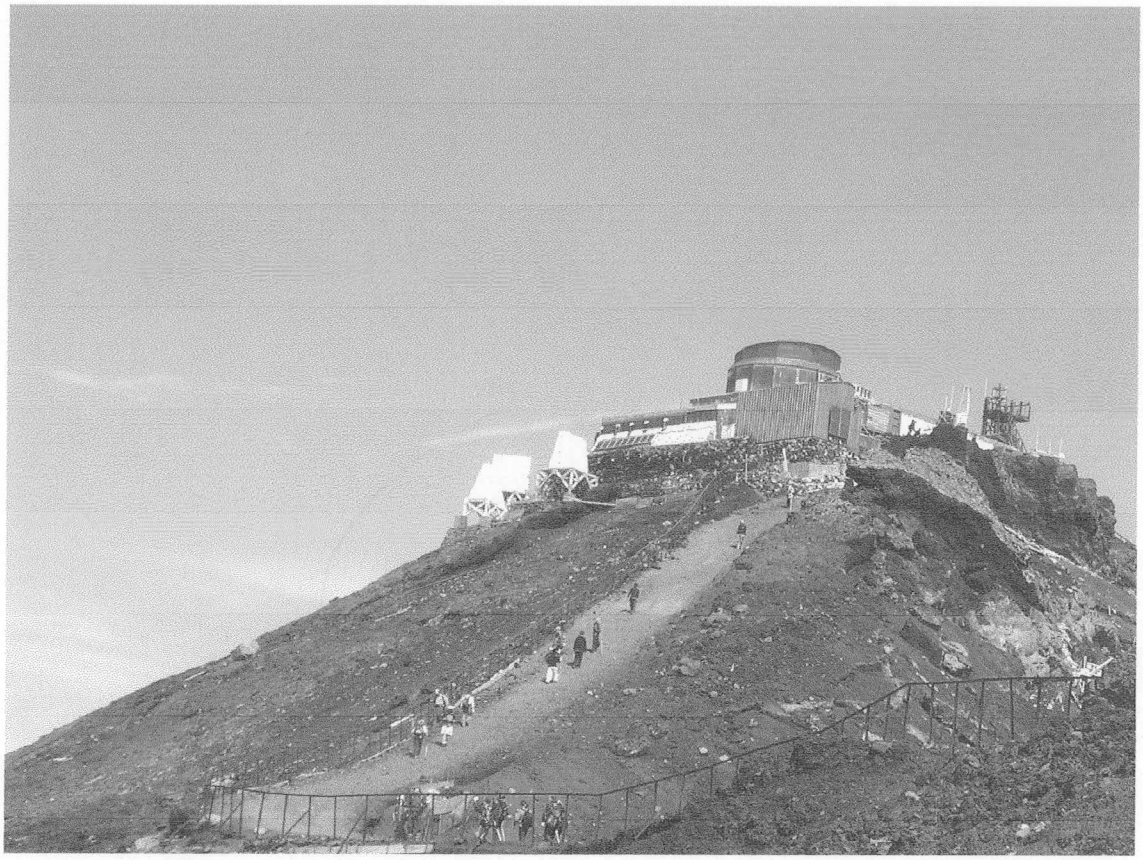
平成２０年度
富士山測候所利活用に関する成果報告会
講演予稿集



日時：平成２１年1月２５日（日）　１０：００～１７：００
場所：東京大学「小柴ホール」（東京都文京区本郷７－３－１）

ＮＰＯ法人 富士山測候所を活用する会

平成 20 年度 富士山測候所利活用に関する成果報告会 プログラム

日時：平成 21 年 1 月 25 日（日）10:00～17:00
場所：東京大学「小柴ホール」（東京都文京区本郷 7-3-1）

10:00~10:05　開会挨拶　浅野勝己理事長

I.　招待講演

座長　畠山史郎（東京農工大学）

10:05~10:25　井川学（神奈川大学工学部）
「丹沢大山の酸性霧と森林衰退」----------1

10:25~10:45　原圭一郎（福岡大学理学部）
「南極自由対流圏でのエアロゾル観測」----------2

10:45~11:05　松木篤（金沢大学フロンティアサイエンス機構）
「ネパールの標高 5079mにおける ABC-Pyramid の活動紹介：
過去 2 年間の観測概要について」----------3

座長　増山　茂（了徳寺大学）

11:10~11:30　齋藤繁（群馬大学医学部）
「富士山頂での酸素投与：各種機器と最新トレンド」----------4

11:30~11:50　花岡正幸（信州大学医学部）
「シェルパ族の高地適応における分子遺伝学的検討」----------5

＜昼食・60 分＞

II.　成果発表会

座長　五十嵐康人（気象研究所）

12:50~13:20　大河内博(早稲田大学)・三浦和彦(東京理科大学)
「フミン様物質の大気動態とエアロゾル間接効果に関わる特性評価」------6

13:20~13:35　金谷有剛（海洋研究開発機構）
「PM2.5 エアロゾル重量濃度と各化学成分濃度の変動測定」----------14

13:35~13:50　向井人史（国立環境研究所）
「観測環境が厳しい遠隔地における CO 2 観測システム」----------15

13:50~14:05　加藤俊吾（首都大学東京）
「富士山頂におけるオゾン・一酸化炭素の測定」----------17

14:05~14:20　保田浩志（放射線医学総合研究所）
「高高度宇宙線被ばくのリアルタイム推定」----------18

＜休憩・10 分＞

座長　　堀井昌子（神奈川県予防医学協会）

14:30~14:45　浅野勝己（日本伝統医療科学大学院大学）
「富士山頂短期滞在時の自律神経応答と高山病への鍼治療効果に関する研究」
----------20

14:45~15:00　山本正嘉（鹿屋体育大学）・浅野勝己（日本伝統医療科学大学院大学）＊
「富士山測候所を利用した短期間の高所トレーニングの効果」----------21

15:00~15:15　井出里香（永寿総合病院）
「富士山頂における睡眠時の無呼吸・低呼吸の評価，富士山頂における睡眠状態の簡易解析」----------22

15:15~15:30　高山守正（財団法人日本心臓血圧研究振興会附属榊原記念病院）
「低圧低酸素下での富士登山者における心機能と高山病発症の関与」--------24

＊山本は公務欠席のため，共同研究者の浅野が発表

＜休憩・10 分＞

座長　片山葉子（東京農工大学）

15:40~15:55　増沢武弘（静岡大学）
「富士山の永久凍土」----------26

15:55~16:10　池田敦（筑波大学）
「富士山における永久凍土調査：長期・大深度調査に向けての予察的研究」
----------27

16:10~16:25　堀井昌子（神奈川県予防医学協会）
「中学生の富士登山」----------28

16:25~16:40　土器屋由紀子副理事長・学術委員長
「平成 21 年度の観測に向けて」----------30

16:40~16:55　渡辺豊博事務局長
「平成 20 年度の富士山測候所利活用に関する総括・閉会挨拶」

17:00~19:00　懇親会

丹沢大山の酸性霧と森林衰退

井川　学　　神奈川大学工学部

我々は 1988 年より丹沢大山の中腹で霧の観測を行っているが、霧は大気中水分量が小さく、液滴径が小さいために単位体積あたりの表面積が大きく、含まれる汚染物質濃度が高い。大山の麓は関東平野と相模湾の間の海陸風の通り道にあたり、大山の麓で谷風が吹くと関東平野で発生した汚染物質は大山に輸送される。図1に、測定した霧のpH分布を示すが、霧は雨に比して濃度は 10 倍高く、pH は1低い。また、主に硝酸によって酸性化した pH3 以下の霧が一定の頻度で発生している。大山の中腹の採取地点における霧成分濃度は麓の大気汚染度が高い時は高いが、その経時変化を見ると、大気中の霧水量(LWC)の少ない霧発生直後は濃度は高いが、その後の濃度変動は、滑昇霧の場合では霧の最下点(霧底)の位置の変化が主要な支配要因となる。すなわち、麓の湿った気塊は山腹に沿って上昇する過程で露点以下になって霧を発生させるとともに大気中の汚染物質は効率よく霧に吸収される。麓の湿度が増加すると標高の低いところから霧に包まれ、霧底は低下する。霧を含んだ大気が山の斜面に沿って上昇する過程で霧液滴は森林の樹冠に衝突して付着し霧水が捕捉されるが、気塊は上昇にともなって温度がさらに低下して新たな水滴を生ずる。新たに生じた霧水と平衡にある大気は霧底近くで霧水によって洗浄されているため、霧底から離れた標高の高い地点の霧は清浄な霧となる。霧採取地点と露底とが接近すると上記の洗浄効果がまだ有効に働いていないため、得られる霧水内汚染物質濃度は高くなる。すなわち、霧は大気を洗浄し樹冠はその洗浄作用に関与する中で霧を介して大気中の汚染物を吸収することになる。このことは、霧の樹木に対する大きな影響を示唆するものである。大山の山頂近くでは一年の 40%以上が霧で覆われ、山頂の樹冠下の降水量は霧の沈着のために林外雨降水量の約2倍になっている。以上のことから、関東平野において発生した汚染物質が霧を介して丹沢山塊に多量に沈着し、森林に影響していることが予想された。

酸性霧の観測を続けている大山にはモミの原生林があるが、立ち枯れがかねてから問題となっていた。特に二酸化硫黄の排出量の多かった時期に、モミの成長は著しく低下し枯損木の数も急増した。その後、1980 年代からは新たに大山の裏手にある札掛において衰退が進行するとともに、丹沢主峰の頂に自生するブナ林の枯れが目立って来ている。ブナ林は山頂にあるだけに、枯れると地盤の崩壊を招き、首都圏の水瓶としての丹沢山塊の機能も大きく低下する。この原因を明らかにするため、モミやブナの苗木を育てて pH3 の酸溶液長期曝露実験を行ない、衰退機構を検討した。その結果、酸性霧により葉の表面のワックス層がダメージを受け、内部の細胞壁中で架橋剤として働くカルシウムやホウ素が溶脱することによって細胞壁が膨潤し、生体膜に固定され輸送特性を支配するカルシウム(mCa)を溶脱させることにより植物がストレスに対応できなくなることにより衰退することが示された。

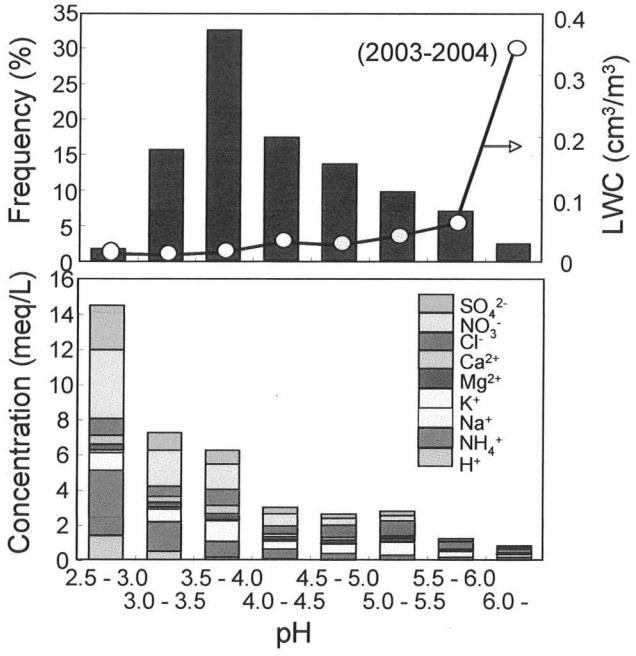


Fig. 1. Frequent acid fog events in Mt. Oyama (680 m a.s.l.).

