

第4回成果報告会

2010 年夏、富士山頂で行われた観測・研究の成果報告

講演予稿集

2011年1月23日(日)

東京大学弥生講堂

NPO法人富士山測候所を活用する会

第4回成果報告会

—平成 22(2010)年夏期富士山測候所における観測・研究の成果報告—

13:05-16:00 口頭発表

13:05-14:15

[大気化学]

座長:小林 拓(山梨大学)

- O-1 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……4
大河内博(早稲田大学),皆巳幸也(石川県立大学),片山葉子(東京農工大学),
米持真一(埼玉県環境科学国際センター)
- O-2 富士山頂におけるラドン濃度,小イオン濃度,エアロゾルの粒径分布,雲凝結核濃度の同時測定
……………7
三浦和彦,永野勝裕(東京理科大学),小林拓(山梨大学)
- O-3 夏季富士山頂における有機エアロゾルの組成と生成過程に関する研究……………8
藤原真太郎(北海道大学大学院環境科学院/低温科学研究所),河村公隆,関幸,
宮崎雄三, Pingqing Fu(北海道大学低温科学研究所),竹谷文一(独立行政法人
海洋研究開発機構),兼保直樹(独立行政法人産業技術総合研究所)
- O-4 富士山頂における無人の継続的二酸化炭素濃度測定……………10
須永温子,向井人史,野尻幸宏(独立行政法人国立環境研究所)
- O-5 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(2008-2010)
(*)新技術振興渡辺記念会委託事業……………12
土器屋由紀子,山本智,小林拓,梶井克純,大河内博,兼保直己,三浦和彦,岩坂泰信,
畠山史郎,皆巳幸也,保田浩志(NPO法人富士山測候所を活用する会),
佐々木一哉(東京大学)
- O-6 富士山測候所を温室効果ガス通年観測施設とするためのクリーンエネルギー使用・インフラ
構築事業, 2010……………18
(*)平成 22 年度カーボンオフセット年賀寄附金助成事業
畠山史郎(東京農工大学), 兼保直樹(独立行政法人産業技術総合研究所)

14:30-14:54

[高所医学]

座長:井出里香(東京都立大塚病院)

- O-7 登山経験の少ない高齢者における富士登山時の生理的負担度……………20
笹子悠歩(鹿屋体育大学大学院), 山本正嘉(鹿屋体育大学スポーツトレーニング
教育研究センター)
- O-8 富士山山頂における睡眠時の低酸素症と呼吸動態へ及ぼす口腔内装置の効果……………22
野口いづみ,笹尾真実(鶴見大学歯学部),高野宏二(埼玉県歯科医師会口腔保健
センター),長澤純一(電気通信大学),大野秀樹(杏林大学医学部)

14:54-15:35

[宇宙線・永久凍土・雷]

座長:兼保直樹(産業技術総合研究所)

- O-9 富士山における地温観測孔掘削:永久凍土の直接観測に向けて……………23
池田 敦(信州大学山岳科学総合研究所), 岩花 剛(北海道大学)
- O-10 富士山頂で得られた宇宙線観測データの航空被ばく管理への応用……………24
保田浩志,矢島千秋,松沢孝男(独立行政法人放射線医学総合研究所)
- O-11 富士山測候所落雷対策のための雷サージ抑制効果評価実験……………26
安本勝,佐々木一哉,高橋浩之(東京大学),中村安良(土浦工高),
大胡田智寿,土器屋由紀子(NPO法人富士山測候所を活用する会)

15:35-16:00	[様々な利用] 座長: 兼保直樹 (産業技術総合研究所)
O-12	マイクロ波帯・ミリ波帯の電波伝搬研究およびデジタルデータの伝送研究.....34 上條敏生(首都大学東京理工学研究科), 横尾富夫(東芝ソリューション株式会社)
O-13	3次元雨量計の性能比較試験.....40 松田益義(株式会社MTS 雪氷研究所), 島村誠(東日本旅客鉄道株式会社防災研究所)
16:00-16:30	ポスターセッション
P-1	富士山頂でのスス粒子の観測.....42 兼保直樹(独立行政法人産業技術総合研究所), 内田昌男, 近藤美由紀(独立行政法人国立環境研究所)
P-2	富士山頂におけるPM2.5エアロゾル粒子の動態解明.....45 竹谷文一, 金谷有剛(独立行政法人海洋研究開発機構), 兼保直樹(独立行政法人産業技術総合研究所), 藤原真太郎(北海道大学大学院環境科学院)
P-3	富士山頂における夏季のオゾン・一酸化炭素の連続測定.....46 加藤俊吾, Jeeranut Suthawaree, 梶井克純(首都大学東京都市環境学部)
P-4	富士山山頂における新粒子生成の観測.....47 松木篤(金沢大学), P.Laj(LGGE: Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement), K. Sellegri, H. Venzac, J. Boulon(LaMP: Laboratoire de Météorologie Physique), 三浦和彦(東京理科大学), 岩坂泰信(金沢大学)
P-5	富士山頂宇宙線測定におけるシンチレーション中性子検出器の応答特性.....48 矢島千秋, 保田浩志(独立行政法人放射線医学総合研究所)
P-6	富士山山頂における高エネルギー放射線および大気電場の観測.....49 田中章裕(東京学芸大), 鳥居建男(日本原子力研究開発機構), 杉田武志(科学システム研究所), 保田浩志(独立行政法人放射線医学総合研究所), 鴨川仁(東京学芸大)
P-7	富士山山頂における晴天日大気電場の計測.....52 佐藤良衛(東京学芸大), 木村嘉尚(極地研/東京学芸大), 阪井陸真(東京学芸大), 藤原博伸(女子聖学院高校), 稲崎弘次(NEC システムテクノロジー), 山本勲(岡山理科大学), 鳥居建男(日本原子力研究開発機構), 保田浩志(独立行政法人放射線医学総合研究所), 鴨川仁(東京学芸大)
P-8	富士山における科学教育の試行(2)—学生による宇宙線の測定と重力の測定—.....54 松澤孝男(独立行政法人放射線医学総合研究所) 関根恵(北大院工), 大沼侑司, 会澤雄基, 阿久津達也, 森脇滉, 中島宏昌, 飯島竜司, 矢野倉伊織, 八重樫拓也(茨城高専ラジオ部), 矢島和明, 保田浩志(独立行政法人放射線医学総合研究所)
P-9	富士山頂短期滞在時の安静および運動時の脳血流・心行行動態に及ぼす影響に関する研究 岡崎和伸(大阪市立大), 浅野勝己(筑波大学名誉教授).....60
P-10	居住環境としての富士山測候所.....62 村上祐資(東京大学大学院工学系研究科建築学専攻)
P-11	2010年夏期観測を振り返って.....63 鈴木耀夫, 中山良夫, 土器屋由紀子(NPO法人富士山測候所を活用する会)

16:30-17:20 パネルディスカッション

「雲の上の実験室でできること ～日本でいちばん宇宙ステーションに近い実験室～」

パネリスト: 小林拓(山梨大), 保田浩志(放射線医学総合研究所), 竹谷文一(独立行政法人海洋研究開発機構), 井出里香(東京都立大塚病院), 池田敦(信州大)

コーディネーター: 村上祐資(東京大学)

表紙写真: 山本季生(2010年7月28日撮影)

富士山体を利用した 自由対流圏高度におけるエアロゾル—雲—降水相互作用の観測

大河内博¹, 皆巳幸也², 片山葉子³, 米持真一⁴

1. 早稲田大学理工学術院, 2. 石川県立大学 生物資源環境学部,
3. 東京農工大学農学部共生科学技術研究院, 4. 埼玉県環境科学国際センター

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(図 1)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.

本研究では, 昨年度に引き続き, 自由対流圏高度に位置する富士山頂で雨水, 雲水, 水溶性ガス・エアロゾルの連続観測を行い, 日本上空のバックグラウンド大気濃度の解明を行うとともに, エアロゾル—雲—降水相互作用について検討した. とくに, 雲粒液滴分布に影響を及ぼすと考えられる大気中フミン様物質の動態, 雲粒生成に関わる諸特性, バイオエアロゾルの実態解明などを目的に, 早稲田大学, 石川県立大学, 東京農工大学, 埼玉県環境科学国際センターの共同観測として行った.

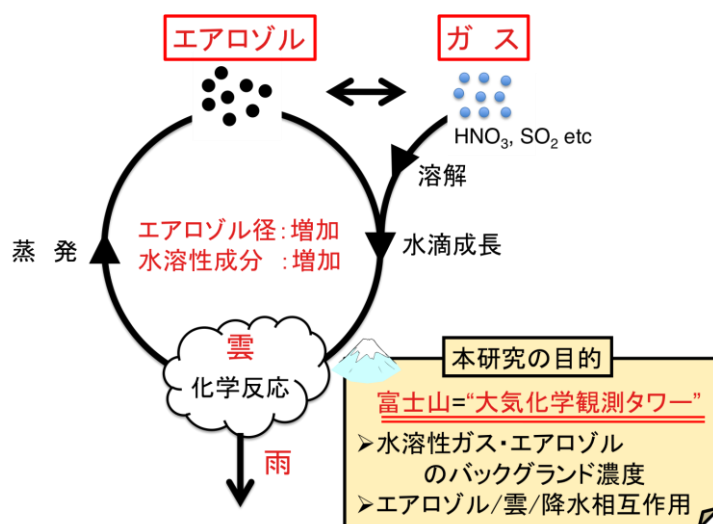


図1 エアロゾル—雲—降水相互作用と本研究の目的

2. 観測期間・観測地点・観測項目

観測期間は富士山頂で2010年7月13日から8月25日であり, 7月13日~17日は泊まり込みでの集中観測を行った. 集中観測期間中は富士山頂と富士山麓での同時観測を行った.

観測地点は, 富士山頂(富士山測候所, 3776 m), 富士山南東麓(太郎坊, 1300 m), 富士山北西麓(名大太陽研, 1000 m)である. 観測項目は, エアロゾル物理特性(粒径分布, 光学特性, 吸湿特性), エアロゾル化学特性(水溶性主要無機成分, 水溶性有機物(WSOC), HULIS, PAHs), エアロゾル生物特性(細菌株の同定と細菌数), ガス状物質(VOCs, 酸性ガス, アンモニア), 雲水・雨水・露水中化学成分(主要無機成分, 溶存有機炭素(DOC), HULIS, VOCs)である.

3. 観測結果

1) 早稲田大学と石川県立大学との共同観測

図2には, 2010年に行った夏季集中観測期間中の富士山頂(3776 m)と富士山南東麓(1300 m)における酸性ガス(SO₂, HNO₃)およびエアロゾル(SO₄²⁻, NO₃⁻)濃度の経時変化を示す. また, 比較のために, 昨年度の結果も同時に示している. 2010年には酸性ガスおよびエアロゾルともに2009年に比べて低濃度

であったが、2009 年、2010 年ともに富士山頂の大気中 SO_2 濃度は富士山麓に比べて高かった。2010 年の関東甲信越の梅雨明けは 7 月 17 日であるが、富士山周辺では 7 月 15 日から天候が回復し、笠雲が晴れた 7 月 16 日には SO_2 濃度の上昇が観測された。7 月 15 日までは海洋大気が卓越していたが、7 月 16 日には大陸からの空気塊が富士山頂に流入しており、 SO_2 濃度の上昇は大陸からの汚染大気の流入を示唆していた。この結果は、夏季においても SO_2 を含む汚染大気の大陸からの輸送が重要であることを示している。現在、この他に得られた試料の分析とデータ解析を行っているところである。

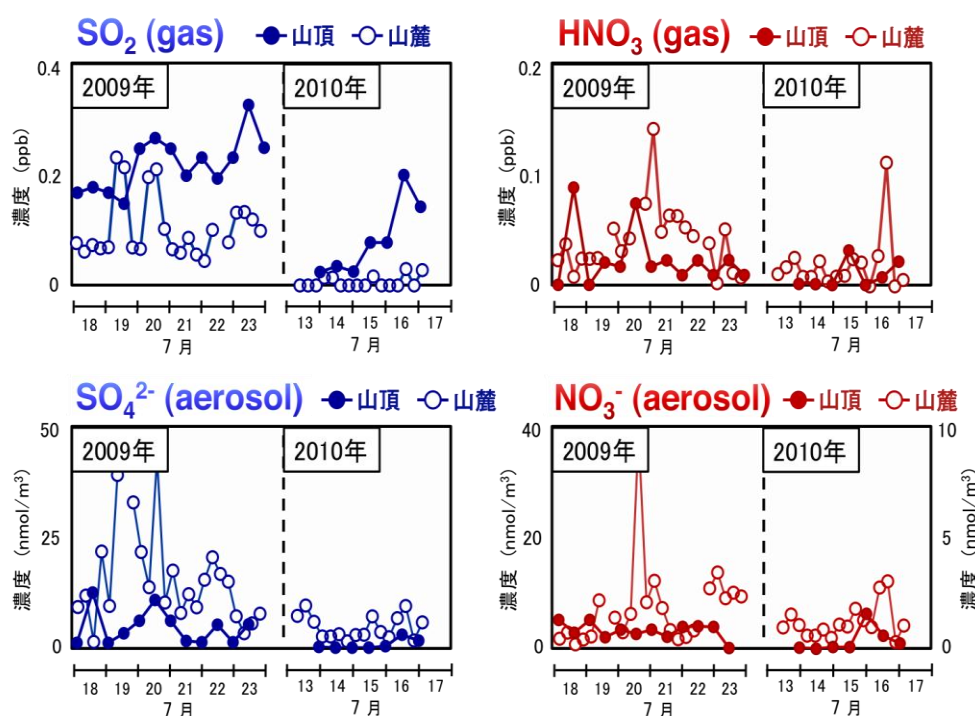


図2 2009 年、2010 年の夏季集中観測期間中の富士山頂と富士山南東麓における酸性ガスおよびエアロゾル濃度の経時変化

2) 東京農工大学の観測（富士山頂で採取したバイオエアロゾルから分離された細菌について）

現在、大陸で発生したバイオエアロゾルが日本に長距離輸送していることが考えられているが、どのような微生物が日本に長距離輸送しているかについては十分な研究が行われていない。本研究では長距離輸送された可能性のある細菌に関する知見を得るために、富士山頂で採取されたバイオエアロゾルから細菌を分離した。バイオエアロゾルの採取は孔径 $0.22 \mu\text{m}$ のポリカーボネートメンブランフィルターを用いて、富士山頂と太郎坊で行なった。採取日時は 2010 年 7 月 15 日～16 日と 20 日～21 日でそれぞれ 0:00～4:00 と 13:00～18:00 の時間帯である。フィルターに採取したバイオエアロゾルは滅菌済み生理用食塩水に懸濁し、4 種類の培地で培養した。培地に生育してきたコロニーを分離し、その細菌から DNA を抽出して、16S rRNA 遺伝子を PCR 法で増幅し、シーケンズによって塩基配列を決定した。その塩基配列を BLAST 検索を行なうことで近縁種の特定を行なった。

富士山頂で採取したバイオエアロゾルで培養可能な菌数は 0:00～4:00 の時間帯は約 $1 \text{ cfu}/\text{m}^3$ 、13:00～18:00 の時間帯は $11 \sim 93 \text{ cfu}/\text{m}^3$ となった。一方、太郎坊で採取したバイオエアロゾルの培養数は 0:00～4:00 の時間帯は $127 \sim 1212 \text{ cfu}/\text{m}^3$ 、13:00～18:00 の時間帯は $66 \sim 107 \text{ cfu}/\text{m}^3$ となった(図 3)。富士山頂での 13:00～18:00 の時間帯の培養可能な菌数が 0:00～4:00 の時間帯より高くなったのは、13:00～18:00 の時間帯は登山者が多く、彼らが巻きあげた土壌粒子と共に土壌微生物が巻きあがり、それらによる影響を受けた可能性が考えられた。富士山頂で 0:00～4:00 の時間帯で採取したバイオエアロゾルから分離された細菌は *Micrococcus* sp, *Bacillus* sp, *Paenibacillus* sp であった(表 1)。現在、その他に分離された 3 菌株について解析中である。

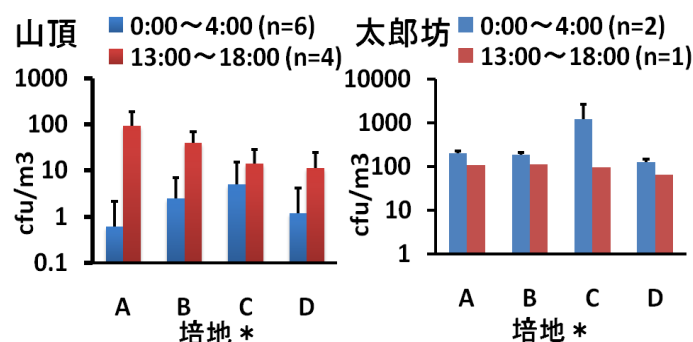


図3 富士山頂及び太郎坊で採取したバイオエアロゾルから形成されたコロニーの数. * A: PYG-low培地, B: R2A培地, C: YE培地, D: シュードモナス選択寒天培地

表1 富士山頂のバイオエアロゾルから単離された細菌の近縁種の特定

時間帯	採取日	株番号	近縁種	相同性 (%)
0-4	7月16日	2	<i>Micrococcus</i> sp	99% (1401/1405)
		3	<i>Bacillus</i> sp	98% (1381/1397)
	7月21日	16	<i>Paenibacillus</i> sp	99% (1347/1352)
13-18	7月15日	7	<i>Micrococcus</i> sp	99% (1391/1404)
		9A	<i>Moraxella</i> sp	99% (1380/1381)
		9B	<i>Enhydrobacter aerosaccus</i>	99% (1397/1401)
		11	<i>Moraxella</i> sp	99% (1308/1411)
		12	<i>Bacillus megaterium</i>	99% (1418/1419)
		14	<i>Lysinibacillus sphaericus</i>	99% (702/704)
		15A	<i>Moraxella</i> sp	99% (1408/1411)
		15B	<i>Moraxella</i> sp	99% (1358/1359)
	7月20日	20	<i>Bacillus cereus</i>	99% (1381/1382)
		25	<i>Bacillus megaterium</i>	99% (1369/1370)
		28	<i>Mesorhizobium loti</i>	99% (1376/1378)

3) 埼玉県環境科学国際センターの観測

7月25日～8月1日と8月1日～8月7日の2回、アンダーセン・ローボリューム・エア・サンプラーを用いて、大気エアロゾルの粒径別採取を行った。このうち第1回目の捕集は、ポンプのトラブルにより失敗に終わったため、2回目の試料捕集のみを分析の対象とした。なお、本サンプリングは、東京都新宿区、さいたま市、埼玉県加須市および中国上海市で概ね同期させて行っている。特に金属元素に着目し、結果の比較を含めた解析を行う予定である。

謝辞

観測に御協力いただいた山梨大学・小林拓先生、東京理科大学・三浦和彦先生、永野勝裕先生、早稲田大学創造理工学部環境資源工学科大気・水圏環境化学研究室の学生諸君、山頂勤務班の皆様に深謝いたします。

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

富士山頂におけるラドン濃度、小イオン濃度、エアロゾルの粒径分布、雲凝結核濃度の同時測定

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

基礎生産性の高い海域から放出される生物起源気体は、海洋エアロゾル粒子の重要な起源である。粒子数が増加することにより、雲は大気への放射強制力を増し、温暖化を抑制するという仮説が提唱されている。しかし、大気境界層には海塩粒子が存在するので新粒子生成は起こりにくく、海面付近でナノ粒子の増加を観測した例は少ない。そして、それらも自由対流圏で生成したものが高気圧下で沈降したものであろうと考えられている。富士山山頂は年間を通して自由対流圏内に位置することが多い。そこで、新粒子生成のメカニズムを調べるために、2006年から夏季だけではあるが、山頂においてサブミクロン粒子の粒径分布を測定してきた。また、エアマスのトレーサーとしてのラドン濃度を測定している。今年度は新たに、イオン誘導核生成の寄与を調べるため小イオン濃度を、雲生成の寄与を調べるため雲凝結核濃度を測定した。

2. 方法

富士山測候所(標高 3776m)と山麓の太郎坊(標高 1300m)において、2010 年 7 月 17 日～8 月 25 日に観測を実施した。観測項目は、直径 5nm～5000nm の粒子の粒径分布(TSI 3085, RION KR12A)、小イオン濃度(COM3400)、雲凝結核濃度(DMT)、ラドン濃度、インパクターで捕集した個別粒子の形態観察・元素分析である。

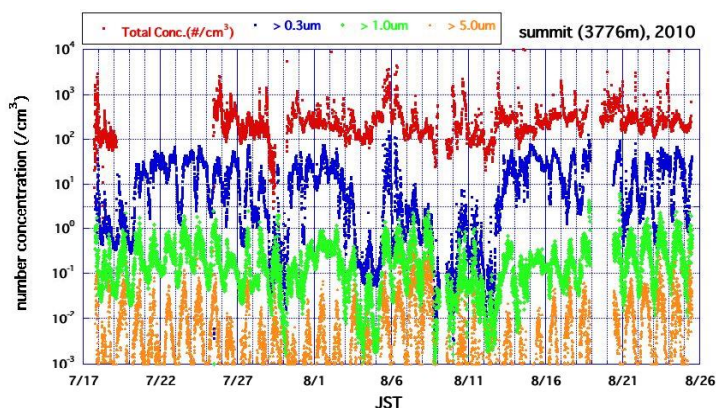


図1 富士山頂において SMPS で測定した全粒子、OPC で測定した 0.3, 1, 5 μm 以上の粒子数濃度

3. 結果と考察

図1に富士山頂において SMPS で測定した全粒子数濃度と OPC で測定した 0.3, 1.0, 5.0 μm 以上の粒子数濃度を示す。拡散ドライヤーを用いて湿度 20% 以下の乾燥状態で測定している。0.3 μm 以上の粒子は日中高く、夜間低くなる日変化が見られ、大気境界層からの輸送が予想される。また、今年度も 20 nm 以下の粒子が 3 時間以上にわたり増加する現象が観測された。表1にイベントの回数を示す。

表1 富士山頂で観測した新粒子生成イベント

	昼	夜	合計	観測日時
2006, 夏	12	5	17	28
2007, 夏	4	17	21	27
2008, 夏	3	11	14	20
2009, 夏	4	12	16	33
2010, 夏	2	11	13	26
合計	25	56	81	134

20nm以下にピークが3時間以上測定された回数

今後、ラドン、オゾン、一酸化炭素などのトレーサー、気象要素などと比較し、発生源を推定する。また、個別粒子の元素分析、雲凝結核濃度と粒径分布の関係、小イオン濃度の変動特性について解析する。

謝辞

本研究の一部は科研費基盤研究 C (代表 三浦和彦、2010-2012 年度) の助成により行われた。

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

夏季富士山頂における有機エアロゾルの組成と生成過程に関する研究

藤原真太郎^{1,2}、河村公隆²、関宰²、宮崎雄三²、Pingqing Fu²、竹谷文一³、兼保直樹⁴

1. 北海道大学大学院環境科学院、2. 北海道大学低温科学研究所、

3. 独立行政法人海洋研究開発機構、4. 独立行政法人産業技術総合研究所

1. はじめに

大気中に浮遊する微粒子(エアロゾル)は人間活動や植物体など様々なソースから放出され、大気の放射収支に関わる事で気候に大きな影響を与えられていると考えられている。しかし、エアロゾル中に含まれる有機成分は組成が複雑であり、特に自由対流圏(Free Troposphere : FT)においては、生成過程に関する知見の不足によって有機エアロゾル濃度のモデル計算結果が実観測結果を過小評価していると指摘されている(Heald et al., 2005)。

有機エアロゾル中でも低分子ジカルボン酸類(Fig. 1)に代表される水溶性有機成分は、大気中で雲の生成に大きく寄与すると考えられており、これまで地表付近を中心する観測が行われてきた(e.g., Kawamura and Sakaguchi, 1999)。FT内においても、Narukawa et al.(2003)などによって東アジア・北太平洋上空で航空機による観測が行われたが、詳細な化合物組成や生成過程は報告されていない。

本研究の目的は、2009 年度に引き続いて、光化学活性の盛んな夏季に富士山頂でエアロゾルの定点観測を行うことで、FTにおける低分子ジカルボン酸をはじめとした有機エアロゾルの組成と生成過程を明らかにすることである。

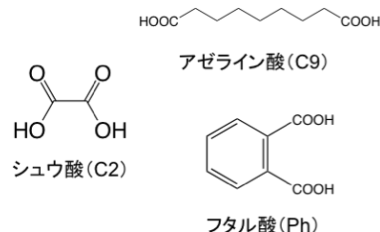


Fig.1 代表的な低分子ジカルボン酸

2. 方法

エアロゾル試料は2010年7月20日～8月25日にかけて、旧気象庁富士山測候所3号庁舎西側屋外にて捕集した。観測には全浮遊粒子の捕集を目的としたハイボリュームエアサンプラー(HV)と、粒径別粒子($0.5\mu\text{m}$ 以下～ $12.3\mu\text{m}$ 以上:9段階)の捕集を目的としたミドルボリュームインパクター(MVI)を使用した。試料の捕集は24時間連続で行い、HVはおよそ4日毎、MVIは1週間毎にフィルターの交換を行った。低分子ジカルボン酸の分析にはGC法(e.g. Kawamura and Sakaguchi, 1999)を用い、フィルターから純水抽出した化合物を14%BF₃/n-ブタノールによってジブチルエステル化した後、GC/MS、GC/FIDによって同定・定量を行った。本要旨では、低分子ジカルボン酸の結果について記載するが、発表時には別途分析を行った無機イオン成分との関係や、JAMSTEC/AISTによって捕集された昼夜別フィルターの分析結果、また、昨年度の観測で明らかにされた自由対流圏におけるイソプレン酸化生成物等の分析結果に関しても紹介する予定である。

3. 結果と考察

本研究では、FT内において炭素数が2から12の直鎖不飽和と低分子ジカルボン酸を始めとした23種類のジカルボン酸と、7種類のケト酸、2種類のジカルボニルを検出した。検出された化合物の中では、シュウ酸(C2)が最も高い濃度を示し、コハク酸(C4)、マロン酸(C3)がそれに次いだ。

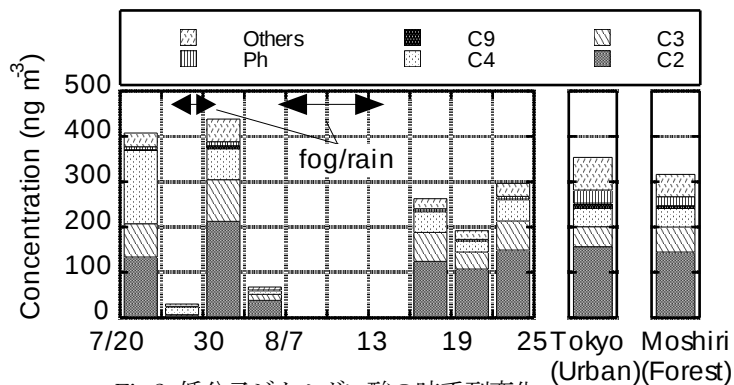


Fig.2 低分子ジカルボン酸の時系列変化

2010 年度に観測された全低分子ジカルボン酸濃度は $188 \pm 163 \text{ ng m}^{-3}$ であり、気象条件によって大きく濃度変動するものの、昨年度同様、都市や森林など地表のエアロゾル放出源付近で観測された値と同程度まで増加する傾向がみられた (Fig. 2)。シュウ酸に対するフタル酸 (Ph: 人為起源汚染物質由来) とアゼライン酸 (C9: 植物起源の脂肪酸由来) の相関を比較したところ、相関係数はそれぞれ $R^2=0.97$ と $R^2=0.61$ であり、シュウ酸は境界層内の汚染大気の影響を強く受けて生成している可能性が示唆された。また、観測された低分子ジカルボン酸が長距離を輸送されていた場合には、光化学的な変質を受けている事が予想される。マロン酸 (C3)/コハク酸 (C4) 比を光化学的変質の度合いの指標として用いた結果、本研究の結果 (0.86 ± 0.68) は、強い変質を受けていた海洋表層での値 (3.9 : Kawamura and Sakaguchi, 1999) よりも、自動車の排気等から一次放出された低分子ジカルボン酸が示す値 (0.35 : Kawamura and Kaplan, 1987) に近く、本研究では放出されてから数日以内の比較的新しい気塊を多く観測していたことが推測された。

粒径別試料の分析結果からは、シュウ酸をはじめとする低分子ジカルボン酸は質量濃度でおよそ 70% 以上の粒子が $2.5 \mu\text{m}$ 以下の粒径に濃集している事が明らかとなった (Fig.3)。これは観測された低分子ジカルボン酸の大半が、山頂付近に輸送されたガス状前駆体物質が酸化される事によって、大気中で二次的に生成していた事を示唆している。一方で、粗大粒子側 (粒径 $2.5 \mu\text{m}$ 以上) においても大きなピークを持つ試料も存在した事から、気象条件によっては、境界層内で生成した低分子ジカルボン酸が海塩や土壌などの粗大粒子に付着して山頂へ輸送されていたと考えられる。また、Ph の粒径分布はシュウ酸の粒径分布と同様に $1 \mu\text{m}$ 付近にピークを持つ形状であったが、C9 の粒径分布は粗大粒径に大きなピークを示した (Fig.3)。この結果は HV 試料から得られた、シュウ酸は汚染大気の影響を強く受けている、との考察を支持している。

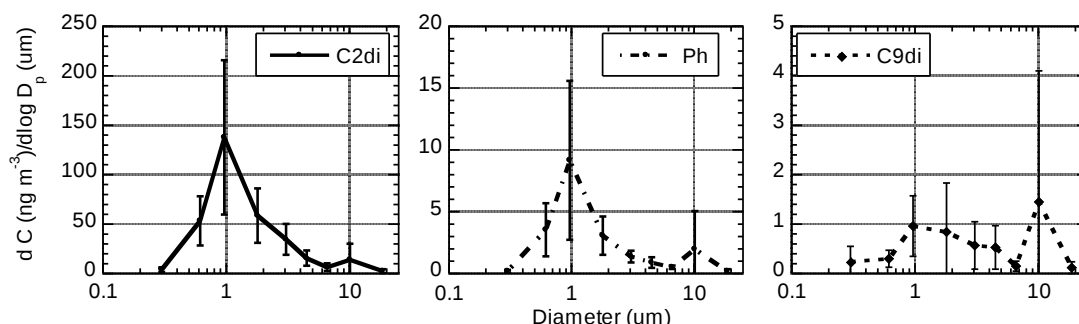


Fig.3 シュウ酸(C2), フタル酸(Ph),アゼライン酸(C9)の粒径分布

以上の結果より、本研究で観測された自由対流圏内に存在する低分子ジカルボン酸は、比較的変質されていない汚染大気の影響を受けており、大半が汚染大気由来のガス状前駆体物質から二次的に生成していることが明らかとなった。

参考文献

- Kawamura, K., and Sakaguchi F.: Molecular distributions of water-soluble dicarboxylic acids in marine aerosols over the Pacific Ocean including tropics, *J. Geophys. Res.*, 104, 3501-3509, 1999.
- Heald, C. L., Jacob, D. J., Park, R. J., Russell, L. M., Huebert, B. J., Seinfeld, J. H., Liao, H., Weber, R. J.: A large organic aerosol source in the free troposphere missing from current models, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L18809, doi:10.1029/2005GL023831, 2005.
- Narukawa, M., Kawamura, K., Okada, K., Zaizen, Y., Makino, Y.: Aircraft measurement of dicarboxylic acids in the free tropospheric aerosols over the western to central North Pacific, *Tellus B*, vol. 55, issue 3, 777-786, doi: 10.1034/j. 1600-0889, 2003.
- Kawamura, K. and Kaplan, I. R.: Motor Exhaust Emissions as a primary source for dicarboxylic acids in Los Angeles ambient air, *Environ. Sci. Technol.*, 21, 105-110, 1987.

