

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23710034

研究課題名(和文) 大気化学輸送モデルを用いたトップダウン手法による一酸化二窒素の全球収支の解析

研究課題名(英文) Global budget analysis of nitrous oxide based on top-down approach using a chemistry transport model

研究代表者

石島 健太郎 (ISHIJIMA, Kentaro)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球表層物質循環研究分野・研究員

研究者番号：90399494

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：大気中一酸化二窒素(N₂O)の計算を行うために、大気大循環モデルに成層圏でのN₂Oとオゾンの光化学反応を組み込んだ大気化学輸送モデルを開発した。本モデルは大気N₂Oモデル相互比較実験(TransCom-N₂O)において他のモデルと比べて優れた性能を示し、逆計算においても高い信頼性が有することが予想された。逆計算による地域毎のN₂O放出量変動の推定の結果、陸域では概ね先験値と異なる変動傾向を示し、春の農業における施肥や融雪が原因となっている可能性や、更なる観測データの拡充による逆計算精度向上の必要性が示唆された。また観測データの整備を行い、モデル計算以外でのN₂O逆計算研究への貢献も行った。

研究成果の概要(英文)：We have developed a chemistry transport model to simulate atmospheric nitrous oxide (N₂O) by incorporating photochemical reactions for N₂O and ozone in an atmospheric general circulation model. This model showed nice performance compared to other models in an intercomparison of atmospheric N₂O models (TransCom-N₂O), and thereby it was expected that inverse modeling by the model could be also reliable. We estimated seasonal variations of regional N₂O emissions by inverse modeling, and the temporal tendencies were different from the prior emissions, indicating that agricultural fertilization and/or thaw could be a cause for them, and necessity to improve precision of the N₂O inverse modeling by expansion of N₂O observation network. In addition to such modeling, we also made a new observation data set of atmospheric N₂O, which resulted in contributing to N₂O inverse modeling studies.

研究分野：大気化学

キーワード：一酸化二窒素 トップダウン 放出量 推定 逆計算 モデル 観測

1. 研究開始当初の背景

近年、二酸化炭素 (CO₂) を始めとする温室効果気体の増加による大幅な気候変動が危惧されている。中でも一酸化二窒素 (N₂O) は CO₂ の 300 倍の温室効果能力を持つ温室効果気体であると同時に、成層圏では一酸化窒素 (NO) の生成源として働き今世紀最大のオゾン破壊物質と考えられており、地球環境にとって極めて重要な気体である。大気中の N₂O 濃度は、農地における窒素肥料使用や化石燃料燃焼などの人為的 N₂O 放出により産業革命以後増加し続けている。このような N₂O 増加は食糧生産とも直結しており、また大気中での寿命も約 120 年と非常に長いので、将来的にも放射収支と大気化学の両面において地球環境に影響を及ぼし続けると考えられる。それ故大気中 N₂O の削減すなわち世界的な人為起源 N₂O 放出の緩和は急務であり、そのためにも全球的な N₂O 放出量の実態を正確に把握することは必須である。N₂O の主な人為放出源は農業活動であり、消滅源は成層圏における光化学反応であるということは知られているが、人為や自然の放出源ごとの放出量の比率や全球的あるいは領域毎の放出量の分布などの見積もりには 50%にも及ぶ極めて大きな不確定さがある (IPCC2008)。

このような状況に対処するため N₂O 放出源毎あるいは地域毎の N₂O フラックスを全球にわたって定量化することは非常に重要であるため、これまでチャンバー法などを用いて直接測定し、ボトムアップ的に全球に拡張する方法がとられてきた。しかし、この方法では N₂O フラックス測定の誤差が全球値に直接反映されるため、定量化に大きな不確定性を伴う。そこで最近注目されているのが、大気中の N₂O 濃度から 3 次元大気輸送モデルを用いてトップダウン的に地表 N₂O フラックスを推定する「逆計算法」である。逆計算法による CO₂ フラックス推定は良く知られているが、N₂O に関しては非常に限られている。逆計算法においては、「地表フラックス (放出・吸収両方)」と「大気輸送」の 2 つの要素が大気中濃度を変動させていることを考慮して、濃度のモデル計算値と観測値の差が最小になるように地表フラックスを調整する。しかし、N₂O の場合消滅源は成層圏にあり、そこでの N₂O 低濃度気塊が成層圏-対流圏交換により対流圏に流入し、対流圏中の N₂O 濃度を希釈する効果が働く。それ故、N₂O の逆計算を行う際は、濃度観測値に含まれている成層圏の影響が、モデル中でも現実的に再現されていなければ、地域ごとに成層圏影響の強弱に応じたバイアスが生じ、得られるフラックスの時空間分布は非現実的なものとなる。Huang et al. (2008) によると成層圏影響評価の誤差 ±50% に対して、北・南半球の放出量推定値誤差はそれぞれ ±10%、±20% にもなる。この影響は実際、モデルの性能に大きく依存する要素である。過去の

