

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（2008-2010）

（*）新技術振興渡辺記念会受託事業

土器屋由紀子¹、山本智¹、小林拓¹、梶井克純¹、大河内博¹、兼保直己¹、三浦和彦¹、岩坂泰信¹、畠山史郎¹、皆巳幸也¹、保田浩志¹、佐々木一哉²（1:NPO法人富士山測候所を活用する会、2:東京大学）

1. はじめに

本受託研究事業の目的は、年間を通してほとんどの時間自由対流圏の状態を満足する富士山頂で通年にわたって東アジアに広がる大気汚染物質の動向を監視するシステムを構築することである。すなわち、2004年秋に無人化された富士山測候所を、越境汚染からわが国を守る「砦」として有効利用しようとするものである。

本受託研究は図1の3課題から構成されている。

- (Ⅰ) 富士山頂越境オキシダント通年監視システムの構築
 - (Ⅰ-a) 非汚染自立電源の構築
 - (Ⅰ-b) 遠隔操作の確立
- (Ⅱ) 東アジアネットワーク越境オキシダント観測網の構築

図1 本受託調査研究事業の課題

富士山測候所で通年観測を行う上での最大の課題は、安定な電源の確保と冬期の無人観測システムの構築である。その中で、雷に対する対策が急務であったが、2006-2007年の同基金からの助成研究「富士山山頂を利用した東アジア越境汚染監視システム構築に関する調査研究」により、過去の気象データをもとにした高精度な雷予報が夏期2ヶ月の間可能であることが明らかになった。しかし、雷発生時の系統電源の維持は困難であり、発動発電機に切り替えていた。発動発電機は多量の排ガスを排出することから大気化学成分の観測用電源として不適切である。ここで新たに、クリーンで安全、安定な電源システムを構築する必要があることが判明した。

本受託調査研究においては、課題(Ⅰ-a)では平地で実績がある風力発電や太陽光発電と、貯蔵電力の体積密度や重量密度が高いため省スペース化が可能で低温でも安定に機能するリチウム二次電池を電力貯蔵装置として、発電システムを構築する。また、(Ⅰ-b)では無線LANを用いて遠隔地からの電源システムや観測システムを制御する遠隔制御システムを構築する。

さらに(Ⅱ)では米国、EUおよび台湾との協力により東アジア観測網を構築する。これは、米国、EUおよび台湾の山岳大気研究チームとの国際協力により、リアルタイムで高精度に越境オキシダントを監視するシステムを構築しようとするもので、東アジアに広がる大気汚染物質の動向の監視を可能にすることが目的である。

以上のような計画で本受託事業がスタートし、2008年度は下記のような調査研究の結果を得て2009年度から現地における実証研究を計画していた。しかし、2009年は世界不況の影響で一時継続が危ぶまれたが、基金の側の好意で継続が許され、課題(Ⅰ-a)に重点を置いた計画の若干の縮小を行なったが、分担研究者の自助努力や他助成事業(カーボンオフセット年賀寄付金など)との連携で下記のような結果を得ることができたので報告する。

2. 方法

(Ⅰ-a)2008年度は予備調査として、太陽光発電、風力発電に関する山岳の利用、特に山小屋などの利用の調査、日照時間と発電量、風力の季節分布などの調査を行なった。

2009年度は、マイクログリッドシステムを購入し、山麓及び山頂で適応テストを行った。

2010年度は、2009年度の実績を踏まえて、4枚の太陽光発電パネルとオゾンモニターを接続し、屋外で独立電源による35日間の連続測定を行った。

(I-b) 2008年度は無線LANを設置するための機種を選定、地理的な条件に関する調査を行った。
 2009年度は御殿場にアパートを借用、山頂との通信テストを行った。
 2010年度は現場からのデータの御殿場基地経由での送受信を観測期間を通して行い、ネットワークへの配信も試みた。

(II) 2008年度は、米国ハワイ・マウナロア観測所、ネパール NCO ピラミッド観測所、台湾鹿林山ベースラインステーションの研究者とネットワークの構築に関する準備会議を行った。
 2009年度は、台湾で行われた国際シンポジウムの期間にワークショップを行い、データ受け渡しに関する具体的な方法について議論した。
 2010年度は、スイス・インターラーケンにおける国際シンポジウムの折に会合を行い、合意に基づき、無線LANを用いてデータのセミアリアルタイム配信のテストを行ない、海外からの交信を試みた。