*連絡先: 藤原真太郎 (Shintaro FUJIWARA) 、 s.fujiwara@pop.lowtem.hokudai.ac.jp

富士山頂における無人の継続的二酸化炭素濃度測定

須永温子、向井人史、野尻幸宏
独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター

1. はじめに

今年もロシアの森林火災を初めとした自然災害が世界各地から報告されているが、その原因として地球の気候変動が一因ではないかと推測されている。今後さらに地球温暖化が引き起こす可能性があるだろう事象の予測は非常に困難であり、早急に温室効果ガスの削減に世界規模で取り組まなければいけない事態となっている。

独立行政法人国立環境研究所(以下 NIES)、地球環境研究センターでは国内国外においてさまざまなプラットフォームを用いて大気環境に関する観測・研究を行っている。大気中の二酸化炭素やメタンなど主要な温室効果ガスの濃度変動は今後地球温暖化を理解する上で重要なデータであり、自然界の吸収を含めた炭素収支のグローバルな動きからローカルな動きまで更に検討を重ねる必要がある。

富士山頂での二酸化炭素濃度の通年観測は、日本列島の中央に位置しながら自由対流圏に突き出た自然の観測タワーで測定することにより、日本上空の代表的な二酸化炭素濃度を捉えることを目的としている。これまでマウナロなどのバックグラウンド大気の測定がなされてきているが、アジアの経済域からの二酸化炭素排出の影響が近年大きく考えられていることから、アジア大陸に近い位置での二酸化炭素の濃度の平均値を得ることが重要と考えられる。

2. 方法

NIES が 2007 年から開発、実験を開始した小型二酸化炭素濃度自動測定器(富士山型 CO₂ 計)を用いて、2009 年 8 月後半から、富士山特別地域気象観測所(標高 3776m)において無人の越冬 CO₂ 自動観測を開始した。標準ガス 3 本を含め(サンプル)外気は繰り返し測定され、安定した値が補正に使用される。零下 15 度を下回る室内でも測定装置の機能を保つために低温時に移動するヒーターを搭載し、装置稼働による発熱を逃がさないで保温に充てる工夫も施されている。山頂で観測される CO₂ 濃度は測定後に衛星通信(ORBCOMM)でつくばの NIES に電子メールで毎日届けられる仕組みとした。

今年度の夏季には昨年夏から稼働していた二酸化炭素測定装置の観測全データの回収を行い、越冬により消費した 100 個の鉛蓄電池の充電を行うことを試みた。そのため新たに連続自動充電装置を試作し稼働させた。また、昨年からたびたび見られるデータ通信の問題を改善するために開発した、衛星通信システム(Iridium)を搭載した富士山型 CO₂ 計 2 号機の稼働試験を行った。最後に、越冬観測 2 年目のためのシステム整備を行い、測定時間を午後から深夜に変更し測定を開始した。

3. 結果と考察

2009 年 8 月からの越冬観測は 2010 年 7 月の開所まで継続され、2004 年に富士山測候所が閉所して以来初めての越冬大気観測は無事に成功した。低温用バッテリーの起用、低温に対する昇温・保温対策が効果的に働いたと言える。また、新しく開発したバッテリー用の自動連続充電システムによる夏期開所中の充電も問題なく完了した。そして、Iridium 衛星通信システムを新しく搭載した 2 号機による越冬観測 2 年目に突入し、今現在(2010 年 12 月時点)まで観測データが毎日届いている。

富士山頂の CO₂ 濃度は、他の観測地点で観測されるように上昇傾向を見せているが、世界のバックグラウンドデータとして捉えられているハワイのマウナロア(標高 3397m)での観測データと比較すると、冬季にはバックグラウンド濃度より高めの濃度が検出され、大陸からの影響があるかもしれないことが推測された。

また、富士山頂の CO₂ 濃度変動は NIES の地上観測ステーション波照間 St. (沖縄波照間島) の観測データに類似しており、特に太平洋高気圧に覆われる夏は波照間のデータと同様の濃度を示す。一方で、秋から春に掛けて観察される富士山頂の CO₂ 濃度は数 ppm 程度波照間 St. で観察される濃度よりも低い位置を推移した。民間航空機 (JAL) を利用した高度別 CO₂ 濃度観測のデータとの比較から、山頂温度が下がる時期ほど、地上 4-5km で観察される大気濃度が富士山頂で反映されていることが示唆された。また、風向きや飛来した空気塊によっては、東京、名古屋、大阪などの日本の工業地帯の高濃度や波照間付近に流れてくる高濃度大気を捉える可能性があることも分かった。

今年は、昼間の植物応答による観測濃度への影響を排除するために、測定時間を夜に変更した。この変更が観測される濃度変化にどのように利いてくるか興味深い点である。

まだ観測システムとしての開発は途上だが、長期で観測を継続し有意義なデータを収集することで、観測地点としての意味をさらに見出せればと願う。



山頂の測定システム



自動充電システム

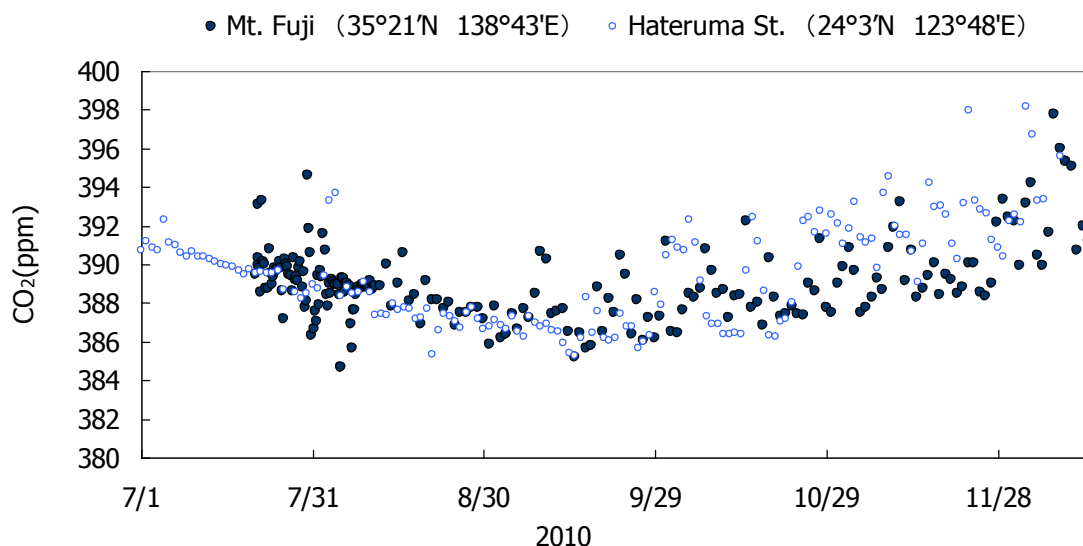


図 1、2010 年夏期以降の富士山頂 CO₂ 濃度

データ提供

町田敏暢 (NIES) JAL, CONTRAIL CO₂ データ

NOAA, USA Mauna Loa Observatory CO₂ データ

*連絡先: 須永温子 (Sunaga ATSUKO, sunaga.atsuko@nies.go.jp)

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（2008-2010）

（*）新技術振興渡辺記念会受託事業

土器屋由紀子¹、山本智¹、小林拓¹、梶井克純¹、大河内博¹、兼保直己¹、三浦和彦¹、岩坂泰信¹、畠山史郎¹、皆巳幸也¹、保田浩志¹、佐々木一哉²（1:NPO法人富士山測候所を活用する会、2:東京大学）

1. はじめに

本受託研究事業の目的は、年間を通してほとんどの時間自由対流圏の状態を満足する富士山頂で通年にわたって東アジアに広がる大気汚染物質の動向を監視するシステムを構築することである。すなわち、2004年秋に無人化された富士山測候所を、越境汚染からわが国を守る「砦」として有効利用しようとするものである。

本受託研究は図1の3課題から構成されている。

- （Ⅰ）富士山頂越境オキシダント通年監視システムの構築
 - （Ⅰ-a）非汚染自立電源の構築
 - （Ⅰ-b）遠隔操作の確立
- （Ⅱ）東アジアネットワーク越境オキシダント観測網の構築

図1 本受託調査研究事業の課題

富士山測候所で通年観測を行う上での最大の課題は、安定な電源の確保と冬期の無人観測システムの構築である。その中で、雷に対する対策が急務であったが、2006-2007年の同基金からの助成研究「富士山山頂を利用した東アジア越境汚染監視システム構築に関する調査研究」により、過去の気象データをもとにした高精度な雷予報が夏期2ヶ月の間可能であることが明らかになった。しかし、雷発生時の系統電源の維持は困難であり、発動発電機に切り替えていた。発動発電機は多量の排ガスを排出することから大気化学成分の観測用電源として不適切である。ここで新たに、クリーンで安全、安定な電源システムを構築する必要があることが判明した。

本受託調査研究においては、課題（Ⅰ-a）では平地で実績がある風力発電や太陽光発電と、貯蔵電力の体積密度や重量密度が高いため省スペース化が可能で低温でも安定に機能するリチウム二次電池を電力貯蔵装置として、発電システムを構築する。また、（Ⅰ-b）では無線LANを用いて遠隔地からの電源システムや観測システムを制御する遠隔制御システムを構築する。

さらに（Ⅱ）では米国、EUおよび台湾との協力により東アジア観測網を構築する。これは、米国、EUおよび台湾の山岳大気研究チームとの国際協力により、リアルタイムで高精度に越境オキシダントを監視するシステムを構築しようとするもので、東アジアに広がる大気汚染物質の動向の監視を可能にすることが目的である。

以上のような計画で本受託事業がスタートし、2008年度は下記のような調査研究の結果を得て2009年度から現地における実証研究を計画していた。しかし、2009年は世界不況の影響で一時継続が危ぶまれたが、基金の側の好意で継続が許され、課題（Ⅰ-a）に重点を置いた計画の若干の縮小を行なったが、分担研究者の自助努力や他助成事業（カーボンオフセット年賀寄付金など）との連携で下記のような結果を得ることができたので報告する。

2. 方法

（Ⅰ-a）2008年度は予備調査として、太陽光発電、風力発電に関する山岳の利用、特に山小屋などの利用の調査、日照時間と発電量、風力の季節分布などの調査を行なった。

2009年度は、マイクログリッドシステムを購入し、山麓及び山頂で適応テストを行った。

2010年度は、2009年度の実績を踏まえて、4枚の太陽光発電パネルとオゾンモニターを接続し、屋外で独立電源による35日間の連続測定を行った。

(Ⅰ-b) 2008 年度は無線 LAN を設置するための機種を選定、地理的な条件に関する調査を行った。
 2009 年度は御殿場にアパートを借用、山頂との通信テストを行った。
 2010 年度は現場からのデータの御殿場基地経由での送受信を観測期間を通して行い、ネットワークへの配信も試みた。

(Ⅱ) 2008 年度は、米国ハワイ・マウナロア観測所、ネパール NCO ピラミッド観測所、台湾鹿林山ベースラインステーションの研究者とネットワークの構築に関する準備会議を行った。
 2009 年度は、台湾で行われた国際シンポジウムの期間にワークショップを行い、データ受け渡しに関する具体的な方法について議論した。
 2010 年度は、スイス・インターラーケンにおける国際シンポジウムの折に会合を行い、合意に基づき、無線 LAN を用いてデータのセリアルタイム配信のテストを行ない、海外からの交信を試みた。

3. 結果と考察

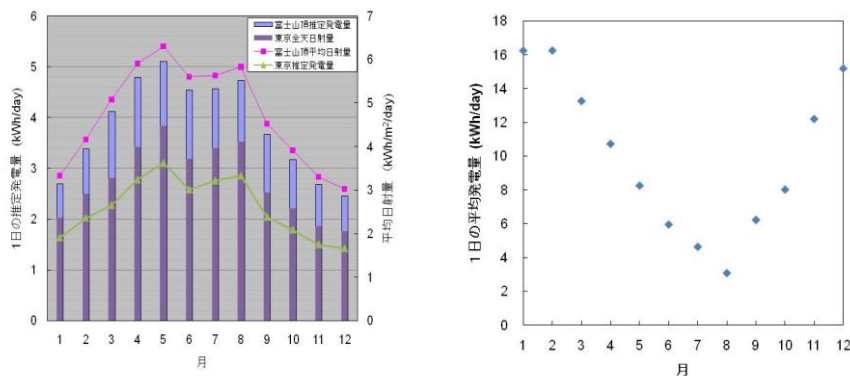
(Ⅰ-a) 富士山頂における非汚染自立電源の構築、

(2008 年度) 山岳における代用電源の使用例の調査を行なった。結果は表 1 に示す。小規模であるが複数の標高 2000-3000m の高地山岳の山小屋において太陽光発電、風力発電および鉛電池を組み合わせたマイクログリッドが使用されていることが分かった。

表1 代用電源使用例調査(実績)

設置場所	標高(m)	設置日	風力発電装置		太陽光発電装置		蓄電池		定格容量(kW)	用途
			機種・容量	基数	機種・容量	枚数	機種・容量	個数		
南岳西直下	3032	1998年8月	Z-500	2			GPL-8D	1	0.8	
北穂高岳北峰	3100	1998年10月	Z-500	2	1kW	20	MSE鉛蓄電池		(風力)0.8(太陽光)1-1.1(蓄電池)16.8	山小屋照明・通信用電源(常時使用)
螺ヶ岳肩長嶺山分岐	2677	1999年6月	Z-500	1			GPL-8D	4	0.4	トイレの照明用電源
仙丈ヶ岳東カール	2900	1999年9月	Z-500	16	1kW	196	MSE鉛蓄電池		(風力)6.4(太陽光)10.78(蓄電池)80	浄化槽付トイレ及び小屋内照明用電源
夢科山頂	2530	2000年春	Z-500	2			GPL-8D	4	0.8	小屋の電源の一部
根石	255	2000年夏	Z-500	1					0.4	小屋の電源の一部
大天井岳西方鞍部	2922	2000年7月	Z-500	1			GPL-8D	4	0.4	洗濯機、電話用電源
夏沢峠	2402	2001年9月	Z-500	10	1kW	36	GPL-8D	48	(風力)4(太陽光)4	浄化槽式トイレなどの電源
柳川南沢源流	2340	2001年9月			1kW	92	GPL-8D	60	10	浄化槽式トイレなどの電源として
水晶岳付	2880	2002年7月	Z-500L	1	1kW	1	GPL-8D	2	(風力)0.4(太陽光)0.128	小屋の電源の一部
							WP-100	1		
							PV-100	1		
							PC-100	1		
							RC-100	1		
黒部ダム湖畔	1450	2002年8月	Z-500	1			GPL-4D	2	0.4	小屋の電源の一部
赤岳	2402	2002年10月	AIRDOLPHIN Mark Zero	1	1kW	48	GPL-8D0	60	(風力)4(太陽光)6	浄化槽式水洗トイレの電源
			Z-500	7						
黒百合平	2410	不明	Z-500L	1	1kW	84	GPL-8D	60	(風力)0.4(太陽光)10	浄化槽用電源、水洗トイレ電源
奥多摩町鯉山	不明	2005年3月			SM-128H	9	GPL-8D	4	1.35	トイレ電源
木曽駒ヶ岳七合目	2420	2007年7月	NWG-200	2	Si多結晶	18	ユアサMSE1000	12	(風力)0.124(太陽光)1.44(蓄電池)24	浄化槽での尿処理

富士山頂の 30 年間の気象データ、シミュレーション用風力発電装置、太陽光発電装置を用いて発電量の予測を行なったところ、次のような結果が得られた。太陽光発電量と風力発電量は季節ごとの発電量変化が相補的である。従ってこれらの組み合わせは通年の安定的発電量を容易にする(図 1)。



a) 太陽光
 b) 風力発電
 図 1 太陽光 a) および b) 風力発電の各月当りの発電量

この結果より24時間観測に必要な発電量の台数を試算した。8月については、無人観測時の必要電力を12-24kWh/dayとすると太陽光発電のみなら、5-10機、風力発電のみなら4-8機、両者の組み合わせで3-6機、有人観測時、必要電力32-44kWh/dayで夫々、13-18、10-14、7-10機となった。

(2009年度) マイクログリッドシステム1式(ゼファー)を購入し、山麓(1300m、太郎坊)でテストを行ない、山頂の条件に会わせて、仕様を変更して運んだ。山頂では設置場所、環境省および文化庁の許認可、登山者の安全性などの観点からテストを行なった。風力発電に関しては、気象条件の不安定さ、登山者の安全性の観点から十分なデータが得られなかったが、太陽光発電に関しては、25日間の発電量の情報が得られ、夏期の富士山測候所における電源として有望であることが判明した。



図2 クリーンマイクログリッド試験
(太陽光パネル1枚、風力発電機1機、鉛蓄電池2個)

太陽光発電機による発電量の推移を図3に示す。太陽光パネル1枚の発電量の測定は2009年7月24日から8月17日の間に行なわれた。発電は6-18時の間に行なわれ、平均気温は9.5℃であり、1日瞬間最大発電量(期間平均)は40W、および1日積算発電量(期間平均)は228Whであった。この発電量はスペックから期待される値と同等であった。また、この間の日照時間と発電量の関係を図4に示す。観測される日照時間と発電量とに明確な相関はなかった。これは、富士山測候所では晴天でなくとも発電したことを意味しており、反射光や紫外線による発電への寄与があることを示唆している。

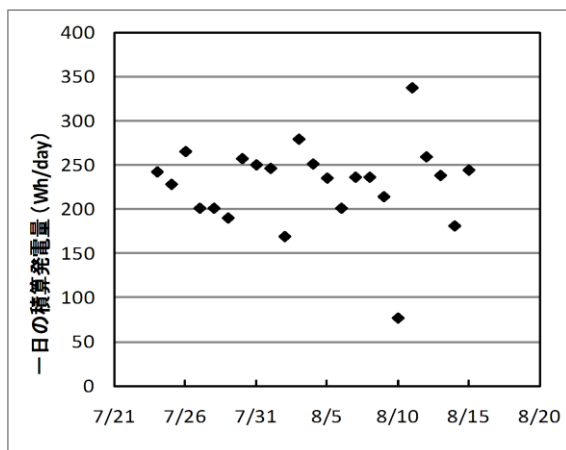


図3 太陽光パネルによる日々の発電量(2009)

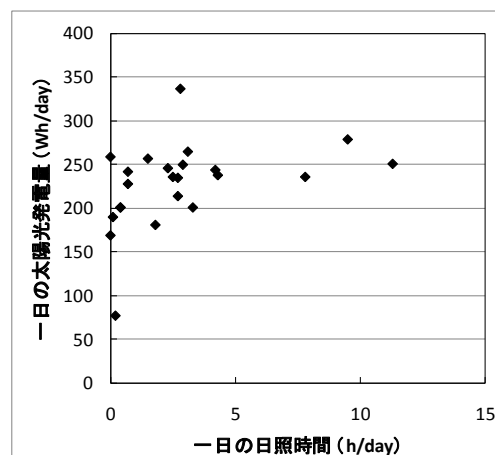


図4 日照時間と発電量の関係

(2010年度) 図5に示すような4枚の太陽光発電パネルとオープンモニターを接続し、屋外で独立電源による35日間の連続測定に成功した。この間、1時間おきの間欠測定、日射量不足時の切断回路の挿入などのテストを行い基礎データを得ることができた。この結果から、次年度以降の太陽光パネル利用の具体的な方策が立てられることが明らかになった。

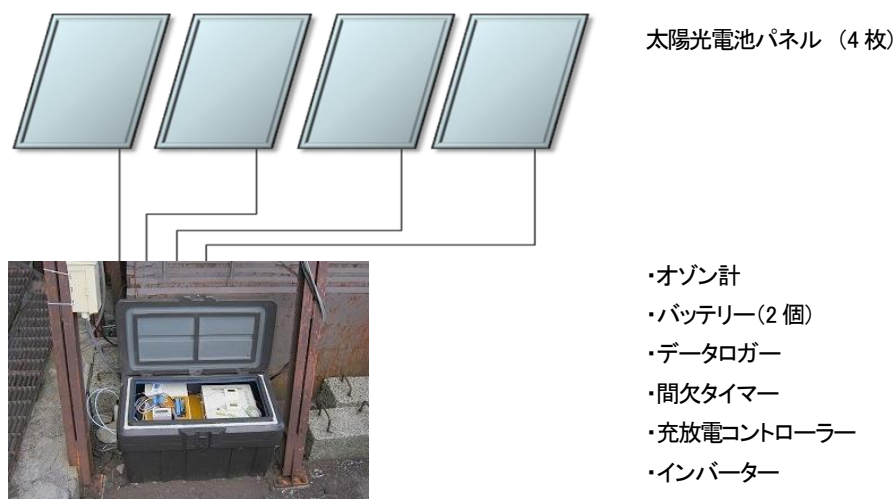


図5 太陽光発電パネルによるオキシダントデータ取得実験の概念図

（1－b）遠隔操作の確立

（2008年度）長距離無線LANによる測定器などの制御性に関して、水ヶ塚駐車場（1500m）から、山頂測候所内に置かれた観測機器の遠隔操作を行なったところ、操作が可能であり、長距離無線LAN装置から出る電波が、最も干渉を受けやすい宇宙線観測データに影響を与えないことが分かった。また、アンテナ、ルーターからの電磁ノイズの影響について、実施規格は電磁波干渉試験の法令最新規格（Section 21.5, RTCA/DO-160F）を適用、判断規格としては電波の出力が厳しく制限される旅客機搭載物に対する基準（Category M）を採用して調べたところ、3つの宇宙線観測機器については、無線データ通信に一般に用いられる周波数域（100MHz～6GHz）において、機器から発生する電磁ノイズが通信障害をもたらす心配がないことがわかった。

以上の結果から、本プロジェクトの遠隔操作には無線LANの利用が有望であるとの結論を得た。また、御殿場市内と山頂との通信を考えて、交信可能な地域の地図を作成した。

（2009年度）御殿場市川島田にアパートを借用し、夏期の御殿場基地として山頂との通信のテストを行なった。通信環境は良好で、各種データの送受信が可能であることが明らかになった。

（2010年度）無線LAN経由で観測器の遠隔操作のテストを行い、遠隔制御ができることが証明された。また、オキシダント、一酸化炭素、黒色炭素粒子等の測定値のデータをNPOのホームページにセリアルタイムで公開した。ただ、屋外で測定しているオキシダントとの接続に関しては、雷の被害を考えて今回は行なわなかった。

（Ⅱ）東アジア観測網の構築

（2008年度）図7に示すような3地点の研究者・ハワイ・マウナロア観測所（Dr. R. Schnell）、ネパールNCOピラミッド観測所（Dr. P. Laj）、台湾鹿林山ベースラインステーション（Prof. N. H. Lin）とのネットワークの構築に関する準備会議を行い、今後深刻な大気汚染の予想される東アジアのネットワーク構築の大切さ、特に地理的見地から台湾は大陸風下の南半分しかカバーできず、富士山の参加が必要であることを確認した。



図7 東アジアネットワーク

ネットワークの構築に向けて各観測所における観測条件の調査を行なったところ表2のような結果が得られた。

表2. 越境オキシダント観測条件の比較

観測所	NCOP ネパールABCピラミッド 5100m	MLO 米国、マウナロア観測所 3397m	LABS 台湾Lulin山ベースライン ステーション 2862m	富士山観測所(仮名) 3776m
インレット	テフロン管 テフロンフィルターによる粒子除去	地上10mより採取	地上12mより採取 (6mのスチール煙突より)	1/4インチテフロン管 テフロンフィルターによる粒子除去
装置	ThermoEnvironmental Instruments, Model 49C	TEI Model 49-S, Pulsed Fluorescence Ozone Analyser	ECOTECH ML9810B Sabio4010 Gas Dilution Calibrator Sabio Model 1001 Zero Air Source	ThermoEnvironmental Instruments, Model 49C
測定条件 校正	流量: 1-3 l/分、24時間ごとにゼロ、スパン自動校正 2007年2月の精度維持管理キャンペーンで GAW/WCC-EMPA標準を用いて比較検討を行なった。		流量 0.45 l/分 24時間ごとにゼロとスパンを自動校正している	夏期観測(7~8月)の前後に校正
サンプリング間隔	連続測定	連続測定, 1分値平均	連続測定	連続測定, 1分値平均
出力	RS-232を通してppbvに濃度換算して出力	ppb濃度換算で出力	RS-232を通してppbvに濃度換算して出力 生データは6秒ごとに保存。 ダウンロードされるデータは1日1KB	1分値で取り込んでいるが、1時間平均、1日平均として適宜換算。200ppbが1V相当のアナログ出力をPCにAD変換してセーブ

(2009年度)台湾で行われた国際会議(2009年6月2-3日)に招待されその機会に行なわれた下記のテクニカルセッションの中で、今後の富士山頂の観測について議論を行ない、富士山観測の位置的重要性が再度確認され、通年観測への要望がだされた。

Technical sessions Theme 1 (Morning, June 3) : Advanced measurements at remote areas and regional collaboration

Co-chaired by George Lin and Russell Schnell

Participants: Shuenn-Chin Chang (EPA, Taiwan), Chung-Te Lee and Charlie Wang (NCU, Taiwan), Shaw Liu (ECRC, Academia Sinica, Taiwan), Yukiko Dokiya (Edogawa U., Japan), Soon-Chang Yoon (Seoul National U., Korea), Betsy Andrew (NOAA, USA), Si-Chee Tsay (NASA, USA), Elizabeth Reid (Navy, USA)

(2010年度)スイス・インターラーケンで行なわれた国際シンポジウムの席上で関係者が会合を行い、夫々のステーションのデータ公開について、フォーマットを統一するなどは行なわず、夫々のやり方でホームページに公開することが決まった。(I-a)で公開したホームページデータ(日本語ページに英語を併記する方法)の海外からのアクセスのテストを行ったところ、国内及び台湾では簡単に入手できたが、欧米からは漢字の混じったページへのアクセスはかなり困難が伴うことがわかった。この点で、ホームページの表記法など、いくつか改良するべき点が明らかになった。

以上、全体をまとめると、企画当初目指していた(Ⅰ)富士山頂越境オキシダント通年監視システムの構築(a)非汚染自立電源の構築、(b)遠隔操作の確立、(Ⅱ)東アジアネットワーク越境オキシダント観測網の構築に関して、(1-a)については、7-8月に太陽光発電によるオキシダントの測定が可能であることを実証でき、今後通年観測に向けての細かい調整を行うことが可能になった。(Ⅰ-b)について、無線LANによる遠隔操作およびデータの通信が可能であることが証明された。両者の結合に関しては、雷に対する予知以外の対策がまだ不十分であるため、無人の条件での結合が出来ておらず、接地体系の改善などを行ない実行に移したいと考えている。このような問題点が明らかになったが、基本的に富士山頂におけるクリーン電源の確立と無線LANによるネットワーク配信の目途を立てることができた。

(Ⅱ)に関してはネットワーク参加4地点間のデータ共有にむけて、前進することが出来たが、海外からの受信のユーザビリティの改善などの問題点が明らかになった。今後、世界の山岳観測ネットワークを目指してサイトの増強などを行なって研究を発展させてゆきたい。

参考文献

- NPO 法人富士山測候所を活用する会 平成 20 年度 財団法人新技術振興渡辺記念会受託研究成果報告書「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」
- NPO 法人富士山測候所を活用する会 平成 21 年度 財団法人新技術振興渡辺記念会受託研究成果報告書「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」
- Ka Ming Wai, Neng-Huei, Lin, Sheng-Hsiang Wang and Yukiko Dokiya, Rainwater chemistry at a high-altitude station, Mt. Lulin, Taiwan: Comparison with a background station, Mt. Fuji., J. G. R., 113, D06305, doi:10.1029/2006JD008248
- Tatsuo Torii, Takeshi Sugita, Sachiko Tanabe, Yoshihisa Kimura, Masashi Kamogawa, Kazuaki Yajima and Hiroshi Yasuda: Gradual increase of energetic radiation associated with thunderstorm activity at the top of Mt. Fuji. Geophysical Research Letters, Vol. 36, L13804, doi:10.1029/2008GL037105, 2009.
- 丸山祥平、大河内博、竹村尚樹、皆已幸也：太陽電池駆動小型雨水採取装置の長期性能評価と富士山南東麓における酸性沈着モニタリングへの適用。分析化学、59、357-362 (2010)
- Yukiko Dokiya, Shungo Kato, Kazuhiko Miura, Atsushi Matsuki, Kazuya Sasaki and Toyohiro Watanabe, Mt. Fuji High Altitude Station (tentative): Logistics as an NPO Station, Oxidant Determination and a Proposal for East Asia Network, The 2nd International Symposium on Atmospheric Observations and Advanced Measuring Techniques in Remote Areas. 3rd anniversary of Lulin Atmospheric Background Station., (Taipei) 15-18, 2009
- Y. Dokiya, K. Sasaki, S. Kato, F. Taketani, A. Sunaga, H. Okochi, K. Miura, N. Kaneyasu, A. Matsuki, O. Nagafuchi, H. Yasuda and S. Hatakeyama : Atmospheric Chemistry at the summit of Mt. Fuji - Logistics of the summer campaigns, 2007-2009-, ACP Symposium, Interlaken, Switzerland, June 8-10, 2010

*連絡先：土器屋由紀子 (Yukiko DOKIYA)、dokiya@edogawa-u.ac.jp

富士山測候所を温室ガス通年観測施設とするための クリーンエネルギーインフラ構築事業

畠山史郎^{1,3}、兼保直樹^{2,3}

1:東京農工大学、2:独立行政法人産業技術総合研究所、3:NPO法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

この寄付金は本NPOが排出権取得・償却(無効化)事業を行う事業者株式会社アドバンテックと共同で計画を提案するもので、地球温暖化防止プログラム(郵政事業株式会社寄付金による助成)としては表題の事業を提案した。

