

第5回成果報告会

2007年-2011年、富士山頂で行われた活動の成果

講演予稿集

2012年1月29日(日)

東京大学小柴ホール

NPO法人富士山測候所を活用する会

第5回成果報告会

13:05-16:45 口頭セッション

13:05-14:20

[大気化学]

座長:加藤俊吾(首都大学東京)

- O-1 富士山頂での4年間の黒色炭素粒子測定でわかったこと、わからなかったこと……………4
兼保直樹(独立行政法人産業技術総合研究所)
- O-2 エアロゾルの新粒子生成、成長と雲凝結核に関する研究……………6
三浦和彦, 上田紗也子, 永野勝裕, 速水 洋(東京理科大学), 小林拓(山梨大学),
藤田慎一(電力中央研究所), 加藤俊吾(首都大学東京), 村山利幸(東京海洋大学),
植松光夫(東京大学大気海洋研究所)
- O-3 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
(*)新技術振興渡辺記念会受託事業)……………10
土器屋由紀子, 兼保直己, 加藤俊吾, 保田浩志, 鴨川 仁, 畠山史郎(富士山測候
所を活用する会), 佐々木一哉, 安本 勝(東京大学)
- O-4 富士山頂で採取した降水の水銀濃度からみた自由対流圏における水銀沈着……………13
永淵修, 菱田尚子, 木下 弾, 西田友規, 三宅隆之, 尾坂兼一(滋賀県立大学環境
科学部環境生態学科)
- O-5 CO2 通年観測の本格運用の開始とこれまでのデータの特徴……………14
須永温子, 向井人史, 寺尾有希夫, 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)

14:45-15:15

[高所医学]

座長:堀井昌子(神奈川県予防医学協会)

- O-6 富士山頂における歩行バランスの評価……………18
井出里香(東京都立大塚病院), 五島史行(日野市立病院耳鼻咽喉科), 堀井昌子
(神奈川県予防医学協会), 上小牧 憲寛(国際医療福祉大学病院 循環器内科)
- O-7 運動生理学から見た富士登山時の身体ストレスとその有効活用
一般登山者, 高所登山者, スポーツ選手にとってのストレスの意味……………20
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), 笹子悠歩(鹿屋
体育大学大学院)

15:15-16:00

[宇宙線]

座長:三浦和彦(東京理科大学)

- O-8 乗務員の被ばく管理を目的とした富士山頂における宇宙線の連続観測……………22
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-9 富士山山頂における大気電気観測および超高層大気観測……………24
鴨川仁(東京学芸大学物理学科), 鳥居建男(日本原子力研究開発機構), 保田浩志
(放射線医学総合研究所), 三浦和彦(東京理科大学物理学科)
- O-10 富士山測候所雷対策適用上の調査と対策方法……………26
安本 勝, 佐々木一哉, 高橋浩之(東京大学), 中村安良(茨城県立土浦工高),
大胡田智寿, 土器屋由紀子(富士山測候所を活用する会)

16:00-16:45

[教育・その他]

座長:鴨川 仁(東京学芸大学)

- O-11 小・中学生の富士登山……………36
堀井昌子, 増山 茂(富士山測候所を活用する会), 山本宗彦(川口市立仲町中学校),
志賀尚子(日本医科大学附属多摩永山病院), 原田智紀(日本大学医学部機能形態
学)
- O-12 富士山頂実験室……………40
佐藤 元(一般社団法人日本気象予報士会 気象実験クラブ)
- O-13 富士山測候所の居住環境～音と空間……………45
村上祐資(東京大学大学院工学系研究科), 平本正宏(TeknaTOKYO)

16:45-17:15 ポスターセッション

- P-1 地球大気環境保全に向けた富士山測候所の戦略的活用計画:「東アジア高所大気化学観測拠点」としての富士山測候所の再生 (*三井物産環境基金助成事業).....47
 畠山史郎(富士山測候所を活用する会)
- P-2 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.....49
 大河内博, 緒方裕子, 香村一夫(早稲田大学), 皆已幸也(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), 竹内政樹(徳島大学)
- P-3 富士山における有機エアロゾルの研究.....50
 河村公隆, 藤原真太郎, 関 宰, 宮崎雄三(北海道大学低温科学研究所)
- P-4 富士山頂における雲凝結核の測定.....52
 長谷川朋子, 三浦和彦(東京理科大学)
- P-5 富士山頂における夏季のオゾン・一酸化炭素の測定結果比較.....54
 加藤俊吾, Jeeranut Suthawaree, 梶井克純(首都大学東京都市環境学部)
- P-6 富士山頂における粒子状・ガス状水銀の動態.....55
 木下 弾, 永淵 修, 西田有規, 三宅隆之, 尾坂兼一(滋賀県立大学環境科学部), 川上智規(富山県立大学工学部環境工学科), 横田久里子(豊橋技術科学大学)
- P-7 福島原発事故の影響は富士山で見えたか?.....56
 鴨川 仁(東京学芸大学), 大河内博(早稲田大学), 保田浩志(放射線医学総合研究所), 鳥居建男(日本原子力研究開発機構), 土井妙子(国立環境研究所), 久米 恭(若狭湾エネルギー研究センター), 永淵 修(滋賀県立大学), 横山明彦(金沢大学), 緒方裕子, 田原大祐, 米山直樹(早稲田大学), 土器屋由紀子(富士山測候所を活用する会)
- P-8 富士山山頂における雷雲発生時における高エネルギー放射線の観測.....58
 片倉 翔, 鴨川 仁(東京学芸大学物理学科), 鳥居建男, 杉田武志(日本原子力研究開発機構), 保田浩志(放射線医学総合研究所), 楠研一(気象庁気象研究所)
- P-9 富士山における地方時型晴天時大気電気変動の観測.....60
 阪井陸真, 鴨川 仁(東京学芸大学), 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), 大河内博(早稲田大学理工学術院)
- P-10 簡易放射線測定器「はかるくん」を用いた富士山における自然放射線測定.....64
 大洞行星, 鈴木裕子, 鴨川 仁(東京学芸大学物理学科)
- P-11 富士山山頂における電磁波観測.....65
 鈴木裕子, 稲崎弘次, 鴨川 仁(東京学芸大学物理学科), 藤原博伸(女子聖学院高校)
- P-12 高濃度酸素溶存水が低酸素症へ及ぼす効果.....66
 野口いづみ, 新美敬太, 笹尾真実(鶴見大学歯学部麻酔学教室)
- P-13 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(大阪市立大学), 浅野勝己(筑波大学名誉教授), 赤澤暢彦(筑波大学大学院).....67
- P-14 富士山における永久凍土の直接観測開始.....68
 池田 敦(信州大学山岳科学総合研究所), 岩花 剛(北海道大学), 末吉哲雄(海洋開発研究機構)

<特別講演>

17:15 「富士山頂生活12年」 小岩井大輔(富士山写真家)

おもて表紙写真(小岩井大輔氏撮影)	御来光を待つ登山者(成就岳)
う ら 表紙写真(小岩井大輔氏撮影)	白山岳から空を見上げる

富士山頂での4年間の黒色炭素粒子測定でわかったこと、わからなかったこと

兼保直樹¹

1. 独立行政法人 産業技術総合研究所

1. はじめに

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、2007～2010年に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、その経時的な挙動の特徴の把握や発生源の分別を試みてきた。また、2011年には補足的なデータを得るため、二酸化炭素のフラスコサンプリングにより、その炭素同位体の観測も実施した。そのなかで、わかってきたこと、依然として解明できていないことについてまとめる。

2. エアロゾル中の炭素系粒子の観測

2007, 2008, 2010年の夏季、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 μm 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。Fig.1 にみられるように、各年とも大気境界層内の汚染物質の熱的な上方輸送による大きな日周変動が記録されている。これは、少なくとも盛夏期の昼間に関しては、富士山頂といえども大気境界層の影響をほとんど受けない自由対流圏状態にある(Tsutsumi *et al.*, 1994)とはいえないことを明確に示している。

しかし、2007年は夜間に濃度が低下した際のベース濃度が高い状況が多く、ローカルな汚染のみによるものではない場合があると考えられる。荒天が多かった2009年には、特に7月中および8月中旬に低濃度の日が続いた。夜間に濃度が下がりきらない傾向は2010年にも比較的多くみられた。各年の観測期間の平均濃度 gn/m^3 は

2007年	2009年	2010年
135	52	103

である。

夜間に濃度が下がりきらない状況での光吸収物質の実体は一体何であるのか。

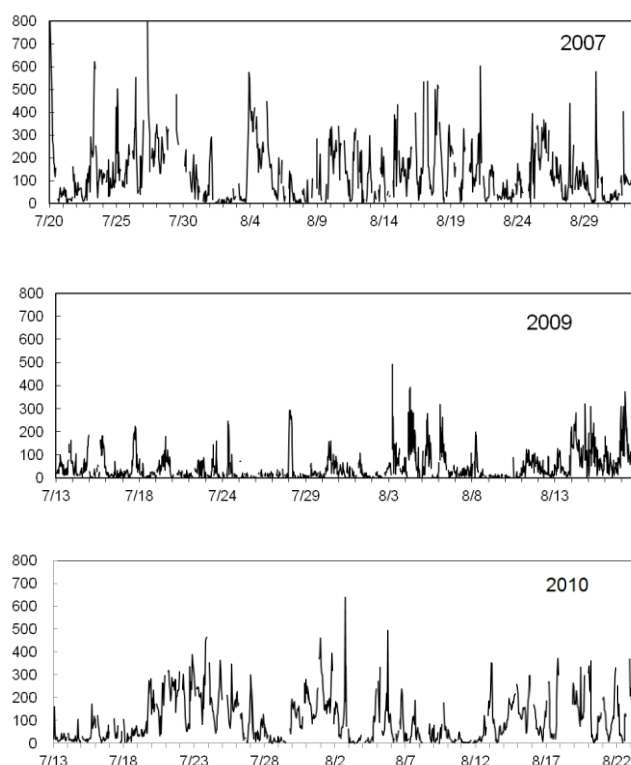


Fig.1 夏季期間の富士山頂における、空気力学径 2 μm 以下の大気エアロゾル中の black carbon (BC)濃度の時系列(上段:2007年, 中段:2009年, 下段:2010年)。

光吸収係数の波長依存性である光吸収の Ångström 指数 α_a (兼保・五十嵐, 2007) の時系列を 2007 年と 2010 年で比較したところ、2010 年では 8 月の上旬から中旬にかけて明確に $\alpha_a > 1$ の期間がみられ、その前後の期間と比べて質的に異なった光吸収物質があったことがわかる。しかし、2007 年のデータでは明確に異なる物質が優勢であった期間はみられなかった。夜間に濃度が下がりきらない状況での光吸収物質の特性は概ね $\alpha_a \approx 1$ であり、ディーゼル等からの煤粒子であることを示唆している。すなわち、夏季にもかかわらず対流圏高度での長周期の濃度上昇をもたらしているのは、自然起源物質ではなく人為起源の光吸収物質であると考えられる。しかし猛暑年であった 2010 年の 8 月の上旬から中旬にかけての $\alpha_a > 1$ の期間は、太平洋高気圧が優勢な比較的静穏な状況下であり、土壌系粒子の長距離輸送が起こる可能性は少ないと考えられる。これが Kaneyasu et al.(2007)でみられたバイオマス燃焼系の物質の特性であるとするなら、アジア・バックグラウンドの一つの典型を捉えていた可能性もある。なお、2007 年の結果は、兼保・五十嵐(2007)での 2006 年夏季の結果とは異なる。この違いは、2006 年夏季の夜間の濃度低下時のデータは、ベース濃度が非常に検出限界近くまで下がった場合をみていたためと考えられる。

2. 2010 年のエアロゾル大量捕集観測

50%分離径 2 μm 以下の大気エアロゾルをハイボリューム・エアサンプラにより昼夜別に大量捕集を実施した。このなかの炭素系粒子について生源情報を得るため、 ^{13}C を分析している。この結果については当日発表する。

3. 2011 年 8 月下旬の CO_2 フラスコサンプリングによる炭素安定同位体測定

夜間および昼間での山頂での大気中の CO_2 に含まれる炭素安定同位体の測定を 2011 年 8 月 22~24 日にかけて実施した。しかし、荒天のため大気の鉛直混合が激しい状態となったためか、得られたデータに昼夜で有意な傾向は現れなかった。

4. まとめ

観測は夏季に限定されるという厳しい条件のなかで、アジア太平洋岸における光吸収性エアロゾル自由対流圏バックグラウンドの状況を明らかにしようとしてきた。連続測定器による光吸収特性データ取得では興味ある事象が浮かびあがってきているが、物質の直接捕集によるケミカルな測定による判別は、悪天に阻まれてなかなか思うようには進行していない。しかし、硫黄の安定同位体比など新たな視点を導入していくことも含め、今後の観測によりアジア太平洋岸における物質の輸送の状況を明らかにしていきたいと考えている。

参考文献

- Tsutsumi, Y., Zaizen, Y., Makino, Y. (1994) Tropospheric ozone measurement at the top of Mt. Fuji. *Geophys. Res. Lett.* 21, 1727-1730
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

エアロゾルの新粒子生成、成長と雲凝結核に関する研究

三浦和彦¹、上田紗也子¹、永野勝裕²、小林 拓³、藤田慎一⁴、速水 洋^{1,4}、
加藤俊吾⁵、村山利幸⁶、植松光夫⁷

1. 東京理科大学理学部、2. 東京理科大学理工学部、3. 山梨大学、4. 電力中央研究所
5. 首都大学東京、6. 東京海洋大学、7. 東京大学大気海洋研究所

1. はじめに

エアロゾル粒子は雲凝結核となるので、雲の放射特性を変えることで気候変化に影響する。基礎生産性の高い海域から放出される生物起源気体は、海洋エアロゾル粒子の重要な起源である。粒子数が増加することにより、雲は大気への放射強制力を増し、温暖化を抑制するという仮説(Charlson *et al.*, 1987)が提唱されている。しかし、大気境界層内には海塩粒子が存在するので新粒子生成は起こりにくく、海面付近でナノ粒子の増加を観測した例は少ない。そして、それらも自由対流圏で生成したものが高気圧下で沈降したものであろうと考えられている(Covert *et al.*, 1996)。富士山山頂は年間を通して自由対流圏内に位置することが多い。そこで、新粒子生成のメカニズムを調べるために、2006 年から夏季だけではあるが、山頂と太郎坊においてサブミクロン粒子の粒径分布を測定してきた。ここでは 6 年間の観測の概要と主な成果について報告する。なお、雲凝結核に関しては別に報告する(長谷川・三浦、2011)。

2. 方法

富士山測候所(標高 3776m)と山麓の太郎坊(標高 1300m)において、2006 年～2011 年夏季に観測を実施した。観測期間と測定要素を表1に示す。外気を拡散ドライヤーで 20%以下に乾燥させ、走査型移動度分析器(SMPS)と光散乱式粒子計数器(OPC)を用いて 4.4～5000nm にわたる粒径分布を測定した。測定したエアマスの発生源を推定するためのトレーサーとしてラドン、オゾン、一酸化炭素、NOX を測定した。ラドンは、フィルターに捕集したエアロゾルから放射する α 線を計数し、放射平衡を仮定して求めた。オゾン、一酸化炭素はそれぞれ、Thermo Environment Model 48C, 49C を用いて測定した。

表1 観測期間と測定要素

山頂連続観測								
	期間	粒径分布	ラドン	オゾン	CO	イオン	雲凝結核	備考
2006	7.15~ 8.28	SMPS, KR12		○	○			7.8合、菊屋と同時観測
2007	7.26~ 9.2	SMPS, KR12	○	○	○			7.8合、菊屋と同時観測
2008	7.19~ 8.25	SMPS, KR12	○	○	○			インパクター
2009	7.17~ 8.25	SMPS, KR12	○	○	○			インパクター
2010	7.17~ 8.25	SMPS, KR12	○	○	○	○	○	インパクター
2011	7.14~ 8.24	SMPS, KR12	○	○	○	○	○	インパクター
太郎坊連続観測								
	期間	粒径分布	ラドン	オゾン	NOX	イオン	雲凝結核	備考
2005	7.12~ 7.19	SMPS, KC18, KC01						インパクター
2006	7.15~ 8.28	SMPS, KC01		○	○			インパクター、シーロメータ、コンテナ
2007	7.6~ 9.8	SMPS, KC01		○	○			インパクター、シーロメータ、コンテナ
2008	7.19~ 8.25	SMPS, KC01	○	○				インパクター
2009	7.17~ 8.25	SMPS, KC01	○	○				インパクター
2010	7.17~ 8.25	SMPS, KC01	○	○				インパクター
2011	8.2~ 8.25	SMPS, KC18, KC01	○	○	○	○	○	インパクター、シーロメータ、コンテナ
太郎坊鉛直分布集中観測								
	期間	係留気球				ゾンデ	パイバル	備考
2005	7.15~ 7.17	KR12,CPC,インパクター、ゾンデ				○		徒歩観測(太郎坊~ 宝永山)
2006	7.25~ 7.26					○	○	菊屋と同時観測
2007	8.6~ 8.8					○		菊屋と同時観測
2011	8.20~ 8.22	KR12,インパクター、オンドトリ				○		徒歩観測(山頂~ 太郎坊)

2010 年から、小イオン濃度(コムシステム COM-3400)と雲凝結核濃度(DMT, CCN-100)を測定した。また、インパクターで捕集した個別粒子を TEM/EDX を用いて形態観察・元素分析を行った。また、鉛直構造を調べるため、2005 年と 2011 年に係留気球観測、2005～2007 年、2011 年にゾンデ観測を行った。

3. 新粒子生成

図1に例として2006年の結果を示す。図1上が山頂において SMPS で測定した粒径分布、図1下が計測粒径範囲の総濃度である。濃度を見ると、ときどきスパイク状のローカルな発生源の影響があるものの、おおむね、日中高濃度となる日変化のパターンが見られる。降水時(8月8日)に急激な減少が見られる。8月9日、10日は11時頃 10nm 程にピークが現れ、日中成長している様子が見られる。一方、体積分布の変化をみるとほぼ一定の値を維持していることから、これらの成長は凝集効果であると思われる。すなわちこの現象は比較的広範囲に起きており、ローカルな現象ではないことがわかる。高度 1300m の太郎坊ではこのような微小粒子のピークは観測されず、山頂で観測されたピークは自由対流圏で生成した新粒子を捉えた可能性がある。また、9日は台風通過後にこの現象が観測された。天気図と流跡線解析の結果を見ると、台風により上空に輸送された生物起源の気体が粒子化したものとも考えることもできる。

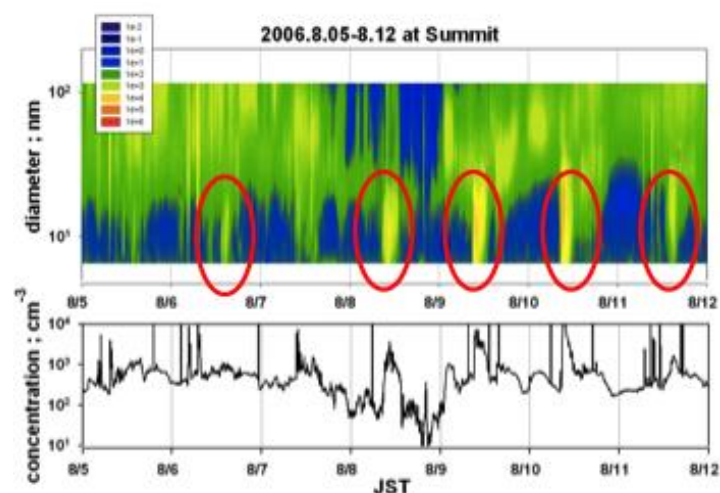


図1 富士山頂における粒径分布の測定例

このようなイベントは2006年～2011年の夏季157日間の測定観測中94回観測された(表2)。また日中29回、夜間65回と日中より夜間に多かった。そのほとんどが太郎坊では観測されなかったことから、下層から輸送されたものではなく、自由対流圏で生成されたものが夜間沈降して来たものと思われる。この現象はユングフラウヨッホなどでは見られず、富士山固有のものである。

表2 ナノ粒子の高濃度イベントの回数

	日中	夜間	合計	観測日	割合 (%)
2006	12	5	17	28	60.7
2007	4	17	21	27	77.8
2008	3	11	14	20	70.0
2009	4	12	16	30	53.3
2010	2	11	13	26	50.0
2011	4	9	13	26	50.0
合計	29	65	94	157	59.9

20nm以下にピークが3時間以上測定された回数

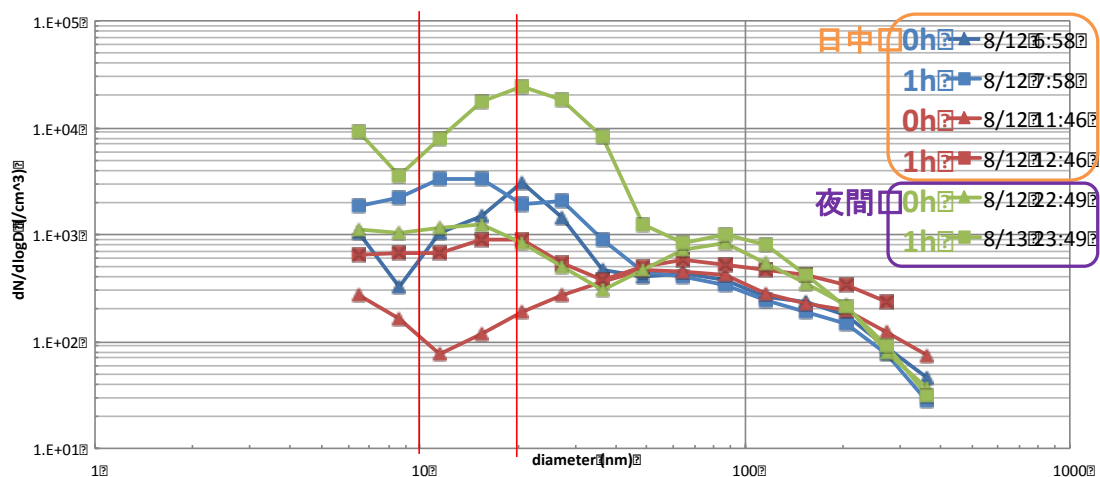


図2 日中及び夜間の新粒子イベント時の粒径分布の変化(玉木、2012)

図2に日中と夜間におきた新粒子イベント時の粒径分布の変化を示す。日中は 20nm 以下の粒子の増加が著しいのに対して夜間は 10~50nm の粒子の増加が著しい。すなわち、日中生成された粒子が時間をかけて山頂に輸送されてきたものと考えられる。

新粒子生成の発生源として、大陸からの輸送、大気境界層からの流入、上空からの沈降のほかに、山小屋などからのローカルな汚染が考えられるが、3 時間以上継続するイベントを抽出したので、ローカルな汚染は無視できると思われる(図3)。3つのエアマスのトレーサーとして、ラドン(大陸、境界層)、オゾン(大陸、境界層、上空)、一酸化炭素(大陸、境界層)濃度を参考にした。化学天気予報図の硫酸塩の飛来予測、天気図、地上風向をもとにエアマスの起源を推定すると、2010 年と 2011 年のイベント 26 回中、大陸起源が 9 回、日本近傍が 9 回、海洋起源が 8 回と推定された。イベント前の粒子数濃度は、海洋起源の方が低かった。海洋生物起源の新粒子生成の明らかな証拠はみられなかったが、海洋起源のときに、イベント前の粒子数濃度が低く、継続時間も長いことから、その可能性が示された。

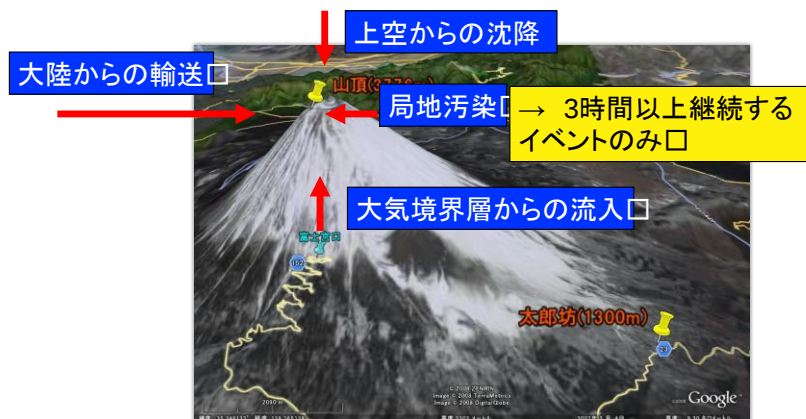


図3 発生源の推定

4. 小イオン

近年、宇宙線強度と雲量の間に関連があることが指摘されたが、その原因としてイオン誘発核による粒子生成が考えられる(Svensmark and Friis-Christensen, 1997)。イオン誘発核生成は、既存粒子が少なく、小イオン濃度が高い環境で起こると予想されるが、定量的な報告は少ない。そこで、富士山山頂において、ラドン濃度、宇宙線強度と同時に小イオン濃度を始めた。

図4に2011年に山頂と太郎坊で測定した小イオン濃度(限界移動度 $0.63 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)の各時刻のデータを平均した日変化を示す。太郎坊の日変化は日中低く、夜間から明け方にかけて高濃度となる。これは都市の日変化パターンと同じで、日中、粒子濃度が増加し小イオンがエアロゾル粒子に付着するためであ

る。一方、山頂では夜間低く、日中高い。この原因は良くわかっていない。イオン濃度の増加と新粒子イベントとの関連性は2011年8月14日から15日の深夜に1度のみ見られた。この時、CO濃度に比べてO₃濃度が高く空気の混合比が低くなったことから、成層圏のエアマスが降下してきた可能性がある。また既存粒子濃度が低かったことも要因の一つと思われる。

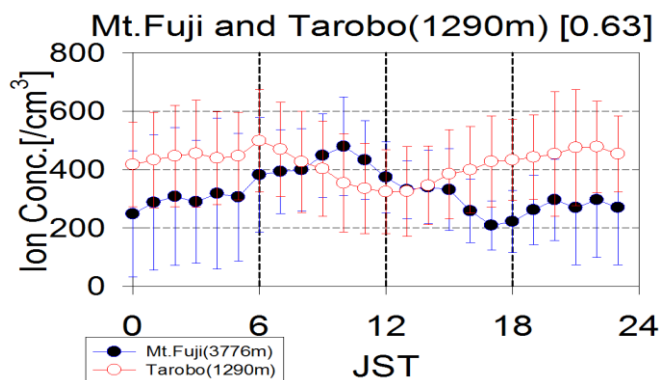


図4 富士山頂および太郎坊で測定した小イオン濃度の日変化(長岡、2012)

5. ゾンデ観測と係留気球観測

鉛直構造を調査するために、ゾンデ観測と係留気球観測を行った。ゾンデで測定した山頂と同じ高さの自由空間の気温を山頂の気温と比べると、日中はほぼ同じ値を示すが夜間は山頂の気温が下がることが何度かあった(五十嵐、2008)。このとき、雲がなかったことから放射冷却により山頂の気温が下がったことが考えられた。2011年は山頂が雲に覆われている時のデータを取得することができた。この時は、両者の値に明白な違いは見られなかった。

6. おわりに

山頂において20nm以下の粒子が高濃度となる新粒子イベントは約2日に1回観測される。そのイベントは日中より夜間に多い。この現象は富士山固有のものであり、その原因はまだ良くわからないが、日中生成された粒子が時間をかけて輸送された場合や、上空から下降した可能性も考えられる。今後、他の要素との比較、シミュレーションにより原因を究明する。また、イオン誘発核生成、雲凝結核との関連について検討する。

謝辞

2006年の観測は、気象庁の施設を使用させて頂いた。2007～2011年の観測は、NPO法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。この間、多くの山頂班員、研究者、学生のお世話になった。記して感謝する。本研究の一部は科研費基盤研究 A(17201007)(代表五十嵐康人、2005-2007年度)、東京理科大学特定研究助成金共同研究(代表三浦和彦、2008・2011年度)、日本郵便平成21年度年賀寄付金配分事業(代表大河内博、2009年度)、科研費基盤研究 C(22510019)(代表三浦和彦、2010-2012年度)、東京理科大学総合研究機構山岳大気研究部門2011年度活動経費・活動補助費の助成により行われた。

参考文献

- Charlson *et al.*, *Nature*, **326**, 655, 1987. / Covert *et al.*, *J. Geophys. Res.*, **101**, 6919, 1996.
 Svensmark and Friis-Christensen, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* **59**, 1225-1232, 1997.
 五十嵐康人、基盤研究 A 研究成果報告書、2008. / 玉木麻子、東京理科大学卒業論文、2012.
 長岡信頼、東京理科大学卒業論文、2012. / 長谷川朋子・三浦和彦、第5回成果報告会、2011.

