

【2-1701】

温室効果ガスの吸排出量監視に向けた 統合型観測解析システムの確立

平成29～31(令和元)年度 (FY2017-2019)

環境問題対応型・低炭素領域

課題代表・サブテーマ代表:

国立研究開発法人 国立環境研究所
気象庁 気象研究所

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

三枝 信子(代表)

丹羽 洋介(2017年度) 現所属 国環研

眞木 貴史(2018年度以降)

パトラ プラビール

市井 和仁

研究の必要性(環境政策への貢献)

背景: アジアは世界有数の温室効果ガスの発生源
温暖化対策の国際枠組「パリ協定」の効果確認が必要

問題: 各国温室効果ガスインベントリには精度にばらつきあり
削減策の効果確認には、人為・自然吸排出の分離が必要

目標 ● 全球・アジアで強化された温室効果ガス吸排出量評価システムを確立し、インベントリと独立のデータを作成

● 温室効果ガスインベントリの精度向上

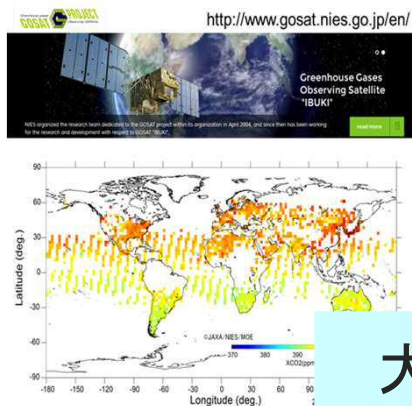
トップダウン・フラックススケールアップ・インベントリの相互比較に基づき、国別・地域別吸排出量の精度を向上

● **SDGs** (目標13 気候変動対策), IPCC・IPBESへ科学的知見提供, **GEO**等国際イニシアティブへ貢献

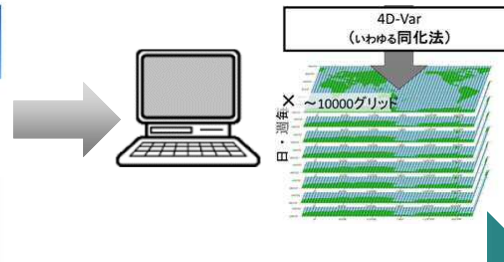
研究の必要性(科学的・技術的意義)

温室効果ガスインベントリ高精度化への道筋

トップダウン手法(人為+自然吸排出)

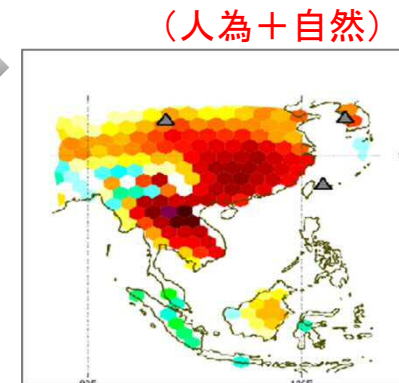


全球大気輸送モデルに基づき、地表での吸排出量分布を推定



大気中濃度から吸排出源を推定

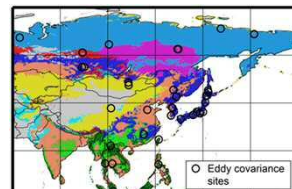
衛星・航空機・船舶・地上観測による大気中濃度観測



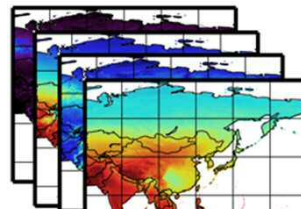
フラックススケールアップ手法(自然吸排出)



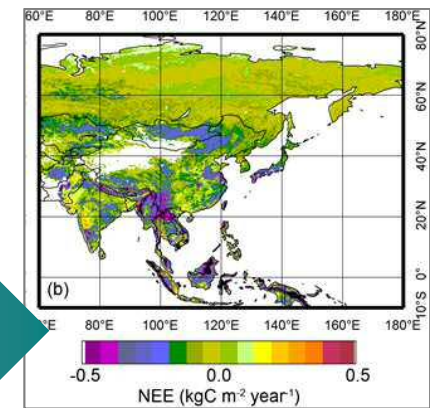
観測点データ



衛星観測データ



現地観測から地球全体へ



プロセスモデル・経験モデル等に基づき陸域の吸排出量を推定

研究の必要性(科学的・技術的意義)

温室効果ガスインベントリ高精度化への道筋

エネルギー消費量・
排出係数等から国別
人為起源排出量を推計

排出量推計の問題点を抽出・
改良し信頼性向上【サブ①】

【既存データ】
IEA, UN, BP, ...

【新規導入】
国別統計データ
※日本国GHGインベントリ作成機関
の強みを生かし情報収集

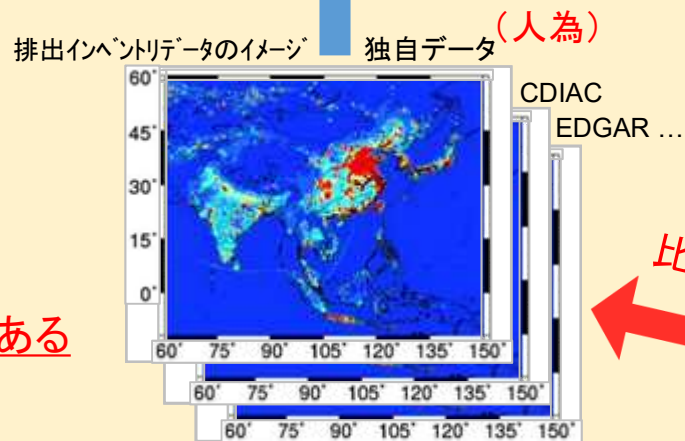
現状: データソース毎に差がある

【集計モデル】
IIASA GAINSモデルを最適化

⇒ 独自のインベントリ
データ作成

(標準スケール $0.5 \times 0.5^\circ$)

人口分布等の指標に基づき
排出量を空間分解
(ダウンスケーリング)

