

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：82101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710022

研究課題名(和文) アジア・オセアニア域のモンスーンに伴う温室効果ガス濃度分布の変動

研究課題名(英文) Spatial and temporal variations of greenhouse gas concentrations during the monsoon season over Asia and Oceania

研究代表者

井上 誠 (Inoue, Makoto)

独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・特別研究員

研究者番号：00599095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：GOSATに搭載されている温室効果ガス観測センサの短波長赤外バンドから推定された二酸化炭素とメタンのカラム平均濃度と航空機観測データとを比較した。日本を含むアジアモンスーン域、オーストラリア、シベリアなどの地域で両データセットの相関が高いことが示された。また、夏季から冬季にかけての季節進行に伴いアジアモンスーン域の対流圏・成層圏の風速や降水量などがどのように変動するのかを調べた。その結果、成層圏の風の変化に伴いアジア対流圏の循環場(モンスーン循環)や降水量が変化することが示された。これらの結果は、対流圏の温室効果ガスの濃度分布が成層圏の現象と関わっている可能性があることを示している。

研究成果の概要(英文)：Column-averaged dry-air mole fractions of carbon dioxide and methane, retrieved from Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT) Short-Wavelength InfraRed (SWIR) spectra, were compared to aircraft measurement data. Comparison showed that GOSAT data over Asian monsoon region including Japan, Australia, and Siberia were highly correlated with aircraft measurements. In addition, we investigated the seasonality of wind and convective activities over Asian region from Northern summer through winter. The result showed the significant changes of atmospheric circulation in the troposphere and precipitation over Asia with the alteration of the stratospheric wind. These results may suggest that the distribution of the greenhouse gases in the troposphere is controlled by the stratospheric phenomenon.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：温室効果ガス モンスーン 衛星観測 大気化学 航空機観測 アジア・オセアニア 成層圏

## 1. 研究開始当初の背景

温室効果ガスは、地球環境に大きな影響を及ぼす重要な大気物質である。大気中の二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの濃度を知るには、地上設置の高分解能フーリエ変換分光計(地上 FTS)や航空機に搭載された測定装置による計測が大変有用であり、高い精度のデータを得ることができる。全量炭素カラム観測ネットワーク(TCCON)と呼ばれる地上 FTS のネットワークでは、測定手法などの厳しい条件を満たした世界中の観測点(日本、オセアニア計 4 地点を含む)の FTS データを収集しており、炭素循環の分野で注目されている。しかし地上 FTS や航空機観測データは時間的にも空間的にも限りがあり、地点の分布域にも偏りがある。そのような背景で、主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタン濃度の観測を目的として、温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT が 2009 年 1 月に種子島宇宙センターから打ち上げられた。この衛星データにより、温室効果ガスの詳細な水平構造の把握及び将来の気候変化予測につながる事が期待される。アメリカ地球物理学連合(AGU)での炭素循環研究のセッションでは GOSAT や TCCON に関する発表が中心に行われており、日本気象学会でも GOSAT の特別セッションが組まれるなど、国内外で活発な研究分野となっている。

一方で、日本を含むアジア域の気候は、夏季と冬季の卓越風向が交代するモンスーン現象によって支配されている。モンスーンが最も顕著に現れるのはアジア域東部とインド及び東南アジアからオセアニアにかけての地域である。モンスーンの強まりは、インド周辺域での西風の強さと多降水で特徴付けられるが、成層圏にも影響を及ぼすという研究成果もあり高度方向の変化も見逃せない。北半球の夏季モンスーンは 5~6 月頃に始まり、初秋頃に終息するという季節変化をたどり、顕著な時空間変動を持つ。温室効果ガスは大気の流れによって輸送されるため、その物質分布はモンスーンの影響を受けると考えられるが、そのような視点に立った研究はこれまでにほとんどなかった。