南極自由対流圏でのエアロゾル観測

原圭一郎　福岡大学理学部

大気微量物質の一つであるエアロゾルから見た南極域での物質循環や低中緯度から南極域への長距離輸送過程を明らかにするため、南極域でのエアロゾル集中観測を第45～48次南極地域観測隊（JARE：2004～2007）で実施した。JARE に限らず南極域でのエアロゾル観測は、設営面の制約から主に地上で行われ、その多くは沿岸部に位置する観測基地で実施されている。大陸沿岸域での地上エアロゾル観測からでも貴重な知見は得られてきているが[例、原, 2003]、南極域での物質循環や低中緯度から南極域への長距離輸送過程をより理解するには、地上での観測に加えて、南極上空のエアロゾルの特性や空間分布、さらにはそれらの季節変化を明らかにすることが要求される。

一般に上空のエアロゾルを観測するには、（1）有人航空機、（2）無人航空機、（3）放球型気球、（4）係留気球、（5）山岳の利用がなされている。南極域での大気観測では、低温・強風といった過酷な気象条件や設営・施設面での制約もあり、他地域で普通に行えることですら、困難が伴うことがある。上記の観測手法それぞれに観測目的により長所・短所があるが、ここではJARE でのエアロゾル集中観測で行った係留気球と有人航空機を用いた南極上空のエアロゾル観測に関して紹介する。係留気球観測は46次越冬隊（2005/2006）により昭和基地で実施され[原ほか, 2007]、航空機によるエアロゾル観測は48次夏隊（2006/2007）で日独共同航空機観測（ANTSYO-II/AGAMSE）として、Neumayer 基地（ドイツ・沿岸部）、Kohnen 基地（ドイツ・内陸基地）、S17 航空拠点（日本・昭和基地の近く）周辺で実施された[平沢、原, 2007]。

写真：JARE46 で実施した係留気球を用いたエアロゾル観測

原、エアロゾル研究, 18, 200-213, 2003
原ほか、南極資料、51(1), 13-34, 2007
平沢、原、南極資料 51(3), 273-297, 2007

ネパールの標高 5079mにおける ABC-Pyramid の活動紹介：過去 2 年間の観測概要について

松木　篤　金沢大学フロンティアサイエンス機構

P. Laj, P. Villani, JM. Pichon, K. Sellegri and H. Venzac
CNRS - Université Blaise Pascal, Aubière Cedex, France
P. Bonasoni, A. Marinoni, P. Cristofanelli,
S. Decesari,　MC. Facchini, S. Fuzzi,
CNR - Institute for Atmospheric Sciences and Climate, Bologna, Italy
E. Vuillermoz
EV-K2-CNR Committee, Bergamo, Italy
A. Matsuki
FSO, Kanazawa University, Kanazawa, Japan

ここではヒマラヤ山脈の Khumbu valley（27.95 N, 86.82 E, 海抜 5079m）に設置された ABC-Pyramid (または NCO-P)大気観測所におけるこれまでの活動と観測結果を紹介したい。この観測所は Ev-K^2-CNR "SHARE-Asia" (Stations at High Altitude for Research on the Environment in Asia)と UNEP の"ABC" (Atmospheric Brown Clouds) プロジェクトの一環として、高所における大気エアロゾルの特性と起源、およびその大気放射や氷河への影響を明らかにすることを目的とし、2006 年 2 月に設置された。2006 年 3 月から現在にいたるまで、表 1 に挙げるような項目について継続的な観測が行われている。

観測所には科学者または技官が常駐し、ピラミッド状の外壁には太陽光発電パネルを採用することで通年観測が可能となっている。ABC-Pyramid が位置するネパールのヒマラヤ山脈は、世界的に大気環境問題が顕在化しているインドや中国といった地域に囲まれており、大気汚染物質の輸送経路はモンスーンによる強い季節性を示すことが予想される。ABC-Pyramid にはこのような特殊な地理的条件下における長期的な観測を通じ、地球大気の監視役としての貢献が期待されている。

表 1　ABC-Pyramid における大気観測項目と装置一覧

Physical Properties	size distr. (SMPS) Air Ion Spectrometer (AIS) mass PM10, 2,5, 10 (GRIMM)
Aerosol Chemistry	LV PM1 -inorganic -EC/OC Hi-Vol. Chemical speciation
Aerosol optical properties	Absorption (MAAP) Scattering (Nephel.) AOD (CIMEL)
Hygroscopic Properties	CCN chamber
Gaz phase	Ozone, CO,
Meteorology	Wind, T°, RH

参考 URL :
Real-time data
http://evk2.isac.cnr.it/

Data available at the ABC data base and the WDCA
http://www.rrcap.unep.org/abc/data/abc/index.html

And new 8000 m weather station measurements at :
http://www.share-everest.com/cms/

富士山頂での酸素投与：各種機器と最新トレンド

群馬大学大学院医学系研究科脳神経病態制御学講座麻酔神経科学分野
齋藤　繁

富士山は山岳スポーツに不慣れな「観光」目的の訪問者がたくさん訪れる特異な山です．その上、日本では数少ない低圧性低酸素の影響が現れる環境でもあります．このため、多くの方が軽症ながら高所傷害の症状を体験します．在宅用の小型酸素濃縮器などの酸素投与器具を富士山の高所環境において使用しましたので、その結果を報告します．【背景と目的】交通網の整備や中高年層でのアウトドアブームの影響で、 高所を訪れる人口は増加しており、その中には循環器や呼吸器の機能に障害を持つ人々も含まれています．実際、様々な統計で、高所での疾病の発症による遭難の増加が指摘されており、不幸な転帰をとる例も少なくないと言われています．そうした事例の高所での症状悪化を防止するためには、あるいは治療を行うためには、高所環境においても、平地と同じように治療器具が機能するか検証しておくことは重要です．そこで、高所において、健康器具として市販されている酸素濃縮器、在宅用の酸素濃縮器、CPAP マスク、酸素投与用デマンドバルブ、などの作動状況を検討しました．【対象】健康成人で本研究に協力を申し出たもの．社員研修などの目的で富士登山を無雪期日中に行うもの．【方法】在宅酸素治療用の酸素濃縮器を富士山頂山小屋内で使用し、使用時の供給酸素濃度（分圧）、供給流量、使用者の動脈血酸素飽和度を測定しました．また、在宅酸素用の軽量酸素ボンベおよび小型デマンドバルブ、在宅 CPAP 装置も併せて数名に使用させ、その効果を判定しました．【結果】在宅酸素用酸素濃縮器は平地での設定と同様の供給酸素濃度（%）、供給流量を示しました．使用者の動脈血酸素飽和度（パルスオキシメーターで測定）は通常のフェースマスクのみの使用で 95+/-1%を示しました．軽量酸素ボンベおよびポータブルデマンドバルブは正常に作動しました．ザック型の収納ケースに搭載し、鼻カニューラを用いて登山活動中持続的に使用することも可能でした．しかし、在宅用 CPAP マスクの使用には慣れが必要で、高所移動後に初めて使用させたところ、すべての被験者が強制吸気供給にあわせて呼吸することに困難を感じました．高所への移動に先立って事前に練習を行っておくことが重要と思われます．【結語】在宅酸素治療などに使用される多くの機器が高所でも使用可能と思われます．しかし、駆動のための電源の確保やアラーム設定の調整、使用者の事前訓練などが必要な機器も多く、個々の機器毎に様々な配慮が必要です。特に、多くの機器が安定的な電力供給の存在を前提として設計されているために、使用環境は大型の発電機を設置した山小屋に限定されるかもしれません．また、製作メーカーは高所での使用に対する法的な責任を負えないことから、そうした環境での人間への使用に対して協力的であるとは限らず、機器の使用許可やボランティアへの説明にも十分な配慮が必要です．

シェルパ族の高地適応における分子遺伝学的検討

信州大学医学部　　花岡正幸

【背景】

ネパール・シェルパ族は、500 年以上前からエヴェレスト街道沿いに居住する高地適応民族である。彼らは高地環境下（すなわち低酸素環境下）で卓越した心肺機能を発揮し、遺伝的に淘汰された民族と考えられている。シェルパ族の遺伝的背景を解明するため、今回の検討を行った。

【対象と方法】

エヴェレスト街道のナムチェバザール（海抜 3,440m）に居住するシェルパ族 105 名と、カトマンズ（海抜 1,330m）在住の非シェルパ族 111 名を対象とした。静脈血から DNA を抽出後、アンジオテンシン変換酵素（ACE）遺伝子の Insertion/Deletion（*I/D*）多型を PCR 法で検討し、血清 ACE 活性を測定した。さらに、内皮型一酸化窒素合成酵素（eNOS）遺伝子の *Glu298Asp* 変異と *eNOS4b/a* 多型を PCR 法にて検討し、血清中の一酸化窒素（NO）代謝産物濃度を測定した。

【結果】

シェルパ族において、*ACE-I/D* 多型の対立遺伝子 *I* が有意に高頻度であったが、血清 ACE 活性は対照群と同じレベルを示した。さらに、*eNOS* 遺伝子のうち野生型の対立遺伝子 *Glu* と *eNOS4b* が有意に高頻度であり、*Glu298Glu* と *eNOS4b/b* の組み合わせ頻度が有意に高かった。NO 代謝産物の濃度は変動が大きく、評価は困難であった。

【結論】

シェルパ族の高地適応に、*ACE-I/D* 多型の対立遺伝子 *I* と、*eNOS* 遺伝子の *Glu298Asp* 変異と *eNOS4b/a* 多型における野生型対立遺伝子が関与する可能性が示唆された。 また、シェルパ族の血清 ACE 活性は対照群と同レベルであり、高地適応の一端と考えられた。

フミン様物質の大気動態とエアロゾル間接効果に関わる特性評価

大河内博（早稲田大学）・三浦和彦（東京理科大学）・皆巳幸也（石川県立大学）・
小林拓（山梨大学）・永野勝裕（東京理科大学）・片山葉子（東京農工大学）

１．はじめに

大気中には，水圏や土壌圏のフミン物質に類似した高分子有機物が存在することが報告されており，**フミン様物質(HUmic-Like Substances, HULIS)**と呼ばれている．フミン様物質はエアロゾルの吸湿特性，界面活性特性，光学特性の変化を引き起こし，雲粒形成過程や揮発性有機化合物（VOCs）や多環芳香族炭化水素（PAHs）などの疎水性有機化合物の大気水相への促進吸収などに関与することが指摘されている（図１）．また，フミン物質は微生物培地としても利用されることから，エアロゾル中の HULIS は微生物の生息場所となっている可能性がある．しかしながら，HULIS の大気中での存在量とその起源，大気環境に及ぼす影響など未解明な点が多い．そこで，本研究では，大気中 HULIS の大気動態，VOCs および PAHs の雲内および雲底下洗浄に及ぼす影響，雲粒生成に関わる諸特性，バイオエアロゾルとしての機能の解明などを目的に，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．

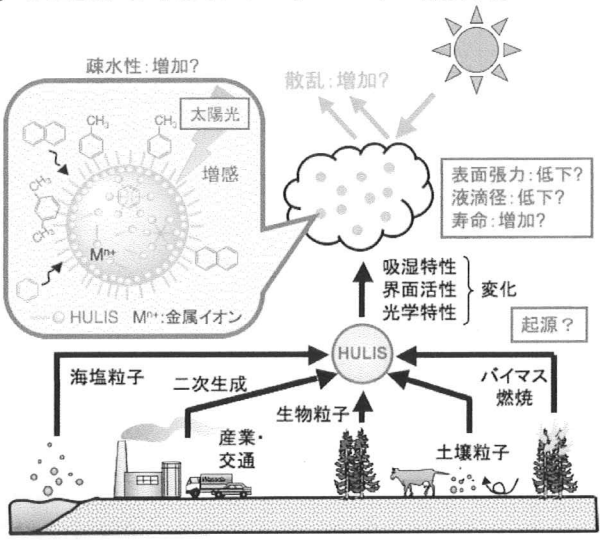


図１ 想定される大気中 HULIS の起源・動態・機能

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），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），霧水・雨水・露水中化学成分（主要無機成分，溶存有機炭素（DOC），HULIS，VOCs）である．

３．観測結果

１）早稲田大学と石川県立大学の共同観測

富士山頂のように比較的清浄と考えられる地点で，大気中に酸性物質，有害有機化合物，フミン様物質がどれくらい存在するのか，それらの物質がどこから輸送されてくるのか，さらに，雲水や雨水によって大気中からどれくらい洗浄されるのかを明らかにするために，ガス，エアロゾル，降水の観測を行った．また，比較のために，都市部の新宿（早稲田大学大久保キャンパス），郊外の多摩（東京農工大学 FM 多摩）で同時観測を行った．7 月 23 日～30 日の集中観測期間中に，大気中の酸性ガス・アンモニアガス（富士山南東麓），塩素化炭化水素・単環芳香族炭化水素・二環芳香族炭化水素・カルボニル類（富士山頂，富士山麓，新宿）を６時間毎に採取し，富士山麓で霧水が３試料，富士山南東麓で雨水が１試料，露水が８試料，霧水が２試料得られた．また，富士山南東麓・新宿・多摩ではエアロゾルを 24 時間毎に，富士山頂ではエアロゾルを約１週間毎に採取した．

雲水中 HULIS の分析を行ったところ，富士山麓に比べて，富士山頂では HULIS 濃度が約 1/2 であることが分かった．図２には，富士山南東麓の太郎坊での大気エアロゾル中水溶性 HULIS の経時変化を示す．エアロゾル中の水溶性 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．日によってバラツキはあるものの，水溶性 HULIS ではフルボ酸が主成分であるが（約 75%），夜間にフミン酸の割合が増加傾向にあることが分かる．このような大気エアロゾル中 HULIS の濃度変動，フミン酸とフルボ酸の割合は世界的に本研究によって初めて明らかになった．現在，富士山頂で採取した大気エアロゾル中 HULIS の分析を進めている．図３には，有害有機化合物の一例として大気中 VOCs 濃度の富士山頂における経時変化を示す．有機塩素化合物(CH_2)ではクロロホルムのみが検出された．単環芳香族化合物(MAHs)ではトルエンとキシレンが主成分であり，二環芳香族炭化水素(DAHs)ではナフタレンが主成分であった．VOCs 濃度の日変動は明瞭ではなく，O_3 および CO 濃度とも明瞭な相関が認められなかった．図には示していないが，富士山頂のカルボニル類濃度は，アセトン（平均濃度：16.8 ppbv）＞アクロレイン（7.47 ppbv）＞ホルムアルデヒド（6.38 ppbv）＞アセトアルデヒド（5.68 ppbv）という結果が得られている．