*連絡先: 三浦和彦(Kazuhiko MIURA)、miura@rs.kagu.tus.ac.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 (新技術振興渡辺記念会受託事業)

土器屋由紀子¹、佐々木一哉²、安本 勝²、兼保直樹¹、加藤俊吾¹、保田浩志¹、鴨川 仁¹、畠山史郎¹

1. NPO 法人富士山観測所を活用する会、2. 東京大学

1. はじめに

昨年度の報告会で2008－2010年の受託研究のまとめを報告した。2009年の世界的な不況などがあり、当初の計画は縮小を余儀なくされたが、研究者の自助努力で着実成果を上げている実績が認められ、やり残した部分の完成のためにもう一年の特別延長が認められた。その結果、当初の目的、山頂における、非汚染代替電源の目処が立ち、避雷対策の有効な方策が提案された(安本他、本研究会報告)。また、小規模ではあるが、太陽光発電の通年観測へ向けての調査をスタートさせている。国際ネットワーク観測もヨーロッパの研究グループとの連携がはじまっている。加えて、これまでの経過をまとめた一般書(土器屋由紀子、佐々木一哉編著、成山堂)の作成計画も進行している。

ここでは国際ネットワークの経緯を中心に報告する。

2. 国際ネットワーク観測に関する2010年までの研究の経緯

近年、我が国における光化学オキシダント注意報の発令回数が増加する傾向にある。工業化が著しい東アジア諸国の風下にあるわが国は、かつて欧米が経験した越境汚染の危機に直面している。したがって、東アジアに広がる大気汚染物質の動向を諸外国と協力して共同で監視することは、我が国の環境保全においてきわめて重要である。周辺に汚染源がなく切り立った孤峰である富士山頂は、年間を通してほとんどの時間自由対流圏の条件を満たし、これらの汚染物質の大陸間長距離輸送を検知するために最適な場所である。

このような背景を踏まえて本研究では、富士山のほかに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を検討している。

2010年までに、各研究施設のオキシダント測定の実情を表にまとめた。また、相互比較を行うための夫々のホームページへの公開をめざし、その方法の検証、海外拠点との間のデータ公開方式の決定、富士山観測所で取得したデータの配信と海外観測基地によるデータの取得・共有、およびデータ交換時の問題点の抽出ができた。

3. 国際ネットワークの増強について

2010年6月にスイスインターラーケンで行われた、第1回「山岳における大気化学・物理」国際シンポジウムにおいて、NPO から参加した多くの研究者に呼応して「富士山観測における長期にわたる観測を支持し拡大すること強く要請する」という宣言が採択された。これをきっかけに、ヨーロッパ諸国にも国際観測ネットワーク構築への関心が広がってきた。そこで、国際ネットワーク観測の枠組みを広げる目的でメールなどにより連絡を取り、現在までに下記の山岳や僻地観測所の情報の獲得に成功した。今後の更なる発展が期待されている。(図1、ネットワーク増強地点を加えた世界地図)

4. 英文ホームページへのデータの公開

2010年にはオキシダントのデータ共有のための試行を行った。まず、日本語のホームページに英文を併記してオキシダント(O_3)と一酸化炭素(CO)のデータを載せ、会員限定で「パスワード」を別途メールで送り、共有の可否をテストした。その結果、欧米の研究者には漢字まじりのページからでは困難であることがわかった。

そこで、今年度は英文ページの大幅な更新を行い、英文ページ上での共有を試みた。データは図に示すようなセミアリアルタイムデータとし、共有対象を増強したネットワーク関係者まで拡張した。

このデータ共有による成果は、例えば降水データが 2008 年の研究発表で用いられたように、今後広く活用されると予想される。

5. おわりに

本年度はこれまで 4 年間の受託研究の最後の仕上げとして特別に与えられた 1 年であったが、当初の目的は概ね達成した。それに加えて、この受託研究費を他の研究助成金や共同研究と合わせることによって、富士山頂の夏期 2 ヶ月の測候所の有人化を 5 年間維持できた。このとは NPO 設立当初の関係者の強い希望であった「富士山でなければできない広い分野の研究に測候所を解放する」という本 NPO の究極の目的に一步近づけたことを意味している。今後、富士山測候所はさらに新しい研究のプラットフォームとして役に立つことと思われる。また、この 5 年間で得られた非汚染電源や避雷、無線 LAN などに関する成果は、環境の厳しい他の観測サイトへも応用が可能である。渡辺記念会には、世界不況などの厳しい状況にもかかわらず、調査研究の意義を認めて継続していただいたことをあらためて感謝申し上げる。

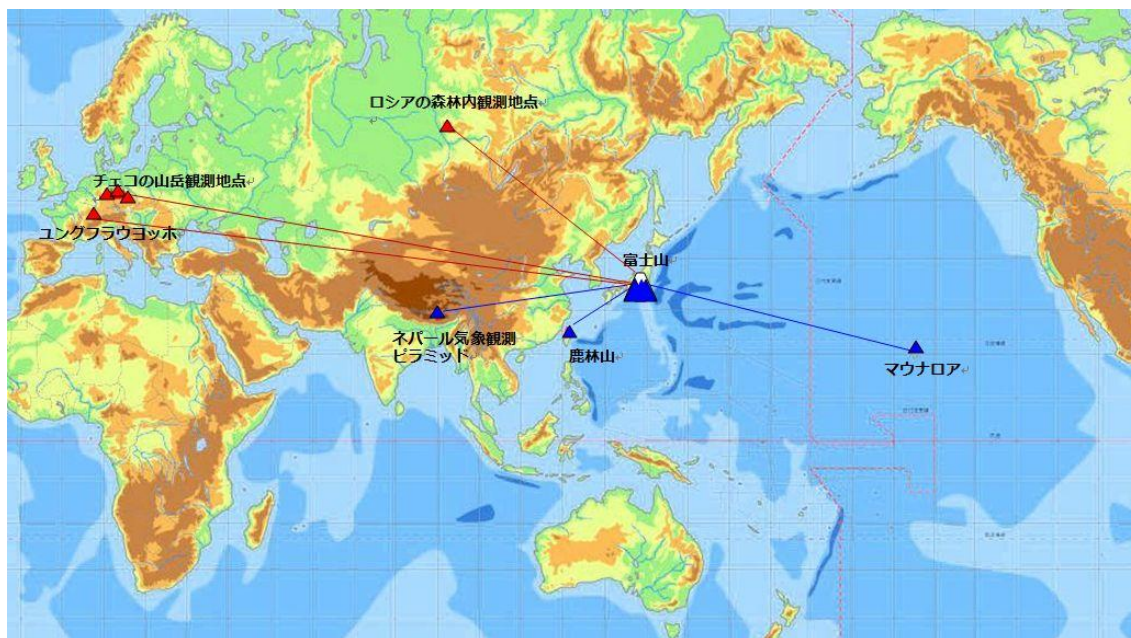
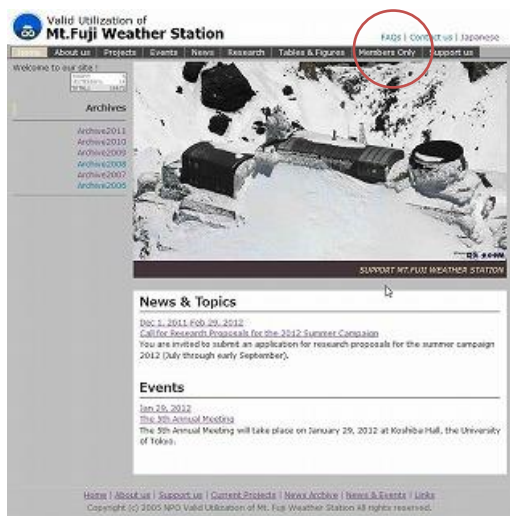


図1 富士山発オキシダント情報交換ネットワークの新しい候補地点
(青▲既存のネットワーク; 赤▲新しく情報を公開した地点)

参考文献

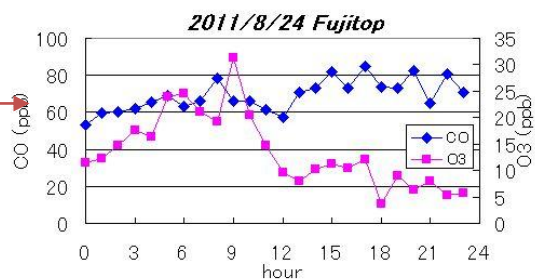
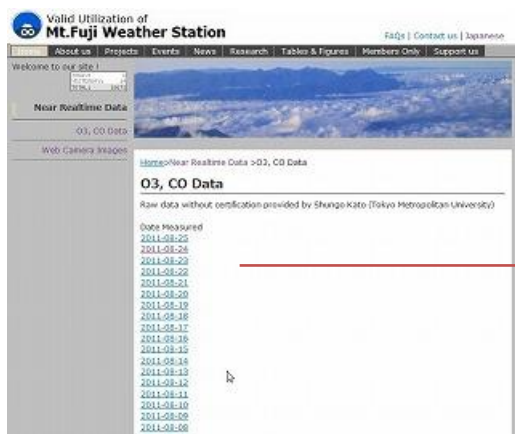
- P. Bronsoni, P. Laj, F. Anelini, J. Arduni, U. Bonafe, F. Calzolari, P. Cristofanelli, S. Decesari, M.C. Facchini, S. Fizzo, G. P. Gobbi, M. Maione, A. Marinoni, A. Petzold, F. Baccato, J.C. Roger, K. Selligri, M. Sprengere, H. Venzac, G. P. Verza, P. Villani, E. Villermoz (2008) The ABC-Pyramid Atmospheric Research observatory in Himalaya for aerosol, ozone and halocarbon measurements. *Science of Total Environment*, 252-261.
- Ka Ming Wai, Neng-Huei, Lin, Sheng-Hsiang Wang and Yukiko Dokiya (2008) 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.



- (1) 英文サイトのトップページ(<http://npofuji3776.net/index2.html>) ナビゲーションバーの MembersOnly のタグを選択。



- (2) Members Only のページを開くと ID および Password の入力画面が現れる。



- (3) O3,CO Data の画面から取得したい日付を選択する。

図 2 英文ホームページからのセミリアルタイムデータの閲覧画面遷移

*連絡先: 土器屋由紀子(Yukiko DOKIYA)、dokiya@edogawa-u.ac.jp; npofuji3776@yahoo.co.jp

富士山頂で採取した降水の水銀濃度からみた 自由対流圏における水銀沈着

○永淵修¹、菱田尚子¹、木下弾¹、西田友規¹、三宅隆之¹、尾坂兼一¹

1. 滋賀県立大学環境科学部環境生態学科

1. はじめに

降水を降雨量毎(可変)に採取できるシステムを開発し、富士山体の二ヶ所(山頂:3776mと1820m)の高度で降水を採取した。自由大気中の高度の違いによる水銀濃度および沈着量を比較検討し、水銀の移流と沈着メカニズムに関する知見を得ることを目的に調査を行った。

2. 方法

降水採取システムは、ISCO の自動採水器をベースに転倒マス雨量計をセンサーとして、設定したパルス数に達するまで湖水をテフロン製の容器内に保存し、そのパルス数に達したらポンプが作動し、1 番目の採水ボトルに輸送される。これを繰り返し、セットした採水ボトル(現在、8 本か 12 本)に達したら、回収し、新たなボトルをセットする。採水ボトルはテフロン製がベストであるが、高価なためテフロンコーティングされたボトルを用いた。なお、ボトルは塩化臭素水で洗浄し、あらかじめ水銀の揮散を防ぐために L-システインを添加した。回収したボトルは、実験室に持ち帰り、ボトルへの吸着した水銀を取り出すために BrCl を添加し、アルカリ還元法で還元気化-金アマルガム水銀測定装置(マーキュリー/RA3320FG+; 日本インスツルメンツ社)を用いて測定した。

3. 結果

2011 年度の富士山調査では、3776m と 1820m での同時サンプリングができたのは 3 回であった。これは、採水システムの不具合があったためであり、7 月 19 日、8 月 19 日、8 月 24 日～25 日の 3 回しか同時サンプリングはできなかった。なお、今回のサンプリングは 10mm(20 パルス)降雨毎に採水した。この 3 回のそれぞれの高度での水銀の濃度範囲は、2.1～11.9ng/L (5.59 ± 2.57 ng/L)、1.95～6.85ng/L (4.57 ± 2.30 ng/L)、0.62～2.48ng/L (1.38 ± 0.59 ng/L) (3776m) 及び 7.86～15.0ng/L (9.89 ± 3.14 ng/L)、2.59～8.81ng/L (5.62 ± 2.64 ng/L)、2.26～5.37ng/L (3.73 ± 0.99 ng/L) (1820m) であった。この 3 回のイベントでの平均濃度は両標高とも 7 月 19 日が最大で、8 月 24 日が最低であった。7 月 19 日は台風 6 号の影響であり、降水量はそれぞれ 110mm(3776m)、80mm(1820m) であった。8 月 19 日と 8 月 24 日は日本列島に停滞していた前線の動きが異なっており、8 月 19 日は前線が南下し、北からの気団が入り、気温が下降している。一方、8 月 24 日は停滞した前線に南からの湿った暖かい空気が入り込んでいる。流跡線解析の結果からも同様な結果を示している。

沈着量は、3776m において 7 月 19 日の $61.5\text{mg}/\text{km}^2 \cdot \text{day}$ 、8 月 19 日の $22.9\text{mg}/\text{km}^2 \cdot \text{day}$ 、8 月 24 日の $15.2\text{mg}/\text{km}^2 \cdot \text{day}$ であり、1820m においては $79.1\text{mg}/\text{km}^2 \cdot \text{day}$ (7 月 19 日)、 $46.2\text{mg}/\text{km}^2 \cdot \text{day}$ (8 月 19 日)、 $29.8\text{mg}/\text{km}^2 \cdot \text{day}$ (8 月 24 日) であった。すべての期間で高標高より、低標高の方が沈着量が大であり、1.3 倍から 2.1 倍であった。

4. まとめ

本降水採取システムを使うことで水銀の沈着に関するメカニズム解明に貢献することが明らかになった。自由大気の中でも標高によって沈着量に差が出ることが明らかになった。降水中水銀濃度は気塊の動きと連動することが示唆された。

*連絡先: 永淵 修(Osamu NAGAFUCHI)、nagafuti@ses.usp.ac.jp

CO₂ 通年観測の本格運用の開始とこれまでのデータの特徴

須永温子、向井人史、寺尾有希夫、野尻幸宏
(独) 国立環境研究所地球環境研究センター

1. はじめに

国立環境研究所(以下 NIES) 地球環境研究センターでは地上観測ステーション、定期船舶、民間航空機などを用いて、温室効果ガスの長期モニタリングを実施している。アジアの中緯度帯における観測は重要であるが、その地域的特長を示す代表的な濃度を捉え長期で継続的に観測を行なえる適当な観測地点が無かった。

NIES は富士山測候所の一角を借りて 2009 年 7 月より二酸化炭素濃度の通年観測を開始した。しかし、遠隔地であり寒冷な富士山頂での観測には多くの問題や課題があるため、最初の約 2 年間は装置の開発と試験的運用に費やし、2011 年によりやうく定常的な運用に移行した。日本列島上空の自由対流圏内の空気を継続して測定することが可能な富士山頂では、日本を含む東アジア圏の経済活動がどのように大気中の CO₂ 濃度に影響を与えているのか理解するうえで重要な拠点になることが期待される。

2. 方法

NIES が開発した寒冷地仕様の小型で省エネの CO₂ 濃度自動測定機を 3 号庁舎の 1 階に、大気採取口とデータ通信用の衛星アンテナを庁舎北側の貯水タンク雪囲い内に設置した。室内空気・屋外空気ならびに 3 本の標準ガスを連続 4 回繰り返し測定することで、測定の安定化と高精度の維持を実現した。最低気温が零下 20 度以下になる室内で測定システムを低温から守るために、低温時に装置内を零度以上に昇温させる小型のヒーターを装備した。また装置自体の発熱を逃がさずに自身の保温に利用するために、冷蔵庫と断熱材で測定装置本体を囲っている。冬期の電力源には低温用の鉛蓄電池 100 個を採用し、測候所で商用電源が利用できる夏期開所中に充電を行なっている。今年度は、充電・放電の際に配線交換が必要だった充電システムに充放電切り替えスイッチを導入し、越冬前後に行う電源関係の作業の簡略化を行った(写真1、写真2)。



写真1、CO₂測定システム



写真2、充放電切り替え装置と自動充電器

また、御殿場市内に設けられた NPO 御殿場事務所にて小型の CO₂ 連続測定機を設置し、7 月と 8 月の間山頂での測定と並行して CO₂ 濃度を観測し、その結果を比較した。8 月 23 日から 25 日には御殿場市内に設置した測定機を太郎坊(標高約 1300m)に移し、太郎坊と山頂の日内の CO₂ 濃度を同時に測定した。

得られた富士山頂(35.21N, 138.48W, 標高 3776m)のデータは、NIES の沖縄県波照間観測ステーション(24.3N, 123.48W, 標高 10m)、北海道落石観測ステーション(43.9N, 145.3W, 標高 45m)、そして米国立海洋大気庁のハワイのマウナ・ロア観測所(19.53N, 155.57W, 標高 3397m)で得られたデータと比較し、富士山頂の CO₂ の濃度変動の特徴を理解するための解析を進めている。

3. 結果と考察

2011 年の測候所開所時には、2010 年夏から 2011 年の開所期間までに装置内に記録された測定の詳細データを回収し、測定装置の交換を行なった。また充放電切り替えシステムを導入したうえで 100 個の電池を約1月で効率よく自動で充電することに成功した。

3. 1 長期観測

通年観測が2年以上継続できたので、CO₂濃度の年々変動や季節変動の特徴を掴むことができるようになってきた。例えば、2011 年 12 月時点の昨年からの山頂での濃度増加率は 1.75ppm/yr であり、計算方法は多少異なるが、12 月 15 日時点の波照間ステーションでの濃度増加率 1.54ppm/yr と落石ステーションでの濃度増加率 1.87ppm/yr の間の値となっている。ここ数年の過去の濃度増加率と比べるとこれらの値は小さいが、依然濃度上昇が続いていることを示している。

富士山頂では主に冬期に高濃度が観測されている。後方流跡線解析によると、山頂に流れてくる気塊は大陸から朝鮮半島南部を通過していることが多かったが、その中には波照間ステーションや落石ステーションで同時期に高濃度が観測されないことがあった。これらの山頂での高濃度が観察される条件については今後更なる解析が必要であるが、アジアからの CO₂の発生の影響が反映されていると推測される。

富士山とマウナ・ロアで観測されたバックグラウンド大気濃度の比較から、その変動が良く合っていることが2年間の観測で分かった(図 1)。しかし富士山頂では、季節により支配する気団が変わり、東アジアの人間活動や植物応答がより近くで起こっているため、ローカルな影響が反映される可能性がある。よって、富士山頂で特徴的に見られる変化を小さな事象を含めて解析していく予定である。

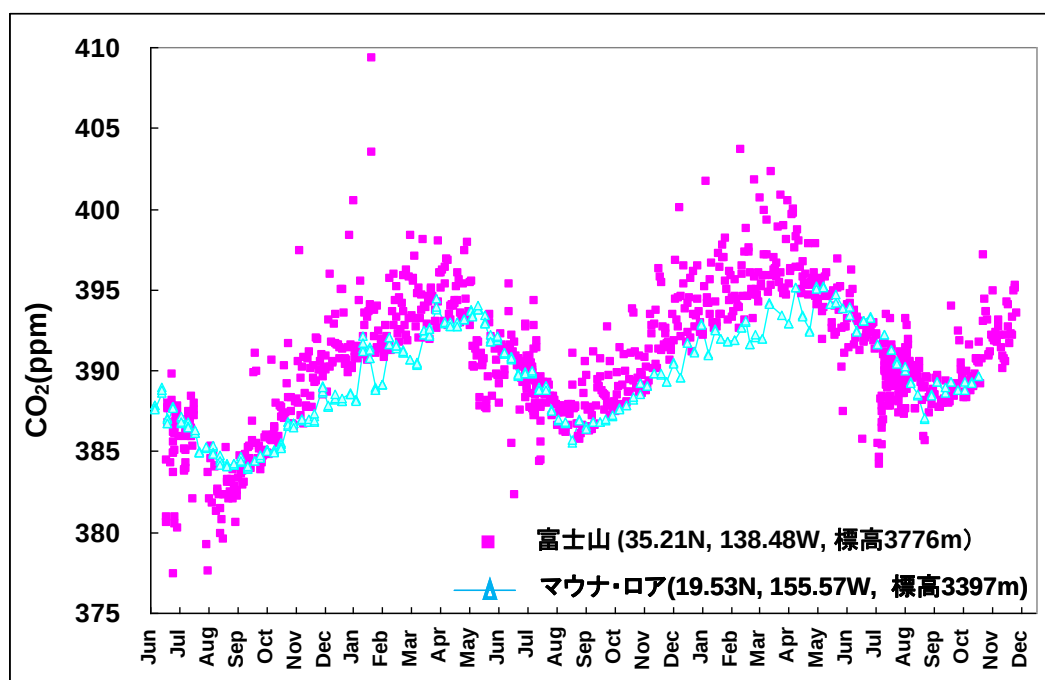


図 1、富士山とマウナ・ロアでの観測データ比較

3. 2 夏期観測

(1)8 月 24 日と 25 日の太郎坊と山頂での同時測定期間のデータを見ると、富士山頂の日内変動はあまり大きくなかった。しかし、図 2 のように夕方に太郎坊で約 15ppm の濃度上昇が観測され、約 10 分遅れて山頂でも濃度上昇が始まり最終的には約 1.5ppm 程度の変化が見られるという現象を捉えた。鉛直方向の風が河口湖半のウィンドプロファイラで観察されていることから、下層の混合層が上昇したために、層内の比較的濃度が高い CO₂により、山頂において短時間での急な濃度上昇として観測されたと考えられた。

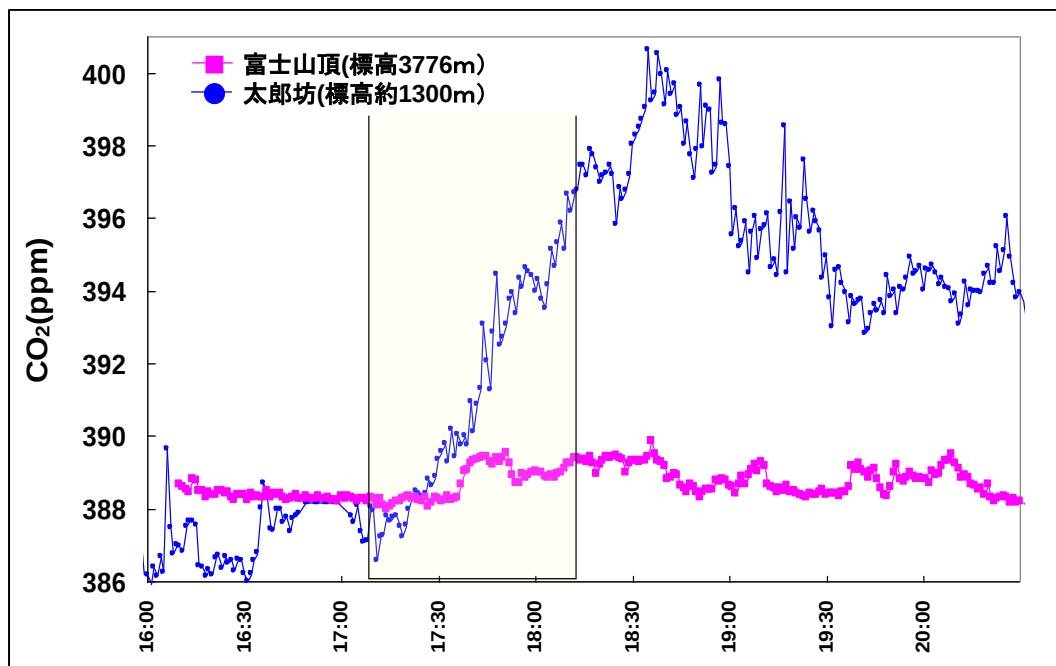


図 2、富士山頂と太郎坊での並行観測で捉えた濃度上昇

(2) 御殿場事務所に設置した CO₂ 連続測定機と山頂での CO₂ 計の並行測定の実験では、7 月 21 日から 23 日かけて山頂で特異的に低濃度が観察された。同時に御殿場市内で山頂よりも 5ppm ほど濃度が低い空気が観測され、落石ステーションでは更に低い濃度が観察されていることが分かった(図3)。後方流跡線解析を見ると、この期間に針葉樹林帯が広がるシベリア地域からの空気塊が北方向から富士山付近に流れてきていることから(図4)、6 月 7 月に山頂で観測される低濃度は、CO₂ 濃度が低い大陸の空気塊に覆われた結果であることが推測されたが、同時に局地的な影響も考えられるため、今後詳しく解析を行ないたい。

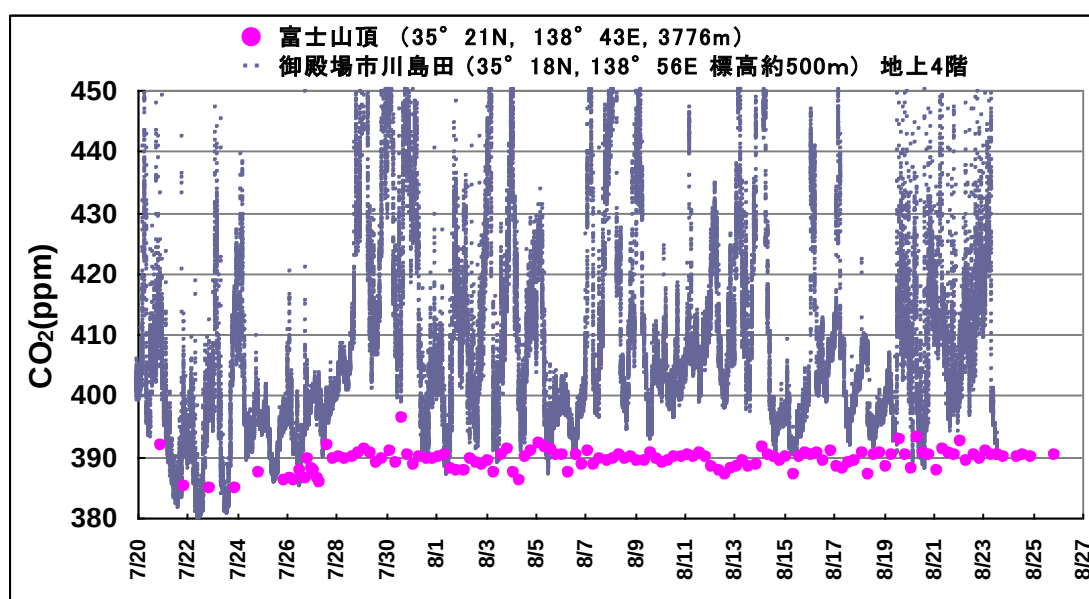


図3、富士山頂と御殿場市内での並行観測で捉えた濃度上昇

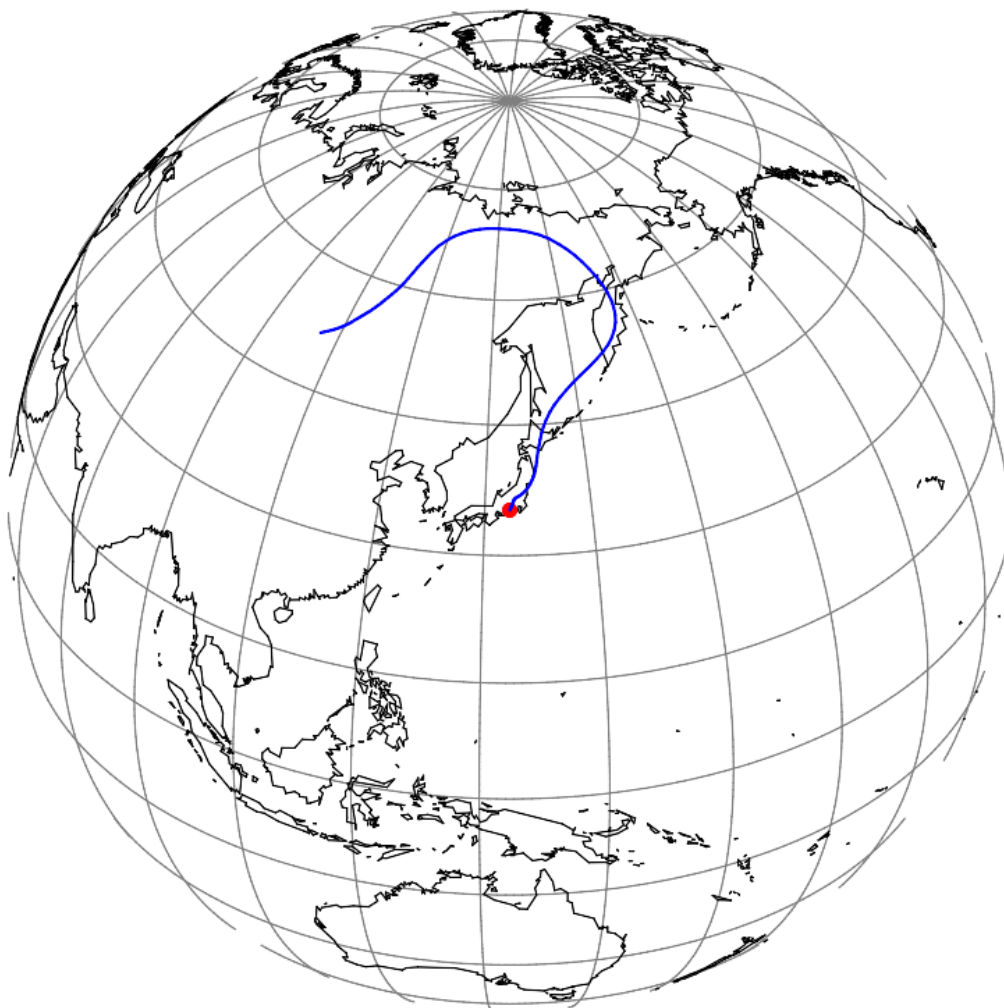


図4、2011 年 7 月 22 日の後方流跡線解析の結果

*連絡先： 向井人史 (Hitoshi MUKAI), lnmukaih@nies.go.jp
須永温子 (Atsuko SUNAGA), sunaga.atsuko@nies.go.jp

