富士山頂短期滞在時の急性高山病への鍼灸施術の効果に関する研究

浅野勝己、細沼郁夫
日本伝統医療科学大学院大学

1. はじめに

富士山頂に短期滞在した健常男子について、鍼および灸施術の生理的応答を解明して急性高山病への効果を次の２課題より検討する。

・山頂での短期滞在時の鍼灸施術による生理的応答
・平地で生理的応答と山頂滞在時の鍼灸施術による生理的応答の経日的変化の比較

2. 方法

1）被検者:

課題1：山頂短期滞在者の健常男子 17 人（19～73歳、33．8±17.7歳）

課題2：課題1の被検者のうち3人（36～73歳、53．7±18．1歳）

2）生理応答測定:

（1）自律神経活動：ホルター心電図よりMemCalc法による高周波（HF）成分と低周波成分（LF）を計測し、HFを副交感神経系およびLF/HFを交感神経系活動の指標とした。

（2）動脈血酸素飽和度（SpO2）および心拍数：パルスオキシメーター法による。

（3）急性高山病（AMS）指標：レイクルイーズ

3）鍼灸の施術：長座位安静状態にて頭部、頸部および左右の上肢および下肢に分布する主要な経穴部位に灸刺激および鍼による1Hzの通電刺激（15分間）。

3. 結果と考察

課題 1：本施術により副交感神経系の亢進傾向（HFの増加）および交感神経系の抑制傾向（LF/HFの低減）にある被検者がSpO2 の上昇する傾向を示すことが、13人（77%）に認められた。また本施術によりAMS指標は9人（55%）に減少が認められ、平均2．7より1．4へ低減傾向を示した。

課題２：本施術の平地での生理的応答は山滞在により３人共にSpO2 の低減、心拍数増加交感神経系の亢進および副交感神経系の抑制傾向が明確に現れたが、滞在3～5日と経日的にこれらの応答は逆のベクトルを示し、平地の値に回復する傾向にあった。

これらの機序としては、本施術が山頂での0．6気圧の低圧低酸素刺激のストレスによるノルアドレナリン分泌と交感神経系亢進に拮抗して副交感神経系を賦活させることにより、徐脈と血管拡張および中心血液量の増加をもたらし、HbO2の増大によるSpO2の上昇がもたらされたものと考えられる。

さらに頭痛を主訴とするAMS指標の改善には、本施術が中枢神経系の視床下部・下垂体に作用し、ベーター・エンドルフィン様ホルモンの誘出をもたらしていることも想定される。

4. 参考文献 浅野　勝己ら（2009）：登山医学　29：278～28

*連絡先：浅野勝己（Katsumi ASANO）

中高年登山者の富士登山時における生理的負担度
—登山時，山頂滞在時，および下山時を対象として—

山本正嘉[1]、笹子悠歩[1]、浅野勝己[2]
1. 鹿屋体育大学、2. 日本伝統医療科学大学院大学

1. はじめに

富士山は大衆登山の山として人気が高く，夏期になると初心者も含めて 20 万人以上もの老若男女が登山を行っており，昨年は 40 万人を超えたとも言われている．しかし富士山は，技術的には容易であっても，日本の最高峰であるだけに，体力的な負担度は非常に大きい．また高度（低酸素）の影響も強く受ける．実際に毎年，これらのストレスが原因と考えられる事故も多発している．

このような，富士山における登山事故を防止するためには，まず，実際の富士登山中に人体にどのような負荷がどの程度かかっているのかを明らかにする必要がある．そこで本研究では，豊富な登山経験を持つ中高年登山者を対象として，行動中および山頂（測候所）滞在時の生理応答について，さまざまな角度から測定評価することを目的とした．

2. 方法

対象者は中高年の登山経験者7名（平均年齢：64歳，登山経験：29年，年間登山日数：36日）であった．彼らは，富士宮口の五合目から登山を開始し，約7時間の登山で山頂（測候所）に到着し，そこに宿泊した．その際のザック重量は 10～15kg 程度であった．2日目は軽装で，約3時間をかけてお鉢巡りを行い，再び測候所に宿泊した．3日目は初日とは別のルート（宝永山経由）で，約3時間をかけて富士宮口に下山した．このときのザック重量は約 10kg であった．

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．相対的に見ると，休憩中は高く，行動中は低い値を示した．またこれらの値は，高度が上がるにつれて低下していくこともわかる．低地の医療では，安静時の SpO_2 が 88% 以下になると在宅酸素医療が適用される．また低地の運動場面では，一般人が全力で運動をしたとしても，SpO_2 が 90%を下まわることはほとんどない．したがって，富士登山中の SpO_2 値は異常ともいえるほど低いことになる．特に，山頂付近での登高中には，60% 台という低さであった．

また図1の下段は，登高中の心拍数を示したものである．行動中は高く，休憩中には低い値となるが，高度が上がるにつれてやや上昇する傾向を示した．登山のような長時間の持久運動を行う際には，身体に負担をかけすぎないように，各自の最高心拍数（220－

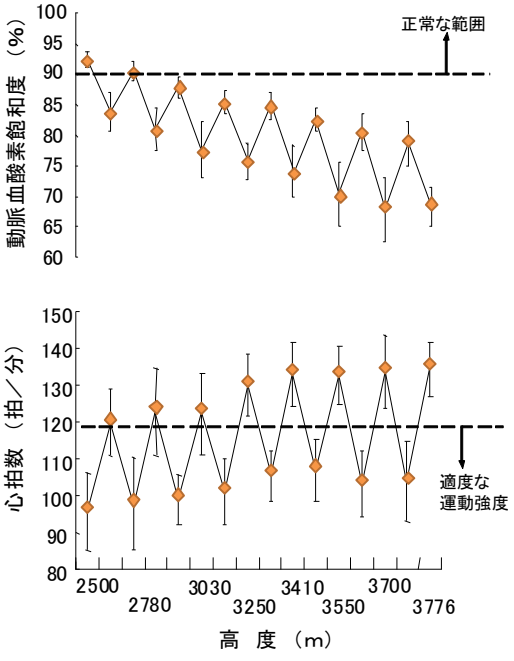


図1．1日目の登高中のSpO_2と心拍数の推移

年齢で概算される)の 75%以下で行うことが推奨され，本研究の被験者の場合，その上限は 117拍／分となる．この基準からすると，標準コースタイム通りの登高速度で登っているにもかかわらず，運動中は常にこの基準を上回っており，特に高度が上がるほど，心臓への負担度は大きくなることがわかる．

図2は，睡眠中の SpO_2 のデータである．低地では 90%台後半の値を示したが，山頂では，1日目，2日目ともに70%を下まわり，行動中と同様，非常に低い値であった．

図3は，安静時の最高血圧のデータである．低地での値と比べると，山頂では高値を示した．低地の基準では，140mmHg 以上が高血圧と定義されるが，山頂では常にこの値を上回っていた．

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度がかかっていることを伺わせる結果が得られた．

本研究の被験者は，最低でも 15 年以上の登山経験を持っている．また今夏，富士登山に先立って，全員が 2000m 以上の山に登っており，長時間の運動や高所の刺激も，ある程度は経験していた．それにもかかわらず，富士山ではこのような大きなストレスを受けていたことになる．このようなことを考えると，普段運動をしていない人や，登山の未経験者が，にわかに富士登山を行った場合には，さらに大きなストレスが身体にかかり，それが事故の引き金となる可能性も十分に考えられる．

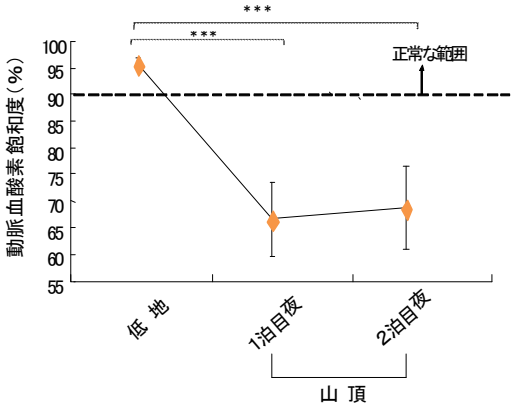


図2. 低地と山頂での睡眠中のSpO_2のレベル

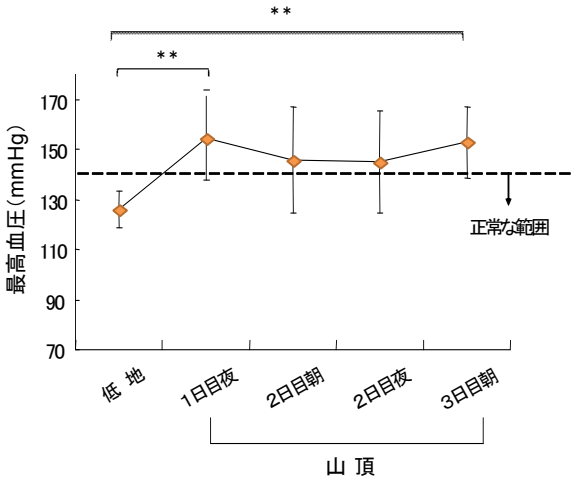


図3. 低地と山頂での安静時の最高血圧のレベル

4. まとめ

本研究の結果から，富士登山中には，運動時はもとより，安静時，睡眠時といった1日の中の全ての場面で，身体には常に，非常に大きなストレスがかかっていることが明らかとなった．特に，登高中と睡眠中に受ける低酸素のストレスは，SpO_2 値でいえば 60%台という，きわめて過酷なものであった．安全な富士登山を行うためには，このような点に関しての啓蒙を行うとともに，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. 山本正嘉:登山の運動生理学百科. 東京新聞出版局, 2000.
2. 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：山本正嘉(Masayoshi YAMAMOTO)

富士山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
—中高年者における検討—

野口いづみ[1]、高野宏二[2]、笹尾真美[1]、子島潤[1]、前川剛輝[3]、大野秀樹[3]
1. 鶴見大学歯学部、2. 埼玉県歯科医師会口腔保健センター、3. 杏林大学医学部

1. はじめに

中高年者では睡眠時に舌が咽頭部へ沈下し、閉塞性呼吸障害を起こす場合が少なくなく、高所は低酸素症が顕著になることが推測される。他方、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。口腔内装置は下顎と舌の落ち込みを防ぐ効果がある。また、小型軽量であり、登山時の携行に利便性が高い。今回、富士山山頂において口腔内装置の効果を検討したので報告する。

2. 方法

実験は富士山山頂の測候所跡地の研究施設で行なった。

実験 1 では男性4名を対象とした。年齢は 57.8±8.9 歳、体重 73.5±9.0kg、BMI 25.0±2.0 であった。被験者は 2 泊し、2 名は 1 泊目に口腔内装置を装着せず、2 泊目は装着して行ない、残り 2 名はその逆の順序で行なった。

実験2では男性5名、女性 1 名、計6名を対象とした。年齢は 63.2±8.8 歳、体重 64.1±13.6kg、BMI 22.1±2.5 であった。被験者は 1 泊のみし、3 名は睡眠の前半に口腔内装置を装着せず、後半に装着して行ない、残り 3 名はその逆の順序で行なった。

測定項目は脈拍と動脈血酸素飽和度(Spo2)とし、測定には PULSOX-300i(ミノルタ社製)を用いた。睡眠時の Spo2 値と脈拍数について、口腔内装置の有無による差について、分散分析と対応のない t 検定を用いて比較検討し、$p<5\%$を有意差ありとした。

3. 結果と考察

研究 1 では、無口腔内装置(以下装置)の場合に Spo2 値 66.8±11.6%、脈拍数 73.5±11.1 回/分であった。有装置では Spo2 値 71.4±9.3%、脈拍数 73.9±14.3 回/分であった。研究2では、無装置の場合に Spo2 値 61.5±11.8.%、脈拍数 73.5±10.6 回/分、有装置では Spo2 値 64.6±12.3%、脈拍数 72.1±9.7 回/分であった。研究1，2ともに、無装置に比較して有装置で Spo2 値は高かった($p<0.0001$)。脈拍数の差は少なかったが、研究1では有装置で高く、研究 2 では無装置で高かった($p<0.001$)。

4. 考察と結語

富士山山頂における口腔内装置の装着は Spo2 値の低下をある程度抑制し、睡眠時の低酸素症に対して予防効果があると思われる。脈拍数は Spo2 値の上昇によって低下することが予想されるが、研究 1 では有装置で脈拍数は高かった。その理由は明かではなく、さらに検討が必要である。

*連絡先：野口いづみ(Izumi NOGUCHI)

低酸素環境に対する抗酸化剤の効果

長澤純一[1]、杉山康司[2]、笹尾真美[3]、高野宏二[3]、野口いづみ[3]、鈴木康弘[4]、北舘健太郎[5]、
前川剛輝[6]、大野秀樹[6]
1.電気通信大学、2.静岡大学、3.鶴見大学、4.国立スポーツ科学センター、5.(株)アミノアップ化学、
6.杏林大学

1.はじめに

登山にともなう代謝的ストレスの増大については、「これを測定すればわかる」という決定的なマーカーが存在していない。特に高所では、酸素が少ないにもかかわらず酸化ストレスが増加するが、低酸素環境でのストレス増加のメカニズムや程度についてのデータは限られており、データの集積が欠かせない。本研究では、低圧・低酸素環境がもたらす影響をシミュレート実験により抽出することによって、抗酸化剤摂取の改善効果を評価すること、ならびに酸化ストレスを中心とした生体負担の至適パラメータについて検索を行った。

2.方法

7 名の男子大学生を対象に、616 hPa、室温 26℃、湿度 60%に設定したチャンバー内で、およそ 12 時間の低圧・低酸素暴露実験を行った(標高 4,000m, 酸素濃度 12.8%相当)。暴露中は安静、睡眠とし、特別な運動は行わせなかった。抗酸化剤には oligonol (アミノアップ化学) を用い、4 名の被験者に 200mg／日で測定前の 10 日間 (OLG 群)、他の 3 名には、プラセボを同期間摂取させた (CTL 群)。酸化ストレス度の指標には、血清 diacron-reactive oxygen metabolites (d-ROMs) および血清酸化 LDL 濃度を、抗酸化能として血清 biological antioxidant potential (BAP) を定量した。また、免疫能として、唾液中の IgA、内分泌系の指標として唾液中コルチゾールおよび血漿エリスロポエチンを、心筋ストレスパラメータとして血清脳性ナトリウム利尿ペプチド (NT-proBNP) を定量した。食事内容は全被験者で同等とし、水は自由摂取とした。

3.結果と考察

d-ROMs および BAP は、低圧・低酸素暴露前後で両群とも変動を示さなかった。酸化 LDL 、NT-proBNP は暴露により上昇傾向を示したが、有意なものではなかった。唾液中コルチゾールについては CTL 群で 0.13 から 0.96 $\mu g/dl$、OLG 群で 0.16 から 0.65 $\mu g/dl$ と有意 ($p<0.05$) な上昇が認められた。なお上昇量は CTL 群に比し OLG 群で有意に低かった ($p<0.05$)。エリスロポエチンは暴露により両群とも有意な上昇を示し、OLG 群では上昇量が小さい傾向を示した。

参考文献

König D, Neubauer O, Nics Let al. (2007) Biomarkers of exercise-induced myocardial stress in relation to inflammatory and oxidative stress. Exerc Immunol Rev. 13: 15-36.

Sakurai T, Nishioka H, Fujii H. et al. (2008) Antioxidative effects of a new lychee fruit-derived polyphenol mixture, oligonol, converted into a low-molecular form in adipocytes. Biosci Biotechnol Biochem. 72: 463-476.

*連絡先：長澤純一 (Junichi NAGASAWA)

富士山頂における「科学教育」の試行

松沢孝男[1]、森脇滉[2]、八重樫拓也[2]、矢野倉伊織[2]、松田理絵[2]、
冨永学[3]、関根恵[4]、檜木梨花子[5]、矢澤正人[6]、保田浩志[7]
1. 茨城高専自然科学科、2. 茨城高専ラジオ部、3. 茨城高専機械システム工学科、4. 北海道大学院工学研究科、5. 茨城大学理学部、6. (株)数理設計研究所、7. (独)放射線医学総合研究所

1. はじめに

簡易放射線測定器「はかるくん」を用いて身のまわりの自然放射線の測定を続けてきた。特に航空機内の放射線の強さに驚く。2次宇宙線の影響だという。それならば、国内最高地点、富士山頂上の放射線強度はどうか興味を持ち、平成 18 年度以来ラジオ部(JQ1YVG)は富士山へ測定登山を続けている。

今年度「富士山頂における科学教育の試行」という課題で正式利用の機会を得た。下界で当たり前のことが山頂では当たり前ではなくなる。第1は気圧が約2/3になることである。理科室の水銀気圧計が使えない。水銀柱の高さが目盛り以下になってしまうからである。どうやって測るか？また、気圧が下がれば血中飽和酸素濃度 SpO_2 が低下し慢性の高山病寸前になる。絶対酸素濃度が減り火が燃え難くなる？更に水の沸点も下がるという。実際に山頂で水の沸点を測った人は幾人いるのだろうか。このように、単に放射線を測るだけでなく、日ごろ疑問に感じている様々な科学実験を学生と行った。

2. 方法

(1) ろうそくの炎の燃え方

富士山に行くのならろうそくの実験をしてとのリクエストがあった。山頂の酸素の相対濃度は地上と同じであるが重量濃度は減る。山頂の酸素濃度の予測からろうそくに火がつくかどうかも不明である。山頂と下界でろうそくの炎の燃え方をビデオ撮影し炎の長さの変化を測定した。ろうそくの燃焼を炎の長さで把握し燃焼状態を単振動(三角関数)としてみることで、周期、振幅、振動数、初期位相などを導き出すことによってろうそくの燃え方のデーター解析を行った。燃焼によるろうそくの重量の時間的変化も測定した。

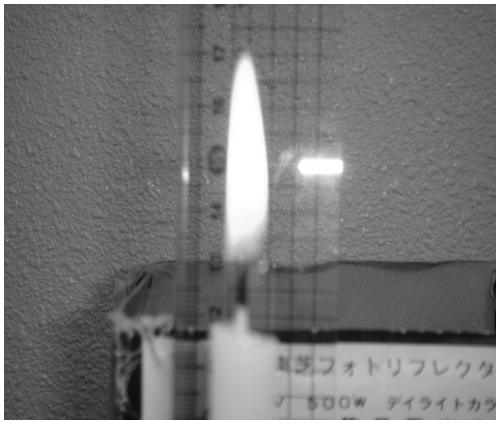


図1 ろうそくの炎の測定

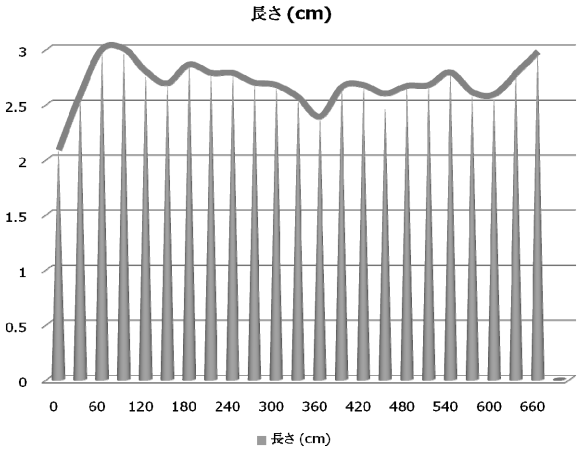


図2 ろうそくの燃焼時間と炎の長さ

(2) 富士山頂用電気ポットの試作

測候所では自炊である。水も運び上げる。2006、2007 年両夏、富士山測候所の見学および実験利用をした。そこで体験したことに、自炊のため電気ポットでお湯を沸かそうとすると、電気ポットのお湯は沸騰を続け、保温状態にならず運び上げた貴重な水がすぐに無くなってしまうことがある。この原因は、電気ポットは一旦固定の設定温度 98℃になるまで、保温状態にならずヒーターに電気を流し続ける。その状

況を見て、富士山頂用に気圧に合わせて保温設定温度を変える保温温度気圧追従型電気ポットを考えた(98℃に達しなくても保温状態に入る。八光熱コンに応募、課題採択) 市販品は 98℃になるまでは保温機能が働かない。山頂では保温機能開始温度に達しないため水は沸騰し続ける。メーカーが対応しないならばと山頂用に無断改造を試み、試作品を富士山頂に持ち上げ測候所で動作機能を確認した。

