

## 2005年度秋季大会・スペシャルセッション

## 「高所山岳を利用した大気科学の展望：富士山頂を観測拠点に」報告

岩坂泰信\*・土器屋由紀子\*\*

## 1. はじめに

大気質量の70%を占める自由対流圏の観測研究は、主として、航空機を利用するものである。しかし、航空機は好気象条件下でしか利用できず、また、連続測定には適していない。その補完として高所山岳の利用が目ざされている。富士山頂は、オゾン濃度の日変化やエアロゾルの化学成分濃度などから、年間を通して自由対流圏の条件を満たすと考えられている。2004年10月に無人化された富士山測候所跡地の有効利用の一環として、「極地高所研究」の拠点として、大気化学のみならず、雪氷学、雲物理学、大気電気学、生気象学など気象学全般にわたる研究を含め、また世界の山岳研究と連携しネットワーク観測を構築することも視野に入れた議論の遂行が急務であると考えて計画したセッションである。主催者の予想を上回る多くの参加者(120名以上)を得て活発な討論が行なわれ、この分野の観測研究に対する期待感と熱気を感じさせられた。

岩坂泰信：富士山測候所が無人化されて2年目を迎えている。このまま取り潰すのはあまりにももったいない。そう考える研究者たちで「富士山測候所を活用する会」というNPOが近く立ち上がることになっている。このセッションは山岳が気象分野に如何に有効に使えるかを主に気象学的見地から議論するものであるが、気象学にかかわりのある他分野からの成果や展望に関しても取り上げた。前半は富士山を実際に使った研究成果(座長：岩坂)、後半は他

の山や新しい分野についての研究成果(座長：土器屋)を取り上げている。

## 2. 研究発表

## 2.1 富士山頂における二酸化炭素濃度の観測

中澤高清(東北大学大学院理学研究科)

われわれは、25年以上前の1970年代後半からCO<sub>2</sub>のベースライン観測を行ってきた。その一環として、東アジアを代表する変動が観測できると期待し、富士山において、1980年10月にグラブサンプリング法により、また1981年7～10月には赤外分析計を用いた連続計測法によりCO<sub>2</sub>濃度の測定を実施した。その当時はほんの一部の研究者しかCO<sub>2</sub>に興味を持っておらず、大気中濃度の観測もハワイのマウナロアなど世界の十数地点で行われていたに過ぎない。アジアは全くの観測空白域といった状況であった。2年にわたって富士山頂で行った観測の結果を詳細に検討したところ、CO<sub>2</sub>濃度の日変動はほとんど見られなかった。代表的なCO<sub>2</sub>観測として広く知られているマウナロアでも、斜面上昇流と下降流によって日変動が観測されるため、CO<sub>2</sub>濃度の変動を論ずる際、全てのデータを使っているわけではない。したがって、富士山で日変動が検出されないということは、ベースライン観測にとって極めて好都合ということになる。同時に実施した航空機観測から得られたデータとの比較も行い、両者がよく一致することを見出した。この一致は、富士山頂が少なくとも日本上空の対流圏中部の変動をよく表現していることを意味している。また、特に夏季に明瞭なCO<sub>2</sub>濃度の不規則変動が観測され、トラジェクトリー解析を行ってその原因を調べたところ、輸送されてくる空気塊の起源の違いによるものであることが判明した。観測が重なった期間のCO<sub>2</sub>濃度を比較したところ、他の

\* 金沢大学自然計測応用研究センター。

\*\* 江戸川大学社会学部。

© 2006 日本気象学会

系統的観測から得られた濃度の経年増加とほぼ一致した差が検出された。

**Q**：航空機観測に比べて富士山頂の濃度変動幅が大きいのは？

**A**：航空機観測の結果は、ある時間における限られた数のサンプルの平均であるが、富士山頂の観測は連続計測であり、航空機観測が行われた日の結果を全て平均しているので、変動の幅が大きくなっている。

## 2.2 富士山における気圧と気温の日変化

岩井邦中（信州大学教育学部）

1991～2002年のデータを用いて調和解析、1日、半日、1/3日周期の年変化を明らかにした。大気潮汐に起因する半日周期の変動などは他の地域とかなり違うように見える。

