良い評価 (19)	味 (6)	・甘味(2) ・旨味(2)　など
	香り (8)	・香りが強い(3) ・果物の様な香り(1)　など		**香り (13)**	**・香りが強い(8) ・花香(4)　など**
悪い評価 (13)	味 (8)	・渋味(4) ・味が薄い(3)　など	悪い評価 (17)	味 (11)	・渋味(5) ・味が薄い(2)　など
	香り (5)	・香りが弱い(2) ・変質臭(1)　など		香り (6)	・ひね・変質(3) ・香りが弱い(2)　など

注)（　）内はコメントの数を示す。

(2)品質関連項目調査

1)水分は、各茶のクラフト試験区で有意に増加した(図 5)。

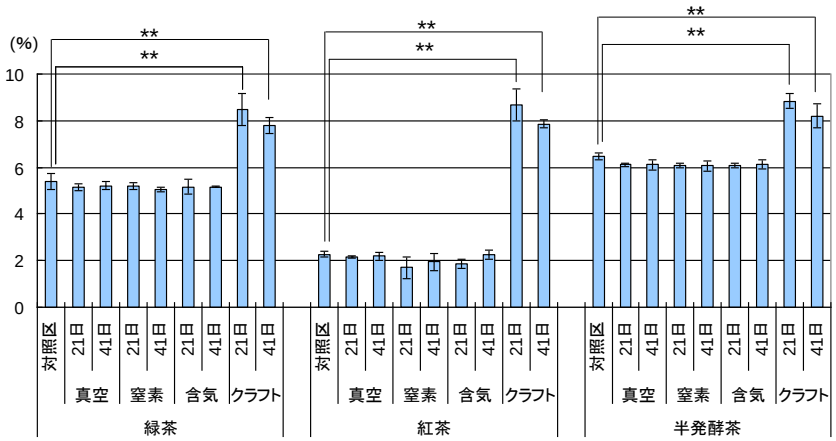


図 5　水分

注 1)エラーバーは標準偏差を示す(n = 3)。

注 2)**は危険率 1%水準で対照区と比較して有意差があることを示す(Tukey)。

2)ビタミン C の残存率は、クラフト試験区で 80%、アルミ試験区で 90%程度であった(図 6)。ビタミン C は茶の品質変化の指標とされ、残存率 80～90%の範囲で後熟効果が認められると報告されている。

