

課題番号: 2-1802

GOSAT-2と地上観測による全球の メタン放出量推定と評価手法の包括的研究

体系的番号: JPMEERF20182002

重点課題(主): 【重点課題8】地球温暖化現象の解明・予測・対策評価

行政ニーズ: (2-4) GOSAT-2等を利用したメタン放出量推定の精緻化と検証

研究実施期間: 平成30年～令和3年(新型コロナウイルスの影響のため延長)

<研究代表機関>

千葉大学

<研究代表者>

齋藤 尚子

<研究分担機関>

奈良女子大学

国立研究開発法人海洋研究開発機構

東京学芸大学

国立研究開発法人国立環境研究所

<研究分担者>

犬伏 和之、林田 佐智子、久慈 誠、Prabir Patra、

山本 昭範、寺尾 有希夫、梅澤 拓

<研究協力者>

Dmitry Belikov、Jagat Bisht、Aung Zaw Oo、

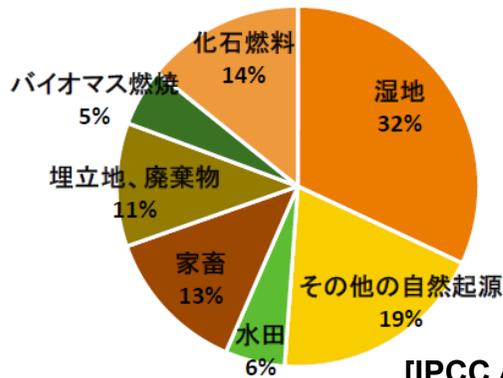
Rahman Mohammed Mahabubur、岡 碧幸、

須藤 重人、小野 圭介、大山 博史

はじめに(研究背景等)、研究開発目的

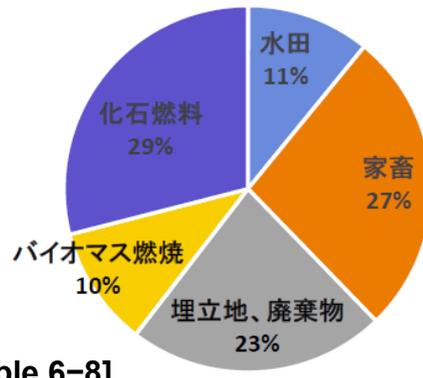
- メタン(CH₄)は、二酸化炭素(CO₂)に次ぐ人為起源温室効果気体、地球温暖化指数(GWP₁₀₀)はCO₂の約28倍(27.2-29.8) [IPCC AR6, 2021]。
- メタンの放出源は多岐にわたっており、メタン生成菌等の生物由来も多いため、メタン発生プロセスは極めて複雑。
- アジア域はメタンの一大放出源。水田からのメタン放出は人為起源放出量の約1割を占める。アジア域はモンスーンに伴う強い上昇流でメタンが上空に輸送され、上空でもメタンが高濃度になることがある。上空の高濃度メタンはOHラジカルとの消失反応を経ながら水平方向に広域に輸送される。
- 南アジアの家畜や水田からは膨大な量のメタンが放出されている。しかし、大気中のメタン濃度やメタンフラックスの観測データが乏しく、南アジアは地上観測の空白域。

全球メタン発生源(2000-2009)

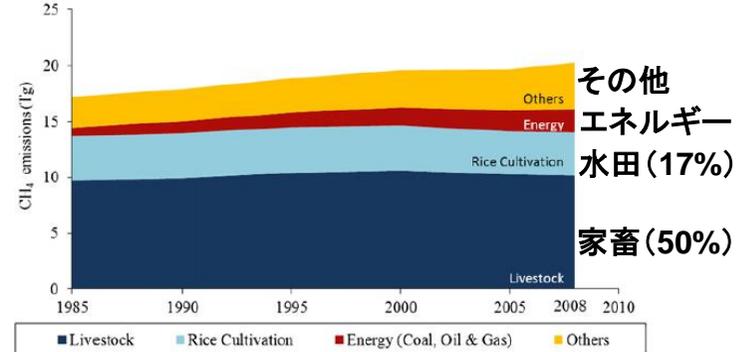


[IPCC AR5, 2013, Table 6-8]

全球人為起源メタン発生源(2000-2009)



インドのメタン排出インベントリ(1995-2008)



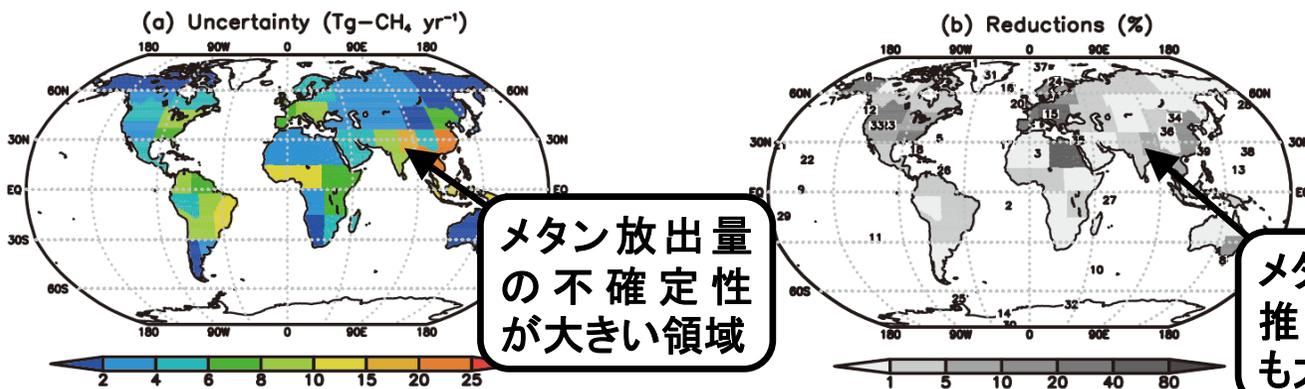
[Garg et al., Atmos. Env., 2011, Fig. 1]

研究目標: メタン放出量推定の精緻化と検証

課題の研究目標(全体目標)

- GOSAT、GOSAT-2と地上観測によるメタン濃度データを用いて大気輸送モデルを評価し、
- 従来のモデルよりも濃度の再現性を向上させた上で、
- 観測データをトップダウン手法によるメタン放出量推定のインバース解析に投入し、全球でメタン放出量の推定を行う。
- インバース解析で推定されたフラックスおよび推定フラックスをもとに計算したメタン濃度を、実測のフラックスデータおよび時空間スケールの異なる地上観測や衛星観測のメタン濃度データと比較することで、
- (衛星観測+地上観測+モデル計算) 包括的なメタン放出量推定の検証を行う。

メタン放出量推定の事前誤差と推定後の誤差の低減率



[Patra et al., JMSJ, 2016, Fig. 5]

- 南アジアで集中的に地上観測を実施し、メタンの放出源と発生プロセスの理解を進める。

研究開発内容: 衛星+地上観測+モデルによるメタン放出量推定



GOSAT等の衛星データ

短波長赤外 SWIRバンド 熱赤外 TIRバンド
 気柱平均濃度 鉛直濃度分布

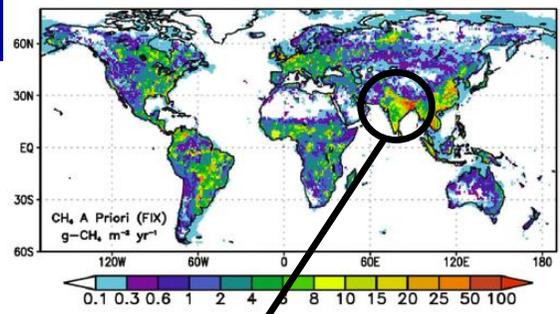
上空

大気化学輸送モデル・インバース解析



サブテーマ3

◆ 全球の領域別メタンフラックス推定値
 パリ協定、GSTに貢献



様々な発生源、複雑な発生プロセスがあり、フラックス推定の誤差が特に大きい

サブテーマ2

衛星・地上観測データの解析

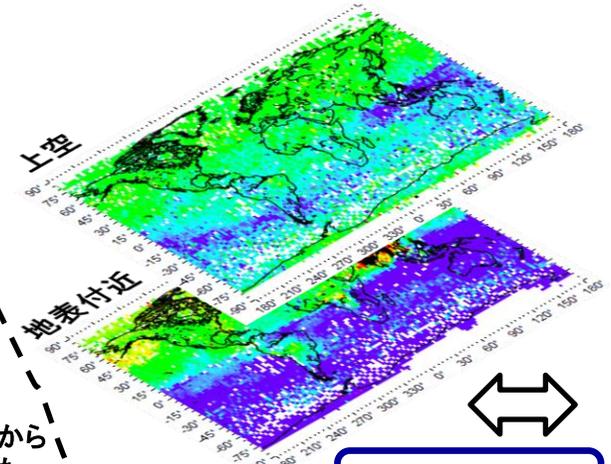
◆ 全球3次元濃度分布の計算値

アジアモンスーンによって上空に輸送された高濃度メタン

比較・評価

サブテーマ1(1)