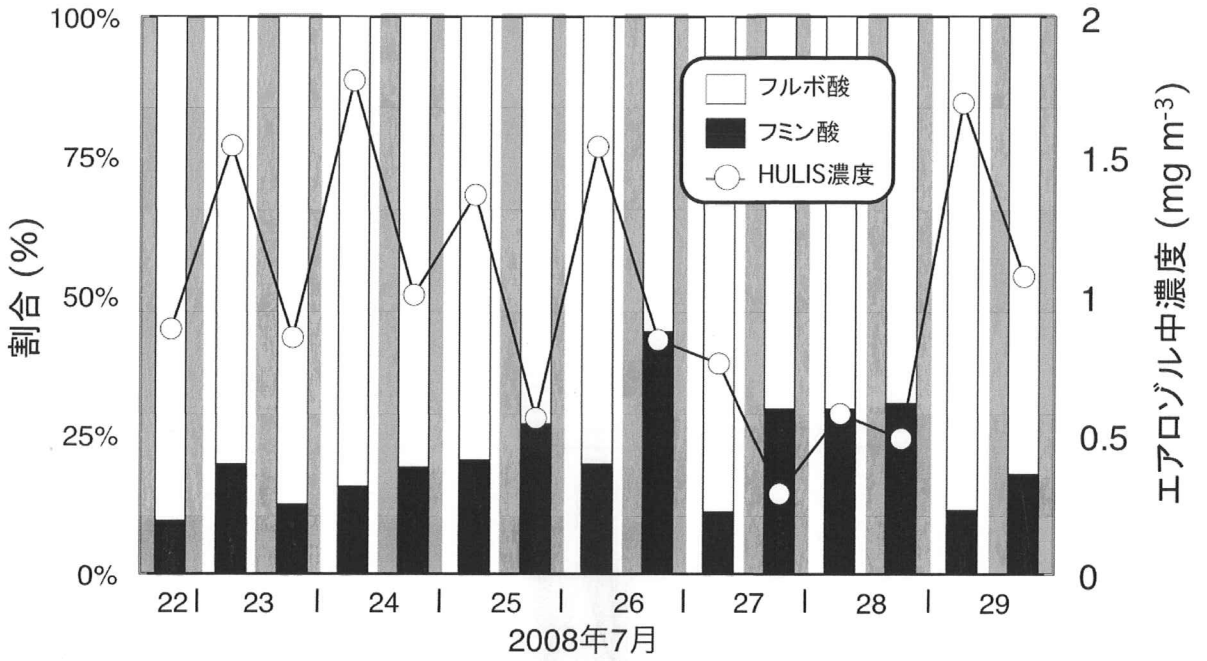


図２　富士山南東麓における大気エアロゾル中 HULIS 濃度の経時変化
（背景色が白：日中，背景色が灰色：夜間）

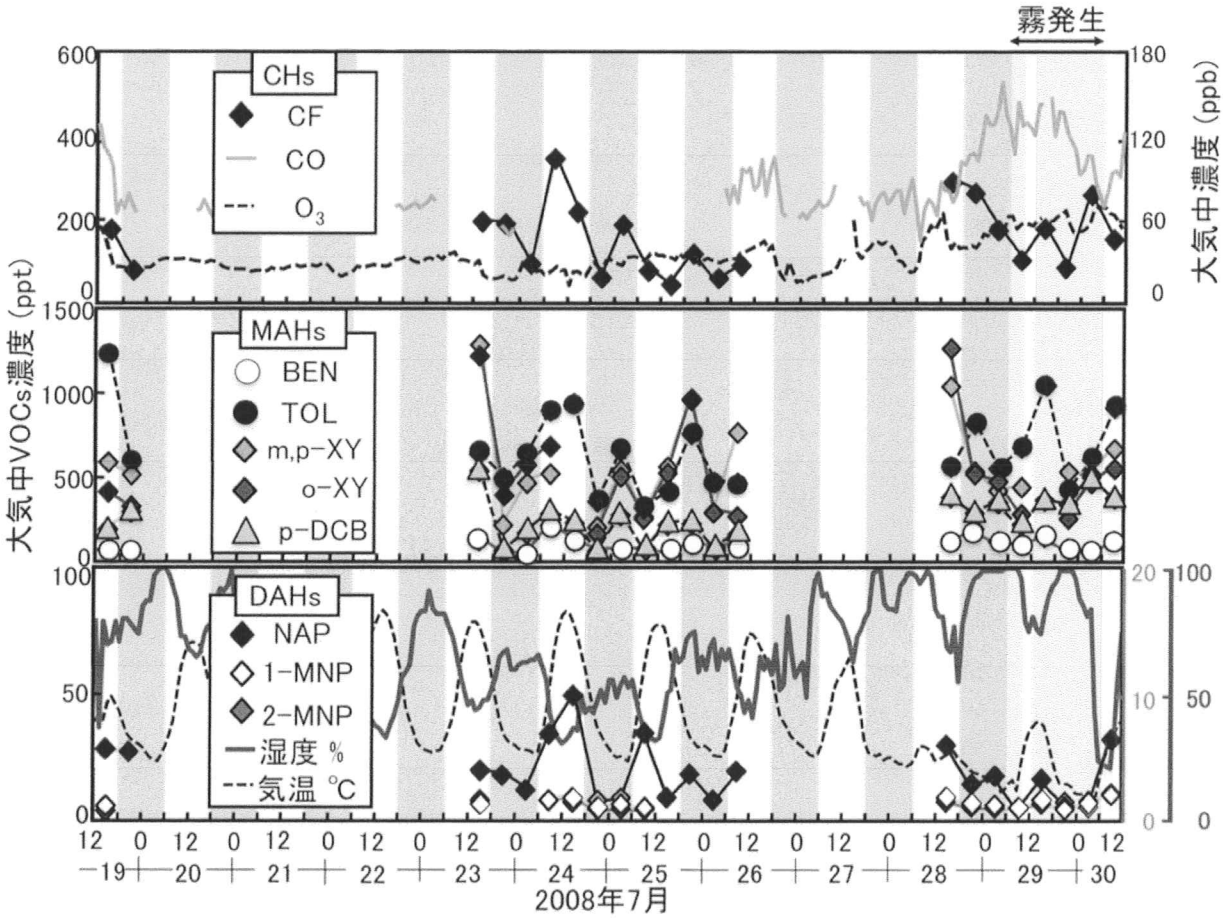


図３　富士山頂における大気中 VOCs 濃度の経時変化

集中観測期間中の７月 29 日には，富士山南東麓の太郎坊および富士山北西麓の名大太陽研・富士観測所で，種々の大気微量成分濃度が急激に上昇することが観測された．図４には，名大太陽研・富士観測所で得られた粒子数濃度の推移を示す．７月 29 日の午前７時を過ぎた頃から，>0.３μm，>0.５μm，>0.７μm，>1.０μm，>2.０μｍの領域で粒子数濃度が急激に増加した．７月 31 日と８月１日の急な濃度減少は降水洗浄によるものである．

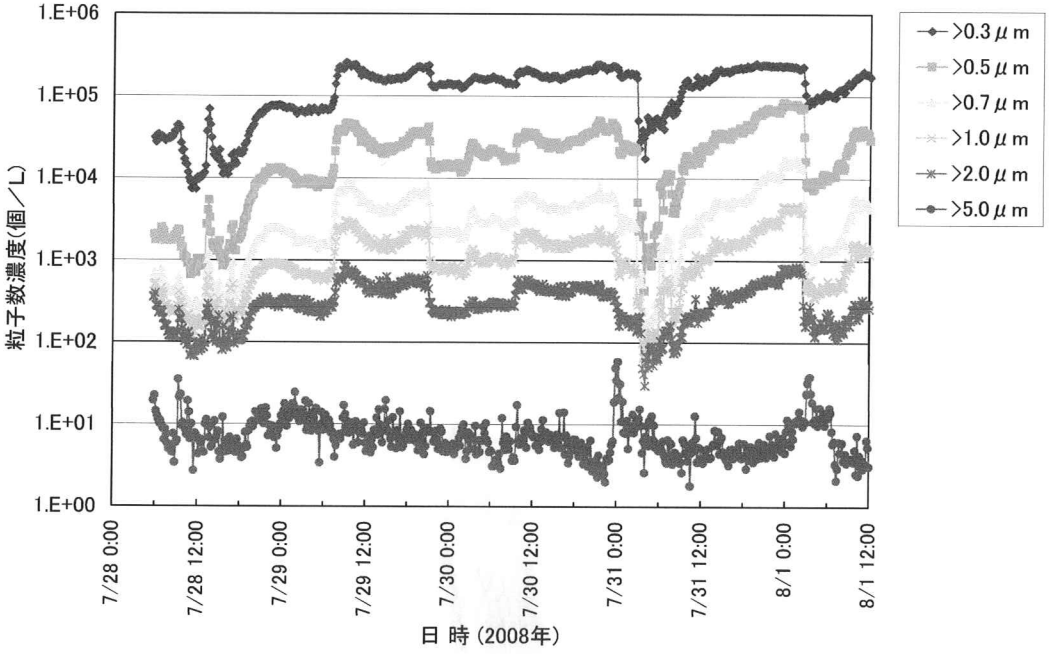


図４　富士観測所における大気エアロゾルの数濃度の推移（2008.7.28～8.1.）

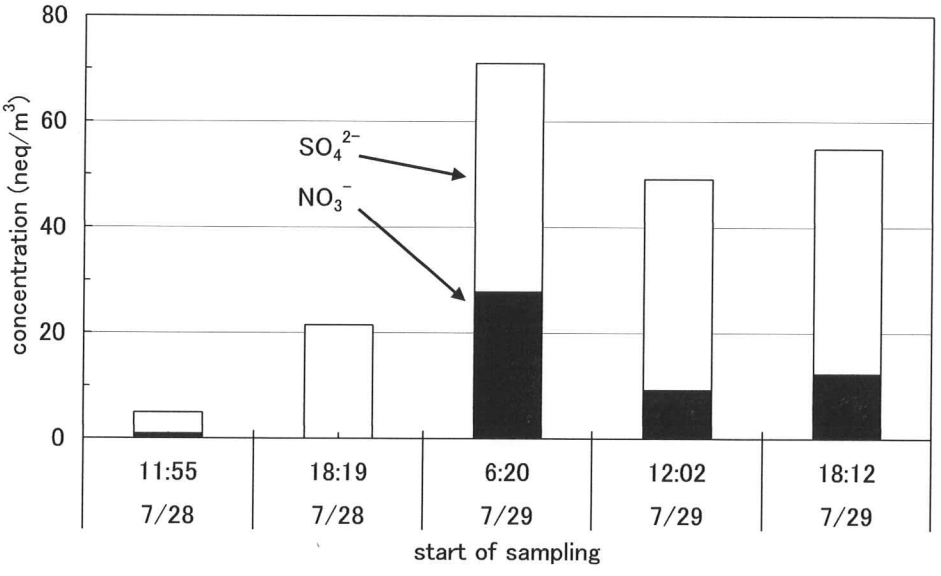


図５　富士観測所における微小粒子（0.43～0.65μm）中の成分濃度の推移（2008.7.28～29.）

図４で示した粒子数濃度の急増に対応して，NO_3^-濃度（それまで検出限界に近かった）及びSO_4^{2-}濃度も増加した．この傾向は，0.65～1.1μm，1.1～2.1μｍの分画でも同様であった．

2）東京理科大学の観測

エアロゾル粒子数が増えると雲の放射特性が増すため、地球の温度を下げる効果がある．どのような時に新しい粒子が生成されるか，また下層からの輸送の影響はどうかを調べるため，富士山頂(3776m)と太郎坊(1300m)で同時に，2008 年 7 月 19 日～8 月 25 日に走査型移動度分析器（SMPS）と光散乱式粒子計数器（OPC）を用いて直径 4.4～5000nm にわたる粒径分布を連続測定した．また，電顕用メッシュにインパクターで粒子を捕集し，透過型電子顕微鏡（TEM）で形態を観察し、エネルギー分散型 X 線分析器（EDX）により個々の粒子の元素分析を行った．

図 6 に SMPS で測定した直径 100nm 以下の粒子の粒径分布を示す．山頂では雷による停電のため，20 日間しかできなかったが，そのうち 14 回，数時間にわたって 10nm 以下にピークを持つ濃度の増加があった（図 6 上段）．このイベントは，2006 年，2007 年夏の観測結果と合わせると，75 日間中 52 回観測されたが、日中（図 6 赤丸）より夜間（図 6 青丸）に多かった．そのほとんどが太郎坊では観測されず（図 6 下段），下層から輸送されたというより，自由対流圏を長距離輸送されたものか，ローカルな発生と思われる．また，2008 年 8 月 1 日は，O_3/CO の値（首都大学東京加藤氏測定）が大きく相対湿度が低いことから，成層圏大気の影響を受けていることが予想される．この時のイベントは上層で生成された粒子が輸送された可能性がある．