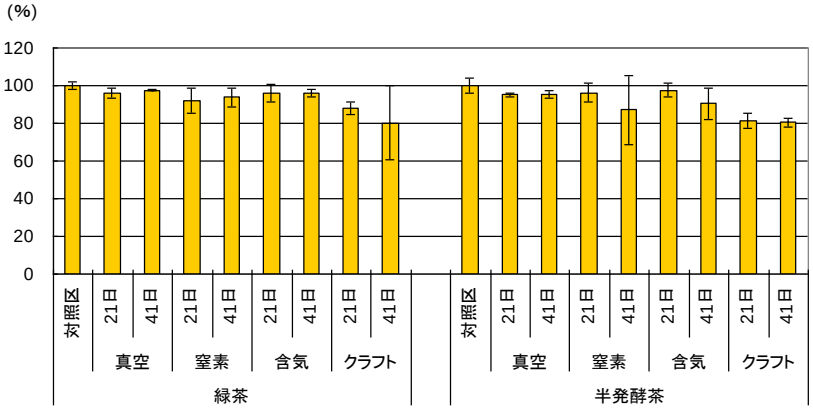


図6　緑茶と半発酵茶のビタミンC残存率

注1)グラフは対照区のビタミン C 濃度を基準とし、試験区のビタミン C を残存率として算出した。

注 2)エラーバーは標準偏差を示す(n = 3)。

3)カテキン類は、いずれの茶においても有意差が見られなかった（図 7)。カテキンは、茶の主要な渋味成分である。

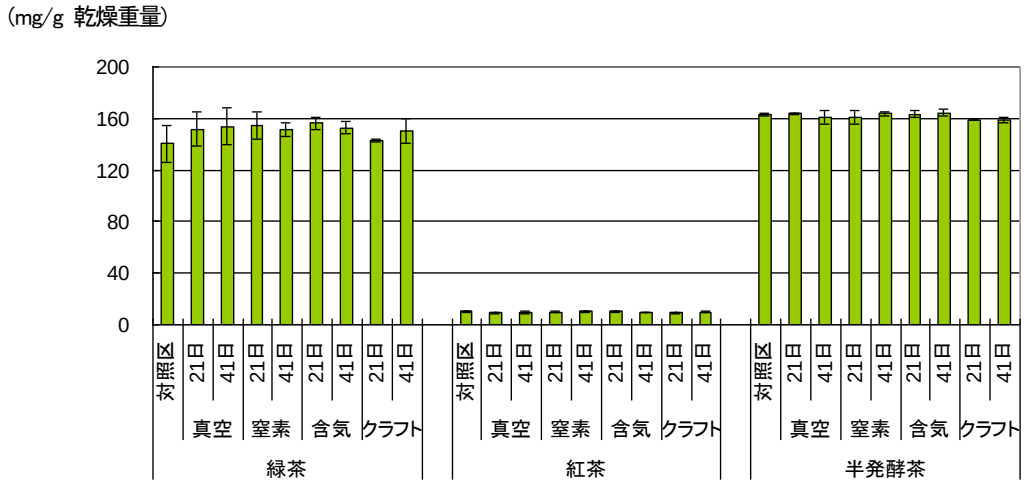


図 7　カテキン類

注1)グラフはカテキン 8 種(C,EC,CG,ECG,GC,EGC,GCG,EGCG)の合計値を示す。
注 2)エラーバーは標準偏差を示す(n = 3)。

4)メチルキサンチン類は、 紅茶の一部のサンプルで有意差があった(図 8)。カフェインは、茶の苦味成分の 1 つとされる。

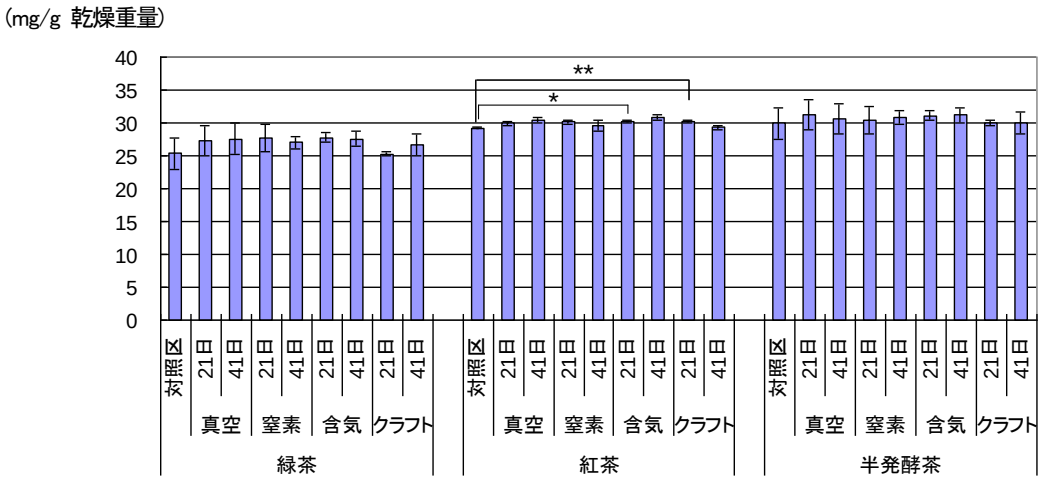


図 8　メチルキサンチン類

注1)グラフはメチルキサンチン類(カフェイン、テオブロミン、テオフィリン)の合計値を示す。
注 2)エラーバーは標準偏差を示す(n = 3)。
注 3)**は危険率 1%、*は危険率 5%水準で対照区と比較して有意差があることを示す(Tukey)。

4)アミノ酸類は、 紅茶で有意に減少した(図 9)。アミノ酸は茶の旨味成分である。

(mg/g 乾燥重量)

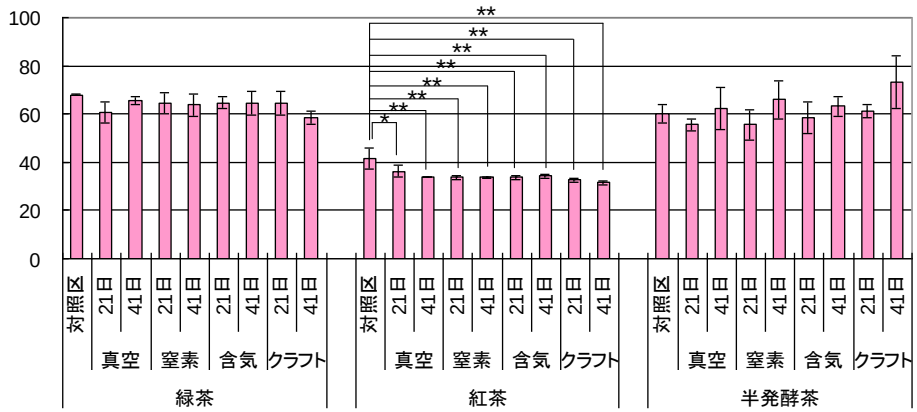


図 9 茶のアミノ酸類

注1)グラフはアミノ酸10種(Asp, Glu, Asn, Ser, Gln, Arg, Theanine, GABA, Met, Phe)の合計値を示す。

注 2)エラーバーは標準偏差を示す(n = 3)。

注 3)**は危険率 1%、*は危険率 5%水準で対照区と比較して有意差があることを示す(Tukey)。

4. おわりに

官能評価により、有意差はないものの、緑茶と半発酵茶のクラフト 41 日が他の試験区よりも順位が高いという結果であった。また、緑茶では甘味や旨味、半発酵茶では花様の香りを感じるという意見がそれぞれ多かった。これらの結果から、富士山頂に貯蔵した緑茶と半発酵茶において後熟による変化が見られ、未熟成の茶よりも好ましく感じられることが示唆された。しかしながら、後熟に起因する成分については明らかにすることができなかった。