- ◆ 全球の鉛直濃度分布データ
- ◆ 全球の気柱平均濃度データ



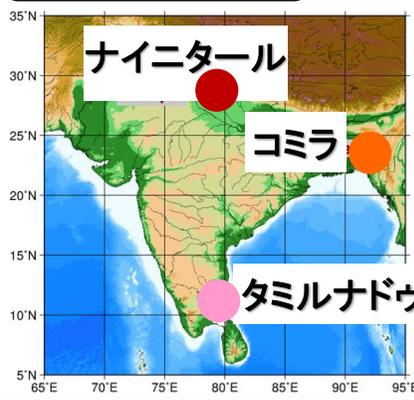
水田などから放出された高濃度メタン

比較・検証

重点領域(南アジア)

サブテーマ4

レーザーメタン計による連続観測



- ◆ 渦相関法フラックス
- ◆ 大気メタン濃度



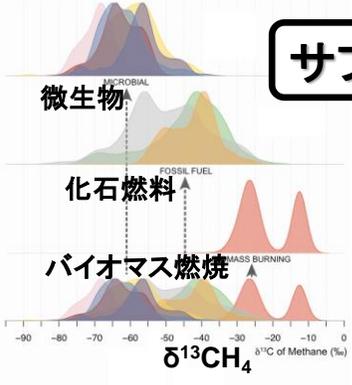
大気・水環境、栽培管理に依存したメタン発生プロセスの理解



水田

サブテーマ5

フラスコサンプリングによる高精度計測



$\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ によって、排出源の分離が可能

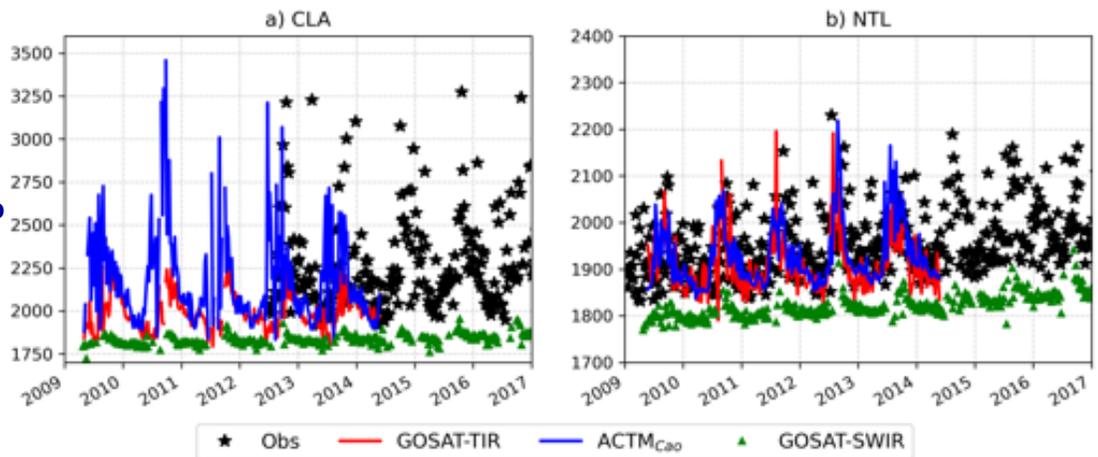
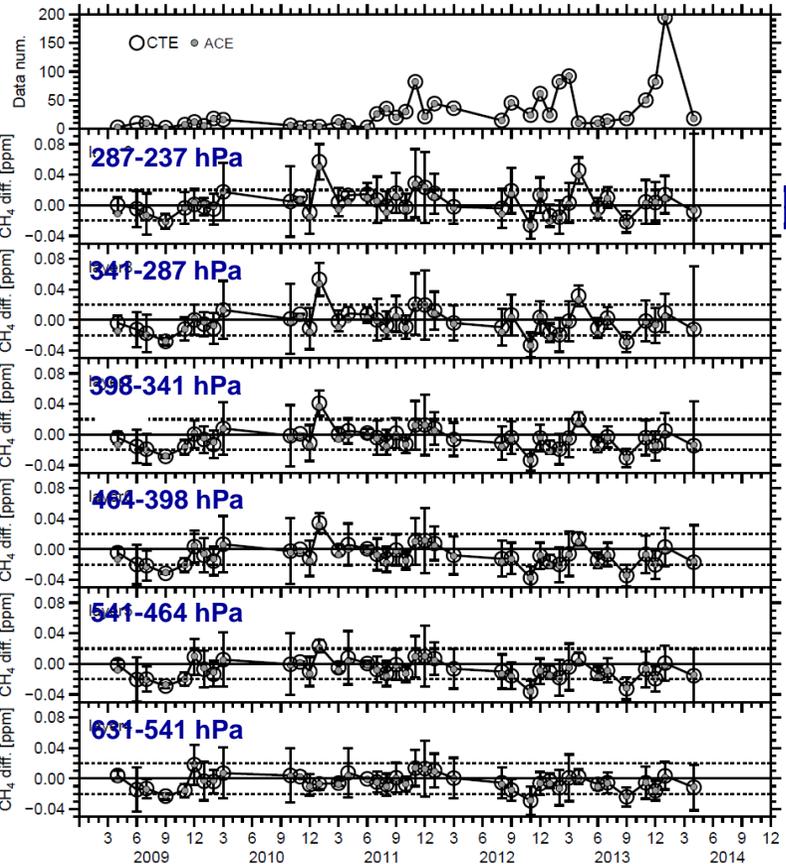
- ◆ メタン、CO濃度
- ◆ メタン安定炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$)

地上

空間分解能 ~10 km

研究目標 GOSAT、GOSAT-2から地表および大気下層も含めたメタン鉛直濃度分布を1%程度の精度で導出し、全球で地上観測および航空機観測との比較に基づいたデータ質の検証を行った上で、大気輸送モデルの水平・鉛直輸送過程を評価する。

航空機とGOSATの濃度差分 GOSATのメタン鉛直濃度分布の導出と検証解析



NTLとCLAにおける地表メタン濃度の週平均値の比較(フラスコサンプリング、GOSAT-TIR(大気第一層)、MIROC4-ACTM、GOSAT-SWIR XCH₄)

■ TIRバンドのメタン濃度データの精度は低緯度では、概ね10-15 ppb。中・高緯度では、概ね20 ppb(約1%)。

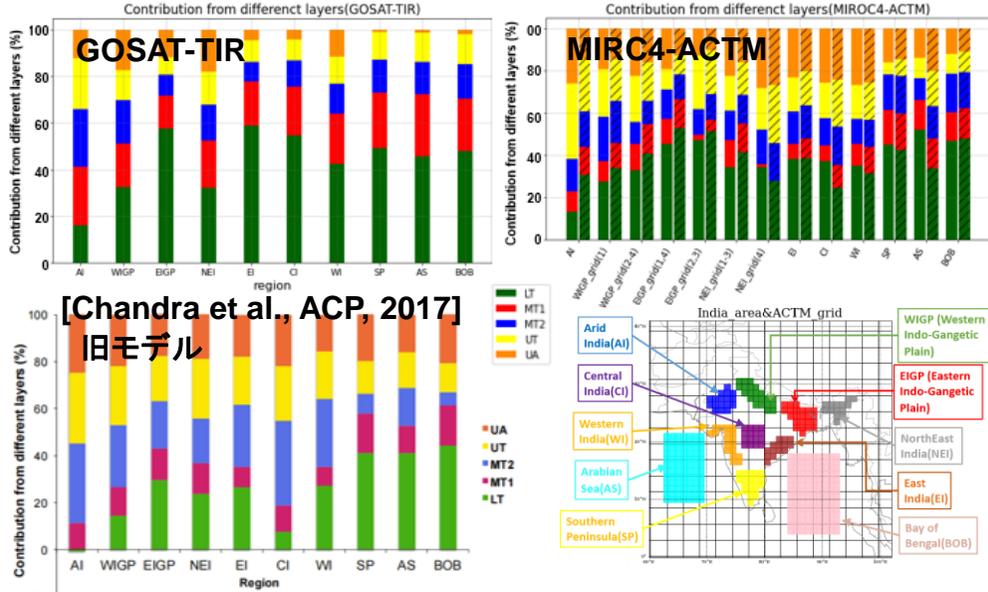
■ 季節変動、絶対値ともにGOSAT-TIRデータはフラスコサンプリングのメタン濃度とよい一致を示している。一方、SWIRバンドによるXCH₄の観測では地表のメタン濃度およびその変動を過小評価 ➡ 高度分布観測が重要(サブ5、サブ3との連携で評価を実施)

■ TIRバンドとSWIRバンドのXCH₄はバックグラウンド領域では1%以内で一致 ➡ TIRとSWIRの同質性を確認

サブテーマ1(1) GOSAT/GOSAT-2による全球3次元メタン濃度の高精度導出と評価

GOSATと大気輸送モデルのメタンの水平・鉛直輸送過程の比較・評価

XCH₄の季節変動に対する各層のメタン濃度変動の寄与



[Chandra et al., ACP, 2017]
旧モデル

メタンの高度・時間断面図 (Arid India)