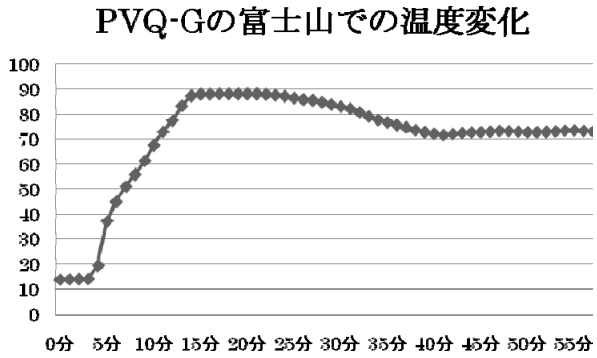


図 3 PVQ-Cの富士山での温度変化

(3) 2次宇宙線の測定

2 台のGM管の出力をロジック IC の AND 回路に繋ぎ簡易同時計数回路を作った。放射線の天頂角依存性を測定し宇宙線の強度の天頂角(入斜角)依存性と同じ $\cos^2$・・則に従うことから 2 次宇宙線(ミューオン)と判断した。地上(地表)のミューオン強度と比較した。

(4) 参加者の体調の測定

参加者の脈拍、血中飽和酸素濃度 SpO_2 の測定を行い高度、気圧との関係を調べた。

(5) 超微弱電波で山頂の山小屋から茨城高専まで 200 km の距離を直接データーを送る実験の試行

測候所には観測データー転送用の環境がない。野鳥の生態観察や防災(土砂崩れ検知)用の超小電力無線機を改良し、僅か 0.4mW の出力(006P の乾電池 1 本)で 200km 離れた茨城高専まで山頂の放射線測定データーを送ることに成功した。1024 ビットの擬似雑音を用いたスペクトラム拡散方式を用いた。

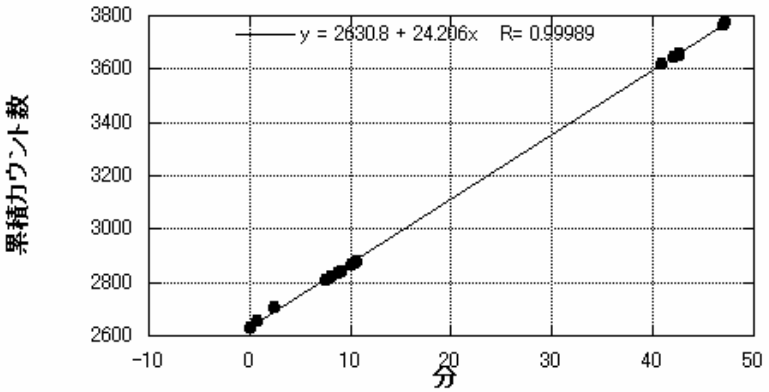


図 4 超微弱小出力無線通信による遠距離データ送信の試行

富士山頂山小屋より茨城高専に直接届いた測定データを基に作図。直線の傾きよりバックグラウンドが 24.2cpmと分かる。

3. 結果と考察

頭で知っているだけのことを、それで満足せず実際に実験で確かめることは科学の第一歩である。真の教育として実施すればよいのだが機会は少ない。山頂での科学教育として実験の機会を与えていただいた NPO 法人富士山測候所を活用する会に感謝します。機材の一部は原子力人材育成事業による。

*連絡先：松沢孝男(Takao MATSUZAWA)

マイクロ波帯・ミリ波帯の電波伝搬研究

横尾富夫，槇岡寛幸，岡本嗣男，上條敏生，梅津雅章，新井幸市，
逸見政武，深井貫，小林大輔　他 YAMA 会員
横浜・アマチュア・マイクロウエーブ・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

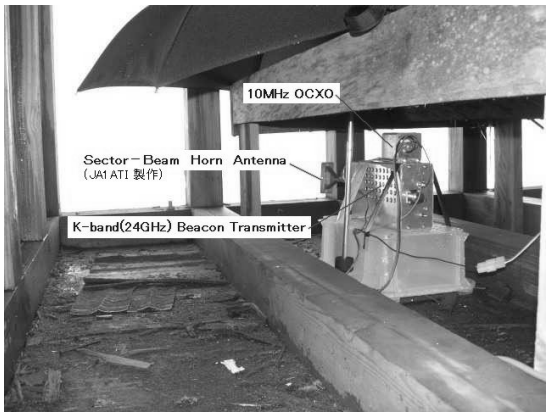
1. はじめに

本研究プロジェクトは、気象および大気の変化がマイクロ波帯およびミリ波帯の伝搬に及ぼす影響を定量的に収集し、電波伝搬（散乱）の特性を研究することが目的である。今年度は富士山山頂にアマチュア無線局（JARL 認定局）を設置し、24GHzのマイクロ波帯（準ミリ波帯）で定常的に電波を発射させ（ビーコン局）、電波伝搬計測実験を行った。

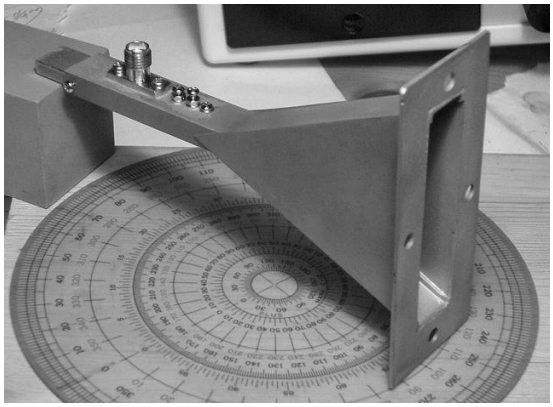
2. 方法

富士山測候所（標高 3776m）内に 図 1(a)の 24GHz 送信機を設置し、関東地方東側に向けて定常的な電波を発射した。送信機の送信周波数は、24.019000GHz で、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。送信電力は 30mW である。送信アンテナは、多くの局が受信できるように、図1(b)に示す形状のセクタービームホーンアンテナ [1] を作成した。送信データ信号は一分間隔のモールス信号で、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） が含まれている[2]。

地上受信局は 24GHz 受信システム（24GHz コンバーターおよび UHF 受信機）を所有する関東一円在住の YAMA メンバー数十名である。24GHz の受信信号は、まずコンバーターで UHF 帯（1200MHz 等）の信号に変換され、パソコンに接続された受信機で取り込まれる。取り込まれた信号は通信解析ソフト（WSJT）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として記録した。この WSJT（Weak Signal communications, by K1JT）[3][4]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。



(a)ハット内に設置された 24GHz 送信機



(b)送信アンテナ [1]　Gain 14.3dB
水平方向ビーム幅 60 度
垂直方向ビーム幅 15 度

図1.　24GHz 送信器および送信ホーンアンテナ

3. 結果と考察

8 月 6 日 14 時 30 分より、測候所内に設置された 24GHz送信設備より、送信を開始。地上局受信システムは、埼玉県上尾市、神奈川県茅ヶ崎市から立ち上がり、受信データの解析を開始した。8 月 26 日 12

時送信停止までの間、20日間連続送信を行った。その結果、常時受信システム 4 局、仮設受信システム 30 局の受信設備を立ち上げることができた。また、8 月 23 日から 24 日まで、ハムフェア 2009 会場（東京ビッグサイト）において、JARL 受信局による公開受信を実施し[5]、90 局が受信した。

24GHz 受信システムの受信機改良や WSJT 受信技術習得のため、4 月と6月に WSJT 講習会を開催した[6]。また毎月 SHF 技術アドバイス講習会を開催している。[6][7]

図2に受信に成功した受信局の位置情報を示す。図3は、受信地域の受信電波強度の計算例である。

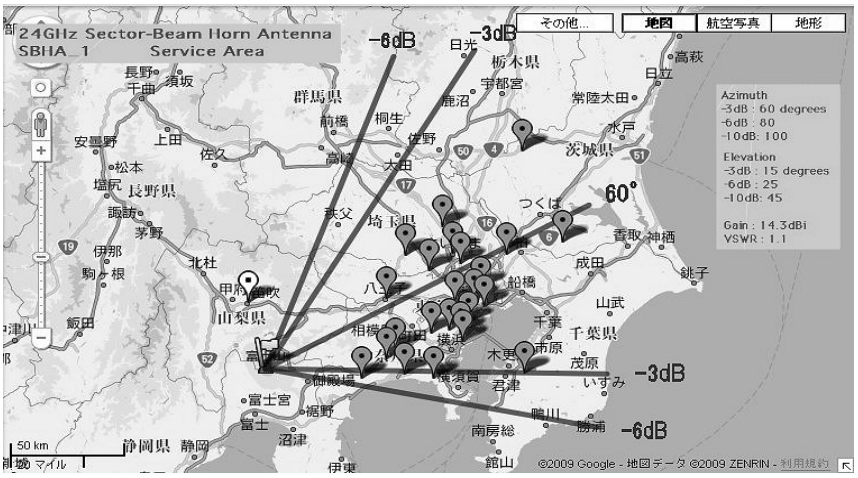


図 2.受信に成功したアマチュア無線 24GHz 受信局

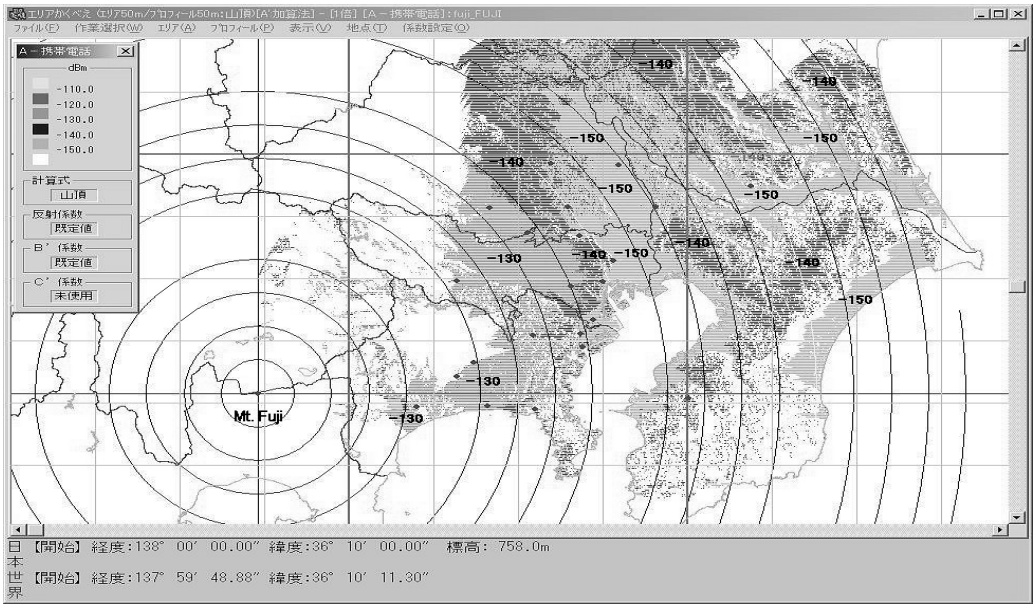


図 3. 放射電波の受信強度解析例

24GHz 送信機の電力、送信アンテナのゲイン・ビーム幅・ビーム方向のデータを入力して計算。

山頂から 200km 以内の受信電力レベルを色分けして表示している。受信アンテナのゲインは考慮していない。

図中の黒丸の点は、図 2 に示した無線局の位置を示している

図4は、神奈川県茅ヶ崎市（富士山剣ヶ峰見通し65km、受信システムは UTV-24G＋IC-910、30cm カセグレンアンテナ）における受信モールス信号の WSJT 解析画面を示したものである。図の左側に受信信号の日付・時間、S/N 比、周波数変動などの解析データが、右側にモールス信号の時間変化が表示されている。（図中、VVV DE は呼び出し符号、8J1FUJ/1 は JARL 特別局コールサインを表す）

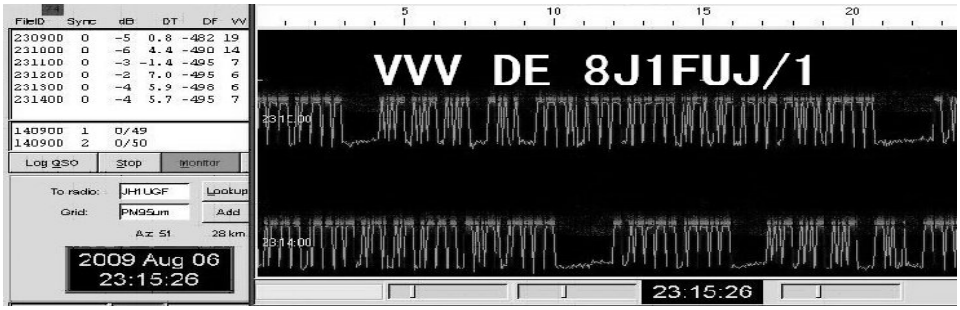


図4.受信信号の WSJT 解析データ例（パソコン表示画面）

8 月 6 日から 8 月 26 日までの関東地域の天候は、雨の時期が少なく、電波の受信状況は減衰が少なく安定な受信結果であった。短時間ではあるが、富士山頂での気象の変化に応じた受信電力の低下はしばしば観測された。8 月24日頃に関東地域に雨が降り、受信 S/N（Signal 対 Noise 比）に大きな変化が現れた。

図5、図6は、8 月 24 日 0 時より 48 時間に亘って東京都八王子市の受信システムで受信した S/N のデータである[7]。 富士山山頂、相模湖、丹沢湖、八王子市の気象データと比較した結果、各地点の雨量よりも富士山山頂の湿度が 100%になった時のほうが、S／Nの低下が著しい。また、相模湖、八王子市の天候より、丹沢湖の雨の影響を良く受けている。

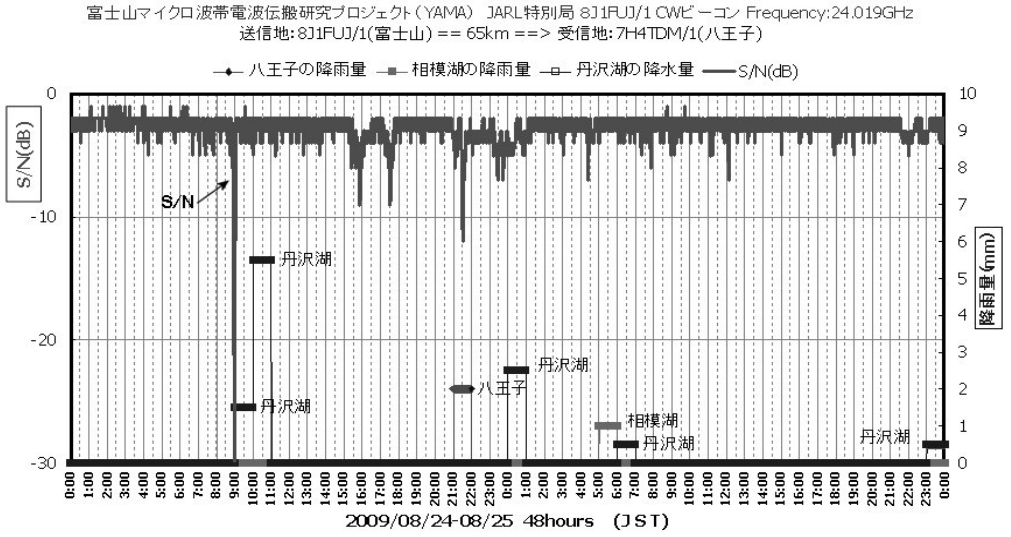


図5. 東京都八王子市の受信システムで受信したデータと降雨量(8 月 24 日 0 時より 24 時間)

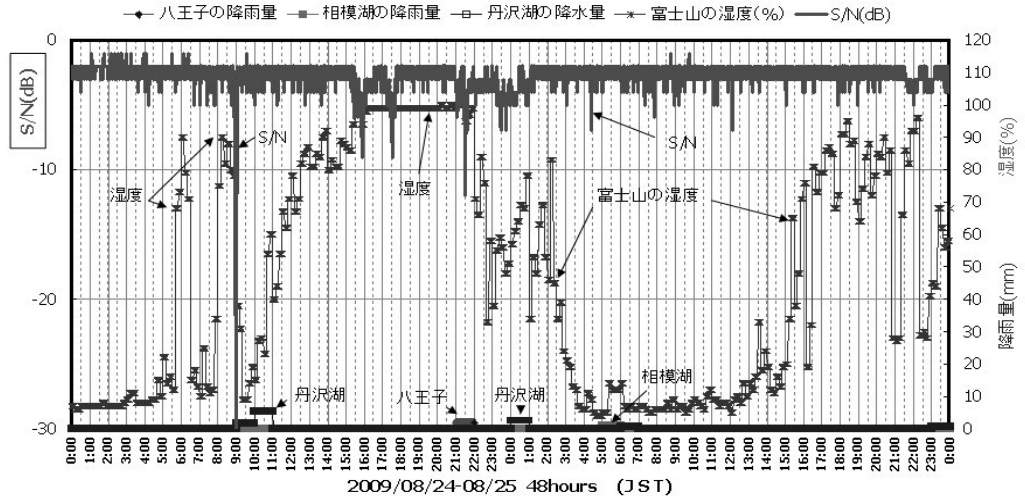


図6. 東京都八王子市の受信システムで受信したデータと山頂湿度(8 月 24 日 0 時より 24 時間)

図7は、8月21日0時より24時間の神奈川県茅ヶ崎市の受信システムで受信したデータ(7)である。今回は、送信機基準発振器(OCXO)の変動特性をみるため、気象庁発表富士山気象データをグラフにプロットしてみた。気象データは、10分ごとの気温、相対湿度、日照時間(分)を利用した。
その結果、送信機の周波数変動(DF)の変動は気温と負の相関がある。すなわち気温が上がると発振周波数は低くなる。気温5℃の変化に対してDFは80Hz弱の変動であった。 送信機設置ハット内は隙間風や雨漏りなど大変厳しい環境であるが、当日の茅ヶ崎市での受信信号は強力であり、24 時間平均のS／N＝－3.2dBと、終始安定して受信出来た。運用期間中の20日間、発振周波数の 24 時間温度変化は図7と同様な変化を示した。

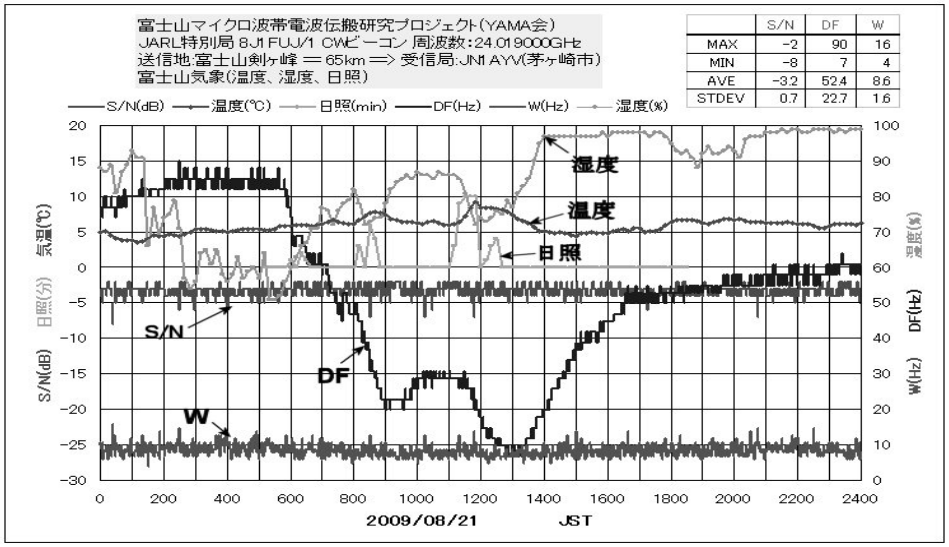


図7. 神奈川県茅ヶ崎市の受信システムで受信したデータ(8 月 21 日 0 時より 24 時間)

今後の計画: 各地点の受信システムのデータの解析を行う。今年度は24GHzの送信設備のみであったが、気象の影響を掘り下げて研究するため、来年度に向けて 47GHz帯、5.6GHz帯の送・受信システムの開発を行う予定である。なお、2010 年 1 月より JARL 特別局「8J1FUJ/1」の通年使用が認められた。

参考文献

（1）逸見政武, 「10/24GHz ビーコンアンテナ用アンテナの開発状況」,マイクロウェーブチャレンジ 2008, 全国マイクロウェーブ合同ミーティング論文集 (2008-11-23)
（2）JARL NEWS 2009 年夏号, JARL, p.35
（3）WSJT Home Page by K1JT: http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/
（4）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
（5）記念局運用情報, CQ ham radio 2009 年 10 月号, CQ 出版社 p.176
（6）熊野谿寛, マイクロウェーブワールド, CQ ham radio 2009 年 4 月号, CQ 出版社 p.189
（7）YAMA のホームページ (http://homepage2.nifty.com/yama-kai/newpage1.htm)。詳細な受信記録は、JN1AYV 局ホームページ (http://wwwjn1ayv.syuriken.jp/Beacon/FujisanPJ/FujisanProject.html) に掲載されている。