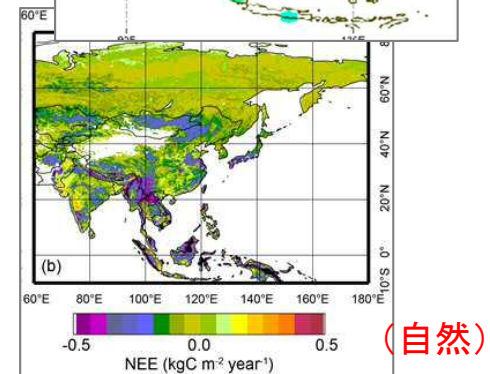
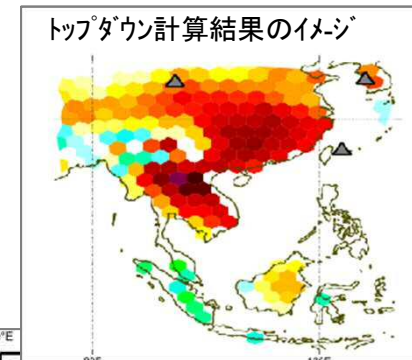


複数手法に基づく統合解析の
結果と知見【サブ②③④】

- 人為排出量の不確実性の
高い地域は？
- データソースを変えた場合
の結果の整合性は？

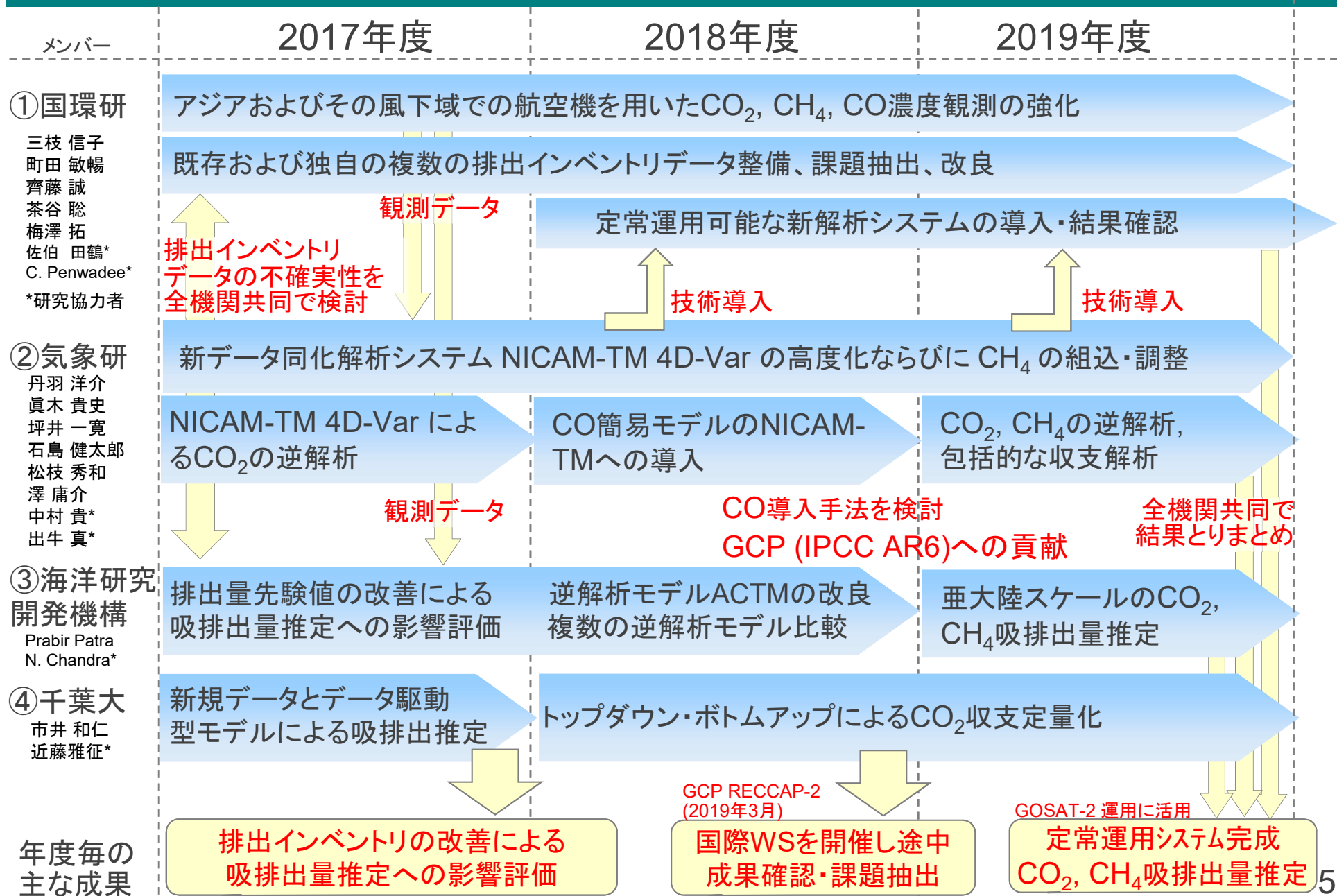
比較

(人為+自然)