N₂O 逆計算研究においては、オフラインモデル (気象場や大気放射およびそれによって駆動される大気輸送等を自ら計算できないモデル) が用いられていたため、成層圏影響に起因する N₂O フラックス見積もり誤差が非常に大きいと考えられる。同時にそのようなモデルは成層圏影響の季節変動の再現も不得手であるため、地域毎の数年間の平均の N₂O フラックス推定を行うに留まっており、近年関心の高い N₂O フラックスの季節変動を見積もるには至っていない。

2. 研究の目的

以上の背景をふまえ、本研究では、成層圏-対流圏交換の現実的な表現が可能な大気大循環モデルに、成層圏 N₂O 光化学反応を組み込んだ大気化学輸送モデルを用い、地表 N₂O 濃度変動への成層圏影響を最小限に抑えた上で、全球の地表 N₂O フラックスの時空間変動を見積もることを目的としている。このモデルは Ishijima et al. (2010) で示したように、高い精度で N₂O 濃度観測値に見られる成層圏影響を再現することが確認されており、また対流圏内における大気輸送に関しても非常に優れているということが分かっている (Patra et al., 2009)。この利点を生かし、Ishijima et al. (2010) で確立された N₂O モデルを用い、これまで行われていない N₂O フラックスの季節変動や年々変動の見積もりを行い、得られた N₂O フラックスの時空間変動の要因を究明する。

3. 研究の方法

本研究で実施する逆計算による N₂O フラックス推定では、大気輸送モデルと N₂O 濃度観測データおよび逆計算アルゴリズムを用いる。流れとしては、全球を複数の領域に分割し、各観測ステーションにおける各分割領域からの N₂O 放出量に対する N₂O 濃度の変化量をモデル計算により求め、それを基に N₂O 濃度の観測値とモデル計算値の差が最小となる各領域のフラックス値の組み合わせを算出するというものである。本研究ではこれを月毎に複数年 (3 年以上) に渡って実施することにより、領域毎の N₂O フラックスの季節変動および年々変動を見積もる。またそうして得られた N₂O フラックスの時空間変動のメカニズムを、陸上における土壌水分量や地温あるいは海洋における海面水温やエルニーニョ現象さらには陸域生態系モデルによって見積もられた N₂O フラックスなどと比較することによって解明する。

大気中 N₂O 濃度シミュレーションには、大気大循環モデルに成層圏での N₂O とオゾンの光化学反応を組み込んだオンライン大気化学輸送モデル (CCSR/NIES/FRCGC AGCM v5.7) (Takigawa et al. 1999) を用いる。分解能は水平: T42 (約 2.8°×2.8°)、鉛直: 67 層 (0~90 km) で、地上から中間圏までをカバーしている。気象場は再解析気

象データをナッチング（簡単なデータ同化手法のひとつ）することで再現する。既に六フッ化硫黄やラドンという反応性のないトレーサーを使った輸送場の検証を行っており（Patra et al., 2009）、また他のモデルと比較しても非常に偏りのない高精度な輸送計算能を備えたモデルであることが確認されている（Law et al. 2008）。最近では N_2O の成層圏-対流圏交換についても高い再現性を有することを確認しており（Ishijima et al., 2010）、 N_2O フラックスの推定には最適のモデルといえる。また代表者の所属する海洋研究開発機構は本モデルのメインの開発機関であり、必要に応じてモデルの開発・改善および更新の情報を得ることが可能である。