謝辞

富士山頂送信システムの設置にあたりご協力いただいた、NPO 法人富士山頂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、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(従業員社会貢献ボランティア活動資金支援プログラム)および YAMA メンバー各位にお礼申し上げます。

*連絡先:横尾 富夫(Tomio YOKOO)

富士山頂における天文測量とGPS観測に及ぼす大気の影響

青戸省二[1]、青戸公一[2]
1.（株)コパンブラン、2. 立命館大学

1. はじめに

古代から、天文測量は地球上の位置を決定したり、暦を作成したりするのに用いられてきた。しかし、近年、宇宙技術の進歩に伴い、その存在価値が極めて小さくなっている。その主な原因は精度の悪さであり、最新の測量器を使用しても、大気による光の屈折誤差は地表面上で数100mに達する。

一方、GPS（Global Positioning System）は1周波のナビゲーション用と2周波の精密測量用に分かれるが、いずれも広く普及している。1周波GPSは、精度が10m程度であり、2周波GPS相対測位のmmの精度には遠く及ばない。2周波GPSは、富士山頂においても、国土地理院のGEONET観測点がある。天文測量と同様に、GPSにおいても大気の影響は大きく、特に1周波においてはその誤差の大きな部分を占めていると考えられる。

本研究は、富士山頂において天文測量と1周波GPS観測を行い、下界の観測データと比較することにより、対流圏大気の影響について考察することを目的とした。また、富士山頂において星座を見ることによる自然教育的な効果を期待した。

2. 方法

天文測量器としては、Zeiss社製トータルステーション：RecEltaRLを使用した。また、1周波GPS受信機としては、Garmin社製ハンディGPS受信機：GPSⅡを使用し、RS-232Cケーブルでパソコンと接続し、アルプス社のプロアトラスに付属のGPSドライバーにより、データログを取った。

観測場所は、測候所3号庁舎東側の板敷きのスペースを使用した。

観測期間については、天文測量は天候に大きく支配されるため、8月18日の20時～21時に限られた。GPS観測はそれほど天候の影響を受けず、日中、夜間を問わずにできるので、7月22日18時～21時、7月23日15時～18時、および8月18日15時～17時、19時～22時に実施した。天文測量観測時には、GPSも同時に観測できた。

天文測量で観測できた星は、北極星と木星であった。

対照として、2002年以来行っている神奈川県小田原市における同様の観測データを使用した。

3. 結果と考察

星座観察については、8月18日の夕方、短時間ではあったが測候所滞在者とともに天の川や木星などを堪能することができた。天の川などは、都会ではなかなか見ることができないので多くの人に見ていただけたら、と考える。

天文測量は、短時間であったが、北極星と木星のデータを取ることができた。このうち、木星のデータについて、水平方向に約3°のずれが生じてしまった。この原因は現在検証中である。

1周波GPSのデータについては、観測期間を通じて、大きな変動は見られなかったが、高さについて±10m程度の波が見られた。大気の影響については、現在検証中である。

日食の間接的影響と見られる現象は、天文測量・GPS共に見とめられていない。

参考文献
国立天文台編(2009) 理科年表平成21年 ;丸善
国立天文台編(2006) 理科年表環境編第2版 ;丸善
天文年鑑編集委員会編(2009) 天文年鑑2009年版 ;誠文堂新光社
太田晃(1983) 北極星・太陽による方位角測定の実際 ;日本測量協会

大野重保(1987) 測地学の方法 ;東洋書店
日本測地学会編(1994) 現代測地学 ;日本測地学会
B.ホフマン-ウェレンホフほか(2005) GPS 理論と応用 ;シュプリンガー・フェアラーク東京
福島登志夫編(2009)天体の位置と運動 シリーズ現代の天文学 13 ;日本評論社
P.Kenneth Seidelmann(1992) Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac ;University Science Books
Murry L.Salby(1996) Fundamentals of Atmospheric Physics ;Academic Press

*連絡先:青戸省二(Shouji AOTO)

富士山測候所の雷対策調査と対策の提案

安本勝[1]、佐々木一哉[1]、土器屋由紀子[2]
1. 東京大学、2. 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(以下、測候所)の落雷頻度は高く、庁舎外に設備する機器は雷対策が必要である。「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」の一環として測候所の電源供給安定性を確保するため、その構成要素として太陽電池及び風力発電を検討している。当初、この太陽電池及び風力発電を導入する場合の雷対策を検討し提案する予定であった。しかし、それのみの雷対策だけでは十分な対策ができないため、測候所全体の雷対策も視野に入れて考えることになった。

調査は、落雷対策を念頭に置き電気設備関連を中心に実施した。8 月 17-18 日には測候所の実地調査も行った。調査方法は、現場測定(接続状態、電源電圧、および接地線電流)・視察、電気設備図面調査、電気設備状態の聞き取り、過去の落雷被害の状況調査等で行った。その内容と本来あるべき理想的な接地・電源設備構成とを比較し、問題点を明らかにするようにした。

本報告は、その結果明らかになった測候所が抱える雷対策上の問題を明らかにし、それを解決するための現実的な対策を提案する。

2. 雷対策・電気関連設備の調査

2-1 理想的な接地・電気設備と現実の問題

もし測候所が理想的なファラディゲージになっていれば、被雷しても影響ない。電気導体で閉じた構造を持つ飛行機や自動車は、被雷しても中にいる人には安全であることの理由である。電気導体の抵抗率が0Ω/cm でないため、完全なファラディゲージではないが、それでも電気導体で包み閉じた構造にすることで内部機器のトラブル抑制も含め大きな効果が得られる。

一方、仮に測候所を電気導体で覆うことができたとしても、測候所の運用を考えると外部と出入りする電源や観測機器類のケーブル類がある。これがファラディゲージ構成を破ることになる場合がある。外部とケーブルの出入りがある場合、外部観測機器とケーブルも含め電気導体で閉じた空間にしなければならない。このことが一般的に理解されていないことに加えて、導入個所でこの状態を確保し難くなっているため、ファラディゲージ構成の実現を難しくしている。

別の要因として、測候所内電源供給のための高圧電源を引き込み個所がある。 変圧器で三相 6600V を三相 200V に変換しているが、コモンモード間での静電的なサージ移行電圧、またノルマルモードでの電磁的な結合によるサージ電圧の移行があり、ファラディゲージの破れになる。

また、観測機器等に用いるケーブル接地線は、閉じた構造にして接続されていたとしても十分な電流容量が無い場合は、落雷電流による電圧降下のため、サージ電圧は内部に侵入することになる。

2-2 富士山頂の雷の特徴

雷対策には富士山頂での落雷の特徴を反映させた対策が必要である。100kA 以上の雷電流の累積頻度は 10%以下である。測候所でも十 kA 台の波高電流を考慮する必要がある。雷電流の立上時間は ～10μs、立下時間は数十μs～10ms になると推測される。雷雲が山頂より高いとしても平地に比較し距離が近く、落雷電流の特徴は持続性のある雷雲が低い北陸地方の冬季雷の特徴に近いものと考えられるからである。帯電した雷雲中にある場合はさらに長い持続性のある放電現象になると考えられる。

2-3 接地状態と落雷電流路

測候所の接地は、①建物基礎、②引下線、及び③山麓からの接地で構成される。

①測候所は岩盤と永久凍土の上にあり、建物基礎の接地インピーダンスは小さくならず、大きい値を示すと予想される。

②電気導線は基礎鉄骨から 80mm^2×300m×2 本、80mm^2×400m×1 本の計 3 本が引き下げられている

が、岩盤上のため接地抵抗は小さくはできないと予想される。但し大地との静電容量的な結合は増加はするので速い成分に対するインピーダンス低減効果はあるものと予想される。一方、測候所の実効的被雷面積を大きくすることになり落雷頻度を高める結果になっている可能性も高い。

③山麓からの接地線は、山麓と配線の途中途中で接地が行われており、全体としては小さな接地抵抗になっている。

前2者の接地抵抗は大きく、測候所の接地抵抗は山麓からの接地の抵抗で決まっていると考えてよい。こうした条件では、落雷電流の大半が山麓からの接地線を通り山麓側に流れる。このときの測候所の被雷電流の主な流路は、被雷個所から測候所内接地系統を通り山麓側の接地接続箇所に流れることになる。

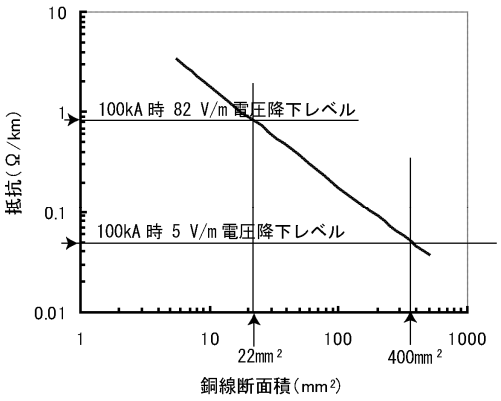


図１ ケーブルの銅線断面積による抵抗

2-4 ファラディゲージの破れ

雷のとき、測候所内にいても髪の毛が逆立つ、また2号庁舎分電盤と水洗台部分との間に放電が見られたということであるが、いずれもファラディゲージの破れがあり、庁舎内に雷電位が侵入していることを示している。原因には以下の点があげられる。

(1)雷が侵入しやすい線配線による接地構成　測候所各庁舎を横断する主接地線が山麓接地線までの被雷電流路を構成している。主接地線は22mm^{2}の銅線である。十分小さなインピーダンスでないため、落雷電流による電圧降下が大きく、図1から 100kA の場合で 82V/m の電位差を作ることになる。またファラディゲージ構成でなく、接地系統は線配線が基本で、内部の方がインピーダンスが小さくなる構成であるため、雷が内部に侵入しやすくなっている。屋根等の金属製覆い、また基礎鉄骨とも電気的接続は十分ではない。

(2)観測機器等のケーブル導入部　観測機器等のケーブルがそのまま測候所内に導入されている。ファラディゲージの破れであり、被雷したときそのケーブルを通して測候所内に雷電位を侵入させることになる。

(3)部材間の接続状態　部材間の接続状態をテスターにより測定し、その結果を表1にまとめた。

接続状態は、導通測定ができる範囲に限られるため、金属露出部分がある個所間の測定に限られた。被測定対象物の表面が導電性であることを確認した後、被測定対象物間の導通をテスターで確認した。

○ダクト避雷針の避雷導線はダクトに接続されている。また、観測塔避雷針の避雷導線は観測塔鉄骨に接続されている。

○測候所の断熱材は厚く電気的絶縁

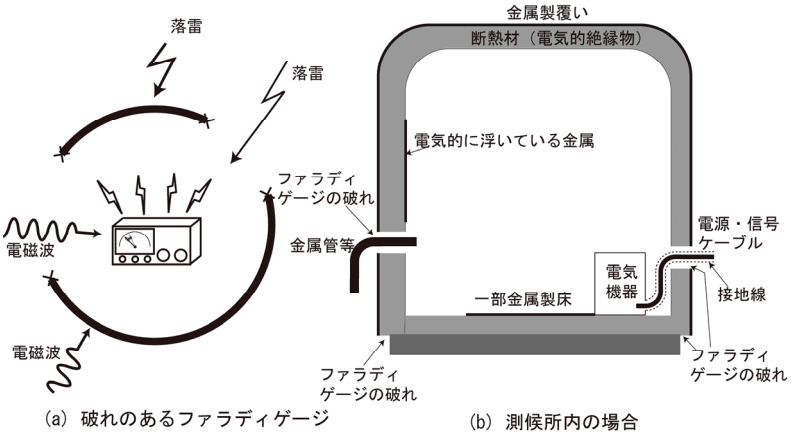


図２ 富士山測候所のファラディゲージ構成が破れている状態

表1 富士山測候所各部材間導通状態の確認（2009年8月17日測定）

場所	被測定部材		抵抗値
	一方の部材	もう一方の部材	
外部	GPS下部金属カバー	鉄柵	1MΩ
	GPS下部金属カバー	観測塔鉄製階段	1.28MΩ
	観測塔鉄製階段	2号庁舎屋根カバー	0Ω
	日射塔	2号庁舎屋根固定ロープ	0Ω
庁舎内	庁舎内ケーブルラック	庁舎内ダクト	0Ω
	2号庁舎北側階段	庁舎内ケーブルラック	絶縁状態
	3号庁舎南側階段	庁舎内ケーブルラック	絶縁状態
	金属製扉	庁舎内ケーブルラック	絶縁状態
2号庁舎1F	食堂・居間分電盤	庁舎内ケーブルラック	0Ω

性のものである。庁舎間の扉や階段等導電性部材はその断熱材に固定されており、電気的接続が取られていないため、金属製の扉や階段にアースと電気的に導通が無いものがある。
○GPS 脇の鉄柵は接地は取られていない。他にある鉄柵も積極的に接地は取られていない。
以上の問題を図2に示した。

2-5 電源と配線の状態

○変電室で三相 6600V を 200V に変換している。使用変圧器は、耐雷変圧器やシールド変圧器ではなく、B 種接地が必要な一般的な変圧器である。そのため、一次と二次間でサージ電圧の静電的および電磁的な移行が生じる。一次側高電圧には避雷器が設けられている。
○三相高圧引き込みケーブルは各線毎に銅テープで遮蔽されており、いずれも端末で接地が取られている。
○測候所の電位を決めている山麓からの接地線と A、B、D の各種接地が変電室で一緒に接続されている。電源電位はこの接地点電位になる。
○三相高圧ケーブルと接地線は山麓から対になって配線され測候所内に一緒に引き込まれている。
○大型自家発電は、その排気ガスが大気観測に支障があるため使用していない。
○単相 100V は、三相負荷バランスが得やすいスコット変圧器を用いて低圧三相 200V から得ている。三相変圧器低圧側は、高圧側との混触時の危険防止のため、B 種接地されている。低圧三相から単相に変換するスコット変圧器 2 次側2出力共片端は、B 種接地は不用であるにも関わらず接地されている。これは、漏電遮断器の作動を確保するためのものと考えられる。三相、単相いずれの低圧電源も、電位は B 種接地が接続されている接地電位になる。
○落雷が予測されるとき、山麓からの高圧電源を遮断し、必要最小限電源のみポータブルエンジン発電機に切り換えている。この間の大気化学観測データは使用していない。
○GPS 観測機器は、太陽光発電制御機器の設置場所近くに置き、太陽光発電から電源を得ている。接地は設置場所で行われているものと考えられる。
○配線は基本的にラック上に配線している。
○不要配線がある。測候所を出入りする電気配線、配管類がある。

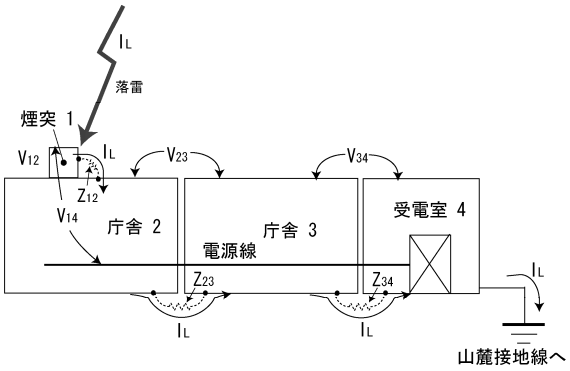


図３ ダクト被雷時トラブルの推測原因
電源線の電位が受電室電位で決まる（B種接地）。一方、各庁舎の接続インピーダンスが大きく、そこに雷電流が流れ、大きな電圧降下が生じる。このことが原因で電気機器使用電源と電気機器使用接地（庁舎筐体）間に過大電圧V_{14}(=V_{12}+V_{23}+V_{34})が現れた。

2-6 落雷対策上の問題点と過去の落雷被害

鉄骨構造物建物の場合、避雷針の被雷導線は一般的に建物鉄骨に接続される。測候所でも鉄骨に接続されているが、一般の建築物と違い鉄骨基礎部の抵抗は大きく、雷電流は建物に沿って山麓からの接地線接続個所に向かって流れる。そのため、接地経路に沿って電圧降下による電位勾配を生じる。等電位が確保できない状態になる。

測候所外の観測機器のケーブルをそのまま内部に導入しているため、接地系統接地電位は導入個所ではなく観測制御機器の設置場所接地点で決まる。ファラディゲージの構成を破っており、被雷したとき外部電位を測候所内に導入することになる。

過去には下記の落雷被害があった。

(1)ブレーカを焼損させた事例　接地系統抵抗が十分小さくないため、雷電流が接地系統に流れることによって電圧降下が生じ、電源系統にもサージ電流が流れ込んでブレーカを焼損させたものと考えられる。

(2)ダクトに被雷しパソコンを破損させた事例(図3)　電源電位は、変電室のB種接地により山麓からの接地線電位に固定されている。一方、

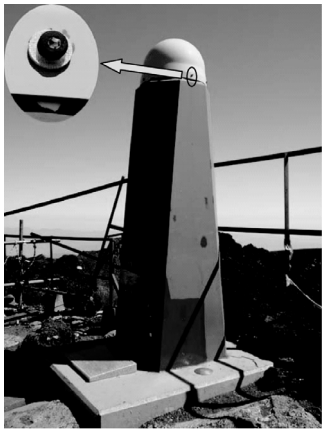


写真１　GPS の被雷個所

接地点電位は、山麓からの接地線電位に雷電流が流れる接地線インピーダンスの電圧降下を加えたものになる。電源と接地間に電位差が生じたこと、もしくは、電圧降下が生じている接地線間に電位差が生じたことが、破損の原因と推測される。

(3)GPS の被雷(写真1)　避雷時は下部の金属製覆い頂部にあるプラスチック製カバーの固定ボルトが金属製になっており、そこに被雷しケーブルを焼損させた。避雷針の保護下になく誘導電荷を集中しやすくなっていたことが原因と推測される。この対策としては、すでにプラスチック製ボルトに変更されている。このとき下部の金属製覆いは浮かし、GPS センサーとも切り離され絶縁状態にされたとものと考えられる。

(4)風速計の被雷　風速計が被雷し破損した。避雷針の保護下になかったためで、対策として避雷針を設け、避雷導線はダクトに接続した。

3. 対策方法

3-1 等電位主幹接地によるファラディゲージの構成確保

導入する設備、観測機器に対して雷対策を実施する場合、現状のままだと測候所にファラディゲージの破れがあるため、個々に完結した雷対策をしなければならない。この場合、満足する雷対策の実現は難しくなる場合が一般的である。例えば、導入機器を測候所内機器と独立に使用する場合は、機器ごとに単独にファラディゲージ構成を満足すればよい。しかし、連係させなければならない場合が一般的であり、相互の連携を難しくする。問題を増やし、解決を一層複雑にすることになる。現状のままでは、庁舎外に雷対策を考えた観測機器を設置し難い状態であり、適切な対応ができずトラブルの発生が続く。庁舎接地系統に沿って落雷電流による大きな電位差が生じる。また、外部ケーブルからの雷侵入による感電事故、内部機器の焼損も起こりうる。

対策は理想的なファラディゲージを実現することであり、以下の点を考慮することが必要である。

(1)ファラディゲージに近くする。

(2)等電位性を高める。

(3)ケーブルへの被雷対策は、パルス状電流だけでなく、持続性電流も考慮した対策が必要である。

(4)落雷電流の大半は山麓からの接地線を通して山麓側に流れる。

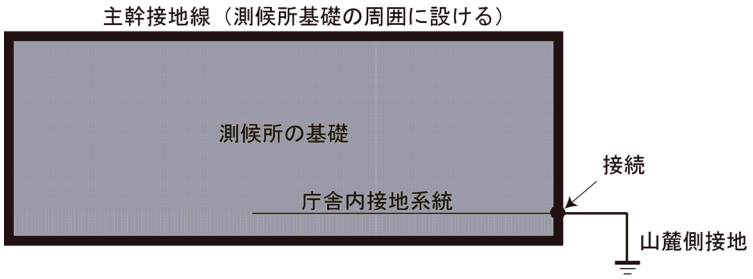


図４　等電位性確保のための主幹接地線

理想的なファラディゲージに近付けるには、等電位性を高くする主幹接地線を測候所基礎周囲に確保し、その主幹接地線に金属製の屋根・壁と鉄骨基礎と多点個所で接続し、ファラディゲージの構成に近くするべきである。