富士山頂における歩行バランスの評価

井出里香¹ 五島史行² 堀井昌子³ 上小牧憲寛²

1. 東京都立大塚病院 耳鼻咽喉科 2. 日野市立病院 耳鼻咽喉科 3. 神奈川県予防医学協会
4. 国際医療福祉大学病院 循環器内科

1. はじめに

登山中の滑落事故の要因には、身体動揺や歩行バランスを崩して滑落事故に繋がるケースも多い。2007年度の重心動揺計による平衡機能の評価では、被験者全員において富士山頂で閉眼時の重心動揺軌跡が大きく、ふらつきが増大していることが実証された。前回の重心動揺計による評価に加えて、加速度センサー(8チャンネル小型無線モーションレコーダー;MicroStone 社製)を用いて、平地と富士山頂での歩行バランスを評価し、比較検討を行った。

2. 対象・方法

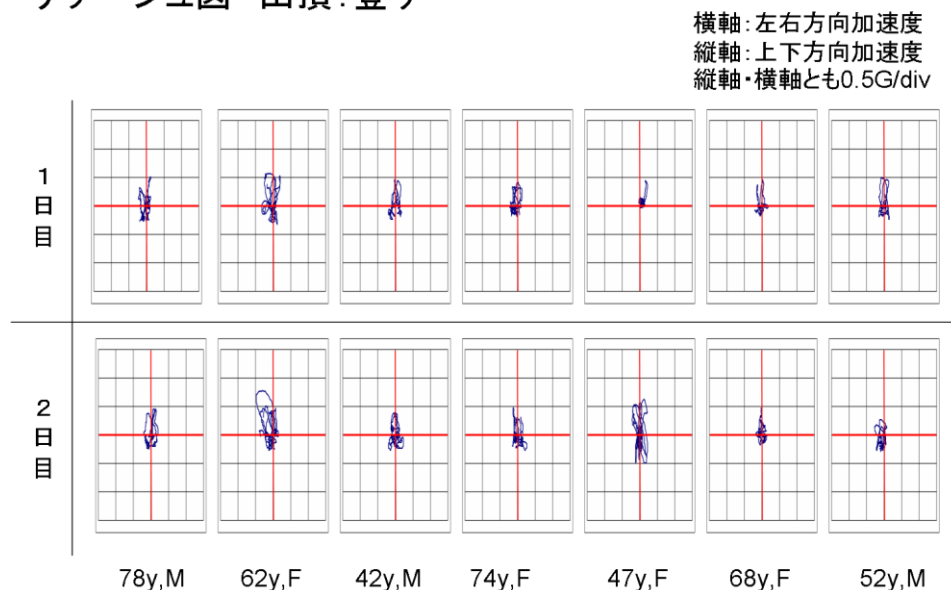
健康者 7名(男性3名、女性4名)、年齢42-78歳(平均35.8歳)を対象として下記項目について測定した。

- ① 加速度センサーによる歩行(登り、降り、平地歩行)バランスの評価し、平地と富士山頂で比較検討した。
- ② 急性高山病の症状スコア(AMS score)
- ③ パルスオキシメーターによる SpO₂(経皮的動脈血酸素飽和度)および HR(心拍数)の測定

3. 結果

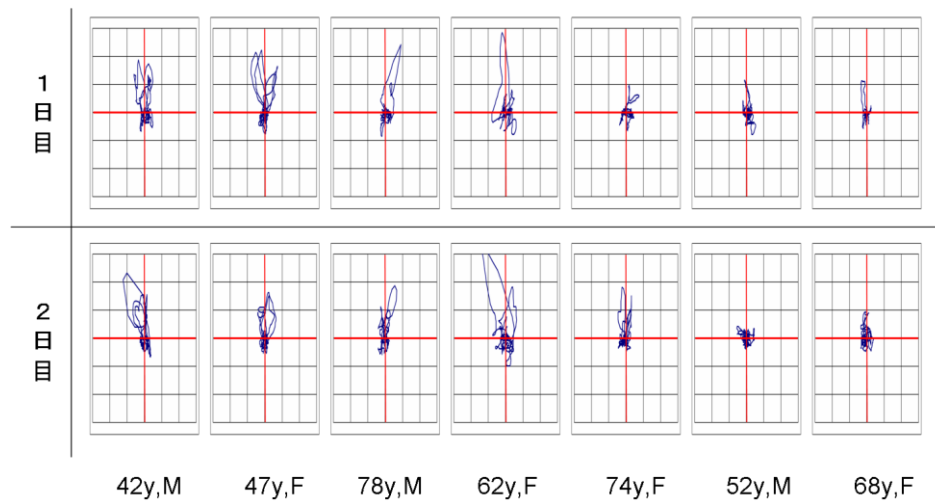
被験者7名中3名は、平地と比較して富士山頂で歩行バランスの揺れ(リサージュ図 参照)が著明に増大した。この3名は AMS score 4、SpO₂ 70%前後と他の被験者と比べて急性高山病の症状も明らかであった。全被験者において下りの歩行バランスの揺れは増大した。

リサージュ図 山頂: 登り



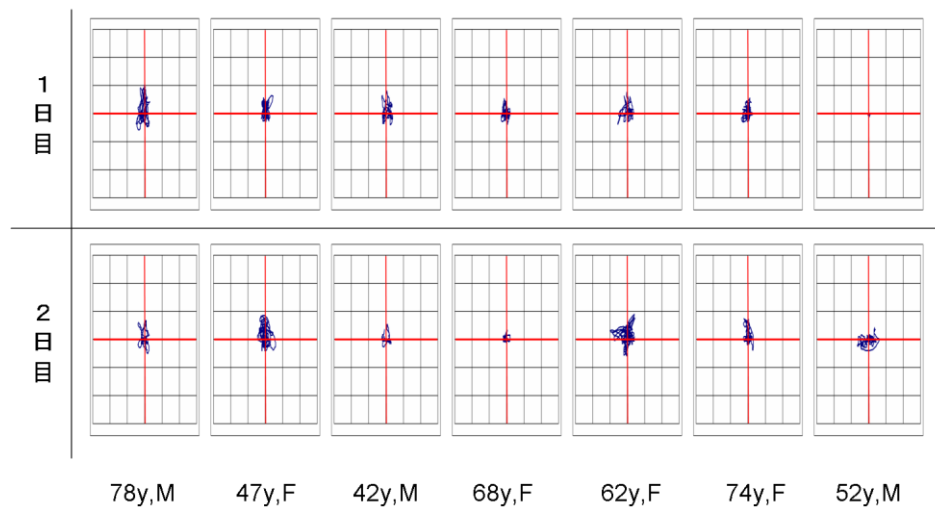
リサージュ図 山頂：降り

横軸：左右方向加速度
縦軸：上下方向加速度
縦軸・横軸とも0.5G/div



リサージュ図 山頂：平地

横軸：左右方向加速度
縦軸：上下方向加速度
縦軸・横軸とも0.5G/div



4. 考察・まとめ

富士山頂における降りの歩行バランスの結果は、降りで滑落事故が多いという事実を裏付ける要因の1つと考えられた。本機器は小型・軽量であるので、今後、実際の登山コースでの歩行バランスの評価への応用を検討している。

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

運動生理学から見た富士登山時の身体ストレスとその有効活用

一般登山者、高所登山者、スポーツ選手にとってのストレスの意味

山本正嘉¹，笹子悠歩²

1. 鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター， 2. 鹿屋体育大学大学院

1. はじめに

「富士は日本一の山」という唱歌が示すとおり，富士山は日本の山の中では群を抜いて高く，4000m 近い標高がある。このことは，低酸素をはじめ，低圧，低温，乾燥，日射，風といった気象条件がとりわけ厳しい山であることを意味する。環境条件だけではなく，五合目から山頂までの標高差は 1300m あり，この山に登るためには体力的にも高度な能力を要求される。

したがって富士登山をすると，人体はさまざまな形で大きなストレスを受けることになる。著者らは，このストレスが人体にもたらすマイナスの影響と，プラスの影響の両面に着目して，富士山測候所を拠点として四夏にわたり研究を行ってきた。

マイナスの影響とは，富士登山を行った時に，身体はどのようなダメージを受けるか，という点である。これを明らかにすることで，一般の登山者が安全な富士登山を行うために，どのような点に注意すべきか，という知見が得られることになる。

プラスの影響とは，このストレスを有効利用して，富士山を高所トレーニングの場として役立てられないかということで，2つの方向性がある。一つは海外の 4000m 以上の高山に行く登山者や旅行者のための高所順化トレーニングの場として，もう一つは，0m の低地で競技を行うスポーツ選手の体カトレーニングの場としての有用性で，この両面から検証を行った。

2. 一般登山者の安全登山のために―富士登山中に身体にかかるストレスの解明

富士山は大衆登山の山として，昔から多くの登山者を迎えてきた。特に最近では，一夏に 20～30 万もの人が登るようになった。その中には，登山経験のない人，普段運動をしていない人，疾病を持つ人，また幼児や高齢者なども多く含まれる。

登山経験の少ない人や，体力レベルの低い人が富士山に登れば，身体は過大なストレスを受けることになり，それが原因で事故が起こる可能性もある。このような事故を防止するためには，登山中に身体が受けるストレスを正しく認識する必要があるが，その参考となるデータは少ない。

そこで著者らは，①登山経験の少ない若年者(2007, 2008 年)，②登山経験の豊富な中高年者(2009 年)，③登山経験の少ない高齢者(2010 年)について，富士登山時に身体にどのようなストレスがかかるかを，動脈血酸素飽和度，心拍数，血圧，急性高山病スコアなど，様々な方法で測定・評価してきた。

その結果，年齢や登山経験の有無によらず，富士登山中には，行動時，安静時，睡眠時という，一日の全ての場面において，非常に強いストレスがかかっていることが明らかとなった。そしてそのストレスの度合いは，低地における医療や，健康のための運動の基準からは考えられないようなレベルであった。

近年，富士山では事故が増加している。事故が起こるたびに「気をつけよう」「無理をしないようにしよう」「トレーニングをしよう」などと言われる。しかし，このような具体性に乏しい標語だけでは，事故を減らすことはできない。富士登山中の事故を防止するためには，本研究などから得られた客観的なデータに基づいた，具体性のある啓発や対応策を講じることが急務である。

3. 高所登山者およびスポーツ選手のために―身近な高所トレーニング場としての価値の検証

富士登山時には，厳しい低酸素状態にさらされながら，長時間の運動をすることになる。また，山頂は 4000m に近いことから，山頂に滞在していれば，たとえ安静時や睡眠時であっても，身体は大きな低酸素の刺激を受ける。

このような低酸素刺激は，ある程度の体力水準を持った人にとっては，プラスの効果，すなわち高所トレーニングの刺激にも転化できる可能性がある。そこで，1日目に五合目から富士山頂に登り，2日目は

頂上に滞在し、3日目には五合目まで下山するという2泊3日の富士登山を行い、身体にどのような適応が生じるかについて検討した(2007, 2008 年)。その結果、以下の2つの効果が得られることがわかった。

1つは、登山後に4000mの環境で行った、高所順化テストや体力テストの成績が改善したことである。このことは、富士山に登ることによって、日本には存在しない 4000m 以上の高地での活動能力の改善が起こることを意味する。近年、日本の登山者や旅行者が、世界各地の 4000m 以上の山に出かけていくケースが増えている。このような高地に急に出かけると、高山病による事故の危険性が高まる。身近にある富士山で事前の高所順化トレーニングを行うことで、このような事故を予防できる可能性がある。

もう1つは、富士登山後に、0mの環境で行った体力テストの成績も改善したことである。このことは、富士山に登ることは、低地で競技を行う一般のスポーツ選手にとっても、よい体力トレーニングになることを意味する。従来、スポーツ選手による高地トレーニングは、アメリカ、中国、ヨーロッパなどに長期間出かけて行うことが常識だった。しかし、これには多くの時間と資金を要するという問題点がある。富士山を利用することで、短期間で簡便に高所トレーニングができる可能性がある。

4. 運動生理学から見た富士山測候所の価値

富士山測候所は、運動生理学という研究分野から見て、以下の2点に関する研究と実践の拠点として重要である。

- 1) 毎夏、数十万もの人が登る大衆登山の山として、登山者の安全を守るための拠点の役割を果たせる
- 2) 海外の高山に出かける登山者・旅行者や、低地でスポーツを行うアスリートのためのトレーニングの研究、および実践のための基地として有用である

参考文献

- ・山本正嘉, 岸本麻美, 烏賀陽信央, 鮮干 攝, 浅野勝己, 前川剛輝, 平野裕一(2008) 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.
- ・笹子悠歩, 山本正嘉(2010) 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: 105-113.
- ・笹子悠歩, 山本正嘉(2011) 登山経験の少ない高齢者における富士登山時の生理応答; 運動時, 安静時, 睡眠時を対象として. 登山医学, 31: 132-144.

*連絡先: 山本正嘉 (Masayoshi YAMAMOTO)、yamamoto@nifs-k.ac.jp

乗務員の被ばく管理を目的とした富士山頂における宇宙線の連続観測

矢島千秋、保田浩志、松澤孝男
独立行政法人放射線医学総合研究所

1. はじめに

地球には常に高エネルギーの銀河宇宙線や太陽粒子(一次宇宙線)がふりそそいでおり、これらが大気中の原子核と反応して多量の二次粒子(二次宇宙線)を生成する。二次宇宙線の強度は高度とともに増加し、航空機巡航高度(10~12km)での宇宙線被ばく線量は、実効線量率で平地の数十倍から百倍近くに達すると見積もられている。国際放射線防護委員会(ICRP)は1990年勧告においてジェット機の運行に伴う被ばくを職業被ばくの一部に含める必要があるとの見解を示した。国内では2006年に文科省の諮問機関である放射線審議会により「航空機乗務員の宇宙線被ばく管理に関するガイドライン」が策定され、国際便を運航する国内航空会社において2007年度から乗務員の被ばく管理が開始された。

放射線医学総合研究所(放医研)では、この国内航空会社による航空機乗務員の宇宙線被ばく管理の支援を行っており、その内容は主に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。富士山頂(標高 3,776 m)は、その目的に照らして最適な場所といえることから、我々は2010年度に長距離無線LANを利用した遠隔放射線モニタリングシステムを富士山測候所に構築し、2010年9月から宇宙線中性子の連続観測を開始した。その後、2011年1月始めに観測は終了したものの、約4ヶ月間の連続観測に成功した。この成果を受け、本年度は通年での連続観測を目標としてモニタリングシステムの改良を行い、2011年9月より連続観測を開始した。本稿執筆現在でデータ取得は継続中である。ここではモニタリングシステムの概要と取得データの状況について報告する。

2. 方法

遠隔放射線モニタリングシステムは富士山測候所1号庁舎2階(2010年度は3号庁舎工作室)に設置した観測・データ送信システムと富士山麓の中継拠点(名古屋大学太陽地球環境研究所富士観測所)に設置したデータ受信システムから成り立っている。



図1 観測・データ送信システム(富士山測候所)



図2 データ受信システム(名大富士観測所)

観測・データ送信システムは、エネルギー拡張型レムモニタ(WENDI-II, Ludlum Measurements Inc.)、長距離無線 LAN 装置(ルータ:AT-TQ 4551, Allied Telesis K.K.、アンテナ:YA2418RD, Allied Telesis K.K.)、Li イオンバッテリーによる独立電源装置(特注品、日本放射線エンジニアリング株式会社)、データロガー(特注品、Melex Inc.)から構成され、アンテナを除いて防寒・防水用のプラスチックコンテナに格納されている(図 1 参照)。データ受信システムは、長距離無線 LAN 装置(ルータ:AT-TQ 4552, Allied Telesis K.K.、アンテナ:YA2418RD, Allied Telesis K.K.)、データ受信用ノート PC、インターネットに接続したモバイルデータ通信端末から構成される(図 2 参照)。山頂側と麓側のアンテナは対向して設置され、アンテナ間の距離は直線で約 13 km である。長距離無線 LAN とインターネットにより富士山頂と放医研(千葉市)の間が結ばれ、放医研において富士山頂観測データのモニターが可能となる。

昨年度、連続観測が 4 ヶ月間で停止した原因は電力容量不足であると推察されるため、本年度の連続測定開始に備え電源装置のバッテリーを追加した。また、データロガーのハード・ソフトウェア両面に改良を施し、データロガーの基板温度を宇宙線測定データとともに送信する機能等を新たに追加した。

3. 結果と考察

2011 年 8 月 30 日から 10 月 10 日までに富士山測候所で得られた宇宙線中性子の 1 時間あたりの計数値の推移を富士山頂の気圧変化とともに図 3 に示す。気圧と計数値の変化の相関が明瞭である。これは気圧により大気厚が変化し、二次宇宙線の大気中での減衰が変化するためと考えられる。今回、データロガーの測定系回路に改良を加えた後、富士山測候所に設置するまでに測定器を十分に校正することができていないため暫定的な見積もりであるが、図 3 に示した範囲での 1cm 線量当量率は 0.03~0.04 $\mu\text{Sv/h}$ となった。これは計算から予期される値の 3 分の 1 程度である。線量換算係数の決定や建物の遮へいの吟味を含め、定量的考察は今後の課題である。

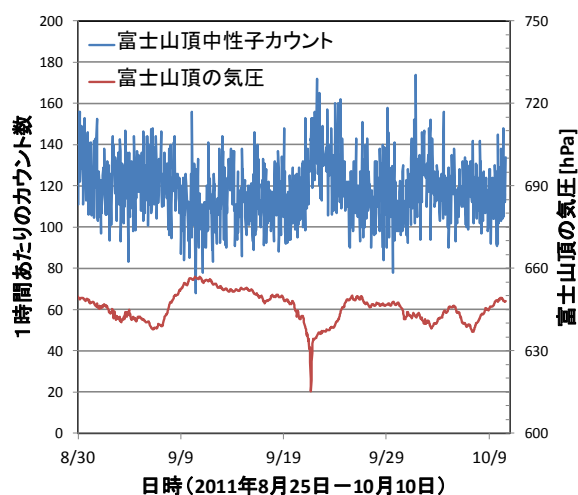


図 3 富士山頂における 1 時間あたりの宇宙線中性子計数値の変化。気圧データは気象庁気象データより引用した。

謝辞

本研究は NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。富士山麓の中継拠点である名古屋大学太陽地球環境研究所富士観測所の利用にあたっては、同研究所の徳丸宗利教授にお世話になった。

参考文献

- Yasuda, H., Yajima, K., Yoshida, S. (2011) Dosimetry of cosmic radiation in the troposphere based on the measurements at the summit of Mt. Fuji. Proc. Radiochim. Acta 1, 67-70
- Yasuda, H., Yajima, K., Takada, M., Sato, T., Nakamura, T. (2011) Development of cosmic radiation and energetic particle analyzing system: CREPAS. Progress in Nuclear Science and Technology 1, 356-359
- Yajima, K., Yasuda, H. (2011) Measurement of cosmic-ray origin neutrons using a scintillation detector at the summit of Mt. Fuji. Radiat. Meas. 46, 1724-1727

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

富士山山頂における大気電気観測および超高層大気観測

鴨川仁¹、鳥居建男²、保田浩志³、三浦和彦⁴

1. 東京学芸大学物理学科、2. 日本原子力研究開発機構、
3. 放射線医学総合研究所、4. 東京理科大学物理学科

1. はじめに

2011年の富士山山頂では複数種の大気電気観測が行われた。それらの一部は宇宙線・放射線観測の補助的な役割として始まったものであるが、取得されたデータから大気電気研究を進展させる成果も得られた。それゆえその成果を総括するとともに、今後への課題を提示し、将来への発展的研究として超高層大気観測のプランを提示したい。

2. 雷雲・雷放電に起因する高エネルギー放射線

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(最近では Torii et al., 2011)、さらには Terrestrial gamma-ray flash (TGF) (Fishman et al., 1994)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 (Moore et al., 2001) 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 (Torii et al., 2011)。しかも、そのエネルギーは数 MeV から 10 MeV 超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はなかった。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、冬季雷の事象同様に雷雲に伴う放射線変動を観測することに成功した (Torii et al., 2009; Kamogawa et al., 2011a; 片倉ら, 2012)。今後はこの雷雲活動に関連する高エネルギー放射線の発生メカニズムを解明するために多点多種観測を行う。

3. 晴天時の大気電気観測

富士山測候所での雷放電以外の大気電気現象の先駆的な研究は 1957~1958 年に行われた関川の研究であろう (関川, 1960)。関川は測候所において大気電場の通年観測を行い晴天時大気電場の季節ごとの平均日変化曲線を得た。それらは、春、夏、秋は地方時型だが、冬季は全く異なり世界時型になると報告している。一般に晴天時の日中、陸上における高度 1~2km 以下の混合層 (mixing layer) では対流活動が盛んであり、大気電場に影響を与えるエアロゾル濃度が比較的高いと言われている。関川の解釈では、これらの晴天時電場の地方時型は、この混合層起源のエアロゾルの影響だとしている。この、地方時型日変化は世界各地の山岳で観測され、日の出日の入り効果ないしは山岳効果と呼ばれており、多くの仮説は提案されているがいまだ明瞭な答えは得られていない。我々が 2009 年および 2010 年度夏季に行った大気電場測定にて本現象が観測されたが、山頂気温との相関がよく、また気温変動のほうが大気電場変動より数十分先行することから、天頂は晴天時でも発達した雲海持つ僅かな電荷で日中増加する大気電場変動を形成している仮説を立てた。簡単な数値計算の結果からも、雲海上部が正に帯電、雲海下部が負になるときに現象が説明できることがわかった (Kamogawa et al., 2011b)。したがって 2011 年では、山頂から雲海を撮影するカメラ画像 (富士宮方向は富士山測候所を活用する会、山梨方向は早稲田大学大河内研究室が撮影) を入手し、雲海下部になる太郎坊においても大気電場の測定を行った。検証の結果、仮説は支持され、山岳効果は雲海の発達と共に顕著に見られ、雲海上・下部は正・負に帯電していることが裏付けられた (阪井ら, 2012)。報告されたすべての日の出日の入り効果および山岳効果が本仮説と同様に説明できるとは限らないが、50 年にもわたる諸問題について一歩前進させたといえよう。

4. 将来計画

宇宙線グループの副次的測定であった大気電気観測から思いがけない成果を得たことから、次年度から大気電気研究は独立したグループとして観測を推進する予定である。また、雷に関連する研究を行っていることから研究を発展させ、スプライト・エルブスという超高層での放電現象の測定および大気重力波検知を目的とした電離圏に向けた大気光観測をあわせて行い、大気電気・超高層大気グループとして発展したい。過去3年間の大気電気観測の経験から夏季の期間の山頂は天頂方向については晴天率が高く、超高層大気に向けたが光学測定に適していることが分った。また夏季時では気温が零下にはなることはなく、20度を超えることもまれであるため屋外における光学機器の装置の運用が比較的行きやすい。それゆえ、超高層大気分野への成果は十分期待できる。

参考文献

- Torii, T., Sugita, T., Kamogawa, M., Watanabe, Y., Kusunoki, K. (2011), Migrating source of energetic radiation generated by thunderstorm activity, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24801, doi:10.1029/2011GL049731.
- Fishman, G. J., Bhat, P. N., Mallozzi, R., Horack, J. M., Koshut, T., Kouveliotou, C., Pendleton, G. N., Meegan, C. A., Wilson, R. B., Paciesas, W. S., Goodman, S. J., Christian, H. J. (1994), Discovery of Intense Gamma-Ray Flashes of Atmospheric Origin, *Science*, 264, 1313-1316, DOI: 10.1126/science.264.5163.1313
- Moore, C. B., K. B. Eack, G. D. Aulich, and W. Rison (2001), Energetic radiation associated with lightning stepped-leaders, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2141-2144.
- Torii, T., T. Sugita, S. Tanabe, Y. Kimura, M. Kamogawa, K. Yajima, and H. Yasuda (2009), *Geophys. Res. Lett.*, 36, L13804.
- Kamogawa, M., Torii, T., Tanaka, A., Sugita, T., Ikuta, M., Watanabe, Y., Hashimoto, S., Katakura, S., Yasuda, H., and Kusunoki, K., Energetic radiation associated with summer thunderstorm activity on Mt. Fuji, The 14th International Conference of Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil 8-12, August (2011a).
- 片倉翔, 鳥居建男, 杉田武志, 保田浩志, 楠研一, 鴨川仁, 富士山山頂における雷雲発生時における高エネルギー放射線の観測, *ibid.* (2011)
- M. Kamogawa, H. Fujiwara, R. Sato, R. Sakai, S. Hashimoto, I. Yamamoto, T. Torii, and H. Yasuda, Local-time-dependent fair-weather daily variation of atmospheric electric field at the top of Mt. Fuji, The 14th International Conference of Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil 8-12, August (2011b).
- 阪井陸真, 鳥居建男, 保田浩志, 大河内博, 鴨川仁, 富士山における地方時型晴天時大気電気変動の観測, *ibid.* (2011)

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

富士山測候所雷対策適用上の調査と対策方法

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。

一昨年は、雷対策上の問題点を明らかにし対策方法を提案した。昨年はファラデーケージ破れと外部に使用するケーブルへの対策の提案を行った。今年度は、雷対策具体化のために接地系と部材間の接続状況の調査を行った。それを元に現状の測候所に適したファラデーケージの破れ対策方法を提案する。また雷対策具体化のために雷電流の実態を知ることは重要であるので次年度の雷電流観測具体化の調査検討を行った。これは主な雷電流路になる山麓からの電源・接地線に流れる電流を測定可能にすることで可能である。また雷電流だけではなく他の新たな情報の測定可能性についての検討も行った。

2. インダクタンスを考慮した接続状況調査

2.1 接地線路のインダクタンス

各分電盤の接地端子は、機器類のアースとして利用されるため、ファラデーケージを破って導入されたケーブル接地線が接続される場所になり、雷電流が侵入しやすい個所になる。侵入雷電流によるサージ電圧は、侵入点インダクタンスと雷電流との積になるので接地線循環路インダクタンスを知ることは、侵入サージ電圧を知るため、重要である。

循環路が大きければインダクタンスは大きくなる。例えば長方形の循環路縦0.4 m で一定にし、横長さを変えた場合のインダクタンス変化を図1に示す。理論的にも予測されることであるが、インダクタンスは循環路面積に比例して大きくなる。また線径により変化し径が大きくなるとインダクタンスは小さくなる。一般的にも言われているが、この結果からもインダクタンスは①できるだけ循環路の面積を小さくする、および②線径を大きくすることで、小さくできる。後者の方法は、線を幅広にし、実効径を大きくする方法があり一般的にも多く適用されている。

また、0.4 m×1.6 m の循環路の一边をファラデーケージ部分として、破って導入した接地導入線の位置を変化させたときのインダクタンス変化を測定し、図2に示す結果が得られた。

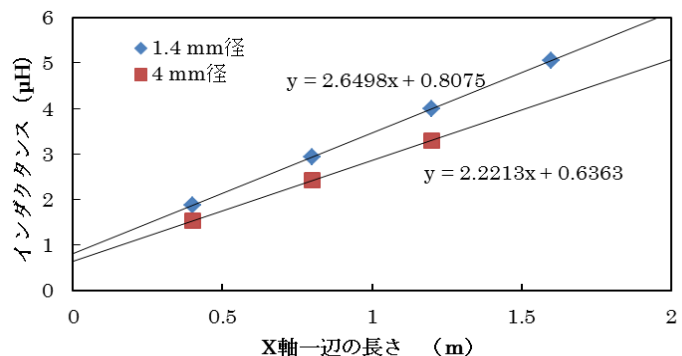


図1 線径によるY軸0.4 mの長方形循環路インダクタンス

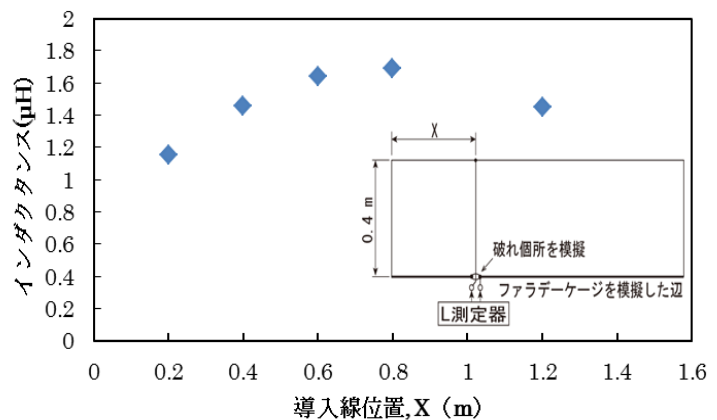


図2 1.6 m×0.4 m循環路導入線位置によるインダクタンス

循環路に雷電流が侵入する経路インダクタンスは、図1から切断する場合は約 $5\mu\text{H}$ であるが、破って導入した接地線位置では中央が最も大きく循環路の約 $1/3$ になる。