3. 結果と考察

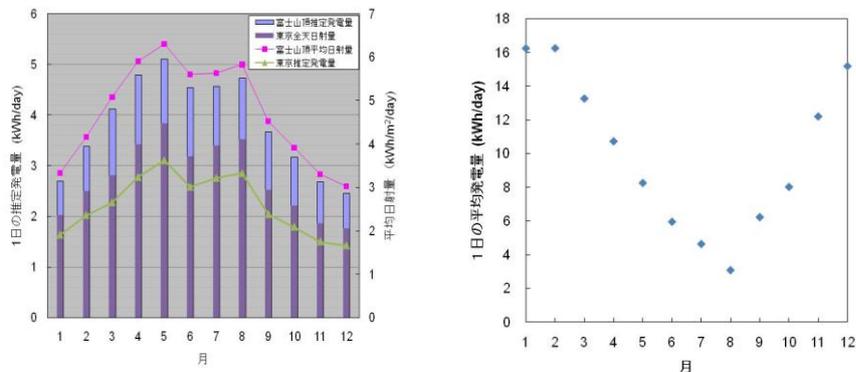
(I-a) 富士山頂における非汚染自立電源の構築、

(2008年度) 山岳における代用電源の使用例の調査を行なった。結果は表1に示す。小規模であるが複数の標高2000-3000mの高地山岳の山小屋において太陽光発電、風力発電および鉛電池を組み合わせたマイクログリッドが使用されていることが分かった。

表1 代用電源使用例調査(実績)

設置場所	標高(m)	設置日	風力発電装置		太陽光発電装置		蓄電池		定格容量(kW)	用途
			機種・容量	基数	機種・容量	枚数	機種・容量	個数		
南岳西直下	3032	1998年8月	Z-500	2			GPL-8D	1	0.8	
北穂高岳北峰	3100	1998年10月	Z-500	2	1kW	20	MSE鉛蓄電池		(風力)0.8(太陽光)1-1.1(蓄電池)16.8	山小屋照明・通信用電源(常時使用)
螺ガ岳肩長場山分岐	2677	1999年6月	Z-500	1			GPL-8D	4	0.4	トイレの照明用電源
仙丈ヶ岳栗カール	2900	1999年9月	Z-500	16	1kW	196	MSE鉛蓄電池		(風力)6.4(太陽光)10.78(蓄電池)80	浄化槽付トイレ及び小屋内照明用電源
蓼科山頂	2530	2000年春	Z-500	2			GPL-8D	4	0.8	小屋の電源の一部
根石	255	2000年夏	Z-500	1					0.4	小屋の電源の一部
大天井岳西方鞍部	2922	2000年7月	Z-500	1			GPL-8D	4	0.4	洗濯機、電話用電源
夏沢峠	2402	2001年9月	Z-500	10	1kW	36	GPL-8D	48	(風力)4(太陽光)4	浄化槽式トイレなどの電源
柳川南沢源流	2340	2001年9月			1kW	92	GPL-8D	60	10	浄化槽式トイレなどの電源として
水晶岳付	2880	2002年7月	Z-500L	1	1kW	1	GPL-8D	2	(風力)0.4(太陽光)0.128	小屋の電源の一部
							WP-100	1		
							PV-100	1		
							PC-100	1		
							RC-100	1		
黒部ダム湖畔	1450	2002年8月	Z-500	1			GPL-4D	2	0.4	小屋の電源の一部
赤岳	2402	2002年10月	AIRDOLPHIN Mark Zero	1	1kW	48	GPL-8D0	60	(風力)4(太陽光)6	浄化槽式水洗トイレの電源
			Z-500	7						
黒百合平	2410	不明	Z-500L	1	1kW	84	GPL-8D	60	(風力)0.4(太陽光)10	浄化槽用電源、水洗トイレ電源
奥多摩町鋸山	不明	2005年3月			SM-128H	9	GPL-8D	4	1.35	トイレ電源
木曾駒ヶ岳七合目	2420	2007年7月	NWG-200	2	Si多結晶	18	ユアサMSE1000	12	(風力)0.124(太陽光)1.44(蓄電池)24	浄化槽での屎処理

富士山頂の30年間の気象データ、シミュレーション用風力発電装置、太陽光発電装置を用いて発電量の予測を行なったところ、次のような結果が得られた。太陽光発電量と風力発電量は季節ごとの発電量変化が相補的である。従ってこれらの組み合わせは通年の安定的発電量を容易にする(図1)。



a) 太陽光 b) 風力発電
 図1 太陽光 a) および b) 風力発電の各月当りの発電量

この結果より24時間観測に必要な発電量の台数を試算した。8月については、無人観測時の必要電力をを12-24kWh/dayとすると太陽光発電のみなら、5-10機、風力発電のみなら4-8機、両者の組み合わせで3-6機、有人観測時、必要電力32-44kWh/dayで夫々、13-18、10-14、7-10機となった。

