

平成19年度
富士山測候所夏季 研究・観測発表会
講演予稿集



撮影：山頂班

日時：平成20年1月27日(日) 10:00~17:30
場所：東京大学 理学部 小柴ホール
主催：NPO法人「富士山測候所を活用する会」

平成19年度 富士山測候所夏季研究・観測発表会プログラム

日 時：平成20年1月27日（日）10:00～17:30（受付：9:30、開場：9:45）

場 所：東京大学・小柴ホール

10:00 開会挨拶 浅野勝己理事長 <予稿ペー
ジ>

10:05-10:30 土器屋由紀子副理事長「NPOによる富士山測候所の一部借用・維持管理
と越境大気汚染観測」 <5>

座長：畠山史郎（東京農工大学）

10:30-11:00 保田浩志（放射線医学研究所）「高高度宇宙線被ばくの連続自動モニタ
リング」 <5>

11:00-11:30 五十嵐康人（気象研究所）「富士山山体を観測タワーとしたエアロゾル
の諸特性の鉛直観測研究」 <6>

11:30-12:00 野尻幸宏（国立環境研究所）「観測環境が厳しい遠隔地におけるCO₂観測シス
テム」 <7>

一 昼 食

座長：堀井昌子（神奈川県予防医学協会）

13:00-13:30 山本正嘉（鹿屋体育大学）「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」 <10>

13:30-14:00 井出里香（永寿総合病院）「富士山頂での高所医学研究」 <11>

14:00-14:30 浅野勝己（日本伝統医療科学大学院）「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」 <13>

14:30-15:00 高山守正（日本医科大学）「富士山頂の健常登山者にみられる肺高血圧
と低酸素血症の関係」 <14>

— 休憩 —

座長 片山葉子（東京農工大学）

15：30-16：00 増沢武弘（静岡大学）「富士山の永久凍土」 <15>

16：00-17：30 司会・渡辺豊博事務局長 パネルディスカッション「2008年度の観測
に向けて」

17：30 閉会挨拶 土器屋副理事長

NPOによる富士山測候所一部の借用・維持管理と越境大気汚染観測

土器屋由紀子

NPO 法人「富士山測候所を活用する会」

(江戸川大学、社会学部)

dokiya@edogawa-u.ac.jp

1. はじめに

わが国は、工業化が著しいアジア大陸の風下にあり、越境汚染の危機に直面している。年間を通してほぼ自由対流圏の状態を満足する富士山頂はその観測に最適な地点であるため、我々はその有効利用を迫及してきたが、2007年7月10日～9月5日の間、富士山頂・測候所庁舎の一部を借用・維持管理し、大気汚染の観測を行った。その経緯とNPO-JAMSTC（海洋研究開発機構）共同研究による観測研究の一端をご紹介します。

2. 設営について

(1) 事前調査および作業

7月10日の開所に向けて(1)庁舎の状況(2)電源と雷対策(3)飲料水および雑用水(4)管理運営体制(5)通信手段などについて事前調査を行い、それに対応して開所へ向けての準備作業を行った。主要なものを示すと次のようになる。

6月1日山頂班との契約（元測候所非常勤職員を中心に登山家7名）、6月25-7月1日、登山用品、山頂生活物資、事務用品など購入、パソコン部品ほか調達、山頂の通信システム構築、事前調査登山、東京管区気象台職員と打ち合わせ。6月28日-7月5日 電源関係の鍵の借用 開所、外部周辺、施設点検、破損部確認後、庁舎内部点検、設備状況を確認、結露の汲取、デボ品の確認、ゴミ処理、し尿処理、地図などの資料準備。保存食糧・飲料水荷上げ。7月5-6日、各関係機関（御殿場市、富士宮市）挨拶。緊急連絡網の案内。関電工と予定調整。電気関係の鍵および自衛隊演習場立ち入り許可証入手、関電工社員、架空線部分点検。

(2) 2007年7月10日～9月5日の維持管理の実際

a. 電源、雷対策、発電機の利用、居住環境など

7月10日に通電して以来、途中で送電線のトラブルなどはなかった。管理運営者の居住空間としては仮設庁舎を使用した。また短期間の利用ということで、4号庁舎のパールトイレを利用したが、開所直後に台風4号の影響による強い西風によって吹き上がるトラブルもあり、2日間使えなかったなど今後の検討課題と考えられる。

b. 滞在者数と研究者の利用状況

図に示すように、常時3名のスタッフに加えて研究者や見学者が随時滞在した。延べ554人・日（見学者54、滞在者227、宿泊者273人・日）で、9研究テーマによる観測研究が行われた。