アドバンテック社はインド、ラジスタン州 Soda村の風力発電事業や徳島県那賀郡那賀町における森林吸収源事業を行うことによって取得している排出権を無効化することを通して、この助成金に見合った事業を行う。本NPOにはこれと併行して、表記事業を富士山測候所を利用して行うための助成が得られたものである。この事業の今年度の中心的な課題は富士山頂の測候所における太陽光発電による大気化学観測の実行と、無線LANによる遠隔操作の実現があげられるが、これらの実行に当たっては他の研究費(新技術振興渡辺記念会からの受託事業、放射線医学研究所の研究など)による研究とも密接に関連している。

2. 方法

- (1) 5-6月、夏期2ヶ月(7-8月)の山頂の設営に向けて山頂管理を行なう登山家の雇用、特に太陽光パネルの設置協力者との対応、運搬に関する打ち合わせなどを行なった。
- (2) 太陽光発電パネル、蓄電用鉛バッテリー(低温耐性南極仕様)2個、オゾン計、データロガー、間欠タイマー、充電用コントローラ、インバータなどを山頂3号庁舎脇の水槽の上と架台下に設置した。
- (3) 7月21日から8月23日の間稼動しオキシダント測定をおこなった。その間、1時間毎の間欠測定(7月26日~8月6日)、連続運転を行い日照時間ゼロが続くとバッテリー保護回路が働き切断、オゾン計も停止する設定(8月6-16日)、保護回路をバイパスして連続運転(8月16-23日)の3段階のテストを行なった。
- (4) 通年観測に向けて、将来無人運転が必要になるため、無線LANを使って遠隔操作による装置のコントロールを庁舎内の測定器(BC)について行なった。



写真1 (左) 貯水槽への太陽光パネルの取り付け作業 (右上) 太陽光パネル (右下) データロガー等

3. 結果と考察

- (1) 6月末より、ブルが山頂へ荷物を運べるようになるのを待つて機材の運搬を行い、設置場所の整備を行なった。昨年に比べ残雪が少なくブルによる運搬はスムーズに行なわれ、3号庁舎脇の水槽(現在は使用していない)の上に設置するための準備作業を行なった。
- (2) 7月20日、研究者2名が上山、山頂管理の山頂班と協力して、設置を完了した。(写真1)
- (3) 結果を図1、2に示すが、この間の観測結果をまとめると次のようになる。
 - (a) 太陽光発電機の効率的な利用を考えて、オゾン計の1時間おきの測定を設定したが、1/2の時間の運転でも、オゾンの日内変動はほぼ再現可能であることが、並行して行なわれた観測との比較で判明し、省電力での長期間運転のヒントとなった。

(b) 発電量変動時においても、測定装置の自動停止・再始動により、正確な測定ができることを、オキシダント測定により実証した。

(c) 本テストではバッテリーの容量が小さく、電力不足で測定が継続できない日があったので、今後はバッテリー容量の適正化に向けた検討が必要である。

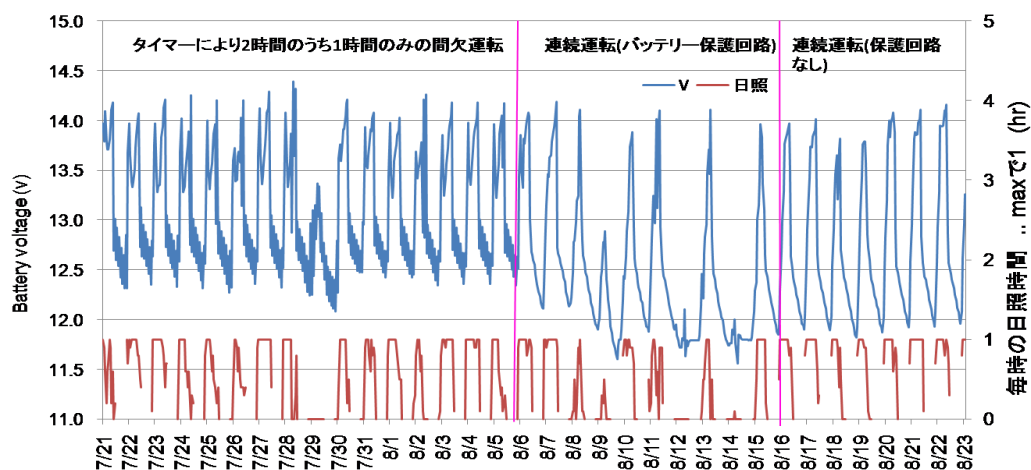


図1 バッテリー蓄電量と日射量の時系列

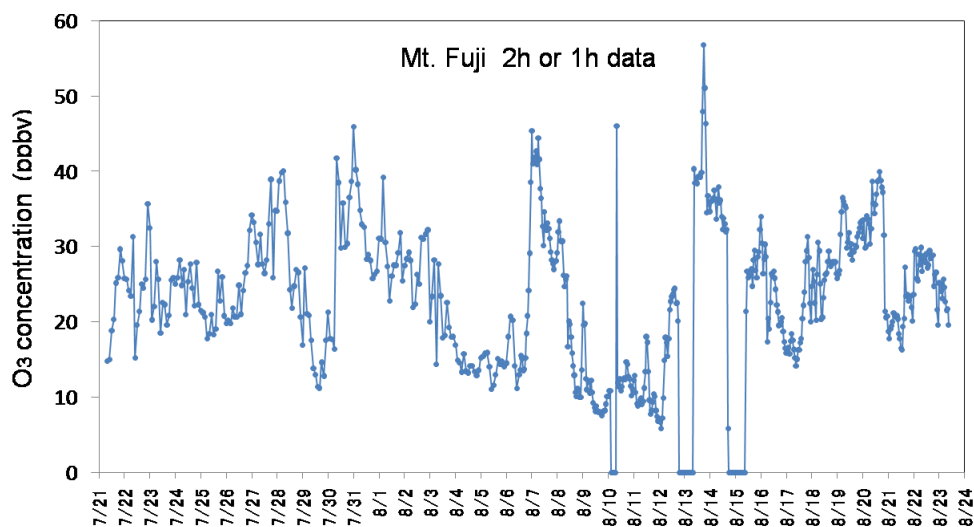


図2 オゾン濃度の時系列

- (4) 昨年度テストが行なわれ、今年度始めから稼動している無線 LAN による遠隔操作に関しても既に得られている屋内実験の情報をもとに検討したところ、BC データのリアルタイム発信が可能であることが分かり、遠隔操作による山頂の装置の入力や切断も可能であることが分かった。しかしながら、富士山頂は雷による被害が大きく、測候所の屋内と屋外の結合を行うと被雷によって全ての観測装置が破壊される恐れがあるため、今年度は結合実験は行えなかった。来年度以降、新しい接地体系を検討し屋内の施設と安全に結合する試験を行いたいと考えている。

全体のまとめとして、今年度は富士山頂において、自立電源(太陽光発電)による、観測機器の35日の長期間稼動が実現したこと、また無線LANによる遠隔操作の可能性が実証されたことによって、通年観測へ一歩前進したといえる。

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

登山経験の少ない高齢者における富士登山時の生理的負担度

笹子悠歩、山本正嘉
鹿屋体育大学

1. はじめに

富士山は日本の最高峰であり、毎夏数十万人の老若男女が登山をする人気の高い山である。しかし、その標高は4,000mに近いことから、登山者は低酸素の影響を強く受ける。また、低温、低湿度、強い風や雨や日射といった、厳しい気象条件も加わるが多い。

このように、山としては非常に厳しい条件であるにもかかわらず、そこで登山を行う人を見ると、登山の知識をほとんど持たない人や、普段からトレーニングをしていない人も多い。実際に毎年、このような人を中心に登山中の事故も多く起こっており、その様相を見ると、病気、低体温症、転倒、滑落など様々である。

登山事故を防止するためには、登山中に身体にかかるさまざまな負担度を自覚し、無理のない登山をすることが必要である。そこで我々は過去3年間にわたり、若年者や登山経験豊富な中高年者が富士登山を行った際の生理的負担度を測定してきた。しかし最も負担が大きいと予想される登山経験の少ない高齢者が富士登山を行った際の生理的負担度を測定した研究はみられない。

そこで本研究では、登山経験の少ない高齢者を対象とし、彼らが最適と判断するペースで2泊3日の富士登山を行った際の、運動時、安静時、睡眠時の各場面で身体にかかる生理的・物理的な負担度を測定・評価し、安全な登山を考える上での参考資料を得ることを目的とした。

2. 方法

対象者は登山経験の少ない高齢者9名(平均年齢:68±3歳, 身長:166.3±8.2cm, 体重:57.5±8.7kg)であった。彼らは、1日目に富士宮口の五合目から登山を開始し、約3時間の登山で七合目(3010m)に到着し、七合目の山小屋に宿泊した。2日目は約5時間の登山で山頂(3776m)に到着し、山頂の測候所に宿泊した。3日目は登高時と同じルートで、約4時間をかけて富士宮口に下山した。

測定項目は、動脈血酸素飽和度(SpO_2 :体内の酸素量の指標)、心拍数、歩行中に身体が受ける衝撃強度、主観的運動強度(つらさの尺度)、高山病の自覚症状、血圧などであり、これらの指標を行動中、および山頂での安静時や睡眠時に随時測定した。

3. 結果と考察

図1の上段は、五合目から山頂へ向けて登高している時の SpO_2 の変化を示したものである。五合目の休憩中と行動中の SpO_2 はそれぞれ90%と80%であったが、山頂付近では非常にゆっくりとした速度で登高していたにもかかわらずそれぞれ76%および64%と、大きく低下していた。低地の医療の基準では、 SpO_2 は100~96%が正常、95~91%がやや正常、90%以下が異常と診断され、88%以下になると在宅酸素療法が適用される。以上のことを考えると、富士登山中には低地の基準では考えられないほど体内は低酸素状態となっており、特に高度が上がるほどその負担は大きくなるといえる。

図1の下段は、登高中の心拍数の変化を示したものである。休憩中に低く、行動中に高くなっており、2日目において、休憩中は高度間で差はなかったが、行動中は高度が上がるにつれてやや低下した。

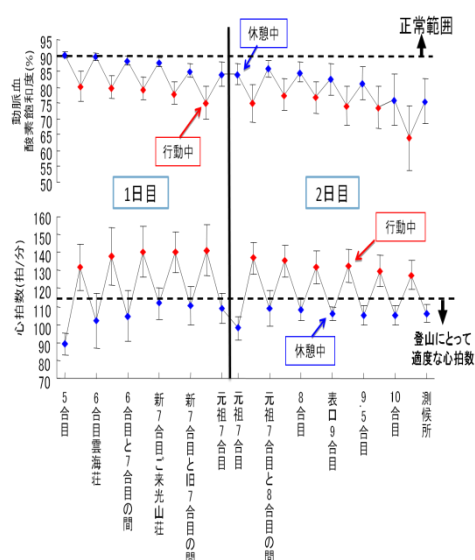


図1. 登高中の SpO_2 と心拍数の推移

登山における疲労を防止するためのガイドラインの一つに、「220－年齢」という式で概算される各人の最高心拍数(HRmax)の75%以下の心拍数を保って歩くことがあげられる。本研究の被験者の場合、その上限は114 拍/分となる。これを参考に今回の登高中の心拍数を見ると、五合目付近の行動中で132bpm(86%HRmax)と、すでに大きく上回っており、以後頂上にいたるまで、標準コースタイムよりもゆっくりと登っているにも関わらず、行動中は常にこの基準を上回っていた。したがって、登高中の心臓への負担度は非常に大きいことがわかる。

図2は、山頂(測候所)での睡眠中の SpO_2 を示したものである。低地(自宅)における睡眠中の SpO_2 は90%台後半の値を示したが、七合目での宿泊時は78%、山頂では60%と、高度が上がるにつれて低下し、行動中と同様に非常に低い値であった。このことから、富士山頂での睡眠中には山頂付近での行動中と同様、体内は厳しい低酸素状態になるといえる。

図3は、登高中の水分の不足量を体重の減少量と飲水量から推定したものである。1日目と2日目を比較してみると、2日目の方が体重減少量(脱水量)が大きかったが、飲水量にはそれほど大きな差はなかった。したがって、水分の不足量は2日目の方が大きくなった。なお、行動1時間当たりの脱水量は1日目が約170mlであり、2日目は約240mlであり、2日目の方が脱水量が大きかった。

このほかに測定したさまざまな指標においても、それぞれ身体に強い負担がかかっていることを伺わせる結果が得られた。

4. まとめ

本研究の被験者は登山経験の少ない高齢者であり、登山中にかかる負担度も、経験者や若年者に比べると大きいと予想された。そこで、七合目で一泊することとし、身体にかかる負担度を小さくするような配慮をした。しかしそれにも関わらず、登高中はもとより、安静時、睡眠時といった1日の中の全ての場面で、身体には非常に大きな負担がかかっていた。

本研究および過去3年間の研究の結果から、富士登山中には年齢や登山経験年数によらず、身体には非常に大きなストレスがかかることが窺えた。安全な富士登山を行うためには、このような点に関する啓蒙を行うとともに、これまでに得られたデータに基づいて、具体的な安全対策を普及させていくことが重要な課題といえる。

参考文献

1. 笹子ほか: 富士登山時の生理的・物理的な負担度; 登山経験の豊富な中高年者を対象として. 登山医学, 30: 2010(印刷中)
2. 山本正嘉: 登山の運動生理学百科. 東京新聞出版局, 2000.
3. 山本正嘉ほか: 富士山を利用した短期間の高所トレーニングに関する研究; 登山中の生理応答と登山後における身体能力の変化. 登山医学, 28:145-152, 2008.

*連絡先: 笹子悠歩(yuuho Sasago), m106005@sky.nifs-k.ac.jp

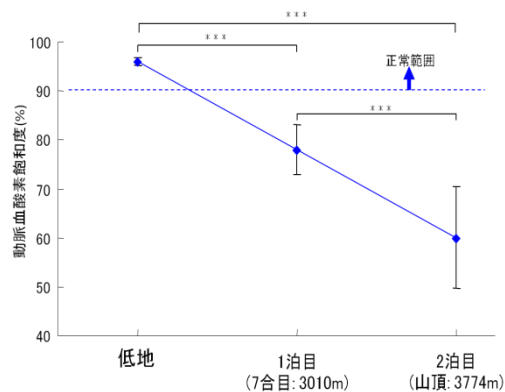


図2. 睡眠時の動脈血酸素飽和度

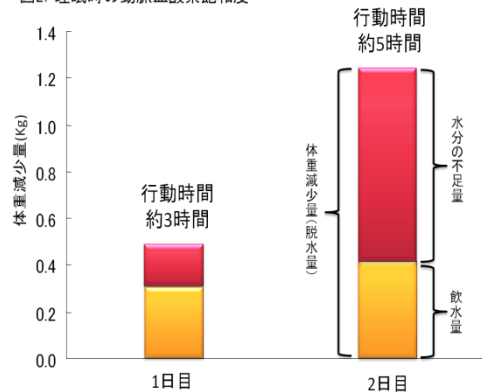


図3. 登高中の脱水量

富士山山頂における 睡眠時の低酸素症と呼吸動態へ及ぼす口腔内装置の効果

野口いづみ¹、笹尾真美¹、高野宏二²、長澤純一³、大野秀樹⁴

1. 鶴見大学歯学部歯科麻酔学教室、2. 埼玉県歯科医師口腔保健センター、
3. 電気通信大学量子・物質工学科、4. 杏林大学医学部衛生学公衆衛生学教室

1. はじめに

睡眠時に舌根沈下による閉塞性呼吸障害を起こす者は少なくないが、高所は低酸素であり、低酸素症が顕著になる可能性がある。閉塞性呼吸障害に対して口腔内装置(スリープ・スプリント)が適用されている。昨年の本研究会で口腔内装置が脈拍数と動脈血酸素飽和度(SpO_2)へ及ぼす効果について報告した。今回、富士山山頂測候所跡地の研究施設(3776m)で睡眠時の口腔内装置装着が呼吸動態へ及ぼす効果についても検討したので報告する。

2. 方法

男性 8 名を対象とした。年齢は 53.6 ± 10.0 (38~67 歳)、体重 $71.7 \pm 9.1\text{kg}$ (65~88kg)、BMI 23.7 ± 3.5 (20.0~31.2) であった。富士山山頂に 2 泊し、4 名は 1 泊目に口腔内装置を装着せず(口腔内装置無群)、2 泊目は装着して宿泊し(口腔内装置有群)、残り 4 名はその逆の順序で行なった。測定にはスリープテスター LS-300(フクダ電子株式会社製)を用いた。測定項目は脈拍数、 SpO_2 、 SpO_2 降下指数(ODI)、無呼吸低呼吸指数(AHI)、無呼吸のパターン分類(閉塞性無呼吸数(OSA)、中枢性無呼吸数(CSA)、混合型無呼吸数(MSA))とした。脈拍数と SpO_2 は持続的に測定した 1 秒毎値、ODI と AHI は睡眠中の 1 時間毎の平均値、OSA、CSA、MSA は睡眠中の合計値とした。口腔内装置無群と有群の各値について、分散分析と Bonferroni's post hoc test を用いて比較検討し、危険率 5% 未満を有意差ありとした。

3. 結果

SpO_2 値と脈拍数は、口腔内装置無群では SpO_2 値 $68.0 \pm 8.8\%$ 、脈拍数 80.3 ± 10.9 回/分であり、有群では SpO_2 値 $71.2 \pm 7.5\%$ 、脈拍数 75.4 ± 10.4 回/分であった。無群に比較して有群では SpO_2 値は高く ($p < 0.01$)、脈拍数は少なかった ($p < 0.01$)。ODI と AHI は、無群では ODI 49.3 ± 30.7 回/時、AHI 50.2 ± 30.9 回/時であり、有群では ODI 46.2 ± 30.8 回/時、AHI 44.8 ± 30.3 回/時であり、有群では ODI と AHI とは少ない傾向があった。OSA、CSA、MSA は、無群では OSA 155 ± 122 回、CSA 254 ± 327 回、CSA 17 ± 26 回であり、有群では OSA 142 ± 124 回、CSA 191 ± 280 回、CSA 9 ± 9 回であった。有群では OSA、CSA、MSA は少ない傾向があったが、3 群間の差は有意ではなかった。

4. 結語

富士山山頂における口腔内装置の装着は睡眠時の低酸素症に対して予防効果がある可能性がある。しかし、無呼吸のパターン分類からは、特に閉塞性無呼吸に効果的であるかは明らかではなかった。高所における睡眠時の低酸素症には中枢性無呼吸も関与しているためである可能性がある。

*連絡先: 野口いづみ(Izumi NOGUCHI)、izumi_noguchi@yahoo.co.jp

富士山における地温観測孔掘削: 永久凍土の直接観測に向けて

池田 敦¹、岩花 剛²

1. 信州大学、2. 北海道大学

1. 概要

富士山はその標高ゆえに山頂部の年平均気温が -6°C 前後という日本では特異な寒冷環境にある。そのため現在、山頂付近に永久凍土(2年間を通して 0°C 以下の地盤)がまとまって存在する本州でおそらく唯一の場所である。近年の温暖化によってその永久凍土分布が急激に縮小したとしばしば報じられているが、これまで表層(ほぼ1mより浅い位置)以外の地温は観測されておらず、永久凍土そのもの(深部の地温)については実証的に明らかにされていない。表層地温から永久凍土分布を推定する先行研究とは異なり、深部までの地温断面を気象要素とともに直接観測し、地温変化の支配要因を明らかにし、永久凍土の動態や分布を評価することを目的として、2008年に3m深の観測孔を掘削した。それに続き、2010年8月19~21日には、白山岳(標高3756m)付近において、深さ9.7mの地温観測孔の掘削に成功した。そこで3m深観測孔のデータを中心に、富士山の地温を支配する要因について2年間の観測で明らかになったことを紹介し、今年度に掘削した10m深の観測孔がもつ意義について述べる。

2. 方法

火口周囲の比較的平坦な2ヵ所(標高3690m前後)の火山砂礫層に深さ約3mの観測孔を掘削し、データロガーを用いて地温を観測した。観測孔#1は地形的な凸部(風衝地)で、積雪深が50cmを超える期間はごく短い。観測孔#2は吹きだまりで、年間8ヵ月以上も積雪に覆われている。観測孔#1の脇では気温、降雨等の気象要素も観測した。また、山頂部6地点、北斜面8地点、南斜面3地点で、データロガーを用いて表層(深さ0.5~1mまで)の地温を観測した。

3. 結果と考察

観測孔#1、#2ともに先行研究の想定に反し、全深度が融解することが確認された。観測孔#1では、深さ2.5m以下の地温が年間を通じて 0°C からそれをわずかに上回る値で推移し、永久凍土が存在するかどうかの境界と判断された。とくに降雨に伴い地温が急上昇する特徴的な関係が見出された。地盤の昇温は一般に伝導によるが、富士山の透水性のよい砂礫層では降雨浸透による熱伝達の効果が大きいため、融解が夏季だけでなく秋季にかけても急速に進み、永久凍土の発達が抑制されていた。観測孔#2では、観測開始当初、地表面付近以外で $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ という高い値を示していた地温が、年間を通じて低下し、2009年秋のわずかな昇温のあと、翌年も低い値で推移したが2010年夏に急上昇した。積雪が冬季は地温の低下を、夏季は地温の上昇を抑制し、積雪条件が毎年異なるため、年による地温変化が大きい。風衝地と比べると地温が高く、より深部にも永久凍土が存在する可能性はほとんどない。その他の地温データも比較検討すると、山岳地で地温を高くする基本条件(標高の低さ、日当たりのよさ)のほかに、富士山では積雪の吹きだまりやすさと透水性のよさが地温を高く保つ要因となっていた。山頂部でも永久凍土が確認できない地点があることから、富士山では斜面方位・傾斜と微起伏が地表面における日射量や風向風速を不均一にし、さらにそれらが積雪分布や土壌水分の空間分布を不均一にし、地盤構造の違いによる透水性の不均一性も相まって、永久凍土分布がパッチ状であると予想できた。

10m深観測孔は、上記の結果を踏まえ、透水性の悪い風衝地に設置しており、2年後には富士山初となる永久凍土の直接観測結果が出るだろう。そして気象要素の変動に対する永久凍土の応答についての正確な情報が得られ、短期間に急激に永久凍土分布が縮小したという見解の是非も検証される。また各要素間の関係を定量化し、より現実的な永久凍土分布を見積もるなど研究を発展させる予定である。

*連絡先: 池田 敦(Atsushi IKEDA)、aikeda@shinshu-u.ac.jp

富士山頂で得られた宇宙線観測データの航空被ばく管理への応用

保田浩志、矢島千秋、松沢孝男
独立行政法人放射線医学総合研究所

1. はじめに

地球には宇宙から常に高エネルギーの放射線(一次宇宙線)が降り注いでいる。これらの粒子は大気原子と反応して無数の粒子(二次宇宙線)を発生する。これらの宇宙線の数や高度が上がるほど増え、それに伴い被ばく線量も増える。高度 11km 前後を飛行する航空機では、海拔ゼロの平地と比べて宇宙線による被ばく線量は百倍近くになる。

こうした事実を踏まえ、国際放射線防護委員会(ICRP)は、1990 年の勧告において、ジェット機での飛行に伴う宇宙線被ばくを職業被ばくとして考える必要のあることを指摘した。1996 年には欧州連合(EU)が航空機乗務員の宇宙線被ばくに関するアセスメントなどを求める指令を発令、2009 年現在すべての EU 加盟国はこれに適合する措置を採っている。

日本でも文部科学省放射線審議会において 2004 年から約 2 年にわたりこの問題が検討され、2006 年 4 月航空機乗務員の被ばく管理に関するガイドラインが策定された。これを受けて、国際便を運航する本邦航空会社では翌 2007 年度から乗務員の被ばく管理を開始、現在に至っている。放射線医学総合研究所は、各社の放射線防護に係る取り組みを支援しており、その主な内容は被ばく線量の計算による評価である。信頼できる線量値を得るためには、計算モデルの精緻化に加え、実際に上空における宇宙線強度の変動を常時監視し、計算の正確さを検証することが必要である。日本で最も高い富士山の頂上は、その目的に照らして最適な場所といえることから、その活用を図ることとした。

2. 方法

2010 年 8 月、富士山頂の剣が峰(標高 3,776m、N 35.36°、E138.73°)に位置する旧富士山測候所(現在の正式名称は現在の正式名称は富士山特別地域気象観測所)の 3 号庁舎工作室に、エネルギー拡張型の中性子レモンモニタ(WENDI-II、Ludlum Measurements Inc.)、電源制御機能を持つ専用データロガー(特注品、Melex Inc.)及び無線 LAN 通信機器(ブロードバンドルータ:AT-TQ 4552 及び八木アンテナ:YA2418RD、どちらも Allied Telesis K.K.) (図 1) を設置した。一方、3 号庁舎の窓がある西側の富士山麓にある名古屋大学太陽地球環境研究所富士観測所に同じ装置群を設置、敷地内にアンテナを取り付け(図 2)、山頂と麓で長距離無線 LAN 通信が常時行える環境を構築した。

また、麓の観測所にある PC を民間のインターネット回線に接続し、遠隔地(千葉市)からリアルタイムのデータ通信や状況確認、制御操作ができるようにした。8 月末の下山日には、山頂の装置群に通年のデータ取得ができるだけの充電型バッテリーを取付けた。そして、10 日ほどの試験運用の後、9 月 9 日からデータの連続取得を開始した。

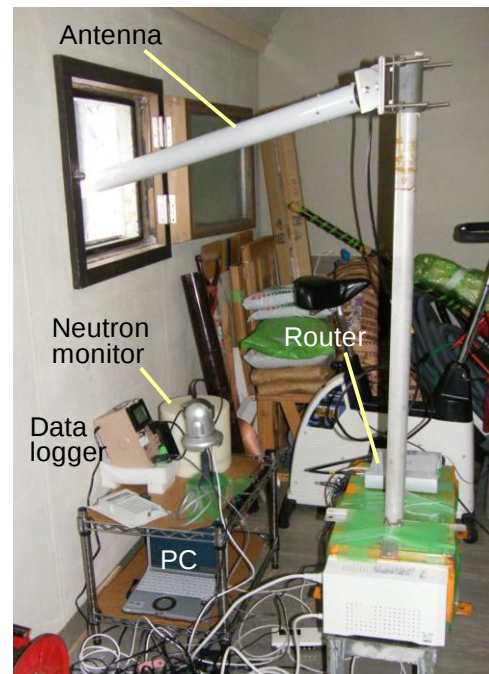


図1. 旧富士山測候所3号庁舎に設置した中性子測定装置及び長距離無線LAN通信機器。

3. 結果と考察

旧富士山測候所及び麓の観測所で得られた宇宙線中性子の線量(1cm 周辺線量当量値)の実測値の推移を図3に示す。この間、モニタの指示値は比較的安定して推移し、静穏な太陽活動を裏付ける結果となった。この結果から、夏季以外における3カ月以上の連続自動観測に成功したといえる。

ただ、富士山頂で得られたデータは10月を底に漸増する傾向が見られ、太陽活動の変化(この期間は徐々に活発になり大気圏への宇宙線の侵入量が減る傾向にある)とは一致せず、山頂の環境(気圧や温度)が装置の機能に影響した可能性がある。今後-20℃を下回る厳しい寒さが予想されることから、その状況での応答を引き続き観察したい。

また、今回得られた線量率は、夏に1号庁舎2階で測定した値よりも顕著に低くなっており、3号庁舎との遮へい環境の違いが示唆される。これらの原因については現在定量的な考察を進めているところである。

このまま来春までデータを連続取得に成功できれば、上空の被ばく線量を自動計算するプログラムの作成に着手することを計画している。

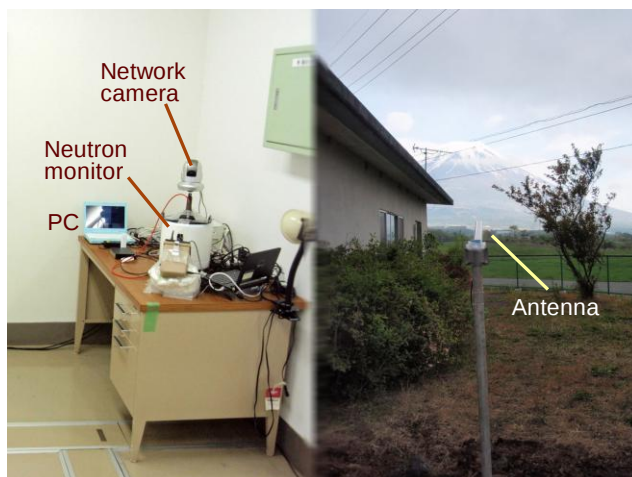


図2. 名古屋大学富士観測所の屋内に設置した中性子測定装置(左)及び屋外に取り付けた長距離無線LAN通信用アンテナ(右)。

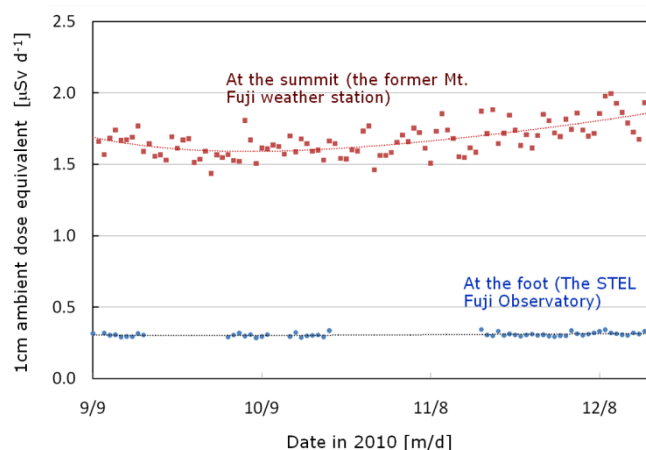


図3. 富士山頂(旧富士山測候所)と西側山麓(名古屋大学富士観測所)で2010年9月9日から12月16日までの期間測定された中性子周辺線量当量率の推移。

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。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。無線 LAN 通信のプログラム作成ではメレックス社の森田満一氏の協力を得た。観測機材の整備・設置等では、三樹工業株式会社の東又厚氏及び新井誠司氏らにご尽力頂いた。また、登山日程の調整から撤収までの一連の作業において、同 NPO の関係各位から多大な支援を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- Yasuda, H., Yajima, K. (2010) Characterization of Radiation Instruments at the Summit of Mt. Fuji. *Radiat. Meas.* 45, 1600-1604.
- Yajima, K., Yasuda, H. (2010) Measurement of cosmic-neutron energy spectrum at the summit of Mt. Fuji. *Radiat. Meas.* 45, 1597-1599.
- Yasuda, H., Yajima, K., Yoshida, S. (2011) Dosimetry of cosmic radiation in the troposphere based on the measurements at the summit of Mt. Fuji. *Radiochim. Acta*, in press.