本研究では全球的に数多くの観測ステーションで得られる大気中 N_2O 濃度の時系列データを用いる。これには東北大学、国立環境研究所、NOAA（National Ocean and Atmospheric Administration、米国）や AGAGE（Advanced Global Atmospheric Gases Experiment、米国）によって実施されている地上における定点連続観測あるいはフラスコサンプリング観測ネットワークのデータが含まれる。原則的には、用いるステーションの数が多きほど、推定されるフラックスの信頼性も高まるため、ある一定の基準を満たす品質のデータを提供する観測ステーションをできるだけ多く利用することになる。実際には、2010年に立ち上げられた TransCom-N2O（ N_2O 計算に関する大気輸送モデル相互比較プロジェクト）における逆計算に関するプロトコルに従って、NOAA/ESRL/GMD による全球フラスコサンプリングネットワークのデータを中心に、環境研や AGAGE 等の in-situ 観測値も含めた約 60 の観測ステーション（図 1）から得られた 2005-2009 年のデータを用いた。

フラックス推定も同様に TransCom-N2O プロトコルに従い、2005-2009 年の各月について行った。またフラックス推定を行う全球の領域の分割は、TransCom3（ CO_2 逆計算相互比較）で用いられた 22 領域（陸・海各 11 領域）に準拠している（図 1）。フラックス分布先験値としては、EDGARv4.1 の人為起源放出量推定値と、フランスの研究グループによる ORCHIDEE O-CN 陸上生態系モデル及び PISCES 海洋モデルの推定値、そして GFED2 の biomass burning による放出量推定を組み合わせたものであり、全球年間放出量は約 17 TgN （窒素換算 $17 \times 10^{12} \text{ g}$ を意味する）である。

逆計算は、濃度測定誤差、測定値時間代表性、モデル輸送の誤差等を考慮し、Rayner et al. (1999) による行列解をベイズ統計理論と最小二乗法を用いて解くアルゴリズムを用いて行った。実際の手順は以下の通りである。

(1) ある基本となる N_2O フラックス分布（フラックス先験値）をモデルに入力し N_2O 濃度の前進計算を行う。

- (2) (1)のフラックスを全球 22 領域に分割し（図 1）、対象期間の各月のそれぞれの領域のフラックスに対して一ヶ月間の N_2O 放出パルス（領域内の各グリッドのフラックス値に、ある同一の数を掛け合わせ、時間方向に矩形のパルスを作る）を与えて前進計算を行い、各月の各放出域からの N_2O 放出に対する各観測ステーションの各月における N_2O 濃度変化を表す応答関数を決定する。これはある月のある領域から N_2O が放出された後、その N_2O は大気輸送・拡散により全球に広がってゆき、その結果、ある月のある観測ステーションでどの程度の N_2O 濃度変化が見られるかを行列化したものである（[ステーション数] × [領域数 × 月数] の行列）。
- (3) 逆計算アルゴリズムにより、各観測ステーションにおける観測値とモデル計算値の差が最小となるように応答関数に基づいて各月・各領域のフラックス先験値に対する最適なフラックス増減分を決定し、最終的なフラックス推定値を得る。各月・各領域のフラックスの不確定さは、観測データの濃度測定誤差とモデルの大気輸送誤差（モデルは解像度や用いる気象データ等により異なる輸送状態を再現する）を用いて同時に推定される。

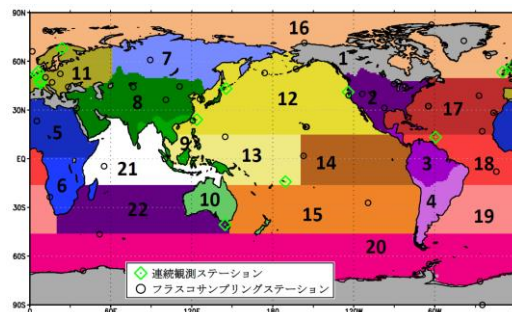


図 1. 逆計算に用いられた 22 領域と N_2O 濃度観測ステーション。

以上の大規模な逆計算を実施する前に、特定の観測データのみを用いた、簡易な逆計算を行う機会を得た。米国のハーバード大学主導の HIPPO 航空機観測（HIAPER Pole-to-Pole Experiment: 環境研究用高性能測器搭載航空機による極間飛行観測実験）が、2009-2011 年の 3 年間の間に計 5 回それぞれ異なる季節に行われた。その中には光学的手法による大気中 N_2O 濃度の連続測定が含まれており、その担当研究グループと共同研究を行った。2009 年 1 月と 11 月に行われた 2 回の HIPPO 観測による N_2O 濃度測定結果を解析する上で ACTM による計算結果を提供し、全球 12 領域における簡易な逆解法を実施した。