**Q**：山頂の気象データは来年以降採られない可能性があるが、本当に不要か？

**A**：山の観測データとして継続して欲しい。どんどん観測が中止されるのは困る。

## 2.3 富士山頂で観測された SO<sub>2</sub>

五十嵐康人，澤 庸介（気象研究所）

吉岡勝廣（島根県）

高橋 宙，松枝秀和（気象研究所）

土器屋由紀子（江戸川大学）

自由対流圏の SO<sub>2</sub>濃度の連続観測はほとんど行われていない。富士山頂で2002年9月から2004年7月まで測定を行った。SO<sub>2</sub>濃度変動の特徴は極く低濃度レベル（BG）と、対照的なイベント的な高濃度事象であり、冬季に顕著であった。夏季にはこうしたイベントはなかった。この他、三宅島噴煙の影響についても検討した。2004年4、5月のデータについて、ラドンやCO濃度、風系、湿度などとの比較検討を行い、気塊の相対湿度や雲過程がSO<sub>2</sub>の除去に関与していることを明らかにした。

**Q**：SO<sub>2</sub>の季節変動は発生源の季節変動ではないか？

**A**：COの発生源季節変動はSO<sub>2</sub>の発生源季節変動より大きい。富士山での濃度変動は小さい。従って、湿度のほうが効いていると考えられる。

**Q**：冬のH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度から考えると十分酸化出来ないのではないか？

**A**：その可能性は否定できない。今後検討が必要である。

**Q**：笠雲、吊るし雲などに見られるように孤立山頂付近には独特の気流系が存在している。その影響は考慮されているか？

**A**：その点は、まだ調べていない。

## 2.4 富士山頂と山麓（海拔1300 m）における black carbon (BC) エアロゾルの同時観測

兼保直樹（産業技術総合研究所）

五十嵐康人（気象研究所）

小林 拓（山梨大学）

2005年7月12日～8月22日の期間、山頂と太郎坊においてBC濃度の連続観測を行った。山頂のBC濃度は太郎坊の1/10～1/3程度で、夜間の10 ngm<sup>-3</sup>程度をベースに日中に200 ngm<sup>-3</sup>程度に増加する日周変化を示している。太郎坊は谷風の影響下にあるが、山頂は少しフェーズがずれて同期する。夏は山頂でもローカルな汚染を考慮しなければならない。

**Q**：光吸収を測定する上で、フィルター上に捕集された粒子による多重散乱で吸収が enhance される効果を考慮する必要はないのか。

**A**：その必要はある。測器メーカーとしては考慮しているといっているが、こちらでも検討している。

**Q**：自由対流圏のエアロゾル中の光吸収成分には、バイオマス燃焼起源の粒子の寄与はないのか。

**A**：その可能性は十分ある。シベリア森林火災煙を捕集した際の吸収係数スペクトルと、今回取得した夏のデータの夜間清浄時のその傾き（吸収係数のオングストローム指数）は近い。

## 2.5 富士山で観測された大気中の硫化カルボニルの鉛直分布—2002～2005年

加藤広海，宮地和歌，

片山葉子（東京農工大学大学院農学教育部）

五十嵐康人（気象研究所）

土器屋由紀子（江戸川大学）

硫化カルボニル（COS）の鉛直分布をしらべるため、山頂（3776 m）、7合8勺（3255 m）、富士宮5合目駐車場（2400 m）、太郎坊（1300 m）で4時間ごとに24時間、同時にサンプルを採取し、農工大学へ持ち帰りガスクロマトグラフィーでCOS濃度を測定した。2003年、2004年のデータと比較したところ、植物限界よりも上の7合8勺および山頂では常に高い濃度を示した。

**Q**：乗鞍のCOS濃度は気団によって傾向があったと

記憶している。富士山でもぜひ連続観測してほしい。年によってCOS濃度がずいぶん違うが、測定に問題はないのか？

**Q**：COSは吸着性が強いが、セプタムやスタンダードなど測定の部分は大丈夫か？他の成分も調べているか

**A**：スタンダードはすべて同じもの。各高度における相対的なCOS濃度の関係には大きな変化は無いと考えている。しかしより正確な絶対値を得るうえで、今後はこれまで以上に吸着性やセプタム等に注意をはらいたい。他の大気成分との相関も今後考えていきたい。

## 2.6 富士山麓で観測したエアロゾルの鉛直分布

三浦和彦（東京理科大学理学部）

兼保直樹（産業技術総合研究所）

小林 拓（山梨大学）

五十嵐康人（気象研究所）

2005年7月13～19日に太郎坊で係留気球をあげ、搭載したOPC KR12でエアロゾルの観測を行った。また、ポータブルCPCを用いて、宝永山(南斜面, 2600 m)火口を歩いて観測した。この観測で下層からの汚染質の移流を捕らえた。