(2009年度) マイクログリッドシステム1式(ゼファー)を購入し、山麓(1300m、太郎坊)でテストを行ない、山頂の条件に会わせて、仕様を変更して運んだ。山頂では設置場所、環境省および文化庁の許認可、登山者の安全性などの観点からテストを行なった。風力発電に関しては、気象条件の不安定さ、登山者の安全性の観点から十分なデータが得られなかったが、太陽光発電に関しては、25日間の発電量の情報が得られ、夏期の富士山測候所における電源として有望であることが判明した。



図2 クリーンマイクログリッド試験
(太陽光パネル1枚、風力発電機1機、鉛蓄電池2個)

太陽光発電機による発電量の推移を図3に示す。太陽光パネル1枚の発電量の測定は2009年7月24日から8月17日の間に行なわれた。発電は6-18時の間に行なわれ、平均気温は9.5℃であり、1日瞬間最大発電量(期間平均)は40W、および1日積算発電量(期間平均)は228Whであった。この発電量はスペックから期待される値と同等であった。また、この間の日照時間と発電量の関係を図4に示す。観測される日照時間と発電量とに明確な相関はなかった。これは、富士山測候所では晴天でなくとも発電したことを意味しており、反射光や紫外線による発電への寄与があることを示唆している。

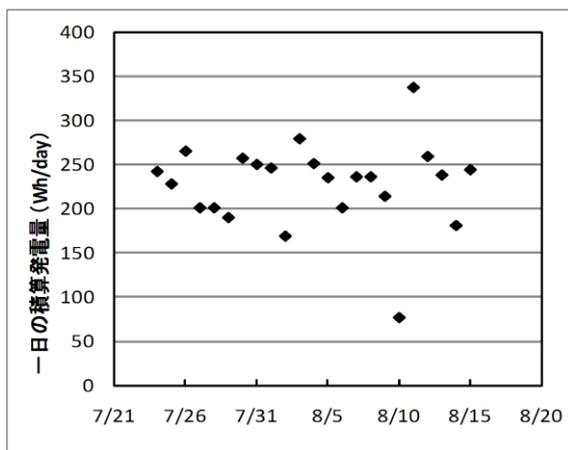


図3 太陽光パネルによる日々の発電量(2009)

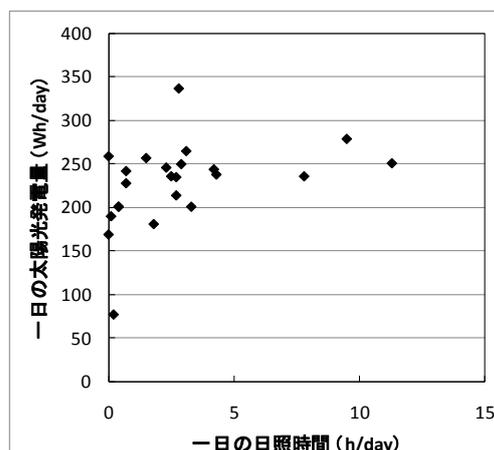


図4 日照時間と発電量の関係

(2010年度) 図5に示すような4枚の太陽光発電パネルとオゾンモニターを接続し、屋外で独立電源による35日間の連続測定に成功した。この間、1時間おきの間欠測定、日射量不足時の切断回路の挿入などのテストを行い基礎データを得ることができた。この結果から、次年度以降の太陽光パネル利用の具体的な方策が立てられることが明らかになった。