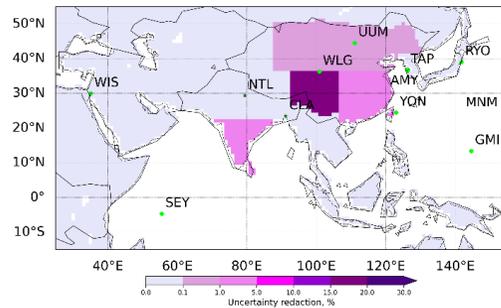
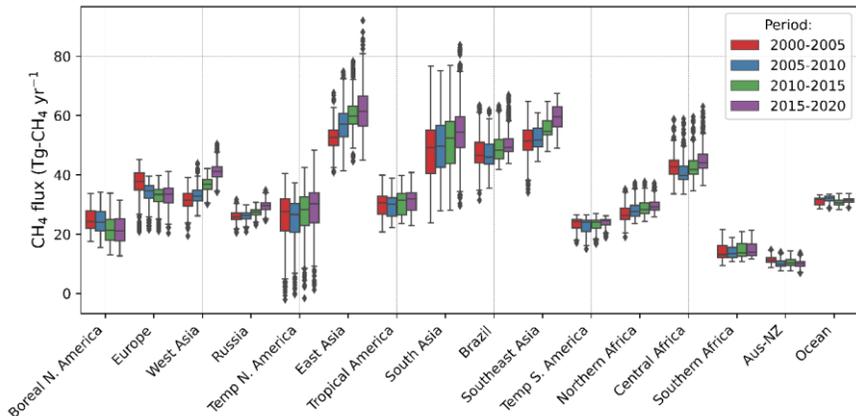
Belikov et al., Remote Sens., 2021

Belikov et al., submitted to JGR

- MIROC4-ACTMとGOSAT-TIRのXCH₄に対する下部対流圏の寄与率が旧モデルと比べてよい一致。
- 高濃度メタンの鉛直輸送パターンがMIROC4-ACTMとGOSAT-TIRで近い特徴を持つ。
- ➡ MIROC4-ACTMのメタン鉛直輸送はより現実的。

メタンの全球・領域別収支解析における南アジア観測のインパクト評価

地域別の2000-2020年の5年ごとの年間メタン放出量 (Tg/yr)



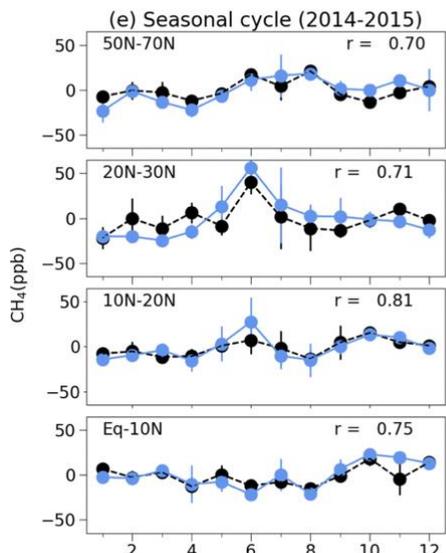
NTLとCLAの観測データを追加した場合のメタン放出量推定の不確実性の低減率(%)

- 2000-2020年の全球・領域別のメタンの収支解析を実施(サブ3との連携)。
- ➡ 全球総メタン放出量が2000-2005年から2015-2020年で42 Tg/yr増加
- 南アジア地上観測データの利用でメタン収支推定の不確実性が5-20%低減。
- ➡ 収支解析におけるサブ5観測の有用性

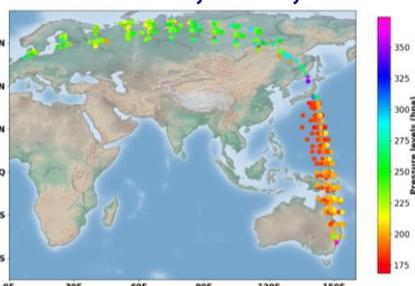
研究目標 大気輸送モデルの改良を行い、地上・航空機・衛星観測のメタン等の長寿命気体データとの比較を通して改良したモデルを評価した上で、全球でメタン放出量の推定を行う。並行して、LETKFベースのデータ同化システムを開発し、種々の観測データを投入・同化することで、より細かい時空間スケールでメタンの収支を評価し、メタンの放出量推定を精緻化する。

MIROC4-ACTMの輸送過程の評価とインバース解析

航空機観測データとの比較によるモデル評価

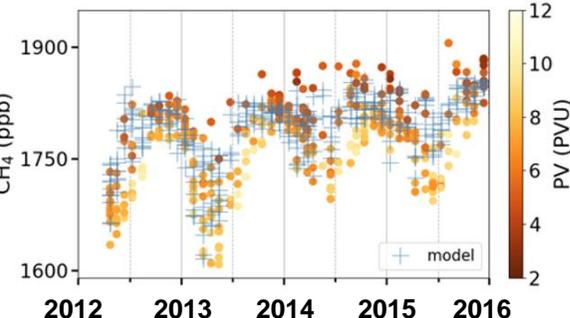


Bisht et al., JGR, 2021

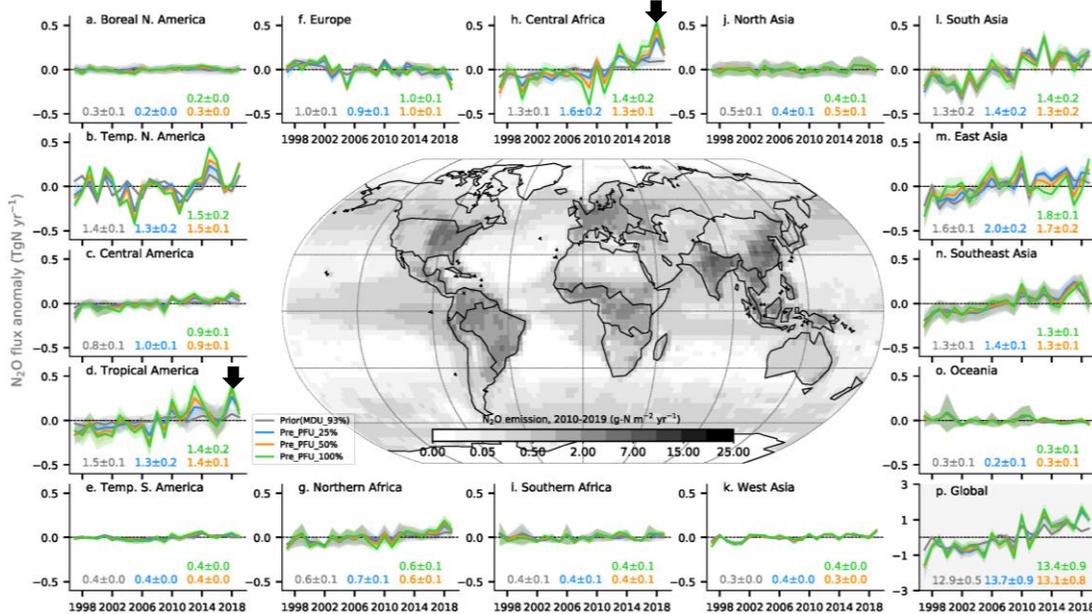


緯度帯別の上部対流圏のメタン濃度の季節変動 (観測とモデル)

下部成層圏のメタンの濃度の時系列 (観測とモデル)



従来手法のインバース解析による収支推定



Patra et al., JMSJ, 2022

モデルは上空のメタンの濃度・季節変動をよく再現 → モデルの水平・鉛直輸送過程が適切

- 全球・領域別のメタンの収支解析 (サブ1(1)との連携で実施)
- 全球・領域別のN₂Oの収支解析 一部で施肥のN₂O排出係数が過小評価か?