4. 研究成果

大規模な逆計算を行う前のテスト的な解析として、HIPPO 航空機観測データを用いた簡易な逆計算を行った。2009年1月と11月にそれぞれ南緯70°付近から北点近くまでの緯度帯を地表付近から高度14kmの範囲で航行して大気中 N_2O 濃度を連続測定することにより、緯度高度断面が得られた。その結果、 N_2O 濃度が熱帯-亜熱帯の中上部対流圏において極大となるケースが見られ(図2上)、そのような濃度分布パターンは2~3週間の時間スケールで大きく変動することが始めて明らかとなった(Kort et al., 2011)。一方、ACTMに既存のフラックスデータを入力して計算した結果、観測された濃度パターンを再現できないことが分かった(図2)。そこで、全球を12の領域に分割し、3週間単位の N_2O 逆計算をACTMを用いて実施した。その結果、観測された N_2O 濃度緯度高度分布を再現するには、熱帯域における9週間で1 TgN という短期的かつ強い N_2O 放出が必要であることが分かった。熱帯域における活発な対流活動に伴う強い降水により土壌中 N_2O 生成が数日スケールで促進され、かつ放出された N_2O は同時に対流輸送により上部対流圏まで運ばれたため、観測されたような高度分布が形成されたことが示唆された。これらの発見は、強い熱帯 N_2O 放出源の存在の可能性と、それを検知するための大気全高度プロファイル観測の必要性を強調するものであった。

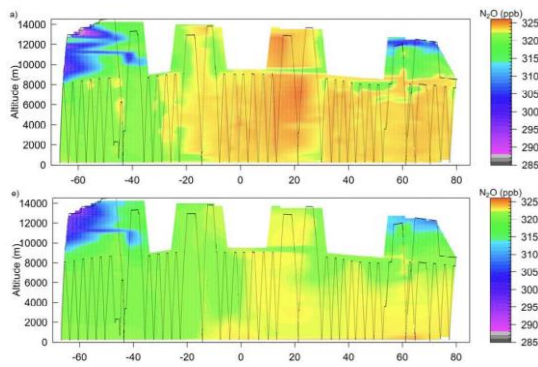


図2. 2009年1月のHIPPO航空機観測(南行き航行)により得られた N_2O 濃度の緯度高度断面(上:観測、下:モデル)。

2010年にTransCom- N_2O が立ち上げられ、世界各国から大気化学輸送モデル研究者が参加し、 N_2O の前進および逆計算結果の相互比較が行われた。

まず初めに、大気中 N_2O 濃度変動への大気輸送と地表フラックスの影響を評価するために、 N_2O 濃度前進計算相互比較実験が行われた(Thompson et al., 2014b)。8つのモデルが参加し、2006-2009年の期間の計算結果について、観測との比較およびモデル同士の相互比較が行われた。全モデルが、広域的な濃度コントラストパターン、対流圏から成層圏への鉛直勾配や、対流圏内の濃度増加率

等を概ね再現した。しかし、全モデルが、半球間濃度勾配を0.33ppb以上過小評価し、用いたフラックス分布の半球間勾配(北半球-南半球)を1.5TgN程度過小評価しているか、モデルが北半球で成層圏影響を過大評価している可能性が示唆された。航空機観測との比較ではハワイ上空の6000m以下においてモデルが季節変動振幅を過大評価しており、この緯度帯の対流圏において成層圏影響が過大である可能性が示された。他にも成層圏や対流圏輸送の影響を切り分けて調べるためにフロン(CFC-12)や六フッ化硫黄(SF_6)のモデル計算も行われた。その結果、北半球ではほとんどのモデルがCFC-12季節変動位相をよく再現し、モデル中の成層圏影響が妥当であることを示した(図3)。しかしほとんどのモデルが N_2O の極小期を2~3ヶ月早く見積もり、用いられた陸域生態系モデルにより推定された土壌 N_2O フラックスの季節変動が現実的でない可能性が示唆された。南半球では、ほとんどのモデルがグリム岬(CGO)における N_2O とCFC-12の季節変動を再現できず、南極点(SPO)では全モデルが再現できなかった。一方で全モデルが南半球の SF_6 の季節変動を比較的よく再現したため、現段階において、大気輸送モデルは未だ南半球高緯度の鉛直輸送に難がある状況が浮かび上がった。これらの比較から明らかになったのは、ACTMは N_2O 計算に関して他のモデルと比べてあらゆる面で最も良い結果を示し、現時点で最も優れたモデルとして位置づけられるということであった。これは本研究において大きな成果であるといえる。