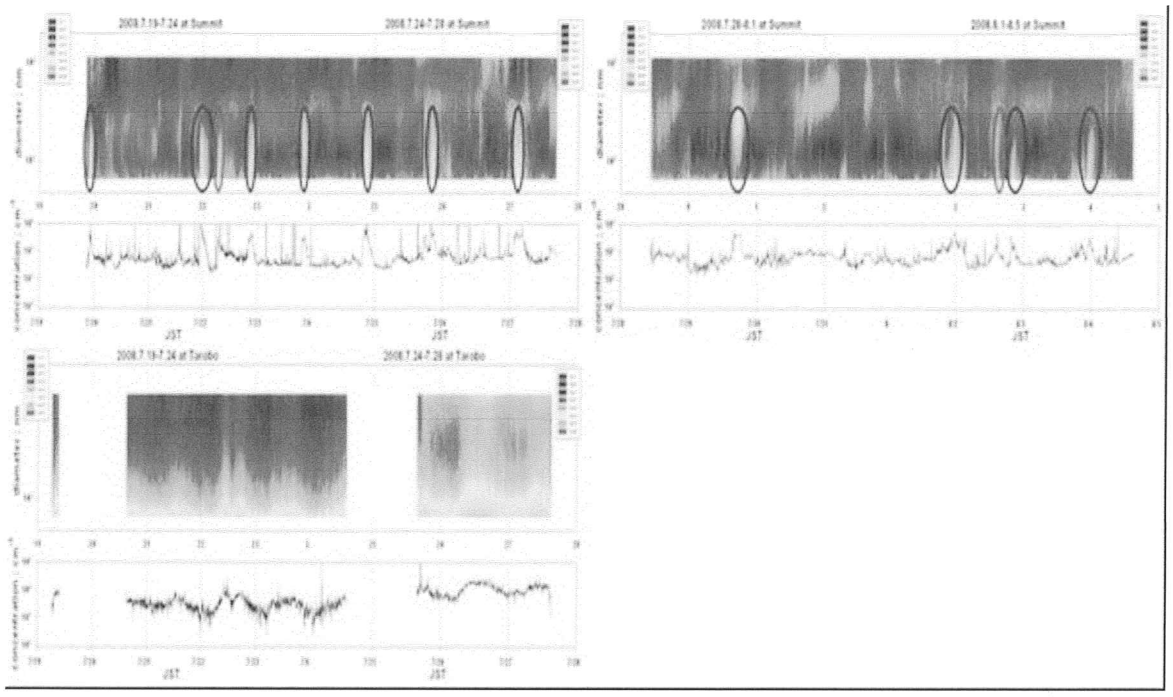


図 6　SMPS による直径 100nm 以下の粒子の粒径分布（上段：富士山頂、下段：太郎坊）

個々の粒子の形態から，山頂では結晶状の硫酸塩と思われる粒子が多いのに対し，太郎坊では液滴状の硫酸塩と思われる粒子が多いことが示された．また元素分析の結果，山頂では S，Si，Al，Ca を含む粒子が多いのに対し，太郎坊では S，Na，K，C を含む粒子が多いことが示された．これらの構成元素から推定した化学組成の割合を図 7 に示す．山頂では硫酸塩・鉱物粒子が多く，太郎坊では硫酸塩・海塩・炭素を含む粒子が多いことが分かる．

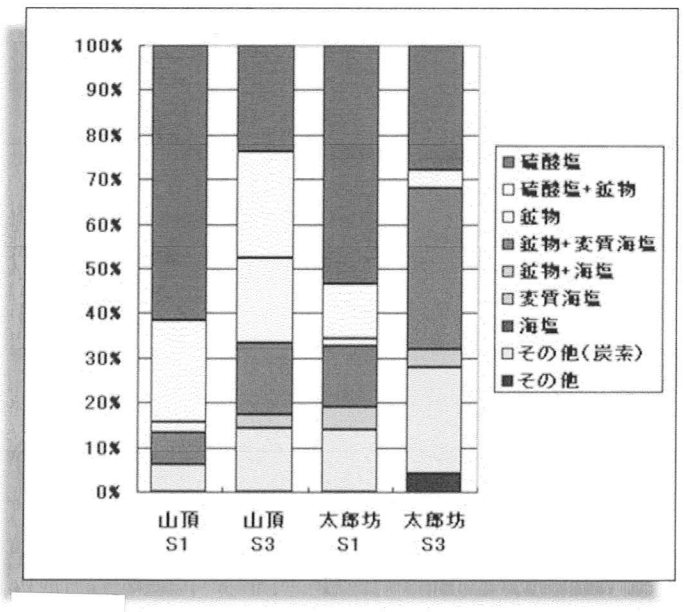


図 7　個々の粒子の元素分析から推定した化学組成の割合

谷風により，下層の粒子が山頂へ輸送される割合を定量的に評価する可能性を検討した．2007年の観測結果によると，OPCで測定した粒径300nm以上の粒子濃度は，谷風に伴い7.8合，次いで山頂で上昇するという日が数日見られた．387nmの粒子に対し，山頂の濃度に対する下層からの輸送粒子の割合を計算すると約85%となった．そこで，山頂において昼に捕集した粒子をバックグラウンドと下層粒子が混合したものと考え，無作為に選んだ粒径1μm程度の粒子30個のうち，ある元素が何個の粒子から検出されたかを計数した(図8左上)．山頂で夜に，太郎坊で昼に捕集した粒子についても同様に計数し，それぞれのカウント数に15%、85%の重みをかけて和をとったところ，山頂の昼のカウント数に比べ，Si，Kは多く，C，Sは少なかった(図8左下)．このことから輸送中に拡散による希釈や山肌から巻き上げられた粒子の混入が示唆される(図8右)．

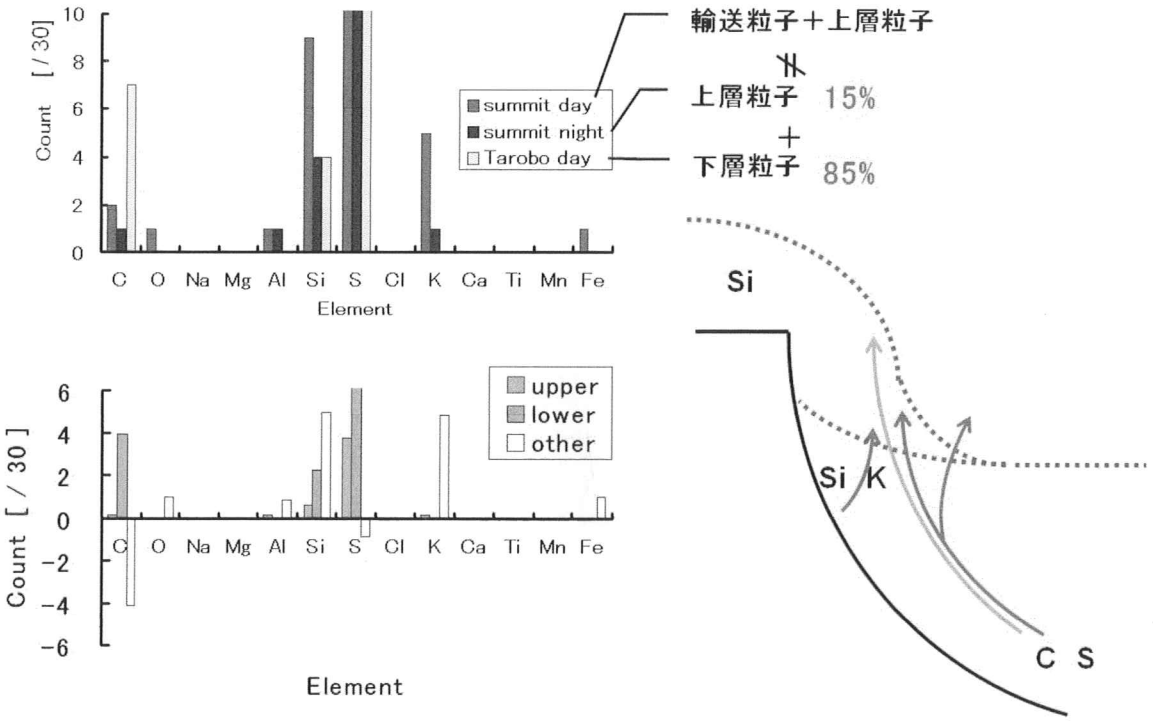


図８　ある元素を含む粒子の個数から下層の粒子が山頂へ輸送される割合を評価する方法

東京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2008年7月19日～8月25日，太郎坊については2008年7月19日～8月9日（8月4～6日に欠測あり）の期間の結果が得られた．その結果を図9に示す．同図にはモデルシミュレーションの結果も示している．山頂および太郎坊における濃度変動には，日変動と濃度の極小値の変動に見られる数日にわたる変動が観測された．この観測された数日にわたる変動はラドンの長距離輸送のような総観規模の現象による影響と考えられ，総観規模の現象による輸送をシミュレートしている我々の輸送モデルによるラドン濃度の変動とよく一致している．このことから，我々のモデルの上層における有効性が検証され，さらに，極小値の変動は長距離輸送のような総観規模の現象による影響であることもわかる．山頂の日変動の多くは日中増加し夜間減少しており，この変動の様子から山谷風による影響と推測できる．2007年度の観測では，山頂のラドン濃度の変動にこのような顕著な日変動は観測されず，山谷風の顕著な影響は見られなかった．

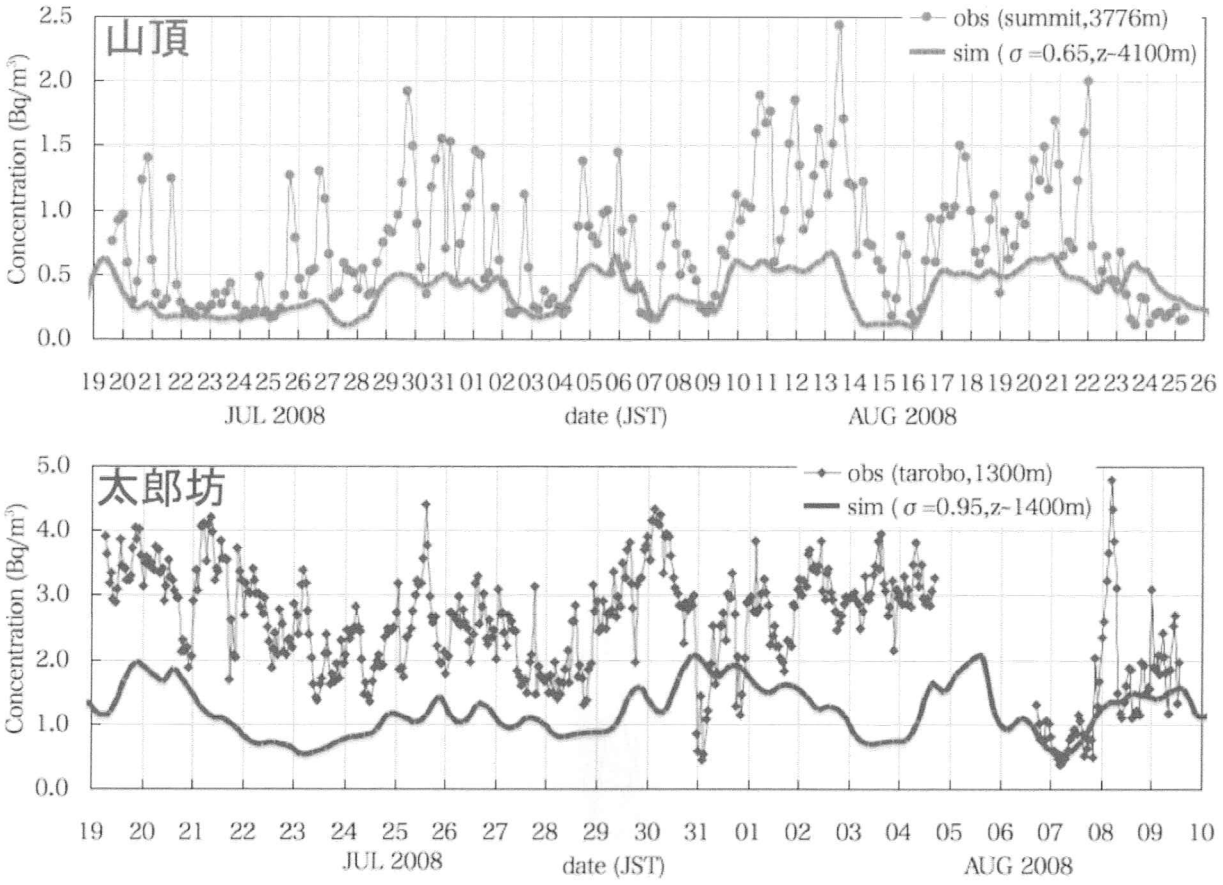


図９　富士山頂と太郎坊でのラドン濃度の観測結果と計算結果

３）山梨大学の観測：大気エアロゾル個数濃度変動の周波数解析

自由対流圏中のエアロゾルの特性やその変動を明らかにすることは，大気環境やエアロゾルの気候影響を評価するうえで重要である．そこで自由対流圏中のエアロゾルを直接かつ連続的に観測することが可能であると考えられる富士山頂において，エアロゾルの個数濃度の連続観測を実施した．しかし，夏季は対流が活発であり，富士山周辺地域など境界層内のローカルな発生源のエアロゾルが山頂へ到達している可能性が指摘されている．そこで連続観測の時系列データを基に変動の周波数解析を実施し，変動の由来について検討を行った．