研究環境などについて、研究終了後に、各研究グループに質問を行ったところ、以下のよう
な回答があった。

①大気観測においては、通年観測が原則で、2ヶ月だけの観測では世界の観測網の中で太刀打ちできない。

②研究スペースを増やして欲しい。

③機材を置くためのラック、被験者をアイソレートするカーテンなども欲しい。

④11人の定員に対してもう少し増やして欲しい。

⑤隣の機械室の影響で室内が非常に暑く、生活・睡眠ともにあまり快適とはいえなかった（1号庁舎2階）。

⑥重量物を担いで登ることによる負荷は大きく高山病の症状が出た者があった。来年以降の身体の健康管理には細心の注意が必要。

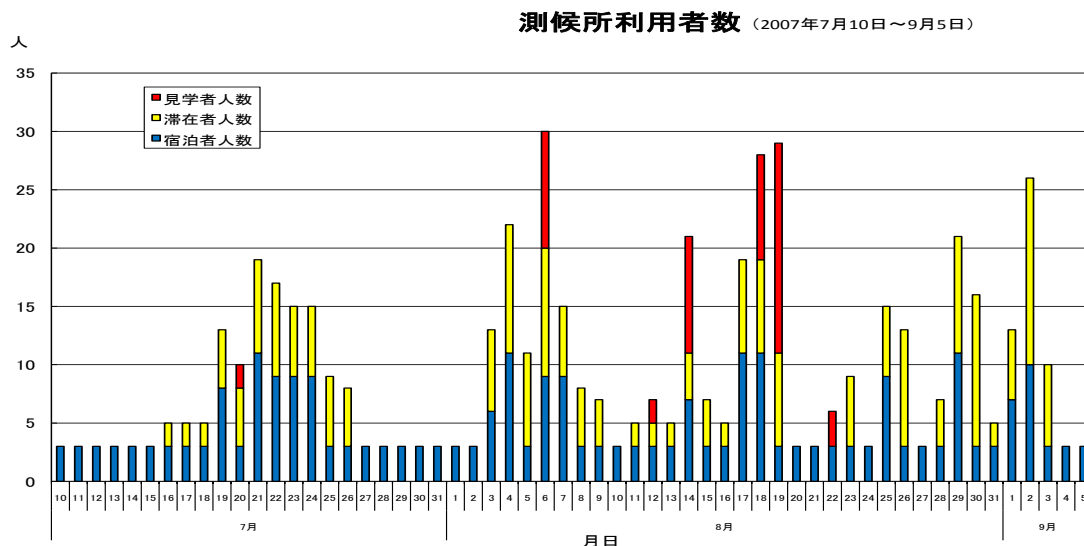


図1 2007年夏季の富士山測候所利用者数

(3) 設営に関するまとめ

今回は NPO が富士山測候所庁舎の一部を管理運営する初めてのケースとなったが、無事 58 日の滞在を完了し、9 研究課題 (のべ 210 人・日) をサポートすることができた。致命的な雷被害がなかった幸運もあるが、山頂勤務員の適切な判断があったことも大きいと思われる。現場を知っている登山家をお願いしたことが功を奏したと考えている。

一方、問題点も明らかになった。上述のように、より多人数の同時宿泊および研究スペースに関する希望が多かった。人数制限は主として、パールのトイレの許容量によっているが、各研究者がポータブルトイレを持参し下げ荷として処理するなど、今後の代替え案を含めた問題となるだろう。

1 号庁舎 2 階の観測機器による発熱の問題は、予算の関係で庁舎のエアコンを動かさなかったことにも拠るが、室内温度の管理が来年以降の課題となるだろう。研究及び生活物資の運搬に関して、今年は、基本的に研究者の責任として行なったが、御殿場における荷物の受け取り、ブルへの運搬、荷上げ荷下げの確認など、多くの負担がかかることが判明した。来年度以降、NPO としての作業を行なう必要がある。また、ブル道の確保なども運搬業者のみに任せられない問題として取り組まなければならない。

大気化学グループから出された要望にもあるように「通年観測」が行えて初めて、「世界の観測地点」と認められるので、今後、それに向けての設営が必要になると思われる。

3. 越境大気汚染観測

越境大気汚染の指標の一つであるオゾン（オキシダント）に関して、富士山頂における観測は1992年以來、気象研究所（現・気象庁）の堤らにより行われていた（Tsutsumi et al, 1994, Tsutsumi and Matsueda, 2000, Sekino et al, 1997, Dokiya et al, 1995）。対流圏のオゾンは①都市域の大気境界層で窒素酸化物、炭化水素類、COなどの光化学反応による生成（オキシダント）と②成層圏で紫外線により生成したものが輸送されてくるもの大別することができる。富士山頂レベルの自由対流圏では強くて持続的な風が吹いており、長距離輸送により遠方の情報を得ることができる。また、気団の変化による影響が大きく、その指標にもなる。

季節変動をみると、冬は日射の減少による光化学反応による生成が不活発で、また強い西風によるかき混ぜのため富士山頂のオゾン濃度の変動は小さい。冬から春にかけて増加し5月に最高値を示す。北半球中緯度で一般的に見られる現象であるが、日射の増加による光化学反応の増加とジェット気流の北上に伴う成層圏オゾン流入の増加が原因と考えられる。夏には極めて変動が大きい。大きく減少することがあるのは海洋性気団の影響と考えられる（堤、2002）。

図2に2007年夏季に観測されたオゾン濃度の変動を示す。10ppb程度の低濃度から70ppb程度の高濃度まで大きな濃度変動を示している。台風5号通過前後（8月2日、3日）にはかなり低濃度となる期間が継続し、台風通過前（7月31日）には高濃度となっている。また、7月20日や8月6日には数時間にわたり高濃度が観測されている。地上の汚染大気由来かオゾン濃度が高い成層圏由来のものなのか、他の大気中物質の測定結果と比較して判断をする必要がある。

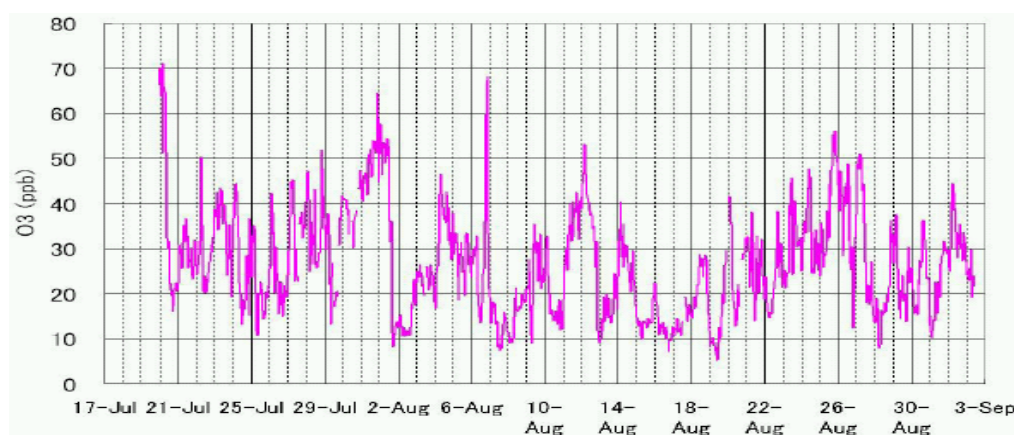


図2 富士山頂のオゾン濃度

図3にこの観測期間の平均日変動を示すが、この期間を平均すると、朝4時に最大、昼13時に最低濃度となり、その差は5ppb程度であった。このことは、夏季においても、境界層内の地点に比べると非常に小さい変動幅であることを示しており、堤（2002）が述べているように、マウナロアの日変動の1/6程度で、山谷風の影響が少ないこと（すなわち自由対流圏と言える一つの条件）を再現していると考えられる。