2. 2 接地線の経路調査

接地線の経路を確認する場合、導通の有無によりつながりの確認はできるが、循環路が構成されているかどうかの確認はできない。もしインダクタンスが測定可能であれば、①循環路を構成しているかどうか分かる、また②循環路の大きさが推測できる、ことからより正確な経路の確認が可能になる。そのため、インダクタンス測定はテスターのように容易に適用できると一層便利になる。

測候所の現在の接地線配線状況は、図面からだけでは正確に読み取ることができず、調査確認することが必要であった。今回の調査では、目視による確認、導通状態、さらに新たな方法であるインダクタンス測定による調査を行った。目視による経路調査は、主に山麓側からの引込み口周辺について行なった。また、インダクタンス測定を1号庁舎、4号庁舎、および3号庁舎の接地線について実施した。測定結果は表1にまとめた。この結果の番号に対応する接地系統配線図測定箇所を図3に示した。

高圧ケーブル引き込み口の侵入サージ電圧に関係する、山麓から受電室に引き込んだ接地線と受電室分電盤接地との間は $20\mu\text{H}$ であった。このインダクタンスの値に侵入雷電流を微分した値を掛けることで侵入サージ電圧が得られる。

主接地線は $73\mu\text{H}$ であった。循環路は1号庁舎南端から2号庁舎の北端まで建物導電性構造物と接続部が無い大きな循環路を構成していることが分かった。途中分電盤に分歧しているが、それより先で他の接地系統、あるいは接地系統に繋がる導電性構造物に接続されていない。

山麓から測候所への接地線は、高圧ケーブルに含まれる接地線だけではない。記録によると高圧ケーブルと並行して 80mm^2 裸銅線と旧ケーブルが接地線として埋設配線されていることになっている。それぞれの接地線は測候所外に設けられた山麓側接地極に接続されてから受電盤共通接地端子に接続されている。

高圧ケーブルの接地線は山麓側接地極に接続されているがその経路で測定したインダクタンス(⑧)は大きく、ケーブル出力端で接地線はケーブル架台にも接続しているが、それが構造物と電氣的に接続されている場合に予測される循環路インダクタンスより大きいいため、ケーブル架台は接地線による接続以外は浮いて絶縁された状態にある。この値は、馬の背接地点との循環路インダクタンスと推測している。

過去の資料から得た情報に今回の調査結果を反映させた測候所の接地経路は図4になる。

番号	被測定接地線位置	測定電気定数			備 考
		抵抗(Ω)	インダクタ ンス(μH)	静電容量 (μF)	
1	1号庁舎1階A	0.14	25		循環路
2	1号庁舎1階B	0.07	3.22		
3	1号庁舎1階C	0.25	73		循環路(主接地線)
4	1号庁舎1階D	0	1.03		循環路
5	1号庁舎1階E	0.25	73		循環路(主接地線)
6	1号庁舎2階A	0.09	30		循環路
7	4号庁舎A	0.14	20		循環路
8	4号庁舎B	1	88		ケーブル接地線が作る循環路
9	4号庁舎C	130		0.14	接地導線の循環路は構成しない。
10	外部山肌への垂れ線	690		0.15	接地(循環路は構成しない)。
11	外部山肌への垂れ線	710		0.06	接地(循環路は構成しない)。
12	接地線接続箱	0.07	26		循環路
13	3号庁舎北端ラック上	0.24	73		循環路(主接地線)
14	3号庁舎北端ラック上	0.19	41		循環路
15	3号庁舎北端ラック上	-	-		循環路を構成していない。
16	3号庁舎北端ラック上	530		0.06	循環路を構成していない。
17	3号庁舎配水管	-	-		ファラデーケージが破れている。

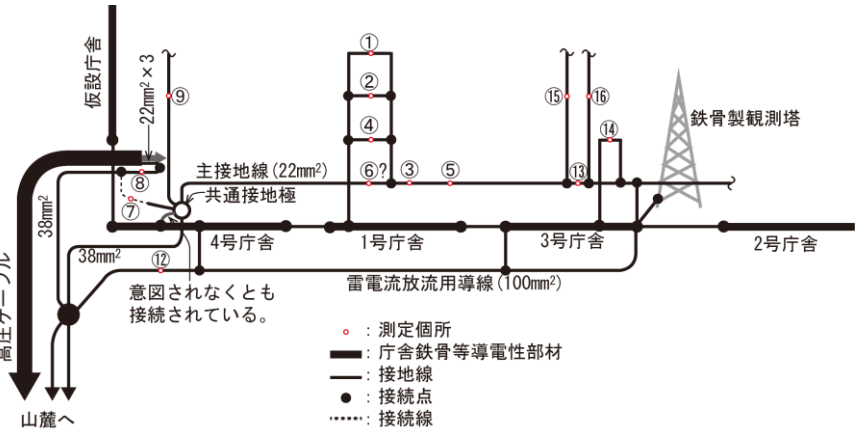


図3 富士山測候所の接地線の電気定数測定から推測される循環路測定箇所番号は表1の番号と対応している。

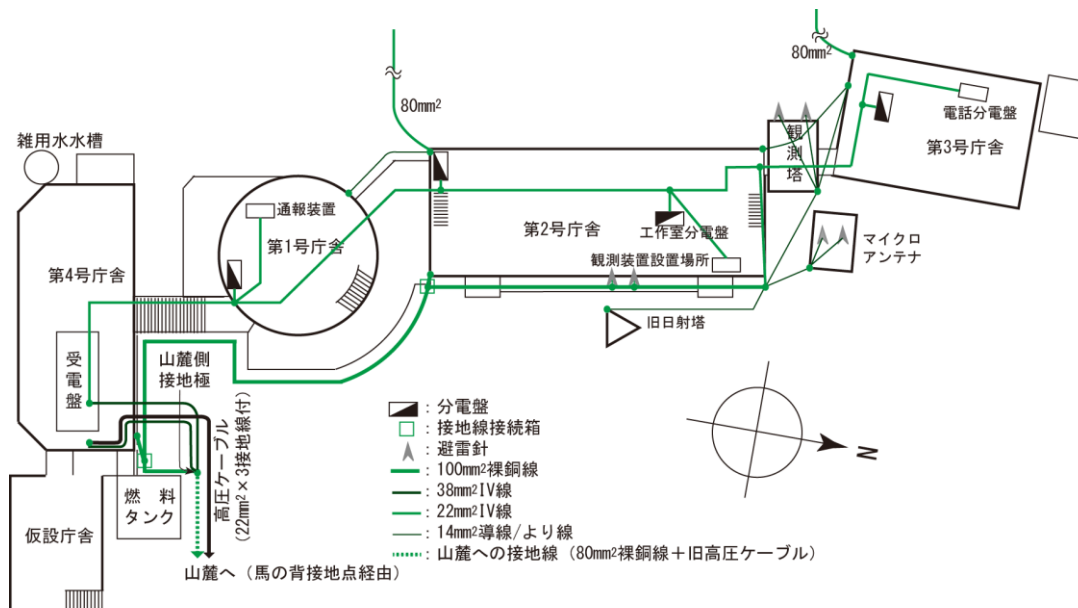


図4 富士山測候所接地系統の概要
接地系統の過去の資料、調査、および提供情報からまとめたものに、2011年調査による修正を加えた。

3. ファラデーケージの破れ

富士山測候所の外観は金属製覆い(屋根・壁)で覆われておりファラデーケージとしては最適な構成に見られるが、鉄骨と金属製覆いとの間は分厚い断熱材で構成され、それが電気的な絶縁物でもあるため、鉄骨、導電性内装材、および金属製覆いそれぞれの間の電気的な接続は必ずしも良好では無い。調査結果でもドア、階段、および内装の導電性部材は断熱材に固定され電気的に絶縁された状態にあるものがあるなど、電気的接続が良好で無い導電性部材が多く存在していると推測される。

測候所外観は図5に示す。各庁舎外表面は、第1庁舎は鉄板、瓦棒葺き、および金属板を重ねた構造が混在、第2と第3庁舎はモノコック、第4庁舎と仮設庁舎は屋根・壁とも瓦棒葺きになっている。



図5 富士山測候所外観 1号庁舎:鉄板壁・瓦棒葺き・鉄板の重ね屋根が混在、
2号庁舎・3号庁舎:モノコック、4号庁舎・仮設庁舎:屋根・壁とも瓦棒葺き

図6は聞き取り調査で測候所内に生じた現象の原因を推測したものである。いずれも、持続性がある現象であり、測候所が帯電した雷雲中にあるために生じた現象と推測される。(a)は導入された洗面台金属配管にファラデーケージの破れがあり、集電荷により接地電位に保たれた分電盤との間に大きな電位差を生じ放電したものと考えられる。(b)は屋内で髪の毛が逆立つ現象を生じた原因である。屋根など上部の部材に電氣的に浮いている個所があり、それが帯電雷雲により帯電した結果高電位になり、接地電位に保たれた床面との間に高電界を生じたものと推測される。後者は導電性部材間の電氣的接続が良くないことで生じたものである。いずれの現象もファラデーケージの破れがあることが原因である。

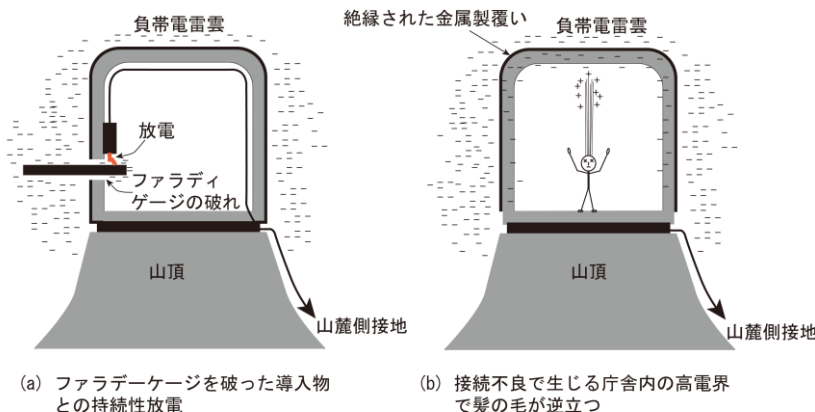


図6 富士山測候所内への雷雲電位の侵入の推測されるメカニズム

図7は接地線コネクターボックス内の放電の痕跡である。この原因は、4号庁舎外壁と2号庁舎基礎鉄骨に溶接接続した放流用導線と接地線コネクターボックスを固定し電氣的接続のある燃料タンク接続外壁との電氣的な接続が不良で、後者ボックスと電氣的接続がある部材(燃料タンク部分か)に落雷があり、それが接地線コネクターボックス内接地線に放電して生じた可能性が高い。

一般的な建物と同様に導電性部材の電氣的接続が意図されていなかったことに加えて、さらに極めて厳しい環境下に耐えられるように分厚い断熱材を使用しているため、屋根・壁等の表面部材や鉄骨との間に電氣的接続不良個所が存在しているものと推測される。

ファラデーケージの破れは、上記の部材間の接続不良によるものだけではなく、ケーブルや金属製配管等の導入個所でも生じている。ケーブルの電磁シールドや金属製配管等がファラデーケージになる金属製屋根・壁等の外表面と閉じた接続がされていない個所が多数ある。

2号庁舎鉄骨基礎と3号庁舎

鉄骨基礎、また2号庁舎鉄骨基礎と1号庁舎鉄骨それぞれの間には接地線で接続されているが、線断面積が小さいため抵抗が十分小さくできないことと、多点での線接続でないため、庁舎間のインダクタンスが小さくできず、インピーダンスの観点から適切では無い。



(a) 第4庁舎変電室外部接地線コネクターボックス (b) 接地線コネクターボックス内の放電痕跡

図7 金属外壁間接続が絶縁、あるいは接続不良による放電痕跡。コネクターボックスを固定している外壁に繋がる個所に落雷があったものと推測される。

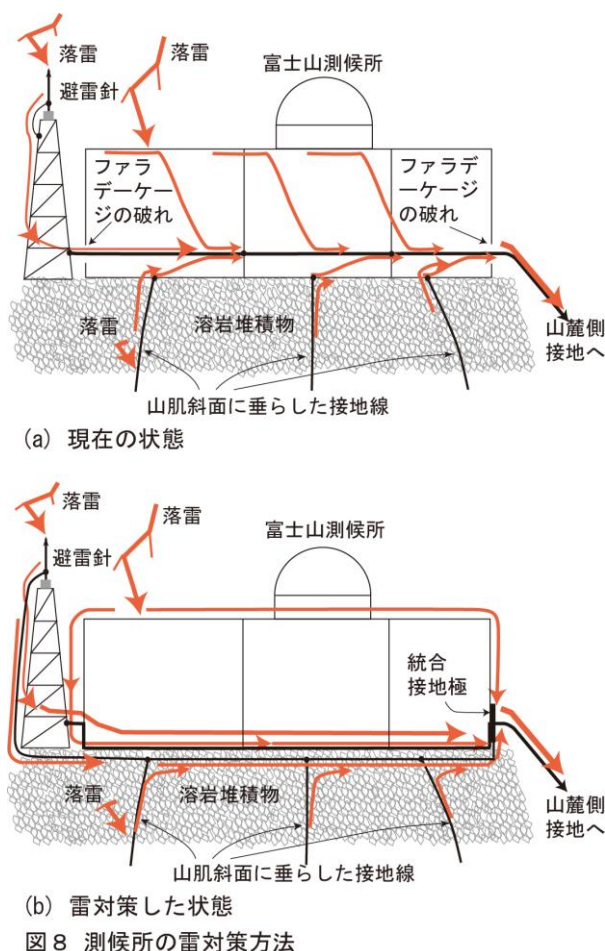
4. 雷対策

4.1 基本的な雷対策方法

落雷電流は山麓側接地極に流れるが、現在の測候所の場合、図8(a)のように測候所の被雷電流だけでは無く、避雷針の被雷電流も独立の避雷導線で無いため、測候所内接地線にも流れるようになっているなど好ましくない。基本的な雷対策方法は、図8(b)のように避雷針や引き下げ接地線は専用の避雷導線で山麓側接地極に流すようにする。測候所の被雷電流は測候所内に侵入しないように、抵抗率の著しく小さな接地線を測候所周囲に配置し、導電性の屋根・壁から被雷電流を集めるようにして山麓側接地極に流すようにすることである。

測候所への落雷個所は、厳しい気象条件下、特に冬季の風雪下では測候所全体を保護下に置く避雷針を設けることが難しく、測候所全体になる。従って測候所のどこに落雷があっても測候所内には問題が生じないように測候所全体をファラデーケージに近づけて等電位化をはかる必要がある。この実現には以下の対策が求められる。

- (1) 避雷針のように誘雷を前提にするものの被雷頻度は高いと考えられ、被雷電流は測候所内を流さず専用の避雷導線を通して山麓側の統合接地極に流す。
- (2) 測候所周囲に低抵抗の接地線（以下、測候所周囲接地線）を配置し、測候所の屋根壁導電性部材と多点接地することで測候所全体を低インピーダンス化する。測候所被雷電流は屋根・壁から測候所周囲接地線に集めて山麓側の統合接地極に流す。
- (3) ファラデーケージの破れを無くし内部への侵入を防止する。
- (4) 外部使用ケーブルから雷サージ電圧を内部に侵入しないようにする。すでに測候所用に考案した雷対策ケーブルを使用することで侵入しないようにすることができる。



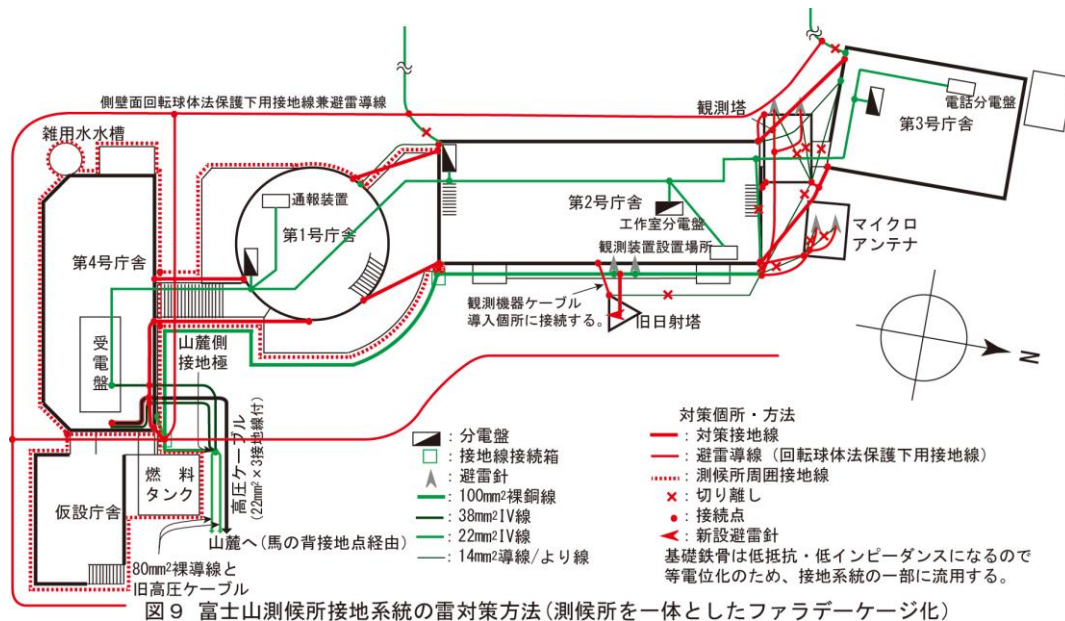
4. 2 測候所を一体としたファラデーケージ化と雷保護

基本的方法は一昨年の提案内容と変わらない。測候所周囲接地線を配置し外殻導電性部材と多点で接地することで測候所全体を低インピーダンス化することである。さらに、測候所への落雷電流の大半が、山麓側接地線に流れることを考慮して、この電流路になる測候所周囲接地線のインピーダンス電圧降下をできるだけ小さくすることである。

具体化には現状を考慮した対策が必要である。2号庁舎と3号庁舎は、鉄骨基礎は低インピーダンスであり、また外殻金属は鉄骨基礎に一体接続されたモノコック構造になっておりファラデーケージとしては理想的な構成である。従って両者には測候所周囲接地線は省略でき、両者間を外周部分を含む多点接続により接続を良好にし、3号庁舎南端外周部分は測候所周囲接地線に接続するだけで良い。他の1号、4号、および仮設の各庁舎は鉄骨部分の導電性は良好であるが、外表面部材との電気的な接続は必ずしも良好でない。測候所周囲接地線を配置し、それぞれの庁舎外表面部材と多点接続し、外表面部材に落雷した雷電流を接地線に集めるようにする必要がある。

落雷頻度が高い避雷針の被雷電流は、測候所周囲接地線に流すべきでは無く、独立の避雷導線に流すようにすべきである。この避雷導線は測候所から山麓側接地極に測候所から一定間隔、一定高さで配線することで、また配線途中に該当しない部分については、別に配置することで、測候所側面に設置する観測機器類を回転球体法保護下に置くことができ、側方雷からの被雷を避けるものとして利用が可能になる。

図9が以上をまとめた対策になる。



4.3 ケーブル導入部の簡易破れ対策

導入部にはファラデーケーシング外表面部にケーブル電磁シールド部が電氣的に接続できるコネクタを介して手軽に着脱ができるようにする必要がある。共同利用のようにケーブル交換が頻繁な場合や既存ケーブルへの対策などファラデーケーシング外表面に専用のコネクタを固定して設けることが難しい場合、簡易に設ける方法もある。図10に示すように多線接続することで低インダクタンス低インピーダンスを実現できるインターフェースである。まずケーブル導入箇所周囲に周囲のファラデーケーシングと電氣的に接続できる線と大電流を流せる周囲接地線からの接続線を確保する。ケーブル等の導入箇所は図11のインターフェース器具によりケーブル接地線と接続できるシールドコネクタのインターフェースを使用する、あるいはそのまま内部までケーブルを導入せざるを得ない場合は分割型のリターン電磁シールドソケットを使用できるようにしてリターン電磁シールドで内部機器接地点と導入接地点とを接続することで等電位を確保できる構成にする方法である。この構成は木造建物のように非導電性部材が多用される建築物にも適用でき、例えば図12のようにケーブル導入部が対策しやすくなるだけではなく等電位化の確保もできる。今後、太陽電池が広く普及することを考えると、その被雷対策や雷サージ侵入対策にも適用できる方法である。

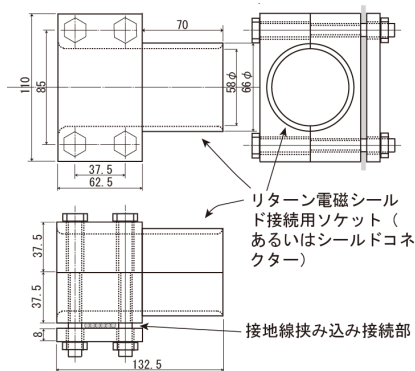
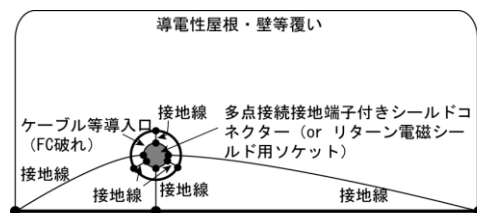


図11 ファラデーケーシング構成用リターン電磁シールド用コネクタ(あるいはシールドコネクタ)

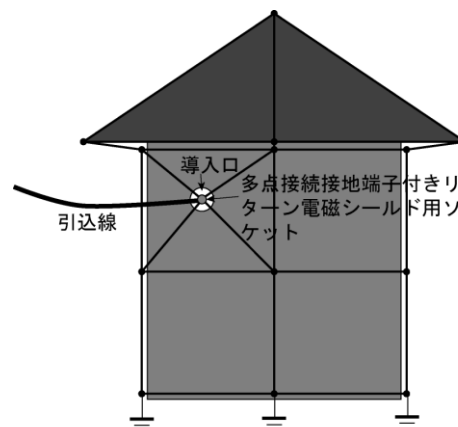


図12 木造建物へのファラデーケーシング近似方法
屋根は露出接地線、壁部の接地線は美観上埋め込みでも可能である。

4. 4 電源ラインへの対策

避雷器はただ入れれば良いというわけには行かない。接地系統に雷電流が流れ、それによって生じる電圧降下を考慮することが必要である。これを考慮しないと避雷器を入れたことでその個所での電源と接地線との異常電位を防止できても接地系統に生じた電圧降下を電源に侵入させることになり、他の電源使用機器の電源と接地間に異常電圧をもたらす。

電源ラインの電位は、電源が変圧器電源2次側でB種接地されているため、その共通接地端子の電位になっている。そのため接地線経路に雷電流が侵入し異常電圧を発生した場合、その侵入箇所接地と電源との間に異常電圧を発生する。電源と接地線との間を避雷器で接続することは、両者に異常電圧を生じて小さくできる。従って、電源ラインに雷サージが侵入した場合、雷サージを接地側に逃がすことができる。しかし、接地線側から雷サージが侵入した場合、電源側に雷サージを侵入させることになる。測候所のように雷電流が流れる接地線経路に無視できないインピーダンス電圧降下が見込まれる場合、このようなことがあるため、電源は耐雷変圧器を介して使用し、二次側使用電源を避雷器で保護する必要がある。現状には適用しやすい方法であるが、対策漏れを生じる可能性がある。

別の方法として、電源線と対になる接地線は、電源線を被覆する構造にして同相インピーダンスを高める構成にすることで測候所内部の接地系統に侵入する雷サージ電圧と同じ電圧降下を電源線に生じさせるため、電源の電位分布は共通接地端子までの接地線電位分布と同様の電位分布に近くなり両者の電位差を小さくすることができる。この方法は測候所内配線を全面的に電磁シールドケーブルに交換する必要がある。費用の点等で全面的に適用することは難しいのではないかと考えている。

5. 雷電流測定の検討

5. 1 山麓からのケーブル・接地線の活用はできないか

一昨年、富士山測候所の落雷対策調査で、富士山測候所には山麓から接地線と高压電源が来ており、測候所接地抵抗値は山麓側接地抵抗値で決まっていることを知った。山麓から接地線で繋がる、富士山頂に富士山測候所という電極が存在していることになる。この接地線に流れる電流を観測することで何らかの検出手段に使えないだろうか検討してみた。可能性としては、三つ考えられる。先ず①富士山測候所の落雷電流の観測である。測候所の落雷頻度は高く、落雷モニターが可能になると、富士山頂の雷電流の特徴が分かる。次に②電離電流から富士山頂の電離状態の観測が出来ないか、最後に③連続的な地抵抗測定により異常の前兆現象を捉えられないか、の三つである。①は 10MHz 以上の広帯域測定が可能である必要がある。一方、②、③は周波数成分は低くても良いが高い検出感度が求められる。いずれも有用性はあるが、短期実現の可能性が高く、差し迫っている問題として、落雷電流測定に着目した。落雷実態が分かることで、雷対策に反映させ、また対策に弾みを付けることができる。次年度予備測定を可能にするため、検討準備をしている。

5. 2 測候所落雷電流の測定方法

測候所の接地は、測候所での接地、および山麓側接地で構成されている。後者には、測候所と山麓を繋いで得ている山麓の接地、および山麓と繋ぐ接地線の途中途中で行われている接地がある。測候所の接地抵抗は、測候所が低い導電率の溶岩堆積物上にあるため、大きく、一方山麓側の接地は小さく、従って山麓側の接地抵抗値で決まっている。

このことから測候所の落雷電流の大半が山麓側に流れることになる。もし、測候所の接地と山麓側接地の等価回路の電気定数が決まり、その変化が無視できれば山麓側に流れる電流を測定することで測候所の落雷電流を知ることが可能になる。この実現は、図13に示す測定で可能になる。避雷針の被雷電流を知り、同時に山麓側接地に流れる電流を知ること、それぞれの接地回路の電気定数を決めることができ、山麓側接地線に流れる電流から測候所の落雷電流を知ることができる。

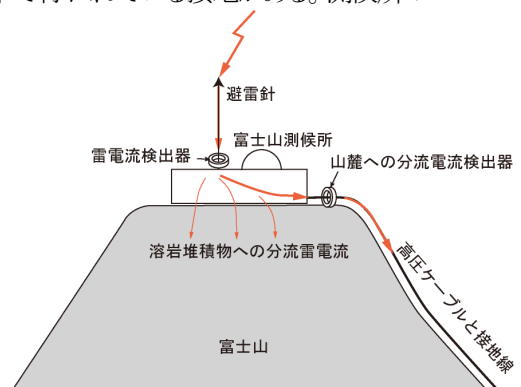


図13 山麓に分流した電流から落雷電流を知る方法

測候所の等価回路は図 14 に示す回路で表すことができると考えている。測候所の静電容量と抵抗値、および山麓接地極の抵抗値は気象条件、季節、および経年(以下、気象条件)によって変化し、また場所が測候所と山麓との違いによる気象条件変化もあると推測されるが、影響が十分小さいことが保証できる範囲の変化であれば、その条件は満たされ一定であると考えている。本検討ではその条件は成立すると仮定した。

山麓側に流れる全電流測定は、図 14(a)のように高压ケーブルと全接地線に流れる電流を測定する必要がある。しかし、次年度具体化には接地線回路修正が困難な事情もあり、(a)の測定を間に合わせることは困難であるので(b)のようにケーブルのみに流れる電流測定という便宜的対応をとらざるを得ない。