富士山測候所にOPC（リオン，KR-12A）を設置し，エアロゾルの粒子数濃度を測定した．外気は導電性チューブを用いて吸引し，途中，シリカゲルを充填した拡散ドライヤーを通過させることにより除湿した．図１０にOPCによるエアロゾル個数濃度の測定結果をFFT解析して得られた各周波数成分のパワースペクトルを横軸を周期として示す．2008年夏季は停電等によるデータ欠損がなかったため，長周期の成分まで解析可能であった．D > 0.3 μmの結果では，24時間，175時間（7.3日），そして292時間（12日）にピークが見られた．一方，D > 5 μmの結果では24時間，109時間（4.5日）と175時間（7.3日）にピークが見られた．周期24時間の成分は対流活動による日変動が主な要因と考えられる．D > 0.3 μmのレンジは人為起源の粒子から主に構成され，7〜12日の周期で人間活動の影響を受けた気塊が飛来していたことが示唆される．D > 5 μmのレンジは土壌粒子や海塩粒子などが含まれ，周期24時間の成分のスペクトルが高いことから，これらの粒子は対流活動に強く影響を受けていることが示唆される．

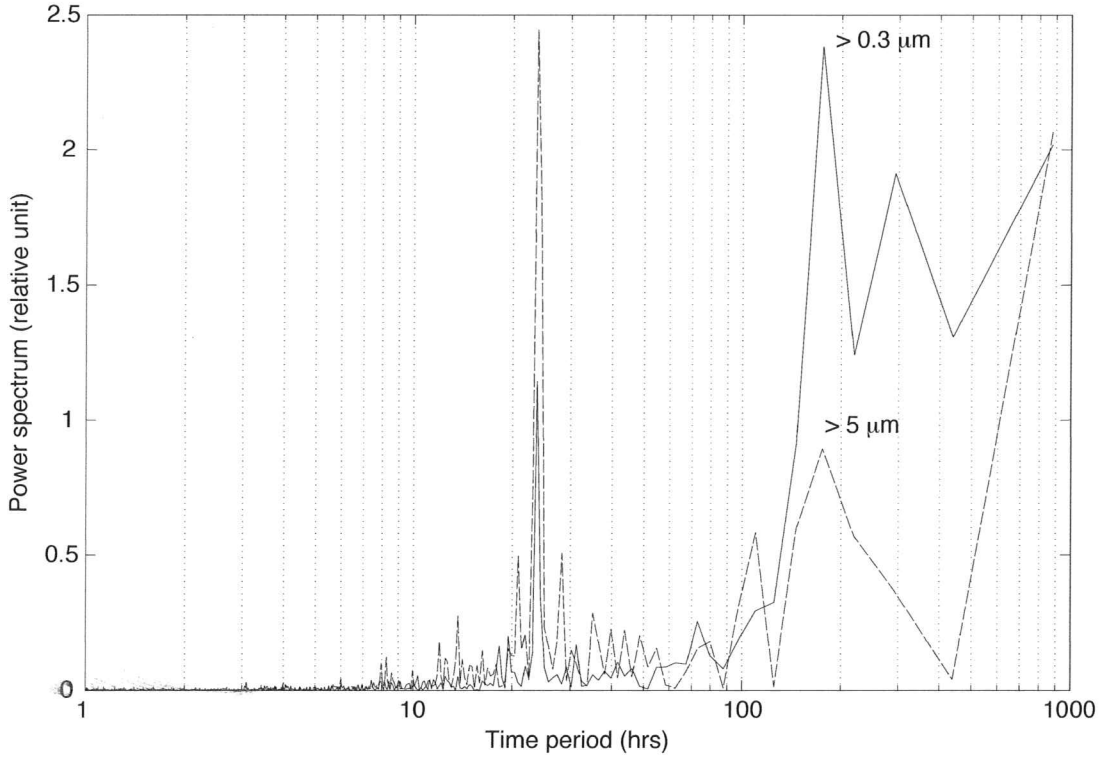


図１０　エアロゾル個数濃度変動のFFT解析結果

４）東京農工大学の観測：富士山頂のバイオエアロゾルの微生物

微生物は氷の成長を助けることから雲の光学特性を変えたり，水の表面張力など様々な物理的特性を変える働きがある．さらに，微生物は自分を取り巻く環境の化学物質を変化させ，その酸化還元反応を制御する働きがある．エアロゾルに含まれる微生物についての情報を得ることを目的として，滅菌済みの孔径 0.45 μm のフィルター上にエアポンプを用いてバイオエアロゾルを採取した．また，富士山の標高の違いによるバイオエアロゾルの特徴を把握するために，富士山頂ならびに太郎坊において，表 1 に示す期間ごとにバイオエアロゾルの採取を行なった．

バイオエアロゾル採取後のフィルターは無菌的に分割を行い，すみやかに研究室に持ち帰った後に，フィルターに捕捉された微生物細胞について，顕微鏡観察に基づく計数，寒天平板培地上での培養，DNA の回収および PCR による 16S rRNA 遺伝子の増幅を行った．

①顕微鏡観察に基づく計数

DAPI 染色を行い，蛍光顕微鏡下で観察された細胞を計数した．その結果，山頂および太郎坊共に 10^3－10^4 のオーダーで，両者で大きな差は見られなかった（表 1）．しかしながら，太郎坊ではフリーで存在する細胞の他に複数の細胞が塊を形成している像が多く観察されたのに対し，山頂ではフリーの状態の細胞が多いという傾向がみられた．今後はエアロゾルの採取方法について，滅菌方法、採取する大気の総量ならびにそのときの流量などについてさらに検討を加えることが必要であると考える．

②寒天平板培地上での培養

1/100 濃度 NBY 寒天平板培地にフィルター上の細胞を接種し培養を行ったところ、山頂・太郎坊共に似たような形状のカビの生育が確認された。今後はこれらの生育がみられた菌について分離を行うことで、バイオエアロゾルに見られる微生物についての生理学的特徴を知ることが可能となる。

③DNA の回収および PCR による 16S rRNA 遺伝子の増幅

土壌から DNA 回収を行うためのキットを用いて、フィルター上のバイオエアロゾルから DNA を抽出した。その DNA で 16S rRNA 遺伝子をターゲットとする PCR を行ったところ DNA の増幅が確認された。②においては用いた培地で生育が可能な菌についての情報は得られるが、生育が不可能な種類についてはその性質を知ることは不可能である。しかし、ここで増幅された DNA 断片について塩基配列の決定を行い、データーベースとの比較を行うことにより、フィルターに捕捉された微生物の群集構造解析を行うことが可能となる．

表１　富士山頂と太郎坊で採取したバイオエアロゾルの菌密度

Sampling site	Date	Total air (m^3)	Cell density (cells/m^3)
太郎坊	7/20-7/25	36	$4.0\pm3.7\times10^3$
	7/25-8/7	80	$2.5\pm0.1\times10^3$
	8/7-8/15	28	$9.4\pm1.4\times10^4$
	8/15-8/22	50	$9.9\pm6.5\times10^3$
山頂	7/25-7/30	28	$1.0\pm0.6\times10^4$
	7/30-8/7	69	$1.6\pm0.8\times10^4$
	8/7-8/15	84	$1.7\pm0.5\times10^4$
	8/15-8/22	79	$2.6\pm1.9\times10^3$

謝辞　本研究の一部は東京理科大学特定研究助成金共同研究助成（代表三浦和彦）の助成により行われた．

2008年度富士山測候所　研究報告書

氏　名	金谷有剛
所　属	海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター
共同研究者 （所　属）	秋元肇・竹谷文一 海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター

研究テーマ	PM2.5総重量と有機エアロゾルの揮発性、無機エアロゾルの濃度変動測定

・研究結果

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、太陽光を散乱させたり雲の生成に関わるなど、地球への放射に影響を与える。また、その成分は、すすなど光吸収性の高いものから、無機塩など透明で散乱のみに寄与する物質などさまざまであるため、エアロゾルの気候影響を見積もるには、成分ごとの濃度情報が必要である。しかしながら、自由対流圏ではこれらのデータが不足している。とくに有機エアロゾル濃度については知見が乏しく、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たが、その原因は未解明である。また、広域大気汚染の観点でも、大陸からの輸送や日本の都市からの輸送など、富士山頂でのエアロゾル濃度は複数の要因によって濃度が変動すると考えられるが、その寄与は十分に明らかになっていない。

そこで本研究では、富士山頂にて、PM2.5エアロゾル粒子総重量濃度と、フィルターサンプリングに基づいて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こと、またそれらの変動からエアロゾルの発生源、輸送、濃度変化を支配する要因を探ることを目標とした。PM2.5総重量濃度は光散乱法とベータ線吸収法を用いたハイブリッド型装置で観測した。その際、サンプル上流部にヒーティングシステムを採用することで、測定に対する湿度の影響を避けた。また、PM2.5サイクロン、フィルターパック、ポンプ、積算流量計からなる簡易低流量エアロゾルサンプラーを設置し、3日に一度石英フィルターを交換することで、エアロゾルフィルターサンプルを１４試料採取した。採取したエアロゾルフィルターについて、イオンクロマトグラフによる水溶イオン成分(硫酸塩、硝酸塩、アンモニウム、塩化物など)濃度の分析や熱分離・光学補正法によるECOC（元素状・有機炭素）分析を行い、総重量濃度と比較するとともに、支配成分を明らかにする。また、大陸や日本の都市からの輸送の観点で、濃度変動を解析する。

2008年度富士山測候所　研究報告書

氏　名	向井人史、野尻幸広、須永温子
所　属	独立行政法人国立環境研究所　地球環境研究センター
共同研究者 （所　属）	木下勝元、江頭毅、前田喜一郎（株式会社　紀本電子工業）

研究テーマ	観測環境が厳しい遠隔地における二酸化炭素観測システム

・ **研究結果**

本研究では、冬季に富士山では電源がない上に、低温になり、メンテナンスが困難であることを想定した上で、二酸化炭素観測を行うための装置開発を行っている。本年度は、夏の期間に限ってではあるが、測候所内での装置設置、建物内の配管やケーブルの引きまわし、大気採取口の設置、データ通信用アンテナの設置などを行い,夏の約一月以上電源を鉛蓄電で確保し装置を連続で稼動させることを行った。またこれと並行し、ガラスボトルでの大気サンプリングを行い、大気中の各種温室効果ガス濃度を分析し、現場分析された二酸化炭素濃度の値と比較を行った。

二酸化炭素分析装置は赤外線吸収法による小型の分析計(LI－840　LICOR)を基本に、圧力調整器や制御基盤などは耐低温性をチェックしたものを用いている。電源として１５個のシール型バッテリーを並列につないで電源とした。このバッテリーは１個１３kg の重さであるために、１５個で 195kg 近い重さのものを設置することとなった。

このシステムを 7 月 11 日から約一月半稼動させた。分析装置は一日 4 回自動的に立ち上がり、標準ガス３種、室内大気４回、外気４回の測定を行い約 1.5 時間で測定が止まるようなっている。測定観測して得られた計測データを富士山頂から ORBCOMM 衛星通信を利用しメールにて送信した。

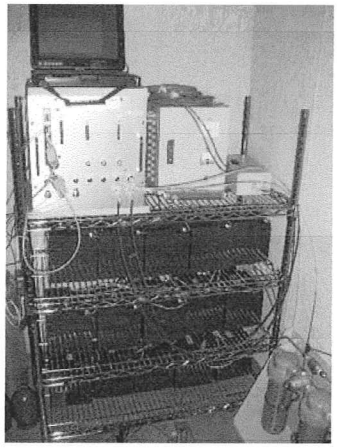


写真１，独立電源型二酸化炭素濃度自動測定装置

実験期間中電源システムは問題なく稼動し続け、大気の濃度測定データが得られた。山頂の悪天候により商用電源が切断されても支障がなくデータが取られたことにより、独立電源の利点があることが示された。しかし、悪天候もしくはシステム基盤の誤作動によりデータ通信ができなくなるなどの現象が見られたことにより、今後のシステムの改良を行う必要があることもわかった。

また、ガラスボトルサンプリングにより採取した大気を分析し、現場の二酸化炭素濃度測定装置のデータと比較した。その他 CH4 や CO などその他のガスについても分析した。

ガラスボトルサンプリングは夏期観測期間中計 16 回行い、計測時間は登山者やブルドーザーによる大気への影響を考慮し、二酸化炭素濃度測定装置の自動測定時間に重なるように配慮した。大気は 4.5L/分の小型ポンプで 10 分引いた。サンプリング日程は以下の通りである。

表 1,ガラスボトルサンプリング日程

Date	7/12	7/12	7/13	7/24	7/25	7/26	7/29	7/30
Time	16:49-	21:00-	4:13-	7:37-	7:18-	7:26-	7:30-	7:13-
Date	8/2	8/6	8/10	8/14	8/18	8/22	8/25	8/26
Time	10:00-	8:10-	81:51-	08:10-	10:40-	5:35-	17:15-	21:10:-