*連絡先：保田浩志(Hiroshi YASUDA)、h_yasuda@nirs.go.jp

富士山測候所落雷対策のための雷サージ抑制効果評価実験

安本勝¹、佐々木一哉¹、高橋浩之¹、中村安良²、大胡田智寿³、土器屋由紀子³

1. 東京大学、2. 茨城県立土浦工高、3. NPO 法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

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

昨年は、雷対策上の問題点を明らかにし、対策方法を提案した。その提案した方法の中に①ケーブル等の引込・引出個所でのファラデーゲージの破れの対策、および②ケーブルに侵入する雷サージの抑制方法、がある。これら2点の方法について適用に際して必要な抑制効果の定量的な評価を行った。

2. ファラデーゲージ破れからの雷電流による侵入サージ電圧

昨年の調査で測候所にファラデーゲージの破れが見られた。これは庁舎内にケーブルを導入する際、ファラデーゲージを破らないインターフェース機能が無いこと、あるいは対策方法が一般化されていないことが大きな要因である。もし破れ箇所になっている電源・信号配線や水等の配管に避雷した場合、測候所内に大きな雷サージ電圧を呼び込むことになるが、そのファラデーゲージの破れによってどの程度のサージ電圧を引き込むことになるのか単純化した系を元に評価実験をした。

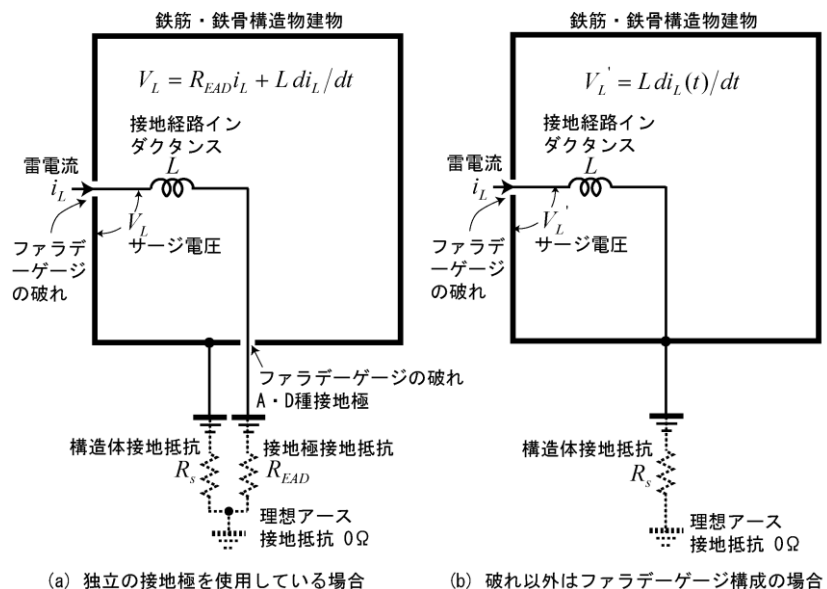


図1 ファラデーゲージ破れからの雷電流による内部への侵入最大サージ電圧

2-1 測定評価原理

鉄筋・鉄骨構造建物は近似的にファラデーゲージになると考えることができる。富士山測候所は屋根外壁は導電性の金属で覆われておりファラデーゲージとしてより好ましい構成である。しかしファラデーゲージの破れがあり、そこから電気導体が外部から導入されている場合の雷電流によるサージ電圧の侵入は図1の(a)、(b)の単純化したモデルで考えることができる。(a)がA・D種接地極を独立に設けている場合で、この時に侵入する最大サージ電圧、 V_L は、 $V_L = R_{EAD} i_L + L di_L/dt$ で表すことができる。接地極抵抗は、A種接地の場合10Ω以下であるが、一般的に数Ω以上あり、雷電流の大きさを考えると、抵抗成分のみでも内部に大きなサージ電圧を導入することになる。一方、図1(b)のように構造体を接地極として利用し、接地極でのファラデーゲージの破れを無くすことで接地抵抗は無くすることができる。接地抵抗の電圧降下は無くなり、サージ電圧、 V'_L は、 $V'_L = L di_L(t)/dt$ で表すことができ、接地経路のインダクタンスと雷電流の時間変化との積のみに

なる。ファラデーゲージ内引込導線の電気抵抗は十分小さく無視できるとして、インダクタンス成分のみで考えることができる。このインダクタンスは、接地経路の周囲が空気と考えてよいので、比透磁率はほぼ1で周波数依存性は無く一定になるため、透磁率も一定と考えることができる。従って、(b)に示すファラデーゲージ構成にケーブル等導体導入部に破れが生じた場合、侵入する雷電流が分かればインダクタンスを知ることによって侵入雷サージ電圧を知ることができる。適用する雷電流は富士山測候所での被雷電流を反映したものが必要であり、できれば被雷電流の測定を実施する必要があるが、不明のため一般的な雷電流モデルを適用して評価することになる。

2-2 測定方法

内部に侵入する最大サージ電圧は、侵入雷電流は与えられるものとして、図1(b)の場合、インダクタンスのみに注目すればよいことになる。従って、図2の模擬体系で引き込みケーブルの導入部の被覆シールドとファラデーゲージの破れとの間のインダクタンスを測定した。

模擬体系は次のようにした。ファラデーゲージはアルミにより構成し、ファラデーゲージのケーブル導入部に破れがあることを仮定した。ファラデーゲージは立方体を仮定し、破れはその一側方面の中心にあることを仮定した。ケーブルの被覆シールド接地は立方体中心で、下面中心に接地した接地線と接続した。用意した立方体は三つである。それぞれの一边は0.2m、0.4m、および0.8mの大きさである。それぞれについて周波数を変えてインダクタンスを測定した。

また破れに対するインダクタンス低減対策方法を適用実施した場合のインダクタンスも測定し、対策による抑制効果も測定した。

2-3 測定結果・考察

●測定結果は図3に示した。破れからの引込導線と破れ個所のファラデーゲージ導体との間のインダクタンスは寸法の大きさに比例して増加することが分かる。この結果は以下の円状コイルから類推することが可能である。

インダクタンスは単位電流当たりの鎖交磁束になる。円状1ターンのコイルを考えた場合、次式になり、インダクタンスは半径に比例する。

$$L = \frac{S \times \mu_0}{I} \frac{I}{2\pi} = \frac{\pi^2 \times \mu_0}{I} \frac{I}{2\pi} = \frac{\mu_0 r}{2}$$

引き込み導体とファラデーゲージが作る循環路は、模擬体系では、半分が線状で残り半分をファラデーゲージ面上を破れ個所まで戻ることになるが、面上での大きな広がりが無ければ、1ターンのコイルに近似できる。従って、得られるインダクタンスは、図の計算結果との比較からも一般的に近似的に一边の長さに比例するといつてよい。

もし測候所の大きさを10mとした場合、ファラデーゲージの破れから導入される引込線には、最大で10μH以上のインダクタンスになると考えられる。その分内部に侵入するサージ電圧も大きく

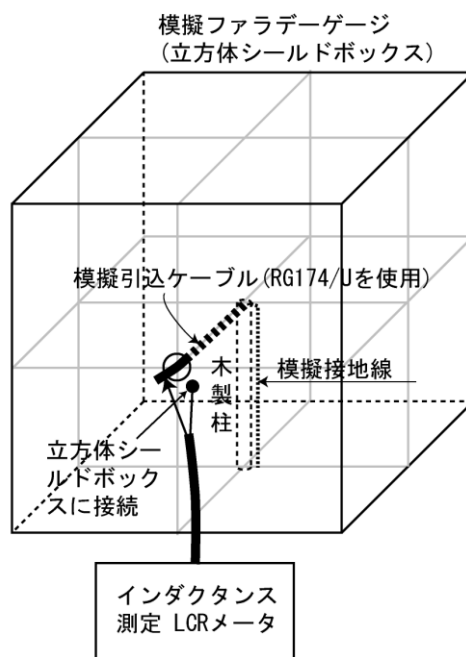


図2 ファラデーゲージを破った引き込み線のインダクタンス測定

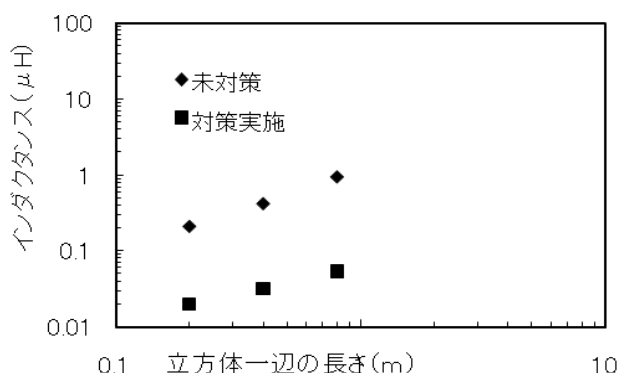


図3 大きさによる引込ケーブルインダクタンス

なる。例えば、破れによるインダクタンスを $10\mu\text{H}$ とし、侵入する雷電流は、直撃雷を想定し、図 4(a) に示す、最大値 100kA 、立ち上がり $10\mu\text{s}$ 、立ち下がり $350\mu\text{s}$ の三角波を仮定すると、最大サージ電圧は 100kV 以上が見込まれることになる。実際の構造物は鉄骨等の比透磁率の大きなものが使われておりインダクタンスは若干大きくなり、さらに大きくなることが推測される。

●なお、ファラデーゲージの破れを作らないことが必要であるが、万が一破れが生じた場合でもその導入ケーブル接地線が独立の接地極の場合は抵抗が支配的になり、サージ電圧は一層大きな電圧になる。外部に独立接地極を作らずファラデーゲージに近似することで万一破れがあった場合でも侵入電圧は小さくなる。

例えば、高圧ケーブルの導入個所は一般的にファラデーゲージが破れている場合が一般的である。高圧ケーブル引き込み線による接地系統インピーダンスは、引き込みケーブルと接地極までのインダクタンスと接地極接地抵抗を流れるサージ電流が内部に侵入するサージ電圧の最大値を決めることになる。ファラデーゲージを構成する場合、接地極抵抗は無くなり、インダクタンスのみで評価できることになる。

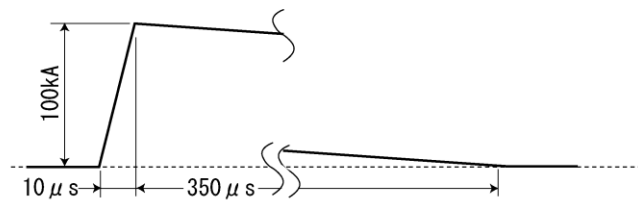
●ファラデーゲージの破れに対する対策を実施することで図 3 の対策の実施で示された結果が得られた。未対策と対策実施との間には大きさと共に差が拡大する傾向が見られる。実寸法では 1 桁以上 2 桁近くインダクタンスを小さくすることができ、その分侵入サージ電圧も小さくできることになる。リターン構成の対策は外部磁束を相殺するため、この実効インダクタンスは同軸の電磁シールド線のインダクタンスが支配的である。リターン構成の実効インダクタンスは磁束が相殺されさらに小さくなりサージ侵入電圧はこの電圧降下になるため、抑制効果は実際には 3 桁以上になるものと推測される。

ケーブル導入個所ではコネクタを用いることでケーブルの被覆電磁シールド線をファラデーゲージに接続でき破れを作らないが、観測実験では仮設・仮配線でも使用すること多いことを考えると適用しやすくないと破って導入してしまう場合も多いと考えられ、この対策方法はその場合でも対策しやすくする一つの方法だと考えている。

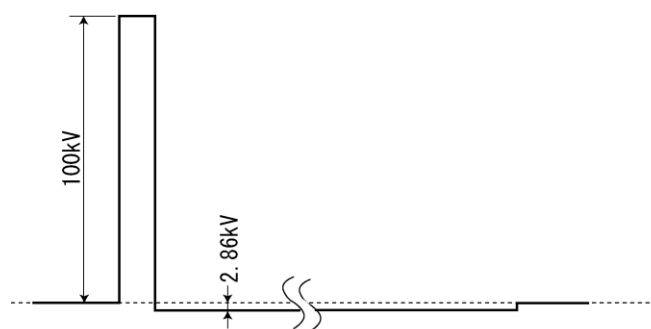
またこの対策方法は電気機器筐体や制御盤にケーブルを引き込み端子盤で接続する場合が多く見られるが、その場合でも適用でき導入しやすい方法である。

3. ケーブル上での雷サージ対策

庁舎外で使用する観測機器等で必要になる電源・制御・信号は、ケーブルを使用する場合が一般的である。この観測機器が避雷したときケーブル接地系統に大きな雷電流が流れ、ケーブル上に大きな電圧降下が生じ、それがケーブルの電源や制御・信号系統に大きなサージ電圧として加わる。ケーブル上の電圧降下が大きな場合、雷電流が絶縁を破り電源や制御・信号系統に入り込むことになる。過去にあったブレーカの焼損は、絶縁を破り電源系統に侵入した雷電流が B 種接地系統を介して流れ、経路途中にあったブレーカが焼損したものと推測される。ケーブル上の雷対策はこのよ



(a) 侵入模擬サージ電流



(b) 導入ケーブルインダクタンス $10\mu\text{H}$ の場合の侵入サージ電圧

図4 ファラデーゲージの破れから侵入するサージ電圧

うな状況に対応できるものである。

もし可能であるならば、引出部分で、雷対策上、十分な耐電圧性を持たせた電氣的に導通状態を作らないようにすることが好ましい。例えば、電源は耐雷変圧器を介して使用し、制御や信号は光等導通状態を作らないようにする必要がある。しかし、そのような条件を適用できない場合があること、また一般的に導電性ケーブルが多用されていることからケーブル上の導通状態での対策方法として適用できるものにして置くことが必要である。

3-1 原理

ケーブル上でのサージ電圧の抑制は、①ケーブル上の電圧降下を小さくすること、および②ケーブル各線に同一の電圧降下を作り出す同相化により電源や制御・信号系統にサージ電圧として現れないようにすることである。そのため、図 5 に示すように分流用の別の接地線路を並列に接続し、電源や制御・信号ケーブルには高透磁率トロイダルコアを用いている。

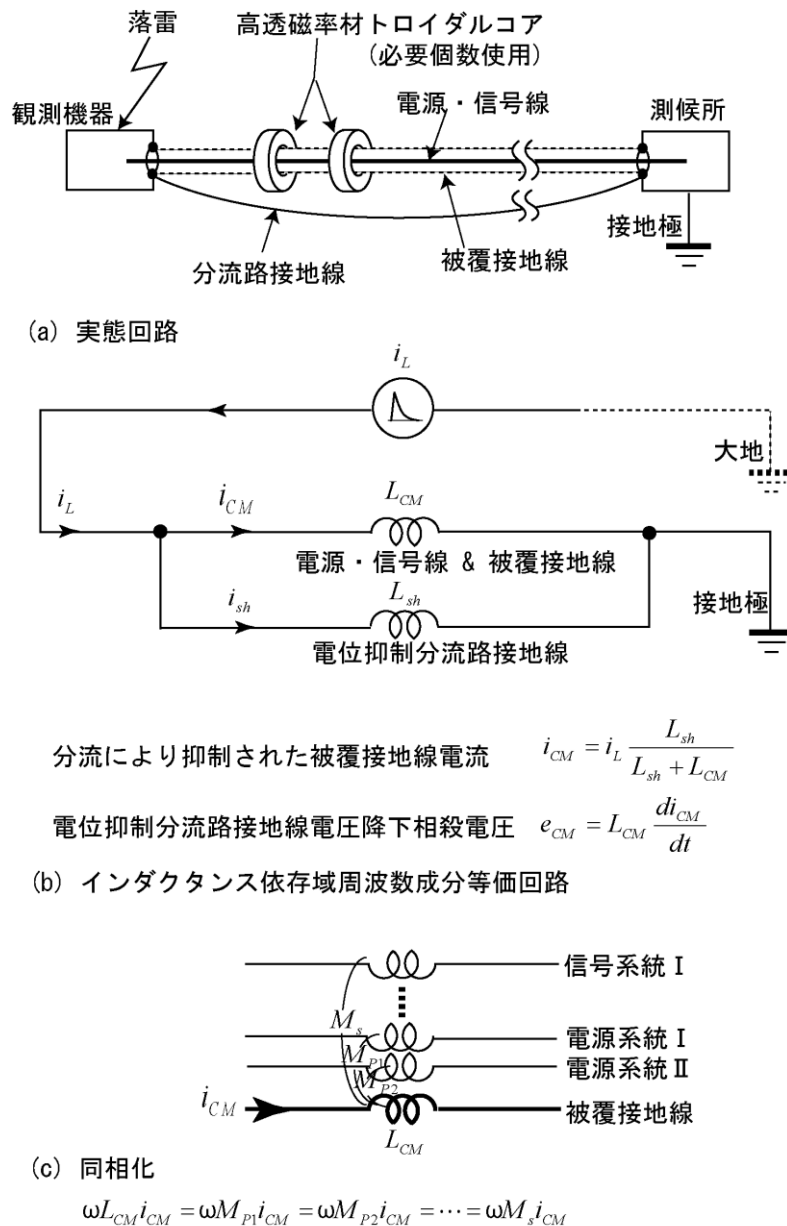


図5 ケーブル上でサージ電圧の侵入を抑制する構成方法

ケーブル上の雷サージ抑制原理は、周波数成分を抵抗とインダクタンスそれぞれに依存する周波数に分けて考えることができる。

(1) 抵抗依存域周波数成分 抵抗依存する周波数域で数 kHz 以下の周波数成分である。特に持続性の高い雷現象では低い周波数成分が含まれてくることになる。電圧降下を小さくするためできるだけ抵抗を小さくする必要があり、できるだけ大面積の電気導線を並列に接続することが必要である。

(2) インダクタンス依存域周波数成分 インダクタンスに依存する周波数で数十 kHz 以上の周波数成分である。雷電流は各線路のインダクタンスで分流され、電源や制御・信号接地線に流れる電流、 i_{CM} は、 $i_{CM} = i_L \{L_{sh} / (L_{sh} + L_{CM})\}$ になる。従って、 i_{CM} を小さくするため、 L_{sh} を小さくし L_{CM} を大きくすればよい。分流用接地線路は、インダクタンス L_{sh} を小さくするため、電源や制御・信号その対になる接地線路を被覆したものにする必要がある。電源や制御・信号その対になる接地線路の L_{CM} は、電源や制御・信号系統を被覆したものにし、一括して高透磁率トロイダルコアに通すことで大きくすることができる。

(3) 同相化 電源と制御・信号系統とその接地線との電圧降下を等しく得る方法は、接地系統の自己インダクタンスの値に接地系統と電源と制御・信号系統との相互インダクタンスの値を近づけることで可能になる。この実現のため、接地線は、対象になる電源と制御・信号系統を被覆した電磁シールド線にすることが必要である。相互インダクタンスを自己インダクタンスに近づける方法は、接地系統と電源と制御・信号系統 一括して高透磁率トロイダルコアに通すことで得ることができる。こうすることで電源系統と制御・信号系統へのサージ電圧の侵入を抑制することができる。換言すればケーブル両端間の接地電位差を吸収することになる。

3-2 測定評価実験方法

侵入サージ電圧を評価するため、まず同軸ケーブル外部導体の実効抵抗を知る必要があり、パルス電流を加え電圧降下パルスから実効抵抗を求めた。次に実際にインパルス電流を印加することで現れる同軸ケーブル出力電圧を高透磁率トロイダルコアを入れることでどの程度抑制されるかを評価した。被測定ケーブルの全長は 10m、被雷電流路電磁シールド線は 14mm² の錫メッキ銅網線、同軸ケーブルは RG58AU (外部導体 1.25mm² 錫メッキ銅網線)、途中の高透磁率トロイダルコアケースは銅製で全長 0.42m、使用した高透磁率トロイダルコアは大きな比透磁率が得られる日立金属製ファインメット材トロイダルコアを使用した。

3-2-1 被供試同軸ケーブル外部導体の実効抵抗の測定

被測定ケーブルの測定端の被雷電流路電磁シールド線を外し、パルス電圧を 10Ω を通して加えることで被雷電流路電磁シールド線と同軸ケーブル外部導体に戻るよう電流が流れるようにした。同軸ケーブルの外部導体の自己インダクタンスによる電圧効果は、外部導体の自己インダクタンスが外部導体と内部導体との相互インダクタンスがほぼ同じと考えてよい。相殺効果で無視でき、外部導体抵抗による電圧降下が同軸ケーブル出力に現れることになる。この同軸ケーブル外部導体の電圧降下をデジタルオシロスコープで測定した。加えた電流はパルス電圧に 10Ω を直列に加えて得た。パルス電圧は抵抗で案分して 1/100 に減衰させてデジタルストレージオシロスコープで測定した。電流は、ケーブルのインピーダンスは小さく無視できるとして、パルス印加電圧を直列に加えた抵抗 10Ω で除したものである。

3-2-2 インパルス電流注入による侵入サージ電圧の抑制効果

インパルス電流の注入は、日新パルス電子社のインパルス電圧発生装置 IVG-300A を用いてインパルス電流を加えた。主な仕様は、公称電圧：300kV(50kV×6)、利用率：80%、合成静電容量：0.0416μF、最大充電エネルギー：1.875kWs、制動抵抗：210Ω(6 個)、放電コイル：660μH、放電抵抗：480Ω×3 個である。測定は放電負荷に直接被測定ケーブル加え、図 6 の等価回路で測定した。まず、高透磁率トロイダルコアを加えない状態で、次にコア数を増加させて、インパルス電流を加え、同軸ケーブル外部導体での電圧降下を測定した。同軸ケーブル出力電圧はデジタルオシロスコープで測定した。

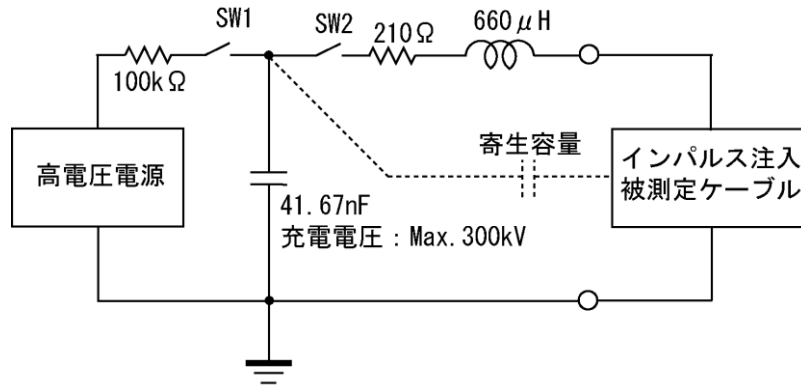


図6 インパルス注入装置で用いた測定等価回路

3-3 測定結果と考察

3-3-1 被供試同軸ケーブルの実効抵抗

測定結果は図 7 に示した。Ch.1 が 10Ω と被測定ケーブルに加えた電圧波形である。電流に換算すると $5A/div.$ であり、最大値電流は $8.7A$ になる。Ch.2 は同軸ケーブルに流れる電流による電圧降下を同軸ケーブル出力端で測定した電圧波形である。電圧は $0.5V/div.$ であり、最大電圧は $1.3V$ になる。寄生インダクタンスは小さく無視できるとすると、電圧と電流の比をとると $0.15\Omega/10m$ であった。ほぼ同じ断面積の $1.25mm^2$ の平編み錫メッキ銅線の抵抗値は $0.176\Omega/10m$ である。低めになった原因は無視できるものとした被測定ケーブルのインピーダンスが影響しているものと推測している。この混入誤差は評価する上で許容できるものと考えている。

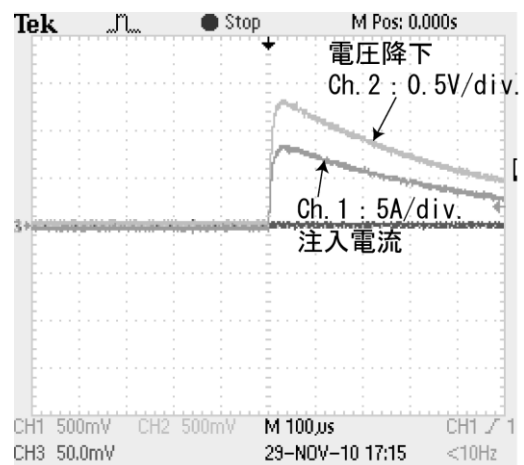


図7 同軸ケーブルの実効抵抗測定波形
注入パルス電流と被測定同軸ケーブル外部導体の電圧降下パルス波形

3-3-2 インパルス電流注入による侵入サージ電圧の抑制効果

●図 8 は高透磁率トロイダルコア 6 組が入る銅製ケースに高透磁率トロイダルコアが無いときと 1 組の高透磁率トロイダルコア (5 個一組、 $1kHz$ で $263\mu H$) を用いたときの同軸ケーブル出力をデジタルオシロスコープで観測した波形である。コアが無いときの観測波形は、インダクタンス依存域周波数成分で図 5 の同相化による相殺効果によりインダクタンスの電圧降下は無視できると考え抵抗のみによる電圧降下分を観測していることになる。この電圧は $6.2V$ になる。抵抗は同軸ケーブル外部導体 ($1.25mm^2$) と被雷電流路電磁シールド線 ($14mm^2$) との並列抵抗になる。表皮効果を無視し、一様電流になることを仮定し、3-3-1 で測定した実効抵抗から見積もると 0.012Ω になる。電圧降下 $6.2V$ をこの抵抗値で除すことで $500A$ になる。

●インパルス電流源は $660\mu H$ のチョークを考慮すると、被測定ケーブルは被雷電流路電磁シールド線のインピーダンスが支配的で小さく、高透磁率トロイダルコアを被雷電流路兼コア収納銅製ケースに入れることによるインピーダンス変化は無視できる。

●図 8 の観測波形で最初負側に、それから正側に振れている。測定回路上からでは負に振れるはずはないが図中に示す寄生容量の誘導電荷が、スイッチ投入時にコンデンサー充電電流が抵抗とインダクタンスで決まる時定数により立ち上がる前に、局所的な中和等により被測定ケーブル部で逆方向に電流を流すような回路構成での電荷移動が生じた結果、負に振れたものと推測している。従って、この現象は高電圧充電部と被測定ケーブルとの間に静電シールドを設けることで防げる現象と考えている。

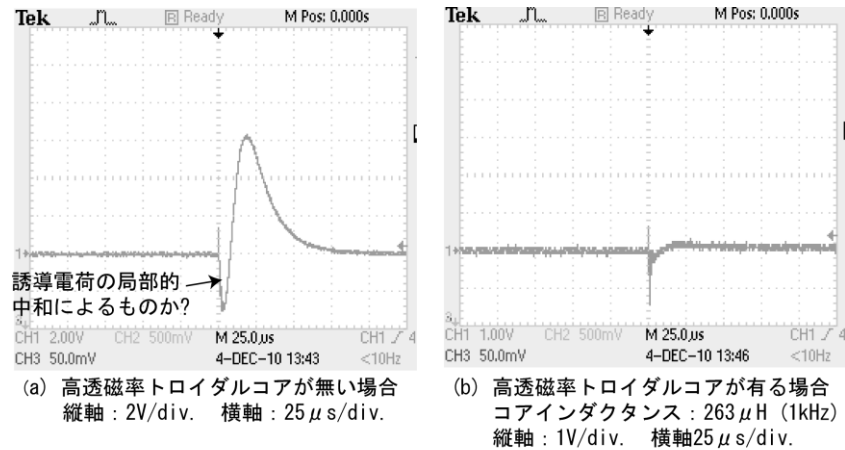


図8 インパルス電流で現れるケーブル上サージ電圧の高透磁率トロイダルコアによる抑制効果

●図9は、高透磁率トロイダルコア数を変えてインダクタンスを変化させたときの同軸ケーブル出力波高値を見たものであり、インダクタンスを横軸 x (μ H)に波高値を縦軸 y にとったものである。図の測定点は指数関数として $y = K_r e^{-0.009x} = 5.9374e^{-0.009x}$ に近似できる。縦軸 y を対数軸にすることで、図に示すように直線関係で現すことができる。1Vに抑制するため必要なインダクタンスは約200 μ H、0.1Vでは約500 μ Hになる。図はインダクタンスが100 μ H以下と越えるところで傾斜が異なるようにも見える。これは100 μ H以下では i_{CM} が流れることによる透磁率の低下の可能性があり、それ以上になると回復することで効果が大きくなったとも考えられる。明確にさせるにはさらに詳細な測定が必要である。

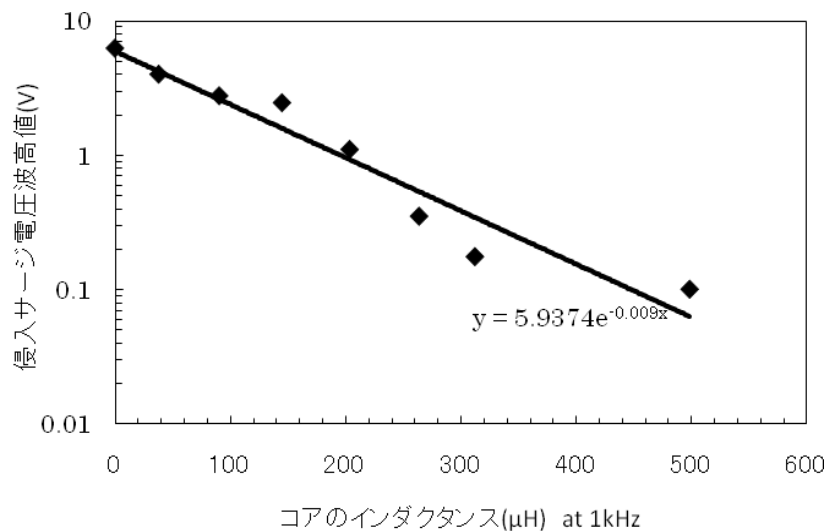


図9 インパルス電流(500A)によるケーブル侵入サージ電圧の高透磁率トロイダルコアによる抑制効果

測定で得られたこの図の近似式から電流の大きさ、ケーブル長、および被雷電流路電磁シールド線断面積が分かれば、目標とする抑制波高値にするため、高透磁率トロイダルコアのインダクタンスをどの位にすればよいか求めることができる。但し、雷電流波形の形状は測定に用いたインパルス電流波形と変わらないことを仮定することで採用できる。任意の $i_L l_c / S_{sh}$ (i_L :雷電流、 l_c :ケーブル長、 S_{sh} :雷電流路電磁シールド線の断面積)で決まる係数を K とすると、測定で求めた近似式の係数 K_r を決めた $(i_L l_c / S_{sh})_r$ を基準にして $i_L l_c / S_{sh}$ から目標とする抑制波高値に必要な高透磁率トロイダルコアのインダクタンスを求めることができる。目標とする抑制波高値を y とし、そのために必要な高透磁率トロイダルコ

アのインダクタンスを x とすることで次式が得られる。

$$x = \frac{-1}{0.009} \ln \left\{ \frac{(i_L l_c / S_{sh})_r y}{(i_L l_c / S_{sh}) K_r} \right\}$$