## 2. 研究の目的

GOSAT の観測データと再解析データなどを用いて、アジア・オセアニア域のモンスーン循環と温室効果ガスの濃度分布との関わりを季節進行の観点も含めて評価することが目的である。これまでの温室効果ガス濃度の分布形成メカニズムに関する研究はグローバルな場での議論が多かったが、本研究ではアジア・オセアニア域という局所的な物質

循環に焦点を当てる。また、広域の場で定期的にデータを取得できるという GOSAT の特性から、各物質の濃度変動が数日スケールで表現できるため、これまでに解析できなかったアジア規模での風や対流活動に現れるモンスーンの始まりやブレイクなどの短時間スケールのイベントとの対応関係を調べる。

さらに、最近明らかになった温室効果ガスの濃度変化と成層圏の子午面循環が関係するという数値モデルの結果も考慮し、対流圏界面を通じた物質交換や成層圏の子午面循環及び大気中の波活動の解析を行う。赤道上空の下部成層圏には、平均して約 28 ヶ月の周期で東風と西風が交代する興味深い現象があり、成層圏準 2 年周期振動(QBO)と呼ばれている。成層圏 QBO とアジア域対流圏の循環との関係に着目し、モンスーンの時節推移に伴って循環や対流活動、波活動がどの地域でどのように変化していき、その結果どのようなプロセスで対流圏の温室効果ガス濃度の変動をもたらすのかを解き明かすことを目指す。

## 3. 研究の方法

GOSAT データを科学的な研究に利用するためには、信頼性の高い観測データを用いた検証が必須である。そこで、まず航空機観測データと GOSAT データとの比較を行う。さらに、GOSAT データ、地上 FTS データ、航空機観測データなどを用いて、アジア、オセアニア域における二酸化炭素とメタン濃度の水平分布と時間変動の特徴を調べる。

そして、観測データに基づく大気場・降水量の客観解析データ(NCEP/NCAR 再解析データ、NCEP-DOE データ、CMAP 降水量データ)も使用して循環場の解析を行い、物質濃度との関連性を見出す。成層圏 QBO と対流圏循環場の関係を調べるために、最近 25 年間(1980~2004 年)を QBO が東風である年と西風である年に振り分ける。QBO が東風の年から西風の年を引いた風や降水量などの偏差図を作成し、QBO の位相変化による大気場の変動の特徴を調べる。対流活動や子午面循環、及び波活動の解析を行うことによって、モンスーンの時節進行に伴い対流圏の気候・降水活動や成層圏と対流圏の結びつきがどのように変化していくのかを明らかにする。

## 4. 研究成果

GOSAT に搭載されている温室効果ガス観測センサの短波長赤外バンドから推定された二酸化炭素とメタンのカラム平均濃度( $\text{XCO}_2$  及び  $\text{XCH}_4$ 、2012 年 6 月に公開された Version 02.00)と航空機観測データとを比

較した。その結果、アジアモンスーン域(日本、韓国、台湾、グアム、東南アジアなど)、オーストラリア、シベリアなどの地域で両データセットの相関が高いことが示された。アジア・オセアニアを含む世界 47 か所の航空機観測データを用いて GOSAT の二酸化炭素濃度と比較した結果を国際誌 Atmospheric Chemistry and Physics に投稿した(Inoue et al., 2013)。その結果の一部を図 1 に示す。このように、GOSAT の二酸化炭素濃度の方が 1~2ppm 程度低い傾向にあるものの、GOSAT データと航空機観測データはよい一致を示すことを確認した。メタンについても同様に、航空機観測データと GOSAT データとの比較を行った。その結果、GOSAT のメタンの方が陸域で 1ppb 程度高い傾向にあるものの、両データは有意な正の相関を示した。以上の検証結果から、GOSAT データは科学的な研究に利用できる状況であると言える。