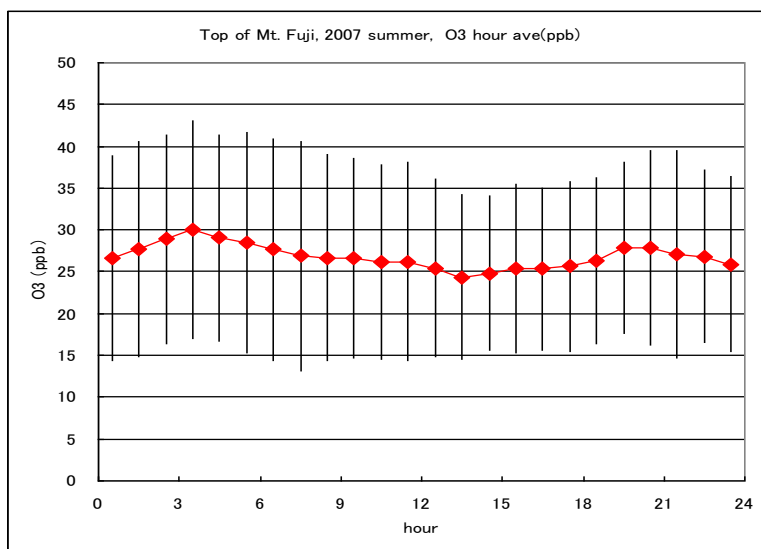


図3 富士山頂のオゾン濃度の平均日変動

今回得られたデータは1992年～2004年の間連続的に行われていたオゾン観測が、精度良く再開されたことを示しているが、およそ一月半のデータしか得られておらず、これから何か明らかな結論を導くことは困難である。また近年開設され、連続観測が行われているネパールのABC-Pyramid (5100m) 観測所や台湾鹿林山 (LABS,2852m) のデータと比較検討するためには通年の観測を行うことが必須である (土器屋、2007)。

参考文献

- Tsutsumi, Y., Zaizen, Y., Makino, Y. (1994) Tropospheric ozone measurement at the top of Mt. Fuji. *Geophys. Res. Lett.* 21, 1727-1730
- Tsutsumi, Y. and Matsueda, H. (2000) Relationship of ozone and CO at the summit of Mt. Fuji (33.35N, 138.73E, 3776m asl) in summer 1997. *Atmos. Environ.* 34, 553-561
- Sekino, H., Nara, C., Tsuboi, K., Hosomi, T., Dokiya, Y., Igarashi, Y., Tsutsumi, Y., Tanaka, S. (1997) Chemical species in aerosol, gases, precipitation and fog at the summit of Mt. Fuji. *エアロゾル研究* 12, 311-319
- Dokiya, Y., Tsuboi, K., Sekino, H., Hosomi, T., Igarashi, Y. and Tanaka, S. (1995) Acid deposition at the summit of Mt. Fuji. *Water, Air and Soil Pollut.* 85, 1967-1972
- 堤之智 (2002) 富士山での大気化学観測、*気象*, 46, 17674-17679
- 土器屋由紀子 (2007) 山岳を用いた大気観測：富士山頂の観測を中心に。*天気*, 54, 1003-1006

高高度宇宙線被ばくの連続自動モニタリング

保田浩志¹、矢島千秋¹

1. 独立行政法人放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター
h_yasuda@nirs.go.jp

1. はじめに

大気圧の低い上空では、地上に比べて宇宙線の強度が高くなる。特に、航空機で上空を飛行中に大規模な太陽フレアが発生した場合、ごく短時間に多量の中性子を被ばくする恐れがある。こうした太陽活動の突発的な変動に伴う上空での宇宙線被ばくを正確に評価し適切な対応策を採るためには、できるだけ上空の環境に近い大気厚の薄い場所、即ち標高の高い場所で常時宇宙線中性子のモニタリングを行うことが望ましい。

そこで、本研究では、日本の最高峰である富士山の山頂（富士山測候所）で連続モニタリングの実施が可能か実際に宇宙線観測を行って検討した。

2. 方法

観測は、登頂した2007年8月15日から開始、以降9月2日までの約18日間、富士山測候所1号庁舎2階のスペースにおいて行った。観測データは再登頂した翌日の9月2日にPCにダウンロードし、それを研究所に持ち帰って解析した。

連続観測に用いた観測機器は、市販の中性子レムカウンタ（NSN2、富士電機システムズ）、シンチレーション式中性子モニタ（Prescilla, Ludlum Technology, Inc.）、電離箱式サーベイメータ（AE-233L、応用技研）、新たなエネルギー拡張型中性子レムカウンタ（WENDI-II、Ludlum Technology Inc.）及び各測定器のデータ取得に必要なデータロガー等である。

3. 結果と考察

中性子レムカウンタ NSN2 で得られた宇宙線の線量評価値（1cm周辺線量当量値）は $0.033 \pm 0.0019 \mu\text{Sv h}^{-1}$ と安定して推移し、この期間における静穏な太陽活動を裏付ける結果となった。一方、モデル計算では、富士山頂における測定時期の平均線量率は $0.073 \mu\text{Sv h}^{-1}$ と推定され、NSN2 指示値のおよそ2倍となった。この差は、NSN2 のエネルギー応答特性（15MeV 以上での効率低下）と宇宙線中性子の幅広いエネルギースペクトルを考慮すれば妥当な結果といえる。シンチレーション型中性子モニタの測定データは $0.056 \pm 0.0058 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であった。モデル計算値より小さめになったのは、NSN2 同様、高エネルギー中性子に対する応答の低下が主因と考えられる。

本観測実験で得られた結果から、夏季においては、宇宙線モニタリングに必要な電力・スペース等の条件は満たしていることが分かった。ただしリアルタイムのデータ通信は課題として残った。近い将来冬季の観測が可能になることが望まれる。

富士山山体を観測タワーとしたエアロゾル諸特性の鉛直的観測研究

五十嵐康人¹, 高橋宙¹, 兼保直樹², 三浦和彦³, 永野勝裕³, 室崎将史³, 小林拓⁴, 皆已幸也⁵, 大河内博⁶, 片山葉子⁷, 加藤広海⁷, 永淵修⁸, 横田久里子⁸, 速水洋⁹, 藤田慎一⁹, 加藤俊吾¹⁰ (科研費研究グループ)