本試験は冬季も継続中であり、2014 年7月にサンプルを下ろし、その結果も合わせて次年度報告する。夏季のサンプルについては、今後、香気成分の分析と、一般消費者を対象とした官能評価を実施する予定である。さらに、比較試験として、所内(平地)の冷蔵庫内で貯蔵試験を行っているため、今後は富士山頂熟成茶と平地の熟成茶との違いについても研究を進める方針である。

参考文献

斎藤 弘・深津修一・岩堀源五郎 : 緑茶の後熟に関する研究(第 1 報), 日本茶業技術協会講演要旨, Nov., (1962)

古谷弘三・斎藤 弘・深津修一 : 緑茶の後熟に関する研究(第 2 報), 日本茶業技術協会講演要旨, Mar., (1964)

袴田勝弘・堀田 博・浅井卓也・深津修一・原 利男・久保田悦郎 : てん茶の保存条件と茶の品質, 茶業研究報告, 76(別冊), 94-95(1992)

増沢武雄・小栗伊佐夫 : 緑茶の後熟について, 静岡茶研試報, 17, 17-22(1993)

島田和子・竹下 円・久富好美・堀江秀樹・木幡勝則 : 碾茶の熟成保存における茶葉中のビタミンC,クロロフィル及びクロロフィラーゼ活性の安定性, 47, 3, 254-259(2000)

*連絡先:土屋雄人(Yuto TSUCHIYA)、yuto1_tsuchiya@pref.shizuoka.lg.jp

P-16：富士山頂で貯蔵した農畜産物の品質変化

○山本寛人[1]、豊泉友康[1]、澤野郁夫[2]、増田浩章[2]、小林幸惠[2]、
山本佳奈恵[2]、後藤正[3]、土屋雄人[3]、齋藤美英[4]、岩原健二[5]、勝山聡[5]、天野祥吾[5]
1.静岡県農林技術研究所、2.静岡県東部農林事務所、3.静岡県農林技術研究所茶業研究センター、
4.静岡県畜産技術研究所、5.静岡県工業技術研究所沼津工業技術支援センター

1. はじめに

北陸、東北、北海道では雪の冷熱を利用した雪室貯蔵や低温など自然環境を活用した米、果物、野菜の貯蔵施設が実用化している。温暖な静岡県では、かつて茶を標高 1000m超の静岡市大日峠に上げ、熟成茶を駿府城の徳川家康公に献上したと言われ、保管した茶壺屋敷はまさに自然の冷蔵庫であったが、現在、商業ベースで自然環境を利用した雪室貯蔵施設やその類似施設はない。

しかし、2011 年静岡県御殿場市と小山町の茶業者でつくる「御殿場小山中核農業者協議会茶生産部会」が茶葉を富士山の風穴で熟成させたところ、茶の味や香りがまろやかになったとされ、また、2012 年にも富士山頂の山小屋内で熟成したところ、同様に上質な熟成茶に仕上がることが確認された。そこで、富士山頂の自然環境を利用した農畜産物の熟成に着目し、富士山頂の施設の有効利用を図るとともに静岡県農畜産物の付加価値向上技術を開発しブランド化に寄与するため、富士山頂貯蔵試験を実施する。

なお、茶、米、日本酒の貯蔵試験は 2013-14 年にかけて継続中であるため、本発表では、2013 年の夏季貯蔵試験の結果を中間報告する。また、静岡県農林技術研究所茶業研究センターで実施した茶貯蔵試験は別途（第7回成果報告会ポスターナンバーP-15）発表するため、ここでは静岡県東部農林事務所が主体に実施した茶貯蔵試験の結果を報告する。

2. 試験方法及び結果

2. 1 茶 （担当：東部農林事務所）

2. 1. 1 目的

富士山頂の低温、低圧、低酸素といった平地とは異なる環境条件に着目し、2012 年7月から「富士山頂熟成茶」の開発に取り組んでいるが、成分変化等の詳細は明らかではない。そこで、茶を一定期間貯蔵して、品質や食味への影響を評価する。

2. 1. 2 試験方法

【試験1】 御殿場市産の茶「静 7132」から製造した緑茶、釜炒茶、紅茶について、富士山頂（富士山測候所3号庁舎1階（室内、温度調節なし））と平地の-25℃の冷凍庫に 2013 年7月 18 日から8月 27 日まで 41 日間貯蔵した。各茶は富士山頂がクラフト紙の袋とアルミの袋（脱気）、平地冷凍庫がアルミ袋に 100 gずつ入れた。貯蔵後、機能性成分（カテキン、カフェイン、アミノ酸）を HPLC で、香気成分を匂いセンサで分析した。