フラックススケールアップ計算結果のイメージ

研究体制・研究計画



アジア域上空における航空機観測の強化

観測値が少ないアジア域では、航空機観測が
逆解析の推定誤差を大きく削減する

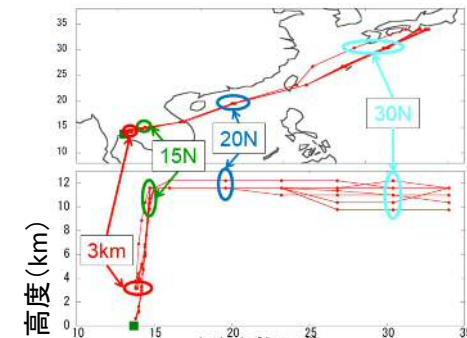
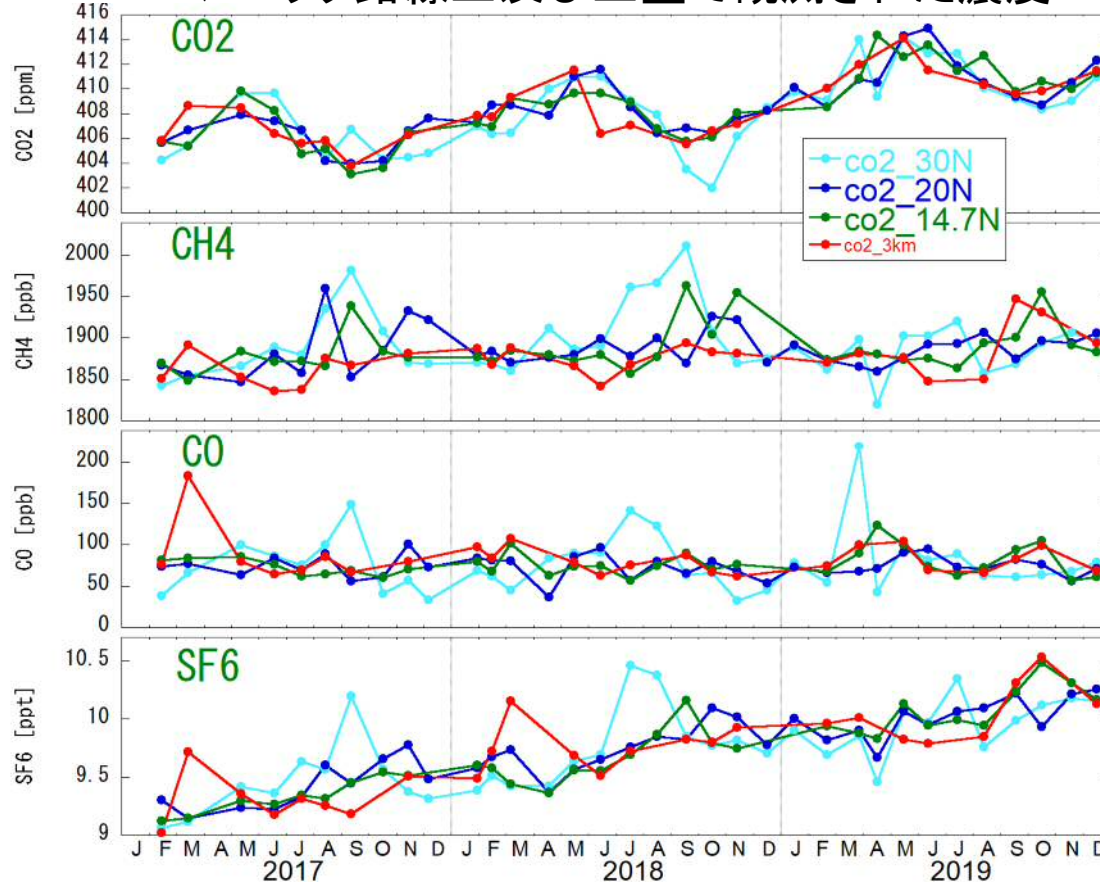


定期旅客便観測 (CONTRAIL) で
アジア域の集中観測を強化



梅澤他
記者発表資料
より(国環研・
気象研他)
2020.5.15

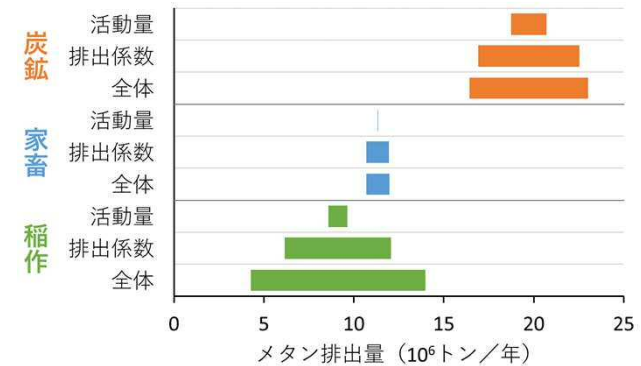
バンコック路線上空及び上空で観測された濃度



2017年の観測におけるサンプリング
地点の水平分布と緯度高度分布。
赤丸がASEのサンプリング地点を、
緑四角がバンコック空港の位置を表す。

- 季節変化や鉛直分布、高濃度イベントを詳細にとらえた。
- 大気循環のメカニズムを把握し、大気循環モデルを精緻化する上で貴重なデータを得た。

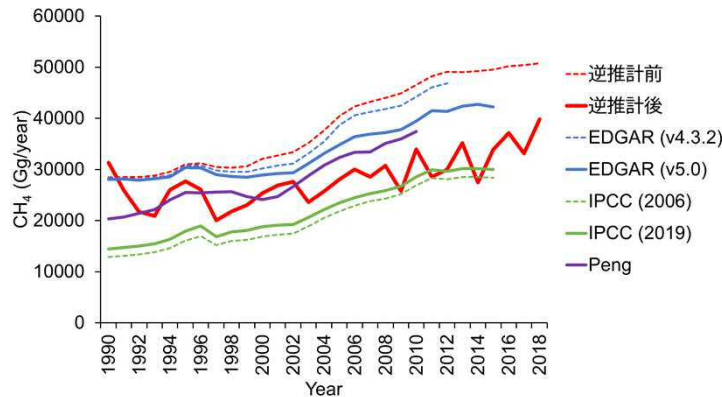
- **トップダウンと複数のボトムアップによる排出量推計を横並びで精査し、不確実性を評価**
- **不確実性の大きい部分に着目し、ボトムアップによる排出量推計の問題点と改良の方向性を明確化**
- **炭鉱からの排出量は過大評価、家畜からの排出量は過小評価であることを示唆**



①推計手法・データの不確実性

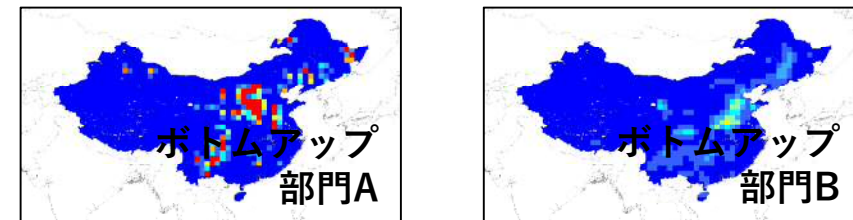
$$\text{排出量} = \text{活動量} \times \text{排出係数}$$