1.気象研究所, 2.産業総合技術研研究所, 3.東京理科大学, 4.山梨大学, 5.石川県立大学, 6.早稲田大学, 7.東京農工大学, 8.千葉科学大学, 9.電力中央研究所, 10.首都大学東京
yigarash@mri-jma.go.jp

1. はじめに

東アジアは産業発展が著しく,さまざまな汚染物質が大気環境に放出されている。そのため,東アジアから放出されたこれらの物質は,地球規模での環境変動にも影響を与えつつある。本研究では,このうち大気中を漂う微粒子-エアロゾルに焦点を当てて研究を進めている。孤立した高峰である富士山の山体を 4000m 近い高さの観測用鉄塔と見なして鉛直的に利用し(鉛直分布を得るなどして),自由対流圏内でのエアロゾルの諸特性(濃度変動,粒径分布,化学組成,光学特性,雲・霧過程)について観測・解析して,さまざまなエアロゾルの大気中での動態を知ろうとしている。最終的な目標は,事実発見的な研究に加えて,エアロゾルがどのように気候変動に関与しているか,そのモデル計算に有用な情報を提供していくことである。富士山での通年の観測が現状では困難なため,夏季の観測ではケーススタディ(例証研究)を目指している。

2. 方法

富士山測候所(標高 3776m),7合8勺(標高 3200m)及び山麓の太郎坊(標高 1300m)の3地点において,2007年8月2-6日の期間(特に5-7日)に集中観測を,また7-8月の期間に可能な項目について観測を実施した。観測項目は,SO₂(二酸化硫黄),サルフェート(硫酸塩粒子),エアロゾル個数,BC(すす粒子),COS(硫化カルボニル),エアロゾル化学成分の濃度,降水,霧水化学成分,非水溶性粒子の粒径分布等に加えて,通常的气象観測,ゾンデによる気象観測も実施して総合的な観測を行った。

3. 結果と結論

2007年夏季は,梅雨,台風,猛暑,秋雨など,天気の変り変わりとその程度がはっきりとしていたように思われる。そのことを反映して,これまで夏季には観測されなかった大陸からの汚染気塊の輸送が,さまざまな観測項目に明瞭に確認された。この事象は,8月後半の秋雨前線の南下に関係していると考えられる。対流圏の中層での汚染気塊の輸送は,気象条件と密接に関係していることが改めてはっきりした。富士山頂での観測は,アジア大陸から輸送されてくる物質の濃度の変化(長期的にみて増加するのか,減少するのか)を捉えたり,鉛直情報を利用して,国外からの越境汚染を評価する上でも重要な情報をもたらすと期待される。

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

野尻幸宏¹、向井人史¹、須永温子¹、木下勝元²、江頭毅²、紀本英志²

1. 独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター、2. 紀本電子工業
nojiri@nies.go.jp

1. はじめに

二酸化炭素の地球規模循環解明において、地上観測点での大気観測として人為排出源影響の少ないバックグラウンド地域の観測がまず必要であり、この分野の研究の発端となったハワイ・マウナロア山頂、南極（南極点、昭和基地）などでの観測がそれにあたる。一方、大気観測網の展開が進み、インバースモデルを用いた地域レベルの吸収排出量解析には、バックグラウンド観測のみならず、排出・吸収源の影響を受ける地域にある観測点の重要性も認識されてきた。このような地域観測点とはいえ、近傍の人為排出源の直接影響は避ける必要があり、観測点周辺広域の濃度が反映される地点を選ぶべきである。高山の観測点では地表観測点より広域の平均的大気濃度が反映されること、離島の観測点では近傍の人為発生源の影響を避けられること、両者とも地上植生の影響も避けやすいことなどがわかっている、大気観測点展開に適したロケーションであるが、逆に設置の困難さが伴い、現実的な選択肢としては岬に立地する観測点が多いという現状もある。

国立環境研究所では、現在、波照間島と落石岬という2つの観測点において温室効果ガスの継続観測を行っている。この2つの観測点は、季節によってバックグラウンド観測点的性格と地域観測点的性格のそれぞれに変化することがわかってきた。ただし、観測舎建設から始める観測点展開には大きな予算がかかるので、今後、地域排出量解析に役立つ観測点補強には、いままでもより簡易な大気二酸化炭素観測システムの必要性が生じてきた。

先に述べたように、高山の山頂付近や離島では大気観測所立地条件が実現しやすい反面、観測施設の設備（面積・電源・空調など）では適切な条件が得られないことが多い。現在の富士山測候所の状況は、近傍の人為排出源の直接影響を受けないという点では、夏の観光シーズンを除くと最適であるが、夏場を除くと電源供給がない、冬場には庁舎内気温が著しく低下するという困難な条件になる。そこで、困難な設置環境でも運転が可能な装置の開発を行い、それの実証試験を富士山頂観測所で実施することにした。今回の開発では、1) 極低温、2) 長期にアクセス不能、3) 自立電源が必要、という困難な設置条件対応を解決することになるので、装置の実証に成功すれば高山や高緯度域において簡易な施設で大気二酸化炭素観測を行うことに道を開く。また、合わせてより温暖で日射量も確保できる低緯度域向けには、太陽光発電等による自立電源型の開発も必要である。

2. 方法

2004年に富士山測候所の有人気象観測が廃止されて以後、測候所の利用は夏期の7月から8月に限られており、系統電源接続もこの期間に限られるため、通年観測には自立電源の確保が

必要になる。また、空調設備も運転されないため、冬期間の庁舎内気温は外気に近い低温になると考えられる。そこで、装置にはマイナス 30 度の低温に耐える仕様が要求される。一方、自立電源確保の点では、太陽光、風力とも強風下で設置できる容量には制限があるし、積雪と日射量低下のために冬季に確保できる電力量が減少することも考えられる。また、9月から翌年6月までの間の無人期間にはメンテナンス訪問が困難であるので、長期にメンテナンスフリーであることが必要であるし、通信によって装置の運転状況把握ができることが最低限必要となる。