さらに、富士山頂に貯蔵したクラフト紙の袋とアルミ袋について、一般消費者 30 人を対象にブラインド形式の順位法で官能評価した。

【試験2】 沼津産の茶「やぶきた」の煎茶をアルミの袋（脱気）に入れ、富士山頂及び 10℃の平地冷蔵庫に 41 日間貯蔵した。9月6日に鈴木学園の生徒 47 人を対象として官能評価を実施した。

2. 1. 3 結果

【試験1】 カテキン、カフェイン等の機能性成分含量では、貯蔵方法による差がみられなかった。香気分析では、煎茶で貯蔵方法による差が認められ、富士山頂の煎茶ではクラフト紙、アルミとも熟成香が強くなった。包装資材別の官能評価では、煎茶はクラフト紙を好む人が少なかったが、釜炒茶はクラフト紙が多かった（表1）。

【試験2】 香りの良さ、うまみの強さ、まろやかさ、あと味の良さを評価した人は、富士山頂が平地冷蔵庫よりも多く、総合評価でも富士山頂が多かった。渋味や苦みは平地冷蔵庫の方が強く感じる人が多かった（表2）。

試験1、2の結果から、富士山頂でアルミに入れ貯蔵した煎茶は、平地冷蔵庫よりも熟成香が強く、うまみの強さが増し、味がまろやかになり、あと味が良くなるなど評価が高くなると推定された。

表１　富士山頂における包装資材が順位付け一位の茶の評価に及ぼす影響

資　材	煎茶	釜炒茶	紅茶
クラフト紙	10 人	24 人	12 人
アルミ	20	6	18

表２　貯蔵方法が茶の官能評価に及ぼす影響

貯蔵方法	香りの良さ	水色の良さ	うまみの強さ	まろやかさ	渋みの強さ	苦みの強さ	あと味の良さ	総合評価
富士山頂	41 人	26 人	34 人	32 人	11 人	10 人	38 人	37 人
冷蔵庫	5	20	6	9	36	36	7	10
差なし	1	1	6	6	0	1	2	0

２．２　米（担当：農林技術研究所）

２．２．１　目的

一定期間にわたり富士山頂で米を貯蔵した場合の品質・食味への影響を評価する。

２．２．２　試験方法

【試験1】　2012 年産「コシヒカリ」（9月静岡県磐田市三ヶ野圃場収穫）を用い、2013 年7月 18 日～8月 27 日の 41 日間、籾米、玄米、精米および脱酸素剤入り精米の状態で富士山頂（富士山測候所3号庁舎1階（室内、温度調節なし））及び平地（農林技術研究所冷蔵庫（15℃））に貯蔵した。各2kg ずつ米用紙袋に入れたあと同一の天切缶に入れ、ガムテープで蓋を固定した。脱酸素剤入り精米は、チャック付きビニール袋に精米と脱酸素剤を入れ、ビニール袋ごと紙袋に入れた。

貯蔵終了後、籾、玄米を重量比 91％精白した。米の食味官能評価経験者 13 名（男8名、女5名、20～50 代、平均 45 歳）をパネルに、穀物検定協会の方法により、平地に玄米で貯蔵した米を基準に富士山貯蔵米の総合評価、香り、外観、うま味、粘り、硬さについて評価した。8月29日、30 日の2回実施。

さらに、食味官能試験に供した精米の白度、アミロース含量、タンパク質含量、糖含量、アミノ酸を測定した。白度はKett 社製白度計 C-300、アミロース含量はブランルーベ社オートアナライザー SPS2000、タンパク質含量は静岡精機社近赤外分析装置 VPA-5500X、糖含量、アミノ酸は、HPLC により分析した。

【試験2】 試験1と同期間、同じ場所に精米の状態で各 1.5kg ずつ米用紙袋に入れ貯蔵した。食味官能試験は、9月6日、学校法人鈴木学園（三島市）生徒　47 名（男 19 名、女 28 名　年齢 19～20 歳）をパネルに、2点嗜好法により実施した。

２．２．３　結果

【試験1】 平地で貯蔵した玄米に比べ、総合評価、外観、香り、うま味、粘り、硬さの全ての項目で食味評価に有意な差はなかった。食味関連形質では、富士山頂で熟成した米の精米白度が高く、籾米のアミロース含量が高く、グルコースが増加していたが食味評価に影響するほどの差ではなかった。

【試験2】 鈴木学園の生徒 47 名を対象に富士山頂と平地冷蔵庫で熟成した米を2点嗜好法により比較した結果、富士山の方がおいしいと感じた　21 名、平地の方が美味しいと感じた　26 名と両者に差はなかった。