複数の既存の排出インベントリから不確実性を個別に評価



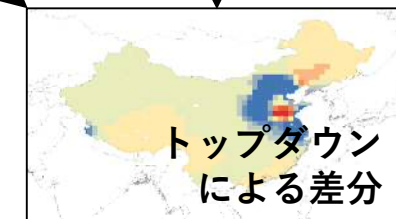
②時間的な不確実性

トップダウンとボトムアップの排出量推移の特徴から乖離の原因を検討



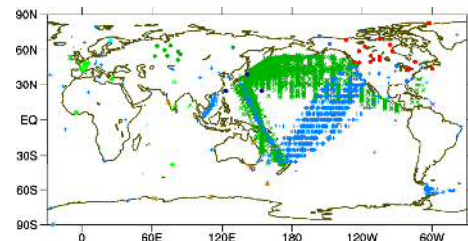
③空間的な不確実性

トップダウンとボトムアップの水平分布の特徴から乖離の原因を検討

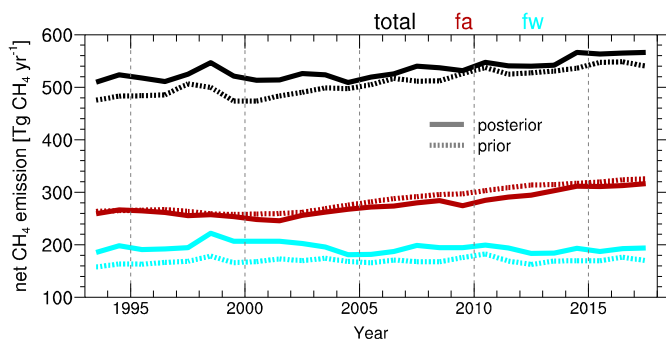


NICAM-TM 4D-Varを用いたCH₄・CO₂の高解像度長期逆解析

開発した高解像度逆解析システムNICAM-TM 4D-Varを用いて解析期間を1990-2017年とした長期のCH₄・CO₂逆解析を実施

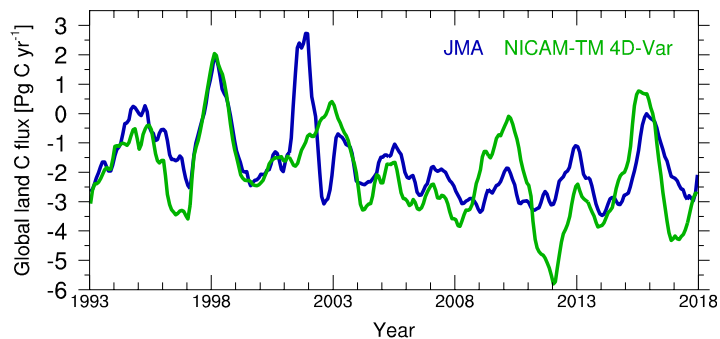


CH₄逆解析に用いた観測データの分布

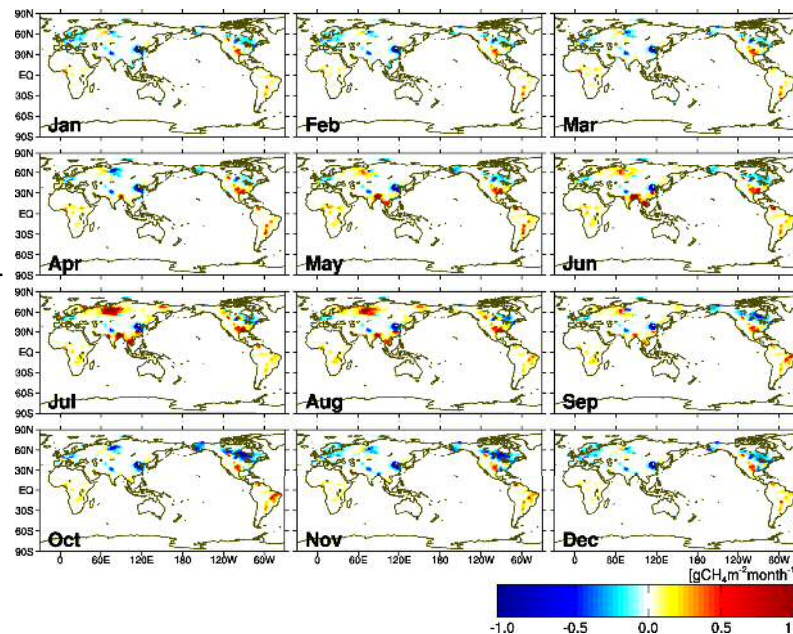


全球のCH₄フラックス(黒)と人為起源(赤茶)、湿地起源(水色)からの排出量の推移。初期値(点線)、逆解析による推定値(実線)。

(サブ3と同様に) CH₄逆解析の結果はGlobal Carbon Projectによる全球メタン収支量の統合解析(Saunois et al., 2019)に提出



逆解析によって得られた全球陸域におけるCO₂フラックスの経年変動



NICAM-TM 4D-Varによる長期CH₄逆解析によって得られたCH₄フラックスの解析値と初期推定値からの差。各月に対する2008-2017年間の平均を示す。