そこで、電源確保の具体的対策として、発電する方法ではなく夏のうちに通年観測に必要な容量の電池を持ち込むこととし、低温特性に最も優れたシール型鉛蓄電池を用いることとして装置開発を開始した。もちろん、必要な電力量を最小とすべく装置の省電力化を進めている。今回の二酸化炭素計測装置開発は、昨年までに行った海洋表層二酸化炭素分圧測定ブイの開発の経験を基にしたものである。その際に開発した省電力化と通信機能の技術が役立っている。

1) 二酸化炭素測定装置部

非分散型赤外分光光度計 (LOCOR840 型) と試料空気・標準ガスなどの切換え部、除湿部などを備えた二酸化炭素分析計主要部は、気密性のある断熱容器に収納することとし、計測時には容器内温度が 0 度以上になるようヒーター加熱することとした。また、赤外分光光度計内部は 50 度の温調下で運転する仕様となっているので、そのことが最大の電力を消費する懸念があったため、分光光度計の温調回路を遮断した場合の測定精度への影響を検討した。その結果、ヒーター遮断状態では必要な測定精度確保が困難なことが明らかになった。したがって、相当の電力が赤外分光光度計の温度確保に使われることとなったが、その熱をできるだけ逃がさず断熱容器内保温に使うことで開発を進めることとした。

また、測定回数は、自立電源運転時には 1 日 1 回 1.5 時間程度を標準とすることとした。連続測定では、赤外分光光度計の温度維持に大きな電力が必要であり現実的ではないためである。運転時には赤外分光光度計やポンプなど二酸化炭素を計測するために本質的に必要な部品の熱で装置内温度が維持され、スリープ時に次第に温度低下する。次の計測開始前に容器内温度が 0 度以下の場合はヒーターで温度を上昇させてから計測を始める。また、通信に必要な回路は常時極小電流 (1.2W) を通電する必要があるため、これも温度維持に貢献させることとし、ヒーター回路へ通電することをできる限り避ける設計である。

2) 試料前処理と標準ガス

大気二酸化炭素計測では、試料大気中の水分除去が必要であるが、電気冷却など大きな電力消費を伴う方法を取ることができない。そこで、パーマピュアドライヤー1 段だけとしたが、今後の試験運転で水分影響の検討が特に必要であると考えている。一方、冬季に限っては、低温下で絶対湿度が下がり除湿の必要がなくなり問題にならない可能性もある。1 日 1 回の測定ならば標準ガスは 10L 容器でも 10 ヶ月の観測が可能である。3 濃度を使うこととし、低温特性

が保証された圧力調整器を使用する。

3) 装置制御

測定シーケンスは、予備運転時間に赤外分光光度計の昇温を待ち、その後、標準ガスと大気の計測繰り返しを4回行うと想定している。計測時間などのプログラムには自由度があるので、試験により適当な条件を定める。また、制御用のマイクロPCの電力消費を抑えるために、常時通電する通信基盤がシステムの起動・スリープ制御をすることとした。

4) 通信

冬季間も利用可能な通信手段でかつ双方向性を確保するために、オーブコム衛星を利用することとした。オーブコムはGPS利用を前提とした衛星通信技術なので、毎日1回の起動時にGPS受信を確認、時刻合わせを行ってから、制御システムを立ち上げ、二酸化炭素の計測データを受け取った後、衛星経由でデータ通信し、終了後に他の測定装置部分をスリープさせるような一連の機能を、通信制御装置が受け持つ設計である。オーブコムには双方向性があるので、地上からの指令により、装置状況を確認することも可能である。

5) 電源

必要な電源量は、低温下で試験運転を行って初めて明らかになるので、まだ明確ではない。単体で40Ahの容量を持つ重量13kgのシール型鉛蓄電池を必要な個数並列接続で使う設計である。従って、富士山測候所のように資材運搬の手段があっても重量・サイズの制約が比較的少ない条件を意図した開発であるといえる。

3. 今後の進め方

今年度末には、低温試験機で性能確認した開発装置が完成する予定である。2008年夏には、有人の期間だけ富士山測候所庁舎に設置して性能確認運転を行う。気圧が低い場所固有の不具合があるかもしれないので、問題があれば解決する。

冬季の低温試験として、2008年度後半に北海道の寒冷地で長期運転試験を行う。部品類の耐低温特性の確認を行うとともに、実際の電力消費量の推定が可能となる。

これらの実験を踏まえて、2009年夏には自立電源とともに富士山測候所に設置し、1年間を目指した連続運転試験を行うことを想定している。

また、省電力化と遠隔通信機能の開発は、低緯度の離島や僻地で観測所条件の整っていない地点で大気二酸化炭素を観測するために、そのまま応用できる技術である。富士山測候所施設を活用して大気二酸化炭素観測装置を開発する本課題の成果は、わが国内外を含めた大気二酸化炭素観測網の強化に活用されるべきものと考えている。

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，前川剛輝³

1：鹿屋体育大学

2：日本伝統医療科学大学院大学

3：国立スポーツ科学センター

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。また中高年も含めて、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。そこで本研究では、富士山頂で短期間の滞在を行い、それによりどのようなトレーニングの効果があるかについて、試験的な研究を行った。

被験者は、一部の測定だけに参加した者も含めると計 12 名であった。各被験者は富士山の五合目から登山をし、山頂の測候所で 1～4 泊した後下山した。そして、登山中や山頂滞在中における運動、安静、睡眠時の生理応答を測定するとともに、登山前後での生理応答と身体作業能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% 台という低い値を示すこと、また運動時や睡眠時には 60～70% 台とさらに低い値を示すなど、身体には強い低酸素負荷がかかっていることが明らかとなった。

登山後に、高度 0 m レベルで測定をしたところ、低酸素換気応答の増加が起こっていた。また 0 m レベルおよび 4000 m レベルで運動負荷テストを行ったところ、いくつかの生理指標に改善が起こっていた。

4000 m に近い高度や、2 泊 3 日という短期間という条件は、従来の高所トレーニングの常識から考えるとかなり異質であるが、このような場合でも低地および高地での身体作業能力は改善し得ることが示唆された。

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、4000 m 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。このような人たちにとって富士山は、高山病を予防するトレーニングの場となりうる。また高所適性を判断するためのテストにも利用できる。

(2) 低地 (0 m レベル) 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フィールドが少ない。富士山を利用すると、数日間という短期間でも、スポーツ選手にとって有効な高所トレーニングの効果が得られる。