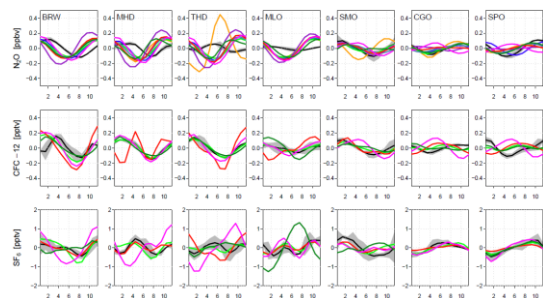


図3. 観測およびモデルによる2006-2009年の平均季節変動(黒:観測、黄緑:ACTM、それ以外の色:他のモデル)。

前進計算に続いて逆計算の相互比較が行われた(Thompson et al., 2014c)。フラックス先験値と観測データを統一した上で、5つの異なるモデル(気象データや逆計算方法も異なる)により計算推定された2006-2008年の N_2O フラックスの結果が比較された。逆計算推定されたフラックスの妥当性を検証する手段として、その得られたフラックスをモデルに入力して前進計算を行い、その N_2O 濃度計算結果を観測値と比較するという解析が行われた。やはりACTMが最も優れた結果を示し、推定されたフラックスの信頼性も高いであろうということが推察された。

2006-2008 年の平均の全球総 N_2O 放出量は $16.1\sim 18.7 \text{ TgN yr}^{-1}$ とモデル間で近い値を示し、過去の研究 (Prinn et al., 1990; Hirsh et al., 2006; Huang et al., 2008) と同様な差はなかった。海洋の放出比率も過去の見積もりが全球放出の $24\sim 38\%$ であったのと比べると $31\sim 38\%$ と比較的小さな範囲に留まった。陸海合わせた放出を見ると、北半球中高緯度の N_2O 放出が重要性を増してきているようである。30-90N の 0-30N に対する放出量比が過去の研究では 0.34 程度であったのが、今回の見積もりでは $0.52\sim 0.67$ と大きく増加した。最もモデル間のばらつきが大きかったのは南・東アジアと熱帯・南アメリカであった。これらは観測データがあまりない地域であることと、モデルによる南北輸送や熱帯域の対流の表現が大きく異なることに起因すると考えられる。 N_2O 放出量の季節変動は、モデル内の熱帯域の対流輸送や南半球中高緯度の成層圏-対流圏輸送の強弱に大きく左右されることが示唆された。全体としてみると、過去の研究結果と比較して全球あるいは地域毎のモデル間の差は縮まったといえる (図 4)。