**Q**：拡散ドライヤーを用いているが、新粒子が蒸発しないか。粒子損失はどうか。

**A**：粒子損失は拡散ドライヤーの前後で同時に測定し、10%未満であることはおさえてある。

**Q**：雲内の粒子の粒径分布の変化でバジェットは採れているか。

**A**：雲内の粒径分布の値が高くなっているのは、成長したために右にシフトしたためである。

**Q**：どうして濃度の低い自由対流圏で新粒子を観測するのか。

**A**：海洋大気では極域を除く大気境界層内で新粒子を計測した例は少なく、その例も上空の自由対流圏で生成した粒子が下降した可能性が高いといえる。富士山頂では既存粒子が少ない自由対流圏の空気が頻繁に見られるため連続観測が行えれば、そのようなイベントをたやすく観測できる。

休憩：後半

土器屋由紀子：前半は実際に富士山を使った研究を発表していただいたが、後半は他の山の研究、また山以外で行なわれている観測を富士山で行いたいとい

う提案、そして雪氷学の分野からの報告などをお願いする。

## 2.7 黄砂飛来時の非水溶性粒子の粒径分布および吸収特性

小林 拓, 吉村英俊（山梨大学）

荒生公雄（長崎大学）

村山利幸（東京海洋大学）

五百旗頭健吾, 古賀隆治（岡山大学）

塩原匡貴（国立極地研究所）

植物プランクトンや血球の測定に用いられるコーラー原理を応用して、エアロゾルの非水溶性粒子の粒径分布を、長崎、岡山、甲府および東京で測定し、黄砂の動きを明らかにした。移流の過程で、粒径分布が変動することが明らかになった。今後富士山で利用できる装置を開発中である。

コメント：発生源により飛来する黄砂層の高度が違う。

**Q**：フィルターからの抽出時における粒子の凝集、分解の影響はどの程度か？

**A**：現在、検討中である。

## 2.8 大気境界層の上端における粒子生成

西田千春, 長田和雄,

松永捷司（名古屋大学大学院環境研究所）

岩坂泰信（金沢大学・自然計測応用研究センター）

2002年8～9月に乗鞍岳2770 mの東大宇宙線観測所で、粒径9～300 nmの大気エアロゾル粒子の粒径別個数濃度の連続観測を行った。44日間の観測日のうち、境界層の上端に相当する層で粒子生成が観測された日は2例あった。いずれも、北海道の東海上に中心を持つ低気圧があり、中部山岳地域では北西風が吹いていた。また、上層に乾いた冷たい空気が入っていた。

**Q**：均一核生成によって生成されたばかりの粒子は、粒径1 nm程度と考えられるが、粒径約10 nmの粒子が多く観測されたことをもって新粒子生成と結論したのはなぜか？

**A**：均一核生成のあと、凝集や凝結によって成長した粒子を観測したと考えられる。

## 2.9 夏季～秋季の日光白根山におけるオゾンの観測（2002年と2004年の比較）

畠山史郎, 高見昭憲（国立環境研究所）

片平菊野, 高山 悟,

北 和之（茨城大学理学部）

奥日光の山岳域、標高2320 m に観測小屋を設置し、7～10月、無人でオゾン濃度を連続的に観測した。60 ppb を越える高濃度事象について、後方流跡線などをしらべた結果、日光でも気象条件によってアジアのバックグランドオゾンが観測される事が明らかになった。しかし、2004年の観測では、2002年のような日変化の小さい変動パターンは見られず、大陸からの気塊が届いていなかったと見られる。

**Q**：夏季には夕方にも高くなる日変化がみられたのに対し、秋季にはみられなくなったのは、夏季と秋季の輸送過程の違いで説明されていたが、秋季には、輸送過程だけでなく、日射量低下によるオゾンの光化学生成が弱まる効果もあるのではないかと？

**A**：奥日光の麓のオゾンデータを示すが、秋季にも充分光化学生成が起こっている。日中の最高値は、白根山の日中のオゾン濃度よりも高かった。夏季と秋季の日変化の違いは輸送過程の違いによるものと考えられる。

## 2.10 高山域の積雪から大気環境情報を読み解く

鈴木啓助，田中基樹，宮島涼子（信州大学理学部）  
雪は融雪が始まるまでの環境情報を保持していると考えられる。八方尾根，西穂高岳，御岳，木曾駒が岳，縞枯山において、2004年2～3月にかけて、積雪ピットの化学成分調査を行なった。イオンバランスはほとんど全ての試料で1に近い値を示した。電導度とpHはほとんど逆相関を示したが、例外もあり、それは、黄砂の影響を受けたものであり、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度も高かった。