例えば、雷電流 10kA、ケーブル長 20m、被雷電流路電磁シールド線 $14 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ の場合の $i_L l_c / S_{sh} = 1.43 \times 10^{10}$ 、 $(i_L l_c / S_{sh})_r = 3.57 \times 10^8$ 、 $K_r = 5.94$ 、および目標とする波高値を 1V とし代入することで、高透磁率トロイダルコアは 610(μH)になるようにすればよいことになる。目標の抑制波高値を 0.1V にすると 864(μH)になる。

なお、トロイダルコアのインダクタンスは周波数によって変わるが比較上 1kHz での値を採用している。一般的に高周波になると低下する傾向があり材質の違いによって特性が変わるので本報告以外の材質のものはその点を考慮して決める必要がある。また、評価精度も考慮して余裕を持たせる必要がある。

4. おわりに

- (1) ファラデーゲージにするだけで破れがあった場合でも侵入サージ電圧は小さくできる。
- (2) 侵入サージ電圧の指標になるファラデーゲージを破って導入された導体のインダクタンスは建物の寸法に比例する。
- (3) ファラデーゲージを破って導入されたケーブルへの対策方法を明らかにした。
 - ①リターン電磁シールド線は、侵入電流を破れに戻し、実効インダクタンスを小さくできる。
 - ②高透磁率トロイダルコアによりリターン電磁シールド線と導入導体の相互インダクタンスを高める。
- (4) ケーブル侵入サージ電圧の抑制効果は、①避雷電流路電磁シールド線は被覆構造にする(同軸構造はインダクタンス低減のため重要)、②避雷電流路電磁シールド線の抵抗は小さくする、高透磁率トロイダルコアにより被保護ケーブルのインダクタンスを大きくする、ことで高めることができる。
- (5) 観測等で外部で使用する同上ケーブルの電位差抑制について、必要な抑制波高値を得るため必要条件の決定方法を一般化しうるものとして提示した。

本報告の評価結果は、今後の富士山測候所雷対策に反映させていく予定である。

なお、本報告の内容は富士山測候所だけではなく一般的にも適用できることであり、広く参考にしていただければ幸いである。

謝辞

資料や情報提供等で調査にご協力頂いた石森啓之・東京管区気象台技術専門官、実験の実施にご協力頂いた伊藤誠二・東京大学大学院工学系研究科の各位に感謝する。

なお、この研究の一部は新技術振興渡辺記念会からの委託研究「富士山頂における東アジア越境オキシダント監視システム構築に関する研究」によっている。記して感謝申し上げる。

参考文献

- 安本勝,佐々木一哉,土器屋由紀子.(2010)富士山測候所の雷対策調査と対策の提案. 平成 21 年度富士山測候所利活用に関する成果報告会、14-19
- 安本勝.(2000)ケーブルに柔構造接地システムを適用する場合の考慮点.第 9 回東大原子力研究総合センター技術発表会技術報告、36-43

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

マイクロ波帯・ミリ波帯の電波伝搬研究およびデジタルデータの伝送研究

横浜・アマチュア・マイクロウェーブ・アソシエーション(YAMA) 富士山測候所マイクロ波帯電波伝搬研究プロジェクト

横尾 富夫^{1,4}, 上條 敏生^{2,4}, 槇岡 寛幸^{3,4},

岡本 嗣男⁴, 野中 啓弘⁴, 深井 貫⁴, 岩波 正明⁴, 梅津 雅章⁴, 小林 大輔⁴, 他 YAMA 会員

1. Project Leader: 東芝ソリューション(株), 2. 首都大学東京 理工学研究科, 3. マキ電機,

4. YAMA 会員

1. はじめに

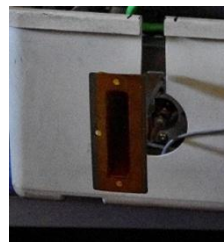
マイクロ波帯以上の電波は、気象、特に雨・霧・湿度に大きく影響されるといわれている。本プロジェクトの目的は、気象および大気の変化がマイクロ波・ミリ波帯の伝搬に及ぼす影響を定常的に収集・分析し、伝搬特性の研究を行うことである。昨年度⁽¹⁾に引き続き、富士山山頂にアマチュア無線連盟(JARL)認定局を設置し、47GHz(ミリ波帯)、24GHz(準ミリ波帯)および 5.7GHz(マイクロ波帯)で約 20 日間定常的に電波を発射させ、電波伝搬計測実験を行った。

2. 方法⁽²⁾⁻⁽⁵⁾

富士山山頂に無線局(JARL特別局 8J1FUJ)を設置し、本年度開発した 47GHz の送信機並びに、昨年度も使用した 24GHz の送信機より、東側関東地方に向けて連続的に微弱な電波(ビーコン信号)を発射し、50km から 100km 程度離れた複数の地点で伝搬計測並びに送信システムの評価を行った。また、今年度は新たな試みとして、西側に向けて、5.7GHz の電波も発射した。



(a) ハット内に設置した、47GHz・24GHz 送信システム



(b) 送信アンテナ(左側:24GHz⁽¹⁾、右側:47GHz)

写真1. 47GHz・24GHz 送信機および送信アンテナ

写真1に、1号庁舎東側通信ハット内に設置した 47GHz・24GHz の送信システムを示す。47GHz ミリ波送信機とアンテナは今年度新たに製作したものである。送信電力および周波数は、それぞれ、1mW(47.089000GHz)、30mW(24.019000GHz)で、共に 10MHz 温度制御型水晶発振器(OCXO)基準 PLL 制御周波数により安定化されている。また、使用した送信アンテナは、それぞれ、円形導波管放射器(47GHz)、セクターホーンアンテナ(24GHz)である。なお、雨よけのために、2 台のビーコン発振器は防水ケースに入れて据え付けた。

写真2は、3号庁舎1階西側に設置した 5.7GHz(OCXO 安定化、5.759000GHz)の送信機である。送信電力は、1W で、アンテナは中華なべで製作したパラボラアンテナを用いた。

送信されたデータ信号(ビーコン信号)はモールス信号で、この研究に対して JARL より発行されたアマチュア無線局(特別局)のコールサイン(8J1FUJ/1)や、送信機の電源電圧値などが含まれている⁽¹⁾。



写真2. 5.7GHz 送信システム

47GHz・24GHz の地上受信局は、関東方面の無線局、5.7GHz の地上無線局は、中部・関西方面の無線局で、いずれも、1200MHz 帯受信機により周波数変換(ダウンコンバート)される。連続記録可能な固定局では、この信号を音声信号としてパソコンに取り込み、高感度な通信解析ソフト WSJT⁽⁶⁾⁽⁷⁾ の JT65C モードを用いて、受信信号の S/N 比や周波数変化量などのデータを 1 分間隔で記録した。この WSJT(Weak Signal communications, by K1JT)は、ノーベル賞受賞宇宙物理学者 Joe Taylor 氏により開発されたフリーソフトで、月面反射通信や流星散乱通信などの微弱信号の通信で利用されており、通常の受信機よりも 10dB 以上の受信感度向上がなされている。

図 1 に、八王子局の 47GHz・24GHz 同時受信システムのブロックダイアグラムを示す。また、実際の受信局(八王子局)を写真3に示す。

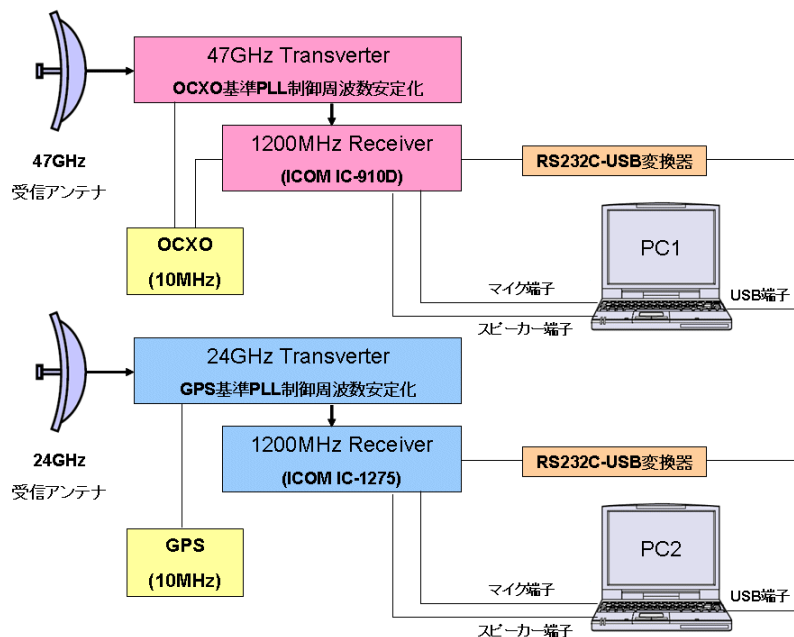


図 1. 47GHz・24GHz 同時受信システムの例(ブロックダイアグラム、八王子局)

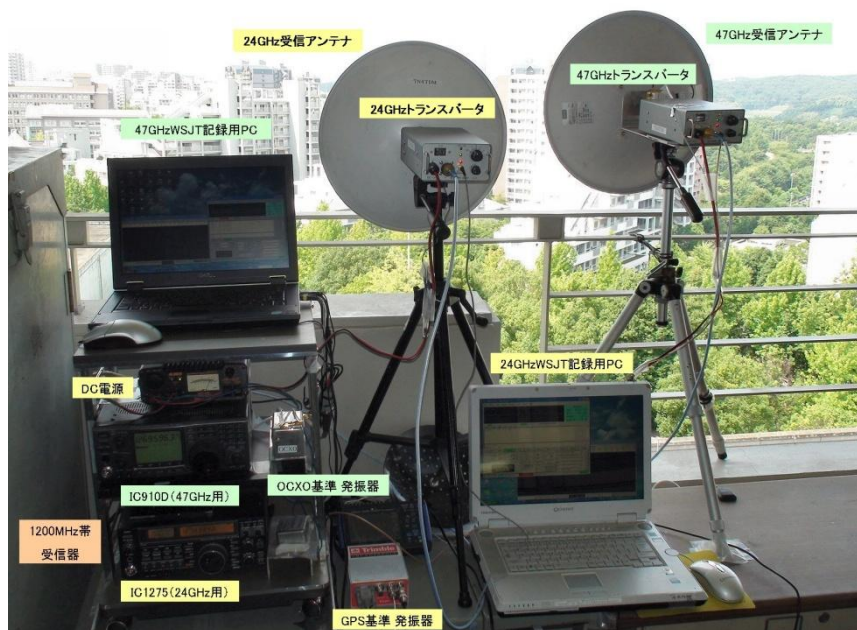


写真 3. 八王子局(7N4TDM/1)の 47GHz・24GHz 同時受信システム

写真3の受信アンテナは、共に TDK の BS 受信用パラボラアンテナ(直径、47GHz が 38.8cm, 24GHz が 37cm)にスリットフィードを取り付けたものである。47GHz のトランスバータ(マキ電機製 UTV-47SXL)と 1200MHz 帯受信器(47GHz 用、ICOM 製 IC910D)は、共に 10MHz の OCXO 基準 PLL 回路で周波数安定化を行った。また、24GHz トランスバータの安定化は OCXO(8/13 まで)あるいは GPS 受信器(8/13 以降)の 10MHz 基準信号により行った。なお、24GHz の 1200MHz 帯受信器(ICOM 製 IC-1275)の安定化は行っていない。また、WSJT によるデータ記録のために、2 台のノートパソコンを用いている。

3. 結果と考察

8 月 5 日 15 時の送信開始から 8 月 26 日 11 時まで、約 3 週間の運用となった。送信設備の設営⁽⁴⁾は、野中、深井、岩波の 3 名によって、また、撤収は楨岡、梅津の 2 名によって実施された。

各周波数帯での受信局マップ⁽⁸⁾を図2に示す。今年度初めて送信した 47GHz は同図(a)に示された八王子・狭山など 3 局が受信した。昨年度も実施した 24GHz は昨年より受信局が少なく、約 20 局となった(同図(b))。また今年度新たに中部・関西方面に向けて発射された 5.7GHz は同図(c)に示されるように約 25 局で受信された。5.7GHz の最西端の受信場所は六甲山(富士山からの距離: 320km)であった。また、見通し外の関東方面や長野方面でも、山岳反射や回折により 10 局以上の受信報告があり、この周波数帯の電波特性の面白さを体験することができた。47GHz・24GHz の受信局が少なかった原因としては、降雨が多く湿度の高い天候が続いたこと、送信アンテナの主ビーム方向が昨年よりやや北向きであったことや、24GHz の送信アンテナ方向が若干上向きであったことなどが考えられる。



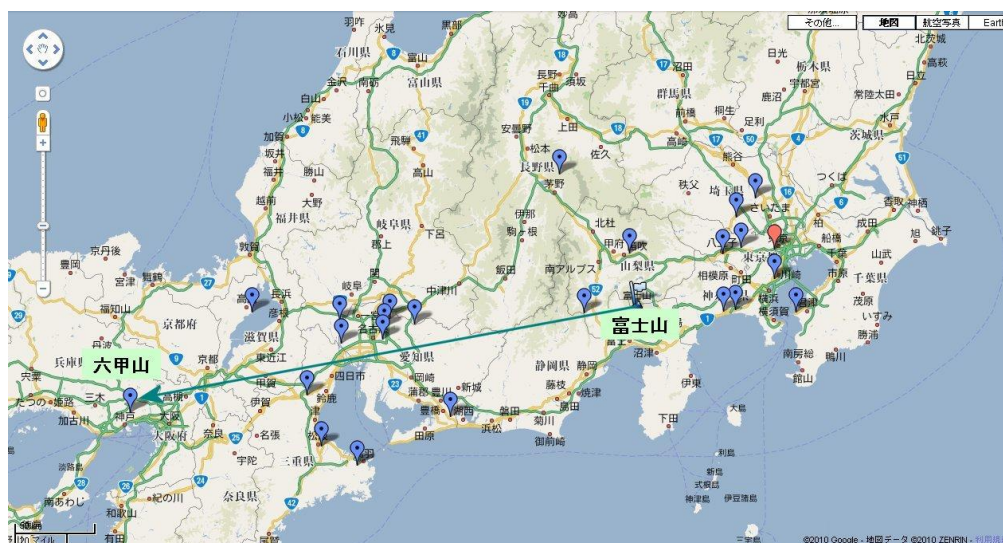
(a) 47GHz 受信局マップ

(八王子・狭山など 3 局, 最長は狭山局の 81km)



(b) 24GHz 受信局マップ

(約 20 局, 最長は市原局の 133km, 昨年は 150km)



(c) 5.7GHz 受信局マップ(約 25 局, 最長は、兵庫県六甲山の 350km)

図 2. 各周波数帯の受信局マップ⁽⁸⁾

八王子局(7N4TDM/1 南大沢)では、2010年の8月5日深夜から8月26日11時まで(8月12-13日の停電を除く)、富士山山頂からの47GHz・24GHz CW ビーコン信号(8J1FUJ/1)を同時に連続受信することができた。

図3に、八王子局における8月17日6時から17時の47GHz・24GHz 同時受信記録データ例を示す。同図では、WSJTのS/N(信号対雑音比)とDF(周波数変化)について47GHzと24GHzのデータを比較している。14時前後に、24GHz・47GHzのS/Nの急激な低下が見られる。この原因は、図4の14:00ごろの雨雲データ(tenki.jp)で確認できるように、富士山山頂と八王子局間の伝搬経路上に発生した小さな雨雲(長さ17km程度)による降雨減衰であると推定できる。このときの雨量は最大で25mm/h程度(4km)あり、S/Nの低下が24GHzで15dB以上、47GHzで10dB以上の値となっている。

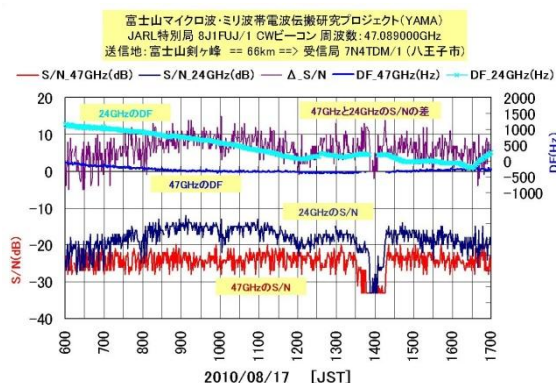


図3. 47GHzと24GHzの同時受信データ例
(2010年8月17日 6:00-17:00)

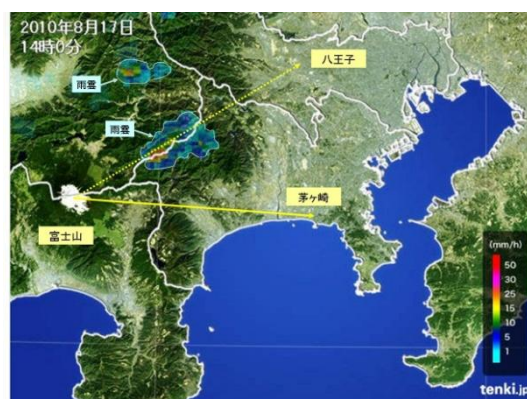


図4. 雨雲データ
(2010年8月17日 14:00ごろ, tenki.jpより)

周波数は若干異なるが、25GHzと45GHzの降雨減衰量の周波数特性の計算値は既に求められ、広く用いられている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾が、これを降雨強度を横軸にして書き直したのが図5である。25mm/hの降雨強度Rに対する垂直偏波の降雨減衰係数 γ は、25GHzにおいて、3.5 dB/km、45GHzにおいて、8 dB/kmとなっている。降雨量の多い地域の雨雲の長さを4kmと仮定すれば、対応する電波減衰量は、それぞれ、17dB(24GHz)、32dB(47GHz)程度と推定できる。これにより、図3でのS/Nの低下がおおよそではあるが定量的に説明できる。47GHzのS/Nは測定不能なほど低下が大きく、今後送信機の電力を増加し、またゲインの大きなアンテナを使用する必要があることが明らかになった。なお、今年度の24GHzのS/Nは、先に述べた理由により、昨年よりも10dB程度低い値だった。

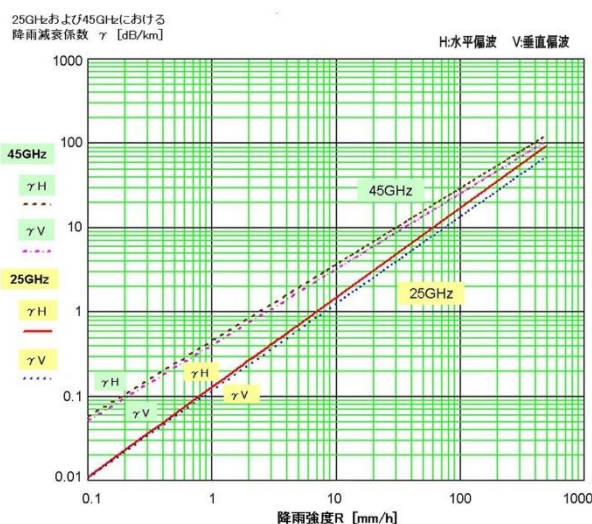


図5. 45GHzと25GHzにおける降雨強度に対する電波減衰係数の変化

図 3 と同時刻の茅ヶ崎局 (JN1AYV) の 24GHz 受信データは非常に興味深いものであった。図 6 に 8 月 17 日の八王子局と茅ヶ崎局の 24GHz 比較データを示す。

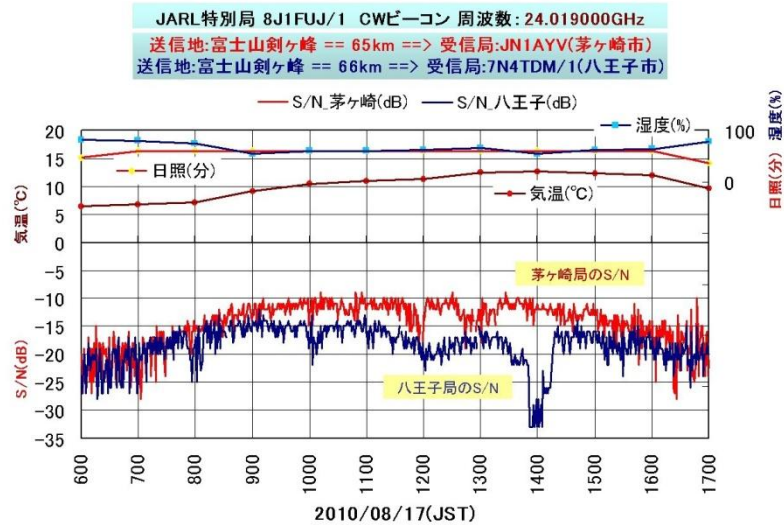


図6. 八王子局と茅ヶ崎局の 24GHz データ比較(2010 年 8 月 17 日 6時から17時)

図6の茅ヶ崎局の S/N データでは、14:00 前後に八王子局のような大きな S/N の低下が存在しないのが確認できる。この理由は、図4の雨雲データで、富士山山頂と茅ヶ崎局間の伝搬経路上には雨雲が存在しないことで明かに説明できる。これらのデータは、複数局間の連続受信データを比較すれば、局所的な気象の変化が確認できることを示している。

図6では、受信データが異なる例を示したが、八王子局と茅ヶ崎局は富士山山頂からの距離がほぼ同じ(約 65km)であるため、細かな S/N 信号変化が一致する場合もある。これを図7に示す。両者のデータは微細な時間変化を含め、驚くほど一致しているのが確認できる。また、両方の受信局の受信感度や低下量がほぼ同程度であったことも確認できた。

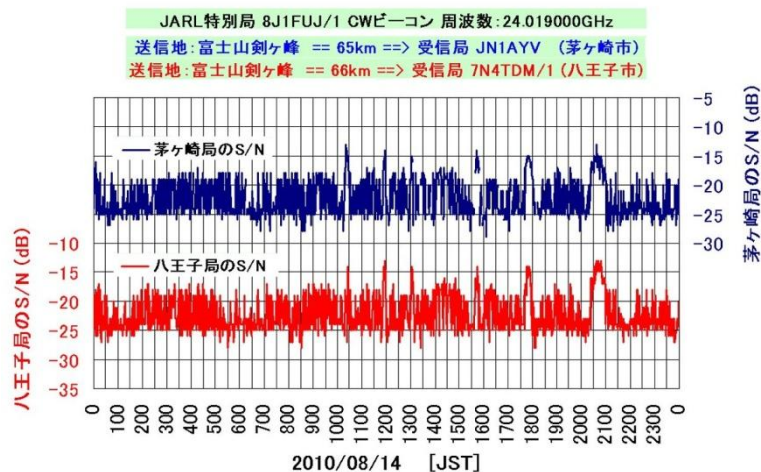


図7. 微細な S/N 変化が一致している受信データの例
(八王子局と茅ヶ崎局の 24GHz 受信信号 2010 年 8 月 14 日)

以上、八王子局において、富士山山頂から発射された 47GHz・24GHz のビーコン信号の 20 日間に亘る同時受信に初めて成功した。また、複数の基地局の受信データから、降雨量などの気象データと電波減衰量との関連性について考察した。今年度を含む 3 年間のマイクロ波帯およびミリ波帯の電波伝搬の研究により、透過係数測定による局所的な気象診断の有効性が明らかになった。

なお、八王子局と茅ヶ崎局の全期間の詳細受信データは下記 Web ページで公開されているので参照していただければ幸いです。

■八王子局の 47GHz・24GHz 受信データ (2010 年度)

http://hiug.net/fuji_project/

■茅ヶ崎局他の 24GHz・5.7GHz 受信データ (昨年度のデータおよび夏季期間以外のデータも含む)

<http://www.jn1ayv.syuriken.jp/Beacon/FujisanPJ/FujisanProject.html>

<http://www.jn1ayv.syuriken.jp/Beacon/FujisanPJ/Fujisan24GHzBeacon.html>

<http://www.jn1ayv.syuriken.jp/Beacon/FujisanPJ/Beacon8J1FUJ5600MHz.html>

■24GHz・5.7GHz 受信局リスト (2010 年度)

<http://yama.eleken.net/8J1FUJ/>

■富士山プロジェクト (報告および計画)

<http://www.geocities.jp/jk1lpd/index.html>

参考文献

- (1) 横尾富夫他, マイクロ波帯・ミリ波帯の電波伝搬研究, 第3回成果報告会 (2010-1-24)
- (2) 横尾富夫, 富士山山頂の旧測候所より今年もビーコン発信! (第1回), CQ ham radio, 2010 年 7 月号, CQ 出版社, pp.96-98 (2010-6)
- (3) 横尾富夫, 上條敏生, 野中啓弘, 富士山山頂の旧測候所より今年もビーコン発信! (第2回), CQ ham radio, 2010 年 8 月号, pp.78-81 (2010-7)
- (4) 横尾富夫, 深井貫, 富士山山頂の旧測候所より今年もビーコン発信! (第3回), CQ ham radio, 2010 年 10 月号, pp.76-78 (2010-9)
- (5) 横尾富夫, 上條敏生, 富士山山頂の旧測候所より今年もビーコン発信! (最終回), CQ ham radio, 2010 年 12 月号, pp.74-77 (2010-11)
- (6) WSJT Home Page by K1JT: <http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/>
- (7) 大庭信之, 「WSJT デジタル通信入門」, 別冊 CQ ham radio (2009 March), CQ 出版社 p.44
- (8) 受信マップ (JA1UMW 小林大輔作成) は, 上記 Web ページ (八王子局の 47GHz・24GHz 受信データ URL: http://hiug.net/fuji_project/) のリンクから閲覧できる。
- (9) 細谷良雄 監修, 電波伝搬ハンドブック, リアライズ社, p.44 (1999-1-28)
- (10) 手代木扶/米山務 編著, 新ミリ波技術, オーム社, 第5章 (1975-8-5)

謝辞

富士山山頂送信システムの設置にあたりご協力いただいた、NPO 法人富士山測候所を活用する会、気象庁、明星電気、JARL 技術研究所の方々に深謝申し上げます。また、2010 年度特別局「8J1FUJ」を開設していただいた JARL 運用課、ならびに活動資金の支援をいただいた (株) 東芝および YAMA メンバー各位にお礼を申し上げます。

*連絡先: プロジェクト・リーダー 横尾 富夫 (Tomio YOKOO), jk1lpd@yahoo.co.jp

3次元雨量計の性能試験

松田益義¹、島村 誠²

1. 株式会社 MTS 雪氷研究所、2. 東日本旅客鉄道株式会社防災研究所

1. はじめに

雨水の飛来方向と飛来量(雨量)を計測できる「3次元雨量計」を開発し、2010 年夏季に富士山頂の測候所測風塔の最高点に試験設置した。転倒ます雨量計と3次元風向風速計等も併置し(写真1参照)、ソーラー電源による自動観測と携帯電話による定期的なデータ回収を行った。富士山頂測候所には過去に気象庁によって雨量計が設置されたが、雨水が斜面に沿って下方からも飛来することから、計測不適を理由にその後撤去された経緯がある。世界屈指の強風吹走地である富士山頂で、様々な風向・風速条件下の降雨に対し、「3次元雨量計」の計測性能と有効性を検証することが本試験観測の目的である。



写真1 転倒ます雨量計と3次元風向風速計等

2. 観測項目と器機仕様

3次元雨量計は雨水の飛来方向と量とを計測するために、12 方向に開口した受水口を有している。各受水口で捕獲した雨水は、計測部で重量を個別に計測し、受水口の方向と捕獲水量の幾何学的関係から雨水の飛来方向を計算する仕組みになっている。
3次元雨量計の仕様を表-1 に、併置した各観測機器の仕様を表-2 に示す。

表-1 3次元雨量計の仕様

部位	項目	仕様
受水部	受水口(セル)数	12 (4方位×3傾斜)
	受水可能な雨水の飛来傾斜角	天頂から135°
	計算可能な雨水の飛来傾斜角	天頂から90°
計測部	解像度	1 drop
	最少計測雨水重量	0.1g
	分解能	20 drops/sec
	計測時間間隔	1sec以上、自由設定
	感応時間の長さ	2sec以内(降雨開始直後を除く)

表-2 観測機器と仕様

器機名	品番等
転倒ます雨量計	武田計器製 TK-1(0.5mm 200mmφ)
3次元雨量計	MTS雪氷研究所製 Model-5 受水部: 球状(200mmφ)、12セル(4方位×3傾斜) 計測部: 13ヶの滴水検知センサー
3D受水器+転倒ます雨量計	受水部: 3次元雨量計用受水器 計測部: Campbell製 TE525 (0.25mm転倒ます雨量計 158.75mmφ)
3次元超音波風向風速計	Young製 Model-81000

3. 観測結果

試験観測期間(2010年7～8月の約1.5ヶ月)中、ソーラーパネルの充電不足と原因不明の数回の欠測期間が発生したが、計9回、合計 40.7 時間の降雨に関するデータを収録することができた。各降雨の観測データを整理、集計した結果を表-3 に示す。

表-3 2010 年夏季、富士山頂の降雨、風向風速観測の集計結果

降雨 No.	一降り降雨記録時間帯		継続 時間	雨水の卓越 飛来方向 傾斜角 (天頂0°)	一降りの総雨量					3次元風向風速	
	記録開始時刻	記録終了時刻			転倒マス 受水量		3次元雨量計 受水量			平均風 速	傾斜角 (天頂0°)
	年/月/日 時:分	年/月/日 時:分			g	mm	g	g	mm		
3	2010/7/25 18:05	2010/7/26 2:25	8.3	36	518.1	16.5	651.0	526.7	16.8	8.8	117
1	2010/7/21 15:35	2010/7/21 18:00	2.5	27	31.4	1.0	36.4	32.4	1.0	4.7	126
9	2010/8/15 9:15	2010/8/15 14:15	5.0	22	0.0	0.0	29.5	27.4	0.9	7.1	108
4	2010/7/26 6:35	2010/7/26 10:00	3.5	6	0.0	0.0	2.9	2.9	0.1	4.8	129
2	2010/7/22 7:10	2010/7/22 9:35	2.5	15	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	3.7	122
8	2010/8/11 19:30	2010/8/12 8:15	12.8	>90	235.5	7.5	3075.9	—	—	11.8	121
7	2010/8/11 12:00	2010/8/11 17:45	5.5	>90	0.0	0.0	187.5	—	—	4.1	112
6	2010/8/9 12:55	2010/8/9 13:05	0.1	>90	0.0	0.0	19.6	—	—	6.5	129
5	2010/8/4 13:55	2010/8/4 14:30	0.5	>90	0.0	0.0	2.1	—	—	2.7	109
計	9回		40.7		785.0	25.0	4005.6				