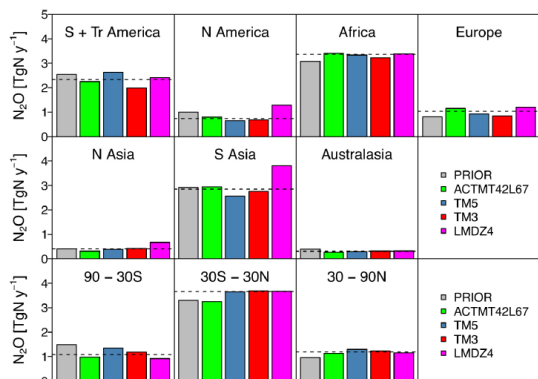


図 4. 観測およびモデルによる 2006-2009 年の平均季節変動 (黒: 観測、黄緑: ACTM、それ以外の色: 他のモデル)。

ACTM の逆計算推定フラックスの季節変動について、他のモデルやインベントリの推定結果との比較も行った (図 5)。北米やヨーロッパにおいて、推定値の極大となる時期が先験値よりも 2~3 ヶ月早まっており、陸域生態系モデル VISIT と近い傾向を示した。先験値では気温が上がる夏に放出量が極大になると推定されたと考えられるが、逆計算は先験値内で明示的に考慮されていない春先の農業における肥料投入や、雪解けに伴う土壌水分量増大が引き起こし得る N_2O 生成を反映したものと考えられる。一方、北方・温帯アジアでは、やはり先験値は夏に極大であったが、逆計算では春・秋という年に 2 回極大となる結果が得られた。実際には北方アジア (図 1 の領域 7) のフラックスは非常に小さいため、これらは主に中国・インドを含む東・南アジア地域 (図 1 の領域 8) により引き起こされている。これには人為・自然両方

の放出源が要因となっている可能性がある。人為的要因としては、巨大な人口を抱える 2 大国における様々な農作物の耕作期が混在し、その都度施肥等が行われて N_2O 放出が増大し、ダブルピークとなる可能性は十分あり得る。自然要因としては、両地域ともモンスーンの影響下にあり、南アジアでは夏季、東アジアは初夏に雨季があり、また春の融雪期にも土壌水分量が増加し N_2O 放出が増得る可能性がある。しかし、これらは先験値でも予想されていたことであり、逆計算の結果春と秋にダブルピークとなったことを考えると農業の影響がより支配的である可能性が考えられる。しかし、これらの地域は未だ観測点数が限られており見積もりの不確定性が大きいと、今後の観測ネットワークの拡充が期待される。アフリカや南米も同様に観測が少ないため、詳細な議論は現時点では難しい。以上、初めて逆計算により N_2O 放出の季節性が推定され、多くの興味深い部分が明らかとなった。しかし、現時点ではまだ観測点数が十分ではないため、今後の更なる観測の展開が待たれるところである。

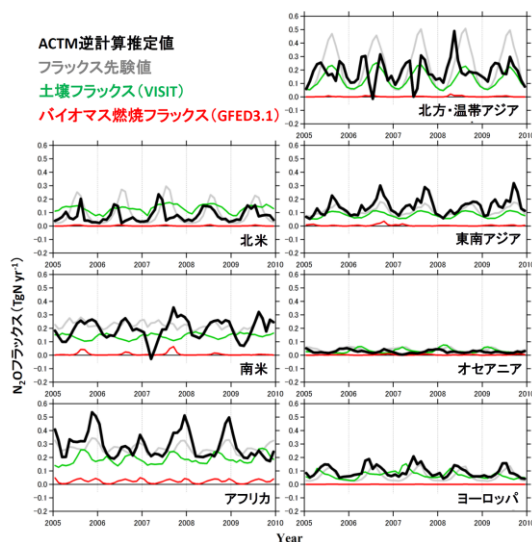


図 5. ACTM の逆計算による陸域の N_2O 放出量推定値。先験値、生態系モデル (VISIT) による土壌放出量推定値、GFED3.1 によるバイオマス燃焼による放出量推定値も示してある。

全段落でも述べたように、逆計算において最も重要な要素は N_2O 濃度観測データである。それを考慮し、モデル研究の観点から観測データの整備も行った。代表者は東北大学と共同で研究等を進めてきているが、東北大学には観測データは蓄積されているもののその予備情報が不足しており、モデル研究への使用には不十分な面があった。そこで我々はモデル研究の観点からそれらデータの不足情報を補いつつアーカイブ化するという作業を行った。そうして整備された中の太平洋上を航行する船舶による観測で得られたデータ (Ishijima et al., 2009) は国外の研究者へも提供され、実際に N_2O 逆計算に用いられ (Thompson et al., 2014a; Saikawa et al.,

2014)、本分野の発展に大きく貢献した。

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 7 件)

(全て査読有り)

