

# 富士山頂における二酸化炭素濃度の長期観測(SR01)

寺尾有希夫

国立環境研究所 地球システム領域

## 1. はじめに

東アジアの中緯度帯は世界で最も経済活動が盛んな地域であり、この地域から人為的に排出される温室効果ガスは増加傾向にある。そのため、国立環境研究所は富士山頂で大気中二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度の高精度での長期観測および大気の定期採取によるCO<sub>2</sub>以外の温室効果ガス(メタン(CH<sub>4</sub>)や一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)など)濃度の長期観測を実施している。東アジアの自由対流圏高度で高精度の温室効果ガス観測を実施することは、東アジア域はもとより世界の炭素循環の解明のために有効である。

我々は1年の大半で商用電力の供給がない富士山測候所において大気中CO<sub>2</sub>濃度を通年観測するために、バッテリー電源により稼働する省電力型のCO<sub>2</sub>濃度観測システムを開発し、2009年から富士山頂での一日1回(22-24時)のCO<sub>2</sub>濃度観測を実施している<sup>1)</sup>。また、2017年からはフラスコサンプリング装置を設置して月1回の大気試料の自動採取を行い、CO<sub>2</sub>以外のガス濃度観測も実施している。本報では、これまでに得られた観測結果を報告する。

## 2. 2023年夏期観測中の装置メンテナンス

2023年7月11日から7月12日の山頂作業で、CO<sub>2</sub>計とフラスコの交換や越冬バッテリー充電などを行い、2022年9月から2023年7月までの越冬期間中においてCO<sub>2</sub>濃度データ取得とフラスコサンプリングが正常に実施されたことを確認した。

2023年8月21日から8月22日の作業では、越冬準備に加え、2021年夏から不通であったイリジウム衛星通信による観測データ転送について集中的に調査を行った。その結果、通信ケーブルの不具合を発見し、屋外のアンテナと室内の観測・通信装置をつなぐ通信ケーブルを張り直したことでイリジウム通信が復活した。その後、2023年8月22日から毎日データの送受信に成功したが、2023年10月2日を最後に通信が途絶えた。

## 3. 結果

図1に、富士山頂に設置したCO<sub>2</sub>濃度観測システムとフラスコサンプリングシステムで観測された2017年から2023年8月のCO<sub>2</sub>濃度の時系列を示す。CO<sub>2</sub>濃度観測システムから求めた2022年の富士山頂CO<sub>2</sub>濃度の年平均値は419.6 ppmで、2021年の年平均値と比べて2.0 ppm増加したことがわかった。フラスコサンプリングは、2020年7月から2021年7月にCOVID-19感染拡大防止対策での測

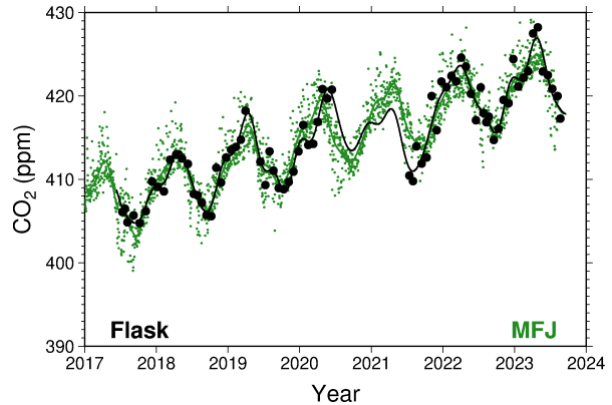


図1 2017年から2023年8月に富士山頂で観測されたCO<sub>2</sub>濃度の時系列。緑ドットが現場に設置した分析計の結果、黒丸がフラスコサンプリングで得られた観測値(曲線はフッティングカーブ)を表す。

候所閉鎖によるサンプリングの中断があったが、それ以外の期間において現場観測から得られたCO<sub>2</sub>濃度の季節変動とよく一致し、月1回のみの観測だが大気中のCO<sub>2</sub>濃度変動をよく捉えていることが確認された。

図2(上)に、富士山頂に加えて、国立環境研究所地球環境研究センター(NIES/CGER)が実施している北海道・落石岬と沖縄県・波照間島で観測されたCO<sub>2</sub>濃度の日平均値を示した。富士山頂、落石岬、波照間島で観測されたCO<sub>2</sub>濃度データは、NIES/CGER地球環境データベースで公開されている<sup>2)3)4)</sup>。2022年の年平均CO<sub>2</sub>濃度は、落石で421.0 ppm、波照間で421.1 ppmであった。富士山頂のCO<sub>2</sub>濃度と平均濃度は近いが、季節変動は大きく異なった。

図2(下)に、各ステーションのCO<sub>2</sub>濃度の長期トレンド成分(21ヶ月のカットオフ周期)<sup>5)</sup>から求めた年増加率と、エルニーニョ・南方振動(ENSO)指数の1つであるMultivariate ENSO Index Version 2<sup>6)</sup>を示した。富士山頂、落石岬、波照間島の3ヶ所で観測されたCO<sub>2</sub>濃度の年増加率の変動と周期性はよく一致しており、それらは全球のENSO指数の周期性に同調していた。各ステーションのCO<sub>2</sub>濃度増加率は、観測開始以降の強いエルニーニョ現象発生時(1997年春～1998年夏、2009年夏～2010年春、2014年春～2016年春)では3～4 ppm yr<sup>-1</sup>の大きな増加を示したが、強いラニーニャ現象が生じた時期はCO<sub>2</sub>濃度の増加率は2 ppm yr<sup>-1</sup>を下回っていた。しかし、2021年秋～2022/23年冬の強いラニー