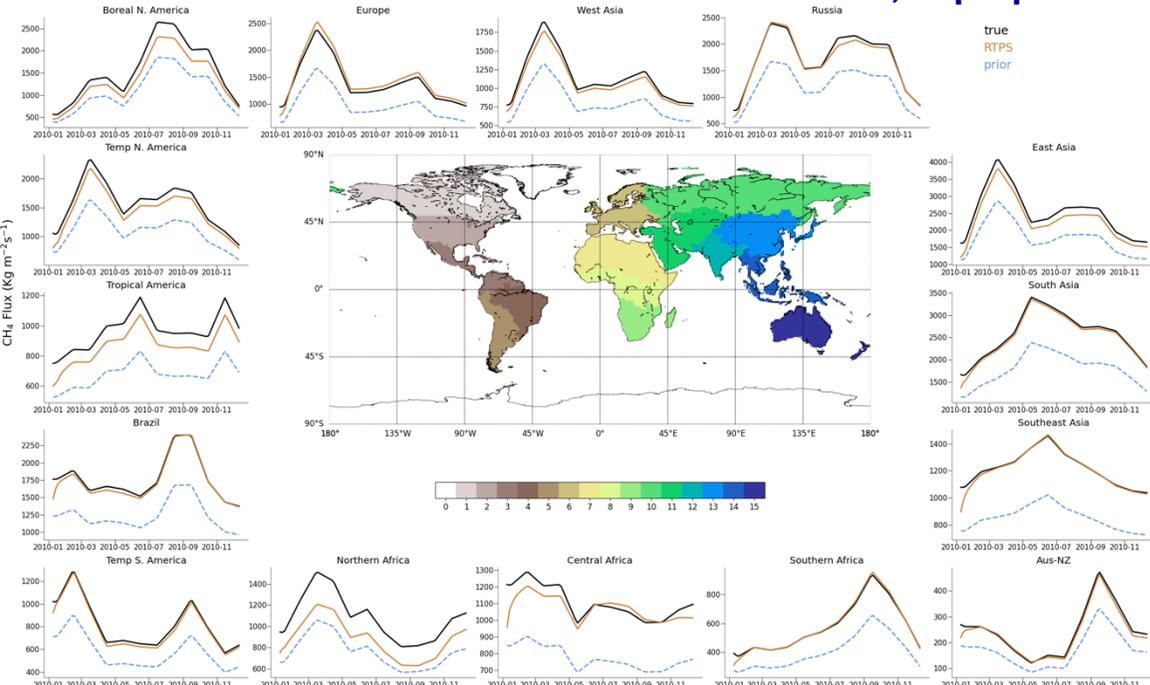
LETKFベースのデータ同化システムの開発

$\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の2次元ボックスモデルの開発

■ より細かい空間スケールで収支推定が可能。

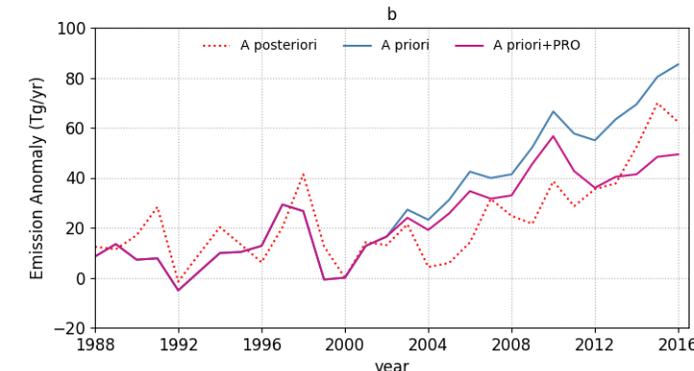
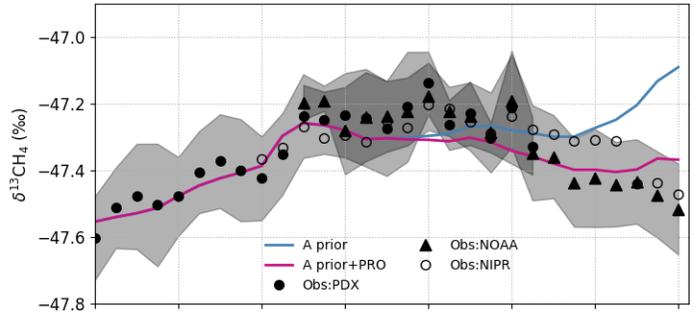
■ メタン収支推定の高度化を目指す。

Bisht et al., in preparation



15領域におけるメタンの地上観測データ同化後の年間総メタンフラックスの季節サイクル(真値、事前推定値、事後推定値)。

- 多くの領域で、推定したメタンの事後推定フラックスが真値フラックスとよい一致を示している。
- LETKFシステムが地上観測データの同化のみで大陸のメタンフラックスの空間パターンの再現が可能であることを確認。GOSATデータ同化実験も実施。
- ➡ LETKFシステムによる収支推定の妥当性を確認



北半球の $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の時系列シミュレーション(観測値とモデル値(EDGER v4.3.2)、モデル値(工業排出源セクターを修正))と全球の総排出量のアンマリー。

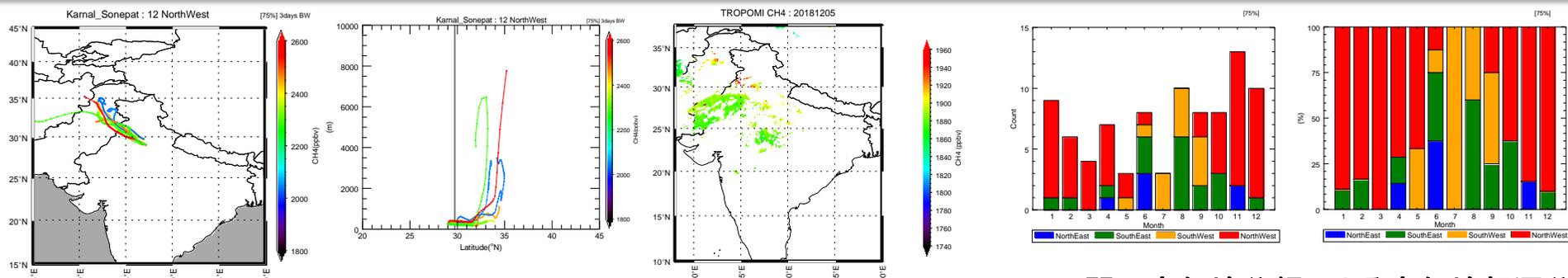
Chandra et al., JMSJ, 2021

- EDGERインベントリ(v4.3.2)の工業排出源セクターのエミッションを修正するとモデルと観測の一致が改善。
- ➡ インベントリのfugitive emission(漏洩排出)の過大評価を示唆

研究目標 メタン濃度の地域別特性の抽出を行い、時空間スケールの異なる地上観測データおよび複数の衛星観測データを複合的に解析することによって、GOSAT、GOSAT-2のメタンデータの検証方法を確立するとともに、南アジアの季節ごとのメタン発生源と発生プロセスを推定する。

サンプリングされた空気塊の流跡線解析による空気の起源解析

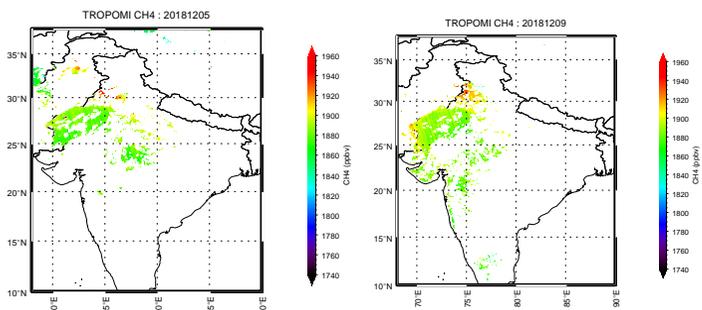
サンプリングは2014年にKarnal (29.7N, 76.9E) で、2015年から2017年はSonepat (29.0N, 77.2E) で実施



空気塊の起源を示すHYSPLITによる後方流跡線解析(3日間)の結果。左：平面図、中央：高度緯度断面、右：高度経度断面。色はメタン濃度を表す。

高濃度イベントが多く観測されている冬季では、北西方向からの流入が示されている(シミュレーションによる再現性はよくない)

3日間の空気塊分類による空気塊起源分類。4つの色は方向を表す。青：北東、緑：南東、橙：南西、赤：北西。左パネルは流跡線の数、右パネルは相対値(%)を示す。閾値として75%以上の期間にその方向に滞在した事例。



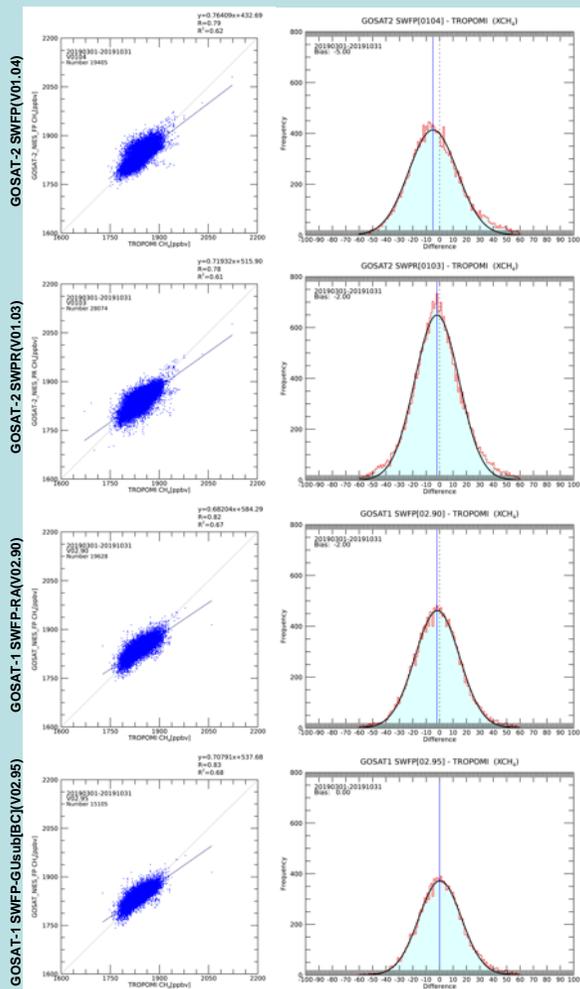
TROPOMIで観測された12月の観測事例。インド北西部(パンジャーブ地方周辺)で高濃度メタンが観測されている。左から12月5日、12月9日の事例。