富士登山における酸化ストレス度および抗酸化力の変化

井出里香¹、五島史行^{2, 3}、神崎 晶、齋藤秀行、小川 郁³

1. 永寿総合病院 耳鼻咽喉科、2. 日野市立病院 耳鼻咽喉科

3. 慶應義塾大学医学部 耳鼻咽喉科

ride@m6.dion.ne.jp

1. はじめに

急性高山病(Acute Mountain Sickness:AMS)では生体内のフリーラジカル活性や酸化ストレスが増大することが知られている。近年の研究では、急性高山病は低圧低酸素、低温などの高所環境に、運動負荷が加わり発症すると考えられている。特に低圧低酸素の急激な暴露や過度な運動負荷が急性高山病の発症に重要とされ、種々の酸化ストレスマーカーが利用されてきた。

今回、Free Radical Analysis System 4 (FRAS4)を用いて血清 diacron-reactive oxygen metabolites (d-ROM) および biological antioxidant potential (BAP)を測定し、富士登山における酸化ストレスの状態を評価した。

2. 方法

健常者5名(男性2名、女性3名)を対象として、登山前、山頂到着直後、運動負荷(お鉢周り)後、登山後、における血清 d-ROM および BAP を測定した。併せてパルスオキシメータにて SpO₂ および Pulse rate を測定した。急性高山病については AMS score (lake Louise Acute Mountain Sickness scoring System) を用いて評価した。

3. 結果

BAP/d-ROM修正比は登山前 1.24 から山頂到着後は 1.38 と増加したが、統計学的有意差は認めなかった。登山中は SpO₂ は有意に低下し、Pulse rate は有意に上昇した。(P<0.05)

今回、AMS score が5点以上を示したものはなかった。

4. 考察

行程中、山頂到着直後の SpO₂ は最低(平均 81%)を示し、Pulse rate は最高(平均 99bpm)を示した。登山中で最も運動負荷が強かったと考えられる。当初、低圧低酸素、紫外線の暴露、運動負荷などにより酸化ストレスが増加し、BAP/d-ROM修正比は低下すると予想していたが、今回の測定では山頂到着後のBAP/d-ROM修正比は行程中で最も高値を示した。運動強度を上げると、最初にBAP値が増加し、その後ヒドロキシラジカルの発生は減少するという報告もあり、このことから、運動強度が上がると共にBAP値が増加して、酸化ストレスに対する防御機構が作用している可能性が示唆された。

参考文献

1. Magalhaes J, Ascensao A, Viscor G, et al: Oxidative stress in humans during and after 4 hours of hypoxia at stimulated altitude of 5500m. *Aviet Space Eviron Med* 75: 16-22, 2004
2. Jefferson JA, Simoni J, Escudero E, et al: Increased oxidative stress following acute and chronic high altitude exposure. *High Alt Med Biol* 5: 61-69, 2004
3. Houston CS: Acute pulmonary edema of high altitude. *N Engl. J Med* 8: 478-480, 1960
4. Simson-Schnass IM: Risk of oxidative stress during exercise at high altitude. In *Handbook of Oxidants and Antioxidants in Exercise*. (Sen CK, et al. eds), pp.191-210, Elsevier, Amsterdam, 2001.

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

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

hypk.asano@kca.biglobe.ne.jp

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、鍼治療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。そこで本研究では、短期間の低圧低酸素環境への暴露が自律神経反応系に対していかなる影響を及ぼしているのかを明らかにし、急性高山病への鍼治療応用の可能性を検討する。

2. 方法

: 自律神経応答の測定。被験者は成常男子2人であり、約1カ月間隔で2回にわたり山頂滞在時の測定を行った。1回目は5合目より自力で約6時間を要して登頂し、山頂に1泊し、翌日自力で下山した。2回目は太郎坊基地よりブルドーザーにより登頂し山頂に2泊し、翌日自力で下山した。この2回について登山時、山頂滞在時、および下山時における自律神経応答をメモリー心拍計により心電図の第II誘導から心拍変動解析を MemCalc System により行った。

: 鍼治療実験として、成人男女11人（男性10人、女性1人）に対し、長座位姿勢にて鍼通電刺激療法（1Hz 15分間）を行った。計測機器にはパルスオキシメーター、血圧計を用い、測定には心拍数、動脈血酸素飽和度（SpO₂）、血圧を用いた。①2～3週間の山頂長期滞在者男子3人（30～47歳）、②1～2日の短期滞在者男子3人（49～71歳）、③短期滞在の体育大学生男女4人（22～23歳）、④短期滞在中で急性高山病（AMS）を発症した一般男子大学生（22歳）の4つのグループに分けた。

3. 結果と考察

1) 自律神経応答；登山時および滞在時は、交感神経系の亢進（LF/HF上昇）と副交感神経系の抑制（HF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。

2) 鍼刺激応答；体育大学生4人において鍼刺激時に SpO₂の上昇傾向が認められた。しかし、山頂滞在者3人、中高年者3人および高山病発症者1人においては鍼刺激時の SpO₂に明らかな変化は認められなかった。

4群の被験者のうち体育大学生は、鍼刺激による交感神経系抑制の感受性が比較的高かったものと考えられる。

富士山頂の健常登山者にみられる 肺高血圧と低酸素血症の関係

高山守正

財団法人日本心臓血圧研究振興会

榊原記念病院循環器内科

Remarkable incidence of Pulmonary Hypertension Relating to Hypoxemia in Healthy Mountaineers at the Top of Mt. Fuji

[Background] High altitude pulmonary edema is an important disorder causing possible fatality in mountain climbers occurring above 2300m altitude, however its pathophysiological detail has not been investigated well so far.

[Method] A prospective observational study was undertaken to evaluate cardiopulmonary performance in healthy mountaineers in hypobaric hypoxic environment at 3776m altitude. Echocardiography(Echo) was performed using GE Vivid-I at comfortable circumstance using Mt. Fuji weather station, and echo specialist undertook the whole recording. Hypoxemia was assessed with pulseoximeter in room air after 20 minutes rest. Clinical details were obtained by personal interview.