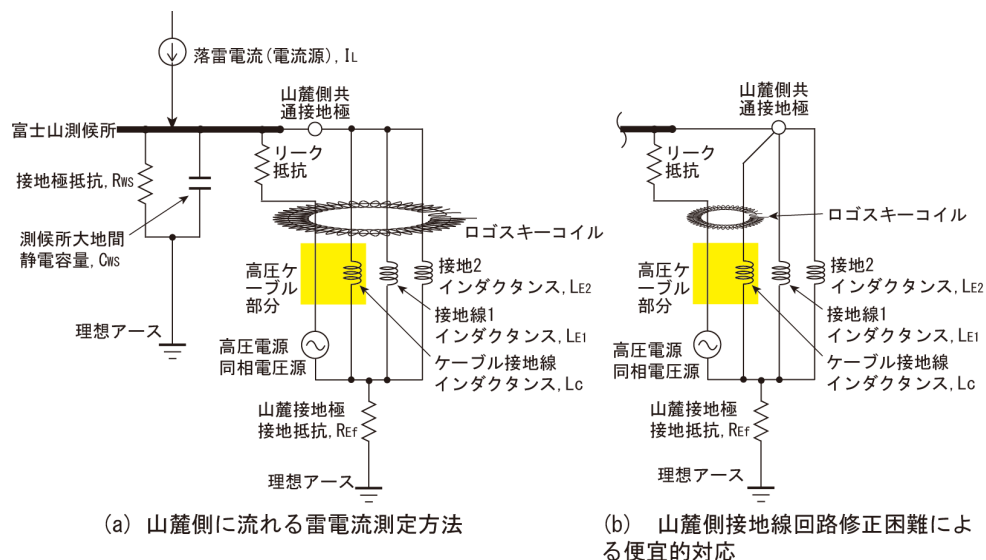


図14 富士山測候所落雷電流の等価回路と山麓側測定箇所

等価回路を決める同時測定のため、雷電流検出器は 2 個所に設ける必要がある。一つは山麓からの接地線と高压電源線を挟み込んで磁路を構成し、接地線と高压電源線に流れる電流によって生じる磁路磁束をコイルで検出し、山麓側に分流して流れる雷電流を正確に測定するものである。もう一つは避雷針に落雷させ正確な落雷電流測定を可能にするもので前者の測定結果と併せて等価回路を決定するために用いるものである。前者については既設のケーブルに挟み込み適用できるものとして図 15 に示すロゴスキーコイルを用いた検出系を使用する予定である。

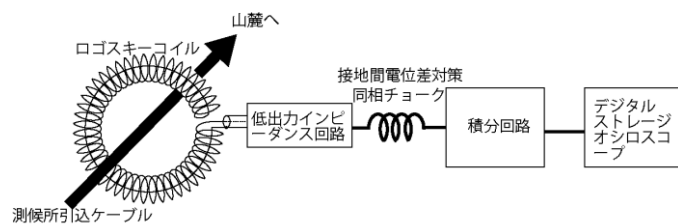


図 15 落雷電流の山麓側ケーブルへの分流電流測定系

後者については、前者と同じ検出器でも良いが、外乱の侵入し難い検出器として、図 16 に示す抵抗での電圧降下を求めるものを予定している。いずれも信号伝送路の接地間の電位差を吸収する共通モードチョークを使用することとインピーダンス整合をとることが必要である。

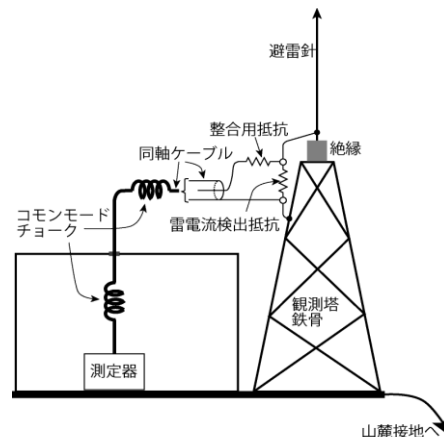


図 16 校正のための真の落雷電流測定方法

5. 3 山麓側接地線とケーブルを流れる電流の特徴

5. 3. 1 山麓側接地線

山麓側接地線は、高圧ケーブル内接地線とケーブルに並行して埋設されている 80mm² 裸銅線と旧高圧ケーブル(接地線に転用)の3経路である。山麓から引込んでいる高圧ケーブルは、架橋ポリエチレン絶縁ポリエチレンシース1重鉄線外装ポリエチレン防食ケーブル(以下鉄線外装ケーブル)を使用して測候所内変電室に引き込まれている。ケーブルの接地線は 22mm² が3線、高圧線も3相で 22mm² が3線が配置されている。各高圧線には導電性の遮蔽層があり接地線と接触している。従って遮蔽層は積極的に接地端末処理をしていなくともケーブル接地線が測候所の接地と接続することで遮蔽層も測候所接地と接続することになる。ケーブルは鉄線外装が施されており、これは2つの対策、外力からの保護と落雷保護のためと推測される。これは片端接地になっており、測候所端末で絶縁されている。ケーブルの3接地線は引き込み端末で1つにまとめられてから、2つに分岐され、1つは鉄製ケーブル架台(絶縁されている)に接続され、もう1つはケーブルに抱かせて外部の山麓側接地極にもどしている。他の2経路も山麓側接地極に接続されている。変電室受電盤の共通接地端子は外部の山麓側接地極からとった接地線に接続されている。

使用している鉄線外装高圧ケーブルの同相成分に対するインダクタンスを知るため、1 m 長さの鉄線外装ケーブルを模擬してインダクタンスを測定し、図 17 の結果を得た。富士山測候所に引き込んでいる高圧電源経路は、責任分界点から 10903.2 m で、その内架空線が 3773.2 m、埋設ケーブル部分が 6760 m である。従って、高圧ケーブル全長のインダクタンスは、ケーブルを模擬測定して得たインダクタンス 350 nH/m (at 10 kHz)を採用することで、2.4 mH になる。

実際には山麓側の接地線は所々接地されていることを考慮する必要がある。その接地箇所では3系統の接地線が接続状態にあることを考慮すると、測候所から 295 m の位置にある最初の山麓側馬の背接地点以降山麓までを 1 つに、また測候所から馬の背接地点までの接地系統もまとめることができる。便宜的対応ではケーブル接地線は別になり、この区間のインダクタンスは 103 μ H(at 10 kHz)になる。このことを考慮した山麓側接地系統の等価回路は図 18 になる。

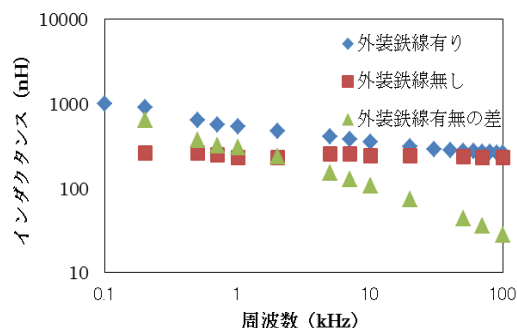


図 17 模擬ケーブルインダクタンスの周波数特性

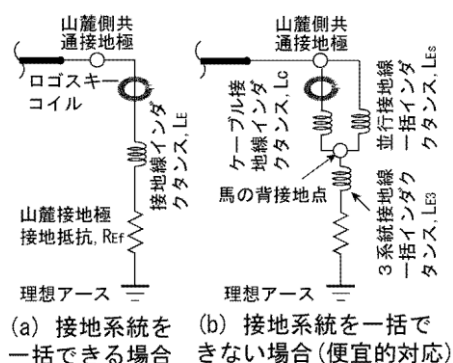


図 18 山麓側接地系統等価回路

5. 3. 2 ケーブルを流れる電流

測候所の被雷電流は、測候所接地と山麓側接地に分流される。山麓側接地に分流された電流は、さらに高圧ケーブル内接地線とケーブルに並行して埋設されている 80mm² 裸銅線と旧高圧ケーブル(接地線に転用)の3経路に分流して山麓側に流れる。このうち高圧ケーブルを流れる避雷電流の一部は、通常、ケーブル内接地線に流れるが、高圧線と接地線間に異常電圧が生じる現象が生じたとき、接地線だけでは無く避雷器を通して高圧線にも流れることになる。また、測候所1次側高圧系統からの漏洩電流も高圧線に同相電流として流れる。この漏洩電流は高電圧電源線と接地線とをまとめて測定することで相殺でき、通常無視できるものになると考えている。落雷電流以外での測定に際しても商用周波数成分として現れるので 50Hz 狭帯域フィルターで抑制することが可能である。また、小さなものになるが、山麓側の落雷電流の一部が富士山測候所に逆流する電流も予想される。

落雷は、太平洋側では一般的に負極性であるが、正極性もあると考える必要がある。また、山麓側から負極性雷が逆流した場合は見かけ上は正極性になる。従って、落雷電流は、正負両極性の落雷電流の観測を可能にする必要がある。

測候所の電離電流は大気の電離電流密度と測候所表面積から最大で $0.1 \mu A$ が見込まれる。図6のように測候所が電離雲の中ではさらに大きな電離電流になることが推測される。それがケーブルに流れることになる。電流の周波数成分は抵抗依存域と考えられる。そのため、山麓側の接地線は三つの経路の抵抗値は小さく、決めることは困難なため、分流割合を決めることが難しく、一つにまとめて測定することが必要になる。

6. おわりに

以上をまとめると以下ようになる。

- (1) インダクタンス測定という新しい評価手法を取り入れて接地線の経路調査を行ない今までよりも正確な経路調査ができた。インダクタンス測定による評価手法の有効性を確認した。
- (2) 雷侵入電圧に関係する導入部接地線のインダクタンス評価を行った。
- (3) 接地系統をより明確にできた。
- (4) 測候所雷対策の実効的な具体的方法を提案できた。
 - ① 測候所を一体としたファラデーケーシング化の方法
 - ② ケーブル導入部のファラデーケーシング破れに対する簡易な対策方法
 - ③ 避雷針と引き下げ接地線専用の避雷導線の確保
- (5) 山麓からのケーブル・接地線を活用した雷電流測定方法を明らかにし、次年度測定を具体化するための提案を行った。

7. 謝辞

資料や情報提供等で調査にご協力頂いた西濱孝典・東京管区気象台技術専門官、NPO 法人富士山測候所を活用する会・岩崎洋および越生正文・山頂班長、山頂班の方々、および事務局員の方々、小志度前孝史・関電工静岡支店電力技術部公務チーム所長、忠地駿・農工大、池田敦・筑波大学、測定にご協力頂いた宮田雄作・日置電機ソリューション営業部販売企画課の各位に感謝する。

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

参考文献

- 電気学会：「電気工学ハンドブック 1967」，電気学会，p. 83 (1973)
- 北川信一郎、河崎善一郎、三浦和彦、道本光一郎(1996)大気電気学、東海大学出版会
- 電気・電子機器の雷保護検討委員会(委員長横山茂)：「電気・電子機器の雷保護」，電気設備学会(2011-8)
- 高橋健彦：「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」，オーム社(2003)
- 安本勝，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，佐々木一哉，高橋浩之，中村安良，大胡田智寿，土器屋由紀子。(2011) 富士山測候所落雷対策のための雷サージ抑制効果評価実験. 平成22年度富士山測候所利活用に関する成果報告会、26-33
- 安本勝，佐々木一哉，高橋浩之，中村安良，大胡田智寿，土器屋由紀子。(2011) 富士山測候所のための落雷対策方法の評価. 平成23年度電気学会基礎・材料・共通部門大会，VIII-1，200-205(2011年9月).
- 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

小・中学生の富士登山

堀井昌子 1 山本宗彦 2 志賀尚子 3 原田智紀 4 増山 茂 1

1. NPO 法人富士山測候所を活用する会 教育・登山委員会 2. 川口市立仲町中学校
3. 日本医科大学附属多摩永山病院 4. 日本大学医学部機能形態学

1. はじめに

NPO「富士山測候所を活用する会」はその設立趣旨として、様々な学問領域における研究の場としての利活用と、教育・自然体験活動拠点としての利活用を掲げている。そこで、富士山を自然体験の場とするとともに、環境教育・科学教育も併せ行う事により青少年の健全育成を図る事を目的とする中学生の富士山登山を2008年8月に計画・実行して、2008年度の本成果報告会において発表した(以下、I)。さらに、2011年夏、本会会員医師が小学生男児と親子富士登山を行い山頂に宿泊し無事下山した報告(以下、II)がある。青少年の健全育成にこれら登山が資するところを考察する。

2. 登山計画

Iの参加者は埼玉県川口市立仲町中学校山本宗彦教諭の呼びかけに応じた3年生6名(男4、女2)およびその父2名。引率側は教諭、NPOの登山・教育委員会委員2名(医師)、国立極地研究所勤務で救命救急専門の医師および国立登山研修所の専門調査委員の5名である。1日目は富士吉田に集合して馬返しより登高を開始して5合目の小屋泊、2日目は山頂に至り測候所に宿泊、3日目はお鉢めぐり後に下山の予定とした。安全対策として、事前の日帰り登山、生徒の健康診断情報の収集、1,450m 高度を出発地点とすることで高所順応を図る、登山中の SpO₂(経皮的動脈血酸素飽和度)および HR(心拍数)測定、AMS(急性高山病)の LL スコア (Lake Louise Score) チェックなどについては説明し同意を得ておこなった。1日目、2日目の標高差はそれぞれ 875m、1,450m である。

一方、IIは高所登山経験を持つ男性(37歳)とその子(7歳)が1日目車で移動で5合目(2300m)の小屋に、2日目は本八合目(3370m)に、3日目は登頂し測候所(3776m)にそれぞれ宿泊して4日目に下山という計画である。安全対策として、睡眠を含めた登山中の SpO₂ および HR の連続測定をおこない、急性高山病の判定を行いつつ、かつ、登山は子の速度にて行われた。登高の標高差は2日目に1,070m、3日目は406mである。なお、時期はいずれも7、8月である。

3. 経過ならびに医学データ

I: 1、2日目とも天候は全般に不良で、登頂した2日目は終日雨で上部は時に強風を伴ったが落伍者もなく揃って測候所に到達した。測定した SpO₂ および HR をみると山頂で SpO₂ 65%、73%と低値を示した生徒も翌朝には 85%、82%と改善し、自覚的には軽い頭痛を訴えたのみである。3日目、すなわち山頂に宿泊した翌朝に AMS スコア 9 ポイントを示した男子生徒は嘔気・嘔吐が主な症状であった。山頂での SpO₂ は1日目 84%、2日目 89%と比較的良好であったため対症的に投薬をおこなうにとどめた。他の生徒はいずれも AMS スコア 3 ポイント以下で推移した。自覚症状は頭痛(3名)、疲労・脱力(2名)、めまい・ふらつき(2名)、食欲不振、睡眠障害(各1名)であった。3日目は下山予定であり、下山を開始したところ、高度を下げるに従って9ポイントを示した男子生徒の嘔気は徐々に軽減し、水分摂取が可能となった。

II: 子の登山速度で登高し、いわゆるガイドブックのコースタイムの1.5倍の時間をかけて計画は遂行された。登高中の平均 SpO₂ は、子の2日目は $88.0 \pm 3.9\%$ 、3日目は $85.0 \pm 3.6\%$ であり、親ではそれぞれ $85.5 \pm 4.4\%$ 、 $80.7 \pm 3.1\%$ と子の方が高値を示した。登高中の平均 HR は子ではそれぞれ 114.4 ± 7.3 、 109.4 ± 23.4 回/分、親ではそれぞれ 110.1 ± 19.1 、 107.2 ± 16.0 回/分と、親子ではほぼ同じであった。一方、睡眠中の平均 SpO₂ は親子とも標高の上昇に伴って低下し、睡眠中の平均 HR の標高上昇に伴う増加は子において顕著であった。小児における急性高山病の判定には LLAASS (Lake Louise Age-Adjusted symptom Score) を用いたところ、LLAASS の最高点は 3776m 休憩中の 6 ポイントであり、子は最高点を記録した3日目夕食前に嘔吐した。嘔気残存のため夕食は摂取せず入眠し翌朝には回復して朝食を摂った上で無事下山した。

4. 考察

夏季の富士登山は一般的には、5 合目より上の山小屋を利用する 1 泊 2 日あるいは夜間に登高を開始し頂上に至って直ちに下山するケースが多い。これらの富士登山を含めて、Ⅰ、Ⅱいずれの登山も急性高山病予防のために世界登山医学会の推奨する「標高 2,500m 以上では 1 日の登高高度を 300m にとどめるべし」を大きく超えており、急性高山病発症の可能性が高い。小児・生徒も高所の影響を受けていわゆる急性高山病の症状を呈する可能性は成人と同様である。これが発症しないように上の登山計画において述べたようなことがおこなわれた。中学生では準備の段階で教諭、ご父兄の支援で動機づけがなされ、現場でのデータ測定や自ら判断した体調を管理票に記入することでモチベーションを高めていくことが出来たと言えよう。また、登山の休憩時に富士山測候所の歴史についても出来る範囲で話をしたこともその一端を担ったのではないかと自負している。

Ⅱの場合は、父との登山であることが何にもまして重要で、事前にパルスオキシメーターの装着その他について、親子の間で約束事を交わして臨んだことは、家族ならではのことと言える。

このように、Ⅰ、Ⅱとも SpO₂、HR、AMS スコアのモニタリングをおこないつつ登山を推し進めて山頂に到達した。そして急性高山病の発症をみたが、いずれも高度を下げることによって軽減～消失し大事に至ることはなかった。

一方、生徒 6 名は測候所に宿泊して所内見学と科学講座聴講の機会を得、これらの事もまた登山と共に貴重な体験として彼らの心に刻まれ今後の健全な成長の一助となる事と確信する。

同じく山頂測候所に宿泊した 7 歳男児は成長して測候所の果たしてきた役割などを知ることとなれば、父親との二人三脚で山頂に至って宿泊したことを誇りに思うのではないだろうか。

次の三つのテーマは、この登山を計画し生徒に呼びかけた山本教諭が目的として掲げたものであるが、これらが達成されたことを参加生徒およびご父兄の感想文を読んで確認する事が出来る。生徒並びに同行された父の感想文を諒解を得て掲載させていただいたので、ご一読いただければ幸いである。

- ・ 自然の素晴らしさ、大きさ、怖さを体感する
- ・ 夢を実現する喜びを実感する
- ・ チームで登ることで仲間意識、協力し合う心を育てる

以上、測候所を利用した小・中学生の富士登山について述べた。富士山測候所が教育・自然体験活動拠点として望み得る最高の場であることを強調したい。

参考文献

堀井昌子, 山本宗彦, 増山 茂 : 中学生の富士登山. 平成 20 年度富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 28-29, 2009.

小林俊夫, 滝沢和子 : 常念岳における中学校の集団登山の健康管理. 登山医学, 12: 191-196, 1992.

Pollard, A.J., Niermeyer S, Barry P, et al : Children at high altitude : An International Consensus Statement by an Ad Hoc Committee of the International Society for Mountain Medicine, March 12, 2001. High Alt Med Biol, 2(3) : 389-403, 2001.

Hackett P.H., and Oelz O: The Lake Louise consensus on the definition and quantification of altitude illness. In: Hypoxia and Mountain Medicine. J.R. Sutton, G. Coates, and C.S. Houston, eds. Queen City Printers, Burlington, VT; 1992: 327-330.

Southard A, Niermeyer S, Yaron M : Language used in Lake Louise Scoring System underestimates symptoms of acute mountain sickness in 4-to 11-year children. High Alt med Biol, 8(2):124-130, 2007.

原田智紀, 安藤隼人, 堀井昌子, 野口いづみ, 相澤 信 : 7 歳男児の富士登山における連続測定による登高中及び睡眠中の経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO₂)、脈拍数及び急性高山病スコアー父親との比較による一例報告. 登山医学, 31: 183-189, 2011.

連絡先: 堀井昌子 (Masako HORII)、horii@beige.ocn.ne.jp

感想文

中学3年男子の父 「富士登山を振り返って」

今回の富士登山は私にとっても、息子にとっても非常にすばらしい経験となりました。
この計画を聞いたところから、わたしたちの富士登山ははじまりました。
最初に息子と今回のメンバーがトレーニング登山に行った内容を聞いたときに、現在の私の体力では1合目からの富士登山は非常に厳しいことを認識し、トレーニングを始めるところからスタートしました。
その一環として、小学生の次男までまきこみトレーニング登山にも出かけました。あくまでトレーニングとして1回目は尾瀬の至仏山に、2回目は富士の5合目から8合目まで登りましたが、一緒に息子たちと登り素晴らしい景色に感動し、お互いに励ましあいながらコミュニケーションがとれる登山の素晴らしさを感じました。
そして2泊3日の富士登山が始まったのですが、残念ながら天候は3日間とも雨で、2日目の頂上付近では豪雨で登山道が川になり、横でちいさい土石流がおきるような、経験したくも出来ないようなコンディションとなりましたが、泣き言ひとついわず黙々と登る子供たちの姿に引っ張られるように頂上にたどり着きました。
頂上で泊まった測候所でのいろいろな経験も子供たちには一生の思い出となったことでしょう。
私自身は生まれて初めて高山病にもかかりましたが今となっては良い思い出です。
最後は一人の脱落者も出ずに全員完走でき本当に良かったです！！
そして子供たちに引っ張られながら、完走できた自分を少しほめてあげたいと思います。
今回、このようなすばらしい経験が出来たのも、山本先生が本当に入念な計画を練り、万全のスタッフ体制で取り組んでくれたおかげです。山本先生、森さんをはじめ今回、同行していただいた先生方には本当に感謝しております。山本先生やスタッフの皆さんがいなければ、今回のようなコンディションで登りきることは絶対に無理だったと思います。
本当にありがとうございました。
自然と向き合い、仲間や子供達との一体感と達成感を共に共有できる山登りをこれからも続けていきたいと思っています。山本先生は大変だと思いますが、これに懲りず、是非これからも子供達と一緒に山に登る機会を作っていただきたいと思います。
これからもよろしくお願いいたします。

(2008年9月3日)

中学3年男子 急性高山病を体験したS君 「富士山感想文」

僕は富士山を終えて、まず「生きてて良かったと思いました」。
初日は雨がシトシト少しだけ降っていて標高もあまり高くなかったので大丈夫でしたが、星観荘では疲れていて直ぐ寝てしまいました。
朝は少し体がダルくてつらかったけど、まだまだ大丈夫でした。スタート前には朝食も食べ、より元気が出て、いざ出発です。前日に練習で行ったところはきつくて、森林限界の所はすごかったです。
2日目のメインはそこからで、六合目から雨が少しづつ強くなってきました。
どんどん登って行き、それにつれ雨が強く、強くとなっていく、本八合目は本当につらかったと思います。手がかじかんで、足がすくい、少し頭痛で、景色はまっ白で、まさに最悪だったです。雨は上に行くほど強くなり、岩場はものすごく足がすべって、5回くらい死に目に会いました。まさに辛さを超えてすごかったです。
そして、やっとの思いで富士山頂に着き、雨はものすごく強くなってました。そこが終りだとおもってたんで、測候所までの30分は本当につらかったです。やっとの思いで着いた頃にはもう体はガチガチで、くつは脱ぎたくても脱げなくて、体も服もすべてビジョビジョでした。あの時のストープはきもち良かったです。まさに高山病にかかり、体がだるくねむたいけど眠れないという貴重な経験ができました。
本当にあまり行けない場所だった事はそのときは知りませんでしたが、ものすごい量の機械とか、広い部屋があり、すごかったです。水は少なく、トイレは流れなくて、普段の自分はどれだけ幸せだか身をもって感じたと思います。
次の日の朝は体調の事で、御鉢回りに行けなかったのがとても残念でした。
そして、測候所を出る前にいろいろとあり、すごかったけどその全てが貴重な体験だったと、改めて思います。
下山は自分のおもったよりもつらくて、足がすごく重くて、マメが出来てとても大変でした。頭も重かったけど、1時間30分ぐらいで降りられてすごかったです。
全員で帰って本当に良かったです。本当につらかったけど、達成感はすごくて、とてもうれしかったと思います。だから、山はまた個人でもガンバッテ行けるようになりたいです。

中学3年 姉妹

<登り 初日～2日目の登頂まで>

- 息があがりっぱなしなのと、ザックが肩にくい込むのがつらかった。
- 2日目の雨が目にしみた、くつにしみた、軍手にしみた。
そして、寒さが身にしみた。(なのでうどんはおいしかった)
- 頂上に近くなるにつれ、頭がボーとして、少々めまいがした。気持ち悪くなった。
～本当は、あの雨の中登るなどしないということを後で知り、おどろいた。
きつかったけれど、前の人についていくのに必死で、そこまで考えられなかった～

<頂上 測候所にて>

- 高山病に苦しめられた。みんなの顔もむくんで見えた。
- まさかの西瓜がうれしかった。ゼリーもうれしかった。
- 浅野先生の話はおもしろいこともあって良かったのだが、高山病とねむ気におそわれ、頭に入れたくても入らなかった・・・(すみません・・・)
- 朝のおはち回りは、みんなのスピードについていけない部分があった。
- 少しだけ雲が切れている所を見れたのがよかった。
- 剣ヶ峰目指してのダッシュ、正直しんどかった。
しかし、この辛さは登りの時のとは違って楽しいものだった。
- 夜は薬のおかげもあったのかもしれないが、ぐっすり寝た。

<下り 3日目>

- ペースが速くて、「早く下りが終わってくれ」と願いながらついて行った。
- 雨などの影響があり、足もとがこわかった。
- 馬糞がいたる所におちている事に驚いた。やはりそこまで管理するのは難しい事なのか---

<測候所について>

日本一高い場所ということでもあり、建物の造りがすごく強く、二重になっている窓などもすごいと思いました。測候所で色々な研究がされているようで、そういう場所に泊まれたということで、とても貴重な経験になりました。ここからは私たちの希望になるのですが、中学生でこの場所に泊まるということは私たちが初めてと伺いましたが、日本一高い建物に泊まるということをぜひ私たちだけでなく味わってほしいと思いました。私たちに将来子供ができればその子にもこの経験をさせたいと思います。
以上のことから、“このままこの建物を残してほしい”というのが願いです。そしてもう少し一般の人にも公開するような機会をもうけてほしいと思います。

富士山頂実験室

佐藤 元¹

1. 一般社団法人日本気象予報士会 気象実験クラブ

1. はじめに

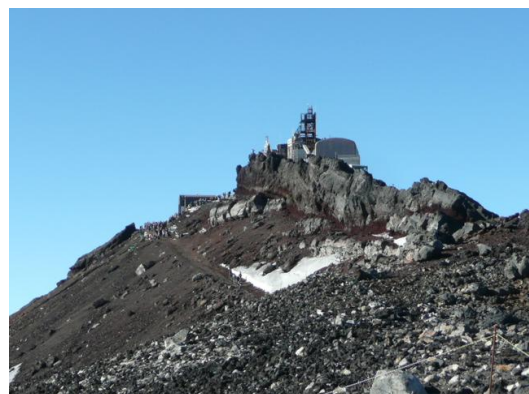
多くの関係機関から資金のご支援や技術のご協力を頂き、そして重荷を担ぎ高山病とも闘いつつ富士登山して下さったメンバーや、地上会場で通信が途絶しても手際よく講座を運営して下さいました多くのメンバーの皆さんのおかげをもって、富士山プロジェクトを終了することができました。終了の報告に当たり、このプロジェクトの成り立ちの経緯を概略記しておきます。

気象実験クラブでは、過去3年間、地上の学校や公民館などで、実験を主体とした出前講座を企画し、主催し、また各種の財団等の企画に参加してきた。こうした講座における実験は、子供たちには大変興味を持ってもらえたが、私たちが提供するコンテンツをさらに興味深いものにし、また印象深いものにするため、通常行われている実験形態を改善してみる。すなわち、実験の場所をより魅力的な場所にしてみよう。宇宙空間や、南極、エベレストで実験するには、費用も体力も必要である。身近な存在である富士山なら、宇宙に行くほど遠くもないが、どうであろうか。いざ実施しようとするとなかなか大変である。たとえ富士山であっても、山頂まで子供たちに登ってきてもらうのは、これまた大変である。そこで、講師は富士山頂で、子供たちは地上の会場で、リアルタイムで同じ実験を行い、QAしながら、講座を進行する。これならできそうである。こんな思いのもとスタートした。

2011年1月、川崎市市民活動センターのフェアで構想発表、2月に NPO 法人富士山測候所を活用する会の夏季研究に応募・採択、同じ2月に日本気象予報士会幹事会の承認を得て、さらには、同 NPO 法人ならびに日本気象協会のご協力も頂けることとなり、プロジェクト実現へのスタートが切られた。



富士山頂への登山コース
登山道・下山等としては、「須走口コース」を利用した。



富士山頂気象庁(元)測候所
3回登頂し、3回宿泊・実験等を実施した。

2. 系譜

2011 年

- 1 月 23 日 : NPO 法人富士山測候所を活用する会の研究発表会出席
- 1 月 30 日 : 川崎市市民活動センターにて富士山プロジェクト構想を発表
- 2 月 8 日 : NPO 法人富士山測候所を活用する会の夏季研究等募集に応募、採択
- 2 月 19 日 : 日本気象予報士会幹事会にて、富士山プロジェクト企画の紹介。承認された。

- 5月15日 : 富士山へのアクセス確認、残雪の状況確認および5合目での通信可能性確認
- 6月4日～5日 : 富士山の残雪の状況確認および、7合目での通信可能性確認
- 6月19日 : 富士山登山ルート（富士吉田口）検分、
- 7月1日 : YNU 気象学研究室キックオフミーティングにて構想紹介
- 7月7日 : 気象実験クラブキックオフミーティング開催
- 7月15～17日 : 山頂の気象庁庁舎からの通信可能性確認登山
- 7月18～31日 : 地上での送信、受信状況の確認実験、
- 8月2日～4日 : 出前講座（山頂の気象庁測候所～地上会場1、パルシステム新横浜本部にて）
- 8月26～28日 : 出前講座（山頂の気象庁測候所～地上会場2、南希望ヶ丘ケアプラザにて）

3. 活動の概要

2011年

7月15日～17日 :

活動内容 : 山頂の気象庁庁舎内からの通信可能性確認、庁舎内の電波受信状況の最良の場所の確認、庁舎内での LAN 設備への接続および通信の可能性確認、3G回線の実地使用確認、地上における受信状況確認