２．３　牛肉（担当：畜産技術研究所）

２．３．１　目的

牛肉は通常の真空パックによる熟成方法に比べて、通気環境下で行う乾燥熟成法を用いることで、より熟成効果が高まることが判明している。そこで、低温、低圧環境である富士山頂において牛肉を乾燥熟成することで、熟成効果を加速させ、これまでにない新しい牛肉熟成技術を開発する。

２．３．２　試験方法

ガスバーナーで表面を殺菌した牛モモ肉(品種：交雑種、性別：雌、月齢:27 ヶ月齢) 500g を滅菌紙に密封し、2013 年 7 月 18 日～8 月 27 日の 41 日間、富士山頂（富士山測候所3号庁舎1階（室内、温度調節なし））（試験区）及び所内冷蔵庫(6℃)（対照区）内で3検体ずつ保管した。

コンテナ内温湿度は温湿度データロガーおんどとりTR-72Ui、肉色は色差計（MINORUTA　CR-300）、せん断力価は Warner-Bratzler せん断力価計、アミノ酸含量は HPLC により分析した。一般細菌数(熟成後)は牛肉の表面を火炎滅菌し、内部の細菌数について、標準寒天培地で 24 時間培養し計測した。参考として、熟成効果の指標となるせん断力価及びアミノ酸含量については、温度 2℃・湿度 70%・送風環境下で 42 日間乾燥熟成を行ったドライエイジング牛肉(DAB)の分析値とも比較した。

２．３．３　結果

試験区、対照区ともに細菌数が増加し、食用には不適となった。通常、牛肉を乾燥熟成するには温度 0～4℃、湿度 70％程度で通風環境であることが理想とされているが、今回は山頂の温度が高く（3.3～14.8℃）、加えて換気が不十分であったため湿度が高く(99％)、細菌が増殖しやすい条件であったことが原因と思われた。

せん断力価の低下やアミノ酸含量の増加など、熟成にともなう変化は認められ（図1、図2）、熟成効果はドライエイジングした牛肉よりも高い傾向にあったことから、新たな熟成法開発の可能性を示すものと思われた。

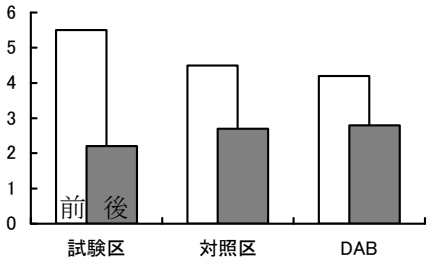


図１　せん断力価の比較(kg/cm2)

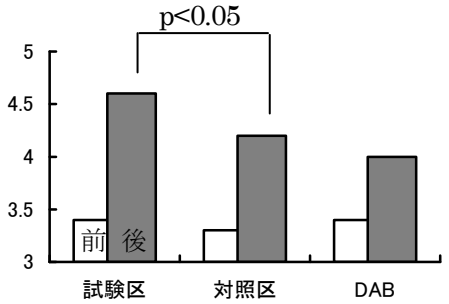


図2　総アミノ酸含量の比較(log(μg/g))

２．４　シカ肉（東部農林事務所）

２．４．１　目的

伊豆市の特産物であるシカ肉を富士山頂に一定期間貯蔵して、品質や食味への影響を評価する。

２．４．２　試験方法

伊豆市で捕獲した雌3歳のシカ3頭を用い、両脚のモモ肉を片方ずつ富士山頂（富士山測候所3号庁舎1階（室内、温度調節なし））と平地の 10℃以下の冷蔵庫に 2013 年7月 18 日から8月 27 日まで 41 日間貯蔵した。解体時に酸性水で、貯蔵前に 70％エタノールで肉を洗浄し、滅菌紙で個別包装して、プラスチックコンテナに入れて搬入した。貯蔵後は 10℃以下の冷蔵庫で保管して、分析した。肉色は測色色差計を用い、剪断力価はせん断力価計で、生菌数は平板希釈法で、アミノ酸は HPLC で分析した。

２．４．３　結果

トリミング後の残存率、剪断力価、水分含量は両区に明らかな差が認められなかった。肉色のL*値は富士山頂が平地冷蔵庫よりも低い傾向にあった。生菌数は富士山頂が平地冷蔵庫よりも多い傾向がみられ、富士山頂は3検体中1検体が腐敗に近い状態だった。遊離アミノ酸総量は富士山頂および平地冷蔵庫ともに試験前より増加しており、富士山頂が平地冷蔵庫よりも多い傾向だった。グルタミン酸、グリシン、