富士山頂の降雨特性ならびに3次元雨量計の性能特性に関し、試験観測により得られた事実と表-3 から読取れる事項は以下のとおりである。

- (1) 9回の観測降雨中、雨水の卓越飛来方向は5回が斜め上方からの落下型降雨であり(表-3 の黒字降雨)、ほぼ半数の4回が斜め下方からの吹上型降雨であった(表-3 の赤字降雨)。
- (2) 3次元雨量計で雨量が観測されて、転倒マス雨量計では観測されなかった降雨が6回(降雨 No. 9,4,2,7,6,5)あった。逆のケースは無かった。
- (3) 3次元雨量計の水平面換算量(雨量に相当)は、転倒マス雨量計の計測雨量と比べ、いずれの降雨に関しても多少大きな値が記録された。
- (4) 9回の降雨中、3次元雨量計が最も多量の雨水を捕獲したのは、降雨 No.8 であった。雨水の卓越飛来方向は 90° 以上の吹上型降雨(平均風速 11.8m/sec、吹上風の傾斜角 121°)で、受水量は 3057.9g(→3057.9cm³)であった。受水器は球状(200 mm φ)なので、その断面積(31.4cm²)は受水面積に等しいとして受水器に衝突した雨水を mm 換算すると、約 1000mm(974mm = 3057.9cm³ / 31.4cm² × 10mm/cm) となった。なお、降雨継続時間は 12.8h なので、平均時間間衝突量は 76.1mm/h であった。
- (5) 上記降雨 No.8 は、雨水の卓越飛来方向は 90° 以上の吹上型降雨であったが、転倒マス雨量計は 235.5g(7.5mm)の雨量を記録した。その理由としては、12.8hの降雨時間中の僅かな弱風速時に落下雨水を捕捉した可能性や、雨量計の壁面への雨水衝突時の飛沫を捕捉した可能性などが考えられる。
- (6) 3次元雨量計の雨水飛来方位は、卓越風向と整合的であった。

上述の観測事実に基づき、3次元雨量計の有効性について検証しえた基本的事項を列記する。

- (1) 既往の雨量計とは異なる新しい、多様な降雨情報を提供しうること
- (2) 富士山頂のような強風吹走地でも設置可能で、上記降雨情報を提供しうること
- (3) 微量の雨水(霧雨を含む)を検知するので、正確な降雨開始時刻の情報を得られること
- (4) 雨水の捕捉率は、転倒マス雨量計よりも高いこと
- (5) あらゆる方位、傾斜の近傍斜面に対して雨水の地表衝突量の推算が可能であること

本試験観測出得られたデータの詳細な時系列的分析は、現在継続中である。また、3次元雨量計は若干の改良を行って製品化し、降雨観測の進展と斜面災害の防止などへの有効活用に使いたい。

*連絡先: 松田 益義 (Masuyoshi MATSUDA)、matsuda@mtsnow.co.jp

富士山頂でのスス粒子の観測

兼保直樹¹、内田昌男²、近藤美由紀²

1. 独立行政法人産業技術総合研究所、2. 独立行政法人国立環境研究所

1. はじめに

大気エアロゾルの光吸収は、(a)浮遊するエアロゾルそのものによる太陽放射の吸収、または雪氷面に落下することによって、“地表面－大気”系のアルベドを低下させることによる直接効果、(b)雪氷面の融解を早めることによる効果、(c)下層大気を加熱するとともに地表面を冷却することで大気を安定化し雲形成や降水を抑制する効果、など気候変動に対する正の放射強制力の要因として注目される。光吸収性エアロゾルとしては、都市大気汚染や産業由来である化石燃料起源の黒色炭素(black carbon: BC)が思われるが、全球的にはバイオマス燃焼による BC の発生量は化石燃料起源と同等かそれ以上であると推計されている。

わが国の上空は、国内の各都市から排出される、あるいはアジア大陸から輸送される大気汚染物質系の BC、シベリア(Kaneyasu *et al.*, 2007)あるいは中国南部～東南アジア方面から輸送されるバイオマス燃焼系のエアロゾルなど多様な光吸収性エアロゾルが行き交い、黄砂に代表される土壌系のエアロゾルの輸送も顕著な地域である。そこで、富士山頂で大気エアロゾルを捕集し、光学的な特性、および放射性炭素同位体の測定より、発生源の分別を試みている。

2. 方法

2010年7月13日～8月24日の期間、富士山頂(富士山測候所: 海拔 3776 m)において、サイクロン分粒器を装着して 50%分離径 2 μ m 以下の大気エアロゾルを吸引し、Aethalometer (AE-32, Magee)により、black carbon (BC)の連続測定を実施した。同機は石英繊維フィルター上にエアロゾルが吸引捕集されたスポット部分(面積 a)の透過光強度を波長 370, 470, 520, 590, 660, 880 および 950 nm で測定しており、ある時刻の透過光強度を I_0 、一定時間(本研究では 1 時間)後の透過光強度を I と吸引空気の体積を V とするときは、見掛けの光吸収係数 $\sigma_a^{\text{apparent}}$ は

$$\sigma_a^{\text{apparent}} = a / V \cdot \ln(I_0 / I) \quad (1)$$

で与えられる。「見掛けの」と記したのは、厚みのある繊維状のフィルターに粒子を捕集する本機ではフィルター内部にまでエアロゾルが侵入して捕集されるため、繊維による多重散乱により粒子による光吸収が過大に生じるためである。しかし、多重散乱による光路長の増加は波長によらず同一であると考えられることから、光吸収係数の増加の係数も波長によらず一定と仮定すれば、各波長での見掛けの光吸収係数の比をとることで、この増加分はキャンセルできると考えられる。そこで、光吸収係数の絶対値そのものではなく、光吸収係数の波長依存性である光吸収の Ångström 指数 α_a

$$\alpha_a = \ln(\sigma_a^{\text{apparent}}(\lambda_1) / \sigma_a^{\text{apparent}}(\lambda_2)) / \ln(\lambda_2 / \lambda_1) \quad (2)$$

を検討する。また、一回の光散乱において、光が粒子による吸収で消滅せずに生き残る割合を表す単一散乱アルベド(single scattering albedo) ω_0

$$\omega_0 = \sigma_s / (\sigma_a + \sigma_s) \quad (3)$$

を求めた。ここで、 σ_s はエアロゾル光散乱係数であり、積分型ネフエロータ(Integrating Nephelometer, Radiance M903)により、50%分離径 2 μ m 以下の大気エアロゾルに対して測定を行っている。 σ_s には湿度依存性があるが、気温 5℃前後の外気から高温(25℃以上)の室内に吸引されたことにより、機器流入

直前の相対湿度は40%以下に下がっている。 $\sigma_a^{\text{apparent}}$ から、多重散乱分を補正して σ_a を求める方法については、Coen et al.(2010)を用いた。光吸収係数の550nmの値の値への変換は、520 nmの値および590 nmの値より内挿した。565 nmで測定されている光散乱係数は、光散乱のÅngström指数=1と仮定し550 nmの値に変換した。

これとは別に、PM_{2.5} カット用インパクター(HVI_{2.5})を前段に装着したハイボリューム・エアサンプラー(HV-1000F)により、昼夜別にエアロゾルを石英繊維フィルター上に捕集し、そこに捕集された炭素系粒子を透過光補正型熱分離法(Thermal-Optical Transmission method)により分析した。昇温プロトコルはIMPROVEを用いた。

また、BC 濃度の計算には Gundel et al. (1984)により設定された 880 nm での instrumental mass specific absorption efficiency (= 16.9 m² g⁻¹)を使用した。

$$\text{BC} = \sigma_a^{\text{apparent}}(880) / 16.9 \quad (2)$$

3. 結果と考察

Fig.1 に波長 380 nm—520 nm、および590 nm—880 nm の2つの波長対で求めた光吸収のÅngström指数 α_a の時系列を、Fig.2 に単一散乱アルベドの時系列を示す。

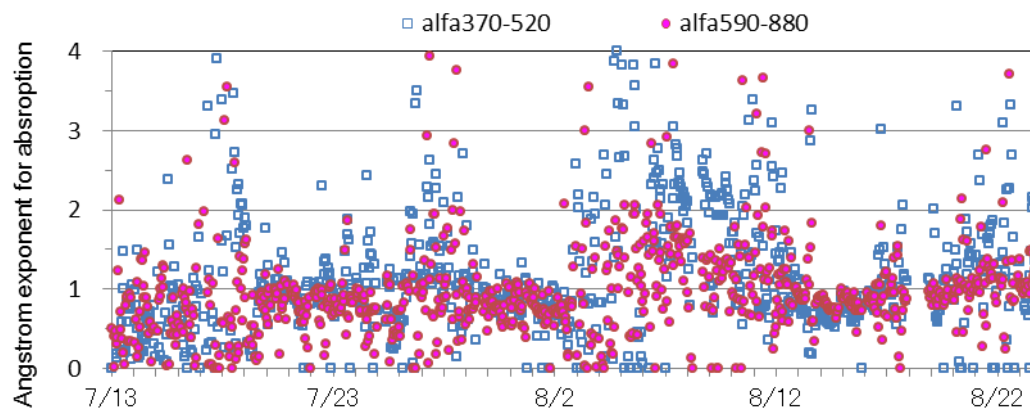


Fig.1 富士山頂において測定された50%分離径2 μm 以下の大気エアロゾルの光吸収Ångström指数の時系列(2010年7月13日～8月23日)。

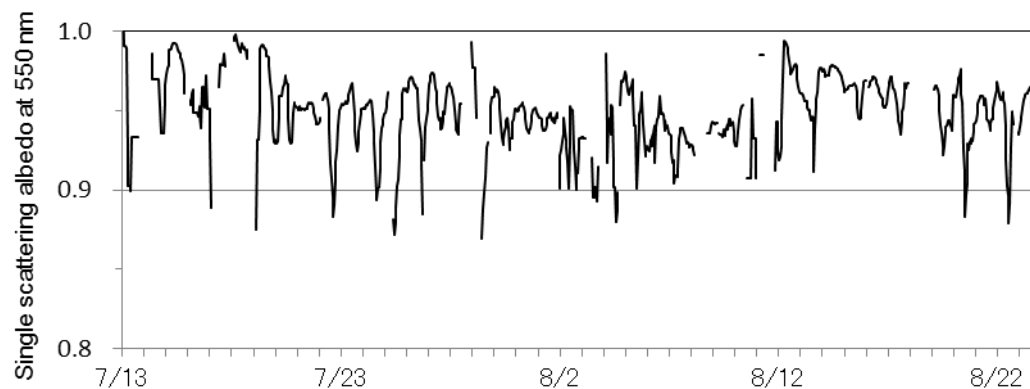


Fig.2 富士山頂において測定された50%分離径2 μm 以下の大気エアロゾルの単一散乱アルベドの時系列(2010年7月13日～8月23日)。

光吸収のÅngström指数は、Mie散乱理論で複素屈折率の波長依存性がない微小な球形粒子に対しては1前後となることが知られているが、2つの波長対のデータとも、1あるいは0.9付近を中心として幅を持ちながら推移しており、基本的には都市大気あるいは産業起源のすすが中心であることがわかる。両データとも、これより大きい値にしばしば振れることがあり、この傾向は特に370 nmの値を用いた $\alpha_a^{370-520}$ で顕著にみられる。これは7月18-19日前後、7月28日前後にも見られるが、特に8月2日～13日にわたる幅広い期間、顕著に高い値を示していることが注目される。また、この期間は880 nmの値を用いた $\alpha_a^{590-880}$ でも顕著に増加が見られている。 $\alpha_a^{370-520}$ は紫外域での吸収の強調をみており、有機物、すなわちバイオマス燃焼系の粒子の指標として考えると、国内においては盛夏期に農業廃棄物の野焼き等が行われる例は少ないことから、アジア大陸からの大規模な移流である可能性がある。この点については、山頂でのBC濃度の日周変化の中で、最低濃度が現れる夜間のデータで α_a の値が大きくなる例を兼保ら(2007)で報告したが、数日間にわたっての連続的な値の上昇については、富士山頂高度を含むかなりの厚さのある鉛直層が大陸性気団に支配され、麓からの熱的な鉛直輸送によるローカルな都市大気汚染・産業起源のエアロゾルの山頂高度侵入を阻んだと考えられる。

単一散乱アルベドには、8月12日以降に値の上昇がみられ、ここで気団が変わったことを示唆しているが、8月2日前後にも若干の値の変化はあるようだが、12日のものほど明確な値の変化がみられていない。7月23日から数日にわたっては特に顕著な日周変化が現れており、麓からの熱的な鉛直輸送によるローカル汚染の到来によるものと考えられる。

4. まとめ

現時点までにまとめたデータからは、8月2日～13日を中心とする期間に、バイオマス燃焼の影響を受けたと考えられる、アジア大陸からの移流の影響を受けたと考えられるが、今後、 ^{14}C 測定値や多くの測定項目との比較検討により、より明確な結論を得ることができると期待される。

参考文献

- Ceon, M. C. et al. (2009) Minimizing light absorption measurement artifacts of the Aethalometer: evaluation of five correction algorithms, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, 2, 1726-1770
- Gundel, L. A., Dod, R. L., Rosen, H., and Novakov, T. (1984) The relationship between optical attenuation and black carbon concentration for ambient and source particles, *Sci. Total. Environ.*, **36**, 197-202
- 兼保直樹, 五十嵐康人 (2007) 初夏期の富士山頂において観測されたエアロゾルの光吸収特性, エアロゾル研究, **22**, 318-321
- Kaneyasu, N., Y. Igarashi, Y. Sawa, H. Takahashi, H. Takada, H. Kumata, and R. Holler (2007) Chemical and optical properties of 2003 Siberian forest fire smoke observed at the summit of Mt. Fuji, Japan, *J. Geophys. Res.*, **112**, D13214, doi:10.1029/2007JD008544

*連絡先：兼保直樹(Naoki KANEYASU)、kane.n@aist.go.jp

富士山頂におけるPM2.5エアロゾル粒子の動態解明

竹谷文一¹、金谷有剛¹、兼保直樹²、藤原真太郎³

1. 独立行政法人海洋研究開発機構、2. 独立行政法人産業総合技術研究所、3. 北海道大学

1. はじめに

大気中を浮遊している直径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の微粒子(PM2.5エアロゾル粒子)は、大気汚染による人体への健康被害への影響だけでなく、太陽光の散乱や雲生成に関わるなど、地球への気候変動に影響を与えている。エアロゾルの濃度、成分には気象、発生源、輸送が大きな影響を及ぼしている。その変動要因を探るためには、濃度や成分の経時変化の情報を得ることが必要不可欠である。富士山頂は自由対流圏の高度にあるが、夏季にはローカルな大気汚染の影響が生じる日中と、自由対流圏のバックグラウンドの影響が卓越すると考えられる。このことから、日中は国内(ローカル)からの影響を受ける場、夜間はアジア広域のバックグラウンドとしての場として考えられ、時間を区別することで異なる環境条件における測定が可能となる。本研究では、PM2.5エアロゾル粒子総重量濃度、光学特性(散乱係数)の経時変化測定、および、エアーサンプラーによるフィルターサンプリングを行った。

2. 観測方法

2010年の観測期間 : 7/13~8/25

1号庁舎2階において屋外から外気をチューブにより装置に取り込み測定

PM2.5重量濃度: 光散乱および β 線吸収によるハイブリット型装置(SHARPモニター)で測定

光学特性: 光散乱係数をネフェロメーターにより測定

3号庁舎西側屋外においてエアーサンプラーを設置し、大気中のPM2.5エアロゾル粒子を採取

2台のハイボリュームエアサンプラー(吸引流量 $1000\text{L}/\text{min}$)を用いて、昼(10:00-19:00)と夜(0:00-5:00)を区別したサンプリングを行った。フィルター上に採取したエアロゾル粒子は、観測終了後、実験室に持ち帰り、イオンクロマトグラフによる水溶イオン成分(硫酸塩、硝酸塩、アンモニウム、塩化物など)濃度の分析や熱分離・光学補正法によるECOC(元素状・有機炭素)分析などを行った。

3. 結果と考察

PM2.5重量濃度変動(下図)は8/3~8/14まで装置の不具合によりデータの欠損が出た。しかしながら、過去三年間の富士山山頂において観測した結果と同様に日中に大きな値をとり、夜間に小さな値を取ることが確認された。同様に光散乱係数も日中極大、夜間極小の変動を示していた。この事実は、富士山頂は日中と夜間で大気環境が大きく変化することを示している。当日はハイボリュームエアサンプラーで採取した粒子の試料分析結果と、過去三年間の富士山頂での観測結果と合わせて発表する予定である。

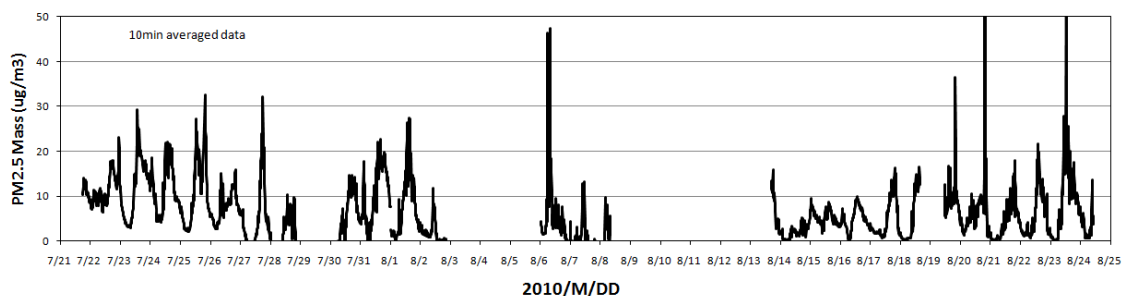


図 2010 夏期に富士山頂での PM2.5 質量濃度経時変化

*連絡先: 竹谷文一(Fumikazu Taketani), taketani@jamstec.go.jp

富士山頂における夏季のオゾン・一酸化炭素の連続測定

加藤俊吾、Jeeranut Suthawaree、梶井克純
首都大学東京 都市環境学部

1. はじめに

急速に経済発展をする東アジア地域において、汚染大気が発生源地域だけでなく広域に輸送して地域的に大気汚染が拡大していくことが懸念されている。このような地域的な大気汚染の様子を知るのに富士山頂のような付近に汚染大気発生源のない地点での観測が重要となる。一酸化炭素は大気中で2ヶ月ほどの寿命があるため、汚染大気の輸送の指標となる。オゾンは汚染大気が光化学反応を起こすことで生成するため、放出されてからある程度時間が経過した汚染大気で濃度が高くなる。光化学オキシダント注意報に相当する高濃度のオゾンが日本の遠隔地域などでも観測され、オゾンの長距離越境汚染が今後さらに問題となることが心配されている。

2. 方法

富士山頂の測候所1号庁舎にて2007年夏季はオゾンのみ、2008-2010年夏季は一酸化炭素とオゾンの測定をおこなった。一酸化炭素は赤外吸収法にて濃度測定する一酸化炭素濃度測定装置(Thermo Environment, Model 48C)にて行なった。温度や水蒸気の影響でベースラインの値が変動してしまうため、一酸化炭素を含まない大気(加熱したPt触媒で生成, Thermo Environment, Model 96)を定期的に測定した。オゾンは紫外線吸収法にて濃度測定するオゾン濃度測定装置(Thermo Environment, Model 49C または Dylec Model 1150)にて行なった。

3. 結果と考察

4年間のオゾンおよび一酸化炭素の測定結果を図に示す。発生源地域から離れた富士山頂においても両成分とも大きな濃度変動をしている。2-3日ほど継続する高濃度期間も見られており、大きなスケールで清浄な海洋性大気と発生源地域の影響を受けた大気が入れ替わっていることが分かる。それぞれの年で変動の様子(振幅の大きさなど)に大きな差は見られないが、平均濃度で比べると年ごとに差が見られ、とくにオゾンにおいて顕著である。夏季の1ヶ月半だけの測定であるため、その年の夏季の気象条件(梅雨明けの時期の違いなど、海洋性の大気の影響をどの程度の期間受けていたか)が平均濃度に大きく影響を及ぼしていると考えられる。

オゾンについては日本の環境基準である60ppbを超える期間もみられ、富士山頂のような地点ですでに環境基準をクリアするのが不可能であり、国内だけでなく、東アジア全体、さらには地球全体で大気汚染物質の放出をコントロールしなければならないことがわかる。

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

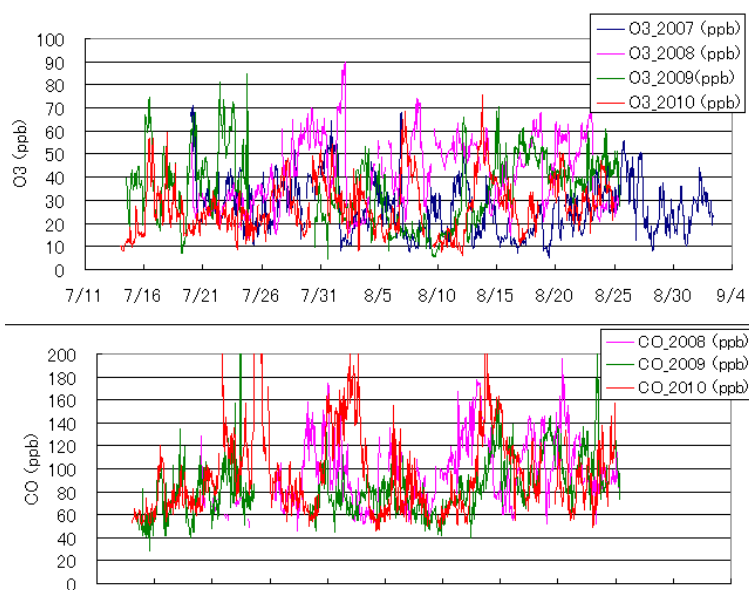


図 4 年間の O₃, CO の測定結果比較

9/4

富士山山頂における新粒子生成の観測

松木篤¹、P.Laj^{2,3}、K. Sellegri²、H. Venzac²、J. Boulon²、三浦和彦⁴、岩坂泰信¹

1. 金沢大学、2. LaMP: Laboratoire de Météorologie Physique、3. LGGE: Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement、4. 東京理科大学

1. はじめに

気候変動の原因物質にはCO₂等に代表される温室効果ガスの他にも、大気中に浮遊する微小な粒子(大気エアロゾル)も太陽光を吸収、散乱することで直接気候に影響を与える。このほかにも大気エアロゾルは水蒸気が凝結して水滴を結ぶ『雲粒の種』(=雲凝結核)としても働くため、大気エアロゾルは雲との相互作用を通じて間接的にも気候に大きな影響を及ぼしている。

前駆気体から全く新しい粒子が生成する、いわゆる新粒子生成は粒子数濃度を上昇させるのに対し、既存粒子への吸着による成長では粒子の個数自体に変化はないため、どちらの過程が優位に働くかによって推定される大気放射への影響は大きく異なる。このため、粒子の成長に対して新粒子生成が優先的に起きる条件の把握が急務となっている。しかし、この新粒子生成メカニズムについてはまだまだ不明な点が多く、雲凝結核の濃度を左右する重要な過程の一つとして注目されている。

2. 方法

本研究では、従来の SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer 計測粒径範囲は通常 5nm 以上)を主体とする超微粒子の観測手法に加え、NAIS (Neutral cluster and Air Ion Spectrometer, Aired Ltd.)によりイオンクラスターやナノ粒子 (NAIS の測定粒径レンジは 0.7-40nm)を同時に計測することで、例えばこれまで困難であった超微粒子の高濃度現象が「大気イオンを介したその場(in-situ)で起きている新粒子生成」によるものなのか、または「離れた場所で生成された粒子が(境界層などから)移流してきたもの」かといった判別を容易にする。2010年7月18日-8月24日の期間、富士山山頂 (3776m, 35.36N, 138.73E)において、NAISを用いたイオンクラスターおよびナノ粒子の粒径別濃度分布の連続観測を行った。

3. 結果と考察

今夏の富士山頂の観測では、2009年の観測と同様に、高濃度の超微粒子(D>10nm)は昼間よりもむしろ夜間(21:00-00:00JST)に集中して観測された。このような高濃度イベントの際、イオンクラスター(0.4~2.5nm)と超微粒子の中間のサイズにあたるナノ粒子(2.5~10nm)の成長が認められなかったため、夜間に特徴的なこの超微粒子はイオン誘発核生成を介していないか、または自由対流圏の観測点から離れた地点で生成した粒子が成長後到達していたものと考えられる。ただし、8月5日のみ、日中に数時間にわたる急激なイオン濃度の増加と成長が観測された(図1)。この日の山頂は非常に穏やかな晴天に包まれ、雨天時に見られるレナード効果のマイナスイオン増加パターンとは全く異なっていた。この例は新粒子生成がまさにその場で起きていたことを示唆している。今後は気象条件、微量ガス成分、より大きな大気エアロゾル濃度との比較を通じて、新粒子生成が起きる条件のより詳しい解析を行う予定である。

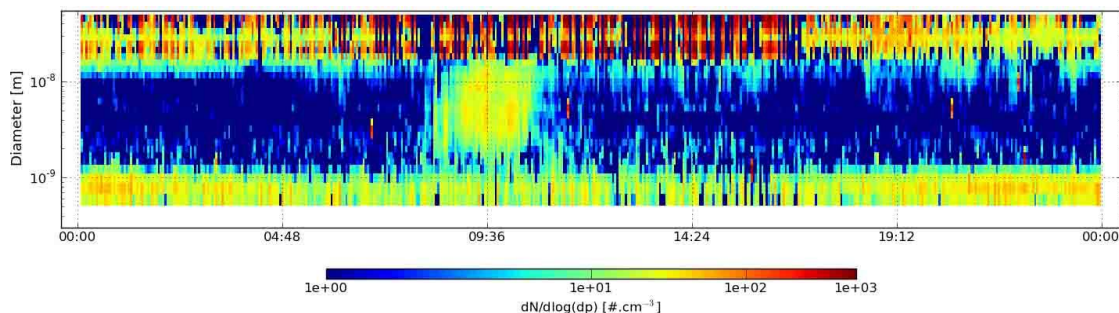


図1. 2010年8月5日に富士山山頂で観測された大気中マイナスイオン個数粒子径分布の時間変化

*連絡先: 松木篤(Atsushi MATSUKI)、matsuki@staff.kanazawa-u.ac.jp

富士山頂宇宙線測定におけるシンチレーション中性子検出器の応答特性

矢島千秋、保田浩志
独立行政法人放射線医学総合研究所

1. はじめに

宇宙線の強度は高度上昇とともに増加し、ジェット機の巡航高度における宇宙線被ばく線量は平地における線量の数十倍に達すると推定されている。放射線医学総合研究所では航空機搭乗者の宇宙線被ばく評価に関する研究を進めており、2007年から富士山測候所における高高度宇宙線測定を開始した。2008年8月にレムメータ型のシンチレーション中性子検出器(PRESCILA; Ludlum Measurements Inc.)を用いた宇宙線中性子の周辺線量当量率測定を実施したところ、 $0.47 [\mu\text{Sv h}^{-1}]$ という結果を得た。しかし、これは大気中の宇宙線計算モデル PARMA¹⁾による計算値 $0.11 [\mu\text{Sv h}^{-1}]$ の約4倍にあたる。今回、その差異の原因究明のため、高度依存性を考慮した PRESCILA の応答特性を評価した。

2. 方法

PRESCILA は熱中性子用シンチレータ、高速中性子用シンチレータ、ホウ素含有ポリエチレン棒等から構成されており、熱中性子から1 GeV のエネルギーレンジを有する^{2,3)}。PRESCILA による宇宙線測定は、富士山測候所(高度3.8 km、2008年8月)、航空機内(高度11 km、2008年2月)⁴⁾、千葉市内(高度0 km、2008年9月)において実施した。次に、中性子と陽子のフルエンス率から PRESCILA の計数率への実効的換算係数を導入し、PRESCILA の応答特性を表すモデル式(1)を提案した。

$$F_{n,j}St_n + F_{p,j}St_p = R_j - B \quad (1)$$

ここで、 $F_{n,j}$ と $F_{p,j} [\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}]$ はそれぞれ高度 $j [\text{m}]$ における中性子と陽子のフルエンス率、 $S [\text{cm}^2]$ は PRESCILA の実効断面積(ここでは 100 cm^2)、 t_n と t_p はそれぞれ中性子と陽子のフルエンス率から PRESCILA の計数率への実効的換算係数、 R_j は高度 $j [\text{m}]$ での PRESCILA の計数率、 $B [\text{s}^{-1}]$ は主として電気ノイズ由来のバックグラウンドである。

3. 結果と考察

(1)式に前述の富士山測候所、航空機内、千葉市内で測定した PRESCILA の計数率と各測定条件に対応した PARMA によるフルエンス率計算値を代入し、 $t_n = 0.006$ 、 $t_p = 0.643$ 、及び $B = 0.047$ を得た。これから、2008年8月の富士山測候所における PRESCILA を用いた測定により得られた中性子周辺線量当量率の当初の値 $0.47 [\mu\text{Sv h}^{-1}]$ の内訳は、中性子成分 $0.14 \pm 0.04 [\mu\text{Sv h}^{-1}]$ 、陽子成分とバックグラウンドが中性子周辺線量当量率換算でそれぞれ $0.28 \pm 0.03 [\mu\text{Sv h}^{-1}]$ 、 $0.05 \pm 0.02 [\mu\text{Sv h}^{-1}]$ であったと推定される。中性子成分に関しては、PARMA 計算値 $0.11 [\mu\text{Sv h}^{-1}]$ と誤差の範囲内で一致している。以上の結果は、PRESCILA の応答特性を表すモデル式(1)の妥当性を支持している。

参考文献

- [1] T. Sato, *et al.*, “Development of PARMA: PHITS-based analytical radiation model in the atmosphere”, *Radiat. Res.* 170 (2008) 244-259.
- [2] R. H. Olsher, *et al.*, “PRESCILA: a new, lightweight neutron rem meter”, *Health Phys.* 86 (2004) 603-612.
- [3] R. H. Olsher, and T. D. McLean, “High-energy response of the PRESCILA and WENDI-II neutron rem meters”, *Radiat. Prot. Dosim.* 130 (2008) 510-513.
- [4] H. Yasuda, *et al.*, “Responses of selected neutron monitors to cosmic radiation at aviation altitudes”, *Health Phys.* 96 (2009) 655-660.