①図4示すように、主幹接地線を測候所建物基礎周囲を囲むように基礎に固定する。

②主幹接地線は、十分低インピーダンスにする。銅を用いる場合、100kA の雷電流に対して 5V/m 以下にするため(図1より)、400mm^2 以上のものを使用する。これは、ケーブルの引出引込個所は一個所ではなく複数個所になるので、主幹接地線を低インピーダンスにすることで一点接地を近似するためである。

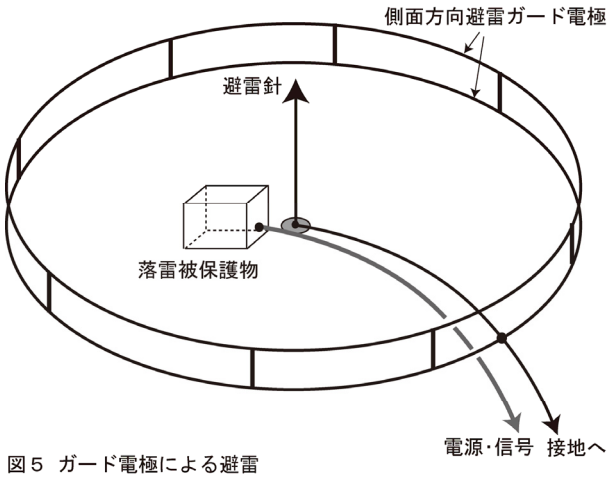


図５　ガード電極による避雷
- ●避雷針は上方向からの雷の避雷用である。
- ●避雷針とガード電極により斜めからの落雷も防止できる。
- ●ガード電極形状は被保護物に合わせて決める。
- ●落雷被保護物の電源・信号ケーブルも被雷時対策を行う。

③山麓からの接地は受電室導入個所で主幹接地線に接続する。
④落雷の誘導を目的にする避雷針等の落雷電流を、主幹接地線に流すことがないように、避雷導線を山麓からの接地線に直接接続する。

3-2外部観測機器の落雷対策強化

外部に設ける観測機器は、避雷針、および金属製の測候所屋根や塔の保護下に入るように設ける。また、岩盤上を移動する雷に対しては、観測機器の周囲に図5のようなガード電極を設けることで侵入を防止できるので観測機器を保護できる。GPS の場合、脇にある鉄柵をガード電極に流用できる。

万一、観測機器が被雷した場合を考え、雷電流を流せる十分な容量の接地線を、ケーブルと並列に設ける。またケーブルには、サージ電流を抑制するため、高透磁率トロイダルコアを用いた図6の柔構造的な接地構成を用いることが必要である。

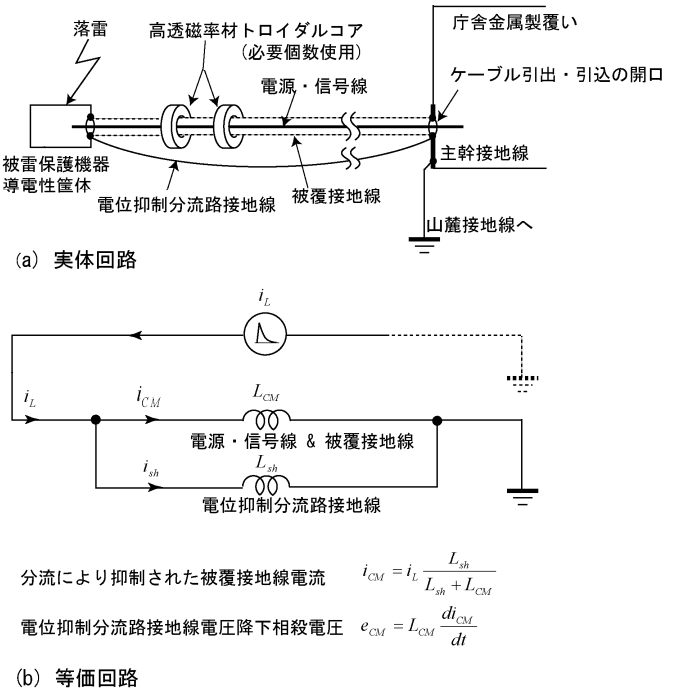


図６ 外部観測機器ケーブルへの柔構造的接地構成の適用方法

ケーブ内電源・信号線に侵入する場合も考え、避雷器を設けることも必要である。

測候所外に観測機器があり、測候所引出・引込ケーブルがある場合、この測候所引出・引込口でファラディゲージの破れが生じないように、ケーブル接地線と測候所接地主幹とを電気的に十分インピーダンスが小さくなるように接続しなければならない。電気機器筐体のコネクタのように閉じた構造が基本であり、主幹接地線にコネクターを設けることで対策しやすくなる。

3-3 測候所内電位差の対策

落雷電流が流れる接地系統に沿って電圧降下があり、電位差を生じる。この影響を小さくするため、電源・信号系統には接地系統の電位差を吸収する機能を設ける。

(1) 電源系統は使用場所を代表する各庁舎毎にノイズカットトランスを入れる。

(2) 各庁舎をまたがる信号系統は、信号授受に光ケーブルや変圧器を用いて吸収する方法がある。また図6に示す柔構造的構成を適用する。

(3) 各庁舎毎に使用場所を代表する接地電位を確保できる接地極を設ける。

3-4 変電室変圧器への対策

現状の変圧器は一次と二次間のサージ電圧の静電的移行と電磁的移行がある。エネルギー伝達だけではなく無用なサージ電圧も伝達することになる。このサージ電圧対策は、できれば耐雷変圧器を導入する方法、あるいはシールド変圧器を導入して一次側と二次側に避雷器を設ける方法がある。この対策で相互のサージ電圧の移行を抑制できる。一次と二次間をシールドすることでコモンモード成分の静電的移行は完全に防止できる。電磁的結合による移行は線間に現れるノルマルモード成分になる。この対策には一次と二次いずれにも避雷器を設ける対策が必要になる。

サージ電圧は、測候所から山麓側に移行するものと、逆に山麓側から測候所に移行するものについて対策を考える必要がある。

測候所での接地構成への対策が十分であれば被雷電流は山麓からの接地線に流れることになり、測候所接地系統から電源系統に移行するサージ電圧は無視できるものになると考えている。しかし、測候所の被雷電流が流れる山麓からの接地線にインピダンスがあるため、山麓からの接地線接地点の電位が上昇し避雷器や静電的移行により高電圧電源に侵入することが考えられる。この場合でも、接地線が付随していることと高圧電源の各線が遮蔽した構造であり、その同相化効果を考えると、移行量は小さいと

推測している。

一方、一次側からのサージ電圧は、山麓側で被雷し侵入してくる。この高圧電源線への雷侵入は、ケーブル部分が遮蔽構造であることと接地線を付随して埋設されていることより少なく、山麓の架空線部分によるものが多いと考えている。現状は、山頂での雷の襲来を予測し高圧遮断器を開放しているが、山麓側の予測まで考えると対応できない。一次と二次いずれにも避雷器を設けることで過大電圧の侵入を防止することが必要である。

4. まとめ

対策の概要は、図7にまとめることができる。対策を実施することで以下の対策効果が得られる。

(1)測候所が被雷しても内部では影響を受けない。

(2)外部観測機器は落雷から保護できる。

(3)万一外部観測機器が被雷してもダメージを受け難い。

(4)より安全な使用を可能にする。またノイズトラブルも生じにくくなる。

提案する雷対策方法は、風力・太陽光発電設備設置にも適用できるものであり、また導入しやすい構成になる。

富士山測候所の落雷頻度は高いが、本提案の対策をすることでトラブルは著しく小さくでき、高位置にある富士山測候所の特徴を生かした研究への活用が一層期待されるものになると考えている。

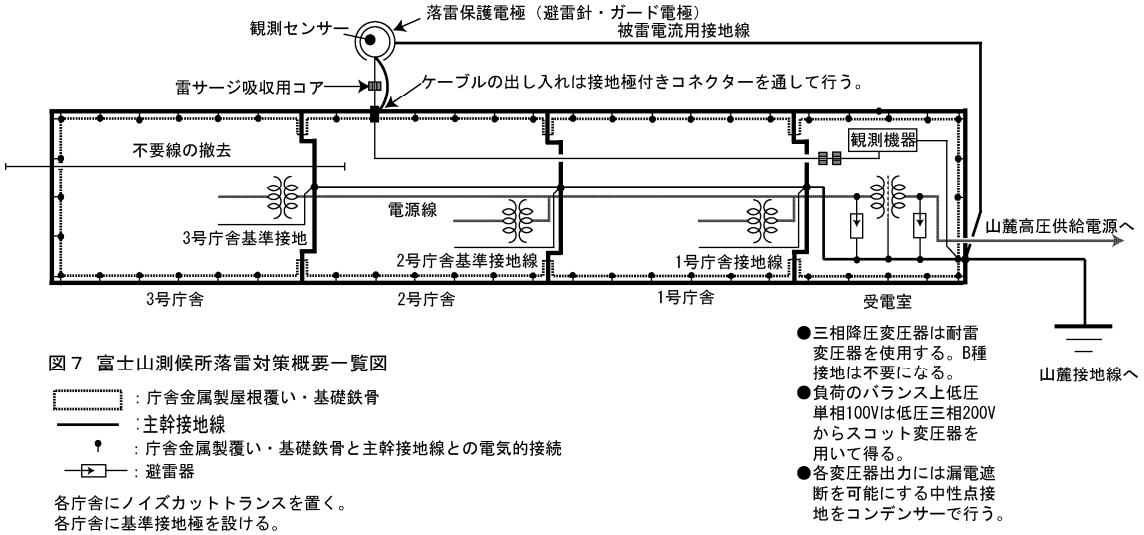


図７ 富士山測候所落雷対策概要一覧図

謝辞

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。

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、大胡田智寿・NPO法人「富士山測候所を活用する会」・電気主任技術者、岩崎洋および越生正文・山頂班長、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および濱田宗孝・関電工静岡支店電力技術部公務チームリーダの各位、また、現地調査を進めるにあたりお世話になった、青戸省二御殿場班長、山頂班の方々の各位に感謝する。

参考文献

(1)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

(2)石井勝 監修、音羽電機工業(株)創業 60 周年記念出版委員会 (2006)よくわかる雷対策の基本と技術、日刊建設通信新聞社

*連絡先:安本勝(Yasumoto MASARU)

富士山測候所を活用した永久凍土高等植物の分布調査

増沢武弘[1]、冨田美紀[1]、中野隆志[2]、藤井利行[3]
1. 静岡大学、2. 山梨環境研究所、3. 国立極地研究所

1. はじめに

北半球の北極域や中緯度・低緯度地域では高山帯に永久凍土が存在する。日本では、1971 年に Fuji と Higuchi(1972)によって富士山頂に永久凍土の存在が確認された。1998 年までの藤井と増沢の研究では、永久凍土の分布はその下限が 1976 年では 3,100m、1998 年では 3,200m であった。富士山頂においては、10 年前に永久凍土の存在が確認された約 100 地点において、2009 年に再度永久凍土の確認を行った。

富士山頂は火山性土壌のため貧栄養で水分に乏しい。標高約 3700m 以上のため気温が低く夏が短い。また、独立峯であることから強風や紫外線にさらされる。富士山頂のような厳しい環境条件では、植物の定着は極めて困難である。生育している植物の多くは大きな岩のわずかな浸出水を利用しているコケ類である。そこで、植物の侵入過程を把握するために、20 年前に無植被であった調査区において、現在の植物の定着状態を調査した。

2. 方法

富士山の永久凍土の分布は鉄釘で深さ 70cm、50cm、30cm の穴を開け、長さ 70cm の温度センサーを差し込み、各地点の温度を測定した。富士山頂の永久凍土調査区は、剣ヶ峰北、雷岩、白山北、金明水周辺の約 100 ヶ所で測定した。

高等植物の富士山頂への侵入について、10m×10m の方形区を 2 つ設け、その中に分布する植物種を同定し、マッピングを行った。

3. 結果と考察

永久凍土の分布はその下限が 1976 年では平均値として 3,100m、1998 年では 3,200m と上昇傾向がみられた。しかし、本年度行った調査では、以前まで永久凍土が確認されていた場所において、凍土が確認されなかった調査区が複数存在した。このような測定結果から、2009 年では分布の下限が 1998 年の 3,200m よりも上昇し、さらには連続的に分布していた永久凍土が、場所によっては部分的に消失している状態であることが予測された。

高等植物の富士山頂への侵入について、本年度の調査では、20 年前に植物が確認されていなかった永久区において、タカネノガリヤス、タカネツメクサの侵入が確認された。

また、南極に類似したコケとラン藻の共存状態も減少傾向であることが確認された。

参考文献

Fuji, Y. and Higuchi, K. (1972) On the permafrost at the summit of Mt. Fuji. 雪氷. 34, 173-186.
藤井利行 (1980) 北半球における山岳永久凍土の分布と環境条件. 雪氷. 42, 41-52.
Higuchi, K and Fuji, Y. (1971) Permafrost at the summit of Mt. Fuji, Japan. Nature. 230, 5295, 521.
増沢武弘 (2002) 富士山頂の自然. 静岡県.
増沢武弘編著 (2008)高山植物学. 共立出版.

*連絡先：増沢武弘 (Masuzawa TAKEHIRO).

高高度宇宙線被ばくのリアルタイム推定

保田浩志[1]、矢島千秋[1]、鳥居建男[2]
1. 独立行政法人放射線医学総合研究所、2. 独立行政法人日本原子力研究開発機構

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(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、多数の二次粒子を発生する。二次粒子の数は標高が高くなるほど多く、宇宙線による被ばくも増える。上空を飛行する航空機では、海抜ゼロの平地と比べて宇宙線による被ばく線量は百倍ほどになる。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では放射線防護の専門家の立場からこれを支援しており、その主な内容は被ばく線量の計算と検証である。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。日本で最も高い位置にある富士山頂は、その目的に照らして最適な場所といえる。

2. 方法

富士山の山頂(標高 3776m、N 35.36°、E138.73°)に位置する旧富士山測候所 1 号庁舎 2 階において、2009 年 7 月末から 8 月中旬にかけて宇宙線観測を行った(図 1)。観測には、測定対象とする粒子種や放射線応答特性の異なる 8 種類の測定装置を使用し、宇宙線の中性子や電離成分に関する総合的な観測を行った。また、測候所と直線距離で約 16km 離れた御殿場事務所との間に無線 LAN の通信システムを独自に敷設、遠隔地(千葉市)とのリアルタイムデータ通信や状況監視、制御操作を可能とした。

図1. 旧富士山測候所の外観(左)と同所1号庁舎2階での観測作業風景(右).

一方、富士山頂で得られた実測データから上空での宇宙線線量率を推定する手法の精度を検証するため、日本貨物航空(株)の協力を得て、2009 年 2 月 5 日に富士山の近傍を飛行する成田(N35.3°, E136.9°)～関西(N34.4°, E135.2°)便の航空機(Boeing 747)内で 3 種類の中性子測定装置を使用し、宇宙線観測を行った。同便の飛行ルートを図 2 に示す。同便では富士山のごく近傍富士山頂での観測と航空機内での観測は実施時期が半年近く異なるが、太陽活動は極小期でほぼ同じレベルにあり、大気圏内の宇宙線強度に有意な差は生じていないと考えられる。

図2. 2009年2月に宇宙線観測を実施した成田ー関西便の飛行経路.

3. 結果と考察

旧富士山測候所においてエネルギー拡張型の減速材付中性子レムモニタ(WENDI-II、Ludlum Measurements Inc.)で得られた宇宙線中性子線量(1cm 周辺線量当量値)の実測値の推移を図 3 に示す。同モニタは、航空機高度における宇宙線中性子の線量を精度よく測定できることが分かっている(Yasuda et al. 2009)。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。測定期間中の宇宙線中性子の平均線量値は 0.096±0.008 μ Sv h^{-1} で、数学モデル(Sato et al. 2008)で計算した中性子スペクトルとモニタの応答関数から求めた推定値(0.097)と良く一致した。

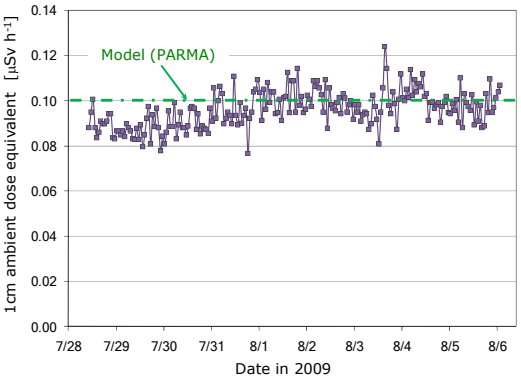


図3. 旧富士山測候所においてエネルギー拡張型レムモニタWENDI-IIで測定された宇宙線中性子の線量率(1cm周辺線量当量率)の推移.

航空機内において同じモニタで得られた線量率は 1.088±0.120 μ Sv h^{-1} と、富士山頂の値のおよそ 10 倍の値となり、モデル計算による予測値(1.018 μ Sv h^{-1})の正確さが確認できた。一方、旧富士山測候所で得られた測定値に基づいて、あらかじめモデル計算で求めた宇宙線線量率の高度分布のパターンから経験的に推定した値は 1.001±0.085 μ Sv h^{-1} となり、モデル計算による予測値とよい一致がみられた(図 4)。この結果から、富士山頂で得られる観測データから煩雑な計算に依らず上空の宇宙線線量率をリアルタイムに推定する方法の有効性が実証できた。

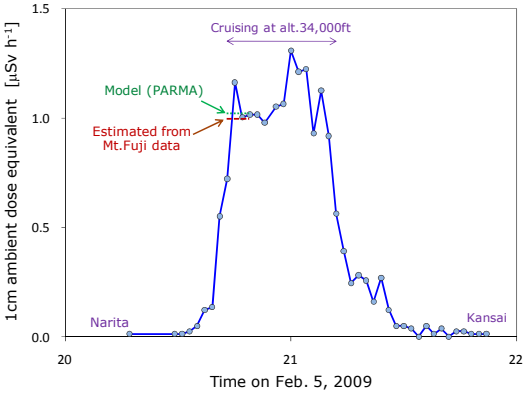


図4. 2009年2月5日に成田～関西便の民間航空機内でWENDI-IIにより実測した宇宙線中性子の線量率(青線).モデル計算による予測値(緑)と富士山頂のデータから経験的に求めた推定値(茶).

今後は、本手法を航空乗務員の被ばく管理に役立てることを視野に入れながら、異なる太陽活動時期における有効性の実証が最大の課題である。その課題を克服するためにも通年での観測が待たれる。

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。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。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、新井誠司氏ら、科学システム研究所の杉田武志氏らの協力を得た。航空機内での宇宙線観測は日本貨物航空(株)の理解と協力を得て実施された。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

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

Yasuda, H., Yajima, K., Sato, T., Takada, M., Nakamura, T. (2009) Responses of Selected Neutron Monitors to Cosmic Radiation at Aviation Altitude, Health Phys. **96**, 655-660.