バリン、プロリンは、富士山頂が平地冷蔵庫よりも多い傾向だった。

２．５　日本酒（沼津工業技術支援センター）

２．５．１　目的

富士山貯蔵による日本酒の品質変化について官能評価、成分分析により影響の確認を行う。

２．５．２　試験方法

静岡県内の 19 の醸造場において静岡県産酒造好適米、誉富士を原料として 2012 年度に製造されたものを用いた。

富士山頂（富士山測候所3号庁舎1階（室内、温度調節なし））及び、平地冷蔵庫（沼津工業技術支援センター内実験室（15℃定温））にてそれぞれ 1 本ずつ密栓して 2013 年 7 月 18 日～8 月 27 日の 41 日間貯蔵した。

貯蔵酒の香味は、2 点嗜好法にて評価者 12 名で 2 回繰返し、試行数は 24 とした。評価者の内訳は、今回貯蔵した日本酒の各醸造蔵から杜氏 4 名（内静岡県や全国の鑑評会等で利き酒実績のある方 1 名）、社長 1 名、蔵人 4 名、沼津工業技術支援センター研究員から 2 名（利酒技術講習済、また全国の鑑評会等で利き酒実績多数あり）と東部農林事務所技術職員 1 名により実施した。

評価は、同銘柄の山頂と平地冷蔵庫で貯蔵したものをペアとして、どちらが山頂での貯蔵かは伏せて、“香味バランスに優れているのはどちらであるか”という質問について必ず何れかを選んでもらった。判定が明確な場合は、気になる点についてコメントしてもらった。同じペアについて 2 回実施（1回目と2回目は配置を変えて）した。

貯蔵中の温度変化は、データロガーにより調査した。日本酒の日本酒度、アミノ酸度、酸度は、国税庁所定分析法に従い分析した。アルコール濃度は、アルコール分析計（アルコメイト）を用いて分析した。

２．５．３　結果

貯蔵 41 日の官能評価では、富士山頂貯蔵と平地貯蔵に有意な差を見出せなかった（表3）。富士山頂貯蔵酒の方が優れているという回答の割合は、最高で 67 %であった。

評価者からのコメントによると香味の差が出ているようであるが、判別は困難でその差は非常にわずかであった。

日本酒中の成分を分析した結果、アルコール濃度、日本酒度、酸度およびアミノ酸度において、いずれの試料においても富士山頂貯蔵と平地貯蔵で有意と考えられる変化は認められなかった。

表3 富士山頂および平地冷蔵庫貯蔵19試料の香味官能評価（2点嗜好法）

有意差		（富士山頂貯蔵が優れている)回答割合				
危険率 5%	**危険率 10%**	100～80%	79～60%	**59～40%**	39～20%	19～0%
0 試料	**0 試料**	0 試料	3 試料	**14 試料**	2 試料	0 試料

3. おわりに

本報告は 2013 年7月 18 日から8月 27 日まで 41 日間の富士山頂における熟成試験結果をとりまとめたものである。この間、測候所3号庁舎1階（室内、空調なし）に保管したが、温度は最高 15.3℃～最低 3.3℃、平均9.5℃で推移した。短期間であったこともあり、食味への影響は少なかったが、茶、米、日本酒については熟成試験を継続中で、厳寒期を越えて 2014 年7月に残りの試料を降ろし再度品質・食味の評価を行う予定としており、この結果もあわせて次年度報告する。

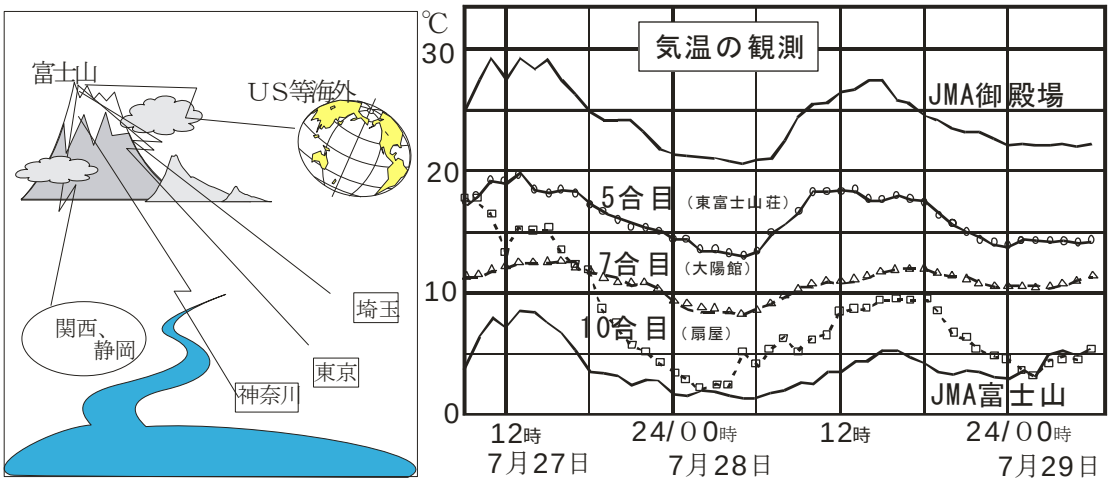
連絡先：山本寛人（Hirohito YAMAMOTO）、hirohito1_yamamoto@pref.shizuoka.lg.jp