登山者 : 気象実験クラブメンバー : 3名

地上側 : 気象実験クラブメンバー : 6名

7月18日～31日 :

活動内容 : 地上での送信、受信状況の確認実験のため、USTREAM および SKYPE による画像、音声の送受信の使用勝手の確認

地上のみ : 気象実験クラブメンバー等 : 8名、

8月2日～4日 :

活動内容 : 富士山頂気象庁庁舎内～地上のパルシステム新横浜本部をインターネットで結び、それぞれの場所で同じ実験を同時に実施し、画像と音声で見える様にした。画像が遅延、中断したときはバックアップ手順に従い代替の実験を行った。

実験内容 : 山頂での実験は、地上との気圧の差が明瞭にわかるものを考えた。

マシュマロ、ピーマン、缶ビール、洗剤の泡、菓子の袋等を実験素材とした。

登山者 : 気象実験クラブメンバーおよび YNU 学生 : 6名

地上側 : サニーエンジェルスメンバー、YNU 学生 : 7名

参加者 : 子供たち、保護者総数約30人、スタッフ等9人

特記 : NPO 法人の理事土器屋由紀子先生にも講座へ登場頂き、また事務局スタッフの方々数名の参加、山と溪谷社からのご参加も頂いた。

8月26日～28日 :

活動内容 : 山頂の気象庁庁舎～南希望ヶ丘ケをインターネットで結び、それぞれの場所で同じ実験を同時に実施し、画像と音声で見える様にした。降雨等で画像が中断したときは、バックアップ手順に従い、代替の実験を行った。

実験内容 : 山頂での実験は、地上との気圧の差が明瞭にわかるものを考えた。

マシュマロ、ピーマン、缶ビール、洗剤の泡、菓子の袋等を実験素材とした。

登山者 : 4名

地上側 : 7名

参加者 : 子供たち、保護者総数約10人、スタッフ等7人

特記 : 2012年8月にも実施するよう要請あり。

4. 出前講座の内容

出前講座は、2回、2か所で実施した。以下、8月4日、富士山頂上の富士山測候所～パルスシステム新横浜本部（横浜市内）をインターネットで結んで、山頂～地上の双方向で会話しながら、講座・実験を実施したケースを示す。



地上会場で、江戸川大学教授土器屋先生による富士山での活動の解説



富士山頂上側のPCには先生の説明風景が映し出されている



地上の会場の全体風景
PC 2台、プロジェクター 2台設置した



富士山頂上側の（元レーダー制御室内での）
PC 2台、実験器材の配置



地上の会場において、富士山頂上からの映像がリアルタイムに映し出されている



地上の会場において、頂上側と交信操作中
（地上会場の写真は、日本気象予報士会サニーエンジェルス提供）

このような企画は過去に実施例がなく、画像・音声の送受信が当初から懸念材料であった。PC の電源の持ち時間も懸念材料であった。通信インフラの使用可能性も懸念材料であった。2011 年度は、NPO 法人事務局とも打ち合わせし、富士山頂の庁舎が利用できることとなり、電源問題は解消した。また、今年度は、来年度へ向けた本格実験のための試行段階と位置付け、3G 回線を主体とし、LAN は使用可能性を確認しておくこととした。

実際行ってみると、予期したことではあったが、画像・音声の送信遅延、中断が発生した。これにより、地上の会場における実験の手順も狂うこととなった。この時、会場では、代替的な実験や話題に即座に切り替えられる態勢をとるようにしておいたので、大過なく講座が進行したと思われる。山頂～地上間で、画像・音声がつながったときは、子供たち、施設側スタッフからの満足が得られたことと思われる。（下記、注記＊）

8/4 は、パルスシステムの理事さんから、8/27 は南希望ヶ丘のスタッフから画像・音声で、感謝の言葉をいただいた。

なお、登山途中では、気象観測、雲の観察等随時実施した。UVI、動脈血酸素飽和度などの測定も行った。

注記＊

山頂～地上で画像と音声をやっとつながったとき、地上会場においては子供たちの反応もさることながら、付添いのご父兄からの強い反応（驚きと安堵）があったということ、10 月に入ってから地上会場に参加したスタッフから聞きました。

4. ロジスティックス

(1) 電源：

PC 2 台、ビデオカメラ等の電源（バッテリー）の使用継続時間に限界があるため、当初ソーラーパネル購入を検討した。測候所の電源使用可能となったので、購入は行わなかった。

(2) 水

測候所には、自由に使える水は一滴もない。全て自分で荷揚げする必要がある、数 Kg の加重負担となった。使用後のペットボトルは、全て自分で持って帰るので、荷物がかさばることとなった。

(3) 食糧

測候所での食事は、すべて自炊あるいは、持参物で賄った。2 泊 3 日のごく短期間ではあったが食事を各自用意するのは、それなりに大変であった。

(4) その他

登山においては、高山病対応、老年者対応のため、7 合目の山小屋で 1 泊した。頂上では、3 回の登山すべてにおいて、測候所に到着後、気分が悪くなった者あり。PC やカメラ、ケーブル類等の金属製品の荷揚げ・荷下げは、とても負担が大きく、特に下山時には、膝が痛くなった等、登山した個々人ごとの医学的、体力的な問題が出た。

5. 公開(報告)、取材&広報

2011 年

- | | |
|-----------|---|
| 3 月 24 日 | NPO 法人事務局(東京麹町所在)内で、山と溪谷社による取材(富士山ブック)、 |
| 7 月 16 日 | 山頂庁舎内で、NHK 静岡放送局による録画取材、 |
| 8 月 4 日 | 山頂庁舎内で、山と溪谷社による実況取材(富士山ブック)、 |
| 8 月 4 日 | 山頂浅間神社付近で、NHK 静岡放送局による実況取材、を受けた。 |
| 11 月 20 日 | JST のサイエンス・アゴラ出展 |

2012 年

- 1 月 29 日 NPO 法人富士山測候所を活用する会の研究発表会で発表
2 月 18 日 なんでも富士山（静岡県富士市富士山メッセ）出展

(*) ブログ：2011 年 8 月 4 日の地上会場の様子は、以下のブログにそれぞれ紹介された。
富士山測候所を活用する会ブログ <http://blogs.yahoo.co.jp/npofuji3776/10763471.html>
日本気象予報士会サニーエンジェルスブログ <http://ameblo.jp/araiguma-angel/>

(*) 気象実験クラブのホームページ等

HP	http://www.yoho.jp/member/interfrefx/fuji3776.htm	
USTREAM	http://www.ustream.tv/recorded/14753371	まぼろしの滝
	http://www.ustream.tv/recorded/15169266	試行実験
	http://www.ustream.tv/recorded/15516043	霧中登山
	http://www.ustream.tv/recorded/16005782	かげふじ
	http://www.ustream.tv/recorded/16305243	山頂・測候所
	http://www.ustream.tv/recorded/16306402	登山・景色
	http://www.ustream.tv/channel/fujichan3	実況放送用チャンネル

7. 問題と対策等

- (1) 気象予報士の中には、結構多くの方々が富士山に関心を持ち、また登頂希望し、そして登頂している様子が分かった。来年度の富士山登山者の広がりが期待できそうである。
- (2) 送受信のための通信状況の不安定さ、登山&宿泊のための費用の負担がある。USTREAM、SKYPE が比較的順調に使用できることもあれば、まったく使えなくなることもある。
- (3) 通信衛星電話回線の利用検討。回線の遅延・切断時のバックアップシステム・切り替え手順の開発が必要である。

8. おわりに

この富士山プロジェクト活動への参加も、地上の講習会会場での参加だけでなく、実地の富士山に登ってきてもらい、体験的に学べる場を構築したい。この活動を、来年度以降も継続できるため、多くの機関・人々の理解・連携および、運営・実行するための仕組みの構築が必要である。

謝辞

関係機関・個人から財政的、技術的、体力的ご支援・ご協力を頂き、富士山プロジェクトを終了することができ、また来年度への展望もひらけてきた。ここに厚く感謝する次第です。ありがとうございました。

協力機関

NPO 法人富士山測候所を活用する会
一般社団法人日本気象予報士会幹事会 (CAMJ)
一般財団法人日本気象協会 (JWA)
国立大学法人横浜国立大学教育人間科学部気象学研究室 (YNU)
一般社団法人日本気象予報士会サニーエンジェルス
独立行政法人科学技術振興機構 (JST)

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

富士山測候所の居住環境～音と空間～

村上祐資¹、平本正宏²

1. 東京大学大学院工学系研究科、2. TeknaTOKYO

1. はじめに

現在の富士山測候所は、滞頂人員 5 名で構成された班が約 3 週間ごとに交代を繰り返しながら年間を通して有人観測を行っていた 2004 年までの気象庁による維持運営体制と比べ、夏期の 2 ヶ月の間にそれぞれの観測および設営作業に応じて多くの関係者が不規則に滞在する施設へと変化した。日によってほとんど人が居ないときもあれば逆に 20 人近くも居るときもあり、またそれぞれの滞在日数も日帰りから数週間とまちまちである。また標高 3776 メートルの富士山頂では地上に比べ気圧や外気温などが著しく異なり、また何時間にも及ぶ登山行程により疲労が蓄積され、富士山測候所にやってくる関係者のなかには体調に変調を来してしまう者も少なくない。

NPO では測候所の 1 日の宿泊人数の定員を 13 人までと定めているが、これは測候所内に設置された災害用簡易トイレのキャパシティが主な理由であり、空間的な検討によるものではない。また宿泊者が滞する部屋として、2011 年度では寝室として 1 号庁舎 1 階および 2 階、2 号庁舎 1 階の 3 部屋が、食事や団欒、調理の場として 1 号庁舎 1 階および 2 号庁舎 1 階の 2 ヶ所が設定されているが、これは気象庁からの借受けエリア区分のなかで観測機器設置スペースの割当以外のエリアから面積配分されたものと推察され、残念ながら居住に適した空間配分がされているとは言い難い。

こうしたさまざまなストレス負荷が掛かる環境は、正確な作業、臨機応変な対応を要求される観測活動へ悪影響を及ぼしかねない。良い仕事は良い環境が整ってこそ生まれる。2010 年度では主に空間的な利用から、2011 年度は主に空間の音環境から、現在の富士山測候所の居住環境を調査した。そこから得られたデータを紹介し、富士山測候所のより良い空間利用について考察する。

2. 方法

富士山測候所の施設の中で、食事や団欒、調理の場として利用されている 1 号庁舎 1 階および 2 号庁舎 1 階の 2 ヶ所の空間それぞれに、定点カメラを設置し 5 分間隔でインターバル撮影を行い、その撮影された画像から、それぞれの空間を利用している人数と時間から空間別にどのような違いが見られるかを分析した。また寝室として使われている 1 号庁舎 1 階および 2 階、2 号庁舎 1 階の 3 部屋それぞれで、リニア PCM レコーダーを用いて音の録音を行い、周波数と音の強さを解析した。また 1 号庁舎 1 階では換気ファン停止時および停電時の、1 号庁舎 2 階では換気ファン停止時の音を録音し、通常時の音と比較分析を行った。

3. 結果と考察

インターバル撮影の画像から、2 号庁舎 1 階の空間が食事の時間帯以外にも団欒や作業、休息など幅広い目的に利用され、また複数のグループが混在する場合においても団らんの場となっているのに対し、1 号庁舎 1 階の空間では食事時間帯以外で利用されることは稀で、特に複数のグループが混在するケースにおいては利用者はそれぞれの寝室(ベッド)に籠ってしまう時間が多いことが分かった。これには 1 号庁舎 1 階の空間は複数の動線が重なる場所に位置していること、また山頂班の作業スペースと近いこと、利用者にはそれぞれベッドという個人が占有できるスペースが与えられている(2 号庁舎 1 階は布団)などの、複合要因が推察される。

次にそれぞれの寝室の音環境であるが、1号庁舎は1階、2階とも40～165 Hzの帯域で-20 dB程度のノイズが出ているのに対し、2号庁舎ではほとんどノイズは無いに等しい。また、換気ファン停止時では、1号庁舎1階、2階寝室ともに低周波帯のノイズに変化はあまり見られず、高周波帯では特に1階ではノイズが薄まっているのが分かった。停電時の1号庁舎1階寝室においては2号庁舎1階寝室と同様にほとんどのノイズが無くなった。音環境から評価すると、睡眠に適しているのは2号庁舎1階寝室のみで、1号庁舎1階寝室は換気ファンを停止すれば短期ならば許容可能か、1号庁舎2階寝室においては不適となる。富士山測候所内の空間区分を見直す必要がありそうだ。

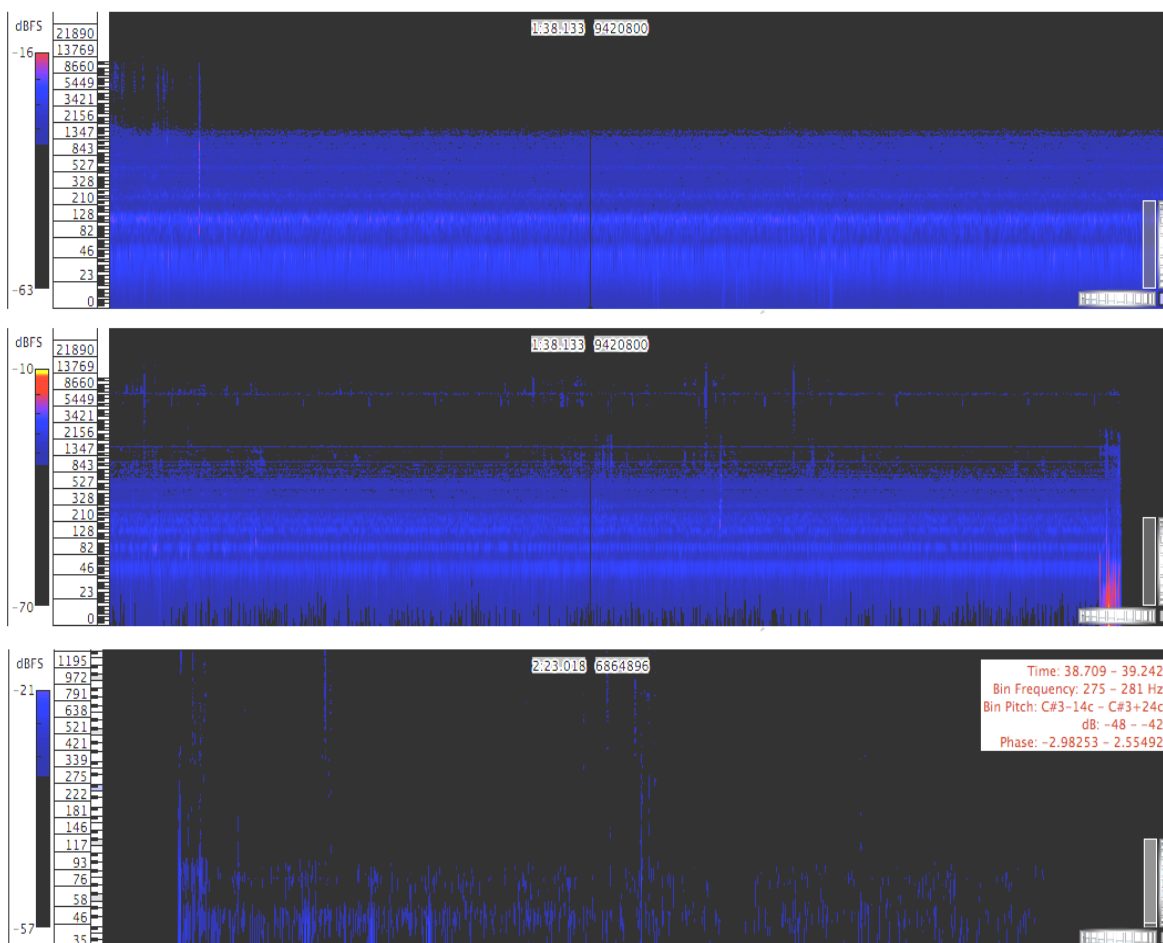


図1. 上からそれぞれ1号庁舎1階寝室、1号庁舎2階寝室、2号庁舎1階寝室の音域解析図

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

地球大気環境保全に向けた富士山測候所の戦略的活用計画： 「東アジア高所大気化学観測拠点」としての富士山測候所の再生 (三井物産環境基金助成事業)

畠山史郎

NPO 法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

急激な成長を遂げる東アジア地域に由来する大気汚染物質に対して、富士山測候所を『わが国の自然環境と国民の健康を守るための砦』とし、大気化学観測施設としての設備と人材の充実を図り、その実態解明を行うことは我が国全体の大気環境を考える上でも重要なことである。富士山頂はほぼ年間を通して地表付近の影響を受けない自由対流圏に位置することから、日本国内の局地的な大気汚染の影響を受けにくく、越境大気汚染や地球規模の大気観測地点としては理想的な場所である。さらに、そこで得られた観測データをリアルタイムに提供することにより、越境大気汚染に関する警告を迅速に発することも可能となる。

このために観測施設にかかわる人材と設備の充実を図ることを目指し、三井物産環境基金に申請した研究助成が幸いにも採択され、研究を進めることが可能となった。NPO 法人が管理運営にあたるという特徴を生かし、富士山測候所を広く開かれた研究施設として活用して、大気化学のみならず、宇宙線科学、永久凍土研究、高所医学など「富士山でなければできない研究」を積極的に推進していくこともこの研究助成の目的に含まれている。

2. 2011 年夏期山頂庁舎の管理運営の経緯

2010 年度から本 NPO では測候所の借用部分を拡大した。そのため、三井物産環境基金に申請した当初の計画は「東アジア高所大気化学観測拠点」のためのスペースを確保し、研究補助員を専属として配置して、夏期の 2 か月間山頂を NPO が管理運営している間、アルバイトと交代で山頂に滞在し、山頂班と協力してインレットの最適化、停電時の無汚染代替電源の検討などを中心に作業を行うことと、更に測候所を利用する研究者を NPO による公募研究も含めて技術的にサポートし、各種の大気化学観測に協力することにより、現在研究者ごとにばらばらに行っている観測を統一的に、効率よく行えるようにすることであった。また同時に無線 LAN による御殿場基地へのデータの送信や管理を行い、研究者による成果の公表をサポートすることも目的としていた。

しかし、これまで NPO の研究資金面で大きな役割を果たしていた JAMSTEC との共同研究が終了したため、山頂の管理運営を本助成金のみでまかなう必要が生まれ、常勤の研究補助員の雇用はあきらめざるを得ず、これまで山頂を管理していた登山家に研究補助を依頼して管理と同時に行い、夏期 2 ヶ月の観測を実現した。

3. 2011 年の成果

山頂滞在研究者数は震災の影響などのため、やや減少したが、学会発表など研究発表の数は増加傾向にある。本年度の活動は以下の通りであった。(図1、図2)

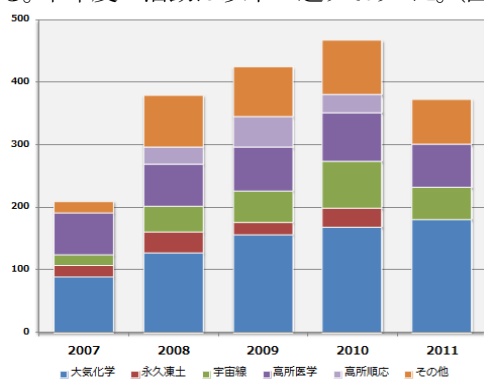


図1. 夏期観測参加者数の推移

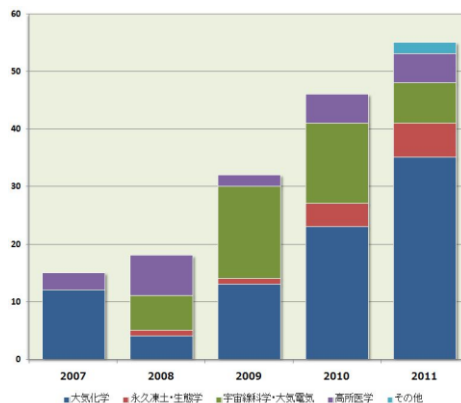


図2. 学会発表件数の推移

- 1) 登山家8名を雇用し、夏期2ヶ月(7月10日～9月1日)の富士山測候所借用部分を用いた17件、延べ373人の研究活動を補助し、安全に終了した。(表1)
- 2) 研究者のサポートの一部は御殿場にボランティアとして滞在した8名の研究者が行い、荷物運搬や登山管理などの実的なノウハウを蓄積したため、来年以降の研究補助に反映させることが出来る。
- 3) 山頂の代替電源としての太陽光パネルの常設に関する調査を行い、設計書及び見積りを入手した。
- 4) 無線 LAN、ライブカメラなどを設置し、大気化学実験室の整備を行い、無線 LAN によるリアルタイム観測データおよびライブカメラ映像を会員限定で公開した。またインレットの改良へ向けての部品発注を行った。

表1. 2011 年度研究計画/活用計画

(1) 研究計画

01) 富士山頂における無人の継続的二氧化碳濃度測定	向井人史、須永温子(国立環境研究所)
02) 富士山頂におけるエアロゾル粒子と雲凝結核の測定	三浦和彦(東京理科大学)
03) 富士山を観測タワーとした大気中水銀の長距離輸送に係わる計測・動態・制御に関する研究	永淵修(滋賀県立大学)
04) 同位体を用いた炭素系粒子の発生源分別	兼保直樹(産業技術総合研究所)
05) 富士山頂における身体動揺の簡易測定の有用性について	井出里香(都立大塚病院)
06) 通年オキシダントデータの無線 LAN を用いた国際ネットワーク配信に関する研究	
(*) 新技術振興渡辺記念会受託研究	土器屋由紀子(富士山測候所を活用する会)
07) 宇宙線被ばく線量評価の信頼性向上を目的とした富士山頂での放射線測定	
08) 富士山頂における有機エアロゾルの組成に関する研究	保田浩志(放射線医学総合研究所)
09) 富士山頂での夏季のオゾン・一酸化炭素の特性	河村公隆(北海道大学)
10) 富士山の永久凍土研究—水文学的および地形学的なアプローチ	加藤俊吾(首都大学東京)
11) 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—降水相互用の観測	池田 敦(筑波大学)
12) 高所滞在中の尿タンパク量とアンギオテンシン遺伝子型の関連	大河内 博(早稲田大学)
13) 富士山頂短期滞在時の安静および運動時の脳血流心血行動態に関する研究	上小牧憲寛(国際医療福祉大学)
14) 富士山頂における睡眠時の低酸素症に対する口腔内装置の効果	浅野勝己(筑波大学名誉教授)
15) 富士山頂のヤマネ	野口いづみ(鶴見大学)
16) 3次元雨量計の強風環境下における計測特性試験	杉山昌典(筑波大学)
	松田益義(MTS雪氷研)

(2) 活用計画

01) 富士山旧測候所を活用した通信の可能性について	吉田智将(KDDI)
----------------------------	------------

研究成果を速報として集約するとともに各種学会における研究発表を行なったが、その中で、ポスター発表及び学生発表に関する4件の受賞が得られたことは大きな成果であった。また、サポート期間に行われた国立環境研究所などの研究活動が新聞やTVなどマスコミに取り上げられ、一般の方々にも興味をもって頂くことができたのではないかと考えている。

4. おわりに

2011年度の夏期観測は本研究助成の第1年度として、富士山測候所に「大気化学研究施設」としての新しいスタートを切るため、これまでばらばらであった研究者間のコーディネイトが第一目標であった。諸般の事情で常勤の研究補助員雇用は出来なかったものの、研究者の自主的な活動と山頂管理運営の効率化によって、各種の大気化学観測を統一的に行うという重要な業務へ一歩近づくことが出来、来年度に反映できるノウハウを得ることが出来た。

*連絡先: 畠山史郎(Shiro HATAKEYAMA)

npofuji3776@yahoo.co.jp

富士山体を利用した自由対流圏高度における エアロゾル—雲—降水相互作用

大河内博¹、緒方裕子¹、皆巳幸也²、片山葉子³、米持真一⁴、竹内政樹⁵、香村一夫¹

1. 早稲田大学、2. 石川県立大学、3. 東京農工大学、
4. 埼玉県環境科学国際センター、5. 徳島大学

1. はじめに

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

2. 観測期間・観測地点・観測項目

自由対流圏高度に位置する富士山頂で2011年7月13日から8月25日までエアロゾル(水溶性成分、多環芳香族炭化水素、フミン様物質、球状炭化粒子、黄砂)、ガス(酸性ガス、揮発性有機化合物)、雲水、雨水の観測を行い、日本上空のバックグランド濃度の測定を行った。また、昨年度、一昨年に引き続き、越境汚染あるいは夏季の斜面上昇流に伴う山麓の汚染気塊(国内汚染)の流入に伴うバックグランド大気汚染の特徴およびエアロゾル—雲—降水相互作用をフィールド観測により検討した。さらに、自由対流圏高度におけるバイオエアロゾルの存在量、起源および挙動の解明を試みた。

3. 観測結果

図1に2006年から2011年までの夏季集中観測期間中に富士山頂で採取された雲水中化学成分総イオン濃度と組成を示す。雲水が40試料以上採取できた2009年から2011年までの雲水中総濃度は200 µeq/L以下、pHは4.5から5.0を推移しており、平均化学組成は年による変動が小さかった。2007年以降、雲水の $\text{NO}_3^-/\text{nss SO}_4^{2-}$ 比は0.7(当量比)付近を推移した。後方流跡線解析により空気塊と雲水化学成分濃度および組成との関係を調べた結果、大陸由来の空気塊が富士山頂に輸送される時に雲水内化学成分濃度の上昇とpHの低下が認められたことから、富士山頂の雲水は越境汚染の影響により酸性化していることが示された。

2011年には新たに個別粒子観測を行った。個別粒子の形状観察および元素組成を調べた結果、AlとSiを主成分とする鉱物粒子とともに、球状炭化粒子と思われる粒子も観察された。鉱物粒子は登山客が巻き上げた可能性が考えられることから現在データ精査を行っている。

4. おわりに

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

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

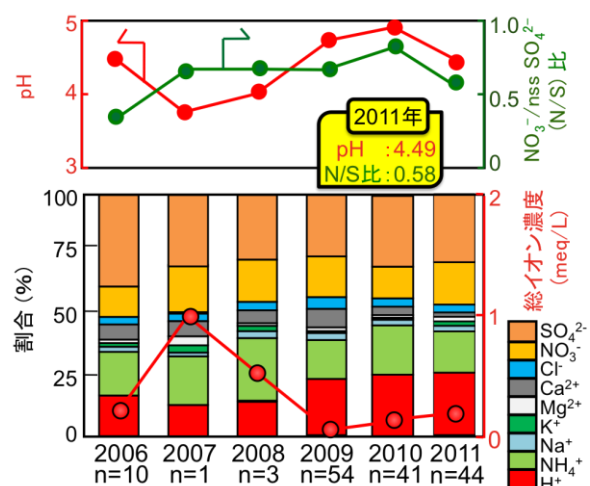


図1 富士山頂の雲水化学成分濃度と組成の経年変化

富士山における有機エアロゾルの研究

河村公隆¹、藤原真太郎^{1,2}、関宰¹、宮崎雄三¹

1. 北海道大学低温科学研究所、2. 北海道大学大学院環境科学院

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が実大気の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・北太平洋域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、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、自由対流圏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。

2. 方法

2009-2010 年の 7-8 月にかけて、富士山測候所 3 号庁舎西側外部にてエアロゾルのサンプリングを実施した。採取したフィルターは、水による抽出、ブチルエステル誘導体化を行った後に、ガスクロマトグラフィー(GC)、ガスクロマトグラフィー/質量分析計(GC/MS)によって低分子ジカルボン酸類の測定を行った。また、ジカルボン酸の安定炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}$)を、GC/C/irMS 装置を用いて測定し、ジカルボン酸の起源と光化学的変質についての情報を解析した。

3. 結果と考察

- (1) 夏季富士山頂にて採取したエアロゾル試料中(TSP & 粒径別)に、低分子ジカルボン酸を検出した。シュウ酸が主要な成分であった。夜間のみ採取した試料では、ジカルボン酸濃度は、昼夜連続採取の試料に比べて 1/3 から 1/10 に減少した。夜間は、自由対流圏の影響を強く受けるのに対して、昼間には低地のエアロゾルとその前駆体が谷風によって山頂まで輸送されると解釈された。
- (2) 低分子ジカルボン酸の安定炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}$)を測定した。シュウ酸の $\delta^{13}\text{C}$ は他の成分に比べて高い同位体比を示すことがわかった。
- (3) シュウ酸の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、夜間試料では、-10.6 から-25.5 permil (n=3, av. -16.8)の間で変動し、昼夜の試料では、-16.1 から-18.0 permil (n=4, av. -16.9)の範囲であった。夜間の高い値は海洋の影響を受けた気塊で、また、低い値は大陸起源の気塊が輸送されたときに得られた。シュウ酸の高い $\delta^{13}\text{C}$ の値は、海洋起源の有機物からの寄与があると共に、エアロゾルの光化学的変質が大きく寄与していることを示唆した。
- (4) 粒径別試料の分析から、低分子ジカルボン酸の多くは、粒径 $1\mu\text{m}$ 付近に濃集すること、また、シュウ酸の同位体比は、より微細な粒子で高くなることを発見した。自由対流圏で有機エアロゾルの光化学的エイジングが進行していることが明らかとなった。シュウ酸の同位体分別は、(1)シュウ酸の分解の際に ^{13}C の濃集の可能性、(2)シュウ酸の前駆体(Glyoxal, Glyoxylic Acid)のガス・粒子分配におけるエアロゾル相への ^{13}C 濃集が考えられる。(1)の可能性については、室内実験により、その重要性が指摘されている(Pavuluri and Kawamura, 2011)。

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.
- Pavuluri, M. and Kawamura, K., Evidence for ¹³-carbon enrichment in oxalic acid via iron catalyzed photolysis in aqueous phase, *Geophys. Res. Lett.* (accepted).