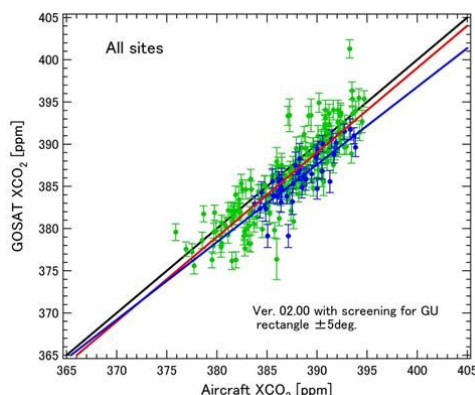


図 1 航空機観測(横軸)と GOSAT(縦軸)により得られた二酸化炭素濃度の相関図。緑色、青色の点はそれぞれ陸域、海域で得られたデータであることを示す。赤色、青色の実線はそれぞれ陸域、海域データの回帰直線。黒色の実線は両データの値が完全に一致する線。Inoue et al.(2013, Atmospheric Chemistry and Physics)より抜粋。

次に、アジア・オセアニア域における二酸化炭素とメタン濃度の季節変動特性を調べた。その結果、一部で顕著な時間変動が認められ、季節変動の振幅はこれまでの研究結果とおおむね一致していた。インドやマニラ、グアムなどの地点における航空機データと再解析データによる風や降水量などの物理量は、北半球夏季から秋季にかけてのモンスーンの季節進行に伴いアジア域で顕著な変動をしていることが確かめられた。

さらに、成層圏 QBO とアジア域対流圏の関係に着目し、夏季から冬季にかけての季節進行に伴ってアジアモンスーン域の対流圏・成層圏の風速や降水量などがどのように

変動するのかを調べた。その結果、QBO の位相の変化によって秋季アジア域対流圏の循環場や降水量が有意に変化することが示され、その内容を Journal of Geophysical Research に投稿した(Inoue and Takahashi, 2013)。図 2 はその結果の一部であり、成層圏 QBO の位相の変化に伴って北緯 30~70 度付近のアジア・ユーラシア域における対流圏で風速が有意に変化していることが分かる。さらなる解析によって、この対流圏の循環の変化には大気波動や降水活動が関わっていることが示された。温室効果ガスは大気の流れによって輸送されるため、その物質分布は必然的にアジアモンスーンの影響を受ける。これらの結果は、対流圏の温室効果ガスの濃度分布が成層圏の現象と密接に関わっている可能性があることを示している。

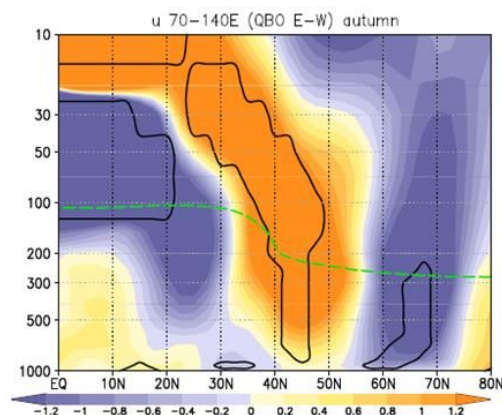


図 2 秋季(9~11月)アジア域(東経 70~140 度)における東西風速の緯度高度断面図。ただし、QBO 東風年から西風年を引いた偏差。東西風の単位は m/s。濃い線内は、東西風偏差が 95%で統計的に有意な領域。横軸が緯度で左端が赤道、右端が北極付近。縦軸が高度を示し下端が地表、上端が中部成層圏(上空約 30km)。緑色の破線は対流圏界面(対流圏と成層圏の境界)を表す。Inoue and Takahashi (2013, Journal of Geophysical Research Atmospheres)より抜粋。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Makoto Inoue, Isamu Morino, Osamu Uchino, Yuki Miyamoto, Yukio Yoshida, Tatsuya Yokota, Toshinobu Machida, Yousuke Sawa, Hidekazu Matsueda, Colm Sweeney, Pieter P. Tans, Arlyn E.