*連絡先：保田浩志(Hiroshi YASUDA)

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・名古屋俊士[1]、三浦和彦・永野勝裕[2]、皆巳幸也[3]、小林拓[4]、片山葉子[5]
1. 早稲田大学、2. 東京理科大学、3. 石川県立大学、4. 山梨大学、5. 東京農工大学

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(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，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，東京理科大学，東京農工大学，山梨大学，石川県立大学の共同観測として行った．

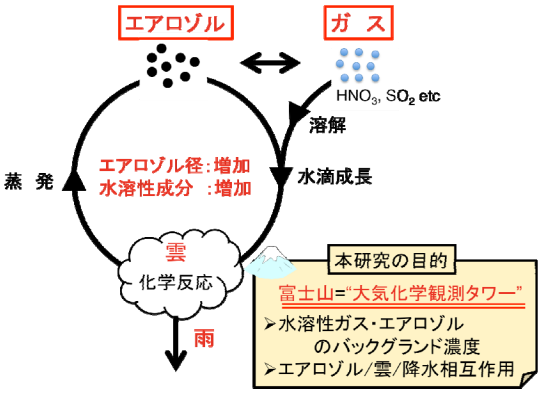


図1 エアロゾル―雲―降水相互作用と本研究の目的

2. 観測期間・観測地点・観測項目

観測期間は 2009 年 7 月 17 日～8 月 25 日であり，7 月 17 日～30 日までは泊まり込んでの集中観測を行った．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)早稲田大学と山梨大学の共同観測

2009 年 7 月は梅雨明けが遅く，天候不順であったことから，富士山頂では観測期間中に54試料の雲水が得られた．図 2 には，得られた観測結果の一例として，雲水中フミン様物質(HULIS)濃度の経時変化を示すが，HULIS 濃度は日中に高く，夜間低いという明瞭な日変動を示している．これは 2008 年に富士山南東麓で得られた大気エアロゾル中 HULIS 濃度の経時変化と類似している．富士山頂の雲水では，富士山南東麓で同時期に得られた雲水，雨水，大気エアロゾル中 HULIS に比べてフミン酸の割合が高い傾向にあるが，日中にはフルボ酸の割合が増加した．

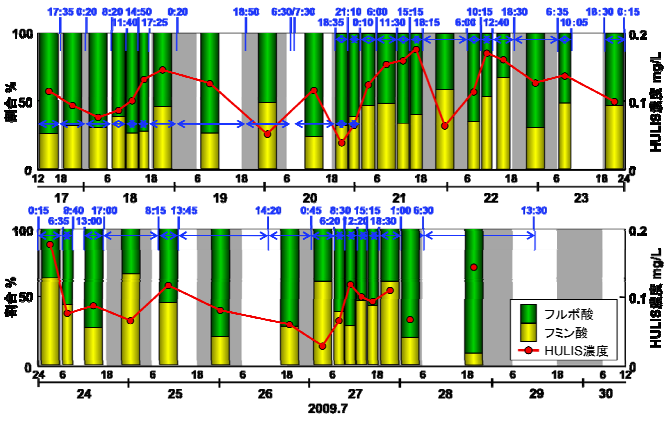


図2 富士山山頂における雲水中 HULIS 濃度の経時変化
(背景色が白：日中，背景色が灰色：夜間)

自由対流圏高度における雲水中HULISの濃度変動，フミン酸とフルボ酸の割合は世界的にも本研究により初めて明らかになった．

2）東京理科大学理学部の観測

2-1)　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、雲は大気の負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た．また、大気境界層内エアロゾルの山頂への影響を調べるために山麓において、同時に測定した．また、同時に個々の粒子の形態観察、元素分析を行った．（三浦）また、エアマスのトレーサーとして、ラドン濃度を測定した．（永野）

2-2）方法

富士山頂(3776m)と太郎坊(1300m)において 2009 年 7 月 17 日～8 月 25 日に連続観測を行った．外気を拡散ドライヤーで 20%以下に乾燥させ、走査型移動度分析器(SMPS)と光散乱式粒子計数器(OPC KR12、小林)を用いて 4.4～5000nm にわたる粒径分布を測定した．低圧カスケードインパクターにより電子顕微鏡用メッシュ上に粒子を捕集した．透過型電子顕微鏡により形態観察を行い、エネルギー分散型 X 線分析器により個別粒子の元素分析を行った．

2-3）結果と考察

山頂で 2009 年に SMPS で測定した粒径分布を図 3 に示す．ほぼ毎日直径 10nm 以下の粒子が高濃度となるイベントが観測された．3 時間以上継続するイベントは日中 4 回、夜間 9 回の計 13 回観測された．2006 年からだと、夏期 108 日間の測定中、65 回観測されたことになる．また、このイベントは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いと思われる

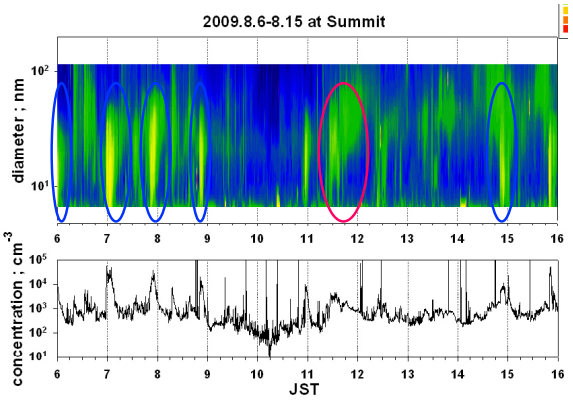


図 3　山頂で SMPS により測定した粒径分布

イオンバーストが同時に発生した可能性(松木)は 13 イベント中、1回しか観測されなかった．また、その時は雨が降っていた．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、大陸起源が 7 回、海洋起源が 6 回と推定された．イベント前の粒子数濃度は、大陸起源が 200～1500、海洋起源が 200～900 個/cm^3と海洋起源の方が低かった．新粒子生成に特徴的なバナナシェイプは、半日以上続いたイベントが 2 回、6 時間以上続いたイベントは3回あった．これらのイベントは海洋起源の時に4回観測された．

以上より、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．

バックグランドの組成を知るために、低濃度時に捕集した 6 サンプルを中心に分析した．いずれも降水現象があり、雲にならなかった残留粒子を分析しているかもしれない．図 4 に結果を示す．6 例とも、S と Ca を主成分とする粒子が多かった．その他に Na,K を比較的多く含むサンプルが 1 例あった．Na,S,Ca の質量の割合をみるために、三角ダイヤグラムで表したところ、硫酸ナトリウムと硫酸カルシウムの内部混合粒子が多かった．また、これらの粒子の形態は対をなすリボン状を示し、結晶が成長したようにも見える．詳細については今後の課題である．

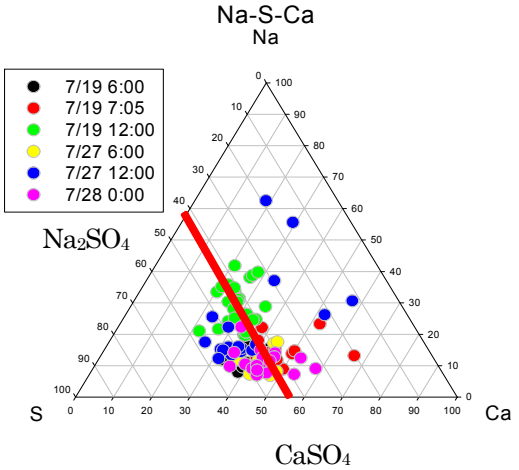


図4　個々の粒子を組成する Na,S,Ca の質量の割合

3）東京理科大学理工学部の観測

理科大で独自に作成した大気中のラドン(^{222}Rn)輸送をシミュレートする簡易型の全球および領域ラドン輸送モデルの上層における有効性を検証するため，また，下層から上層へのラドンの鉛直輸送を検討するために，富士山頂および太郎坊においてラドン濃度の観測を行った．観測は，山頂では4時間毎，太郎坊では1時間毎に自動的にフィルターに大気を吸引して大気中のラドン壊変生成物を捕集し，そのα線を計数することにより行った．

山頂については 2009 年 7 月 18 日～8 月 25 日，太郎坊については 2009 年 7 月 16 日～8 月 25 日の期間の結果が得られ，異常値もあったが，図の細線で示すように，同期間の山頂（図上）および太郎坊（図下）におけるラドン濃度の特徴的な時間変化が観測できた．また，同図には，山頂および太郎坊におけるモデルによるシミュレーション結果（太線）も示している．山頂および太郎坊における観測された濃度変動には，2008 年と同様に，濃度の極小値の変動に見られる数日にわたる変動とそれに加えて日変動が観測された．このうち数日にわたる観測された濃度の変動はラドンの長距離輸送のような総観規模現象による影響と考えられ，総観規模現象による輸送をシミュレートしているモデルにより計算された濃度の変動とよく一致している．このことから，モデルの上層における有効性が検証され，さらに，数日にわたる濃度の変動はラドンの長距離輸送のような総観規模現象による影響であることがわかる．また，濃度の日変動に関しては，2008 年の観測では，その変動のパターンから山頂では山谷風（日中増加，夜間減少），太郎坊では山谷風または大気安定度（日中減少，夜間増加）による影響があることがはっきりとわかったが，2009 年の観測では，山頂，太郎坊ともに日変動へのそれらの影響がはっきりとは現れていなかった．

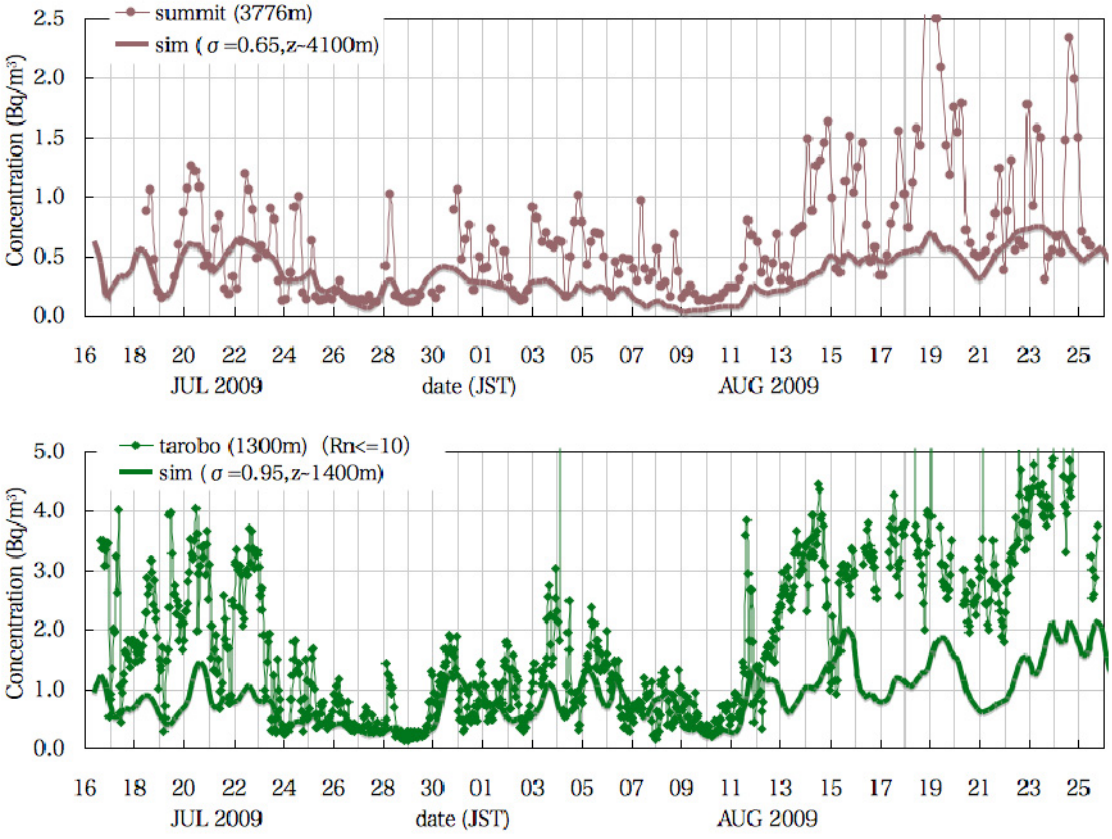


図 5 山頂（上図）と太郎坊（下図）でのラドン濃度の観測結果（細線）と計算結果（太線）

4）石川県立大学の観測

2009 年 7～8 月に富士山北西麓（名大太陽研富士観測所）で得られた降水試料は8個であった．この期間は他の地点と同様に降水量が多かったため，溶存成分の濃度としては昨年と比較して低いものが多かった（図 6）．なお，NO_3^-／SO_4^{2-}比は，両年で大きな違いが見られなかった．

同地点で観測したエアロゾルの粒子数濃度は，降水が多く見られた8月中ごろまでは変動が激しかったが，それ以後は比較的安定した推移を示し，この両期間で明瞭な違いが現れた（図 7）．後半の特徴としては，0.3 μm 以上や 0.5 μm 以上で数濃度が前半より高かったのに対し，5.0 μm 以上では逆に前半より低くなったことが挙げられる．

太郎坊で観測したオゾン濃度の推移は，大きく3つの期間に分けられた（図 8）．すなわち，7 月 25 日ごろまではやや高かったが，以後は8月中ごろまで非常に低くなった．その後の期間は，上記でエアロゾル数濃度が安定したのと同じ期間であり，全体として高めであったほか，更なる高濃度のピークが時々見られた．これらの推移は，加藤（首都大）が観測した富士山頂での傾向とも一致するものであった．

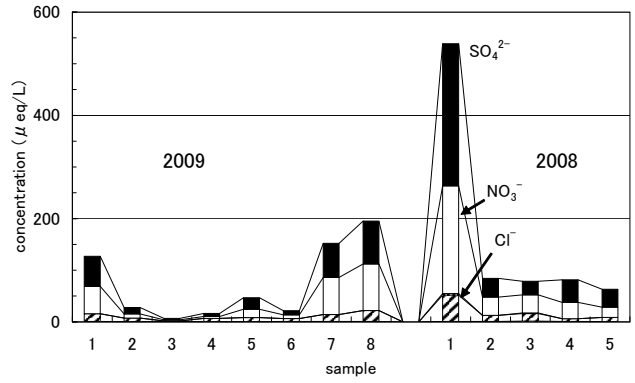


図6　名古屋大学太陽地球環境研究所における降水中の陰イオン成分濃度
（左側の8試料が 2009 年，右側の5試料が 2008 年のもの）

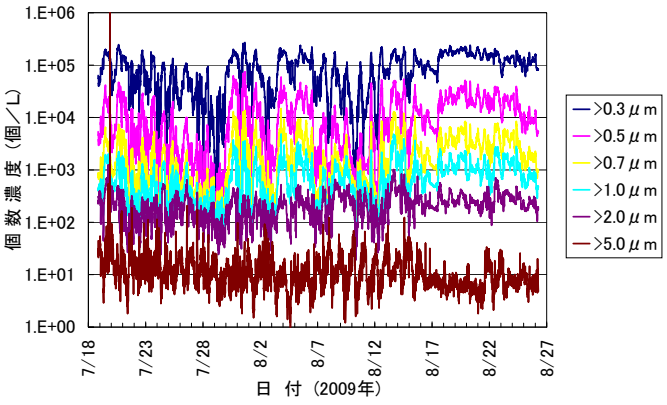


図7　名古屋大学太陽地球環境研究所における エアロゾルの粒径別数濃度の推移

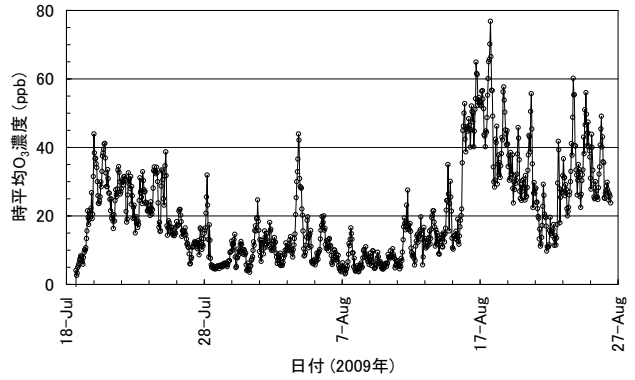


図8　太郎坊におけるオゾン濃度の 1時間平均値の推移

5）東京農工大学の観測：富士山頂及び太郎坊のバイオエアロゾルの微生物

5−1）研究の背景と目的

バイオエアロゾルは花粉、細菌、カビ、胞子などの生物由来の大気中の浮遊物を指す．これまでは公衆衛生の視点から病院や食品系工場などの室内環境を中心としてバイオエアロゾルの研究が行われてきた．一方、自然環境においては、大陸の黄砂が偏西風に乗りわが国へ到達するなど、大陸を超えた大規模な長距離輸送が明らかになるにつれ、より広い視野を対象とする研究が急がれている．

本研究では、大気中のバイオエアロゾルの微生物について研究をスタートするにあたり、農工大農場で採取した試料を用いて基礎的な実験条件の確認を行うと共に、富士山山頂と太郎坊において採取したバイオエアロゾルについて、顕微鏡観察による微生物の菌密度の測定と特定の遺伝子に着目して系統学上の解析を行うPCR-DGGE法により微生物叢を調べることを目的とした．

5−2）方法

バイオエアロゾルの採取は、農工大農場(高さ 4.8 m)、富士山山頂旧測候所及び太郎坊、さらに比較として立山室堂平(標高 2450 m)において行った．採取には滅菌済みメンブランフィルター(孔径 0.22 ・m)に、流量計とポンプを用い、操作は無菌条件下で行った．採取後のフィルターは下山までは氷冷し、その後は-20℃のフリーザーに保存した．

微生物の菌密度はDAPIによる蛍光染色を行った後に、蛍光顕微鏡を用いて計数した．また、遺伝子解析のためにはフィルターから全DNAを抽出し、その後細菌の特定の遺伝子を増幅するために16S rRNA遺伝子に特異的なプライマーを用いてPCR反応を行なった．増幅されたDNAは、変性剤濃度勾配下で電気泳動を行いことで塩基配列の差に基づき分離を行なった(PCR−DGGE 法)．得られたそれぞれのDNAバンドはゲルから切り出し、抽出を行なった後にその塩基配列を決定し、さらにデーターベースとの比較により系統解析を行った．富士山では2009年7月26日〜8月26日、立山では8月13日、10月13~15日にバイオエアロゾルの採取を実施した．

5−3）結果

農工大農場で採取した試料の菌密度は10^6 cells/m^3のオーダーであったのに対し、富士山では10^4~10^5 cells/m^3であり、より低い菌密度を示した(図 9)．2008 年の山頂での測定では、太郎坊に比較して生物由来以外のダストとみられる微粒子が多数確認されている．本年度の試料においても昨年同様の微粒子が多数含まれており、これが計数値に含まれていた可能性が考えられる．立山のデーターは高めの計数値が得られたが、これは大陸からの移送によるものかもしれないが、現時点でははっきりしたことは不明である．今後、ローカルと長距離の輸送の区別も含めた検討が必要である．遺伝子解析によるバイオエアロゾルの細菌については、農工大の試料についての解析が終了し、複数の DNA バンドが確認された．今後これらの系統解析を進めると共に他の試料についてもPCR-DGGEを行う予定である．

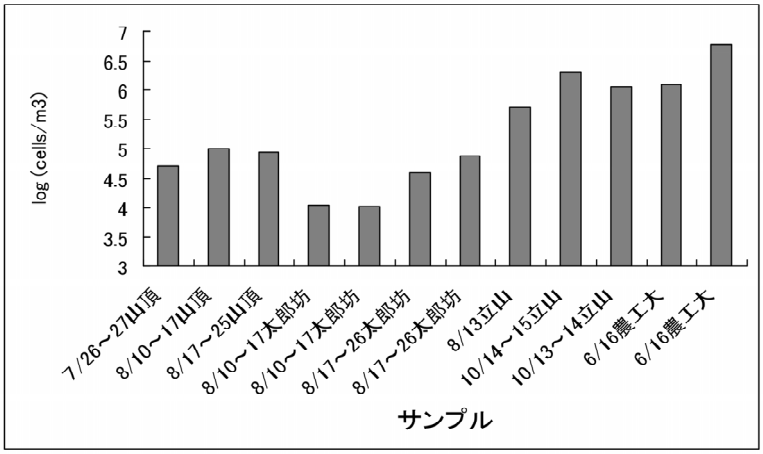


図9 バイオエアロゾル中の微生物の菌密度

謝辞　本研究の一部は郵便事業株式会社平成21年度年賀寄附金配分事業により行われた．

*連絡先：大河内博(Hiroshi OKOCHI)

富士山頂におけるエアロゾル粒子の総重量、成分、光学特性変化に関する研究

竹谷文一[1]、金谷有剛[1], 兼保直樹[2]
1: 独立行政法人 海洋研究開発機構, 2: 独立行政法人 産業技術総合研究所

1. はじめに

大気中を浮遊している直径2.5μm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、成分は気象、発生源、輸送が大きな影響を及ぼしており、その要因を探るためには、濃度、成分の経時変化を測定することが必要不可欠である。富士山頂は自由対流圏にあたり、自由対流圏におけるこれらの情報が少ないため、モデル計算による精度がよくない。過去に周辺で行われた航空機観測では、観測値がモデル計算値よりも一桁高いことが報告されているが、その原因は未解明である。また、エアロゾル成分は有機物、無機物など様々であり、特に有機物の中でも、すすなどは光吸収性が高いことや、無機物では透明なため散乱のみに影響を及ぼしていることなど、成分により異なる特性を示すことが知られており、それらの効果を定量的に評価することは、エアロゾルによる気候影響評価につながると考えられる。本課題では、富士山頂において、PM2.5エアロゾル粒子総重量濃度、エアロゾル成分濃度を測定し、総重量濃度レベルと支配成分を明らかにすると同時に、エアロゾル粒子の光散乱強度(光学特性)を測定し、前述のPM2.5エアロゾル粒子総重量濃度、成分濃度と比較を行った。