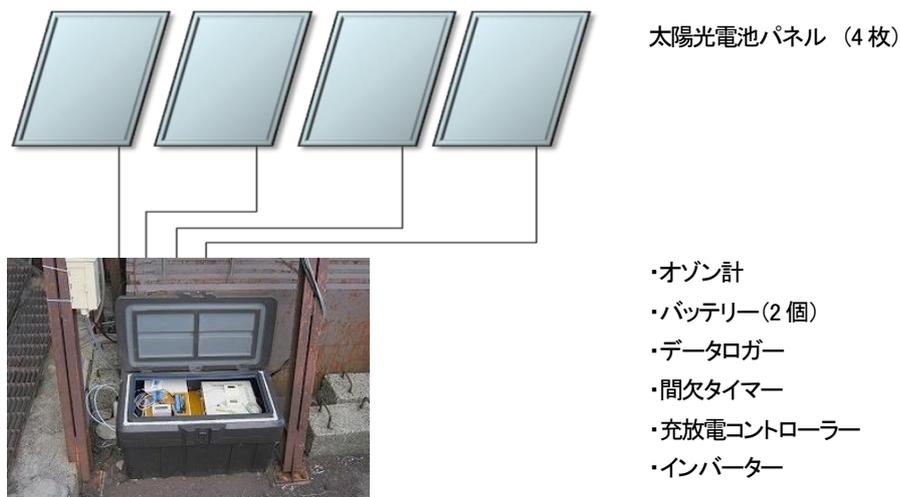


図5 太陽光発電パネルによるオキシダントデータ取得実験の概念図

(1-b) 遠隔操作の確立

(2008年度) 長距離無線LANによる測定器などの制御性に関して、水ヶ塚駐車場(1500m)から、山頂測候所内に置かれた観測機器の遠隔操作を行なったところ、操作が可能であり、長距離無線LAN装置から出る電波が、最も干渉を受けやすい宇宙線観測データに影響を与えないことが分かった。また、アンテナ、ルーターからの電磁ノイズの影響について、実施規格は電磁波干渉試験の法令最新規格(Section 21.5, RTCA/DO-160F)を適用、判断規格としては電波の出力が厳しく制限される旅客機搭載物に対する基準(Category M)を採用して調べたところ、3つの宇宙線観測機器については、無線データ通信に一般に用いられる周波数域(100MHz~6GHz)において、機器から発生する電磁ノイズが通信障害をもたらす心配がないことがわかった。

以上の結果から、本プロジェクトの遠隔操作には無線LANの利用が有望であるとの結論を得た。また、御殿場市内と山頂との通信を考えて、交信可能な地域の地図を作成した。

(2009年度) 御殿場市川島田にアパートを借用し、夏期の御殿場基地として山頂との通信のテストを行なった。通信環境は良好で、各種データの送受信が可能であることが明らかになった。

(2010年度) 無線LAN経由で観測器の遠隔操作のテストを行い、遠隔制御ができることが証明された。また、オキシダント、一酸化炭素、黒色炭素粒子等の測定値のデータをNPOのホームページにセミアルタイムで公開した。ただ、屋外で測定しているオキシダントとの接続に関しては、雷の被害を考えて今回は行なわなかった。

(II) 東アジア観測網の構築

(2008年度) 図7に示すような3地点の研究者・ハワイ・マウナロア観測所(Dr. R. Schnell)、ネパールNCOピラミッド観測所(Dr. P. Laj)、台湾鹿林山ベースラインステーション(Prof. N. H. Lin)とのネットワークの構築に関する準備会議を行い、今後深刻な大気汚染の予想される東アジアのネットワーク構築の大切さ、特に地理的見地から台湾は大陸風下の南半分しかカバーできず、富士山の参加が必要であることを確認した。



図7 東アジアネットワーク

ネットワークの構築に向けて各観測所における観測条件の調査を行なったところ表2のような結果が得られた。

表2. 越境オキシダント観測条件の比較

観測所	NCOP ネパールABCピラミッド 5100m	MLO 米国、マウナロア観測所 3397m	LABS 台湾Lulin山ベースライン ステーション 2862m	富士山観測所(仮名) 3776m
インレット	テフロン管 テフロンフィルターによる粒子除去	地上10mより採取	地上12mより採取 (6mのスチール煙突より)	1/4インチテフロン管 テフロンフィルターによる粒子除去
装置	ThermoEnvironmental Instruments, Model 49C	TEI Model 49-S, Pulsed Fluorescence Ozone Analyser	ECOTECH ML9810B Sabio4010 Gas Dilution Calibrator Sabio Model 1001 Zero Air Source	ThermoEnvironmental Instruments, Model 49C
測定条件 校正	流量:1-3 l/分、24時間ごとにゼロ、スパン自動校正 2007年2月の精度維持管理キャンペーンでGAW/WCC-EMPA標準を用いて比較検討を行なった。		流量 0.45 l/分 24時間ごとにゼロとスパンを自動校正している	夏期観測(7~8月)の前後に校正
サンプリング間隔	連続測定	連続測定, 1分値平均	連続測定	連続測定, 1分値平均
出力	RS-232を通してppbvに濃度換算して出力	ppb濃度換算で出力	RS-232を通してppbvに濃度換算して出力 生データは6秒ごとに保存。 ダウンロードされるデータは1日1KB	1分値で取り込んでいるが、1時間平均、1日平均として適宜換算。200ppbが1V相当のアナログ用出力をPCにAD変換してセーブ

(2009年度)台湾で行われた国際会議(2009年6月2-3日)に招待されその機会に行なわれた下記のテクニカルセッションの中で、今後の富士山頂の観測について議論を行ない、富士山観測の位置的重要性が再度確認され、通年観測への要望がだされた。