[Result] Out of interviewed 80 mountaineers Echo evaluation was undertaken in 28 volunteer subjects, of which results were compared with clinical variables. Subjects consisted of 18 male/10 female, aged 45 \pm 3 year, and their SpO₂ level and PR were 80.5 \pm 4.5% and 97 \pm 14bpm respectively. Although LV systolic function was normal (EF67.9 \pm 6.8%) with some decrease of e-prime (9.7 \pm 2.4cm/s), pressure gradient across tricuspid valve and estimated systolic pulmonary arterial pressure(PAP) were elevated to 33.9 \pm 8.9mmHg and 43.9 \pm 8.9mmHg respectively, and 64% showed systolic PAP>40mmHg. Low SpO₂ \leq 80% (n=13) showed significantly higher systolic PAP than high SpO₂>81% (n=15) (47.3 \pm 8.9mmHg vs 40.6 \pm 7.9mmHg; p=0.047), and increased incidence of systolic PAP>40mmHg(75% vs 47%; p=0.054).

[Conclusion] High altitude itself can cause pulmonary hypertension in relation to hypoxemia in healthy subjects, and further analysis of normobaric repeat echo study is awaited.

富士山の永久凍土

静岡大学理学部

増 沢 武 弘

1 永久凍土

地表面近くの凍土は、日本列島の九州以北では厳冬期によく見られる。普通、地表面が凍って持ち上げられた状態を「霜柱」と呼んでいるがこれは春先には溶けてしまう。それに対し永久凍土とは、「少なくとも連続した 2 回の冬と、その間の 1 回の夏を合わせた期間より長期にわたって、 0°C 以下の凍結状態を保持する土壌または岩石のこと」と定義されている。シベリアやアラスカでは普通に見られるが、日本では富士山以外に北海道の大雪山、本州の北アルプスの一部にしか存在しない。

真夏でも富士山頂の土が凍っていることは、1935年に中央気象台の測候所が設置されたときから知られていた。新田次郎は小説『芙蓉の人』で、富士山頂において気象観測を行った野中到の業績を紹介している。山頂に観測所を建設するにあたり、非常に苦労したという「コンクリートのよう固い土」は、この永久凍土であった。その後も気象庁関係者のあいだで「夏の地下の氷」と呼ばれていた。しかし、残念ながら本格的な調査は、1975年夏に当時名古屋大学の大学院生であった藤井理行氏らが行うまで待たなければならなかった。この調査で初めて、富士山頂に永久凍土が存在し、その下限は標高 3100m 付近であることが確認された。

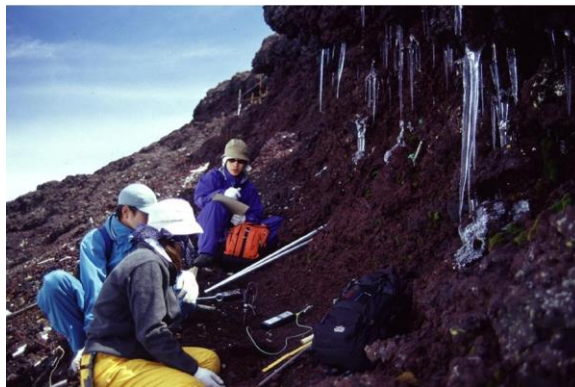


写真1 富士山頂標高 3700m 付近での永久凍土の分布調査。ステンレスの棒を打ち込み、長いセンサーを持つデータロガーを使用する。

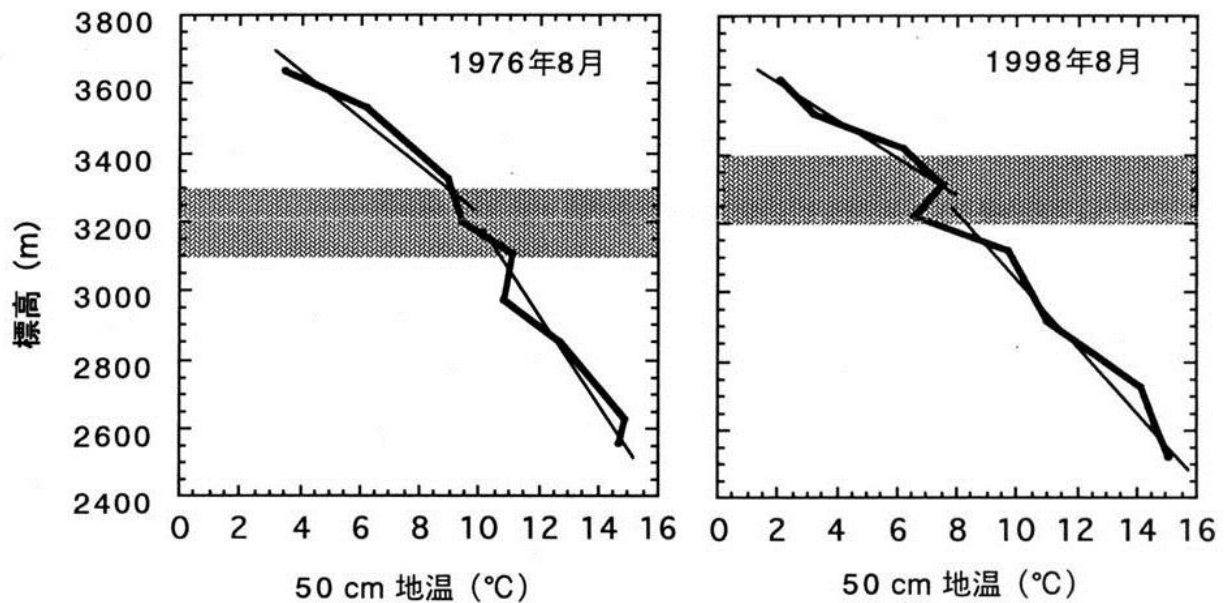


図1 過去22年間の富士山南斜面における永久凍土下限高度の変化。

推定下限高度の範囲(網かけ部分)は、過去22年間で100m程度上昇した可能性を示している(藤井・増沢ら 1999)