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

富士山山頂における高エネルギー放射線および大気電場の観測

田中章裕¹, 鳥居建男^{2*}, 杉田武志³, 保田浩志⁴, 鴨川仁¹

1. 東京学芸大学, 2. 日本原子力研究開発機構, 3. 科学システム研究所,
4. 独立行政法人放射線医学総合研究所

1. はじめに

雷活動に起因すると考えられる放射線が、冬季雷をはじめ[1, 2]、さらには Terrestrial gamma-ray flash (TGF) [3,4]と呼ばれる雷雲上空で観測される変動まで様々な時と場所で観測されている。これらの放射線には、雷雲中の高電場に起因すると考えられる 10 秒以上持続する長時間の放射線変動と、雷放電に起因すると考えられる 1 ミリ秒程度の短時間の放射線バーストの 2 つのタイプが観測されている。特に、前者は冬季雷を代表として、放射線発生源と考えられる雷雲と観測地点の距離が短い場所で頻繁に観測されている。

冬季雷活動時に地上で観測される事象は、落雷とほぼ同時に観測される短時間バーストの他に、落雷の数 10 秒程度前から上昇し、落雷発生とともに再び元の値に戻るような、放射線計数率の緩やかな変動が観測されている[5]。しかも、そのエネルギーは数 MeV[1]から 10 MeV 超[2]と高エネルギーである。このような事象は、雷雲の高度が高い夏季雷時では地上で観測された報告がない。そのため、雷雲高度の低い冬季雷の場合、放射線の発生源と考えられる雷雲の高電場領域も低い高度で形成され、この領域で加速された高エネルギー電子は空気分子との雪崩的な衝突によって制動放射線(光子)を生成し、その一部が地上まで達したものと考えられる。

そこで、雷雲中では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、日本で最も高く、また雷活動が盛んな独立峰である富士山の山頂において雷活動時の放射線変動を観測した。

2. 測定

測定は、富士山頂にある富士山測候所内で行った。測候所は標高 3,776m の最高地点、剣が峰に設置されている。2008 年から 2010 年の 7 月下旬ないしは 8 月上旬から 8 月下旬までの間、測候所の最上階に放射線検出器を設置して放射線変動の連続観測を実施した。放射線検出器は、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(Tl)シンチレーション検出器を用い、この検出器に 5 インチ光電子増倍管を接続した。この検出器の測定エネルギー範囲は、150keV から 23MeV とし、この範囲の波高分布の変動を計数した。2009 年から 2010 年では Boltek 社製のフィールドミルを用いて大気電場も同時測定および、プラスチックシンチレーター検出器を用いて高エネルギーの電子についても観測を行った。また、雷活動は、フランクリン・ジャパン(株)が運営する JLDN (Japan Lightning Detection Network)の落雷データを用いた。

3. 2008 年の測定結果

2008 年 8 月 9 日に富士山頂付近は雷活動が盛んであった。11 時頃より雷放電が頻発し 16 時頃まで続いた。NaI 検出器で観測された全計数、及び各エネルギー領域での放射線計数の時間変動、また JLDN で測候所を中心に 10km 四方での雷活動の記録を Fig.1 に示す。

Fig.1 では 1 秒毎の放射線計数の変動を平滑化するために、21 秒間の移動中央値を示した。Fig.1 に示すように、11:35 から 11:55 までの 20 分間に顕著な放射線計数率の上昇が観測された。天然放射性核種に起因するとは考えられない 3MeV 以上のエネルギー領域についても有意な上昇が見られ、10MeV 以上の領域についてもわずかであるが 10 秒以上継続して上昇した。しかも、この間に JLDN では落雷は観測されなかった。

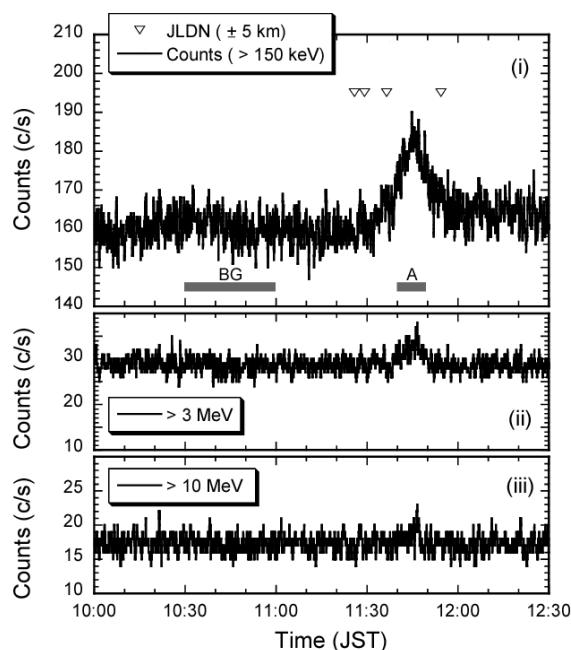


Fig.1 2008 年 8 月 9 日に観測された放射線計数率の変動の一例と JLDN の落雷記録。(i) は 150keV 以上の全計数率、(ii) は 3MeV 以上、(iii) は 10MeV 以上の計数率

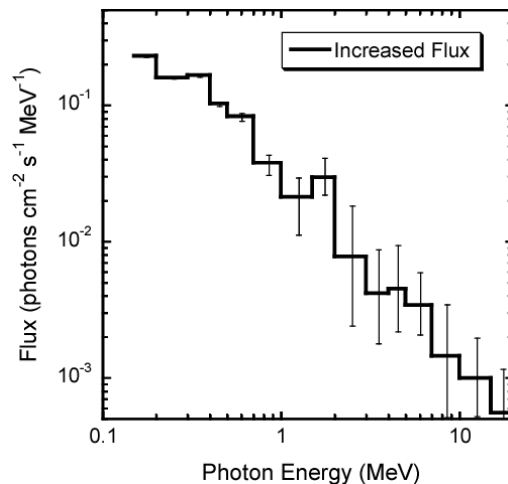


Fig.2 アンフォールディング計算により求めた計数率上昇時の入射放射線のエネルギースペクトルの増加分

さらに、NaI 検出器で得られた放射線計数の波高分布をアンフォールディング計算することにより、入射放射線のエネルギースペクトルを求めた。予め放射線計数が上昇する前の 10:30 から 11:00 までの 30 分間 (Fig.1 の”BG”) の計数をバックグラウンド (BG) 値として、アンフォールディング計算コード SAND-II を用いてエネルギースペクトルを求め、さらに放射線計数率が最も顕著に上昇した 10 分間 (11:40 ~ 11:50、Fig.1 の”A”) について同様にスペクトル解析を行った。Fig.2 に、放射線の計数が上昇した時 (A) のスペクトルから BG のスペクトルを差し引いた雷活動に起因すると考えられる放射線のエネルギースペクトルを示す。ここで、エネルギー群毎の計数の時間変動がポアソン分布していることから、各エネルギー群の計数の偏差からスペクトルの誤差を求め、エラーバーを Fig.2 に図示した。

図から明らかなように、雷活動に起因すると考えられる放射線は 10MeV 超までの連続スペクトルを示した。特に、3 ~ 7MeV までの高エネルギー領域で高い光子束を示し、BG 値に比べて約 25% の増加が見られた。

4. 2009 年および 2010 年の測定結果

2009 年の観測においても 2008 年と同様な高エネルギーの放射線の変動が 8 月 9 日未明に観測された (Fig.3)。2009 年より大気電場の計測およびプラスチックシンチレーター検出器による高エネルギー電子の観測も行われており、放射線変動が見られたとき、観測値が飽和してしまうほどの強い強度の負の電場が存在したことが分った。次に Fig.4 では NaI 検出器の指示値上昇時 (上昇を含む 10 分間) のパルス波高分布とその前の 10 分間の波高分布について Unfolding 計算して、入射光子のエネルギースペクトルを求めた。2008 年の結果と比較すると 2009 年の結果の方が、高エネルギー成分が大きくなっていることが分る。この間に JLDN では落雷は周辺に全く観測されなかった。気象庁によって取得されているレーダーエコーデータによればこの間強い強度のエコーが観測されていることから少なくとも落雷を伴わない雷雲が存在したことが分る。

2010 年の観測では、雷雲は山頂付近で観測されたものの 2008 年および 2009 年のような結果は得られなかった。

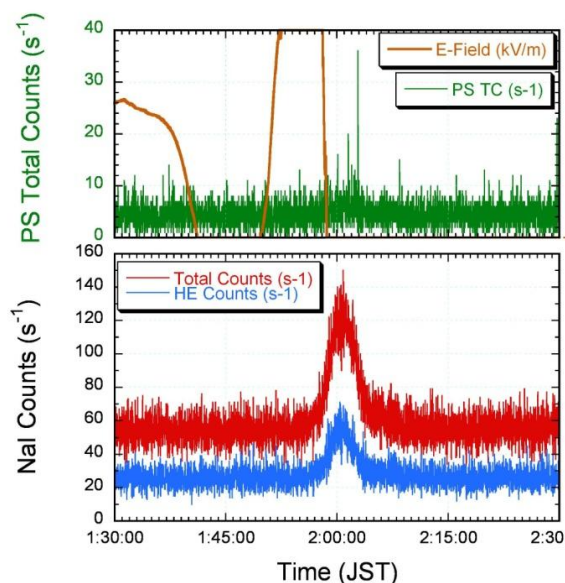


Fig.3 2009 年 8 月 8 日に観測された大気電場変動 (E-Field)およびプラスチックシンチレーター検出器(PS)の記録(上段)、NaI 検出器の全計数(約1MeV 以上)、4MeV 以上の HE 計数の記録(下段)

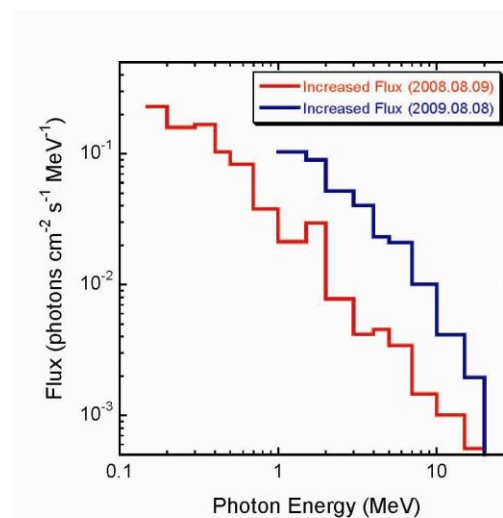


Fig.4 アンフォールディング計算により求めた計数率上昇時の入射放射線のエネルギースペクトルの増加分。比較のために2008年8月8日のデータを記載。

5. まとめ

富士山頂での放射線観測の結果から、雷活動に起因すると考えられる 20 分程度持続する緩やかな放射線計数率の変動が観測された。エネルギーは冬季雷の場合とほぼ同じであるが、冬季雷では、持続時間は数 10 秒程度までしか観測されていない[1,2,5]。これは、冬季雷において低高度で高い電界強度を持つ要因となるポケット正電荷の滞空時間が数分程度と夏季雷に比べて短いと考えられ、高電界領域が長時間存在する夏季雷では、しかも高度 4,000m 近い高山では、近傍に高電界領域が長時間存在し、高エネルギー放射線を生成し続けたためと考えられる。

本観測結果や冬季雷での観測結果から得られた緩やかな放射線計数率の変動は、逃走絶縁破壊(RB)[6]の前の段階から、雷雲中の高電界領域で”Pre-RB”とも呼べる状態が続くことにより、高エネルギー放射線が連続的に放出されたためと考えられる。これは、雷雲電界を模擬した場での高エネルギー電子・光子の挙動計算[7]からも、RB のしきい値電界(～280kV/m-atm)より前段階から、高エネルギー電子・光子束が増加し始めることにより示唆されるものである。

参考文献

- [1] T. Torii, et al. (2002), *J. Geophys. Res.*, **107**, 4324.
- [2] H. Tsuchiya, et al. (2007), *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 165002.
- [3] G. J. Fishman, et al., (1994), *Science*, **264**, 1313.
- [4] D. M. Smith, et al., (2005), *Science*, **307**, 1085.
- [5] T. Torii, et al., (2008), *Proc. 30th ICRC*, Vol.1, pp.677-680, UNAM, Mexico.
- [6] A. V. Gurevich, et al. (1999), *Phys. Lett., A* **254**, 79.
- [7] T. Torii, et al., *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L05113, doi:10.1029/2003GL019067.

*連絡先: 鳥井建男 (Tatsuo TORII)、torii.tatsuo@jaea.go.jp

富士山山頂における晴天日大気電場の計測

佐藤良衛¹, 木村嘉尚^{1, 2}, 阪井陸真¹, 藤原博伸³, 稲崎弘次⁴,
山本勲⁵, 鳥居建男⁶, 保田浩志⁷, 鴨川仁¹

1. 東京学芸大学, 2. 国立極地研究所, 3. 女子聖学院高校, 4. NEC システムテクノロジー株式会社,
5. 岡山理科大学, 6. 日本原子力研究開発機構, 7. 放射線医学総合研究所

1. はじめに

電離圏は地上に対し 300kV電位が高く、地球は、電離圏と大地との間で全球的な球殻コンデンサーをなしている。宇宙線によってわずかに電離させられた大気を通じてこのコンデンサーはたえず放電しているが、対地雷などで絶えず充電されている。この全球的な電気回路はグローバルサーキットと呼ばれ、晴天時の大気電場の変動は全世界的に同じ変動をすると考えられている [1]。つまりこのグローバルサーキットの概念では、カーネギーカーブと呼ばれる晴天時の大気電場の日変化は、グローバルサーキットのいわば電池に相当する全世界的な対地雷発生数(ないしは総エネルギー)の日変化と同じになる。対地雷の発生数は、多くは地方時で夕方に発生するため、世界の3大落雷発生地域であるアジア・オーストラリア、欧州・アフリカ、南北アメリカの地方時夕方、つまり世界時だと8時、14時、20時頃に大気電場のピークが観測される。とりわけ、後者2つの発生数は大きいので16時周辺には1日のうちの最大の大気電場が観測される。

大気の電気抵抗が大きい地表面付近での大気電場は、テスターなどを用いての電位差計測では内部抵抗の方が空気抵抗より小さいため行えない。そのため大気電場の計測方法はいくつかあるが、フィールドミルと呼ばれる電場測定機器を使うことが多い。フィールドミルは、回転遮蔽板によって周期的に外部に露出するセンサー部に大気電場で電荷を誘導させ電場を測定するものである。これらは商用製品の測定装置も数多く、最近では安価なカナダ Boltek 社製フィールドミルは多くの研究者が用いている(たとえば南極で行われている[2]など)。

2. 大気電場計測

本研究では、富士山山頂において晴天時大気電場の計測を行うべく Boltek 社製フィールドミルを富士山測候所の屋根に設置した。計測は2009年および2010年の7月下旬から8月下旬の約1ヶ月行った。

山頂における大気電場変動は晴天時に世界時の変動を示すことはなく地方時変動を示した(図1)。

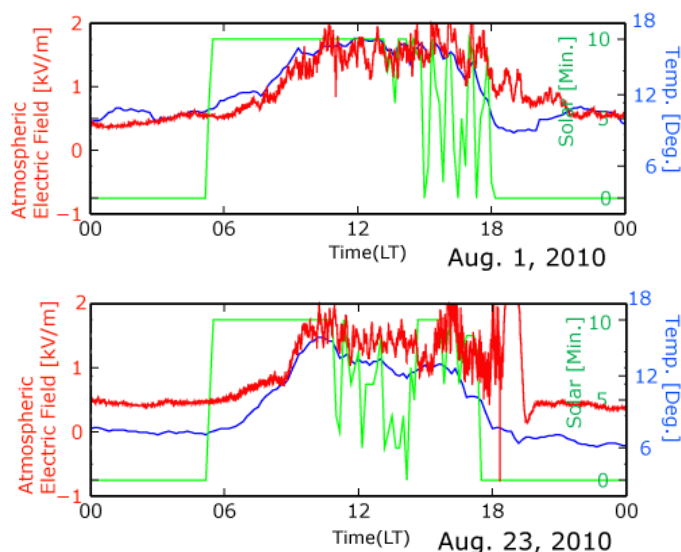


図1 富士山山頂で測定された大気電場変動、10分ごとの日照時間および気温の一例
(縦軸の大気電場値は測定値そのもので平面校正された大気電場値ではない)。

晴天時での変動は気温との相関が見られたため、雲がない状態の大気電場変動と気温の相関図を調べたところおおむね正の相関が見られた(図2)。2009年および2010年では測定装置は異なっており、我々が小笠原で行っている Boltek 社製フィールドミルによる大気電場計測ではこのような正の相関がみられないために、次の3つの仮説を立てた。①関川(1960)が報告している「富士山頂では夏季において大気電場は地方時変化する[3]」を、本変動は示している。②山頂における紫外線は地表より強いことから、フィールドミルのセンサー部に光電効果が発生し、見かけ電場が大きく計測された。③測定器の温度変化によるもので、この温度依存性は比較的低温で発生する。これら3つの仮説であるが、①については関川による夏季時の大気電場変動は平均から±10%に収まっており、本実験では平均より±50%を超えるため、関川が報告している変動を捉えているとは考えにくい。②については、電場が強くなることは定性的ならば説明できる。③については、小笠原における測定では温度依存性はみられないことから低温になると生じるのであれば説明できる。

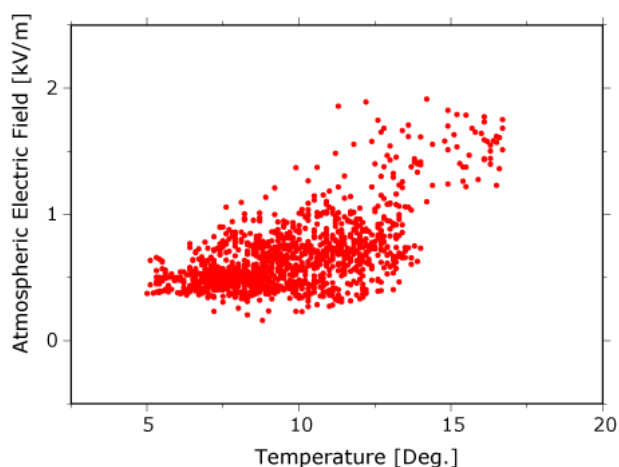


図2 晴天時の大気電場と気温の相関図。図は2010年に観測されたもの。

3. まとめ及び今後の課題

富士山におけるグローバルサーキットに関連する大気電場計測は、長時間の晴天時が山頂では少ないことから難しい半面、ノイズ源となる陸地のエアロゾル変動の影響を受けにくいこともあるため引き続き行いたいと考えている。しかし、Boltek社製フィールドミルについては、室内実験を行い計測による諸問題を解決すべきである。

参考文献

- [1] MacGorman, D. R., and W D. Rust (1998) The Electrical Nature of Storms. Oxford University Press, 422p.
- [2] Panneerselvam, C., C. P. Anil Kumar, Ajay Dhar, K. U. Nair, C. Selvaraj, S. Gurubaran, and B. M. Pathan (2010) Instrumentation for the surface measurements of atmospheric electrical parameters at Maitri, Antarctica: First results. Earth Planets Space. 62. 545-549.
- [3] 関川俊男 (1960) 富士山頂における気象電気の観測. 天気. 7. 65-71.

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

富士山頂における科学教育の試行(2) — 学生による宇宙線の測定と重力の測定 —

松澤孝男^{1,2}、関根恵³、大沼侑司⁴、会澤雄基⁴、阿久津達也⁴、森脇滉⁴、中島宏昌⁴、
飯島竜司⁴、矢野倉伊織⁴、八重樫拓也⁴、矢島千明²、保田浩志²

1. 東京日本語教育センター、2. 放射線医学総合研究所、3. 北海道大学院工、
4. 茨城高専ラジオ部

I. 宇宙線の測定

1. はじめに

今から100年ほど前、ウィーン大学のヘスは、検電器を気球に積み、高度とともに気体の電気伝導度が増すことから宇宙から来る放射線の存在を初めて明らかにし、1936年にノーベル物理学賞を受賞した。当時、宇宙線の源についてはまだ想像の域を脱しない中、ロッシは単純な実験で独自に開発した同時計数回路¹⁾を組み合わせで宇宙線の成分分離に挑戦した。特に宇宙線粒子が物質中で二次粒子を創ることを示すため、3台のGM管を3角形においてまっすぐ走る一個の粒子は、3つのカウンターを同時に貫くことがないよう工夫した同時計数の実験 (Fig.1) に私たちは注目した。

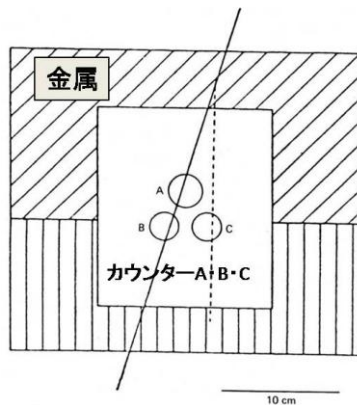


Fig.1 Time coincidence method used by three GM tubes
modified by the author¹⁾.

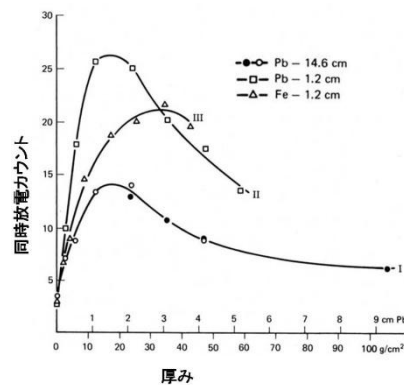


Fig.2 Rossi curve modified by the author^{1,2)}.

3つのGMカウンターを数センチの厚みの鉛で作った箱の中に閉じ込めると、多くの同時放電が得られたが、鉛の箱の一番上のふたを取り払うと放電の数は極端に減ることから、箱の中で起きる同時放電のほとんどは、宇宙線粒子が箱の鉛のふたで起こす少なくとも2つ、おそらくもっと多くの粒子によるものだと考えられた。ロッシによれば、箱の上を覆う鉛を厚くしていくと、Fig.2のようにカウント数はいったん増えて、それからゆっくりと減る。鉛のカーブに着目すると、放電の数が10~20 g/cm²の間で極大に達する。この極大の先では、カーブは透過粒子の吸収曲線よりも、もっと急に落ちる。これが宇宙線の硬成分、軟成分の発見であった^{1,2)}。

私たちは約100年前からの宇宙線研究の歴史を踏まえ、高専の学生でも安価な機器を用いて二次宇宙線が測定できないかと、硬成分・軟成分の分離、 γ 線や高エネルギーを持ち、地上まで到達するミューオン粒子の計測を試みたいと考えた。

文献³⁻⁸⁾によると、宇宙空間では、超新星爆発や太陽活動の天体現象により宇宙線が作られる。宇宙線は主に一次宇宙線と二次宇宙線に大別される。一次宇宙線は宇宙空間に存在する宇宙線のことであり、二次宇宙線は一次宇宙線が地球大気に入射した際、大気中の原子核と衝突して生成される宇宙線である。一次宇宙線はカスケードシャワー現象により大部分が消滅するため、地表で観測される宇宙線はほぼ二次宇宙線であり、その約80%はミューオンである。

1930 年代、ミューオンはアンダーソンらによって宇宙線の霧箱写真の中から発見された。そのフラックスは、水平面積 cm^2 あたり、1 分間に約 1 個である。ミューオンは、質量が電子の約 200 倍である点を除いて電子と同じ振舞いをする粒子である。電子に比べ質量の大きい分、制動放射が起こりにくくエネルギー損失の主要過程は電離によるものである。そのため銀河宇宙線のエネルギーを反映し、大気上層部で生成するミューオンは物質の奥深く、例えば 100 GeV ミューオンは地中約 200 m まで到達する貫通力を持っている。ミューオンは宇宙線の中で減少率が他に比べてはるかに低く、安定な硬成分である。ミューオンの平均寿命は $2.2 \mu\text{s}$ で電子と反電子ニュートリノと μ ニュートリノに崩壊する。私たちは、地上で観測される荷電粒子で GM 管を 2 台同時に突きぬけられる高エネルギーの粒子はミューオンであると考え、同時計数回路の作製を試みた。

2. 地表における、同時計数回路の計数率の鉛厚さ依存性およびミューオンの測定

ミューオンの測定方法⁹⁻¹⁰⁾

ミューオン計測機器は GM 管 2 台を AND 回路でつないだもの(RM-80, Aware Electronics Corp. USA)を用いた。同時と感じる時間幅は $50 \mu\text{s}$ である。2 台の GM 管の間に鉛 1 mm の遮蔽板を置いた。天頂角 θ から飛来する宇宙線強度を考える。 θ が大きい時には地上に飛来するまでにより厚い空気の層を通過する。宇宙線の強度が $\cos^n \theta$ に比例すると仮定すると、空気によって減衰しやすい宇宙線成分は斜めからよりも真上から来る量が多いため、 n が大きく、減衰にくい成分は n が小さくなる。宇宙線の成分ごとの n は実験的にミューオン ~ 2 、電子 ~ 3 、核子成分 ~ 8 と知られている¹¹⁾。

GM 管を 2 個重ね、2 台の GM 管を同時に通過する高エネルギー粒子(ミューオン)の測定を試みた(Fig.3)。鉛の厚さと透過する放射線を同時計数した計数率の関係を Fig.3 に示す(2007 年)。鉛の厚さに対する計数率の変化を調べたが、Fig.2 のようなロッシ曲線のピークは測定できなかった。装置を天頂に対して傾けて計数率の変化を調べた。横軸を $\cos^2 \theta$ にして計数率を描いたものを Fig.4 に示す。天頂角 $\cos^2 \theta$ における計数率の値が直線に乗り、宇宙線のミューオン成分の $\cos^2 \theta$ 則にほぼ対応していると思われる。

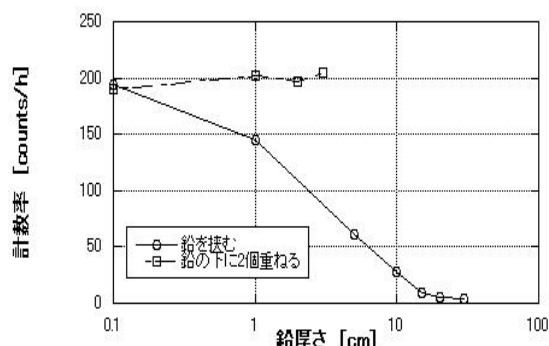


Fig.3 Correlation of the Pb thickness AND counts correlation rate obtained by the coincident measurement circuit^{9,10)}.

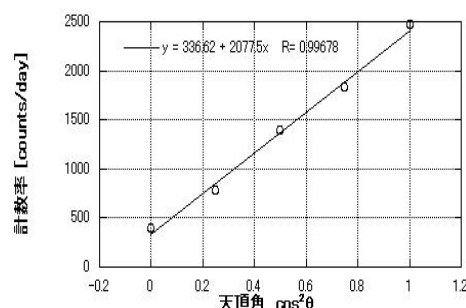


Fig.4 Zenith deviation $\cos^2 \theta$ plot with counting rate^{9,10)}.

3. 自作 GM 計数管 2 台を用いた同時計数装置の試作

上の 2. では米国 Aware 社の既製の同時計数回路による宇宙線の測定結果を報告したが、自分たちでも同時計数装置を作製したいと考え、GM 計数装置を 2 台同時に高エネルギー粒子(ミューオン)が通過するときだけにカウントをする同時計数装置の試作に挑戦した。作製に用いた日本のストロベリー・リナックス社の GM 計数装置(USB-GM)は、パソコンから USB を通して外部電源を得て動作し、主に γ 線のカウント数をパソコンに表示・記録できる。GM 管の中心のワイヤ近傍にかかる電界は極めて強くなっているが、放射線が入射すると電界は著しく下がる動作原理である¹²⁾。

1 台の GM 計数装置は、電源回路から常に 5 V 供給されていて、放射線が入ると 0 V (LO) となり、1 カウントと動作する。入力 A・B 両方とも信号 LO を出力するとき出力 C から信号 LO を取り出す AND 回路を作製するため、シリコンゲート CMOS 技術を用いた高速 CMOS2 入力 OR ゲート TC74HC32A DIP14-P (以下 IC) を用いた(Fig.5)。GM 管は放射線を検出すると芯線の電圧が下がるため負理論で考え

る。そのため、AND 回路と言いながらロジック IC の OR 回路を利用した。真理値表を Table.1 に示す。GM (ガイガーカウンター) 1 と GM2 の同時計数の値を GM3 に出力してパソコンへ記録する。GM1、GM2 はパソコンの信号取り出し部分を使わずに放射線を測るセンサー部分のみを使用した。逆に GM3 はパソコンへの信号取り出し部分のみを使用した。

Table.1 Truth table.

入力A	HI	LO	HI	LO
入力B	HI	HI	LO	LO
出力C	HI	HI	HI	LO

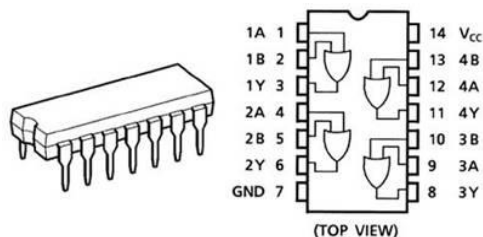


Fig.5 TC74HC32AP DIP14-P.

今回使用する GM 計数装置内の電源が IC の使用電源範囲内(2~6V)なので、IC に使う電源は GM 計数装置の電源を使用した。また、使用した IC の誤動作を防ぐためにバイパスコンデンサ (積層セラミックコンデンサ 0.1 μ F) を IC の電源部分 (GND(7)と Vcc(14)) に取り付けた。同時計数装置の接続概略図を Fig.5 に示す。

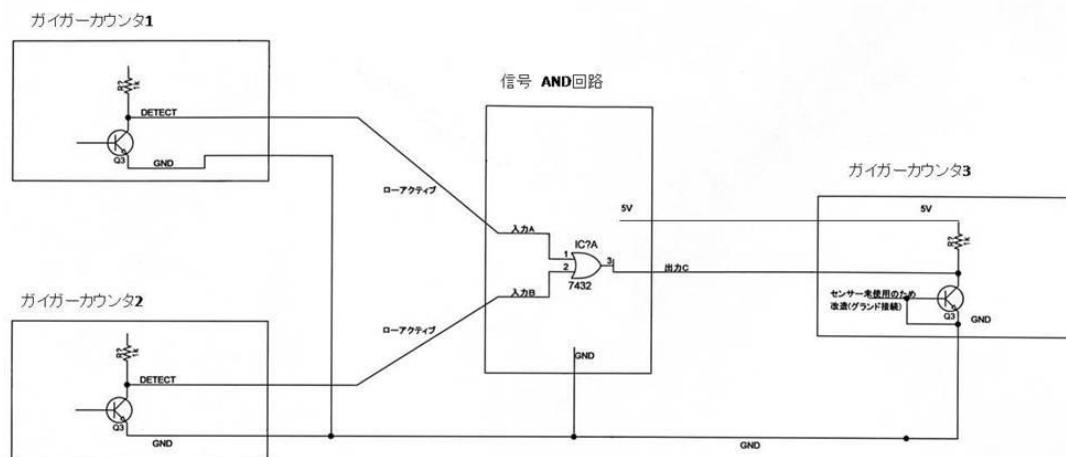


Fig.6 Diagrammatic illustration of coincidence counter tube.