逆解析の高解像度化

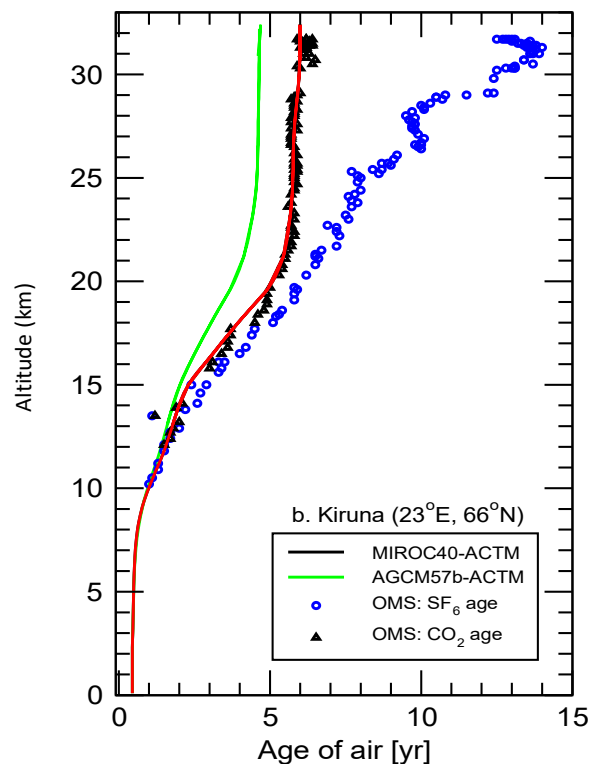
=> 小スケールの排出源を持つCH₄について効果的

CO₂とCH₄について世界最先端の解像度で長期の逆解析が同一のシステムで実行可能となった

大気輸送(力学)モデル MIROC4-ACTM の更新

成層圏を含む鉛直輸送を大幅に改善

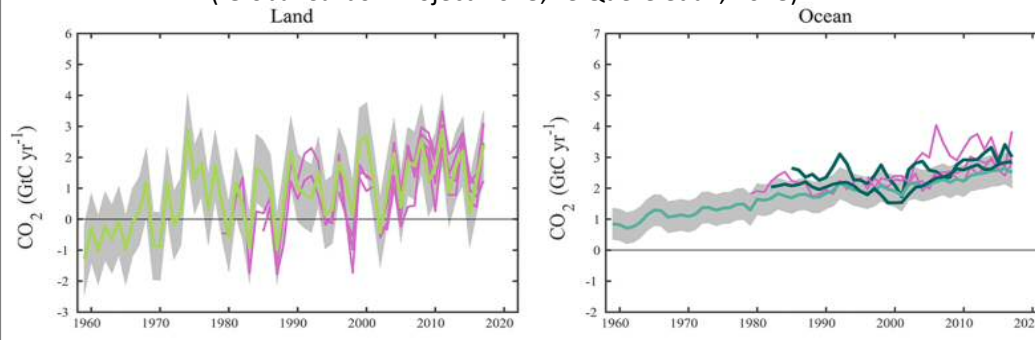
成層圏の「空気齢」の推定
を大幅改善



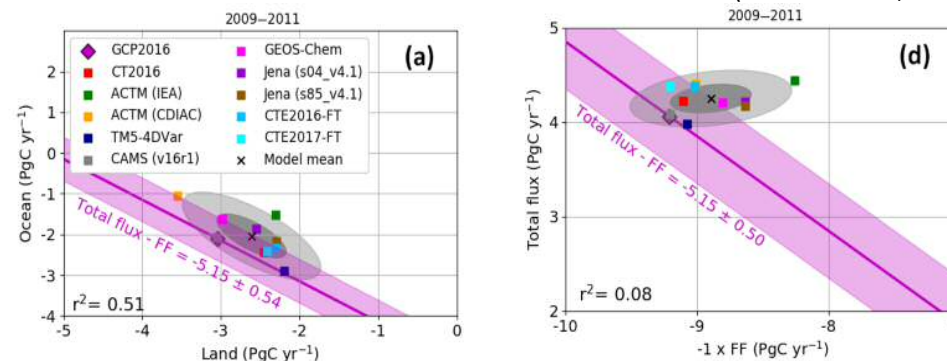
Ray et al., JGR, 2017; Patra et al., SOLA, 2018

CO₂ 逆解析: 全球84 領域
(e.g., Saeki and Patra, 2017)

1996~2017年における全球の陸域と海洋のCO₂ 収支
桃色: 逆解析(MIROC4-ACTM)、緑と青: プロセスモデル、灰色: 標準偏差
(Global Carbon Project-2018; Le Quere et al., 2018)

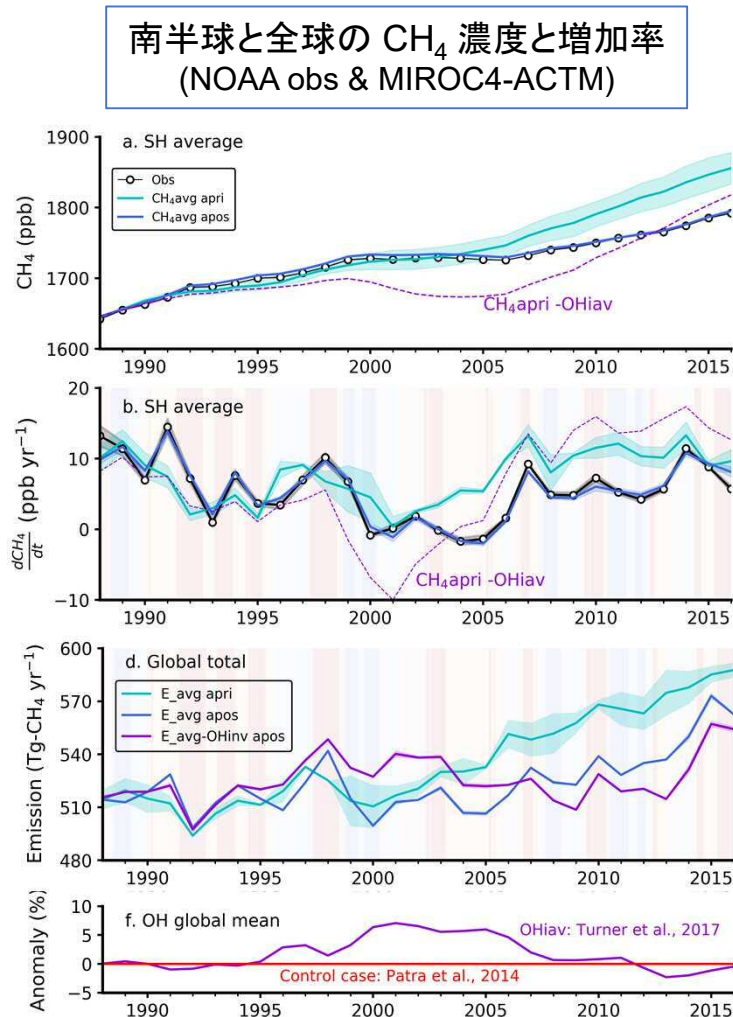


化石燃料燃焼による CO₂ 排出が 海洋と陸域の吸収量配分に与える影響
(Gaubert et al., 2019)