TROPOMIデータの信頼性の確認も必要

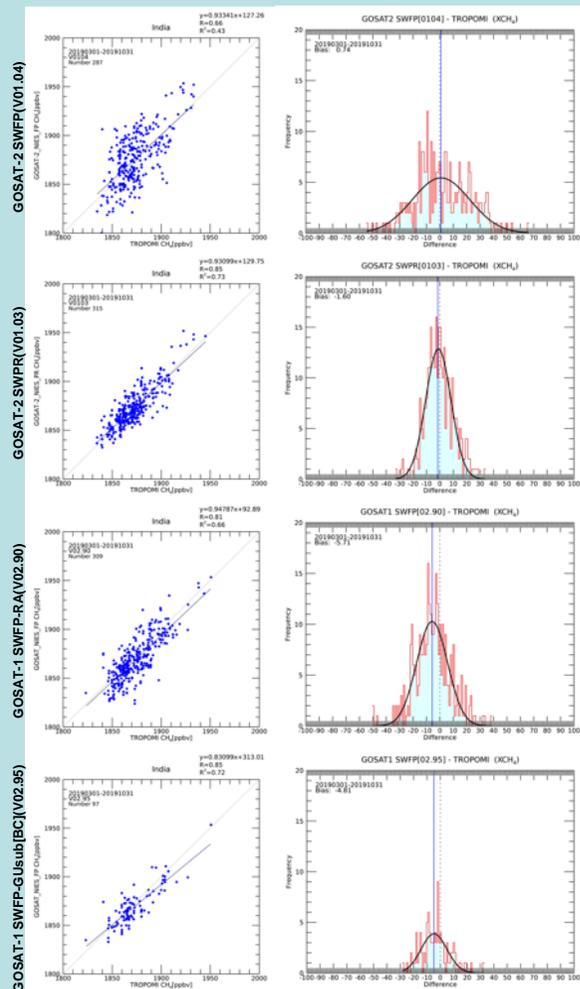
GOSAT、GOSAT-2とTROPOMIの比較

全球



全球におけるGOSATとTROPOMIのXCH₄の(左)相関と(右)差の分布*
(*横軸はppbv)

インド領域



インド領域におけるGOSATとTROPOMIのXCH₄の(左)相関と(右)差の分布*
(*横軸はppbv)

表2.3 全球のGOSATとTROPOMIの比較 (XCH₄)

GOSAT Product	Version	Data Count	R	R ²	BIAS (ppb)
GOSAT-2 SWFP	01.04	19405	0.785	0.617	-5.00
GOSAT-2 SWPR	01.03	28074	0.781	0.610	-2.00
GOSAT-1 SWFP-RA	02.90	19628	0.819	0.671	-2.00
GOSAT-1 SWFP-GUsub	02.95	15105	0.826	0.683	0.00

表2.4 インドのGOSATとTROPOMIの比較 (XCH₄)

GOSAT Product	Version	Data Count	R	R ²	BIAS (ppb)
GOSAT-2 SWFP	01.04	287	0.658	0.433	0.74
GOSAT-2 SWPR	01.03	315	0.853	0.727	-1.60
GOSAT-1 SWFP-RA	02.90	309	0.810	0.656	-5.71
GOSAT-1 SWFP-GUsub	02.95	97	0.849	0.721	-4.81

全球解析: GOSATおよびGOSAT-2とTROPOMIの相関は0.8近くあり(0.78-0.83)相関は良好。バイアスは極めて小さく、両者の一致は良好。

インド上空に限った場合: GOSAT-2 SWFPのみ相関は0.66で、それ以外は0.8以上であった。バイアスについては、全球に比べて大きくなっている。

しかし、最も絶対値が大きい場合でもGOSAT-1 SWFP-RAの-5.7ppbvであり(V02.90)、全体にはよく一致しているといえる。

TROPOMIに系統誤差がある可能性があるが、全体として両者の一致は良好であった。

サンプリングで得られた12月高濃度の原因については消失反応が遅いこと、空気が滞留しやすい気象条件が原因であると考えられてきたが、北西側に発生源がある可能性が示唆された。

サブテーマ1(2) GOSAT/GOSAT-2による全球3次元メタン濃度の高精度導出と評価

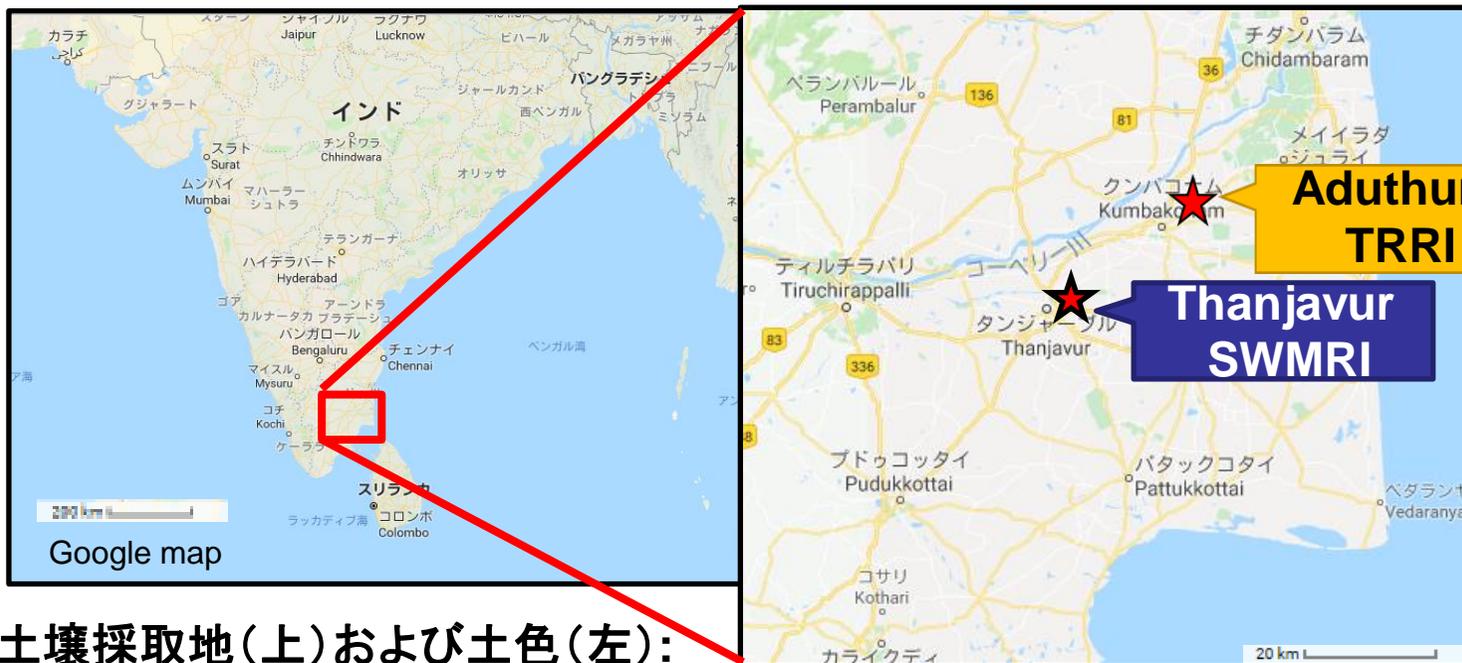
研究目標 南アジアにおいて土壌とメタン等の温室効果気体の放出量の関係性を評価し、得られた知見を全球に展開するための方法論を提案する。



これまでに水田の水管理や施肥管理がメタン生成に及ぼす影響について明らかにすることができたため、さらに、広域評価に有効と考えられる土壌の理化学性と土色および有機物施用とメタン生成との関係性を明らかにすることを目的とした。

サブテーマ1(2)とサブテーマ4の連携

南インドに着目し、水田のメタン生成を決定する要因を調査した。2箇所の水田および周辺土壌の理化学性と土色および有機物施用の変化によるメタン放出量変化への影響を調べた。



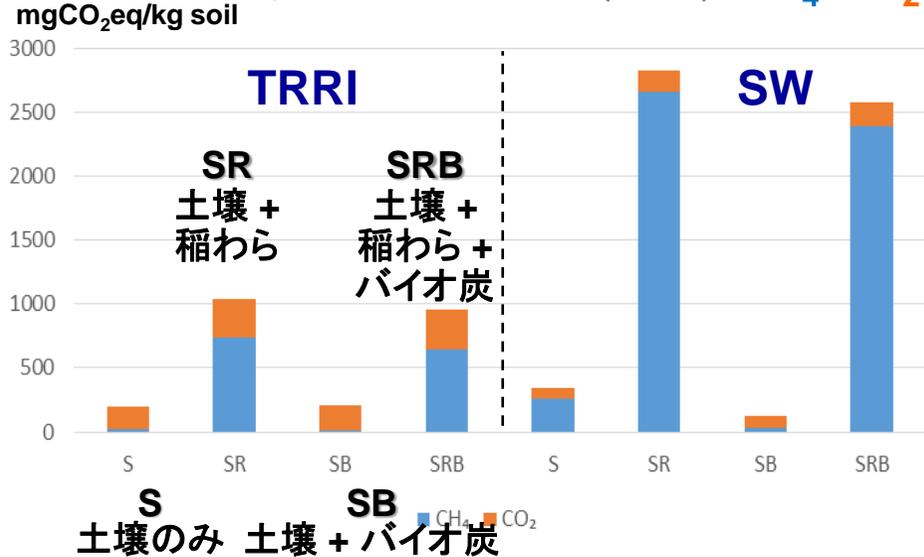
土壌採取地(上)および土色(左):