Technical sessions Theme 1 (Morning, June 3) : Advanced measurements at remote areas and regional collaboration

Co-chaired by George Lin and Russell Schnell

Participants: Shuenn-Chin Chang (EPA, Taiwan), Chung-Te Lee and Charlie Wang (NCU, Taiwan), Shaw Liu (ECRC, Academia Sinica, Taiwan), Yukiko Dokiya (Edogawa U., Japan), Soon-Chang Yoon (Seoul National U., Korea), Betsy Andrew (NOAA, USA), Si-Chee Tsay (NASA, USA), Elizabeth Reid (Navy, USA)

(2010年度)スイス・インターラーケンで行なわれた国際シンポジウムの席上で関係者が会合を行い、夫々のステーションのデータ公開について、フォーマットを統一するなどは行なわず、夫々のやり方でホームページに公開することが決まった。(I-a)で公開したホームページデータ(日本語ページに英語を併記する方法)の海外からのアクセスのテストを行ったところ、国内及び台湾では簡単に入手できたが、欧米からは漢字の混じったページへのアクセスはかなり困難が伴うことがわかった。この点で、ホームページの表記法など、いくつか改良するべき点が明らかになった。

以上、全体をまとめると、企画当初目指していた(Ⅰ)富士山頂越境オキシダント通年監視システムの構築(a)非汚染自立電源の構築、(b)遠隔操作の確立、(Ⅱ)東アジアネットワーク越境オキシダント観測網の構築に関して、(1-a)については、7-8月に太陽光発電によるオキシダントの測定が可能であることを実証でき、今後通年観測に向けての細かい調整を行うことが可能になった。(Ⅰ-b)について、無線LANによる遠隔操作およびデータの通信が可能であることが証明された。両者の結合に関しては、雷に対する予知以外の対策がまだ不十分であるため、無人の条件での結合が出来ておらず、接地体系の改善などを行ない実行に移したいと考えている。このような問題点が明らかになったが、基本的に富士山頂におけるクリーン電源の確立と無線LANによるネットワーク配信の目途を立てることができた。

(Ⅱ)に関してはネットワーク参加4地点間のデータ共有にむけて、前進することが出来たが、海外からの受信のユーザビリティの改善などの問題点が明らかになった。今後、世界の山岳観測ネットワークを目指してサイトの増強などを行なって研究を発展させてゆきたい。

参考文献

- NPO 法人富士山測候所を活用する会 平成 20 年度 財団法人新技術振興渡辺記念会受託研究成果報告書「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」
- NPO 法人富士山測候所を活用する会 平成 21 年度 財団法人新技術振興渡辺記念会受託研究成果報告書「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」
- Ka Ming Wai, Neng-Huei, Lin, Sheng-Hsiang Wang and Yukiko Dokiya, Rainwater chemistry at a high-altitude station, Mt. Lulin, Taiwan: Comparison with a background station, Mt. Fuji., J. G. R., 113, D06305,doi:10.1029/2006JD008248
- Tatsuo Torii, Takeshi Sugita, Sachiko Tanabe, Yoshihisa Kimura, Masashi Kamogawa, Kazuaki Yajima and Hiroshi Yasuda: Gradual increase of energetic radiation associated with thunderstorm activity at the top of Mt. Fuji. *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, L13804, doi:10.1029/2008GL037105, 2009.
- 丸山祥平、大河内博、竹村尚樹、皆巳幸也：太陽電池駆動小型雨水採取装置の長期性能評価と富士山南東麓における酸性沈着モニタリングへの適用。分析化学、59、357-362(2010)
- Yukiko Dokiya, Shungo Kato, Kazuhiko Miura, Atsushi Matsuki, Kazuya Sasaki and Toyohiro Watanabe, Mt. Fuji High Altitude Station (tentative): Logistics as an NPO Station, Oxidant Determination and a Proposal for East Asia Network, The 2nd International Symposium on Atmospheric Observations and Advanced Measuring Techniques in Remote Areas. 3rd anniversary of Lulin Atmospheric Background Station., (Taipei) 15-18, 2009
- Y. Dokiya, K. Sasaki, S. Kato, F. Taketani, A. Sunaga, H. Okochi, K. Miura, N. Kaneyasu, A. Matsuki, O. Nagafuchi, H. Yasuda and S. Hatakeyama : Atmospheric Chemistry at the summit of Mt. Fuji - Logistics of the summer campaigns, 2007-2009-, ACP Symposium, Interlaken, Switzerland, June 8-10, 2010

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