2. 測定

富士山測候所(標高3776m), において, 2009年7月13－8月26日の期間に観測を行った。

A. PM2.5エアロゾル粒子の総重量測定
ネフェロメトリーとベータ線吸収を組み合わせた装置を利用して測定。毎時一時間にデータを取得。湿度に対する影響を小さくするため、測定部に導入前に粒子をヒーターにより乾燥。

B. ハイボリュームエアサンプラーを利用して、エアロゾル粒子の採取
昼/夜の粒子の違いをみるために装置二台をそれぞれ0:00-6:00,10:00-19:00に起動するようにタイマーセットし、一枚のフィルターに設定時間内の粒子だけを採取。採取したフィルターを実験室に持ち帰り、水溶成分(NH_4^+,Na^+,K^+,Ca^{2+},Mg^{2+}, SO_4^{2-},NO_3^-,Cl^-,F^-)、金属成分(Fe,Cu,Al,Ti,Mg,Ca)および有機炭素、元素状炭素の含有量を測定。

C. 散乱係数測定
積分型ネフェロメーターを用いて測定を行った。毎時一時間にデータを取得。

3. 結果および考察

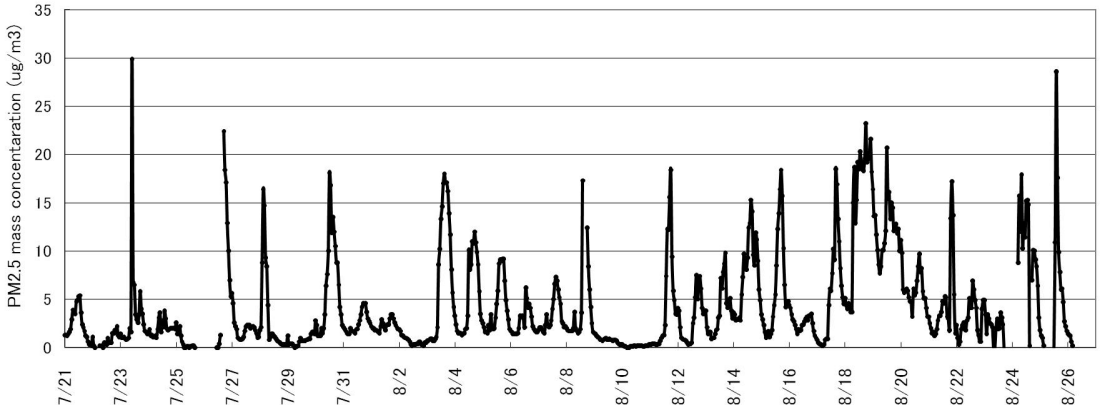


図1:2009夏エアロゾル粒子総重量計による濃度変動

図1に今夏のPM2.5エアロゾル粒子の総重量濃度の時間変化を示す。昨年と同様に日変化が観測され、特に、8/18-8/21で、夜間においても高濃度のエアロゾル粒子を観測した。同時に測定した散乱係数(ネフェロメーター)においても、同様の変動を示していた。測定した散乱係数とエアロゾル粒子総重量との比較から、今夏の富士山頂における質量散乱断面積を2.5m^2/gと見積もった。

ハイボリュームエアサンプラーを用いてフィルター上に採取したエアロゾル粒子の成分分析の結果、水溶性イオンにおいて、SO_4^{2-}, NH_4^+が主要な成分であることが分かった。また、イオンバランス(図2)の解析から、期間中の粒子は弱酸性にあることが示唆された。図3にサンプリングした粒子における有機・元素状炭素を測定した結果を示す。期間全体を通して、元素状炭素は全炭素に占める割合が10%程度であることが分かった。このことから粒子全体の成分構成は、7/21-8/3の昼夜ともに有機炭素が全体の50%程度占めてしることが明らかとなった。

一方、期間後半においては昼(10:00 -19:00)のデータに関しては、鉄やアルミニウムなどの金属成分が主要成分であった。図4にカリウムイオン濃度に対する有機炭素濃度のプロットを示す。この結果、よい相関を示していることが明らかとなり、有機炭素がバイオマスバーニング由来の物質あることが示唆された。また、総重量計とフィルターサンプルで分析した成分の総和の比較を行い支配成分、未知成分の寄与などマスクロージャーに関する知見を得た。

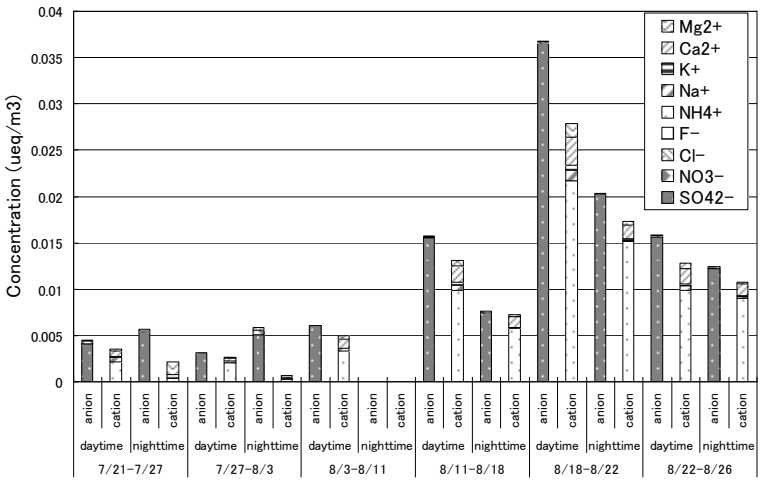


図 2:フィルターサンプリングにおける水溶性成分の濃度変動

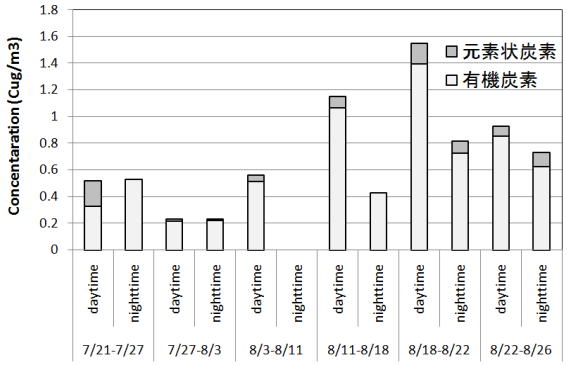


図 3:フィルターサンプリング中における有機・元素状炭素の濃度変動

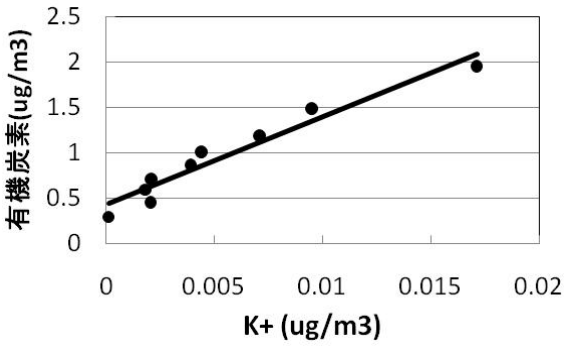


図 4:有機炭素濃度とカリウムイオン濃度の相関関係

参考文献

C. L. Heald, D. J. Jacob, R. J. Park, L. M. Russell, B. J. Huebert, J. H. Seinfeld, H. Liao, and R. J. Weber, A large organic aerosol source in the free troposphere missing from current models
Geophys. Res. Lett., 32, 18, doi:10.1029/2005GL023831, 2005

I. Suzuki, K. Hayashi, Y. Igarashi, H. Takahashi, Y. Sawa, N. Ogura, T. Akagi, Y. Dokiya, Seasonal variation of water-soluble ion species in the atmospheric aerosols at the summit of Mt. Fuji, Atmos. Environ.., 42, 8027-8035, 2008

*連絡先：竹谷文一(Fumikazu Taketani)

富士山頂における有機エアロゾルの組成に関する研究

藤原真太郎[1,2]、河村公隆[2]、宮崎雄三[2]
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

1. はじめに

大気中に浮遊するエアロゾルは、人間活動や森林、海洋表層等様々なソースから放出され、気候に影響を与えることが指摘されている。特に水溶性有機エアロゾルは高い吸湿特性から雲凝結核(CCN)活性を大きく左右すると考えられており、大気中での分布、生成・分解過程の解明が必要とされている。既存の研究によって、シュウ酸(Oxalic acid)をはじめとする低分子ジカルボン酸類は、大気中での存在量が多い化合物群の一つであることが明らかにされている(Sempéré and Kawamura, 1994)が、詳細な生成過程は依然として不明な点が多い。また、汚染源近傍の影響を受けずに長距離輸送された気塊を捉えることで、実大気中でのエアロゾル変質に関する議論を行う事が可能であるが、そのような研究例は稀である。

本研究の目的は、自由対流圏内に位置する富士山頂において光化学活性の高い夏季に、有機エアロゾルを捕集し、カルボン酸類を始めとする水溶性有機化合物の分析を行うことで、東アジア・北太平洋域の有機エアロゾルの分布に新しい知見を加えるとともに、有機エアロゾルの大気中での変質に関する議論を行う事である。

2. 方法

有機エアロゾル試料は富士山測候所(3776.m.s.l)において、2009 年 7 月 14 日から 8 月 26 日の夏季観測期間中に補集した。粒子の捕集にはハイボリュームエアサンプラーと石英フィルターを用い、フィールドブランクを含めて合計 15 試料を得た。尚、観測期間前半(7/14～8/13)には日中の山風の影響を避けるために夜間のみ、後半(8/13～8/26)は終日サンプリングを実施した。フィルターのサンプリング時間は 2-5 日間であった。ジカルボン酸類の同定・定量は、フィルター試料からミリ Q 水を用いて水溶性成分を水抽出した後、カルボキシル基をブチルエステルに誘導体化し、ガスクロマトグラフ(GC)を用いて行った。本要旨では観測期間後半に得られたフィルター(MF012-MF015)から検出された低分子ジカルボン酸類の分析結果についてのみ記載するが、発表時には前半の分析結果や、検出された他の化合物類についても発表し、考察を行う予定である。

3. 結果と考察

Table 1 と Figure 1 に 8 月 13 日から 8 月 26 日にかけて捕集したエアロゾル(MF012-MF015)中の低分子ジカルボン酸(C2-C12)の濃度・組成と経時変化を示す。これより、山頂に到達した空気塊に含まれる化合物の濃度や組成が大きく変動していることが読み取れる。後方流跡線解析を実施した結果、観測期間後半では、アジア大陸由来の気塊、特に山頂よりも高い高度の自由対流圏から降下したと考えられる気塊が卓越していたことが示唆された。

Narukawa et al. (2003) によるとオーストラリアから日本上空の自由対流圏内(高度 4000m 以上)でのシュウ酸濃度は 0.1-14.3 ng/m^{3}の範囲で変動しており、今回の結果に比べて極めて低い。一方、Kawamura et al. (2003) によって東アジア上空で実施された航空機観測では、高度 7000m までの空間においてシュウ酸濃度は 26.1-656 ng/m^{3}の範囲で変動しており、これらはアジア大陸表面から排出された汚染物質の強い影響と大気中での光化学的生成の影響を受けていると考察されている。そのため、今回富士山頂において観測された気塊も、大陸起源の汚染物質の影響を強く受けている事が示唆される。特に、MF012 試料でジカルボン酸濃度が最も高く、シュウ酸(C2)に次いで、コハク酸(C4)の濃度が高いことが分かる(Figure 1)。エアロゾルの一次、二次生成の指標であるマロン酸(C3)とコハク酸(C4)の濃度比(C3/C4)は、MF012 試料では他の 3 試料と比較して低く(MF012: 0.42, MF013-015: 1.1-1.9)、自動車の排気ガス等一次生成物質の影響を強く受けている事が考えられる。後方流跡線解析の結果、MF012 のサンプリング期

間中には、南シナ海、中国南東沿岸部、日本列島上空を通過した気塊が山頂に到達しており、この濃度と組成を支持しているといえる。また、C2 から C12 までの低分子ジカルボン酸に占める各ジカルボン酸の存在割合を計算したものを Table 1 に併せて示した。富士山で観測されたエアロゾル中には長鎖のジカルボン酸の割合が少なく、外洋エアロゾルの組成により近い事が明らかとなった。このことから、山頂に輸送されたエアロゾルは光化学的変質を強く受けている事が示唆される。しかし、MF012 ではシュウ酸の存在割合が他の 3 試料に比べて低い事から、光化学的変質をそれほど受けていない気塊、すなわち、近傍の排出源からの谷風による輸送の影響が強かった可能性も考えられる。発表では、他の化合物の濃度や、観測期間前半の試料の分析結果からより詳細な議論を行う予定である。

Table 1. 低分子ジカルボン酸濃度と存在割合

	MF012 (8/13-15)		MF013 (8/15-18)		MF014 (8/18-21)		MF015 (8/21-26)	
	濃度[ng/m^3]	存在割合[%]	濃度[ng/m^3]	存在割合[%]	濃度[ng/m^3]	存在割合[%]	濃度[ng/m^3]	存在割合[%]
C2	169	45	104	61	206	61	163	61
C3	58	15	33	19	61	18	63	24
C4	137	36	24	14	57	17	33	12
C5	7.1	1.9	3.6	2.1	7.1	2.1	4.7	1.8
C6	3.1	0.83	2.2	1.3	4.0	1.2	2.5	0.92
C7	0.51	0.14	0.76	0.45	0.59	0.18	0.73	0.27
C8	0.16	0.04	0.64	0.38	0.35	0.10	0.16	0.06
C9	1.03	0.27	0.77	0.46	1.05	0.31	0.35	0.13
C10	0.12	0.03	0.38	0.22	0.05	0.02	0.05	0.02
C11	0.09	0.02	0.07	0.04	0.17	0.05	BDL	BDL
C12	BDL	BDL	BDL	BDL	0.13	0.04	0.02	0.01
小計	376	100	169	100	338	100	267	100
フタル酸(Ph)	5.1	–	4.2	–	8.7	–	5.8	–
グリオキザール酸(C2 ω)	15	–	13	–	16	–	10	–
グリオキザール(Gly)	1.9	–	2.8	–	2.9	–	3.4	–

C2–C12 濃度に対してラボブランクは 5%以下. Ph, C2 ω, Gly に対しては 20%以下.
BDL:below detection limit (0.01 ng/m^{3}以下). 各化合物はラボブランクについて補正.

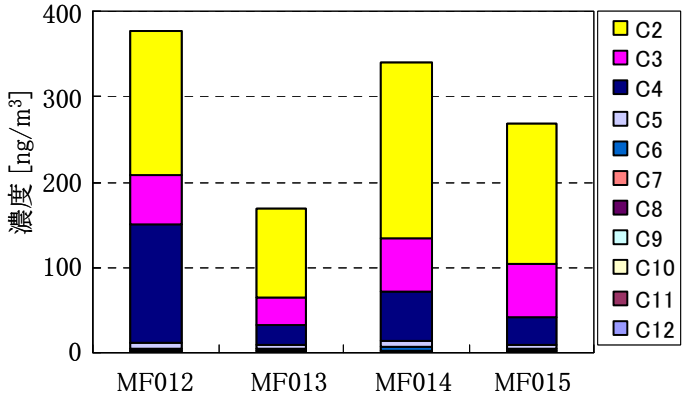


Figure 1. 低分子ジカルボン酸の濃度変化

参考文献

Kawamura, K., Umemoto, N., Mochida, M., Bertram, T., Howell, S., and Huebert, B. J.(2003) Water-soluble dicarboxylic acids in the tropospheric aerosols collected over east Asia and western North Pacific by ACE-Asia C-130 aircraft, *J. Geophys. Res., 108*(D23), 8639, doi:10.1029/2002JD003256.

Narukawa, M., Kawamura, K., Okada, K., Zaizen, Y., and Makino, Y.(2003) Aircraft measurement of dicarboxylic acids in the free tropospheric aerosols over the western to central North Pacific, *Tellus, Ser. B, 55*, 777-786.

Sempéré, R., and Kawamura, K.(1994) Comparative distributions of dicarboxylic acids and related polar compounds in snow, rain and aerosols from urban atmosphere, *Atmos. Environ., 28*, 449-459.

*連絡先 : 藤原真太郎 (Shintaro FUJIWARA)

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. Sellegri[2]、H. Venzac[2]、J. Boulon[2]、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

各種の大気微量成分が気候に与える影響のなかでも、大気エアロゾル（浮遊粒子状物資）が持つ放射強制力は依然として大きな不確定性を含んでいる。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。

特に、高高度において長期的な連続観測から新粒子生成の頻度や空間的な分布について報告した研究例はごく限られている。アジア地域の山岳地域における報告例では(Nishita et al., 2008; Venzac et al., 2008)、主として日中の山岳地域に特徴的な山肌を駆け上がる谷風に伴って超微粒子(D>10nm)の高濃度イベントが観測されており、新粒子生成における自由対流圏と境界層のインターフェースの重要性が指摘されている。一方で、急峻な独立峰である富士山では、谷風条件下に限らず、これまでの事例とは異なった新粒子生成現象が観られる可能性も期待される。

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 10-1000nm)を主体とする超微粒子の観測手法に加え、新たに AIS (Air Ion Spectrometer, Airel Ltd.)によりイオンクラスター(直径 0.5 nm - 2 nm)とナノ粒子(2nm-15nm)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。2009 年 7 月 14 日－8 月 23 日の期間、富士山山頂 (3776m, 35.36N, 138.73E)において、AIS 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

我々の予想に反し、AIS の測定粒径レンジ(0.4-15nm)全域にわたって高濃度のイオンやナノ粒子が継続的に観測される、いわゆるバナナタイプの新粒子生成イベントは5週におよぶ観測期間を通じて一度も観測されなかった。この主な原因としては、他の山岳域で新粒子生成が観測されている晴天や、明瞭な山谷風循環といった条件が、今夏の富士山頂では非常に限定的だったことが挙げられる。

代わりに、まとまった降水があった時間には必ずと言って良いほど水滴の飛散に伴うイオンバースト(Hirsikko et al., 2007)が観測された。特に 8 月 2 日(14:00JST)の例では、高い湿度と降水伴っているにもかかわらず高濃度の超微粒子(D>10nm)が観測されており、その発生メカニズムや降水に起因するイオンバーストとの係わりに興味がもたれる。

今夏の富士山頂の観測では、高濃度の超微粒子(D>10nm)はむしろ夜間(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。

参考文献

Hirsikko A., Bergman T., Laakso L., Dal Maso M., Riipinen L., Hõrrak U., Kulmala M. (2007) Identification and classification of the formation of intermediate ions measured in boreal forest, Atmos. Chem. Phys., 7, 210-210.

Nishita C., Osada K. Kido M., Matsunaga K., Iwasaka Y. (2008) Nucleation mode particles in upslope valley winds at Mount Norikura, Japan: Implications for the vertical extent of new particle formation events in the lower troposphere, J. Geophys. Res., 113, D06202, doi:10.1029/2007JD009302.

Venzac H., Sellegri, K., Laj P., Villani P., Bonasoni P., Marinoni A., Cristofanelli P., Calzolari F., Fuzzi S., Decesari S., Facchini M.C., Vuillermoz E., Verza G.P. (2008) High frequency new particle formation in the Himalayas, PNAS, 105 (41), 15666-15671.