Fig.6 の GM1 を例に回路の動作説明をする。放射線が入射するとトランジスタで GND(-)方向に電流が引かれ、DETECT 線は 0 V となる。GM1 と GM2 に放射線が入射した場合、それぞれの DETECT が 0 V となる。AND 回路の入力 A・入力 B に同時に信号が入れば、出力 C へ信号が出るため、GM3 へ 1 カウント出力される仕組みである。Fig.7 に回路の実体配線図を示す。GM1 の配線に関してはパソコンへの信号取り出し部が必要ないため、センサーから来た信号を DETECT から IC の 1A(1)へ接続した。次に GM2 の配線に関しては、GM1 と同じく DETECT から IC の 1B(2)へ接続した。富士山への登山時の測定を考慮し、電源は軽く、取り換えが簡単な単三電池(4 本)の電池ケースを、Fig.7 のように GM1、GM2 へ取り付けた。このようにして、自作 GM 管 2 台で同時計数装置を作製した。

IC の同時計数動作を確認するため、 ^{22}Na 密封線源からの陽電子消滅 γ 線(0.511 MeV)を用いた。 ^{22}Na が β^+ 崩壊する時に陽電子(β 線)を放出し、原子の周りの電子と結合して両電子が消滅(陽電子消滅)する際、その全エネルギーに等しい消滅 γ 線が 180 度反対方向へ同時に 2 個放出することを利用して自作同時計数回路の特性を調べた。水平面内の一直線上で線源をはさみ、距離 5 cm をおいた左右に GM1、GM2 を設置し、GM 管の窓方向を線源へ向け、オシロスコープを用いて IC 入出力部分の整形波形を測定した。 ^{22}Na で発生した 2 個の γ 線は、GM1、GM2 の GM 管で検出され IC に入力(入力 A・入力 B)後、パルスの重なる部分がひとつの矩形ピーク(出力 C)として認識された (Fig.8)。

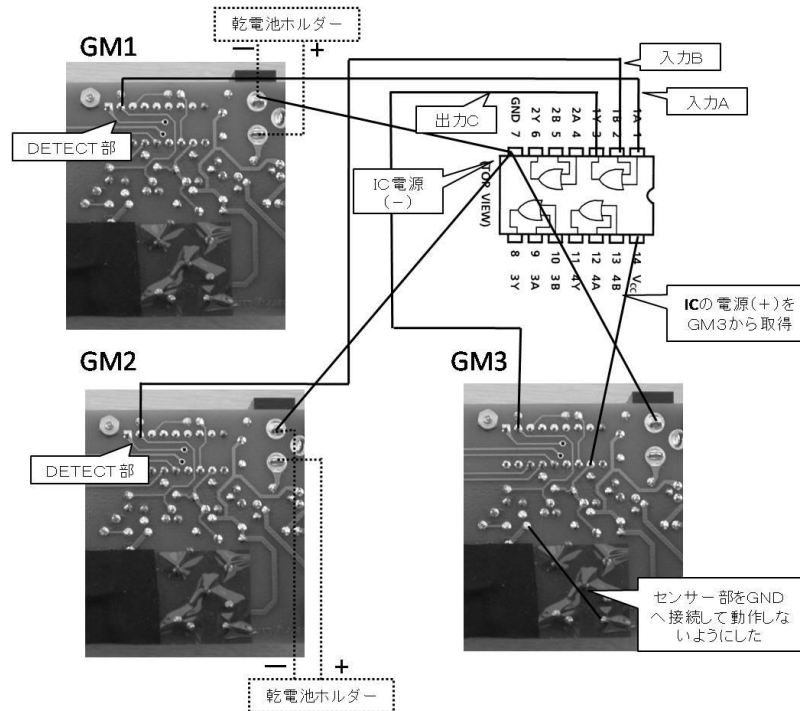


Fig.7 Schematic diagram of time coincidence circuit.

天頂角および方位依存性を測定するため、自在万力で装置を固定した。2 台の GM 管の間には 1 mm の鉛の遮蔽板を入れた。富士山において自作同時計数装置や Aware 社で販売している同時計数機器、そして地表において自作同時計数装置で測定した結果を示す。市販の同時計数機器と自作の同時計数装置ではほぼ同じ傾きで $\cos^2 \theta$ 則を満たし、富士山頂でミューオンの測定に成功したと考えられる。

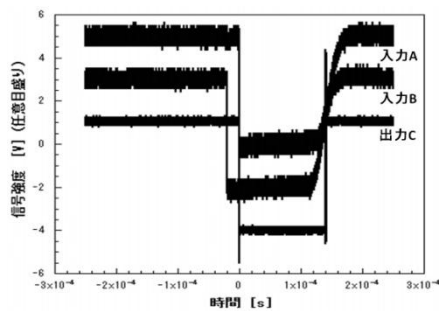


Fig.8 Signal of time coincidence circuit produced by 511 keV annihilation photon.

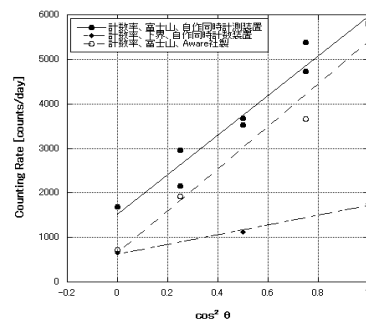


Fig.9 Comparison with two kinds of time coincidence equipment¹⁰⁾.

II. 重力の測定

1. はじめに

坪井忠二著「重力」(昭和 16 年)¹³⁾によれば、
『日本に於ける最初の重力測定は Ayrton, Perry が明治 11 年虎の門なる工部大学で行ったもので、

$$g = 979.74 \text{ [cm/s}^2\text{]}$$

と云う値を得ている。この測定に対しては Hersehel の攻撃的な批評があったが、又それに対する原著者の回答がある。

次いで明治 13 年には Mendenhall が当時の学生 田中館愛橘 氏ほか数名の助力を得て Borda の

振子によって東京及び富士山頂の重力を測定し

$$g(\text{東京}) = 979.84 [\text{cm/s}^2]$$

$$g(\text{富士山頂}) = 978.86 [\text{cm/s}^2]$$

を得た。……。何れも精度においては今日のものに及ばないから、茲には唯歴史的測定として記録するに止める。』という記述がある。富士山測候所開設以前の初期の富士山観測登山の歴史としても興味がある。専門外の高専生や教員が今手元にある汎用機器で重力の測定を試みたらどのようなになるか実際に行ってみた。

現在の専門家の重力測定データの桁数は自由落下の測定による直接測定法では約10桁、振り子を用いる間接測定では約9桁である。理科年表¹⁴⁾では、日本各地の重力実測値として8桁、万有引力と緯度効果を取り入れた遠心力を基に計算する正規重力値も8桁表示されている。

私たちが手元にある汎用の機器で測る場合、歴史的な Mendenhall, 田中館愛橘らの測定に近づけることができるかどうかの試験になる。Borda の振子の実験では、学生実験を静かな実験室で行っても、有効数字 4~5 桁出すのが精いっぱいであろう。ましてや富士山頂の旧測候所内の一画で高専の低学年のラジオ部員が短時間に測定することは不可能であろう。相対測定よりさらに簡便な方法で、重力加速度の大きさの高度及び緯度による変化を確認する実験を試みた。

2. 実験の方法

標準分銅の重さを電子天秤で測る。

使用した汎用電子天秤: A&D 社製, FX-1200i, 秤量 1220[g], 最小表示 0.01[g]

使用した標準分銅: 1000.000[g], $\pm 1.6[\text{mg}]$

電子天秤の表示値(単位[g])を読み取る。数値をそのまま重力単位系[g 重]の力(重力 W)とすれば、重力 $W = mg$ を各測定地点で読み取ることになる。電子天秤および標準分銅の校正場所を産業技術総合研究所のあるつくばと考え、つくばでの重力、重力加速度の大きさをそれぞれ、 W_0, g_0 とすれば、 $g = W/m$ (実際は、 $m=W_0/g_0=w/g$ より、 $g=g_0 \cdot (W/W_0)$)、で各測定地点の重力加速度の大きさ g が相対的に決められる。

3. 結果と考察

私たちの測定値(重量の実測値)を列記する。

地点	測定期日	重量[g]	重力加速度の 大きさ $[\text{g/cm}^2]$	重力加速度の 文献値 $[\text{g/cm}^2]$ ¹⁴⁾	重力加速度の文献値 よりのずれ $[\text{g/cm}^2]$
富士山頂	2010/08	999.87	979.82	978.8	1.02
御殿場	2010/08	1000.99	980.92		1.18 (shizuoka 規準)
shizuoka				979.74	
伊那市	2010/09	1000.65	980.59		0.82 (matsumoto 規準)
Matsumoto				979.77	
木曾 (太陽風観測所)	2010/09	1000.37	980.31		0.54 (matsumoto 規準)
札幌市 (北海道大学)	2010/12	1000.41	980.35	980.48	-0.13

測定を始めてから諸問題に遭遇した。温度、気圧、高度、周囲の密度、水平度、風(空気の流れ)による測定値の変化、および経時変化(ドリフト)、さらには、本質的な何を測っていることになるかの迷い等々である。坪井の「重力」解釈の間違いを藤本・友田らは述べている¹⁵⁾。真空中の光速だけでなく、物理定数は一般に値は1つである。ところが、重力加速度は場所ごとに異なる。さらに火山活動や地下のマグマの移動によっても値は変動するため時間変化もあり得る。私たちの方法では現時点で $1[\text{m/s}^2]$ の桁の測定が限度である。その範囲で、測定点の水平(南北方向)、鉛垂直方向の移動による重力加速の場所ごとの簡易測定ができることを確認できた。今後、上記、温度、気圧、高度、周囲の密度、水平度、風による測定値の変化及び経時変化(ドリフト)等の問題を把握し、総合的な測定精度の向上を検討する。

まとめ

2006年・2007年・2009年の各8月、私たちは日本最高峰の富士山において γ 線、ミュオン、重力の測定を行い、山のふもとより富士山頂の線量率が増加したことが分かった。一方、重力は減少した。さらに、地表および富士山頂におけるミュオン強度の天頂角 $\cos^2 \theta$ 依存性も確認できた。飛行機内、富士山における宇宙線の実際の測定を通して、二次宇宙線を学生でも簡便な機器で定量的に評価できること、宇宙を望遠鏡ではなくて放射線を通して見る楽しさを知った。また、場所による重力加速度の大きさの変化を電子天秤を用いる簡単な方法で測ることに挑戦した。

今後はミュオンの1日変動、太陽の自転周期との関係、東西効果の観測や3台のGM管の同時計数測定を試みる予定である。富士山頂の気圧は地表の約3分の2である。山頂では100℃以下でお湯が沸き、98℃を沸騰と認識するセンサー付きの電気ポットが保温に移行せず、貴重な水が蒸発したり、インスタントラーメンの芯が残る等、地表での実験環境と異なる点が多いため、普段当たり前のことが富士山ではそうではなくなる。その特殊性が、学生にとって自然現象と科学を考える理科研究の場に有効である。

謝辞

富士山頂実験の場を提供して頂いたNPO 富士山測候所を活用する会、はかるくんコンクールで丁寧な査読をして頂いた森千鶴夫先生、同時計数回路の特性評価でお世話になった金子純一先生、藤田文行先生、修士課程の坪田陽一君に御礼申し上げます。「高校生のための地域の原子力・エネルギー学習支援」や「原子力人材育成事業」で講師の派遣、見学会の実施、その他予算を頂いた文部科学省に深く感謝します。私たち学生のために遠路お越し頂き、興味深い講義をして下さった多くの先生方、見学や実習の機会を与えていただいた多くの事業所、学校、研究所の皆様にも感謝いたします。それら事業の実務を担当して下さった(株)三菱総研、(財)放射線文化振興財団の担当者の方々、「はかるくん」を貸して下さった(財)放射線計測協会、(財)日本科学技術振興財団担当者の方々にも感謝いたします。また重力の簡易測定のために、玄関や実験室をお貸しいただいた名古屋大学太陽風観測所に感謝いたします。

参考文献

- 1) ブルーノ・ロッシ著、小田稔訳 “物理学者ブルーノ・ロッシ自伝、X線天文学のパイオニア” (中央公論社、東京、1993)、Bruno Rossi, “Moments in the life of a scientist”(Cambridge University Press, New York, 1990)、Bruno Rossi, “Cosmic Rays”, McGraw-Hill, Inc. 1964.
- 2) 近藤健次郎, FB News, No.321 (2003) pp. 1-5.
- 3) 松本雅紀, 古川雅英他, RADIOISOTOPE (1995) pp. 33-34 .
- 4) 古川雅英, 月刊地球・号外 No.22 (1998) pp. 5-62.
- 5) 藤高和信, アイソトープニュース 5月号 (2006) pp. 7-11.
- 6) 村石浩他: <http://www.ahs.kitasato-u.ac.jp/~muraishi/download/H18-abst-miyajima.pdf> (2006).
- 7) 野口邦和, “山と空と放射線” (リベルタ出版, 東京, 1996).
- 8) J. F. Ziegler, IBM Journal of Research AND Development, 42[1] (1998) pp. 117-139.
- 9) 松沢孝男他, 身のまわりの放射線の測定の試行, 茨城高専研究彙報, 42号(2007) pp. 45-52.
- 10) 関根恵他, 「環境放射能」研究会 proceeding (2009) pp. 19-30、第22回放射線夏の学校(2010).
- 11) サマーチャレンジテキスト, 宇宙線を目で見よう:
http://ksc.kek.jp/2nd_2008/gaiyou/sc08/gaiyoufiles/02_text.pdf#search=2
- 12) ニコラス・ツルファニディス, 放射線計測の理論と演習(上), (現代工学社, 東京, 1986).
- 13) 坪井忠二, “重力” (岩波書店, 東京, 1941).
- 14) “理科年表”, (丸善, 東京).
- 15) 藤本博巳, 友田良文, “重力からみる地球”, (東京大学出版会, 東京, 2000)

*連絡先: 松澤孝男 (Takao MATSUZAWA), matsuzawa_2000@yahoo.co.jp

富士山頂短期滞在時の安静および運動時の 脳血流・心行動態に及ぼす影響に関する研究

岡崎和伸¹、浅野勝己²

1. 大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター、2. 筑波大学名誉教授

1. はじめに

我々は、2007～2009 年の3年間にわたる富士山頂短期滞在時の鍼灸施術の自律神経応答研究により、交感神経系亢進に起因する急性高山病の改善に、鍼灸刺激が副交感神経系亢進の作用として貢献している可能性を示唆した(浅野ら)。しかし、交感神経系亢進が急性高山病を発症および重症化する機序、また、鍼灸刺激が急性高山病を改善する機序については不明であった。急性高山病は頭痛を主訴とし、それは運動によって増悪することが知られている(Ward ら)。そこで、脳および活動筋の血行動態および酸素化動態に着目し、それらに及ぼす高所短期滞在、あるいは、鍼灸刺激の影響を明らかにすることとした。本年度は、高所短期滞在による交感神経系亢進が、安静時および運動後安静時の脳および活動筋の血行動態および酸素化動態に及ぼす影響について検討した。

2. 方法

1) 被験者: 被験者は成人男性 9 人とした。このうち 3 人については、平地(御殿場、標高:500m)、富士山頂(標高:3,776m)到着当日(1 日目)、および、滞在 2～3 日目の連続 4 日間の測定を行った。6 人については、富士山頂滞在時(山頂滞在 2～15 日目)1 回のみ測定を行った。

2) プロトコール: 仰臥位安静時および立位安静時の測定をそれぞれ 5 分間行った。その後、踏み台昇降運動を 3 分間行った後、仰臥位安静回復時の測定を 5 分間行った。踏み台昇降運動は、頻度 15 回/分、台高 30.5cm であり、推定酸素摂取量は $17.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ であった。

3) 測定項目: 心拍数(HR)、収縮期および拡張期血圧(SBP および DBP)、動脈血酸素飽和度(SpO_2)を 1 分ごとに測定した。また、左前頭部および右大腿(外側広筋)中央部の血行動態および酸素化動態を近赤外分光法(NIRS)によって連続測定し、組織酸素飽和度を示す組織酸素化指標(TOI)、および、組織血液量を示す組織ヘモグロビン指標(nTHI)を評価した。

3. 結果

HR は、御殿場に比べて 1 日目で上昇し、その後 2 日目、3 日目に微増する傾向を認めた。これらの結果は、高所短期滞在による交感神経系亢進を示唆する。 SpO_2 は、御殿場では測定期間中に約 95%を維持した。山頂滞在時には各時間において御殿場に比べて低下し、特に、運動 1 分後に顕著な低下を認めたが、滞在 1 日目に比べて 2 日目、3 日目に徐々に回復する傾向が認められた。図1A および B に示すように TOI は、前頭部および大腿中央部の両部位において、山頂滞在時には御殿場に比べて低下したが、滞在 1 日目に比べて 2 日目、3 日目に徐々に回復する傾向が認められた。特に、仰臥位安静回復時について着目すると、運動 1 分後に御殿場では立位安静時より高値を示したが、一方、山頂滞在時には立位安静時より低値を示した。図1D に示すように大腿中央部の nTHI は、御殿場では仰臥位安静時に比べて立位安静時に上昇するものの、仰臥位安静回復時には運動 1 分後に仰臥位安静時のレベルまで回復した。一方、山頂滞在時には御殿場に比べて高値を示したが、その傾向は立位安静時および仰臥位安静回復時において顕著であった。特に、仰臥位安静回復時について、山頂滞在時には運動 5 分後まで仰臥位安静時より高値を示した。図1C に示すように前頭部の nTHI は、御殿場では測定期間中に概ね一定の値を維持した。一方、山頂滞在時 1 日目および 2 日目では御殿場に比べて高値を示したが、3 日目では仰臥位および立位安静時には御殿場と同レベルまで回復した。しかし、3 日目においても、仰臥位安静回復時には御殿場に比べて高値を示した。

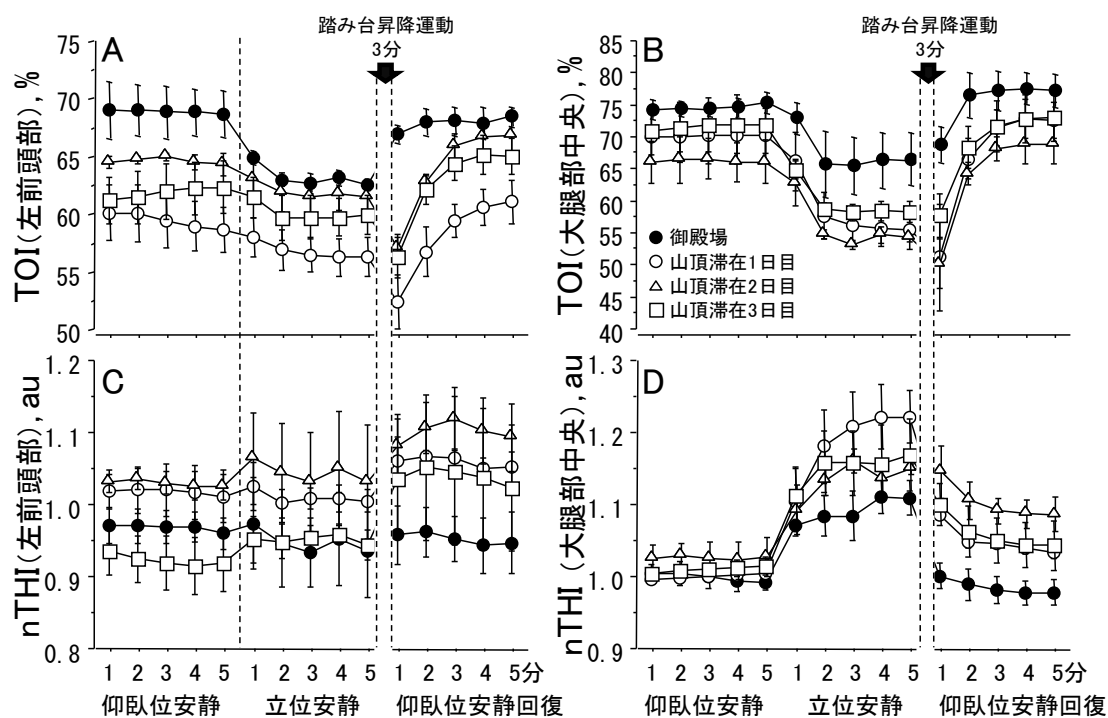


図1. 平地（御殿場）および富士山頂滞在1、2、3日目における仰臥位安静時、立位安静時、および運動後仰臥位安静時の左前頭部および右大腿部中央部の組織酸素化指標（TOI）および組織ヘモグロビン指標（nTHI）の応答

4. まとめ

本研究の結果は、交感神経系亢進によって増加した脳血流量あるいは脳血管拡張が頭痛や急性高山病の原因であることを示唆している。

参考文献

- 浅野勝己, 内藤 啓, 山本正嘉. (2009) 富士山頂短期滞在時の鍼施術の自律神経応答と急性高山病への効用に関する研究, 登山医学 29, 278-282
- Ward, M.P., Milledge, J.S., and West, J.B. (2000) High altitude medicine and physiology 3rd ed. Oxford University Press Inc., New York.

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

居住環境としての富士山測候所

村上祐資
東京大学

1. はじめに

2004 年に無人化された現在の富士山測候所は、2007 年より「NPO 法人富士山測候所を活用する会」が気象庁から夏季期間を借り受け、運営を行っている。特定の人員4名が三週間ごとに交代を繰り返しながら年間を通して維持運営を行ってきた 2004 年までの気象庁による有人観測期間と比較して、現在の測候所は三週間ごとに交代する常駐者3名(山頂班)と、それぞれの観測に応じて山頂へ上がってくる研究者0~12名が夏季の二ヶ月間のみ滞在する施設へと変化した。夏季期間の登山者数が30万人近い富士山ではあるが、富士山測候所は安全上の理由から関係者以外の立ち入りを制限しており、また測候所関係者自身も安全上、また一般登山者からの誤解を受けぬよう必要以上の外出を自粛しているのが現状である。すなわち富士山測候所の居住環境は、特殊な半閉鎖居住環境であるといえる。研究初年度である今夏は富士山測候所に約3週間滞在し、現在の富士山測候所の居住環境がどのようなものであるかを明らかにするためのフィージビリティスタディを行った。

2. 方法

富士山測候所にA期間:8月6日~16日(10日は7合目救護所に滞在)およびB期間:18日~27日に滞在し、主に自身を被験者としてA期間においては、食事摂取量、水分摂取量、排泄量の調査、アミラーゼ酵素分析によるストレス量変化、WinSCAT*による認知能力評価、定点カメラによる行動観察を行った。B期間においては、A期間で行った調査に加え活動量調査を行った。

* WinSCAT (Spaceflight Cognitive Assessment Tool for Windows): 米 Wyle Laboratories が開発した宇宙飛行士支援ツール。作業を要求されることによるストレスが仕事の能率に与える影響を評価する際に役立つ。

3. 結果と考察

富士山測候所の居住環境を評価するために様々なツールを用いてフィージビリティスタディを行い、それぞれの評価方法の有効性を検証した。評価方法自体には一定の有効性が確認することができたが、今後は N 値(被験者数)を増やしての検証が必要である。本年度は著者自身が被験者となって検証を行ったが、来年度以降は可能であれば他の研究者や山頂班のメンバーにも被験者としての協力をお願いできればと考えている。

参考文献

Jan Osburg, Walter Sipes, Edna Fiedler, (2003) The MEOW Experiment: Measuring Cognitive Performance of Planetary Analog Base Crewmembers, SAE 2003, 01-2539
Jan Osburg, Walter Sipes, (2004) Mars Analog Station Cognitive Testing (MASCOT): Results of First Field Season, SAE 2004, 01-2586

*連絡先:村上祐資(Yusuke MURAKAMI)、field.note@me.com

2010 年夏期観測を振り返って

鈴木耀夫、中山良夫
NPO法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

2010 年は気象庁からの「測候所庁舎の一部借受契約」の新たな3カ年(第2期)に入った最初の年である。3月末に気象庁からの借用が正式に決まり、過去3年間の実績の上に借用面積の大幅な増加、期間も9月初旬までと延長が認められることとなった(表1)。本稿では2010年の夏期観測研究について振り返るとともに、今年実施することが出来なかつたことを含め来年度の展望について述べる。

表1 富士山測候所の借受契約概要

契約期間	第 1 期契約			第 2 期契約		
年度	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
庁舎借受面積 (内冬期借受面積)	195.9 m ² (2.0 m ²)	344.6 m ² (10.3 m ²)		437.6 m ² (77.8 m ²)		
借受期間	7/1-8/31	7/1-8/31		7/1-9/10		
記事	1 号庁舎 4 合庁舎 仮設庁舎	2 合庁舎,3 号庁舎が追加		周辺土地(237.1 m ²)、測風塔が追加 冬期借受面積の拡大により通年観測の基盤		

2. 設営

(1) 庁舎・送電施設

- 電気設備については、昨年9月に、気象庁時代から使われていたトランスがPCB使用のため撤去され、30KVAトランスへの更新は当NPOが本年の山頂庁舎開所直前に実施したほか、春先の倒木により折損した電柱の修繕なども行い、昨年を上回る出費を要した。
- 建物設備については、暴風雨の日は1号庁舎の1階では雨漏りするなど、老朽化が進行しており昨半夏に発生した生活用水の貯水槽の亀裂を含め、できるだけ早期の修繕対策が望まれる。

(2) 機材運搬

重厚長大な観測機材の山頂への運搬はブルに依存しているが、登山客の安全性確保のために週末や8月の登山ピーク時は運行が制限されることを踏まえた荷上げ日程の設定が望まれる。また、撤収時の機材の過重搭載、搭載荷物の管理などの問題については、今後相互に話し合う必要がある。

(3) 安全管理・連絡体制

- 開所を間近に控えた5月末においても新たな研究資金の確保が見えなかつたこともあり、観測研究の支援体制は極力省力化をはかることとなった。特に御殿場基地班の機能は見直しを行い、登山計画、登下山の連絡、ブル運搬日程、測候所の利用予約などのオペレーションを東京事務所一元化することで対応した。この結果、情報の二重管理による混乱は解消した一方で、研究者、山頂班、ブル運搬会社等との連絡を含む東京事務所へのオペレーションの過度の集中が課題として残った。
- ケガ・病気面では、研究者には安全管理マニュアルを配付し徹底をはかったが、新規参加者については一層の徹底をはかる必要がある。常備した頭痛薬等の薬品は相当数量が使用されたが、同様に山頂に配備した酸素ボンベ、AEDについては幸い使用する事態には至らなかつた。
- 梅雨明け前の7月上旬から中旬の天候は不順で暴風雨の中での開所となったが、安全面ではブルの運行決定の判断、山頂の気候について研究者に伝えるタイミング・手段などは課題である。

(4) 環境保全

- 山頂のし尿・ゴミの処理は、昨年までは御殿場基地班がレンタカーを使用して御殿場市のゴミ処理場へ運搬していたが、御殿場基地の運営体制の見直しにあわせ、御殿場市役所とも相談のうえ部外能力を活用し、シーズン中5回の処理作業を問題なく実施することができた。
- 昨年までは原状変更については文化庁へ申請し許可を受けていたが、本年より静岡県教育委員会に権限委譲され、申請手続きの簡素化と期間短縮につながった。

(5) 情報発信

- 夏期観測に先立ち情報発信手段としてのHPを3月にリニューアルし、増大するコンテンツに対応を可能としたほか、事務局ブログ、会員限定ページの新設などにより情報発信機能の増強をはかった。

- 放射線医学総合研究所の無線 LAN は山頂班と事務局間でのデータ通信に活用させていただいた。また、研究グループ、設営グループおよび関係者による ML を作成し情報を共有化したことは円滑な運営に寄与するところが大であった。

3. 観測研究

(1) 参加規模

2010 年の夏期に山頂を利用した活動は 18 グループ、467 名で、学術科学委員会で審査した研究活動 14 件、登山教育・活用委員会で審査した活用 4 件であった。2007 年以降の測候所利活用は、表 2 に示すように利用研究者は年々増加傾向にある。また、利用者の研究分野についても従来までの研究分野に加え、新たな活用の動きも出始めており、質的にも量的にもその利用価値は高まってきている。

表 2 富士山測候所の夏期観測研究参加人員

契約期間	第 1 期契約			第 2 期契約		
年度	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
グループ数	9 グループ	13 グループ	22 グループ	21 グループ		
延べ参加人員	210 人	379 人	424 人	467 人		
観測研究期間 (日数)	7/10-8/31 (53 日)	7/10-8/31 (53 日)	7/10-8/30 (52 日)	7/12-8/30 (50 日)		

(2) 観測研究のトピックス

観測研究は IT 技術の活用などにより年々進化を遂げているが、2010 年における特筆すべき事項を図 1 に記載する。

- カーボンオフセット年賀給付金 2010 年度配分事業に採用され、「温室効果ガス通年観測施設とするためのクリーンエネルギー使用インフラ構築事業」の研究が開始された。
- 新技術振興渡辺記念会からの受託研究「富士山における東アジア越境オキシダント監視システム構築」研究は 3 年目を迎え、産総研・兼保主任研究員らの太陽光発電を用いた独立電源によるオキシダントの測定試験が 35 日間にわたって行われた。
- 国立環境研グループによるバッテリー(100 個)を使用した二酸化炭素の通年観測が成功裏に継続され、装置更新や通信手段の変更(Orbcomm 衛星から Iridium 衛星)がおこなわれた。
- 放医研・保田浩志グループによる無線 LAN 通信が可能になり、観測期間中の大容量のパソコン通信、インターネット通信などが可能になり、またバッテリーによる宇宙線の通年観測がスタートした。
- 首都大学・加藤俊吾准教授、産総研・兼保直樹主任研究員による、無線 LAN でリモート取得した観測データ速報値のホームページからのセミリアルタイム発信が行われ、海外からの接続も確認された。
- 各種採取装置を用いたエアロゾルおよび微量気体に関する研究、大気中水銀濃度の研究、降水と霧の化学成分の研究なども継続され多くの新しい知見が得られた。
- 鹿屋体育大学の山本正嘉教授による高所医学研究は 4 年目に入り、今年では中高年登山者(元気象庁職員ら)を対象に行われた。
- 東京大学大学院生・村上祐資氏による、居住環境に関する 3 週間の滞在研究、(株)MTS 雪氷研による雨量計の性能試験など新しい活用が行われた。

図 1 2010 年夏期観測研究のトピックス

4. おわりに

はじめに述べたように設営に用いる経費を主として競争的な研究基金に頼っているため、研究者の滞在や宿泊の希望、研究補助などの要望に充分に対応できていないのが現状である。しかし、6 月に郵便事業株式会社のカーボンオフセット事業の交付が決定、9 月になり三井物産環境基金に 2010 年 10 月から今後 3 カ年の研究計画が採択されたことなどにより、来年度以降の設営の目途が立ったこともあり、今年度実施できなかった 9 月初旬までの山頂研究利用をぜひとも実現させたい。また、御殿場基地の充実や地元との連携も今後の課題として取り組んでゆきたい。なお、通年観測の拡大に向けた山頂運営を実現するためには、更に安定的な資金を確保する努力が必要で依然として当 NPO の課題である。

*連絡先: 鈴木輝夫(Akio SUZUKI)、npofuji3776@yahoo.co.jp