TRRI (Tamil Nadu Rice Research Institute)
SWMRI (Soil and Water Management Research Institute; SW)

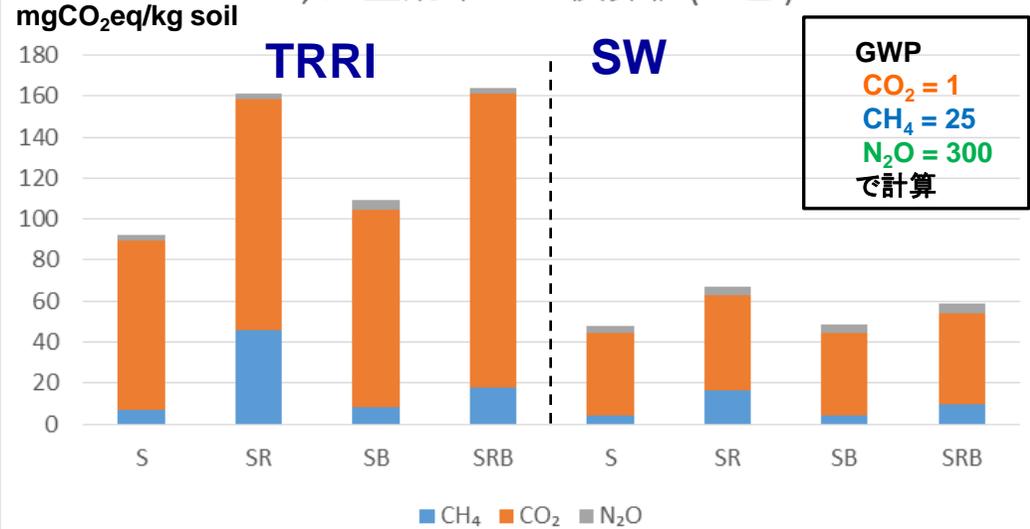


サブテーマ1(2) GOSAT/GOSAT-2による全球3次元メタン濃度の高精度導出と評価

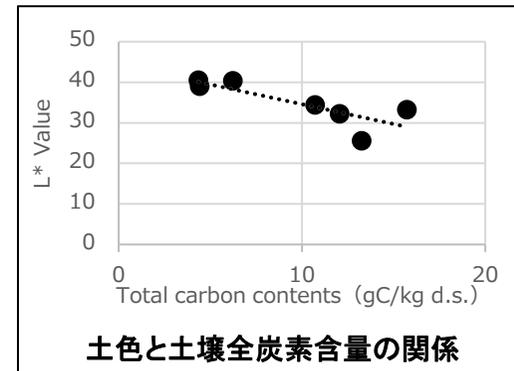
ON, 温室効果ガス積算値(16週) CH₄ CO₂



+N, 温室効果ガス積算値(3週)



- CH₄生成量 SW > TRRI、CO₂生成量 TRRI > SW ← 土壤の鉄含量の違いによる
- 両土壤とも、SR > SRB > SB = S ← メタン生成は稲わら添加で促進、バイオ炭添加で抑制。
- 両土壤とも、CH₄生成量 16週 >> 3週 (還元進行中)
- * +N(化学肥料(尿素)添加)で、N₂Oも微量生成。
- 土色の明度は、土壤全炭素量と有意な負の相関(右図)。
- CH₄生成量の支配因子として広域評価に活用可能。



↓

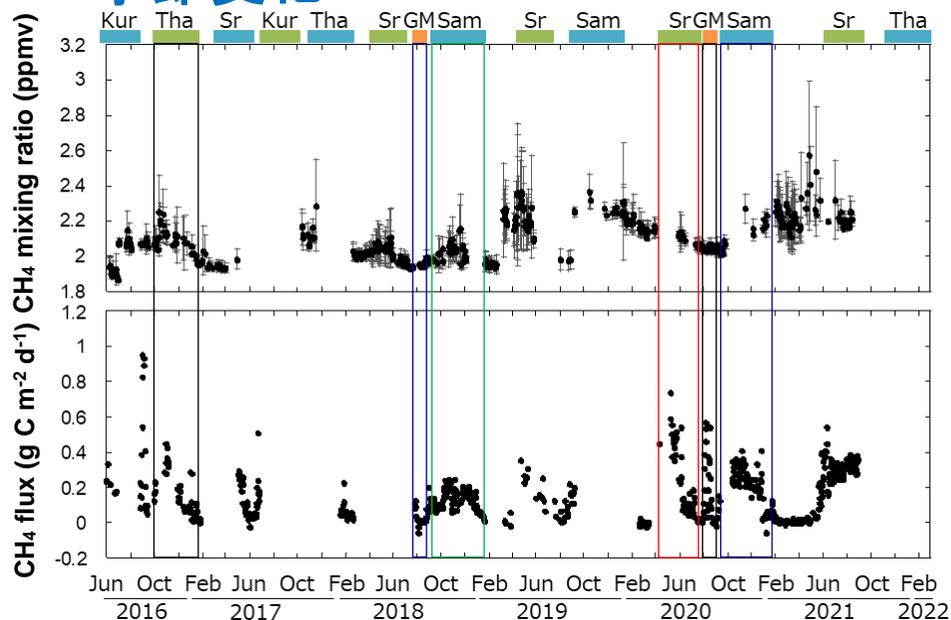
土壤の鉄含量や有機物量分析と土壤群の広域評価を行うことで、リモートセンシングの土色データなどと組み合わせて全球CH₄放出量の推定を可能にする方法論が提案できた。

サブテーマ4 メタン発生量評価のための南アジア域メタン濃度連続観測

研究目標 南アジアで地上メタン濃度とフラックスの同時連続観測を実施し、メタン濃度およびフラックスと水田の栽培管理や環境要因(土壌、微気象など)との関係やそのメカニズムを明らかにする。得られた連続観測データをもとに大気輸送モデルで計算されたフラックスの妥当性を評価し、さらにGOSAT、GOSAT-2等の衛星観測の地表および大気下層のメタン濃度データを検証する。

調査地: インド南部・タミルナドゥ州 タミルナドゥ稲研究所

1. 季節変化



大気メタン濃度(レーザー分光法)

・10-11月頃に増加、6-7月頃に低下

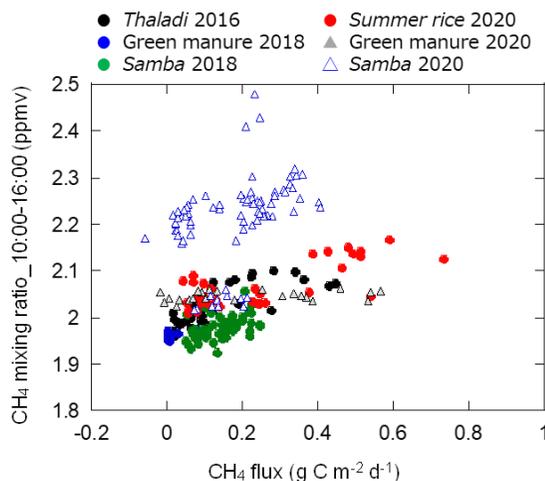
メタンフラックス(渦相関法)

・水稲期間: 徐々に増加して期間後半に減少

・栽培間期におけるメタン放出の増加

→栽培管理(水管理等)による影響の可能性

■大気メタン濃度とメタンフラックスの関係



栽培期間の大気メタン濃度
・メタン放出の増加に伴い増加
・水稲と緑肥では増加傾向が異なる



水田からのメタン放出
栽培期間の**大気メタン濃度**
の**季節的な時間変化**に影響

DNDC-Riceモデルによるメタン放出量の評価

● 作物成長と土壌鉄濃度のパラメータ調整によってインド南部の水田に適用が可能

● 栽培体系(3期作・2期作)と積算メタン放出量

3期作(2017年): 533.2 kg C ha⁻¹

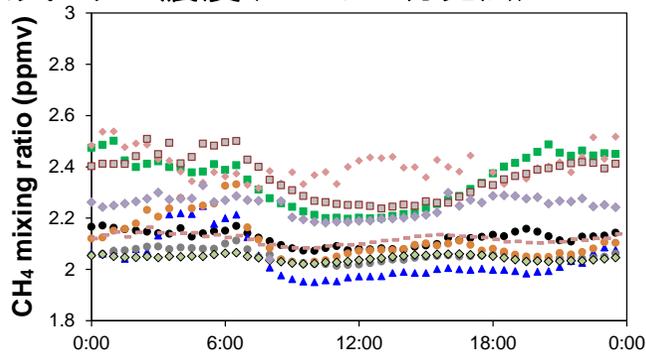
2期作(2018、2019、2020年): 463.3-569.7 kg C ha⁻¹