富士山頂における雲凝結核の測定

長谷川朋子、三浦和彦
東京理科大学

1. はじめに

IPCC(2007)の放射強制力に関する報告書によれば、エアロゾルは負の放射強制力を持つことが分かっているが、エアロゾル効果の内の雲アルベド効果に関してはエラーバーが大きく、理解度が低い。そのため、多くの地域で、雲粒になり得る粒子である雲凝結核(CCN)を測定することが必要となっている。近年では全球気候モデル等に組み込むために、エアロゾルの粒径や化学組成など CCN 活性に寄与するもののパラメータ化がよく行われている。それらのパラメータから計算(予測)する CCN 濃度(Nccn_cal)と実測値(Nccn)を比較することをCCN closure study という。本研究では、富士山頂でCCN濃度を測定し、 κ -ケーラー理論(Petters and Kreidenweis, 2007)を用いてCCN closure study を行うことで、CCN 活性に最も寄与するものを調べた。最終的には、以下に簡単に、かつ最適に、実際に CCN を測定することなくCCN 濃度を予測できるようなパラメータの値、もしくはモデルを見つけることを目的としている。

夏季の富士山頂(標高 3776m)は自由対流圏に位置していることが多く、ローカルな汚染が少ない。そのため、汚染質の長距離輸送やバックグラウンド大気が測定できることが期待されている。自由対流圏中における CCN 観測は航空機観測が多く、定点観測は標高 3580mのユングフラウヨッホ(Jurányi et al., 2010)等しかなく数少ない。そのため、富士山頂での CCN の測定は大変貴重であると位置づけている。

2. 測定方法

2011 年 7 月 14 日～8 月 25 日に富士山特別地域気象観測所で測定を行った。測定には SMPS (Model 3936N75, TSI)、OPC(KR12A, RION)、CCNC(CCN-100, DMT)を用いた。SMPS と OPC でディフュージョンドライヤーを通して乾燥させた凝結核(CN)濃度とその粒径分布を、CCNC で 0.1、0.19、0.27、0.36、0.44、0.52%の 6 つの過飽和度(SS)における CCN 濃度を測定した。

3. 結果・考察

NOAA の HYSPLIT の後方流跡線を用いて、山頂が自由対流圏に位置していたと考えられる日時を見積もった。その結果、自由対流圏中では粒径分布の幾何平均径が大きい方($\sim 100\text{nm}$)へシフトしていることが分かった(図 1)。これはユングフラウヨッホ(Jurányi et al., 2010)での粒径分布と逆の傾向である。自由対流圏中に位置している時の多くが中国大陸から輸送されたエアマスであったことから、粒径分布が変化した原因は大陸で発生した大量の粒子がエイジングされて山頂に輸送されてきたためと考えられる。また、CCN 濃度は自由対流圏中のほうがそれ以外の時より約 2 倍大きい値になった。

κ -ケーラー理論を用いて粒子の吸湿性を示す κ を求めたところ、測定期間の平均で 0.27 となった。

観測データを用いて 2 通りの方法で CCN 濃度(Nccn_cal)を算出し、実際に測定した CCN 濃度(Nccn)と比較を行った。1 つは粒径分布を測定期間の平均のもので固定して(方法 1)、もう 1 つは κ (臨界乾燥粒径 D_m) の値を測定期間の平均値(0.27)で固定して(方法 2)、以下の積分を行うことで Nccn_cal を算出した。

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

その結果、方法 1 の方がばらつきが大きくなり、方法 2 ではほとんどばらつきが生じなかった(図 2)。したがって、富士山頂では粒子の吸湿性(成分)は CCN 活性にあまり影響がなく、粒径分布が大きく CCN 活性に寄与することが分かった。よって、CCN 濃度が自由対流圏中の方が大きくなった主な原因は、大陸からの長距離輸送により粒径分布が幾何平均径の大きい方へ変化したためだと考えられる。

4. おわりに

富士山頂で CCN 濃度の測定を行ったところ以下のことが分かった。

- ・山頂が自由対流圏中に位置している時の方が粒径分布の幾何平均径が大きくなり、CCN 濃度も増加した。これは大陸からの長距離輸送によるものだと考えられる。

- ・山頂の κ は約 0.27 となった。

- ・CCN closure study から山頂での CCN 活性は粒径分布に大きく依存することが分かった。

今後、より Nccn_cal が Nccn に近づく条件や Nccn_cal にバラツキを与えている原因を探っていく予定である。

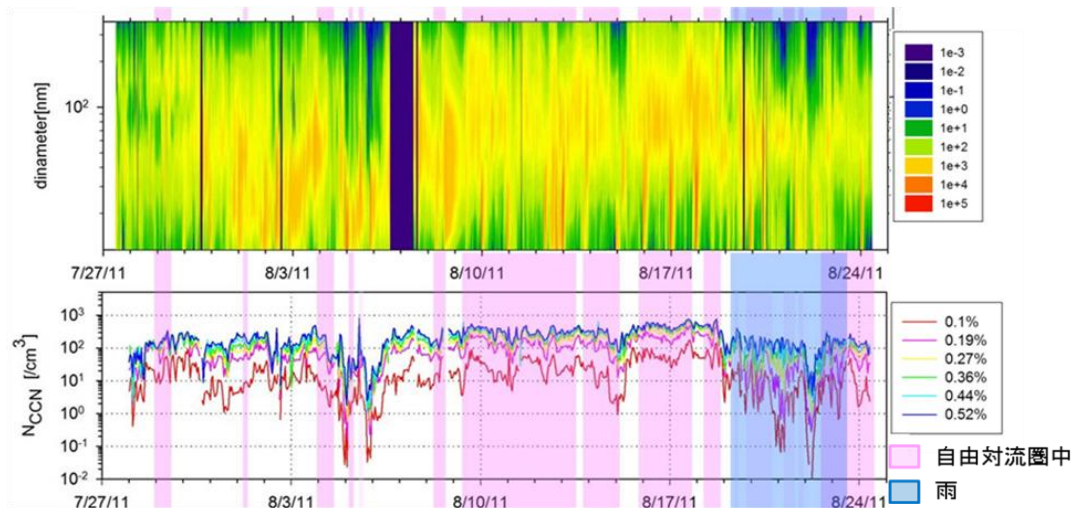


図1 測定期間の粒径分布(上)とCCN濃度(下)

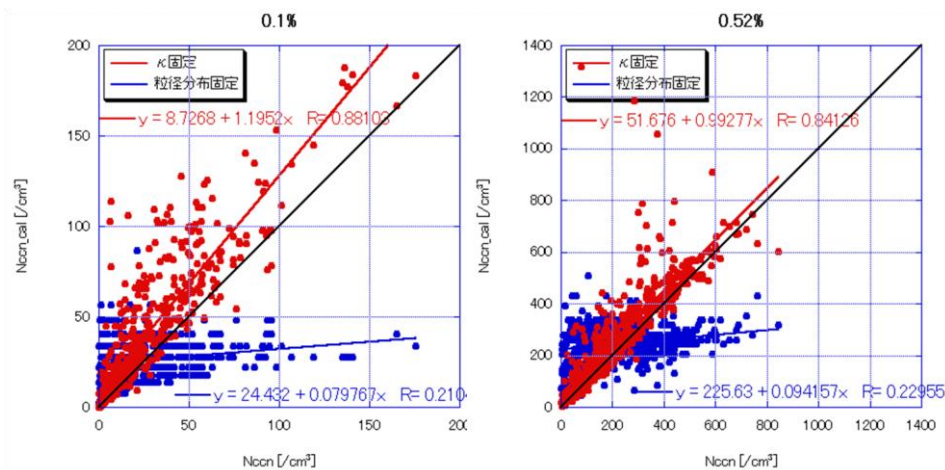


図2 過飽和度0.1%(左)と0.52%(右)におけるNccnとNccn_calの比較 (青:方法1、赤:方法2)

参考文献

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

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

*連絡先: 長谷川朋子(Tomoko HASEGAWA)、t.hasegawa54@gmail.com

富士山頂における夏季のオゾン・一酸化炭素の測定結果比較

加藤俊吾¹、Jeeranut Suthawaree¹、梶井克純¹

1. 首都大学東京 都市環境学部

1. はじめに

富士山頂は近傍からの汚染の影響をうけづらく、遠距離から長距離輸送されてくる汚染大気の観測するのに適していると考えられる。一酸化炭素(CO)は汚染大気が輸送されると濃度が高くなるので汚染大気輸送の指標となる。一方、オゾン(O₃)は汚染大気が光化学反応することで生成する。近年 O₃ 濃度の増加が都市域、地域的、広域スケールで問題となっている。日本へ長距離輸送されてくる大気汚染物質がどのような状況なのかを調べることを目的として、夏季に富士山頂での CO、O₃ 観測を 2007 年から行っている。

2. 測定方法

富士山頂の測候所 1 号庁舎にて 2007 年夏季はオゾンのみ、2008-2011 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, Model96)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 Model1150) にて行なった。

3. 測定結果

図に 2011 年夏の測定結果を示す。CO、O₃ともに大きな濃度変動がみられており、汚染大気発生源からの影響を頻繁に受けていることが分かる。空気がどこから運ばれてきたのかによっておおよそ濃度変化が説明できる。低濃度となるときは太平洋からの清浄な大気が運ばれてきている時であり、高濃度となる時は発源地域からの影響を受けている時である。観測期間中の平均日変動をみるとほぼ一定濃度であり、山谷風の影響を大きく受けてはいない。しかし、各年の平均濃度には差が見られており、それぞれの年で海洋性大気の影響が大きかった、梅雨あけの時期に差があるなどの気象的な違いを反映していることが考えられる。

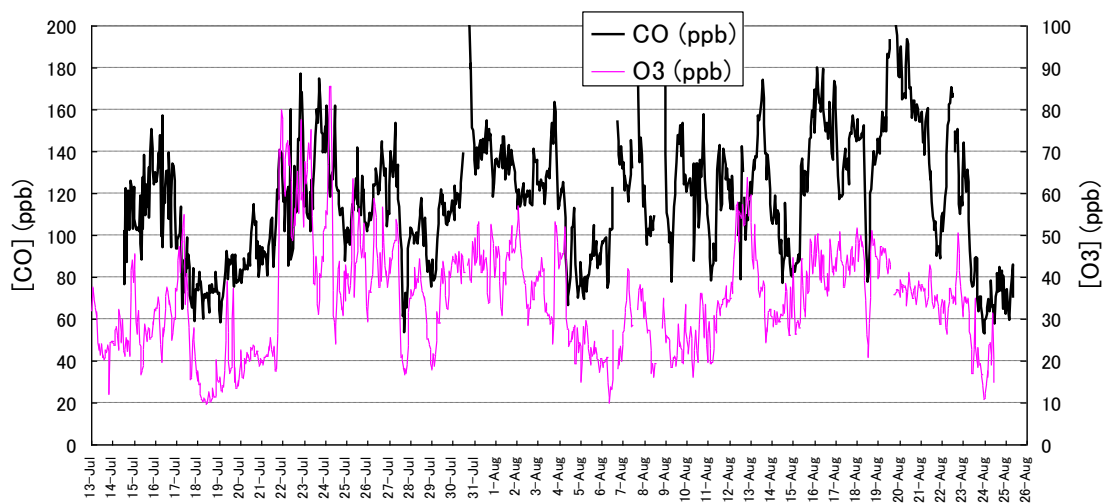


図 2011 年の富士山頂での CO、O₃ の測定結果

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

富士山頂における粒子状・ガス状水銀の動態

木下 弾¹、永淵 修¹、西田有規¹、三宅隆之¹、尾坂兼一¹、川上智規²、横田久里子³

1. 滋賀県立大学環境科学部環境生態学科、2. 富山県立大学工学部環境工学科

3. 豊橋技術科学大学

1. はじめに

自由対流圏における大気中水銀の動態を検討するために粒子状水銀とガス状水銀をどこでも測定できる小型軽量のアクティブサンプリングシステムの開発及び水銀パッシブサンプラーの開発を行い、これらを用いて 2007 年より富士山体における大気中水銀の動態を検討することを目的として研究を行っている。

2. 方法

2007 年～2008 年は山頂でアクティブサンプラーのみの 1 週間の測定、2009 年～2011 年は山頂以外の高度でもアクティブ、パッシブサンプラーによる観測を 1～2 週間行った。アクティブサンプラーは、ドライバッテリーあるいはカーバッテリーを電源にしてミニポンプを作動させ、石英繊維ろ紙に粒子状水銀を、金をコーティングした水銀管にガス状水銀を捕集するものである。一方、パッシブサンプラーは分子拡散プレート内に設置した金を蒸着した石英繊維ろ紙に分子拡散則にしたがって水銀を捕集するものである。これらを富士山体の異なる高度に設置し、水銀濃度を観測した。

3. 結果

2007 年～2011 年の夏季における大気中水銀濃度は富士山頂に到達した気塊がどこから来たかによってその濃度変化を示していることが明らかになった。2007 年 8 月下旬の約 1 週間では気塊が大陸から入っており、ガス状水銀で 25ng/m³ とかなりの高濃度を示しており、2008 年の 8 月中旬においては気塊のふれにより、濃度変化を示している。すなわち、中国大陆からの気塊の時は 3-5ng/m³ であり、太平洋からの気塊の時は 1.5ng/m³ 程度の北半球のバックグラウンド値を示している。また、2009 年、2011 年では観測した時期にほとんどが太平洋からの気塊の時は北半球のバックグラウンド値に近い値を示している。また、2010 年の標高別のパッシブサンプラー (3776m、3200m、2900m、2390m、2230m、2055m、1440m、855m) によるオゾン、SO₂、水銀濃度の鉛直分布をみると標高別の SO₂ 濃度の分布は、様々なパターンがあり、全地点でほぼ同一の SO₂ 濃度を示す場合、山頂 (3776m) から濃度を低減する場合や逆の場合が観測された。また、ほぼ同一濃度の鉛直分布を示す場合の SO₂ 濃度は 1ppbv 以下であった。一方、鉛直分布に濃度勾配を示した場合の SO₂ の最大濃度は 2～4ppbv の範囲であった。さらに、山頂で濃度が上昇したときの風向は北か北西であった。一方、1ppbv 以下の時は、南西か南東の風向が大半を占めた。

標高別のオゾン濃度の分布は、9回の観測中すべてにおいて標高が上がるにしたがって濃度が上昇する傾向にあった。特に、855m～2230m までと 2390m から上では大きな違いが認められた。さらに、オゾン濃度も SO₂ 濃度と同様に山頂の風向が北や北西の時に最大濃度を観測した。また、標高別の水銀濃度の分布は、いくつかのパターンが認められたが、SO₂ の濃度パターンと似た分布を示した。また、標高別に凸凹はあるが、885m と 3776m を比較すると 6 回の観測中全てで 3776m の方が高かった。

*連絡先: 永淵 修 (Osamu NAGAFUCHI)、nagafuti@ses.usp.ac.jp

福島原発事故の影響は富士山で見たか？

鴨川仁^{1,2}、大河内博^{1,3}、保田浩志^{1,4}、鳥居建男^{1,5}、土井妙子⁶、久米恭⁷、永淵修^{1,8}、
横山明彦⁹、緒方裕子^{1,3}、田原大祐^{1,3}、米山直樹^{1,3}、土器屋由紀子^{1,10}

1. 富士山測候所を活用する会、2. 東京学芸大学、3. 早稲田大学、4. 放射線医学総合研究所、
5. 日本原子力研究開発機構、6. 国立環境研究所、7. 若狭湾エネルギー研究センター、
8. 滋賀県立大学、9. 金沢大学、10. 江戸川大学

1. 概要

2011年3月の福島第一原発事故による放射能物質の飛来は大きな社会問題となった。多くの研究グループによるシミュレーションが直ちに公表され、後に複数点の地上観測データを組み込んだシミュレーションが公表された(たとえば Yasunari et al., (2011)など)。しかし、その後の航空機モニタリングによる詳細な表面への放射性物質の沈着状況マップなどからは差異が見られることからシミュレーションの精度を高めるにはまだ多くの観測データを必要としている。それらの有用なデータになりうるのが富士山の高度方向の放射線等の測定データであると考えられる。富士山測候所を活用する会では、山頂、五合目などで放射線、大気物質の夏季ないしは通年観測が数年行われている。それ故、これらのデータの解析により、原発事故前後の放射線変動データが高々度についても得られる。簡易的な解析の範囲では、五合目では原発事故起因の放射性物質は確認され、3700m を越える山頂では放射性物質はバックグラウンドレベルの範囲内で増加は確認できなかった。本稿では、測定項目のみを列挙し、より詳細な解析はポスターセッションにおいて発表する。

2. 測定項目

以下の下記の測定データを用いて本研究を推進した。

- 1) 山頂測候所内において雷雲から生じる高エネルギー放射線の測定のため 2008 年より NaI シンチレータ夏季期間中、連続で運用している。これらのデータを用いて分析を行った。
- 2) 本研究の著者の一人、保田ら(2011)は、2011 年 7 月 9 日複数の登山道を経由して、山頂と五合目のガンマ線空間線量率とガンマ線エネルギースペクトルの測定を行った。
- 3) 2011 年 6 月 28 日富士山測候所を活用する会の山頂班によって採取された山頂の積雪(Fig. 1)を深さごとの試料にわけ、ゲルマニウム半導体検出器にて国立環境研究所および若狭湾エネルギー研究センターで放射線検出を行った。この試料については、pH および水銀濃度についても検査を行っている。
- 4) 2011 年 3 月 11 日後の数ヶ月の間、エアロゾルを東京、富士山太郎坊にて、雨水を、東京、富士山太郎坊、丹沢大山山頂にて、雨水(霧水)を富士山太郎坊にて、溪流水を東丹沢にて1回ないしは複数回にわたり試料を採取し、放射性物質の検出を行った。



Fig. 1 (a) 山頂における積雪断面図(2011/6/28)、(b) 採取された積雪。

参考文献

Yasunari, T. J., A. Stohl, R. S. Hayano, J. F. Burkhart, S. Eckhardt, and T. Yasunari (2011), Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, doi: 10.1073/pnas.1112058108.

保田浩志: 富士山登山道で放射線を測る—福島第一原子力発電所の事故を受けて—, 富士山測候所を活用する会 会報誌「芙蓉の新風」Vol.6 (2012 年1月1日), 3

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

富士山山頂における雷雲発生時における高エネルギー放射線の観測

片倉 翔¹、鳥居建男²、杉田武志²、保田浩志³、楠 研一⁴、鴨川 仁¹

1. 東京学芸大学物理学科、2. 日本原子力研究開発機構、
3. 放射線医学総合研究所、4. 気象庁気象研究所

1. はじめに

雷雲および雷放電に起因すると考えられる高エネルギー放射線が、冬季雷では雲底が低い地上観測で、夏季雷では雲底が高いため山岳や航空機などの高高度で観測されている。これらの放射線には、雷雲中の強い電場が原因と考えられる 10 秒以上持続する長時間の放射線変動(Torii et al., 2011)と、雷放電が原因と考えられる 1 ミリ秒程度の短時間の放射線バースト(Moore, et al., 2001)の 2 つのタイプがある。それらのガンマ線のエネルギーは数 MeV から 10 MeV 超と高エネルギーでラドンなどの地殻起源の自然放射線には存在しないエネルギー領域である。前者については、二次宇宙線ないしは大地から放出され雷雲に含まれるラドンの放射性崩壊による電子が雷雲の強い電場領域で加速され雪崩的な衝突を起こすこと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、本研究では雷活動が盛んな独立峰である富士山の山頂において、高エネルギー放射線発生メカニズムに貢献すべく雷活動時の放射線変動観測を行った。

2. 測定方法

雷雲中の放射線を直近で検知するために、2011 年 7 月 15 日から 8 月 29 日に富士山の山頂で観測した。これらの観測は、2008 年(Torii et al., 2009)、2009–2010 年(Kamogawa et al., 2011)と同様なものである。放射線計測のために旧富士山測候所内に厚さ 2mm のアルミ製のカバーで覆われた 4 インチの円筒型 NaI シンチレーション検出器を設置した。この検出器の測定エネルギー範囲は、150keV から 23MeV である。さらに測候所屋根に Boltek 社製のフィールドミルを用いて雷雲活動で生じる大気電場の測定を行った。

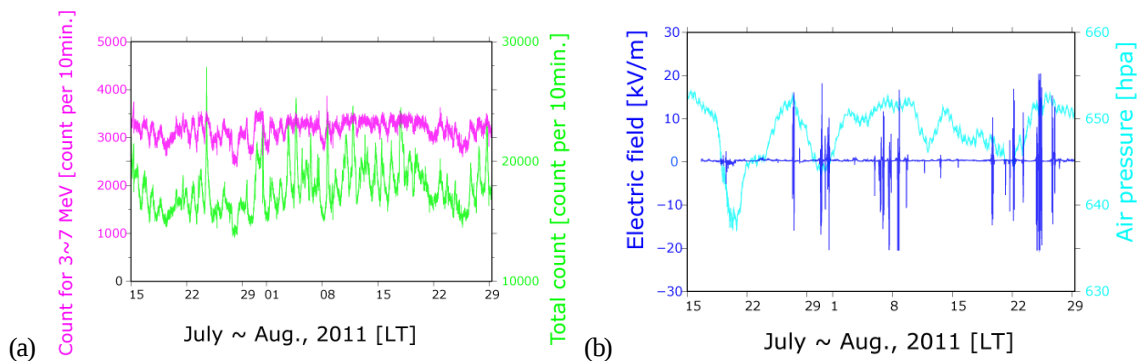


Fig. 1 測定された全観測データおよび測候所での山頂気圧データ(気象庁)。(a)測定された放射線。高エネルギー領域(3~7 MeV)および全エネルギーカウント数。(b)大気電場変動および気圧変動。

3. 測定結果

2011 年の観測では測候所内の商用電源が停止になる雷活動中においても、複数個の無停電電源による運転を行い、欠測なく放射線測定器および大気電場測定装置を稼働させた(Fig. 1)。2011 年では高エネルギーの放射線の変動が 8 月 8 日午後に関測された。放射線変動が見られたとき、2008 および 2009 年度とは異なり線量は小さかったが、強い強度の電場および降雨は存在した(Fig. 2)。電場変動およびレーダーエコーから推測すると近隣に雷放電が発生していた。Fig. 2(b)のデータから判断すると天然放射性核種において 3 MeV 以上の γ 線を放出するものはないためこれらは雷雲起源であると考えられる。

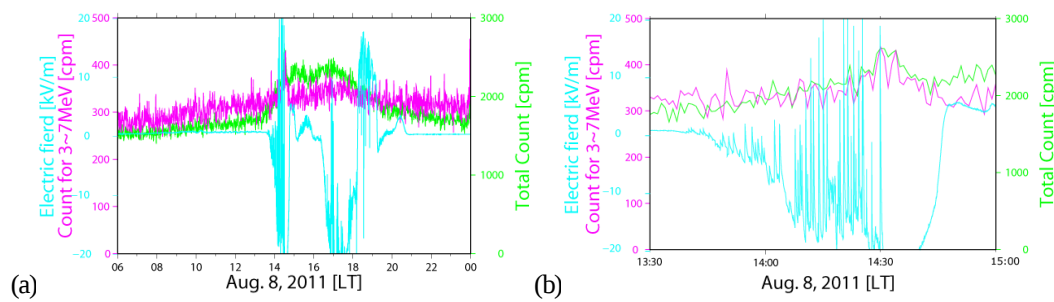


Fig. 2 雷雲活動に関係すると思われる放射線変動および大気電場。

(a) 2011 年 8 月 8 日の時系列。(b) 雷雲に関連する高エネルギー放射線が観測された周辺の時系列。

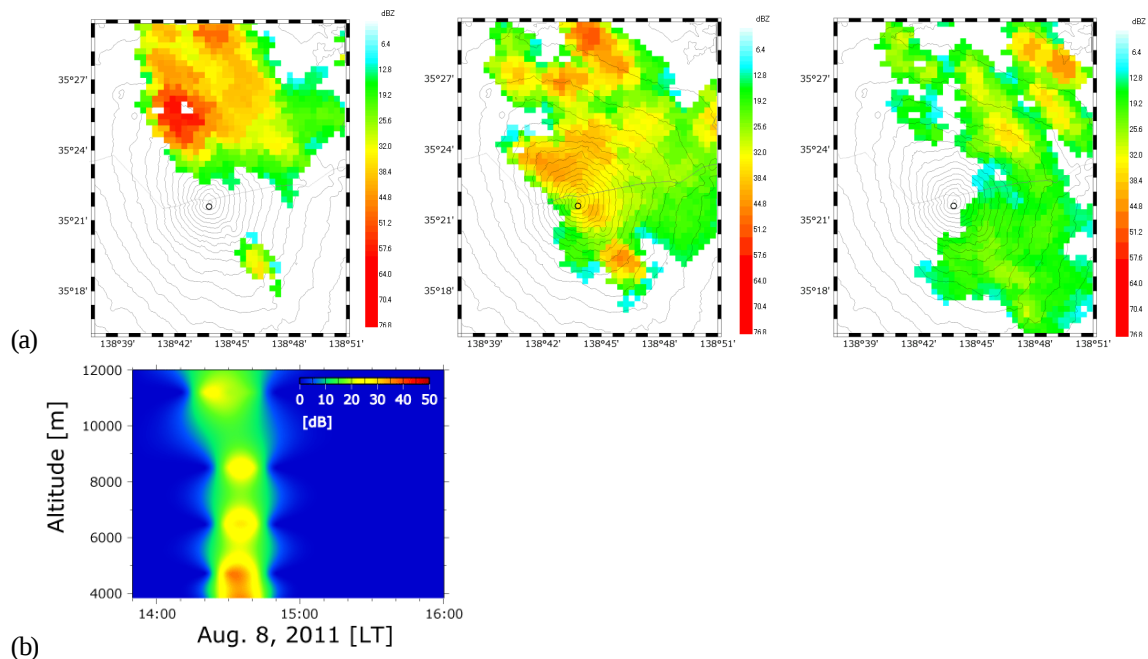


Fig. 3 レーダーエコーデータ

(a) 水平分布。左から 14:10 [LT]、14:30、14:50。(b) 測候所上空の鉛直レーダーエコーの時系列。

参考文献

- Torii, T., Sugita, T., Kamogawa, M., Watanabe, Y., Kusunoki, K. (2011), Migrating source of energetic radiation generated by thunderstorm activity, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24801, doi:10.1029/2011GL049731.
- Moore, C. B., Eack, K. B., Aulich, G. D., and Rison, W. (2001), Energetic radiation associated with lightning stepped-leaders, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2141-2144.
- Torii, T., Sugita, T., Tanabe, S., Kimura, Y., Kamogawa, M., Yajima, K., and Yasuda, H. (2009), Gradual increase of energetic radiation associated with thunderstorm activity at the top of Mt. Fuji, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L13804, doi:10.1029/2008GL037105.
- Kamogawa, M., Torii, T., Tanaka, A., Sugita, T., Ikuta, M., Watanabe, Y., Hashimoto, S., Katakura, S., Yasuda, H., and Kusunoki, K., (2011), Energetic radiation associated with summer thunderstorm activity on Mt. Fuji, The 14th International Conference of Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil 8-12, August.