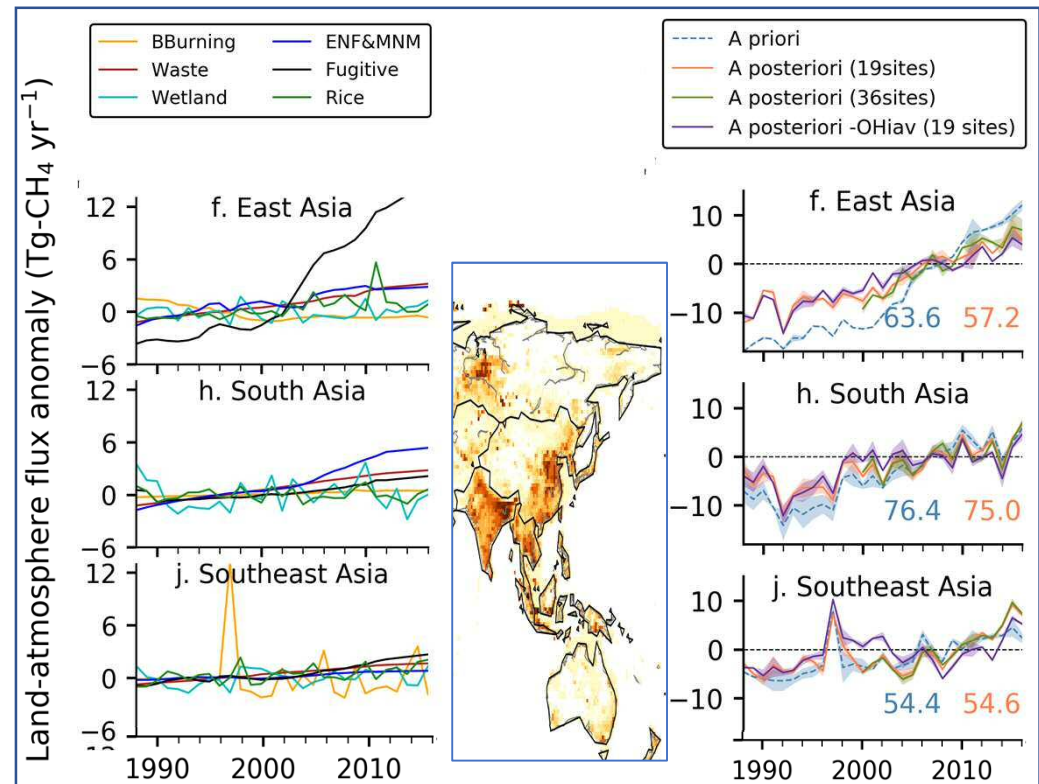


MIROC4.0 大気大循環モデル (e.g., Watanabe et al., 2008)
水平解像度: T42 (2.8x2.8°) または T106 (1.1x1.1°)
鉛直座標: 67 σ-p ハイブリッド

大気中CH₄濃度増加率に対する人為起源排出量の寄与 (1988~2016年)

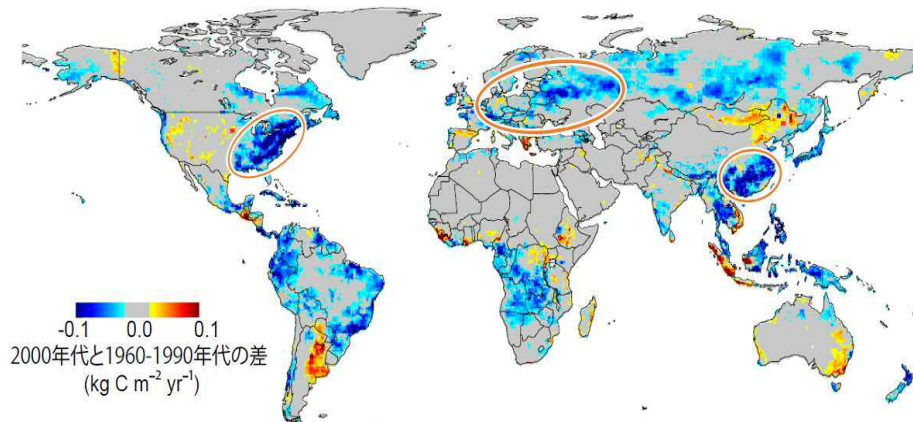


アジアの地域別 CH₄ 排出量 石炭採掘と家畜(腸内発酵)からの排出の影響が大きい



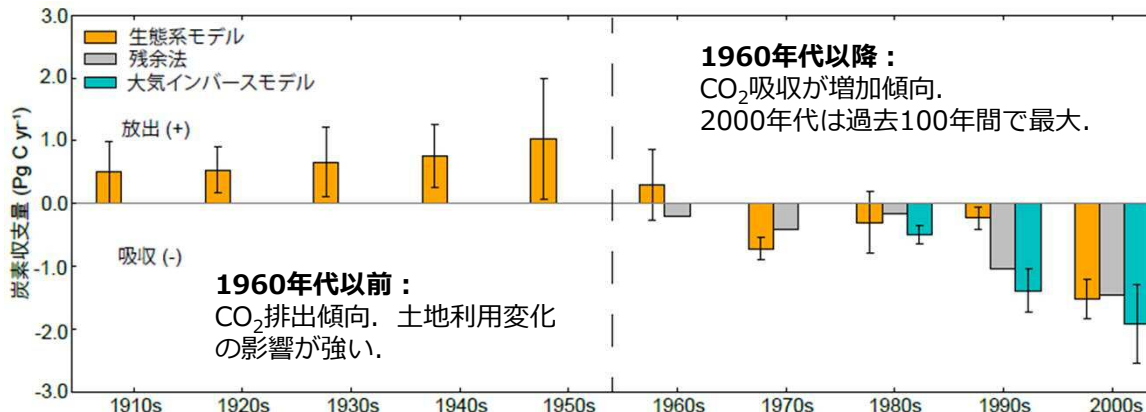
トップダウン・ボトムアップ手法の統合解析を通じた炭素収支推定の高精度化

2000年代の高い陸域CO₂吸収：過去の土地利用変化からの回復が重要



過去(1960-1999年)と現代(2000年代)の陸域CO₂吸収量を比較。

2000年代の高いCO₂吸収には、CO₂施肥と土地利用変化からの回復が寄与



過去100年における年代毎の全球の陸域炭素収支量。推定は、生態系モデル、インバースモデル、残余法。

30.5.18 日本経済新聞

陸上のCO₂吸収量最大に 千葉大が研究グループは、2001年から10年にかけての陸上のCO₂吸収量(1990年代以降の70年間で最大)の推定を公表した。同日付の米地球物理学誌に掲載された。1960年代以前に大規模な森林伐採が進行していたが、その後、農林業への転換や森林保護の強化がもたらした北米、東部や欧州などの地域でCO₂の吸収量が大きく回復が大きいと推定された。