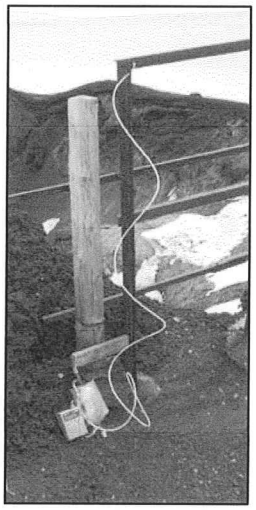


写真 2,山頂剣が峰北側でのサンプリング

富士山頂(北緯 35° 21′ 38.261″ 、東経 138° 43′ 38.151″)で得られた二酸化炭素濃度は 375－385ppm であり、国立環境研究所のモニタリングステーション(北海道落石岬（北緯 43° 9′ 34″ 、東経 145° 30′ 5″ ）と沖縄波照間島（北緯 24° 3′ 14″ 、東経 123° 48′ 39″ ）)で観測している二酸化炭素濃度のほぼ間に入っていた。このことから、富士山頂では人為的排出起源が多く存在する緯度帯にありながら、大気がよく混合されたバックグランドデータに近い値が観測可能なことが明らかとなり、観測点として継続的な計測を進めていく上で適切な地点であることが実証された。

通年観測をすることでこの緯度帯での大気中二酸化炭素濃度がどのように変化しているかを明らかにすることは、地域的規模での炭素収支を明らかにする一助となり、さらに小型で低温特性のある省エネルギー型の計測装置を完成させることで、同様の環境状況を持つ遠隔地への地域観測点の拡大に繋がるのではないかと期待される。

富士山頂におけるオゾン・一酸化炭素の測定

首都大学東京　都市環境学部　材料化学コース
○加藤俊吾，田続達也，梶井克純

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ず、汚染大気の長距離輸送の影響を観測することができると考えられる。そのため2008年夏季に富士山山頂にオゾン計および一酸化炭素計を設置し、連続観測を行なった。

一酸化炭素は燃焼の際に生じるため、汚染大気の指標となる。一酸化炭素濃度は 60ppb 程度と太平洋上の清浄な大気と同等なところがベースとなっているが、150ppb 程度の濃度に上昇する期間もみられ、予想より大きな濃度変動を示した。富士山頂においても汚染大気の影響を受けていることが分かるが、この汚染大気が関東などの近い地域から輸送されたものなのか、それとも長距離を輸送されてきたものなのかを判断するために、空気塊がどこから輸送されてきたのかをバックワードトラジェクトリーにより調べたが、大気汚染の発生源となる地域との対応関係は明確に見られなかった。そこで、全球化学気象モデル（MATCH-MPIC）と比較を行なったところ、良く実測値を再現できた。細かい排出インベントリーを含んでいない全球モデルと良い一致を示すことより、この濃度変動は近傍のものではなく、長距離輸送によるものであることが分かる。また、富士山山頂はモデル計算の妥当性評価に適した観測地点であることが分かった。

オゾンは汚染大気が光化学反応を起こすことで生成するため、汚染大気の影響を受けている時に一酸化炭素と一緒に濃度が高くなるはずである。おおよそオゾンと一酸化炭素の変動は連動しているが、オゾンだけ高濃度となる期間が見られた（8月1日、8月8日、8月22日など）。バックワードトラジェクトリーなどで傾向を調べたが、うまく説明が出来なかった。そこで水蒸気濃度のデータを用いて解析をしてみたところ、オゾンが高濃度で一酸化炭素が低濃度になる特異なものは水蒸気も低濃度となることが分かった。これは大気上部のオゾン濃度が高く水蒸気濃度が低い成層圏からの影響を受けていることを示唆している。

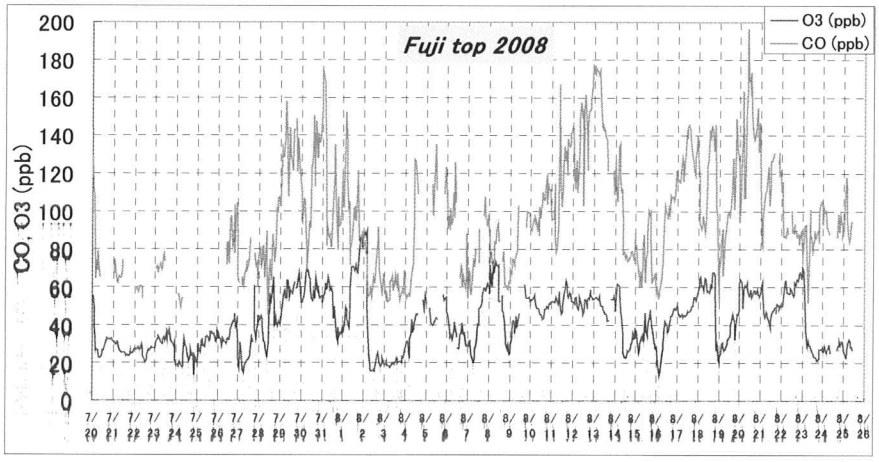


図　　富士山頂で観測されたオゾンと一酸化炭素濃度

高高度宇宙線被ばくのリアルタイム推定

Real-time Estimation of Cosmic Radiation Exposure at High Altitude

放射線医学総合研究所　保田浩志、矢島千秋
日本原子力研究開発機構　鳥居建男

放射線医学総合研究所では、2006年に放射線審議会が策定したガイドラインに沿って、本邦航空会社乗務員の被ばく管理を支援している。支援作業の主な内容は、粒子輸送モデルを用いた計算による線量の評価（アセスメント）である。しかし、大規模な太陽フレアが発生した時の線量の増加を計算だけで求めるのは未だ困難である。上空の線量率の急激な変化を評価するには、航空機の飛行高度にできるだけ近い位置で宇宙線を観測し、その強度変化を取り入れた計算を行うことが必要とされる。

そこで、我々のチームでは、日本で最も標高の高い（大気厚の薄い）富士山頂で宇宙線を観測し、得られたデータを外挿することによって航空機内（高度9～12km）での被ばく線量を正確かつリアルタイムに評価する技法について検討を開始した。今夏は、太陽フレアの発生時に被ばくをもたらす中性子に重点をおいた観測データの連続取得を主な狙いとした。

宇宙線の観測には、粒子弁別機能を持つ複合型シンチレーション検出器、小型のシンチレーション式中性子サーベイメータ、減速材付中性子測定器（レムカウンタ）、エネルギー拡張型レムカウンタ、電離箱式サーベイメータ、そして霧箱を使用した。これらの測定器には、それぞれ専用データロガーや高圧電源、ノートPC、通信機器、安定化電源（UPS）等を適宜接続して観測を行った。測定場所は、天井が薄いほど好ましいことから1号庁舎2階のスペースをお借りし、床面積がW70cm×D50cm、高さが45～90cmのラックを3台設けて装置を設置した（図1）。観測は平成20年7月11日より開始、8月6～7日に中間チェックとしてデータの取得状況を確認した後、8月25～27日の撤収時まで継続して行った。

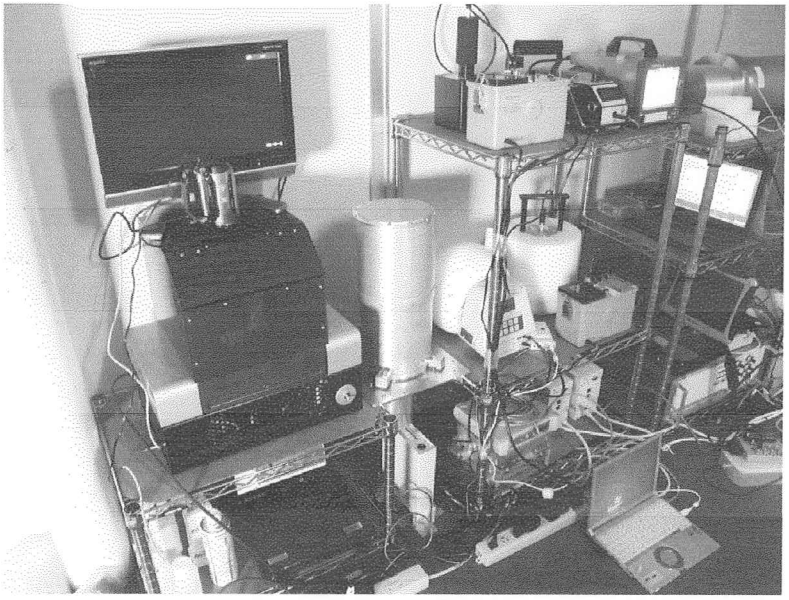


図1. 富士山測候所1号庁舎2階に設置した宇宙線観測用機器.

残念ながら、観測期間中に落雷の影響等で幾度か停電があったため、どの装置についてもデータの欠損が見られ、全期間の45日にわたって観測データを連

続取得することはできなかった。

欠損のなかった8月6～16日（約9日間）について、エネルギー拡張型のレムカウンタで得られた観測データを図 2 に示す。同機は宇宙線中性子の線量（1cm 周辺線量当量）を直読で実測することができる。得られた結果によれば、観測期間の平均線量率は約0.10μSv/hで、変動係数は8%と比較的安定していた。

一方、最新の大気中宇宙線強度を計算するモデル（PARMA/EXPACS）による予測では、2008 年 8 月の富士山頂における宇宙線中性子の線量率は 0.11μSv/h と計算された。この期間における太陽活動は安定しており、黒点もほとんど現われない静穏な状態が長く続いていた時期だったので、モデル計算による推定値は信頼性が高いと判断される。天井の遮蔽効果も加味すれば、モデル計算による予測値と上記のレムカウンタによる実測値との一致は非常に良いといえる。

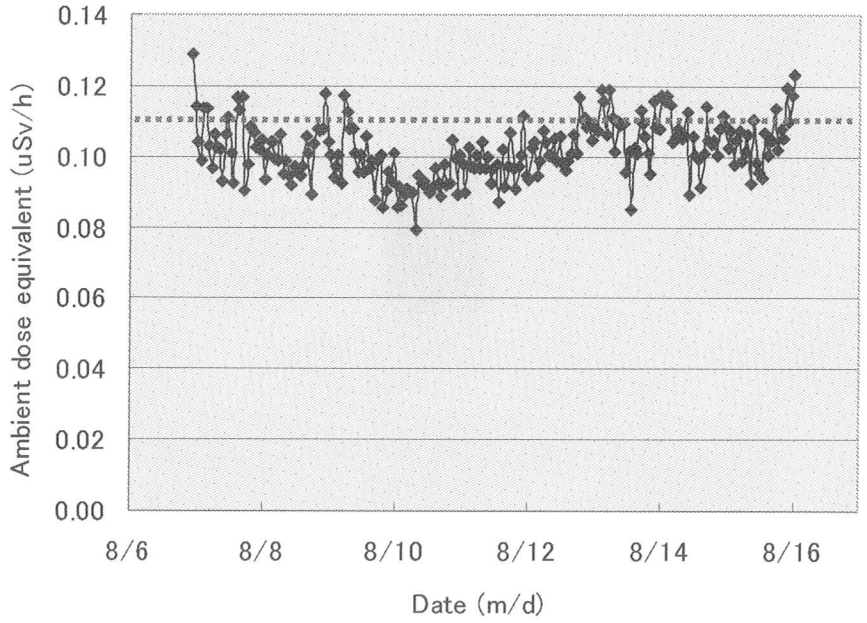


図 2. 富士山測候所 1 号庁舎 2 階においてエネルギー拡張型レムカウンタで得られた中性子線量率の時間変化；点線は数学モデルによる計算値.