⇒ 栽培体系による劇的な変化はみられない

2. 日変化

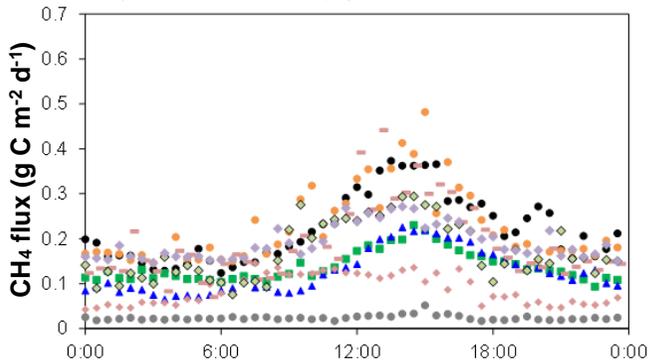
- Kuruvai 2016
- Thaladi 2016
- ▲ Summer rice 2017
- Green manure 2018
- ◆ Samba 2018
- Summer rice 2019
- Samba 2019
- Green manure 2020
- ◆ Samba 2020
- Summer rice 2020

大気メタン濃度(レーザー分光法)



- ・日中に低下、夕方-夜間に上昇
- ・日変化の幅は期間により異なる

メタンフラックス(渦相関法)

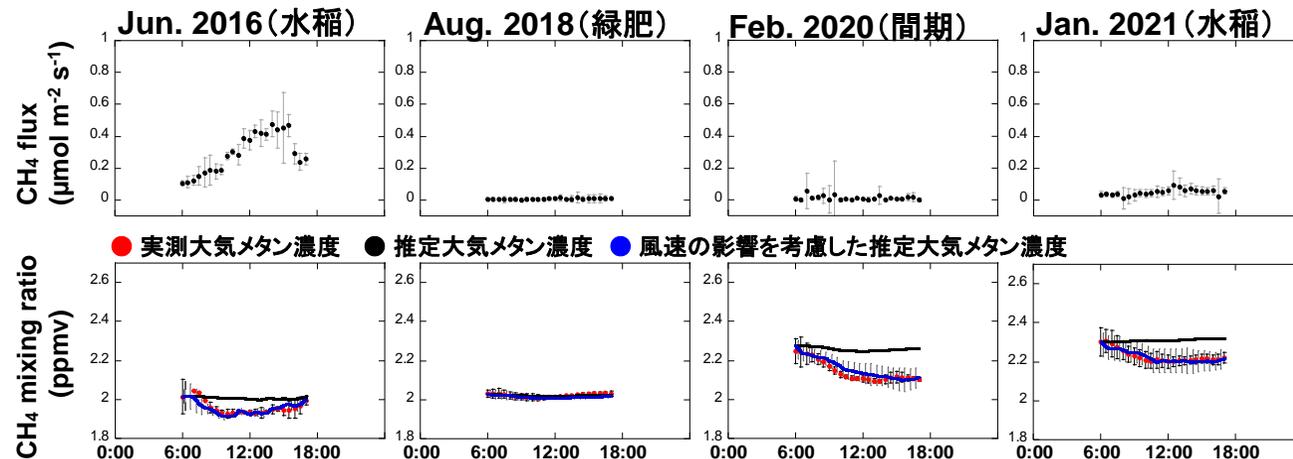


- ・水稲栽培: 変化は明瞭(日中に最大)
- ・緑肥栽培: 変化は小さい

一次元大気境界層モデル

解析条件

- ・時間 : 6:00~17:00
- ・境界層の初期値 : 300m
- ・Entrainmentの影響 : 含めない



※風速の影響: モデル解析の開始時間を基準にした各時間の大気メタン濃度や風速の比を用いて解析

一次元で水田の影響のみを考慮した場合

- 時間変化: モデル ≠ 実測
- ・メタンフラックスに関わらず、時間変化が同程度
- ⇒ **メタン濃度の日変化に対するフラックスの影響は小さい**

風速(日変化)の影響を考慮した場合

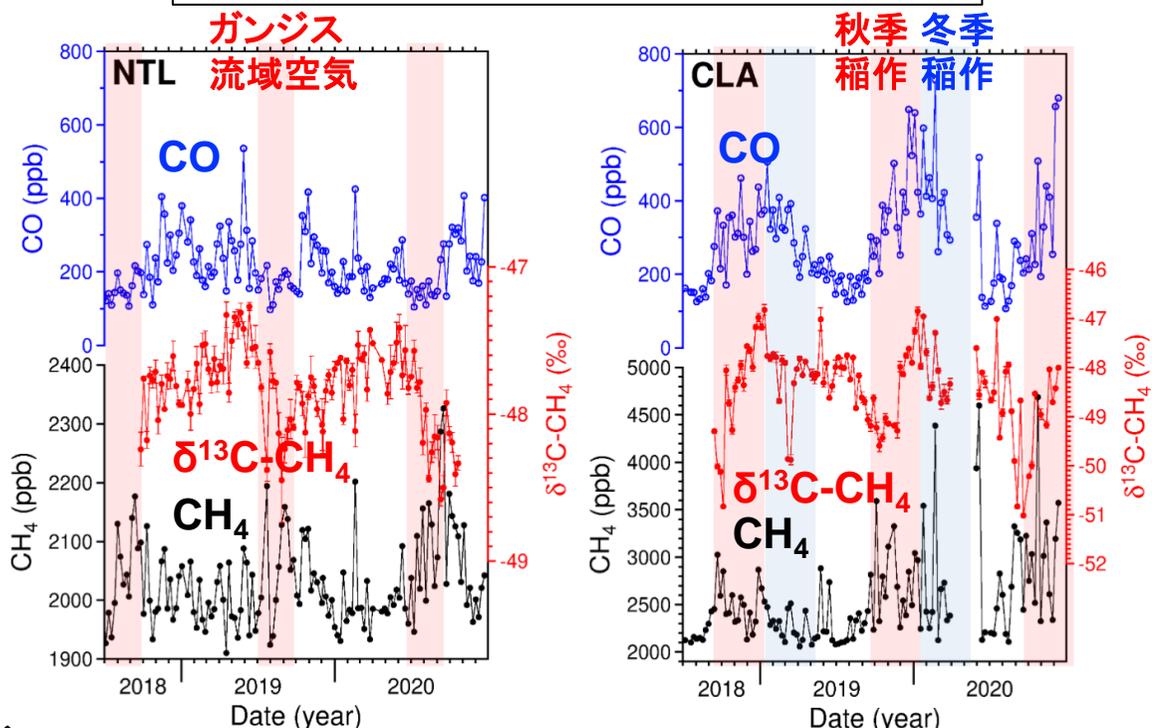
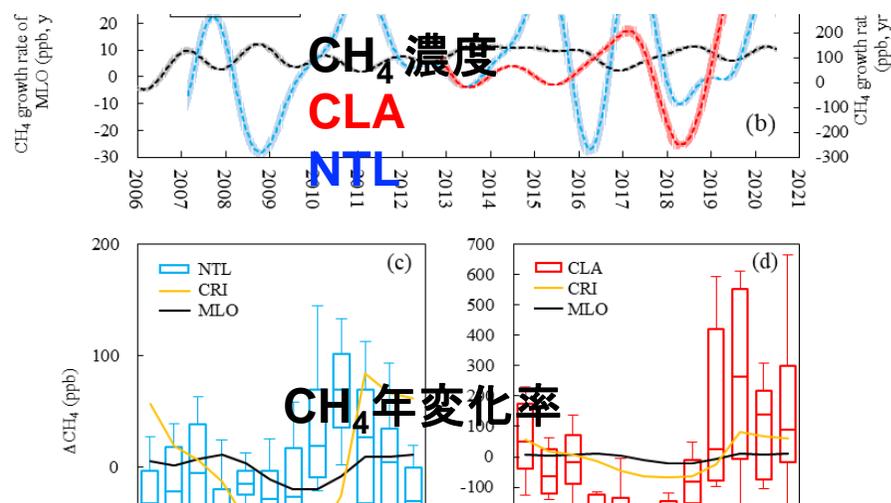
- 時間変化: モデル ≐ 実測
- ・水平移流の影響 + 鉛直移流の影響(entrainment)
- ⇒ 大気メタン濃度の日変化に与える影響
- メタンフラックス < 移流**

研究目標

南アジアでフラスコサンプリングを実施し、メタン濃度およびCO濃度の高精度計測（メタンは±2 ppbの精度）とメタン安定炭素同位体比（ $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ ）の高精度分析（±0.1‰以下の精度）を行う。それぞれのデータの季節変動と相関から化石燃料起源、微生物起源等のメタンの排出源の分離・評価を行う。特に、南アジアにおける $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の季節変動の観測は世界初となる。さらに、得られたデータを他サブテーマに提供し、大気輸送モデルの計算データおよびGOSAT、GOSAT-2の観測データの比較・評価に活用する。