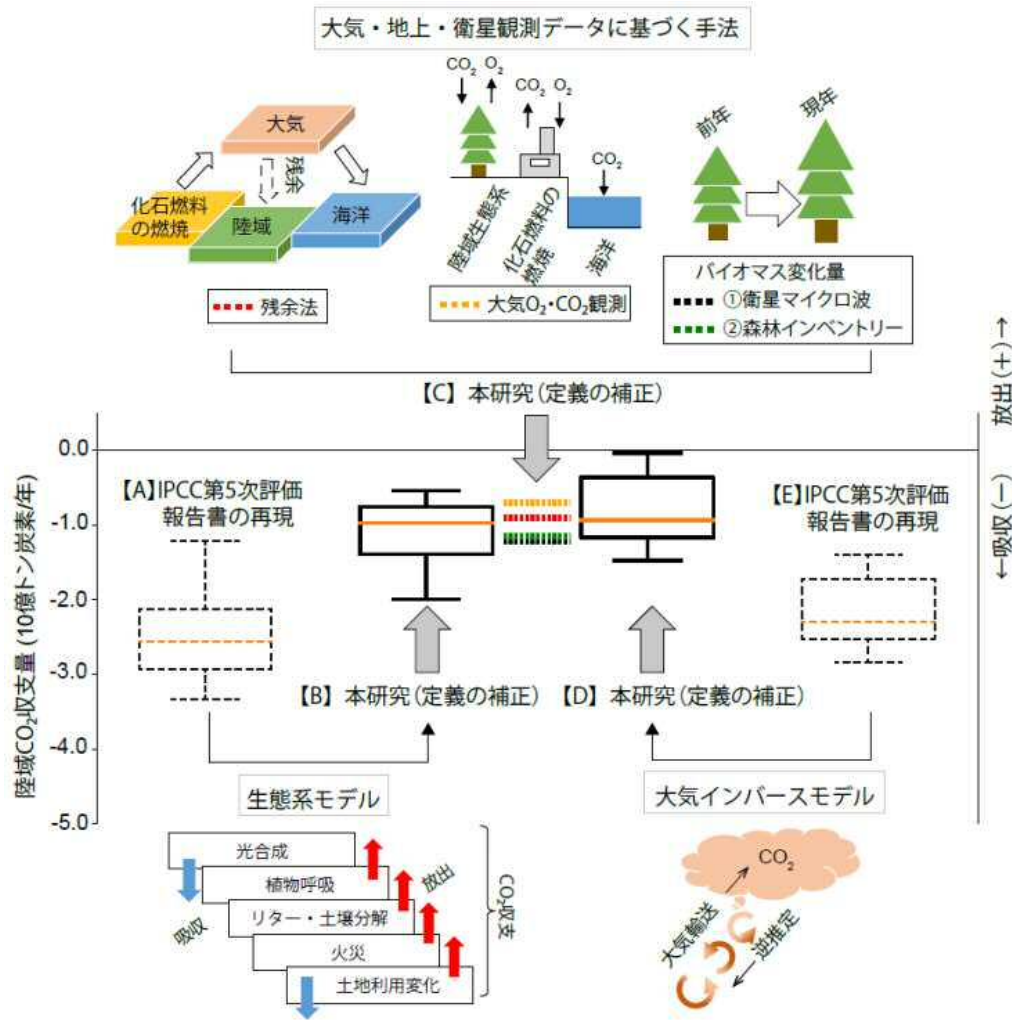
30.5.18 日刊工業新聞

CO₂吸収増加続く 60年代以降 森林管理が奏功 千葉大が環境モデルを解析した。60年代以前は、森林伐採などの影響でCO₂は排出傾向にあった。60年代以降は、CO₂吸収量(吸収)が増え、90年代以降は1960年代以降、吸収量は過去100年で最大となった。増加の要因は、熱帯後進国や森林管理の進んだ地域で、吸収量の増加が自立した。森林伐採を抑制、管理する一方で、北米や欧州、中国などでは、植生や森林管理による吸収量の増加が期待でき、地球温暖化の抑制に大きく寄与する。大気中のCO₂の増加は、約26%と推定された。90年代以降、化石燃料の消費が減少し、CO₂の排出量は減少したが、吸収量の増加は、CO₂の排出量の減少を補った。

新聞掲載記事

トップダウン・ボトムアップ手法の統合解析を通じた炭素収支推定の高精度化

CO₂の放出・吸収について、定義を一致させた最新の見積もりを提示



既存のトップダウン・ボトムアップ推定を整理し、双方の定義を補正した新しい見積もりを提示

IPCC第5次評価報告書では考慮されなかった定義の違いを埋める試み（土地利用変化、河川経由のCO₂流出などを考慮）

亜大陸スケール(全球9領域)でも評価し、IPCC第5次評価報告書の結果を更新する試みであり、IPCC第6次評価報告書への貢献が期待できる

まとめ

- 深刻な観測空白域であるアジアで航空機によるCO₂観測を強化した。
- そのデータを効果的に利用する高解像度のCO₂、CH₄逆解析システムを開発し、CO簡易モデルも組み込んだ。その結果、小さいスケールの森林火災や化石燃料起源の排出量推定が高精度で可能になった。
- 複数のトップダウン・ボトムアップ手法の統合解析に基づき、全球及びアジアの地域別炭素収支評価を高度化する手法を確立した。
- 3つの独立した手法に基づき、過去100年間の炭素収支推定を行い、2000年代の陸域CO₂吸収量が最大であったことを見出した。
- IPCC AR5時点の問題点を明らかにし、AR6への貢献に向けて、精度を改良した全球及び地域別CO₂収支を算出した。
- 今後は、本研究の成果を、(1)パリ協定グローバル・ストックテイクに合わせて、温室効果ガスインベントリと比較可能なデータの提供、(2)地球システムモデルの信頼性向上と気候の近未来予測の向上、(3)各国温暖化対策の効果の検証、等に活用することを検討する。

本課題の成果に係る「査読付」論文(国際誌)の発表(抜粋)

執筆者名	発行年	論文タイトル	ジャーナル名等
近藤雅征, 市井和仁, P.K. Patra, 他	2018	Land use change and El Niño-Southern Oscillation drive decadal carbon balance shifts in Southeast Asia	Nature Communications 9, 1154
近藤雅征, P.K. Patra, 他	2020	State of the science in reconciling top-down and bottom-up approaches for terrestrial CO ₂ budget	Global Change Biology, 26, 3, 1068-1084
P.K. Patra 他	2017	Orbiting carbon observatory (OCO-2) tracks 2-3 petagrams increase of carbon release to the atmosphere during the 2014-2016 El Niño	Scientific Reports, doi: 10.1038/s41598-017-13459-0
梅澤 拓, 松枝秀和, 澤庸介, 町田敏暢, 丹羽 洋介, 他	2020	Statistical characterization of urban CO ₂ emission signals observed by commercial airliner measurements	Scientific Reports, 10.1038/s41598-020-64769-9

当課題メンバーが筆頭の原著論文は他に5本。全て、脚注又は謝辞に「環境研究総合推進費」・「課題番号」を記載。

マスコミ発表(プレスリリース、新聞掲載、TV出演、報道機関への情報提供等)

種類	年月	概要	その他特記事項
プレスリリース (千葉大他)	2018.3.20	気候の自然変動が、大規模森林伐採による二酸化炭素の排出を相殺した現象を世界で初めて検出!	NHK News Web, 日本経済新聞, 日刊工業新聞 他掲載
プレスリリース (千葉大他)	2018.5.16	2000年代の陸域CO ₂ 吸収量が過去100年間で最大! 過去の大规模土地利用変化から回復した植生が原因の一つ	日本経済新聞, 日刊工業新聞掲載 他掲載
プレスリリース (千葉大他)	2019.12.12	CO ₂ の放出と吸収のより正確な推定に成功~IPCC第5次評価報告書からの進展と第6次評価報告書に向けた課題	電気新聞, 化学工業日報, 海外オンラインメディア 他掲載
プレスリリース (国環研他)	2020.5.15	民間旅客機が捉えた都市圏からのCO ₂ 排出 ~世界35都市上空でのCO ₂ 観測データの統計解析~	