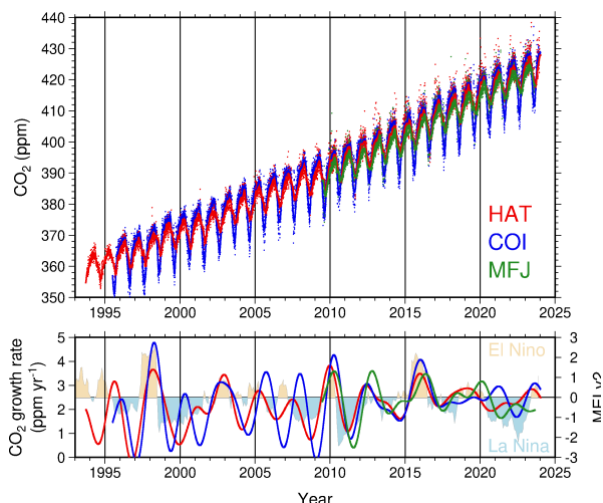


図2 富士山頂 (MFJ)、落石岬 (COI)、波照間島 (HAT) で観測された (上) CO<sub>2</sub>濃度と (下) CO<sub>2</sub>濃度の年増加率とエルニーニョ・南方振動指数 (MFI.v2)

ニャ現象時のCO<sub>2</sub>濃度の増加率は2~3 ppm yr<sup>-1</sup>を維持していた。結果として、2016年から2023年は、強いエルニーニョ現象が発生していないこともあり、富士山頂、落石岬、波照間島の3ヶ所ともCO<sub>2</sub>濃度の増加率が2~3 ppm yr<sup>-1</sup>の小さな範囲内で変動していた。

富士山頂のフラスコサンプリングからは、CH<sub>4</sub>、CO、N<sub>2</sub>O、SF<sub>6</sub>濃度の分析を行った。富士山頂のCH<sub>4</sub>の季節変動パターンは波照間と似ているが、冬の極大時の濃度は波照間より低い傾向があった。富士山頂のCO濃度は、夏の極小期は波照間、冬の極大期は落石岬に似た季節変動パターンが観測された。N<sub>2</sub>OとSF<sub>6</sub>濃度においても、明瞭ではない年があるものの、季節変動パターンが検出されており、貴重な自由対流圏のトレーサとしての利活用が期待される。

#### 4. おわりに

近年は、パリ協定のグローバルストックテイクなどで温室効果ガス排出量の即時的な検証が求められているため、世界中の温室効果ガス濃度の大気観測データを統合してモデル解析を行うことで、全球・領域・国スケールの炭素収支解析を行う取り組みが加速している。富士山頂での温室効果ガス観測データは、貴重な東アジアの自由対流圏のデー

タとして炭素収支解析モデル<sup>7)</sup>等での利用が進んでいるため、観測の継続が求められている。また、富士山は日本の大都市圏と同じ緯度帯にあるため、富士山頂の観測データは大都市圏からの温室効果ガスの排出を検出<sup>8)</sup>する際のバックグラウンドサイトとなり得る。我々の富士山頂における温室効果ガス濃度の長期観測は、このような国際的、社会的背景とも深く繋がっているため、ご理解とご支援をお願いしたい。

#### 参考文献

- 1) Nomura, S., Mukai, H., Terao, Y., Machida, T., and Nojiri, Y. (2017). Six years of atmospheric CO<sub>2</sub> observations at Mt. Fuji recorded with a battery-powered measurement system, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 667–680.
- 2) Nomura, S., Mukai, H., Terao, Y. (2017). Daily observational data of atmospheric CO<sub>2</sub> mixing ratios at the summit of Mt. Fuji, Ver.2.0, Earth System Division, NIES, DOI:10.17595/20170616.001.
- 3) Mukai, H. et al. (2014). Continuous observational data of atmospheric CO<sub>2</sub> mixing ratios on Hateruma Island, Ver.1.5, Center for Global Environmental Research, NIES, DOI:10.17595/20160901.001.
- 4) Mukai, H. et al. (2014). Continuous observational data of atmospheric CO<sub>2</sub> mixing ratios at Cape Ochi-ishi, Ver.1.5, Center for Global Environmental Research, NIES, DOI:10.17595/20160901.002.
- 5) Nakazawa, T., Ishizawa, M., Higuchi, K., Trivett, N.B.A. (1997). Two curve fitting methods applied to CO<sub>2</sub> flask data. *Environmetrics*, 8: 197-218.
- 6) Zhang, T. et al. (2019). Towards probabilistic multivariate ENSO monitoring. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 10532–10540.
- 7) Niwa, Y., et al. (2022). Toward a long-term atmospheric CO<sub>2</sub> inversion for elucidating natural carbon fluxes: technical notes of NISMON-CO2 v2021.1. *Prog Earth Planet Sci* 9, 42.
- 8) 寺尾有希夫, 石戸谷重之 (2021) 大都市における温室効果ガスと関連物質の大気観測. *大気化学研究*, 45 [https://jpsac.org/wordpress/wp-content/uploads/2021/07/A\\_ACR\\_vol45.pdf](https://jpsac.org/wordpress/wp-content/uploads/2021/07/A_ACR_vol45.pdf)