Andrews, Sebastien C. Biraud, Tomoaki Tanaka, Shuji Kawakami, and Prabir K. Patra, Validation of XCO<sub>2</sub> derived from SWIR spectra of GOSAT TANSO-FTS with aircraft measurement data, Atmospheric Chemistry and Physics, 13, 9771-9788, doi:10.5194/acp-13-9771-2013, 2013. (査読あり)

Makoto Inoue and Masaaki Takahashi, Connections between the stratospheric quasi-biennial oscillation and tropospheric circulation over Asia in northern autumn, Journal of Geophysical Research Atmospheres, 118, 10740-10753, doi:10.1002/jgrd.50827, 2013. (査読あり)

Yuki Miyamoto, Makoto Inoue, Isamu Morino, Osamu Uchino, Tatsuya Yokota, Toshinobu Machida, Yousuke Sawa, Hidekazu Matsueda, Colm Sweeney, Pieter P. Tans, Arlyn E. Andrews, and Prabir K. Patra, Atmospheric column-averaged mole fractions of carbon dioxide at 53 aircraft measurement sites. Atmospheric Chemistry and Physics, 13, 5265-5275, doi:10.5194/acp-13-5265-2013. (査読あり)

Makoto Inoue, Masaaki Takahashi, and Hiroaki Naoe, Relationship between the stratospheric quasi-biennial oscillation and tropospheric circulation in northern autumn, Journal of Geophysical Research Atmospheres, 116, D24115, doi:10.1029/2011JD016040, 2011. (査読あり)

Isamu Morino, Osamu Uchino, Makoto Inoue, Yukio Yoshida, Tatsuya Yokota, Paul O. Wennberg, Geoffrey C. Toon, Debra Wunch, Coleen Marie Roehl, Justus Notholt, Thorsten Warneke, Janina Messerschmidt, David W. T. Griffith, Nicholas M. Deutscher, Vanessa Sherlock, Brian Connor, John Robinson, Ralf Sussmann, and Markus Rettinger, Preliminary validation of column-averaged volume mixing ratios of carbon dioxide and methane

retrieved from GOSAT short-wavelength infrared spectra, Atmospheric Measurement Techniques, 4, 1061-1076, doi:10.5194/amt-4-1061-2011, 2011. (査読あり)

[学会発表](計 4 件)

Makoto Inoue, Isamu Morino, Osamu Uchino, Yuki Miyamoto, Tazu Saeki, Yukio Yoshida, Tatsuya Yokota, Toshinobu Machida, Yousuke Sawa, Hidekazu Matsueda, Colm Sweeney, Pieter P. Tans, Arlyn E. Andrews, Sebastien C. Biraud, Tomoaki Tanaka, Shuji Kawakami, TCCON partner, Validation of GOSAT SWIR XCO<sub>2</sub> and XCH<sub>4</sub> using TCCON data and aircraft measurements: Parameter dependency of GOSAT biases and the bias correction, AGU Fall Meeting, San Francisco, December, 2013.

井上誠・森野勇・内野修・佐伯田鶴・吉田幸生・横田達也, TCCON データを用いた GOSAT プロダクトの検証 バイアスのパラメータ依存性とその補正手法の検討, 日本気象学会 2013 年度春季大会, 渋谷区, 2013 年 5 月.

井上誠・直江寛明・柴田清孝・高橋正明, 北半球秋季における成層圏 QBO と対流圏循環との関係, 日本気象学会 2012 年度春季大会, つくば, 2012 年 5 月.

Makoto Inoue, Isamu Morino, Osamu Uchino, Yuki Miyamoto, Yukio Yoshida, Tatsuya Yokota, Colm Sweeney, Pieter P. Tans, Toshinobu Machida, Validation of XCH<sub>4</sub> derived from SWIR spectra of GOSAT TANSO-FTS with aircraft measurement data. EGU General Assembly 2012, Vienna, April, 2012.

[その他]

ホームページ等

<http://www.nies.go.jp/rsdb/vdetail.php?id=205698>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 誠 (INOUE, Makoto)

独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・特別研究員

研究者番号: 00599095