2018年9月から $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ 分析を実施

ナイニータルNTLとコミラCLAの長期観測データを論文発表+データ公開



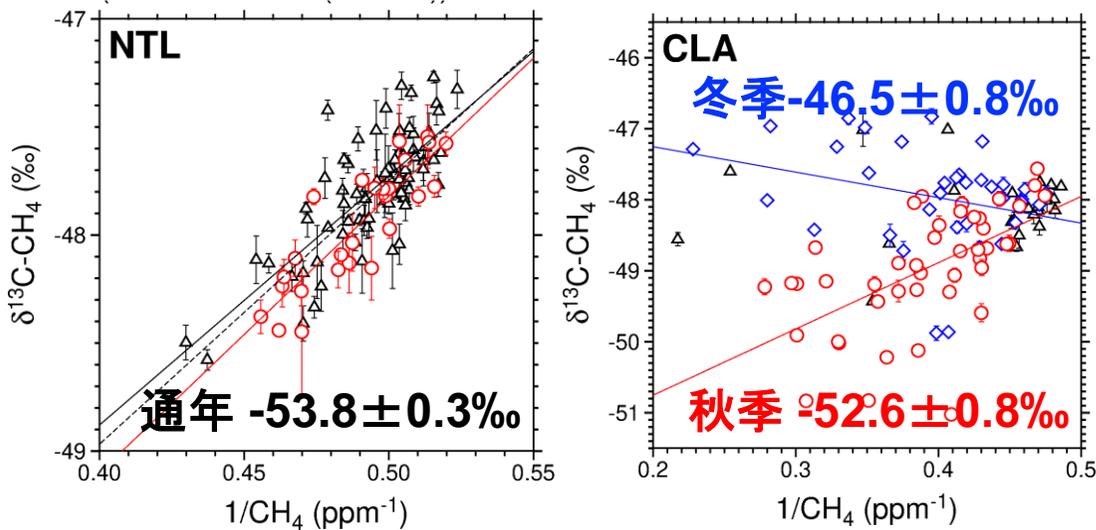
南アジアの温室効果ガス観測で最長レコード

Nomura et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 2021

Terao et al., 2022, doi:10.17595/20220301.001-016

メタン濃度変動に相関した $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ 変動を観測
 モンスーン循環と農業形態を考慮した季節区分
 でメタン排出源を解析

観測から得られたメタン排出源の $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$

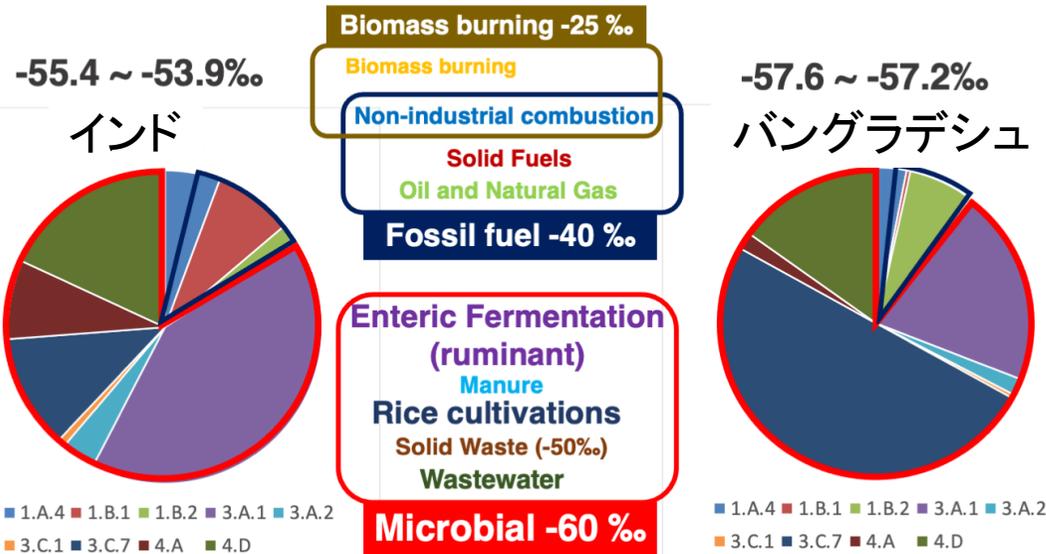


大気観測からインベントリへの示唆

メタン濃度と $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ のキーリングプロット解析から、メタン排出源の $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ が場所・季節で異なることを発見。

- NTLは季節変化が無く、 $-53.8 \pm 0.3\text{‰}$
- CLAは秋季($-52.6 \pm 0.8\text{‰}$)と冬季($-46.5 \pm 0.8\text{‰}$)で明瞭に異なる。
- CO観測はCLA冬季の燃焼増加を示唆。

EDGARから推測したメタン排出源の $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$



排出源毎の $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ を、微生物起源-60%、化石燃料起源-40%、バイオマス燃焼起源-25%と仮定すると

- EDGARインベントリから推測される排出源 $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ はインド:-55.4~-53.9‰、バングラデシュ:-57.6~-57.2‰。
- NTL観測結果はEDGARインベントリと近い値だったが、CLA観測結果とは大きく異なった。
- EDGARはバングラデシュのバイオマス燃焼(もしくは化石燃料)のメタン放出を過小評価している可能性があることを示唆。

環境政策等への貢献

行政等が活用することが見込まれる成果

■ IPCC、GCPへのインプット・パリ協定・GSTへの貢献

- 本課題で推定した領域別のメタンおよび一酸化二窒素の収支（排出量・吸収量）、細かい空間スケールで推定できるLETKF同化システムによるメタンの収支情報は、IPCCやGCP（Global Carbon Project）の評価報告書に提供する予定。
- 本課題の成果の一部はIPCC第6次報告書で引用されており、本課題で実施した最新（2000-2020年）のメタン収支の推定結果はGCPプロジェクトに提供済。
- 国際研究コミュニティと研究成果を共有することで国際的な環境研究に貢献するとともに、2023年に予定されている第1回のGST（Global Stocktake）における排出削減効果の評価のためのベースとなりうる情報である。

■ 南アジアの排出インベントリの精緻化・農業政策への提言

- 本課題で実施した南アジアの温室効果ガスの地上観測データは、当該地域の国別の排出インベントリ作成に貢献する貴重な基礎データであり、DOI付きで公開したデータはすでに多くの機関で引用・利用されている。
- 本課題の現地測定に基づき、水稲収量維持とメタン放出量低減の両立を実現する緩和策オプションを提示。
- これらのデータ・知見の提供は我が国の国際貢献であり、南アジアのみならず、我が国の食糧安全保障政策上においても重要な施策である。

研究成果の発表状況

■ 研究成果の発表状況

- 誌上発表 査読付き論文13件、査読なし発表7件
- 口頭発表 54件
- 受賞 3件
- 「国民との科学・技術対話」の実施 10件
- マスコミ等への公表・報道等 5件

本研究によるメタンの収支推定
Chandra et al., JMSJ, 2021

プレスリリース(2件)



一般・研究者向け講演会への登壇(犬伏、Patra)

過去30年間のメタンの大気中濃度と放出量の変化
: 化石燃料採掘と畜産業による人間活動が増加の原因に

(筑波研究学園都市記者会、
環境省記者クラブ、環境記者会、
千葉県記者クラブ、
文部科学記者会、科学記者会同時配付)

2021年1月29日(金)
国立研究開発法人国立環境研究所
国立研究開発法人海洋研究開発機構
国立大学法人千葉大学

IPCC、COPへの貢献



COP25-SBSTA51 Earth Day
でパネリストを務める(Patra)

Thurs, Oct. 29th

「世界の一酸化二窒素収支
2020年版」と食料システム

Global Nitrous Oxide
Budget 2020
and our food system

■ 日時: 2020年10月29日(木)
■ 午前: 09:30-11:30 (09:15 Zoomオープン) 言語: 日本語
■ 午後: 13:00-15:30 (12:45 Zoomオープン) 言語: 英語
■ 参加費: 無料

■ 参加費/Registration: <https://bit.ly/2EA3hod>
国立研究開発法人国立環境研究所(NIES)
地球環境研究センター(GCER)
GCPつくば国際オフィス
Email: jitr@iprim.peraphan@nies.go.jp,
qims.yuki@nies.go.jp
Website: <http://cger.nies.go.jp/gcp/>



(後)環境再生保全機構「環境研究合推進費」2-1802 課題公開シンポジウム

温室効果ガス、メタンを探る
—人工衛星・地上観測から何がわかるか—

■ 日時 2019年2月3日(日) 13:30~15:30
■ 場所 千葉大学理学部1-33 千葉大学西千葉キャンパス境内
http://www.chiba-u.ac.jp/onhere/taisei/examine/taisei/2019/taisei_1902.pdf

■ 参加費/無料 事前登録は不要です。どなたでもご参加頂けます。

■ プログラム

千葉大学環境学研究所 教授
犬伏 和之
水田からのメタン放出(仮題)

千葉大学環境リモートセンシング研究センター 准教授
齋藤 尚子
人工衛星で「探る」大気中のメタン

お問い合わせ: 千葉大学環境リモートセンシング研究センター (TEL: 043-290-3876)

一般向けシンポジウム開催
(齋藤、犬伏)

JMSJ Award 2021を受賞

研究成果を出版・公表し、研究成果をもとにアウトリーチ活動を展開
研究目標の達成度の客観的な評価を受けるとともに、成果を社会に還元