本研究では、遠隔地でのリアルタイムデータ取得および雷活動に伴う高エネルギー放射線の発生が宇宙線観測にもたらす影響の定量化にも取り組んだ。どちらも来夏に持ち越す課題となったが、一定の進展は見られた。

今回の実験により、富士山測候所内において宇宙線線量率の連続モニタリングが可能であることが実証された。今後は、粒子弁別機能を持つ測定装置のデータ等について入念な解析を行うとともに、上空の線量を正確にリアルタイム推定するためのシステムの設計に取り組む。そして、来年度には、そのシステムの要となる、長距離無線 LAN を利用した通信を実現させたいと切望している。将来には日本人の宇宙線被ばくを監視する拠点を富士山頂に構築するべく、通年（冬季）連続観測の実現を目指したいと考えている。

富士山頂短期滞在時の自律神経応答と高山病への鍼施術効果に関する研究

浅野勝己[1]、内藤啓[2]

１．日本伝統医療科学大学院大学、２．統合医療研究科

１．目的

急性高山病の発症は、交感神経の機能亢進に起因することが明らかにされている。一方、鍼施術は副交感神経機能を亢進させるため、高山病への治療手段として介入し得る可能性が考えられる。そこで本研究は、昨年に引き続き富士山頂短期滞在時の自律神経応答と鍼施術の生理的影響について検討する。

２．方法

自律神経応答の測定：

被験者は成人男子３人であり、約２週間間隔で２回にわたり山頂で４－６日間のＥＣＧの第２誘導よりの心拍変動解析をＭｅｍＣａｌｃ　（ＧＭＳ社製）法により実施した。

鍼施術：

長座位姿勢にて鍼通電刺激法（１Ｈｚ，１５分間）を成人男子１２人について行い、同時に心拍、血圧、ＳｐO2の測定を行った。

被験者は１）２－３週間の山頂長期滞在者男子　３人（３０－４７歳)、

２）１－４日の短期滞在男子　４人（４９－７２歳)

３）短期滞在の体育大学生男子５人（２１－２３歳)

以上の３つの群に分けて測定した。

３．結　果および考　察

自律神経応答：

滞在時は交感神経系の亢進（　ＬＦ・ＨＦの上昇）および副交感神経系の抑制（　ＨＦの低下　）の傾向が認められた。

これらは、平地に比べ両神経系とも抑制される傾向を示した。

鍼刺激応答：

体育大学生において昨年と同様にＳｐO2の増加傾向が認められた。　しかし山頂滞在者および中高年者においては、鍼刺激時に明らかな変化は認められなかった。鍼施術にたいするＳｐＯ２反応に年齢特性があるものと考えられる。

富士山測候所を利用した短期間の高所トレーニングの効果

山本正嘉[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
yamamoto@nifs-k.ac.jp

最近，スポーツ選手の間で高所トレーニングが盛んに行われているが，国内ではそのフィールドに乏しいため，海外で行う選手が多い．また中高年を中心として，多くの登山者や旅行者が海外の高山や高地に出かけているが，高山病による事故も多発しており，国内での事前の高所順化トレーニングの必要性が指摘されている．

富士山頂は，このような人にとって高所トレーニングの場として利用できる可能性がある．そこで私たちは昨年から，富士山頂で短期間の滞在を行ったときに，どのようなトレーニングの効果があるかについて研究を行ってきた．測候所の宿泊には人数制限があるため，２年がかりで20歳代の健康な男性11名のデータを収集した．

被験者は，富士山の五合目から登山をし，山頂の測候所で２泊した後に下山した．そして，登山中や山頂滞在時における生理応答を測定するとともに，登山前後での体力の変化を測定した．

その結果，山頂での滞在中は，動脈血酸素飽和度が安静時でも80%台前半という低い値を示すこと，また運動時や睡眠時にはさらに低い60～70%台という値を示すなど，身体には強い低酸素負荷がかかっていることがわかった．また登山前後で，高度０mと4000mのレベルで運動負荷テストを行ったところ，登山後ではいくつかの生理指標に改善が起こっていた．

4000mに近い高度や，２泊３日という条件は，従来の高所トレーニングの常識（2000m前後の高度に数週間滞在して行う）から考えるとかなり異質である．しかしこのような場合でも，低地および高地での体力は改善し得ることが本研究から明らかとなった．

本研究の結果は，次のように応用できる可能性がある．

（１）ヒマラヤやアンデスなど，4000m以上の高地に登山，トレッキング，旅行などの目的で出かける人が増えている．富士山はこのような人たちにとって，高山病を予防するためのトレーニングの場となりうる．また高所環境に対する適性を判断するためのテストの場としても利用できる可能性がある．

（２）低地で競技を行うスポーツ選手の間で高所トレーニングが盛んに行われているが，日本にはそれに適する場所が少ないため，多くの時間と資金をかけて海外に出かけて行うことが普通である．しかし富士山を利用すると，数日間という短期間で，高所トレーニングの効果が得られる可能性がある．

富士山頂における睡眠時の無呼吸・低呼吸の評価および睡眠状態の簡易解析

井出里香（永寿総合病院）浅野勝己、内藤啓、高田忠典（日本伝統医療科学大学院大学）
山本正嘉（鹿屋体育大学）堀井昌子（神奈川県予防医学協会）増山　茂（了徳寺大学）

1.はじめに

高地の低酸素環境では、急性高山病（Acute Mountain Sickness）に伴う睡眠呼吸障害が知られている。これは睡眠中の周期性呼吸による中枢性睡眠時無呼吸によるもので、その重症度や順応の過程には個人差がある。今回、富士山頂における睡眠時の無呼吸・低呼吸と急性高山病との関連および睡眠状態について評価・検討を行なった。

2.　方法

ヘルシンキ宣言に従い、本研究に同意を得た健常者５名（男性４名、女性１名）を対象とした。Apnomonitor V（CHEST 社）を用いて平地および山頂における睡眠時無呼吸・低呼吸の評価を行なった。SpO2 センサー、気管音（いびき）モニター、胸部および腹部呼吸センサー、口・鼻呼吸センサーにて睡眠時の経時的モニターを行なった。急性高山病については、Lake Louise Acute Mountain Sickness Scoring System（以下 AMS score と略す）を用いて評価した。同時に Actiwatch(MINI MITTER 社)による睡眠状態の簡易解析も併せて行なった。

3.　結果

・被験者 5 名の富士山頂における睡眠時の動脈血酸素飽和度（SpO2）の平均値は 71%、平地での SpO2 の平均値は 97%であった。
・無呼吸低呼吸指数が高い場合、中枢性無呼吸が優位に認められた。
・富士山頂では、平地と比較して中途覚醒の時間・回数がともに増加して、睡眠効率が低下した。
・無呼吸低呼吸指数が低いと睡眠効率も比較的良好であったが、無呼吸低呼吸指数が高いのにもかかわらず、睡眠効率は 70%台に維持されていた。
・実質睡眠時間帯は SpO2 の推移も比較的安定しているが、体動やいびきなどにより SpO2 の変動も大きくなっている。SpO2 測定値の信頼性を評価する上で、アクテイウオッチによる睡眠状態の解析結果は参考になるものと考えられる。

4.　考察

・無呼吸低呼吸指数が高い場合、高地周期性呼吸を反映して中枢性無呼吸が優位に認められたものと考えられた。

この病因として、呼吸を刺激して換気を増加する低酸素と呼吸を抑制して換気を減らす低炭酸ガス血症および呼吸性アルカローシスが共存するためと推測される。

5. 結論

今回の研究では、アプノモニターとアクテイウオッチを組み合わせることにより、より客観的な評価が可能になるものと考えられた。

6. 参考文献

・Audrey Millar, Colin A. Espie, Jan Scott
The sleep of remitted bipolar outpatients: a controlled naturalistic study using actigraphy. Journal of Affective Disorders 80: 145-153, 2004

・安間文彦
高地周期性呼吸による中枢性睡眠時無呼吸
日本臨床６６巻, 増刊号２, 245-248, ２００８

・早川　梓、井上雄一、木村眞也、北村淳子、松浦雅人
閉塞性睡眠時無呼吸症候群スクリーニングにおける
在宅簡易型無呼吸計測装置の有用性について
自律神経４１巻, ６号, ５３７-５４６, ２００４

2008年度富士山測候所　研究報告書

氏　名	高山　守正
所　属	財団法人日本心臓血圧研究振興会附属榊原記念病院(循環器内科)[1]
共同研究者 （所　属）	中田　淳[2]、鶴見昌史[2]、三原裕[1]、斉藤清美[1]、小林義典[2]、高木郁代[3]、松崎つや子[4]、手塚晶人[5]、村松和美[6]、松本沙帆[7]、南井英弘[8]、宮本誠之[9]、高山瑤子[10] （所属　2：日本医科大学内科学(循環器内科)、3：鶴見大学歯学部附属病院内科、4：日本医科大学附属病院生理検査センター、5：日本医科大学山岳部学生、6：日本医科大学附属病院看護部、7：順天堂大学附属順天堂医院看護部、8:研究協力日本登山医学会会員、9：株式会社イノメディックス、10：NGOピースボート）

研究テーマ	低圧低酸素下での富士登山者における心機能と高山病発症の関与

［研究１：八合目高山病患者調査］

研究目的：山岳診療所を受診する高山病罹患者心エコー図を記録し、同一高所の健常登山者と比較して罹患者における心循環系の異常を明らかにする。

研究対象と方法：平成20年8月9日（土）に富士山を登り八合目大志館（3000m）にて宿泊する登山者で、特に体調不良で山岳診療所を受診する登山者、ならびに研究に協力する無症状の協力登山者を対象とした。質問表を用い急性高山病スコアおよびGE社製Vivid-iを用い心エコー図による循環系の評価を行った。

研究成績：急性高山病症状で受診した患者6例と健常登山者8例に心エコー図評価を実施した。患者は健常者に比べ肺動脈収縮期圧が有意に増加し（53.0+/-3.6mmHg vs 36.9 +/-5.2mmHg; p=0.001）、右室左室ともに有意なDeceleration Timeの延長を認めた（LV 188+/-58sec vs 118+/-57sec; p=0.05, RV 160+/- 55sec vs 89+/-40sec; p=0.02）。以上より、高山病罹患者ではより著明な肺高血圧と同時に、左室･右室に心室の拡張性障害が起こる可能性が示唆された。

［研究２：12誘導心電図の高所における変化］

研究目的：山頂（3776m）と平地との心電図所見を比較し低圧低酸素の影響を評価する。

研究対象と方法：14名の健常登山者にて登山前の平地ならびに山頂測候所にて標準12誘導を記録し、心電図所見の詳細を比較検討した。

研究成績：富士山頂における安静時の心電図は心拍数が61+/-12bpmから93+/-15bpmに有意に増加し（p<0.001）、SpO2は 81.2 +/- 4.8%と顕著に低下したが、明らかなST変化は見られなかった。P波の電気軸は有意に右軸方向に変わり（57+/-9° -> 68+/-18° ; p=0.03）、QRS軸も同様な傾向であり(62+/-25° -> 77+/-° ; p=0.1)、同時にV1 誘導のS波は減少傾向であった（0.9+/-0.3 -> 0.7+/-0.2; p=0.07）。以上より高所低酸素環境での心電図にて虚血性変化は現れないが、右心系の負荷が前面に現れる事が示唆された。

［研究３：低酸素環境における運動負荷心エコーによる心血行動態の評価］

研究目的：富士山頂の低圧低酸素環境が運動負荷時の心機能に与える影響を明らかにする。

研究対象と方法：富士山山頂測候所にて承諾の得られた健常登山者6名にダブルマスター2階段試験を行い施行前、直後、5分後にSpO2測定と伴にVivid-iを用い心エコー図による循環系の評価を行った。

研究成績：運動により直後に心拍数は85±15から94±18bpmに有意に増加したが、三尖弁逆流圧較差の負荷による変化は一定していなかった。しかし運動直後の左室･右室の拡張性は流入E/A比、e-primeが有意に改善し、低酸素環境にて認められた拡張性低下は運動に伴い回復した。

［研究４：高所での風船膨らまし法による酸素化効果の判定］

研究目的：富士山の登山者に対し古くから一般に行われる高山病に対する風船膨らまし法の効果を検証する。

研究対象と方法：富士山頂に登頂した登山者 30 名に質問表による背景調査とともに、事前に拡張に要する圧力が既知の風船を用い、10 秒に 1 回計 18 回/3 分間の風船拡張を行い、直前、以後 30 秒毎に 5 分後まで SpO2 と心拍数を記録した。

研究成績：風船膨らまし開始前に SpO2 は 80.9±6.8%から 3 分後には 91.0±5,3%に上昇し、終了後 5 分にても 84.8±7.1%と有意に高く維持された($p<0.01$)。風船膨らまし法は酸素飽和度の回復と短時間の維持に有用と考えられた。

2008年度富士山測候所　研究報告書

氏　名	増沢武弘
所　属	静岡大学理学部
共同研究者 （所　属）	藤井理行 （国立極地研究所）

研究テーマ	富士山の永久凍土

・研究結果

富士山頂では1976年から永久凍土の調査が行われている。本年度の調査は以下のとおりである。

1．富士山頂において永久凍土の存在および位置の調査を行った。過去に測定されている永久凍土の位置を、1998年に引き続き測定した。

2．標高2500mから山頂3776mまでの永久凍土の存在を測定した。データロガーを用い1年間の地温測定を行い、本年度回収作業を行っている。この調査は現在継続中である。

2008年度富士山測候所　研究報告書

氏　名	池田　敦
所　属	筑波大学 生命環境科学研究科
共同研究者 （所　属）	**共同研究者**：岩花　剛（北大）、田村　亨（産総研）、福井幸太郎（極地研）、渡邊達也（筑波大・院） **研究協力者**：北村裕規、西井稜子（筑波大・院）、原田鉱一郎（宮城大）、末吉哲雄（東大）、澤田結基（地質標本館）、斉藤和之（アラスカ大）、Andreas Kellerer-Pirklbauer（グラーツ大，オーストリア）

研究テーマ	富士山における永久凍土調査： 長期・大深度モニタリングへ向けての予察的研究

富士山の永久凍土（年間を通じて 0℃以下にある地盤）を、国際的な研究動向を踏まえて評価することを目指し、世界各地で凍土を研究してきた若手研究者が共同でそのモニタリングを開始した。研究初年度となる2008年度は、(1) 永久凍土に達する観測孔を山頂部に掘削し、地温と、それに関連する気象要素の連続観測を開始し、(2) 岩盤内の永久凍土分布を地中レーダー（GPR）を用いて推定できるかどうか試験した。

地温観測結果

2008年8月末と9月末に、山頂部の2ヵ所に深さ約3 mの地温観測孔を設置した。1本目は比較的平坦な面が広がる北西側の風衝地（地点1：標高3695 m）に、2本目は火口内に突き出る岩盤（虎岩）の付け根付近（地点2：標高3680 m）に掘削した。