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

富士山における地方時型晴天時大気電気変動の観測

阪井陸真¹、鳥居建男²、保田浩志³、大河内博⁴、鴨川仁¹

1.東京学芸大学物理科、2.日本原子力研究開発機構、
3.放射線医学総合研究所、4.早稲田大学理工学術院

1. はじめに

晴天時の大気電場変動は全世界で同時に変化をする(以後、世界時(Universal Time: UT)型と記載する)(MacGorman and Rust, 1998)。しかしながら、山岳においては地方時(Local Time: LT)での日変化を示すことが1950年代から指摘されている(以後、地方時型と記載する)(Israel, 1952; Chalmers, 1957; Ogawa, 1960; Muir, 1977; Raina and Makhdomi, 1980; 関川, 1960)。この変動は日の出とともに大気電場が上昇し、日の入りとともに定常値に戻ることから、本現象は日の出・日の入効果(Sunrise Sunset effect)ないしは山岳で観測されることから山岳効果(Mountain effect)と呼ばれている。Israel (1952)、Chalmers (1960)、Ogawa (1977)は、これらは夜明けに生じる人間活動起因の大気粒子が原因であるとした。さらにKasemir (1956)は、大気の循環が原因であるとし、Raina and Makhdomi (1980)は、日光が当たることによる電極効果であることが原因であるとした。その後もいくつかの論文で説明を試みているが、現象は明確に解明できたとはいえない。

日本最高峰である標高3776mの富士山山頂においても、大気電場をはじめとした大気電気現象の通年観測が関川によって1957-1958年に行われた(関川, 1960)。大気電場の連続観測で得られた晴天時大気電場の季節ごとの平均日変化曲線は、春、夏、秋は地方時型だが、冬季は全く異なり世界時型になると報告している。一般に晴天時の日中、陸上における高度1~2km以下の混合層(mixing layer)では対流活動が盛んであり、大気電場に影響を与えるエアロゾル濃度が比較的高いと言われている。関川の解釈では、これらの晴天時電場の地方時型は、この混合層起源のエアロゾルの影響だとしている。さらに冬季における富士山山頂大気は、混合層を突き抜けた上層大気と同一となるため、晴天時電場は世界時型になるとしている。

以上より、世界時型を示さない山岳における大気電場変動の起因は未解明であるため、本研究では富士山山頂にて大気電場観測を行いこれらの発生メカニズムを探る。

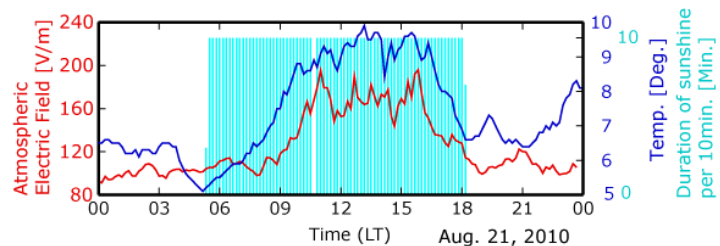


Fig. 1 富士山山頂で測定された大気電場変動(赤線)、10分毎の日照時間(水色線)および気温(青線)の一例。

2. 測定方法

本研究ではBoltek社製のフィールドミルを用いて、富士山山頂において晴天時大気電場の計測を行うべく富士山測候所に装置を設置した。計測は2009、2010、2011年の7月下旬から8月下旬のそれぞれ約1ヶ月間行った。温度・日照時間の気象データは、気象庁による測定値を用いた。富士山全景を見るための雲カメラ画像は環境省自然環境局生物多様性センター(N35°27'10", 138°45'44")の画像データ、山頂からはワテック社WAT-232による天頂雲連続観測および適宜、山頂滞在時にデジカメによる雲海、天頂方向の雲撮影を行った。

さらに富士山山頂での大気電場値の校正を行うため、地方時型変動がみられない夜間値(2010/8/13 3:00-3:10LT)を用いて、同時刻の小笠原父島での晴天時大気電場値と比較し校正を行った。

2011年においては、山頂から雲海を撮影するカメラ画像(富士宮方向および山梨)を入手し、雲海下部になる太郎坊においても大気電場および天頂方向の雲撮影を行った。

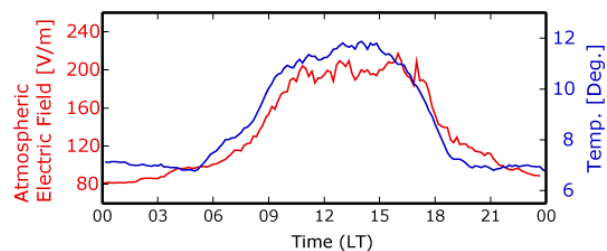


Fig. 2 晴天時の大気電場と気温の平均図。

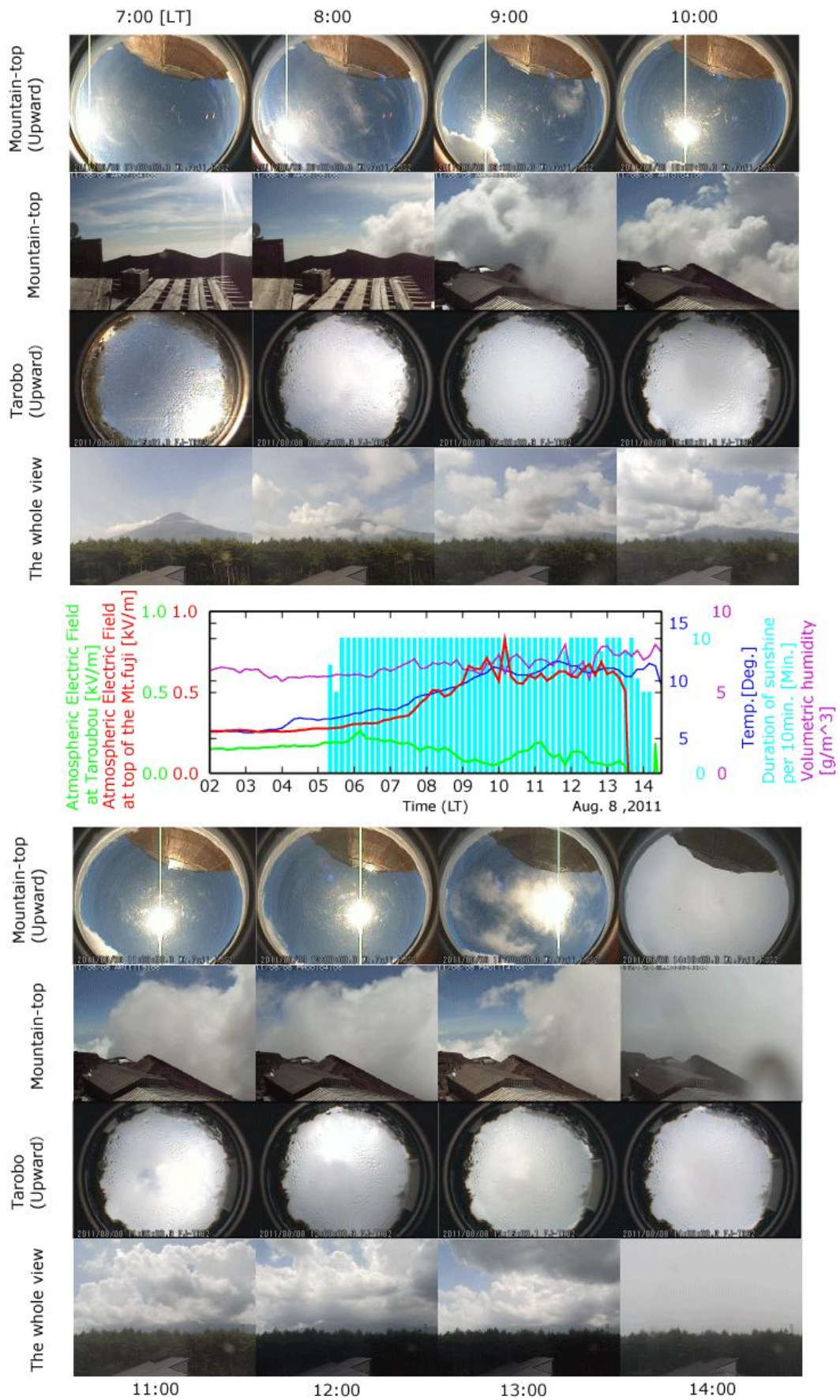


Fig. 3 大気電場の上昇(中段)とそのときの雲の様子(時刻順に上段から下段)。

3. 測定方法

関川(1960)と同様に山頂における大気電場変動は晴天時に世界型を示すことはなく地方時型を示した (Fig. 1)。つまりほぼ日の出とともに大気電場が正に上昇し、日の入りとともに減少する。また、この変動は最小値と最大値の比が約 3 倍程度になり、世界時型での約 1.5 倍程度と比べるとはるかに日中の強度が大きい。晴天時での変動は気温との相関が見られたため、山頂に雲がない状態(山頂に設置された日照計データおよび全天カメラから判断) 8 日分の大気電場変動と気温の各時刻における平均図を求めた (Fig. 2)。相関解析を行うと温度は大気電場より 40 分先行して変動していることが分かった。なお室内実験より、測定に用いているフィールドミルに温度依存性はないことが分かっている。この温度変動が先行することを調べるために雲画像を調べたところ、いずれの場合も雲が気温上昇とともに発達し雲海が生じていることが分かった (Fig. 3)。この雲頂は山頂から撮影されたカメラから 3500m 前後の一定の高度になることがわかる。通常、電荷を持った雷雲および対流雲(一部は成長し雷雲になる)でない平常時の雲の電荷は大きくないが、雷雲と同様に上・下部に正・負の電荷が蓄積される (MacGorman and Rust, 1998)。故に、雲海のわずかな電荷の電場が山頂での観測に影響を与えていることが予想される。さらに、Fig. 3 によれば太郎坊での大気電場の計測では、山頂における大気電場と反対に雷雲の成長と共に電場が小さくなっている。そのことから仮説を指示していることがわかる。

4. 数値計算による検証

雲海から生じる電荷がどのように山頂に電場を生じさせるかを調べるために、電位 ϕ および電場 $\mathbf{E}$ を数値的に算出した。本研究では二次元のポワソン方程式

$$\Delta \mathbf{E} = -\rho(x, y) / \epsilon \quad (1)$$

をガウス=ザイデル法にて取り扱う。ここで x, y は、それぞれ水平、鉛直方向、 ϵ は空気中の誘電率、 ρ は電荷密度を表わす。雲海がない場合の山頂における大気電場が 40V/m かつ雲海の存在で山頂での電場が 3 倍程度つまり 120V/m になるためには、雲海の上部に電荷面密度 $1 \times 10^{-10} \text{ C/m}^2$ 程度の正電荷が必要である (Fig. 4)。一方、Fig. 4 (c) で示されるように、雲海の雲頂・雲底の電荷を逆にすると観測とは一致しない。つまりこのことから雲海内の正負の電荷配置も正しい事が理解できる。

5. おわりに

富士山山頂における地方型大気電場変動は、夏季期間に気温上昇とともに発生する雲の雲頂に生じる電荷によるものが起因であると考えられる。長い間、日の出・日の入り効果ないしは山岳効果と呼ばれていた山頂における地方型大気電場変動も同様な仕組みで生じている可能性が高い。

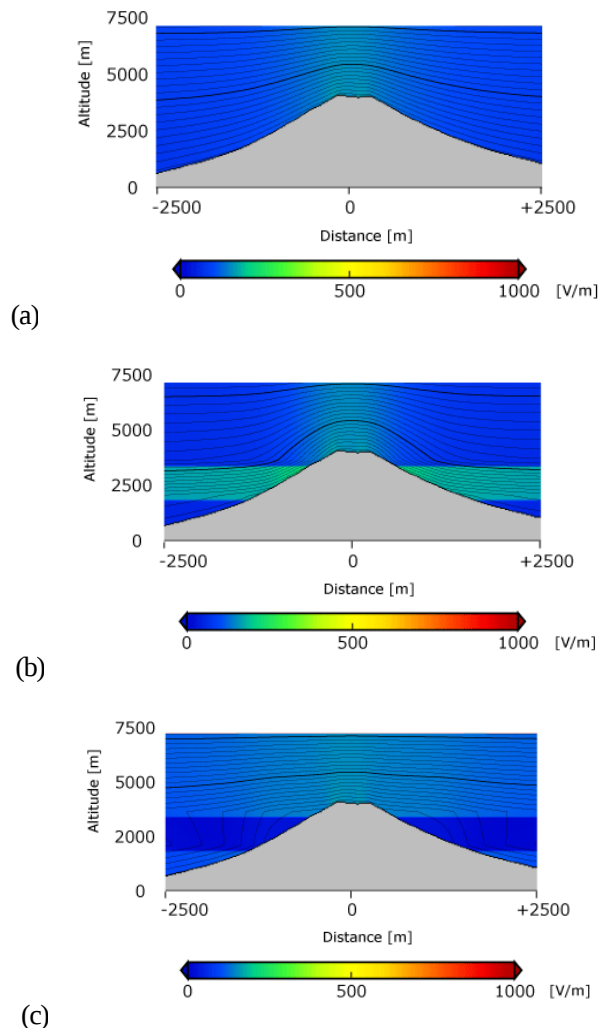


Fig. 4 富士山山頂周辺の電場。(a) 雲がないケース, (b) 雲海における雲頂が正電荷のケース, (c) 雲海における雲頂が負電荷のケース。

参考文献

- MacGorman, D. R., and Rust, W. D. (1998) The Electrical Nature of Storms, 422 pp., Oxford University Press, New York
- Israël, H. (1952) The Diurnal Variation of Atmospheric Electricity as a Meteorological–Aerological Phenomenon, J. Atmos. Sci., 9, 328–332.
- Chalmers, J. A. (1957) The effects of condensation nuclei in atmospheric electricity, Pure Appl. Geophys., 36, 211–217.
- Ogawa, T. (1960) Diurnal Variation in Atmospheric Electricity, J. Geomag. Geoelect., 12, 1–12.
- Muir, M. S. (1977) The potential gradient sunrise effect in atmospheric electricity, J. Atmos. Terr. Phys., 39, 229–233.
- Kasemir, H.W. (1956) Zur Strömungstheorie des luftelektrischen Feldes III: Der Austauschgenerator. Meteorologisches Observatorium Aachen des Deutschen Wetterdienstes, 551, 1–14.
- Raina, B. N. and Makhdumi, B.A. (1980) On the sunrise effect in atmospheric electricity, J. Atmos. Terr. Phys., 42, 155–160.
- 関川俊夫 (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

簡易放射線測定器「はかるくん」を用いた 富士山における自然放射線測定

大洞行星¹、鈴木裕子¹、鴨川仁¹

1. 東京学芸大学物理学科

1. はじめに

2011 年 3 月福島第一原子力発電所の事故以降、小中高の教育現場においても父兄からの放射線の安全に関する問い合わせは多く、現場の教員においても放射線の知識が求められるようになった。それゆえ本研究では自然放射線を、小中高等学校の教育現場でしばしば用いられる簡易放射線測定機「はかるくん」を用いて富士山での登下山での観測を行い、高度が異なる場合における自然放射線の測定を試み、教育現場への応用を試みた。

2. 測定機器

本測定では日本科学技術振興財団が貸し出している簡易放射線測定機“はかるくん”を用いた。また“はかるくん”のなかでも、複数ある放射線の中で透過力の高いガンマ線を簡単に測定することができる CP-100 を使用した。

3. 測定結果

往路は、7 月 30 日に 5 合目からの登山(富士宮)にて測定を行った。一方、復路は、30 日、山頂(10 合目)から 5 合目までの下山(御殿場)にて行った。また、下登山時では、およそ 15 分間隔で GPS 機能付きデジタルカメラを用いて「はかるくん」を撮影した。その後、画像から数値データ化し、グラフ化した。いずれの場合も、測定された線量は高度とともに宇宙線の影響のため増加傾向にあるが、天候が悪かった往路については時折大きな値を示している。大きな値を示している時は、雲の内部で測定していたことが多く、霧に含まれているラドンの効果の影響と推察される。

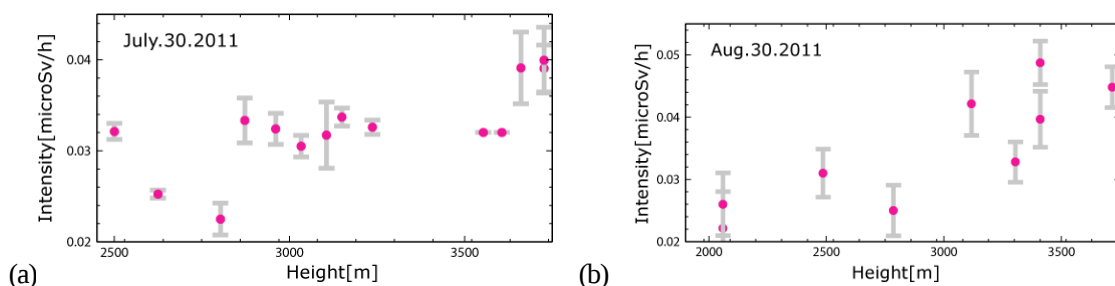


Fig. 1(a) 7 月 30 日往路の測定結果 (b) 8 月 30 日復路の測定結果

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

富士山山頂における電磁波観測

鈴木裕子¹、藤原博伸²、稲崎弘次¹、鴨川仁¹

1. 東京学芸大学物理学科、2. 女子聖学院高等学校

1. はじめに

雷放電から発生する VLF 帯電磁波の研究は多くなされているが、本研究では富士山山頂近傍で発生した雷放電電磁波が測定できるようにバッテリー型観測装置の開発を目的として始まった。バッテリーを使用することにより、電源がないところでの落雷観測が可能となり、さらに、落雷における被害を最小限におさめることができる。本装置の開発は 2010 年にスタートし、VLF 帯電磁波の磁場成分の測定により東西・南北成分の波形の比から落雷方向を決定することが出来る。本装置の回路はシンプルであり、使用している部品は誰もが簡単に手に入れられるものであるため、作成が容易で、小型で持ち運びに便利なため、多点観測が可能である。さらには耐久性に優れた安価な装置でもあり、高密度・高精度なデータを取得できるのも利点である。観測したデータの記録は SD カードに行う。データ記録はイベントトリガー方式になっており、トリガーの前の波形も記録する事ができる。時刻同期は GPS によるものと、手動のどちらでも行える。サンプリング速度は約 85 μ sec である。現段階では2010年、2011年と2年連続での観測を行っている。2011年の観測では2機3回の観測を行い(Fig. 1)、バッテリーは2台並列で使用したことにより、より長期の観測を行うことができた(Fig. 2)。

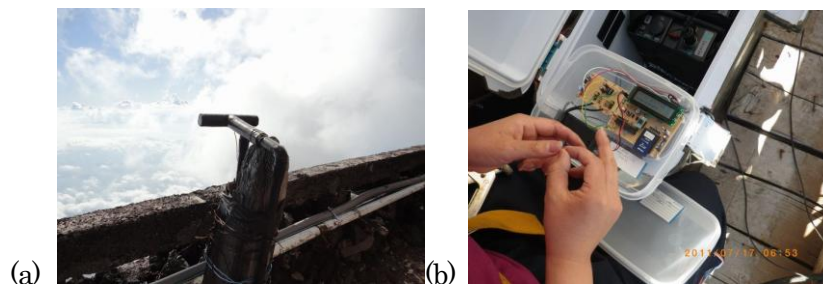


Fig.1 富士山山頂における装置の設置の様子。(a)アンテナ部。(b)手動による時刻同期の様子。

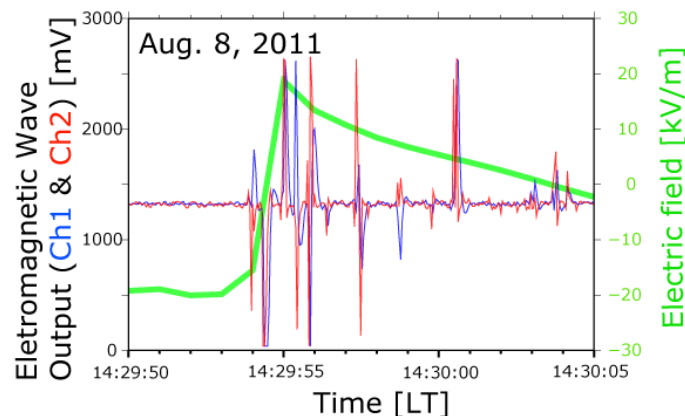


Fig. 2 落雷時における電磁場変動と大気電場。

2. まとめ

観測を重ね、データを解析し、その結果からさらに装置を改造する事で、年々精度の高い結果が取得できるようになった。さらに、バッテリーを使用した長期にわたる観測も可能となっている。現段階では方向を決定するところまでは解析できておらず、その点はこれからの課題となる。

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

高濃度酸素溶存水が低酸素症へ及ぼす効果

野口いづみ¹、新美敬太¹、笹尾真美¹

1. 鶴見大学歯学部歯科麻酔学教室

1. はじめに

高濃度溶存酸素水は、テクノロジーの進歩によって、40ppm 以上の酸素を長期間安定して溶存させる酸素水である。今回、富士山山頂(3776m)測候所跡地の研究施設において、高濃度溶存酸素水 Wox (メディサイエンス・エスポア社)が低酸素症に及ぼす効果について、脈拍数、動脈血酸素飽和度 (SpO2) と組織酸素飽和度 (StO2) を測定し、評価することを目的として研究を行った。

2. 対象と方法

対象は健康成人 9 名 (男性 6 名 女性 3 名) とした。年齢 54.4 ± 10.7 歳 (38 ~ 72 歳)、体重 60.6 ± 11.9 kg (45 ~ 80 kg)、身長 167 ± 11.1 cm (156 ~ 180 cm)、BMI 21.4 ± 1.8 kg/m² ($18.5 \sim 24.2$ kg/m²) であった。脈拍数と動脈血酸素飽和度を Pulsox300i (コニカ・ミノルタセンシング社)、組織酸素飽和度を組織酸素飽和度計 (近赤外分光式運動負荷モニター) アムテム (アムテム社) を用いて測定した。

研究施設で 15 分間の安静後、高濃度酸素溶存水 Wox500ml を 10 分以内で飲用させ、その後、45 分間安静を維持させた。60 分間、脈拍数、動脈血酸素飽和度 (SpO2) 組織内酸素飽和度 (StO2) を測定した。得られたデータについて、時間ごとに 10 秒間の数値を検討対象とした。統計的検討は ANOVA と t-test (危険率 5%未満) を行った。

3. 結果

脈拍数は飲用開始 15 分後から 35 分後 (50 分値) まで減少した。5 分値に対する平均値の最大の減少は 45 分値でみられ、-3.6 回/分であった。

動脈血酸素飽和度 (SpO2) は飲用開始 5 分後 (20 分値) から 15 分後 (30 分値) まで上昇し、30 分後 (45 分値) から 35 分後 (50 分値) で低下した。5 分値に対する平均値の最大の上昇は 20 分値でみられ、+2.2% であった。

組織内酸素飽和度 (StO2) は飲用開始 15 分後 (30 分値) から 測定終了の 45 分後 (60 分値) まで上昇した。5 分値に対する平均値の最大の上昇は 40 分値でみられ、+1.0% であった。

このように、動脈血酸素飽和度 (SpO2) の上昇は飲用開始直後から生じるが、組織内酸素飽和度 (StO2) の上昇はそれよりも遅く生じ、長く持続する傾向がみられた。

4. まとめ

高濃度酸素溶存水によって低酸素症が改善される可能性が示された。

高濃度溶存酸素水 Wox500ml に含まれる酸素は 14ml 程度であり、3~4 秒で消費されてしまう量である。消化器系から吸収される酸素には、呼吸器系から吸収される酸素とは別の機序が作用するのかもしれないが、今後の検討が必要である。

*連絡先: 野口いづみ (Izumi NOGUCHI)、noguchi-i@tsurumi-u.ac.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

浅野勝己¹、赤澤暢彦²、岡崎和伸³

1. 筑波大学名誉教授、2. 筑波大学大学院、3. 大阪市立大学

1. はじめに

急性高山病は、頭痛に加え、食欲低下や吐き気、全身疲労感や脱力感、めまいや立ちくらみ、睡眠障害のいずれかの症状がある状態である。通常、2000m以上の高所(気圧の低い場所)に到着後、数時間から3日程で発症し、重症化すると肺水腫や脳浮腫を経て死に至る場合もある。急性高山病は、高所への滞在による動脈血中の酸素分圧の低下に起因するが、その発症の詳細なメカニズムは未だ不明である。これまで我々は、富士山頂短期滞在時の研究から、動脈血中の酸素分圧の低下によって交感神経活動の亢進すること、および、脳の血管拡張が起こることを明らかにしてきた。これらの応答に伴って脳の血流量の増加し、その結果、頭痛や急性高山病を引き起こすことが考えられる。そこで本研究では、富士山頂短期滞在時に脳の血流量を測定し、急性高山病の発症との関連を検討することとした。

2. 方法

1) 被験者: 被験者は成人男性3人とした。平地(御殿場、標高:500m)、富士山頂(標高:3,776m)到着当日(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。

2) プロトコール: 測定に先立ち、急性高山病の症状を急性高山病スコアによって評価した。仰臥位および椅座位安静時の測定をそれぞれ5分間行った後、踏み台昇降運動を3分間行った。その後、椅座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、収縮期および拡張期血圧、動脈血酸素飽和度、終末呼気二酸化炭素分圧を1分ごとに測定した。左前頭部と右大腿(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および組織血流量を示す組織ヘモグロビン指標を評価した。脳の血流量は経頭蓋ドップラー法を用いた左中大脳動脈の血流速度によって評価した。

3. 結果

左中大脳動脈の血流速度は、平地では仰臥位から椅座位への変化で約40cm/秒から約60cm/秒に増加した。運動により椅座位安静時より上昇したが、回復時に漸減し3日目には仰臥位安静時のレベルに回復した。平地に比較し山頂滞在中には、仰臥位安静時では明らかな変化を認めなかったが、椅座位安静時には1~2日目に漸減して2日目には約50cm/秒に低下したが、3日目には平地のレベルに回復した。一方、運動時には1~2日目に漸増したが、3日目には平地レベルに回復した。急性高山病スコアは1~2日目に増悪し、3日目に回復する傾向にあった。

4. まとめ

高所滞在中によって、立位安静時の脳血流量は低下するが、一方、運動後の回復期の脳血流量は上昇する。このように、高所では体位変化に伴う脳血流量の低下と運動に伴う脳血流量の増加が顕著に起こるため、脳灌流圧の増減が顕著になるが、これらの応答が頭痛や急性高山病の発症に関連していると考えられる。

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

富士山における永久凍土の直接観測開始

池田 敦¹、岩花 剛²、末吉哲雄³

1. 筑波大学、2. 北海道大学、3. 海洋開発研究機構

1. 研究の目的・方法・経過

本研究の目的は、富士山の永久凍土の現状を解明し、その地温変化をモニタリングすることで、将来的に気候変化と火山活動の評価につなげることである。山頂部一帯で 2008 年から、2 地点の 3 m 深観測孔と 20 地点の表層 (<1.2 m) の地温を通年で観測している。また、物理探査、地温の高度変化の数値実験 (感度実験) を行い、さらに 2010 年 8 月には深さ 10 m の地温観測孔の掘削に成功した。2011 年は、これまでに設置済みの地温および微気象観測装置をメンテナンスし観測を継続した。自動的に記録されるデータのうち、前年度に掘削した 10m 深観測孔に関しては、2010 年 11 月 1 日の落雷によって測器が破損していたことが判明し、7 月初旬に補修作業を行った。その他のデータは概ね無事に回収することができ、ほぼ前年度までと同様の傾向が得られていることが確認できた。

2. 結果

風衝地 (雪が風で飛ばされ積りにくい場所) の溶結凝灰岩中に設置した観測孔では、冬季のデータが取得できなかったものの、地温が 10 m 深において -3°C 前後とかなり低温であり、その凍土は長期的に維持されることが予想された (ただし火山活動に大きな変化がないかぎり)。一方、風衝地の砂礫層中の 3 m 深観測孔では、秋季に全層が融点を上回り、その地点に永久凍土が存在しないことが示唆されている。とくに秋季の大雨 (台風等) に伴って深部で地温が急激に上昇することが観測された。近接する 2 地点でも地温状況が大きく異なることは、地盤の透水性が異なるという素因を反映しているだけでなく、降雨により地盤にもたらせる熱が非常に多いという誘因が大きく影響していると考えられた。その誘因は富士山の永久凍土環境を世界的にみて非常に特徴的なものにしていて。

全 22 地点における地温の観測結果から、富士山では風衝地において表層地温が低く保たれる傾向が明らかとなった。残雪が 6 月末以降まで残るところでは、初夏には残雪によって地温上昇が抑制されるが、冬季には地表面温度の変動が抑制されるだけの積雪があり、地温低下の抑制が顕著であった。そのため、そのような場所は、山頂直下でも永久凍土の存在に適さない条件下にあると考えられた。また、顕著な降雨イベントに伴い、1 m 以深でも短時間に大きく地温が上昇するところと、そうでないところがあり、結果として前者では後者よりも地温断面が深い位置で高温側に振れる傾向が認められた。すなわち、富士山において永久凍土が存在するためには、顕著な降雨イベント時にも地温が大きく変化しない土質 (透水性)、なおかつ風衝地という条件が満たされることが重要である。

南斜面と北斜面の地温を比較すると、山頂にごく近いところ (標高 3600 m 以上) と離れたところ (3000 m 以下) を除いて、同一標高の年平均地表面温度が北斜面で 3°C 低かった。つまり傾斜 30 度強の斜面からなるその高度帯で地表面の温度収支が南北で等しくなる仮想的な標高差※は約 500 m になる。※南北斜面の土質条件が等しければ、永久凍土帯下限の標高差に相当。

参考文献

岩花 剛・池田 敦・福井幸太郎・斉藤和之・末吉哲雄・原田欽一郎・澤田結基 (2011) 富士山頂における 3 m 深地温測定 (2008–2010 年) —永久凍土の存在確認と長期変化把握に向けて—。雪氷, **73**, 119–131.

池田 敦・岩花 剛・末吉哲雄 (投稿中) 富士山高標高域における浅部地温の通年観測—永久凍土急激融解の評価も含めて—。地学雑誌。

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