以上は全て「環境研究総合推進費」・「課題番号」を掲載。

研究成果を用いた、日本国民との科学・科学技術対話の活動

①小・中・高等学校の理科授業での特別授業(抜粋)

実施日	学校名等	所在地	説明した「研究成果」、「実生活との関連」等
2017.7.19 2017.11.24	関西創価高校 熊谷高校	大阪府交野市 埼玉県熊谷市	スーパーグローバルハイスクールフィールドワークにて講義(英語) スーパーサイエンスハイスクールで増加するCO ₂ について講義

②大学・研究機関の一般公開での研究成果の講演(抜粋)

実施日	主催者名	講座名	開催地	参加者数	講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等
2017～ 2019 計5回	国環研	夏の大公開及び 春の環境講座	つくば市	会場全体 約5,000名 など	温室効果ガス観測研究の成果につき展示・解説
2018.12.26	東京大	気候システム研究系シンポ ^o	東京		地球システムモニタリングに関し当課題の成果を紹介
2019.11.25	千葉大	東総教頭会視察会	千葉市	25名	当分野の環境リモートセンシングと学校教育について講演

③一般市民を対象としたシンポジウム、博覧会、展示場での研究成果の講演・説明(抜粋)

実施日	主催者名	シンポ名	開催地	参加者数	講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等
2017.12.3	大阪府 池田市	環境セミナー	池田市	200名	COOL CHOICE普及啓発事業環境セミナー「そらエコinい けだ」にて講演ならびに市民と対話
2018.1.20	千葉市科 学館	科学教室	千葉市	25名	大人が楽しむ科学教室「千葉の空①」にて人工衛星か ら見る地球規模での植生の変化について講演
2018.1.20	日本科学 未来館	トークイベント	東京	申込100名	「宇宙飛行士と考える、地球と私たちとのつながり」にて 観測活動を紹介・対話
2019.11.21	環境省・ 気象庁	IPCCシンポジ ウム	東京	申込400名	「暮らしの中の気候変動」において、当該分野の活動や IPCC特別報告書の内容を解説

④インターネット上での研究成果の継続的な発信(抜粋)

開始日、	種類	アクセス/参加者数	発信した「研究成果」等
2018.1.20	ニコニコ生放送	11,263視聴	「宇宙飛行士と考える、地球と私たちとのつながり」で観測活動を紹介(動画)
2019.4.20	ニコニコ生放送	38,000視聴	「国環研・気候[変]会議&潜入ツアー」で観測活動を紹介(動画)

行政ニーズに即した 環境政策への貢献事例

概要(簡潔に)

本研究課題で得られた科学的知見に基づき編纂した「パリ協定における我が国の貢献のための温室効果ガス観測及びデータ利活用」を地球観測連携拠点(温暖化分野)の報告としてとりまとめ、文部科学省地球観測推進部会(2018年8月、11月)、内閣府総合科学技術・イノベーション会議政策討議(2019年3月)に提出し、統合イノベーション戦略2019にその一部が反映された。加えて、これらの日本の取組を気候変動枠組条約第25回締約国会議(COP25)の公式サイドイベント等で国際的に普及した(2019年12月)。

サブテーマ4代表者の市井は、IPBES(生物多様性及び生態系サービスに関する政府間プラットフォーム)評価報告書の第2章Coordinating Lead Author(統括執筆責任者)に任命され、報告書の全体の調整を行った。その中で本研究の成果(Kondo et al., 2018)が第2章に引用された。また、課題代表者の三枝は、IPCC特別報告書Climate Change and Landの第6章LAに任命され、科学的内容に責任をもって貢献した。

行政ニーズに即した 今後の環境政策への貢献「見込み」

概要(簡潔に)

本研究サブテーマ2で開発した逆解析システムNICAM-TM 4D-Varは、環境省・国環研・JAXAの三者が進めるGOSAT-2プロジェクトにおいて、CO₂とCH₄の地表面フラックスプロダクト(L4)を作成するシステムとして今後運用される。また、今回開発した衛星観測データを用いたGSAM-TMをベースとするCO₂逆解析システムは気象庁が実施しているCO₂分布情報の解析システムとして活用される。さらに、同システムを用いて実施した長期間のCO₂逆解析は2021年に出版予定のIPCC第6次評価報告書等に引用される見込みである。

サブテーマ3代表者のパトラは、IPCC第6次評価報告書の第5章LAとして報告書の編纂に貢献している。サブテーマ3と4による温室効果ガス収支の成果は、第5次評価報告書の内容に比べて推定精度を向上し、新たな知見をとりまとめていることから、パリ協定における温室効果ガス排出の許容量を決定する際の基礎資料として利用可能であり、IPCC第6次評価報告書に成果が引用される見込みが極めて高い。

その他特記事項

概要(箇条書きで簡潔に)

- ・【表彰】近藤雅征:Asia Oceania Geosciences Society Kamide Lecture Award受賞
受賞研究「The role of CO₂ release and uptake induced by land use changes in recent terrestrial carbon balance」(2019年7月31日)
- ・【国際共同研究の推進】Future Earthの重要な国際プロジェクトの一つである Global Carbon Project (GCP) が推進する地球規模及び地域別の温室効果ガス収支の統合的解析に、当研究から複数のモデル解析データを提供した。特に、サブテーマ3代表のパトラは、GCPが進める第2回地域炭素収支評価 (RECCAP-2)プロジェクトの地球規模CH₄収支のサイエンスコーディネートをを行った。
- ・【国際共同研究の推進】CO₂・CH₄収支の総合的評価の結果を総括するため、GCP RECCAP-2 プロジェクトの一環として、2019年3月18日～21日に静岡県御殿場市において国際会議を開催した。当分野第一線の専門家(17カ国 約55名、IPCC AR6 Ch.5 CLA, LA等多数)を招聘し、成果のとりまとめや、国際的に重要な報告書等への普及について議論した。
- ・【国内・国際会議セッション開催、人材育成活動】本課題参画者は、アジア-オセアニア地球科学会 (AOGS) (2017, 2018, 2019)、日本地球惑星連合大会(2017, 2018, 2019)、GEOSS アジア太平洋シンポジウム(2017, 2018, 2019) 等でセッション(分科会)を開催し科学的議論をリードした。