地点1の掘削約1ヵ月後（9月26日）の地温プロファイルは、2.2 m以深が0.1℃で一定となっていた。その地温プロファイルからは、観測孔の2.2 m以深は掘削時の擾乱によって地温が0℃を上回っているが、観測孔周辺は同深度で融点にて凍結しているように思われた。観測された地温が永久凍土の存在限界付近にあるため、この地点での永久凍土の有無を厳密に判定するためには、2010年秋までの2年間のデータが必要だが、現段階でも深さ2.5 m付近より下方には融点に近い永久凍土が存在することが予想できた。一方、地点2の掘削11日後（10月9日）の地温プロファイルは、顕著な日変化が見られる表層を除き、全層が3℃を上回っており、その地点に永久凍土が存在しない可能性を示した。

GPR探査結果

山頂部の7ヵ所と南斜面の9ヵ所において、GPR探査を行った。南斜面では、標高2800～3700 m間のほぼ100 mおきに探査した。岩盤内の永久凍土分布を物理探査から明らかにした例はこれまでなく、今回の試みは先駆的であり、方法として確立しているものではない。液相と固相の水では、電磁波伝播速度に顕著な差があるため、地盤内の水分条件が十分であれば、電磁波伝播速度の高低から、地盤の凍結の有無を判別できると考えて試みた。

得られた電磁波伝播速度の鉛直分布パターンには、深度や地点間の標高差に応じた系統的な傾向は認められなかった。すなわち、永久凍土が存在しやすい深度や標高帯においてのみ高速度層が検出されるということはなかった。しかし、とくに地点2を含む山頂部の2ヵ所と、南斜面各地点の一部の深度では、電磁波伝播速度が一般的に永久凍土層が示すとされる値より遅く、対応する深度には凍土が存在しない可能性が示唆された。その探査結果と標高の上下関係のみから、南斜面には永久凍土がほとんど存在しないという解釈が予察的に導かれた。

まとめと次年度の課題

山頂の年平均気温（約–6℃）から予想されるよりも観測された地温が高かったことや、場所によっては電磁波電波速度が遅いことから、山頂部でも部分的に永久凍土が存在しないことが推定された。その結果から、富士山の永久凍土を論じるには、大気側の低温条件だけでなく、地盤側の高温条件（火山性地熱）も考慮しなければならないと予想された。ただし現段階で提示した結果は、地温と気象要素の通年記録が得られたのちに再評価すべき予察的なものである。また、現有の掘削機器のみでは、観測地点の増設がほぼ不可能であったため、次年度は掘削システムを更新して、永久凍土が地表付近に存在する可能性が最も高い北斜面も含め、多地点で表層地温を同時観測できるようにする。その結果を踏まえ、GPR探査の結果も改めて検討する。

事務局注：この研究における地温観測孔の掘削・気象要素の観測塔の設置等は関係官署の許可を得て行われています。

中学生の富士登山

堀井昌子 1,4　　山本宗彦 2　　増山　茂 3,4

1財）神奈川県予防医学協会　2川口市立仲町中学校　3了徳寺大学健康科学部

4　NPO「富士山測候所を活用する会」教育・登山委員会

horii@beige.ocn.ne.jp

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、さまざま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。今回我々は、富士山を自然体験の場とするとともに、環境教育、科学教育もあわせおこなうことにより青少年の健全育成を図ることを目的とする中学生の富士山登山を計画した。

2．目的

富士山に登るという行為を通して次のことを学び、かつ会得する。

①　自然の素晴らしさ、大きさ、怖さなどを体感させる

②　小さな一歩の積み重ねが登頂という大きな結果を生む努力の大切さを学び、理想を実現する喜びを実感する

③　チームで登ることで仲間意識、協力し合う心を育てる

3．登山計画

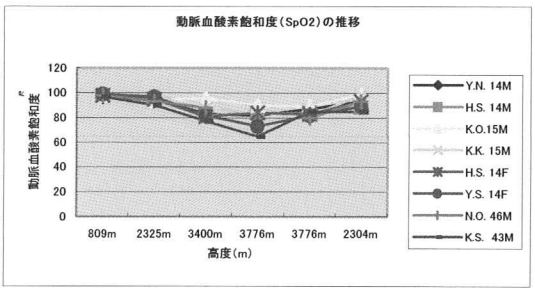
参加者は川口市立仲町中学校山本教諭の呼びかけに応じた3年生6名（男4、女2）およびその保護者（父）2名、引率側は教諭、文部科学省登山研修所指導者、当NPO登山・教育委員会委員（医師2名）の計12名、登山計画は1日目は富士吉田にて合流し馬返しより登高を開始、5合目周辺の小屋にて宿泊、2日目は山頂に至り宿泊、3日目はお鉢周りの後に下山という行動予定とした。

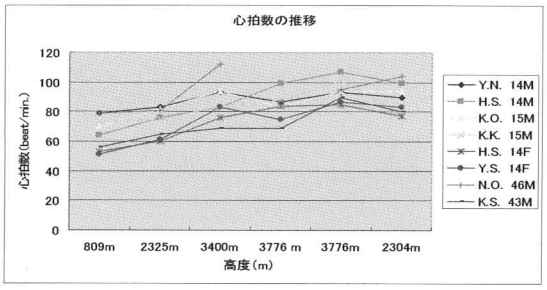
本登山の安全対策として以下のことをおこなった。①生徒は運動部に所属し運動能力には問題ないようであるが登山の経験がないため、山本教諭が埼玉県内において事前に日帰り登山を計画し実施した。②高度順応のために1,450mの馬返しから歩き始めて五合目～山頂を目指すというコースを選んだ。③堀井は生徒の健康診断情報を口頭にて収集し登山に対してマイナス要因がないと思われることを確認した。④体調管理の目的で登山中のSpO2、HRの測定、AMSスコアのチェックなどをおこなった。⑤医師が下山の必要ありと判断した場合は文部科学省の指導者が背負って下山することも可能な体制をとった。⑥父親の参加は拠りどころとしての意義を期待した。

4．結果

登山を実施した2008年8月23-25日の天候は全般に不良で、登頂した24日は終日雨、上部は時に強い風を伴うという悪条件であったが、幸い落伍者もなく、全員が揃って測候所に到着した。

3 日間に測定した動脈血酸素飽和度（SpO2）および心拍数（HR）の推移をグラ





フに示す。SpO2 が山頂（8/24）で 65%、73%と低値を示した者も翌 8/25 には同じく山頂で 85%、82%と改善して、いずれも軽い頭痛を訴えたのみであった。
一方、急性高山病症状を呈した生徒の AMS スコアは 9 ポイント（山頂、8/25）であったが、下山中に症状は軽減し 2 ポイント（2304m、8/25）となった。SpO2 は 84%（8/24）、89%（8/25）と良好であったため、山頂では対症的に投薬をおこなうにとどめた。なお、8/25 山頂における AMS スコアは 4 名において 1~3 ポイントで、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。

５．考察

長野県のほとんどの中学生は 3,000 メートル級集団登山を経験するという。しかし富士山については中学生が集団で登山したという記録は見当たらない。今回の登山で少数ながら 6 名の中学生全員が登頂したことは評価される。

交通機関の発展により家族旅行で海外の高所旅行やハイキングに出かけるケースが増えている。日本の北アルプスなどの夏山診療所における診療経験でも家族とともに登山をする小児・生徒は少なからずおり、大人と同様に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。小児の場合、症状を訴えることが難しく、また外気温の激しい変化に対応することが難しい場合もあるようであるが、今回のケースでは年齢、体格的にこれらを考慮する必要はないと考えられた。

限られた時間ではあったが、参加者には登山中に折に触れて測候所の歴史について話をした。また、測候所では所内を見学することができ、さらに「富士山学校　科学講座」を聴講する機会を得た。これらのことは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になるものと確信する。

最後に山頂班の方のご協力に心から深甚の謝意を表します。

＜文献＞

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.,et al.,Children at high altitude: High Alt Med Bio,2001.2(3): p389-403.

平成21年度の観測に向けて

土器屋由紀子（江戸川大学、NPO法人「富士山測候所を活用する会」副理事長）

気象庁から施設を借用して富士山頂の夏季観測を行って3年目になる。2007年は5月の気象庁の公示から、7月に観測開始するまで、短期間に設営と研究計画の全てを行い、安全第一、「やってみる」ことが主目的であった。2008年は、2007年の「設営」の成功を受けて、多くの期待が膨らんだ。夏季の設営はJAMSTEC(海洋研究開発機構)との共同研究、国立環境研究所の委託研究などによる資金を中心に行なわれ「富士山でなければできない研究」のための研究公募も行なった。しかし、雪害による電柱の破損、許認可の問題などで、スタートから躓き、実施できなかったものもあったが、「安全」な設営は保たれ成果を上げている。

2009年は、今回の3年契約による「借用期間」の最後に当たる。来年度以降の借用に向けて、実績が問われる期間であり、限られた 2 ヶ月の間に出来るだけ成果が要求されている。今年も研究公募を行なっているが、現在・観測研究、登山・教育・通信分野に多数の応募が集まっている。

NPO法人が施設を借用・活用している事による新しい成果として、多くの分野の研究が可能になったことがある。特に高所医学分野では、低酸素、低気圧条件の心肺機能への影響や、高所トレーニングなど多彩な研究が行なわれ成果を上げている。また、宇宙線の測定や永久凍土の研究も測候所利用の新しい成果であり、2009年夏季にも多くの研究計画があり、更なる発展が期待されている。

大気化学分野では、2008年7月より、新技術振興渡辺記念会の委託事業「富士山頂における越境オキシダント監視システム構築に関する研究」が 3 年を予定してスタートした。JAMSTC、国立環境研の継続と合わせて、多くの結果が期待できる。今年3月からはPD(博士研究院)を採用し、観測システム及びネットワーク構築を充実させる予定である。一方、越境大気汚染研究の最も重要な冬季から春季へかけての観測がまだ行われていない現実がある。しかし、気象庁が管理運営していた2004年以前のように管理運営するにはNPOの力では財政的に困難である。

遠隔操作、自動観測に関しては鋭意検討中であり、国立環境権の仕事を皮切りに今年度から予備的な無人観測も検討予定である。富士山頂の維持で有人観測が欠かせないのは、被雷時の電源の切り替えが大きいが、代替電源などに関しても調査研究を発展させ、モデル実験を検討中である。

また、東アジアのネットワーク観測の研究も今年度からスタートした。図 1 にネットワークの概念図を示す。リアルタイムのデータ通信を行なうためには無線LANの検討を放射線科学の分野とも協力して行なっている。

このネットワーク観測との関連で、2008 年夏に富士山頂で行なった台湾中央大学 G.R.

Sheu 教授らの観測データを、教授並びに共同研究者、滋賀県立大学・長淵修教授の許可を得てご紹介する。

石炭燃焼のよい指標となる大気中の水銀濃度は、8 月中旬の観測期間について、平均 1.44 ±0.49ngm^{-3}（台湾 Lulin 山 1.63±0.24ngm^{-3}）とやや低めであるが、Lulin 山の大気がこの間殆ど南風であった事に比べて富士山頂の大気は多方面から来ており、変動も激しいことがわかり、富士山の測定値の方が発生源予測に適していると思われる。今後、石炭燃焼が最も問題になる冬季の観測が是非必要である。

このような、ネットワーク観測で比較することによる利益は非常に大きく、今年度はネパールやハワイを加えたネットワークを予定しており、更なる研究の発展が期待できる。

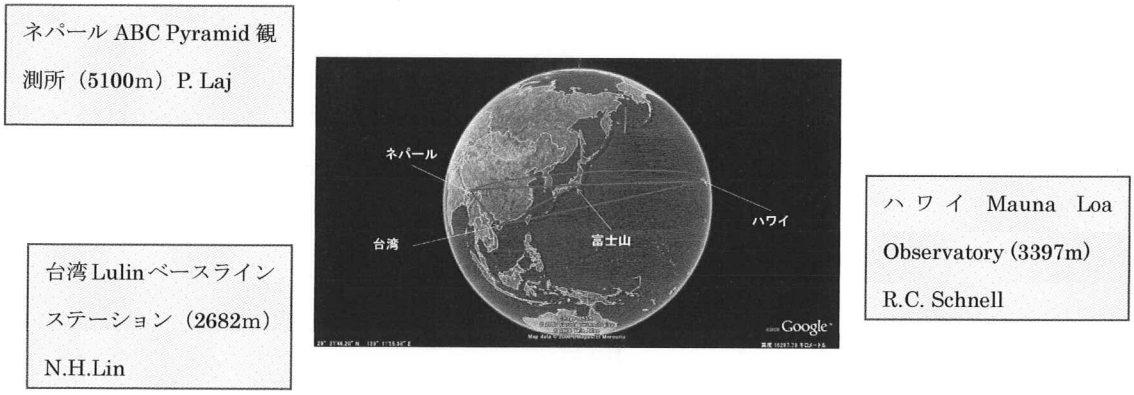


図 1　富士山（3776m）とのネットワーク観測網

2009 年の夏季観測に向けて、これまでの経験を踏まえて十分な準備を整え、3 年間の集大成となる成果をだせるように頑張りたいと考えている。そして、それを基に次の契約へとつなげてゆくのが希望である。