*連絡先：松木篤(Atsushi MATSUKI)

山岳大気中の水銀の動態について

永淵修[1]、横田久里子[2]、川上智規[3]、加賀谷重浩[4]、木下弾[1]、
1. 滋賀県立大学環境科学部、2. 豊橋技術科学大学建設工学系、3. 富山県立大学環境システム工学科、
4. 富山大学大学院理工学研究部

1. はじめに

国連環境計画（UNEP）は2005年に水銀に関するDecision 23/9IVを採択し、各国政府機関ならびにNGO等関連組織に対して環境への水銀放出量と健康リスクの削減を求めた。その要求を受け、2006年には日本を含む6ヶ国が参加して水銀の大気輸送に関する研究分野のGlobal Partnershipが発足した。これは、水銀の越境移動や極地における水銀の沈着、高地における大気中水銀濃度などに関する研究を促すもので、大気中水銀の拡散状況の把握が国際的にも重要な課題であるという認識に立ったものである。実際、石炭燃焼や廃棄物焼却等に伴い大気に放出されたガス状原子水銀（Hg(0)）は，対流圏において海塩エアロゾルとの光化学反応により2価水銀（Hg(II)）まで酸化され，降水に取り込まれたり、あるいは粒子状水銀（Hg(p)）となって地表に沈着することが明らかとなっている。これは極地域の特有現象であると考えられてきたが，近年世界各地で起こっていることが報告されており，2005年の酸性雨国際学会（チェコ）においても中心的課題として取り上げられた。水銀排出源の風下地域では降水中水銀濃度が非汚染地域の100倍にも及ぶ数百ng/Lという値も観測され，野生動物等，生態系への影響が懸念されている。

さらに、2007年にはUNEPにおいて、2020年までに世界の水銀使用量を75％削減するという国際条約作りを開始した。また、UNEPは2009年2月に世界的に深刻化している水銀汚染防止のため、水銀の排出を国際協力で削減する条約の制定を2013年までに目指すことを決定した。このように、水銀の環境中への拡散を抑制する施策が早急に求められている。

このように水銀の環境中への拡散が懸念される中、我が国の水銀に関するモニタリングはほとんど実施されていない。2001年より本格稼動している東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）においても，水銀は分析項目に含まれていない。アメリカでは2005年より水銀モニタリングネットワークが既に稼動しており、96ヶ所での観測が行われているのに対しわが国におけるモニタリング態勢の構築は立ち遅れていると言わざるを得ない。モニタリングの態勢を整えるためには、簡便なサンプリングと分析手法が要求される。降水・大気中水銀計測のための従来法は煩雑な試料採取・前処理や高額な装置を必要とすることから多点観測への適用が難しい。また、降雨中の水銀は保存中に大気に揮散するため沈着量の評価が困難である。

このように、わが国における水銀の沈着量や動態に関してはほとんど解明されておらず、沈着量や、大陸からの移流を評価し将来予測を行うには基礎的なデータが皆無に近い。 演者らは、簡便な大気中の水銀サンプリング法と分析手法を開発し、それらを移流の影響が最も顕れやすい山岳地等（ここでは自由対流圏にの富士山）において実施してきた結果の一部を報告する。

2. 方法

富士山での大気中水銀の調査は、2007 年～2009 年の夏季に継続して行ってきた。サンプリング地点は主に山頂である。

大気中の水銀濃度は、アクティブサンプラーとパッシブサンプラーを用いて行った。アクティブサンプラーは Fig. 1 に示す Kagaya らの方法を用いて測定した。水銀の捕集管吸引口には 25mm φ の石英ろ紙（Pall 2500 QAT-UP）をテフロン製ホルダーに装着し、粒子状水銀を分離した。ガス状水銀の捕集には水銀捕集管（日本インスツルメンツ製M-160）を用いた。これらの形態別の水銀は加熱気化原子吸光光度法により分析した。パッシブサンプラーは、Fig.2 に示す小川式と同じ形状とした。但し、素材は水銀が吸着しないとされるフッ素樹脂を使用した。フッ素樹脂を使うことにより塩化臭素酸溶液による洗浄も可能となる。Fig.2 に示す拡散プレートを通過したガス状水銀は金を蒸着させた捕集用フィルターに吸着する。

水銀サンプラーは、構造物がある場合それから 5m 以上はなして、1.5m 程度の高さにセットし、12 時間

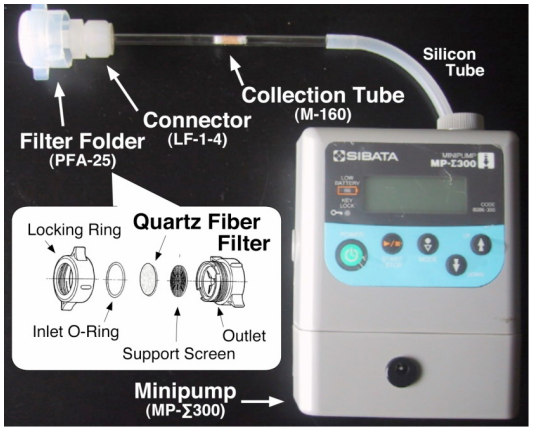


Fig. 1 アクティブサンプラー装置

Fig. 2 パッシブサンプラーの構造、ろ紙と拡散プレート

～72 時間のインターバルでサンプリングを行った。

水銀の観測は主に山頂で行ったが、他の観測としてパッシブサンプラーによるガス状成分は高度毎に温湿度とともに行い、また、カスケードインパクターによる粒子状物質は山頂を含め3地点で行った。

3. 結果と考察

2007 年 8 月 23 日～30 日(インターバルは 2～3 日)、2008 年 8 月 10～18 日(インターバルは 12 時間(7:00～19:00 と 19:00～7:00))、2009 年 8 月 28 日～9 月 2 日(インターバルは 1～2 日)の結果を Fig.3～Fig.5 に示す。その時のバックトラジェクトリーも Fig.6～Fig.8 に示す。

Fig.5 に示すように 2007 年 8 月下旬の富士山頂では非常に高濃度のガス状水銀と粒子状水銀が観測された。Swartzendruber らは Mt. Bachelor の自由対流圏におけるガス状及び粒子状水銀濃度はそれぞれ 1.54ng/m^3、0.0043ng/m^3と報告している。また、Hans R. Friedli らは、中国、韓国及び日本でそれぞれ、～6.3ng/m^3、～3ng/m^3、～3ng/m^3と報告している。この 2007 年 8 月下旬のバックトラジェリー(Fig. 10)から 2007 年の 8 月下旬の富士山頂の高濃度は東アジアにおいて何か特定の汚染源があることを示唆している。また、2008 年 8 月の昼夜に分けての観測では

2009 年の観測では、2007 年と同程度の採取時間で行ったが水銀濃度に大きな違いが認められた。この両年の観測時のバックトラジェクトリーを見ると明らかなように 2007 年は大陸から気団が来ており、2009 年の観測時はほとんど小笠原気団であった。これら富士山の結果や屋久島、伊吹山の結果から大陸の気団が入ると高濃度になる確率が高いことがわかってきた。また、実際に大連の都市大気(2009 年 10 月)の水銀濃度は日本の都市大気の水銀濃度と比較してかなり高い濃度であった。

演者らのグループは、従来ほとんど測定されてなかった大気中の粒子状水銀(Hg(p))及びガス状水銀(Hg(0))、並びに降雨中の水銀についてその測定法を開発してきた。これらの手法を用いて富士山での大気中の水銀濃度を測定してきた結果が上記に示したものである。Fig.3～Fig.5 見てもらうと前記した 2007 年 8 月の富士山頂で認められた非常に高濃度の時もあれば、一般大気のバックグラウンドレベルの時もある。しかし、この程度のモニタリングでも大気中水銀濃度の高低に傾向がみえる。すなわち、高濃度の時は、ほとんど北からの気団であり、小笠原気団の時は大体バックグラウンドレベルである(Fig.8)。2007 年夏の富士山頂でこのような高濃度が観測されたが、この時はサルフェートの濃度も上昇し、粒子中には石炭燃焼に由来する粒子も多く含まれていた。夏季であっても条件させ整えば大陸から汚染物質が輸送されることが明らかになった。

我々は、大気中水銀のモニタリングと同時に O_3、SO_2 等のガス状成分及びカスケードインパクターによる PM も採取しており、それらの結果を含めた解析結果は別の機会に公表する。

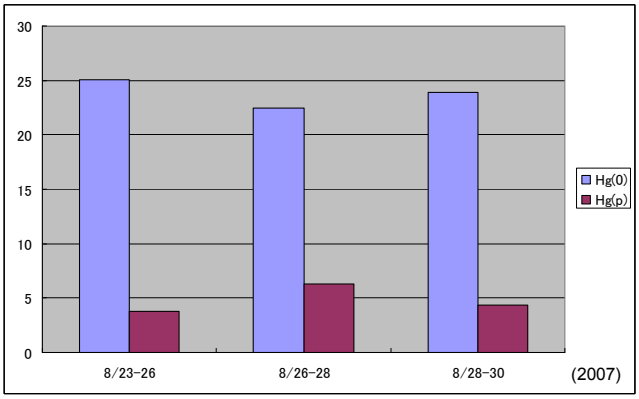


Fig. 3　2007 年 8 月富士山頂水銀濃度

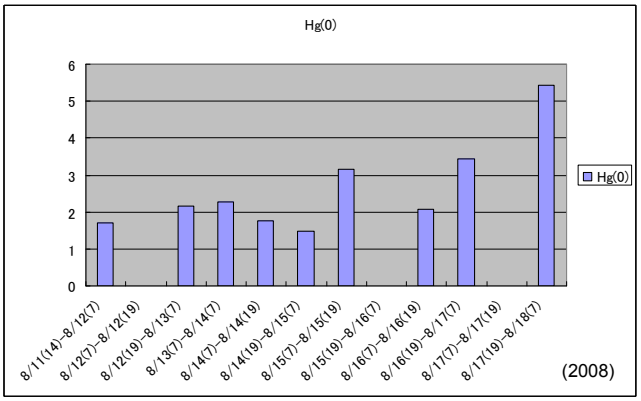


Fig. 4　2008 年 8 月富士山頂水銀濃度

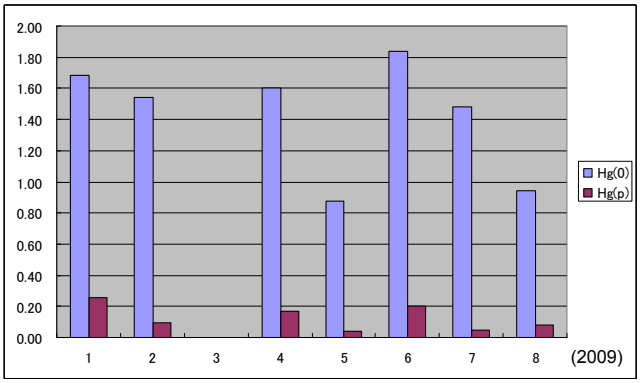


Fig. 5　2009 年 8、9 月富士山頂水銀濃度

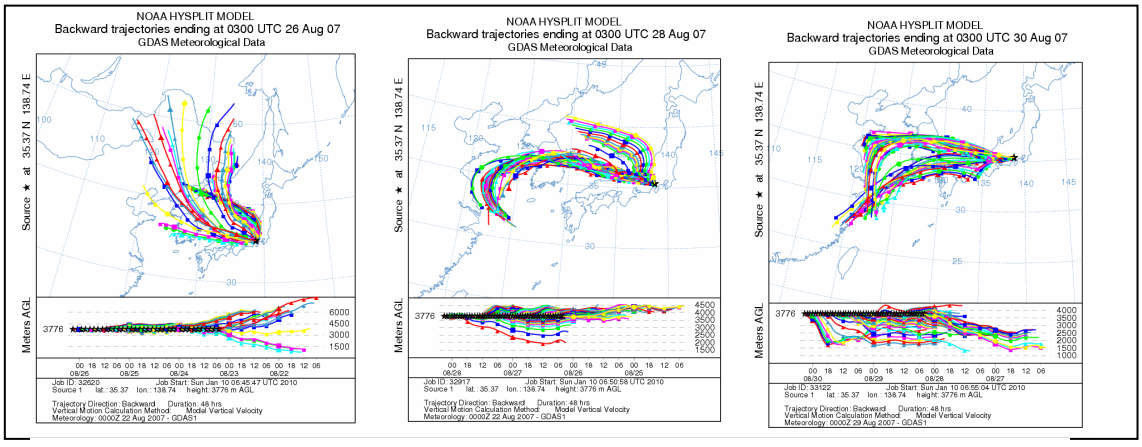


Fig. 6　2007 年 8 月富士山頂バックトラジェクトリー

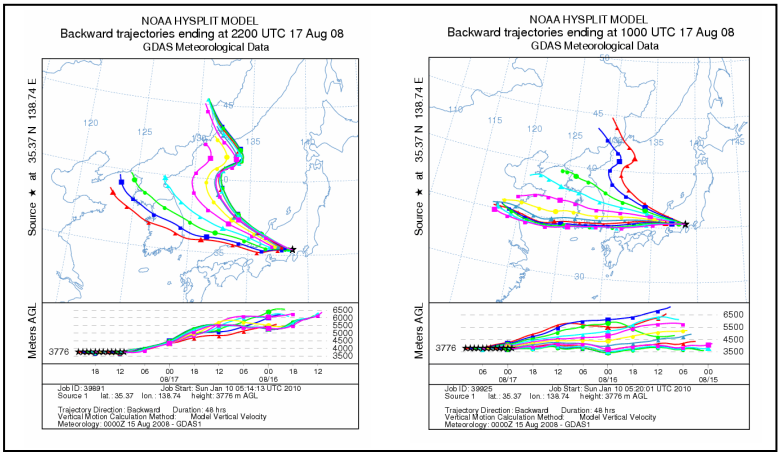


Fig. 7　2008 年 8 月 18 日富士山頂バックトラジェクトリー

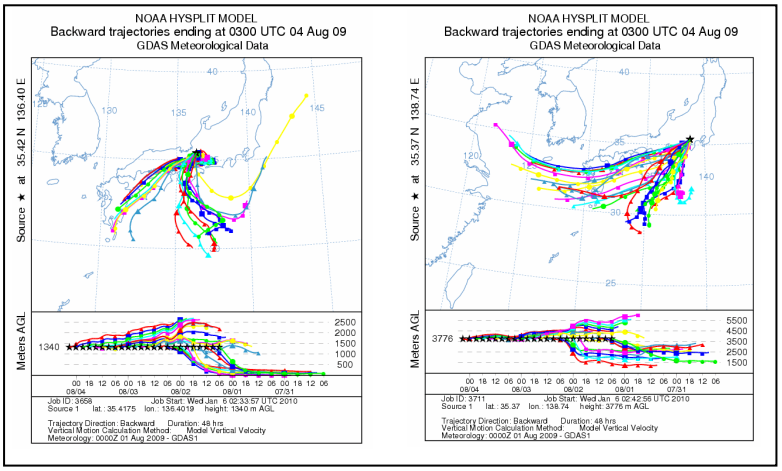


Fig. 8　2009 年 8 月 4 日富士山頂と伊吹山頂バックトラジェクトリー

参考文献

1)　Kagaya, S. *et al.* J.Ecotechnology Research(2007)

2)　P. C. Swartzendruber *et al.* J. Geophysical Research(2006)

3)　Hans R. Friedli *et al.* J. Geophysical Research(2004)

*連絡先:永淵修(Osamu NAGAFUCHI)

富士山頂での夏季のオゾン・一酸化炭素の特性

加藤俊吾[1]、Helena Akhter Sikder[1]、Jeeranut Suthawaree[1]、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(3776m)は自由対流圏に位置しているため、比較的近傍の汚染の影響をあまり受けない。そのため、日本国内ではなく、他の地域から放出された汚染大気の長距離輸送の影響を観測するのに適していると考えられる。また、東アジア地域における日本付近の清浄地域での典型的な大気汚染物質濃度を測定できると考えられる。このようなメリットがあるため、2007 年の夏季にはオゾン(O_3)、2008 年および2009年の夏季にはO_3と一酸化炭素(CO)の測定装置を富士山頂に設置し、大気の連続観測を行なった。

一酸化炭素は化石燃料やバイオマス燃料の燃焼の際に生じ、大気中での寿命が数カ月程度と比較的長い。そのため、一酸化炭素濃度をモニタリングすることにより、測定された大気が人為活動および自然現象により発生した汚染大気の影響をどの程度うけているかの指標となる。一方、地表に近い対流圏でのオゾンは高濃度になると人体に影響を及ぼすため、都市域ではオゾンが高濃度となる夏季などに光化学オキシダント注意報などが発令されることがある。また、近年では都市域から離れた清浄な地域においてもオゾン濃度が上昇する傾向がみられており、植物(食料生産)への影響が懸念されている。さらに対流圏オゾンは地球温暖化物質であり、その濃度上昇傾向は地球温暖化への寄与という点でも注目されている。オゾンは直接発生源から放出されるものではなく、大気汚染の発生源から放出された窒素酸化物などが大気中で光化学反応を起こすことで生成する。生成されたオゾンは大気中での寿命が比較的長いため、大気汚染物質の発生源である都市域から離れた清浄な地域でも高濃度となることがあり、清浄地域でのオゾンなどのモニタリングは重要である。

2. 方法

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) にて行なった。

また、富士山頂で測定される一酸化炭素およびオゾンの濃度の特徴を知るために、他の地点(沖縄、小笠原、八王子)で行なっている測定と比較をした。沖縄は南の離島であるが、人為活動が活発な中国沿岸部に比較的近く、その影響を受けやすい地点である。小笠原は太平洋上に位置しているため、海洋性の清浄な大気を測定できると考えられる。八王子は東京郊外での人為活動を大きく受けた地点であり、清浄な地域との対比をするのに役に立つ。

3. 結果と考察

図1に 2009 年の測定結果を示す。一部悪天候による測器の不具合でデータ欠損がある。一酸化炭素およびオゾンの濃度はおおよそ同様な変動をしており、汚染大気が輸送されているときは両者とも高濃度となり、清浄な大気の時は両者とも低濃度となる傾向があることが分かる。2009 年夏では前半は前線が停滞するような状況で天候が悪く、後半は高濃度となる日が多かった。2008 年の結果では昨年の報告会で説明を行なったように、オゾンだけが高濃度となり一酸化炭素は低濃度である期間がみられ、大気上層の成層圏からの影響が明確に見られた。2009 年はそのような状況が顕著に見られる期間はなく、年によって状況が異なることが分かった。

図2には2007-2009年のオゾンおよび一酸化炭素の3年間の測定を比較したプロットを示す。オゾンは濃度変動が大きいが、これは3年とも見られており、富士山頂のようなリモート地点でも大きなオゾン濃度変動が例年起こっていることが分かる。一酸化炭素についても濃度変動は大気の輸送状況によって例年

大きく変動することが分かる。しかし、両者ともおおよそ平均的な濃度は一致していることが分かる。

2008 年の富士山頂、沖縄、小笠原、八王子での一酸化炭素およびオゾン濃度を比較した。一酸化炭素では汚染大気物質の指標であり、都市郊外である八王子で当然顕著に高濃度となっている。一方、富士山頂、沖縄、小笠原ではおおよそ同程度の濃度レベルとなっている。濃度変動は3地点で一致していることは少ないが、2地点で一致している場合が見られ、広範囲での汚染大気の汚染大気輸送イベントを捉えていると考えられる。一方、オゾン濃度を比較したところ、八王子での濃度変動が特に異なっていることが目に付くが、都市域ではオゾンの生成・消失反応があるため日変動が大きいことによる。都市郊外域での日中の高濃度と同等の濃度が富士山頂で観測されている日もあり、清浄な地点でもオゾン濃度が高いことが分かる。また、富士山頂と沖縄、小笠原を比較すると、オゾンは富士山超で顕著に高いことが分かる。また、それぞれの地点での濃度変動が一致している期間があまり見られず、一酸化炭素の場合とは大きく異なった特性を持つことが分かる。

このように富士山頂での大気測定結果は特徴的であり、長距離の汚染大気輸送やオゾン濃度の変動についての重要な知見を与えることが分かる。

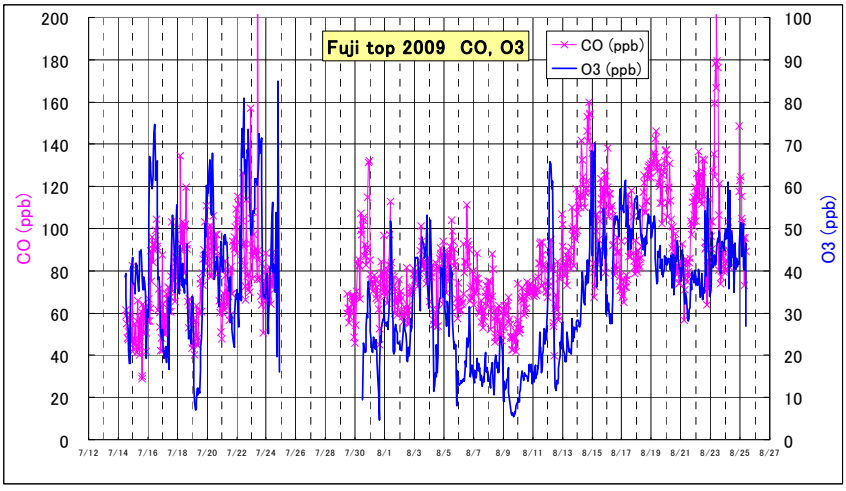


図1 2009 年の富士山頂での一酸化炭素およびオゾン濃度の測定結果

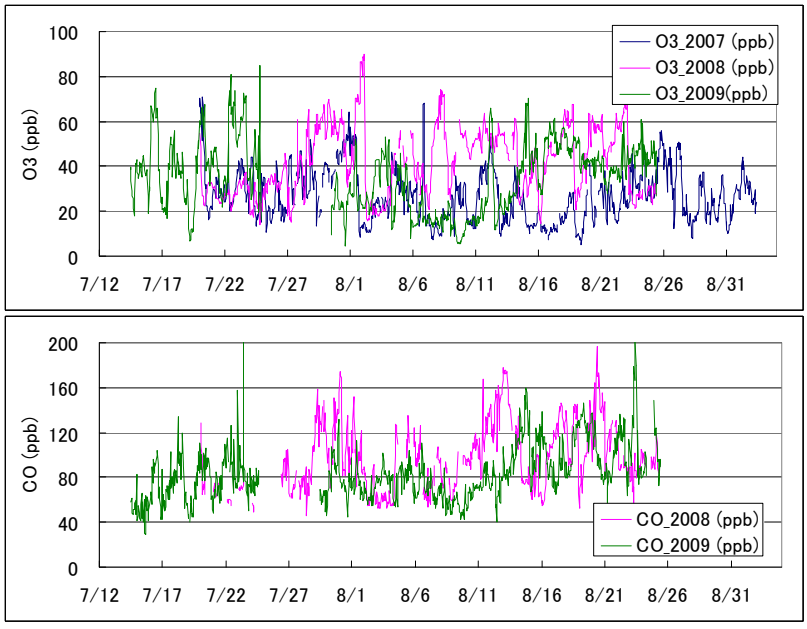


図2 2007-2009 年の富士山頂でのオゾンおよび一酸化炭素の濃度変動比較

*連絡先：加藤俊吾(Shungo KATO)