**Q**：積雪の時間軸は

**A**：降雪量（降水量）やよごれ層の位置などから決めている。

**Q**：立山で名古屋大学の長田さんたちが鉛の同位体などを使ってやっていないか？

**A**：自動積雪深計がピットの近くにあれば時間軸を決めるのに役立つ。

**Q**：富士山との関係で今後の研究計画はあるか

**A**：関連する記録があればあるほど良い。ぜひ観測をお願いしたい。

## 3. 総合討論（司会：土器屋由紀子）

司会：本日のスペシャルセッションは大変活発な討論が行われた。残り時間が少ないが、総合討論を行いたい。最初の全体のまとめを岩坂先生からお願い

する。

岩坂泰信：大気科学に軸足を置いてこのセッションを企画した。長期変動に関する枠組み作りからはじめる必要がある。これまで「山は航空機観測の補完」と考える向きが多かった。航空機は天気の良いときしか飛べない。今まで自由対流圏のデータとして使ってきたのはそのようなデータである。それでよいのか。この反省が高山の利用を構想するきっかけになった。富士山頂は自由対流圏の観測地点として非常に優れている。さらには、今回の発表は飛行機観測の補完物以上の存在であることを暗示していた。電源もあり、まだ使える施設が残っている。衛星観測で天気予報に不要になったからといって取り潰すなどということは、言語道断である。

司会：中澤先生には無理をお願いして古いデータについて発表をしていただいたが、提示された問題は決して古くないと感じた。今後の富士山利用についてご意見を伺いたい。

中澤高浩：富士山頂はバックグランド測定の良い観測地点であると思う。1980年から $\text{CO}_2$ の測定を続けていれば今頃世界的に有用な結果が出ていたと思う。そういう意味で惜しかった。日本の研究者にその辺の見通しがなかった。

司会：山の観測について昔からやってこられた東大・気候システム研究センターの中島先生にコメントをいただきたい。

中島映至：それなりに面白いことが分かっているという発表を沢山聞いたが、今ひとつ、地球物理学の根本をついた迫りに欠ける。気象庁がやめるといっているのもその辺にあるのではないかと。衛星とモデリングに対応できるような問題意識が必要。「何で富士山でやらなければならないか」という説得力に欠ける。反対する人の立場に立ってその論理を切り崩すような問題の立て方も必要ではないか。

司会：大変有難いご批判である。仲間内で「よい場所だから存続させたい」といっているだけでは発展がない。「なにくそ」と思わせるような刺激を頂けたと思う。そこで、使っている側からの反論として、まず気象研究所の五十嵐さんから……

五十嵐康人：富士山1つだけでは確かに迫りに欠けるかもしれない。また、現実には予算やマンパワーなどでどうしても制約があって、これまでに実現できたことは少ないという事をお断りしたい。しかし、欧米では既にしっかりした山の観測網があるし、ア

ジア域を含め山のネットワーク観測として実現させることで迫力を出して行きたい。

司 会：若手研究者のご意見を聞きたい。飛行機観測をやっておられる立場から、金沢大学の松木さん。

松木 篤：飛行機観測の立場からみても、連続測定のできる山岳は有効である。

司 会：昨日の講演の中でも富士山の利用に触れて話された富山大学の青木さん。

青木一真：今後、エアロゾル粒子の放射強制力、雲量、降水量などの関係も含めて、富士山の観測をぜひやってみたいと考えている。

司 会：まだまだ沢山のご意見があると思うが、時間が迫ってしまった。最後に、気象学会理事長の廣田先生から一言。

廣田 勇：中谷宇吉郎先生の言葉に「熱帯の砂漠で雪

の研究をやろうとしても出来るものではない」というのがあったことを思い出した。気象学は世界共通の普遍性があるとは言っても、テーマによってはそれに適した立地条件が確かに存在する。私自身はフィールド観測の経験に乏しいが、信楽のMUレーダーやスマトラの赤道レーダーに関与してこのことを強く確信している。富士山測候所に関しては、そこでしか出来ない観測、そこで測ったからこそ初めて見えてきた大気現象特性、というものが必ずあるはずだ。この点をより積極的にアピールしてもらいたい。気象学会全体としてこの方向性をサポートして行きたい。

司 会：有難いご提案を感謝する。今後、測候所跡の有効利用できるよう活動してゆきたい。