- ① R. L. Thompson, K. Ishijima, E. Saikawa, M. Corazza, U. Karstens, P. K. Patra, P. Bergamaschi, F. Chevallier, E. Dlugokencky, R. G. Prinn, R. F. Weiss, S. O'Doherty, P. J. Fraser, L. P. Steele, P. B. Krummel, A. Vermeulen, Y. Tohjima, A. Jordan, L. Haszpra, M. Steinbacher, S. Van der Laan, T. Aalto, F. Meinhardt, M. E. Popa, J. Moncrieff, and P. Bousquet, *TransCom N2O model inter-comparison - Part 2: Atmospheric inversion estimates of N2O emissions*, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 6177-6194, 2014c, doi:10.5194/acp-14-6177-2014.
- ② E. Saikawa, R. G. Prinn, E. Dlugokencky, K. Ishijima, G. S. Dutton, B. D. Hall, R. Langenfelds, Y. Tohjima, T. Machida, M. Manizza, M. Rigby, S. O'Doherty, P. K. Patra, C. M. Harth, R. F. Weiss, P. B. Krummel, M. van der Schoot, P. J. Fraser, L. P. Steele, S. Aoki, T. Nakazawa, and J. W. Elkins, *Global and regional emissions estimates for N2O*, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 4617-4641, 2014, doi:10.5194/acp-14-4617-2014.
- ③ R. L. Thompson, P. K. Patra, K. Ishijima, E. Saikawa, M. Corazza, U. Karstens, C. Wilson, P. Bergamaschi, E. Dlugokencky, C. Sweeney, R. G. Prinn, R. F. Weiss, S. O' Doherty, P. J. Fraser, L. P. Steele, P. B. Krummel, M. Saunio, M. Chipperfield, and P. Bousquet, *TransCom N2O model inter-comparison - Part 1: Assessing the influence of transport and surface fluxes on tropospheric N2O variability*, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 4349-4368, 2014b, doi:10.5194/acp-14-4349-2014.
- ④ R. L. Thompson, F. Chevallier, A. M. Crotwell, G. Dutton, R. L. Langenfelds, R. G. Prinn, R. F. Weiss, Y. Tohjima, T. Nakazawa, P. B. Krummel, L. P. Steele, P. Fraser, K. Ishijima, and S. Aoki, *Nitrous oxide emissions 1999-2009 from a global atmospheric inversion*, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 1801-1817, 2014a,

doi:10.5194/acp-14-1801-2014.

- ⑤ Kort, E. A., P. K., Patra, K. Ishijima, B. C. Daube, R. Jiménez, J. Elkins, D. Hurst, F. L. Moore, C. Sweeney, and S. C. Wofsy, *Tropospheric distribution and variability of N2O: Evidence for strong tropical emissions*, *Geophysical Research Letter*, 38, L15806, 2011, doi:10.1029/2011GL047612.

[学会発表] (計 10 件)

- ① Kentaro Ishijima, Sakae Toyoda, Masayuki Takigawa, Kengo Sudo, Takakiyo Nakazawa, Shuji Aoki, Shinji Morimoto, Satoshi Sugawara Thomas Rockmann, Jan Kaiser, Naohiro Yoshida、*Atmospheric N2O isotope simulation: Model optimization, comparison with observation and source implication*、Seventh International Symposium on Non-CO2 Greenhouse Gases (NCGG7)、2014年11月7日、アムステルダム (オランダ)
- ② 石島健太郎、豊田栄、滝川雅之、須藤健悟、青木周司、中澤高清 4、吉田尚弘、*大気中一酸化二窒素同位体の全球モデリング*、2013年度日本地球化学会年会、2013年09月11日、筑波大学 (茨城県つくば市)
- ③ 石島健太郎、*大気中一酸化二窒素の全球モデリング*、2012年日本地球化学会年会 (招待講演)、2012年09月11日、九州大学 (福岡県福岡市)
- ④ 石島健太郎、Prabir Patra、遠嶋康徳、伊藤昭彦、Rona Thompson、*TransCom members、インバースモデリングによる地域別 N2O フラックス季節変動の推定*、日本気象学会 2012年度春季大会、2012年05月26~29日、エポカルつくば (茨城県つくば市)
- ⑤ Kentaro Ishijima, Prabir K. Patra, Rona L. Thompson and *TransCom-N2O members*、*Seasonal variability of regional N2O flux estimated by inverse modeling*、6th International Symposium on Non-CO2 Greenhouse Gases (NCGG6)、2011年11月3日、アムステルダム (オランダ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石島 健太郎 (ISHIJIMA, Kentaro)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球表層物質循環研究分野・研究員

研究者番号：90399494