P-18:富士山頂実験室

佐藤　元
黄金雲プロジェクト

1.　経緯と概要

「富士山頂実験室」というテーマで企画した動機や経緯は、2013 年1月の研究成果発表会の予稿集に記載し、発表したのでここには割愛する。2013 年度については、2011 年及び 2012 年の山頂での実況放送の成功と失敗をふまえ、2013 年 7 月 26 日～29 日 の3泊4日の行程で、気象予報士4名にて、以下の4項目につき、実況放送等行った。(放送の範囲は下記左図参照)



2. 登山日程及び結果

2013 年 7 月 25 日	御殿場基地近所の勝一冷蔵会社にて、ドライアイス6kg購入。 (器材準備のため、この日に一名御殿場基地に前泊した)
2013 年 7 月 26 日	バス:JR御殿場駅前集合～須走口5合目(東富士山荘、気象測器設置) 登山:5合目～7合目(大陽館、気象測器設置、宿泊)
2013 年 7 月 27 日	登山:7合目大陽館～山頂10合目(扇屋、気象測器設置) 実験、観測:頂上剣ヶ峰測候所内で、地上と同時にα線実験。 三島岳にて地上との雲の同時観測(測候所、宿泊)
2013 年 7 月 28 日	観察、放送:10合目山頂、お鉢めぐり。植物・地層・雲などの観察 地上へ実況放送を実施した。(測候所、宿泊)
2013 年 7 月 29 日	下山:(気象測器を順次回収しつつ下山した) 吉田口コース&須走口コース～5合目東富士山荘前にて解散

2－1　気象観測結果及び成果

横浜国立大学筆保研究室から借用した気象測器を10分間隔で設定し、登山期間中の気温等を観測記録し、下山後同大学にてデータを可視化して頂いた。気象庁観測値(気温)を一部引用し、結果を上記(右図)に示す。7月 27-28 日の、山頂での天気は曇り&晴であったが、29 日下山時は雨であった。

気温が高度に応じた変化傾向を示していることが分かる。ただし、10 合目の観測値は、測器設置位置の都合上、昼間は極端と思われる高温を記録した。一見異常に見えるが、前年度と同様傾向である。

2－2　放射線（α 線）の観測、飛跡の長さ比較

地上とは、SKYPE で交信しつつ、実験を相互比較した。飛跡は、1.5 倍程度伸長した。これは、予期したことではあるが、大気密度が地上の 2/3 程度の影響によるものである。Bragg Kleeman rule の確認である。（なお、須走口コース上で放射能を実測したが、0.05～0.07 μ Sv であった。）

2－3　雲の同時観測

山頂三島岳と、地上富士 SA の間で、USTREAM 及び携帯電話で、同一の雲の観測を行った。頂上からは眼下に雲海が見える状況下で、地上からは見上げても、雲が一面に広がっていて、おなじ雲を同定するのが困難であった。今後さらなる準備を行い再挑戦したい。

2－4　お鉢めぐり途上等での風景等の実況中継

実況放送はこの数年試行したが、今回は、TABLET を撮影通信機器として USTREAM 放送を行った。最初は地上への通信が出来ているか否か確認が困難であった。地上とは、携帯電話にて、画像・音声の受信状況を確認してもらい、山頂側で放送状況を把握した。最初手間取ったが、以降、順調に USTREAM 放送出来た。放送内容の一部を YOU-TUBE へも送り、動画のアーカイブができた。関西、静岡、関東一円での受信レポートを下山後頂いた。US の知人へも事前連絡したが、今回は出張中で受信できなかった。来年度、時差の問題があるが、海外への放送を再度試行したい。

3. 今後の課題等

（1）気象測器の設置と回収、データの可視化

横浜国立大学のご支援を頂き、さらには、山小屋のご主人たちの協力も得られて、気象観測データの取得は、順調にできた。

（2）器材の準備・運搬

山頂班、御殿場基地のスタッフの皆様、立教高校の先生のお世話になった。小人数での研究であるので、器材の荷揚げ・荷下げにつき、関係の皆様にお願いするのが限界に近い。

（3）LAN環境

測候所内で一台の PC から USTREAM 実況放送し、他の一台で受信した。音声・画像とも鮮明であった。ただ、この送受信が、インターネット回線網を経由したのか否か確認できない。