1976年、名古屋大学の藤井理行氏は富士山頂付近に永久凍土があることを初めて内外に発表した。その研究では標高2500mから山頂の3776mまで凍土の垂直分布を調べた。土の表面から深さ50cmの地中の土壌温度を標高別に測定し、永久凍土の下限を推定した。当時富士山の南面では下限の平均値が3100m付近であった。その後、増沢と藤井は1997年に静岡県からの援助を受けて22年前と同様の調査を行った(写真1)。その結果、永久凍土の下限の平均値は標高3200m付近であり、ほぼ標高にして100m上昇したことがわかった。1976年と1998年の2回の調査結果は図1に示した。藤井と増沢は1999年にこの結果を発表し、下限が上昇したのは山頂の気象データから、最近の温暖化に関係しているのではないかと推定した。

今回、が行なった永久凍土の調査は22年ぶり2度目のことであった。調査は、永久凍土の垂直分布の変動と同時に凍土とコケ類の分布域に注目して行われた。富士山頂の外縁における永久凍土の分布とコケ類の分布を図2に示した。その結果凍土分布とコケ類の分布に、深い関係があることがわかった。

またコケ類とラン藻の共存など、南極でよく見られる現象が富士山頂でも見られ、日本列島のほぼ真ん中に南極と類似した自然があるのではないかと想像された。

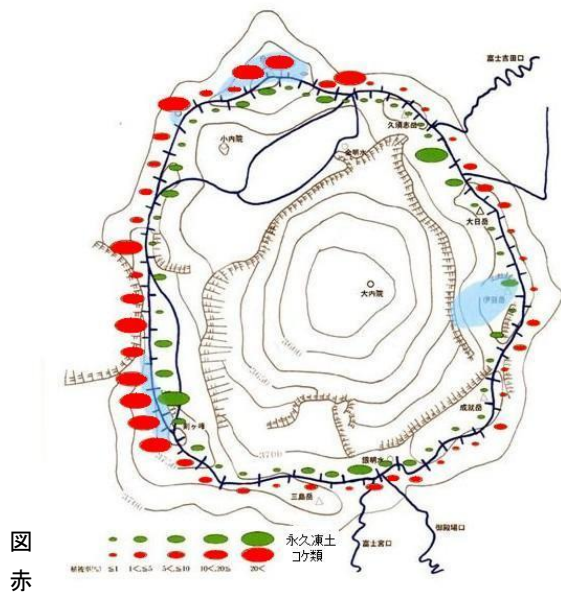


図
赤

同時に、以前の調査時に比べ永久凍土の下限が 100m 上昇していることも確認された。日本列島では永久凍土の存在は大変貴重なものである。この下限が約 22 年間で 100m 上昇していたことは明らかに富士山から永久凍土が減少していることになる。今後、この変動について注目する必要がある。近年、富士山頂の平均気温も上昇しつつあるため、温暖化の影響が富士山頂の自然にも出始めていることが懸念される。

2 山頂の永久凍土とコケ植物

1990 年夏、生態学者である広島大学の中坪氏と島根大学の太谷氏は南極での植物の調査を終え、翌年に富士山頂へ登った。彼等は富士山で最も標高の高い剣ヶ峰に到り、その周辺に南極で見られたコケと似ているヤノウエノアカゴケ (*Ceratodon purpureus*) を発見した。南極ではこのコケは独自に生育していることは少なく、ほとんどの場合ノストック属 (*Nostoc*) のラン藻類と共存している。ヤノウエノアカゴケにノストックが住みつくとその表面は少しずつ茶褐色になり、いずれは黒い色に変色する。彼等は山頂でこの黒色のコケを観察して、この共存状態は南極と同様なコケの生き方ではないかと想像したのである。写真 2 は富士山頂でコケ類の分布調査をしている状況を示したものである。

極限環境とも言える南極の露岩地帯や富士山頂でコケ類がラン藻類と共存している状態とその過程は以下のようなものである。ヤノウエノアカゴケはシュートが伸長始めると葉と葉の間に空間ができる。この空間は強風による極端な乾燥や機械的な作用を避けることができ、その周辺は安定した湿度条件となる。このような環境は地上で生活するラン藻類にとって極めて条件が良いものと推定できる。したがってコケの表面のシュートの伸長と共にラン藻類はその空間を利用して、個体を増殖させることになる。

藻類のうちノストックの仲間は空気中の窒素を固定する能力をもっている。この仲間は緑色のコケのシュートの空間で急速に増殖していく。その結果、コケの表面は少しずつ茶褐色に変わっていき、さらに増殖が進むと藻類がコケの表面をすっかり覆ってしまい、やがて表面は黒色に変化する。南極の昭和基地周辺の黒色化したコケの状態を写真 3 に示した。



写真2 富士山頂のコケ類調査。ヤノウエノアカ
ゴケの他に10種類ほどのコケ類が生育している。

写真3 南極昭和基地周辺のラングホブ雪鳥沢の
コケ群落。

最初はシュートの葉の周辺に付着しているノストックがわずかに見られるのみであるが、褐色から黒い状態に変化している過程では、ラン藻類がシュート間を埋めつくすように繁殖している。最終的には、シュートの表面をすべて埋め尽くしてしまう。

こうなるとコケは光合成や呼吸の活性が著しく低下し枯死してしまう。「母屋（おもや）」を構成しているコケが枯死すると、ラン藻類が生活している好的な条件は失われ、いずれはラン藻類も枯死することになる。このままではコケもラン藻もその土地から絶えてしまうことになる。しかし、写真に見られるような黒く変色したコケの縁には緑色の若いコケがかろうじてシュートを伸長させている。この若いコケは窒素固定をしたラン藻が枯死し、その時に放出された窒素を吸収し、新しいシュートを伸長させ群落を拡大していく。

上述のような一連の過程が南極のコケの生育特徴であるが、これが富士山頂にも見つかったのである。山頂の周辺でコケの分布を調査してみるとコケ類がカーペット状に生育している場所がある（写真2）。このような場所は大きな岩や岩盤に接していることが多い。富士山頂で永久凍土の分布をみると凍土は剣ヶ峰の岩場、白山岳の岩場、雷岩などの大きな岩や岩盤を取り囲むように分布している。永久凍土は夏の最も乾燥した時期から初秋まで少しずつ融解することにより、岩場の周辺の浸出水としてコケ類に水を供給していると思われる。この水源によりヤノウエノアカゴケとラン藻類は互いに助け合う形で共存しているように見える。