富士山頂における CO2 連続測定－無人越冬観測の開始

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

1. はじめに

地球温暖化が観測され、温暖化による地球環境への影響に関する研究が世界中でさかんに行われるようになった。気候変動により引き起こされるだろうと予測される事象の深刻さが様々な分野で示唆され、世界的に取り組むべき重要問題として取り上げられ多くの関心を集めている。

ここでは、温暖化研究の基礎となる大気濃度観測により二酸化炭素濃度の変動を捉え、世界規模、そして地域規模での炭素循環を把握することを目的とした研究の一環として、日本列島の中央に位置し、自由対流圏に突き出た富士山頂にて二酸化炭素の長期観測を行うことで、日本上空、そしてアジア域の二酸化炭素濃度の変動と炭素循環を捉えることに取り組んでいる。

2. 方法

独立行政法人国立環境研究所(以下 NIES)が 2007 年から開発、実験を行っている、富士山型小型二酸化炭素濃度自動測定器(富士山型 CO_2計)を用いて、富士山特別地域気象観測所（標高 3776m）において 7 月 8 月に集中観測を行った。また、8 月後半の観測所閉所直前からは無人観測に移行し通年観測を開始した。開所期間中は 1 日 4 回、閉所後は 1 日 1 回の定時観測を行い、そのデータは衛星通信（ORBCOMM）を介してつくばの NIES に毎日メールで送信される仕組みである。夏期集中観測時にはガラスボトルによる大気採取も行い、装置によるデータと比較した。また、その他の温室効果ガス CH_4や CO などについても分析した。

富士山型 CO_2計は独立電源型の測定器であるため、通年観測に必要とされる電力：シール型鉛蓄電池（42Ah）100 個を山頂に運び入れ、夏期観測中から使用を開始した。また、冬季の山頂は最低気温マイナス 30 度以下であり、暖房がなく閉所された無人の測候所内の温度も非常に低下するため、装置を低温から保護し、安定した測定精度を維持するために、装置内外に昇温、保温対策を施した。

写真1. 断熱処理を施された装置とシステム、100 個のシール型鉛蓄電池

3. 結果と考察

夏期観測中の富士山頂大気二酸化炭素の平均濃度は約 385.3ppm であり、昨年同様に行った観測で得られた夏期の山頂濃度平均約 382.4ppm から上昇していることがわかった。昨年の富士山頂濃度は、NIES の地上観測ステーション落石 St.(北海道)、波照間 St.(沖縄)で観測される濃度の中間を示す現象が見られ、富士山頂付近では日本北部と南部の空気塊が良く混ざった空気を捉えているという結果であった。しかし、今年は、波照間 St.の濃度に沿って変動することが多く、落石 St.付近の濃度に似た変動や、その両者の中間を推移することは少なかった。7 月 8 月を通して、日本の南海上の太平洋高気圧のせり出しなどによる、南よりの空気塊が日本に流れ込み易かったことを反映した結果であると言える。

8 月後半以降開始された無人観測は、本日に至るまで支障なく継続しており、毎日山頂で計測された CO_2 濃度がつくばの NIES に届けられている。山頂の濃度は、夏期観測期間に引き続き、波照間 St.の濃度変動とほぼ同様に変化している。太平洋高気圧から移動性高気圧の影響下に変わったとき、富士山頂ではその変化を捉えており、冬期にかけて CO_2 濃度が上昇するという季節変動も捉えていることが分かった。 以上のことから、山頂での年間を通しての濃度の振幅の大きさ、冬型の気圧配置が台頭してきた時の濃度変化、長期的に見た富士山頂の濃度変動の特徴、そして空気塊の飛来元よる濃度の違いをどの程度反映するのか、など多くの点に焦点を当てて今後注目していきたい。

*連絡先：須永温子 (Sunaga ATSUKO)

日本の自然環境保全のための富士山頂を利用した越境酸性雨観測事業
（郵便事業株式会社平成 21 年度年賀寄附金配分事業）

大河内博[1]、土器屋由紀子[2]、畠山史郎[3]
1.早稲田大学理工学術院、2.NPO 法人富士山測候所を活用する会、3.東京農工大学農学部

1. はじめに

我が国は地理的には偏西風の風下に位置することから，アジア諸国の経済・産業の発展に伴って大気中に排出される様々な汚染物質の長距離輸送により，我が国の自然環境に対する影響が懸念される(図 1). 現在，アジア大陸から放出された大気汚染物質の影響として，我が国では春先を中心に九州から西日本を中心とした広範囲で光化学スモッグ注意報発令日数の増加，米国でもオゾン濃度の増加が報告されている. 自由対流圏では年間を通じて偏西風が卓越していることから，我が国の自然環境を越境大気汚染から守るためには自由対流圏大気化学の常時監視が急務の課題である.

富士山頂は自由対流圏高度に位置しており，また，独立峰であることから 4000 m 級の観測タワーと見なすことができる. そこで，本研究事業では，このような富士山体の特徴を生かし，とくに酸性物質に着目して雨水，霧水，水溶性ガスおよびエアロゾルの観測を行い，日本上空におけるバックグランド大気濃度，夏季日中の斜面上昇流に伴って流入する汚染気塊(国内汚染)および越境汚染によるバックグランド大気汚染の特徴を明らかにすることを目的に行った.

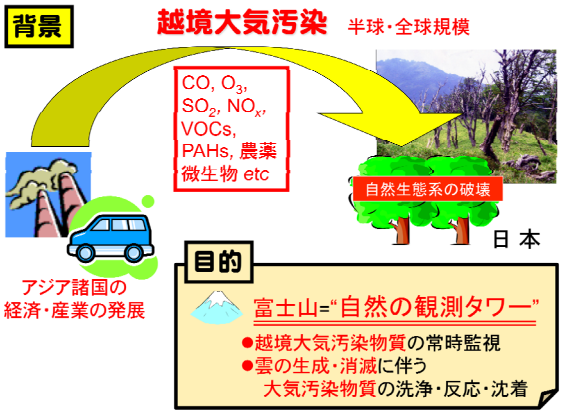


図1 本研究事業の背景と目的

2. 観測期間・観測地点・観測項目

観測期間は 2008 年 7 月 19 日～8 月 25 日であり，7 月 23 日～30 日までは泊まり込んでの集中観測を行った. 観測地点は，富士山頂(富士山測候所，3776 m)と富士山南東麓(太郎坊，1300 m)である. 観測項目はエアロゾル水溶性主要無機成分，酸性ガス(二酸化硫黄，硝酸，塩化水素)およびアンモニア，雲水および雨水中主要無機成分である. エアロゾルおよびガス成分の捕集には4段フィルター法，富士山頂における雲水の採取には受動型霧水採取器，富士山南東麓における雲水の採取には強制通風型自動霧水採取機を用いた.

3. 観測結果

2009 年は梅雨明けが遅かったため，集中観測期間中は天候不順の日が多く，過去 3 年間に山頂で採取できた雲水試料の合計よりも多い 54 試料(7 月に 44 試料，8月に 10 試料)が採取できた. また，雨水は 9 試料(7 月に 6 試料，8月に 3 試料)採取できた.

7 月集中観測期間中の富士山頂における雲水 pH は 4.04 ～ 5.61(平均:4.71)，同時期に南東麓で採取された雲水 pH は 3.85～ 5.85(平均:4.12)であり，富士山頂では雲水の pH 範囲が狭く，南東麓の雲水に比べて酸性度が低かった. また，集中期間中の富士山頂における雲水内総無機イオン濃度は 82.6 μeq/L，南東麓における雲水内総無機イオン濃度は 816 μeq/L であり，富士山頂の雲水は南東麓の雲水に比べて約 1/10 程度ときわめて低濃度であることが分かった.

雲水の主要な酸性物質である硝酸イオン濃度と非海塩性硫酸イオン濃度の比(NO_3^-/nss SO_4^{2-}比)は富士山頂で 0.24 ～ 1.98(平均:0.66)，南東麓で 0.28 ～ 2.42(平均:1.51)であり，富士山頂では硝酸イオンの存在割合が小さかった. 一方，7月集中観測期間中の山頂における HNO_3 濃度は 0 ～ 0.09 ppbv (平均:0.02 ppbv)，SO_2 濃度は 0.06 ～ 0.33 ppbv(平均:0.19 ppbv)であり，南東麓における HNO_3 濃度は 0 ～ 0.14 ppbv(平均:0.03 ppbv)，SO_2 濃度は 0 ～ 0.38 ppbv(平均:0.14 ppbv)であった. HNO_3 濃度

は富士山頂と南東麓でほぼ同じか，富士山頂で低濃度の傾向にあるが，SO_2濃度は富士山頂で高濃度となる傾向が見られた．このことを反映して，富士山頂の雲水では南東麓の雲水に比べてNO_3^-/nss SO_4^{2-}比が低く，酸性度が低かった可能性がある．7月集中観測期間中，富士山頂はほとんど雲に覆われていたが，比較的水溶が高いSO_2濃度が南東麓に比べて富士山頂で高いことから，SO_2を比較的高濃度に含む空気塊が富士山頂に輸送されていることを示唆している．

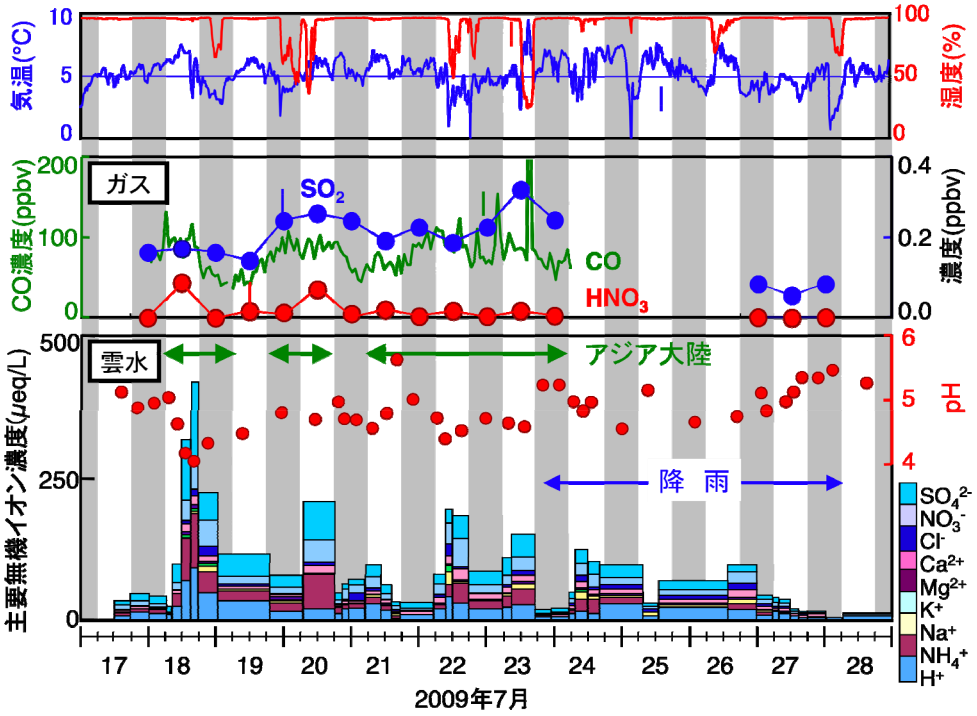


図2　2009年7月下旬の富士山頂における雲水内化学成分濃度，微量ガスおよび温湿度の経時変化

図2には，2009年7月下旬に行った集中観測期間中の霧水内主要成分濃度の経時変化を，酸性ガス(二酸化硫黄，硝酸)，燃焼起源の指標となる一酸化炭素(CO)濃度，温湿度とともに示す．この期間の後半にある程度まとまった降雨が観測されたが，観測期間を通じて富士山頂は雲に覆われており，強風日が多かった．図2をみると，汚染気塊の指標となる一酸化炭素(CO)濃度が高くなるときに二酸化硫黄（SO_2）濃度も増加し，霧水内化学成分濃度も高くなることが分かる．後方流跡線解析とラドン濃度の観測およびシミュレーション結果から，このときの空気塊はアジア大陸方面から運ばれてきていることが分かった．今後，さらにデータを精査して越境汚染の影響について検討していく予定である．

4. おわりに

本研究事業により，自由対流圏高度に位置する富士山頂において，大気中酸性ガスおよびエアロゾルとともに，雲水化学の高精度観測を行うことが出来た．その結果，比較的越境汚染の影響が小さいと考えられる夏季においても，越境汚染と考えられる事象により，大気中SO_2濃度および雲水内化学成分濃度の増加と雲水pHの低下が観測された．今後，これらの成果が日本の自然環境保全のための政策立案に反映されることが期待される．

謝辞　観測に御協力いただいた山梨大学・小林拓先生，石川県立大学・皆巳幸也先生，東京理科大学・三浦和彦先生，永野勝裕先生，東京農工大学・片山葉子先生，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)

2009 年夏季観測について

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

1. はじめに

2009 年夏季観測は 7 月 1 日の開所を目指して、文化庁、環境省の許認可入手を間に合わせ、6 月初旬より御殿場事務所を設置し、山頂班を雇用して準備を開始していた。しかしながら、天候不順と残雪のため、ブルドーザーが上がれず、開所は 7 月 10 日になった。(表 1)

また、7 月中は天候不順続き、山頂の仕事も難航を極め、NPO の医師の指導を受けながら酸素ボンベを用いた高山病処置も行われるなど自然条件の厳しさを痛感した。後半は比較的天候に恵まれ、2つの国際共同研究(日・仏と日・独)を含めて順調に研究活動が行なわれた。

2009 年、富士山は例年になく死亡遭難事故などが相次いで報道されたが、NPO では 2007 年のほぼ2倍の研究活動を無事に支え続けることができたことは、非常に幸運であった。

2009 年夏季観測を振り返えるとともに、来年度以降の展望について述べる。

表1. 設営の経緯

2009 年	6 月 18 日	御殿場基地開設、翌 19 日山頂班着任
	7 月 7 日	放医研・保田チームが無線 LAN の試験に成功
	7 月 10 日	富士山測候所開所
	7 月 13 日	大気化学チーム(JAMSTEC、産総研、北大、金沢大)荷上げ
	7 月 14 日	国立環境研グループがバッテリ 100 個荷上げ
	7 月 17 日～28 日	大河内グループ集中観測を実施 (太郎坊を含む)
	8 月 15 日、16 日	富士山学校科学講座・見学会に 22 名参加
	8 月 30 日	台風 11 号接近のため 1 日早めて閉所

2. 今年度夏季の山頂利用

2009 年の夏期に山頂を利用した活動は 23 グループで、学術科学委員会で審査した研究活動 16 件、登山教育・活用委員会で審査した活用 7 件であった。研究活動のうち 1 件(電通大・長澤純一教授グループ)は台風の影響で、登山直前に中止を余儀なくされた。

なお、2009年の活用で特筆すべき事としては次のようなものがあげられる

① 郵便事業(株)平成21年度年賀寄附金配分事業に採択され、早稲田大学・大河内博グループの「日本の自然環境保全のための富士山を利用した越境酸性雨観測事業」が行なわれた。

② 国立環境研究所・向井人史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始まった。

③ 国際的な共同研究が 2 題行われた(フランスグルノーブル CNRS 大・P.Laj: 金沢大・松木篤グループおよび北大・河村公隆:ドイツ・ライプチッヒ対流圏研究所・J. Heintzenberg グループ)。

④ 環境省、文化庁の許可を入手してハイボリウムエアサンプラーの屋外設置(JAMSTEC・金谷有剛グループ, 産総研・兼保直樹グループ、北大・河村公隆グループ)による研究が行われた。

⑤ 放射線医学総合研究所・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、インターネット電話などが可能になった。

⑥ 排ガスフリーマイクログリッドシステムの試験を行い、太陽光発電については良好な結果が得られた。

⑦ KDDI による携帯電話アンテナの設置が行われ、庁舎内および山頂周辺エリアで通信不能な地点が大幅に減少し、安心安全管理に寄与した。

3. 過去 3 年間の夏期の測候所利用活動

2007 年以来の測候所利活用は、図 1.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といえよう。

一般公募の研究経費は、各研究グループの負担となるが、それとは別に NPO は、主として(株)電通などの初期の寄付金に加えて、海洋研究開発機構(JAMSTC)との共同研究、国立環境研究所や新技術振興渡辺記念会からの委託研究、郵便事業(株)平成21年度年賀寄附金配分事業、などによって山頂の設営を行いこれらの研究をサポートした。

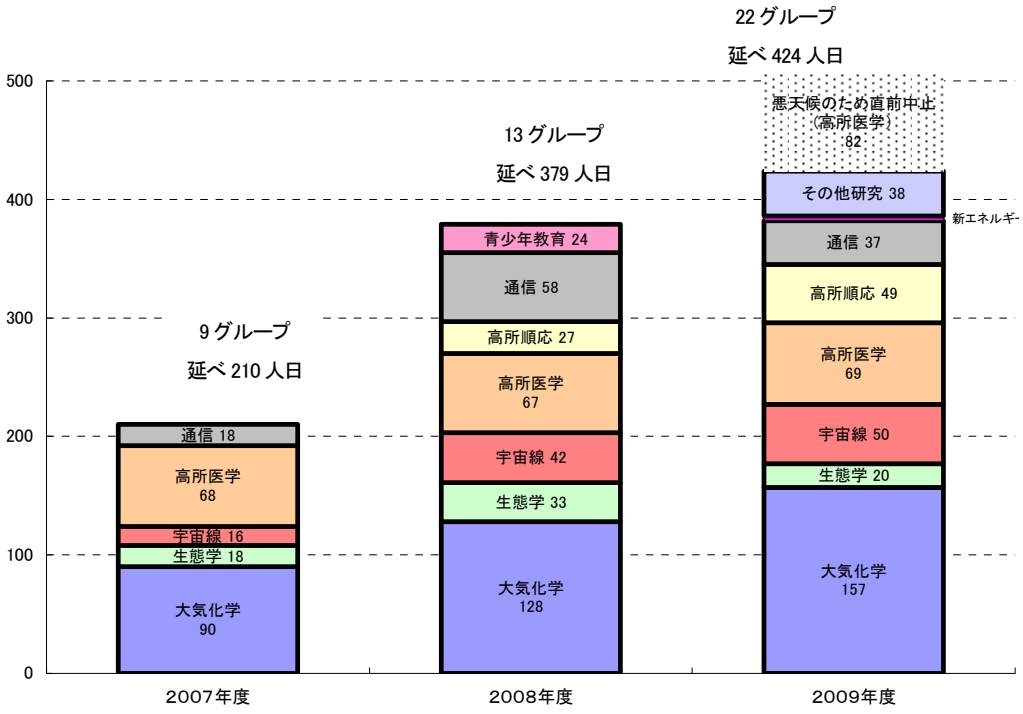


図1. 夏季観測研究参加人員の推移

4. 来年度以降に向けて

2007 年～2009 年の 3 年間、夏期 2 か月関、借用した施設の安全な維持管理に成功し、良い成果を上げることができた。また、NPO により管理運営が行われていることに関する一般の理解も広がり、新しい研究への希望が増加しつつある。今後の安定的な維持管理のためには、下記のような課題が残されており、広い分野の方々のさらなるご支援をお願いしたい。

① 競争的研究資金の獲得とそれ以外の事業収入の摸索
③ 通年観測に向けての遠隔制御・通信の研究開発
④ 登山安全管理に関する対策
④ 排ガスフリー代替電源の開発と安定的なアース対策
⑤ 庁舎の補修等維持管理
⑥ 支援拡大のための広報活動の充実

*連絡先: 土器屋由紀子(Yukiko DOKIYA)