参照文献：平成25年1月成果発表時の予稿集

引用：「気温の観測」のグラフには、気象庁（JMA）の統計データを引用させていただきました。

謝辞：以下の機関・経営者・在住・在勤の先生方、皆様方には大変お世話になりました。

・NPO法人富士山測候所を活用する会の山頂班、御殿場基地、東京事務所の皆様　・放射線医学研究所の皆様　・横浜国立大学教育人間科学部気象学研究室の皆様　・立教高校の先生　・日本原子力研究開発機構の方　・富士山の5合目（東富士山荘）、7合目（大陽館）、10合目の山小屋のご主人及びスタッフの皆様　・一般社団法人日本気象予報士会気象実験クラブ、静岡支部、神奈川支部、東京支部、埼玉支部の有志の皆様　・大阪大学工学部機械工学科の同窓の皆様　・Indianapolis, IN, USA　の友人

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

P-20:富士山体を利用した自由対流圏高度における エアロゾル―雲-降水相互作用（２）

大河内博[1]、緒方裕子[1]、皆巳幸也[2]、米持真一[4]、竹内政樹[5]、香村一夫[1]，名古屋俊士[1]
1. 早稲田大学，2. 石川県立大学，3.埼玉県環境科学国際センター，4. 徳島大学

1. はじめに

雲水はガス状および粒子状大気汚染物質を効率よく捕捉して様々な化学反応を引き起こす．したがって，大気汚染物質を濃縮した雲水が森林樹冠に捕捉されることにより，森林生態系は悪影響を受ける．しかしながら，山間部における雲水の化学性状と雲水を介した大気汚染物質の沈着（オカルト沈着）に関する長期モニタリング研究は，日本国内では丹沢大山，六甲山など限られた地域で報告があるだけである．

当研究室では，富士山周辺の森林大気環境保全を目的として，2003 年から富士山南東麓御殿場口太郎坊においてエアロゾル，ガス，雲水，雨水の通年観測を行い，富士山麓周辺における大気質と大気沈着量の長期モニタリングを行っている．

2. 観測期間・観測地点・観測項目

富士山南東麓御殿場口太郎坊（1284 m）において，エアロゾル，ガス，雲水および雨水の通年観測に行った． ガスはフィルターパック法により2週間連続採取，エアロゾルはハイボリウムエアーサンプラーにより1日毎採取を行い，雲水は自動雲水採取装置（北都電気 DFC-2200），雨水は太陽電池駆動小型自動雨水採取装置を使用した．また，7月と8月の夏季にはそれぞれ一週間程度の連続観測を行った．

3. 観測結果

2013 年には雲水内溶存金属元素の計測を初めて行った．図 1 には 2013 年に採取された雲水内微量金属元素（溶存態）の平均組成を示すが，Al，Fe，Zn が主な溶存微量金属であることが分かる．図 2 には，ヒ素とセレンの雲水内濃度について 2013 年 7 月から 10 月までの経月変化を示す．ヒ素，セレンともに富士山南東麓で 8 月に最も高濃度なっている．分析を行った雲水試料全体で相関分析を行ったところ正の高い相関があった（r=0.932）．ヒ素とセレンは石炭燃焼由来の指標元素であるが，2013 年には例年と異なり，富士山南東麓における雲発生時の空気塊は大陸由来であった．この結果は，夏季の富士山麓においても空気塊の輸送経路によっては越境大気汚染の影響を強く受ける可能性を示唆している．データ解析を引き続き行い，富士山南東麓の大気質に越境大気汚染の影響がどの程度を及んでいるのかを解明する必要がある．

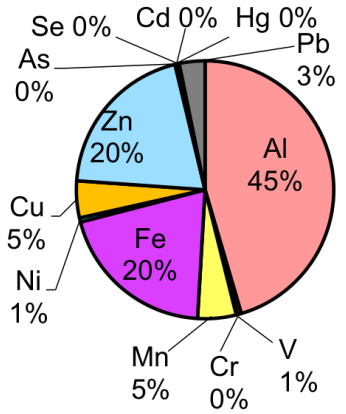


図１　雲水内微量金属元素組成（夏季）

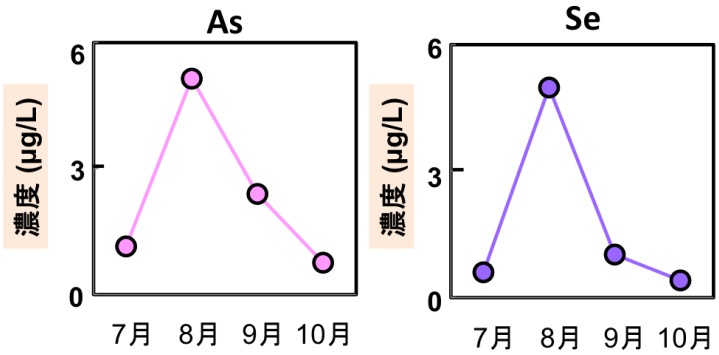


図２　雲水中ヒ素とセレン濃度の経月変化

謝辞：本研究の一部は，公益財団法人粟井英朗環境財団の助成を受けて行った．深謝申し上げます．
*連絡先：大河内　博（Hiroshi OKOCHI）、hokochi@waseda. jp