

温室効果ガス収支のマルチスケール監視とモデル高度化に関する統合的研究

研究代表者

テーマ1リーダー

テーマ2リーダー

テーマ3リーダー

(国研)国立環境研究所

(国研)国立環境研究所

(国研)海洋研究開発機構

(国研)国立環境研究所

伊藤 昭彦

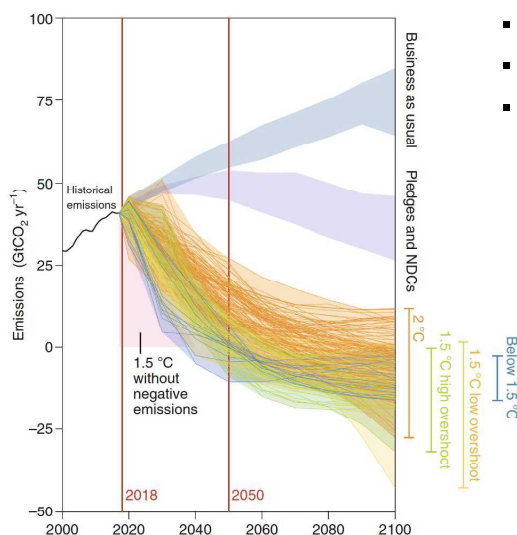
丹羽 洋介

羽島 知洋

伊藤 昭彦

1

研究背景: グローバルストックテイク



(Roe et al. 2019, NCC)

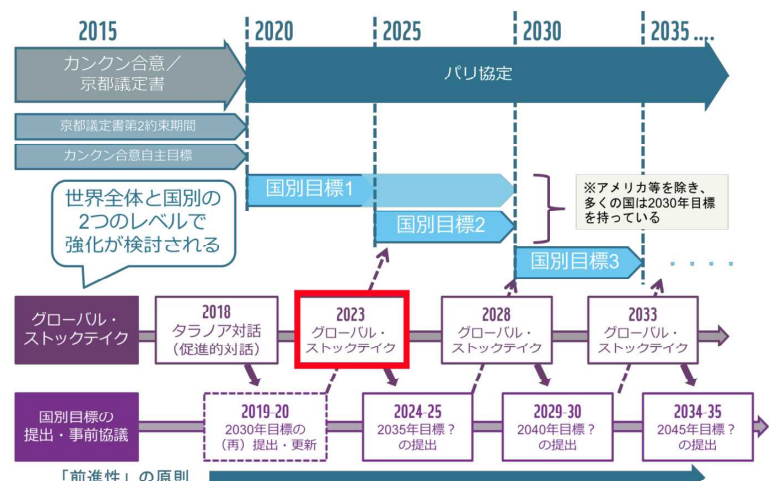
(WWFジャパン作成資料より)

パリ協定: 温暖化を1.5°C/2.0°Cに抑制する

- 大規模な温室効果ガス [GHG] の排出削減が不可欠
- 国別に削減目標 (NDC) を設定

グローバルストックテイクの目的

- 世界全体としての実施状況の検討
- ・ 包括的かつ促進的な方法を用いる
- ・ 緩和、適応、実施および支援の手段を考慮する
- ・ 公正かつ利用可能な最良の科学に基づく



2

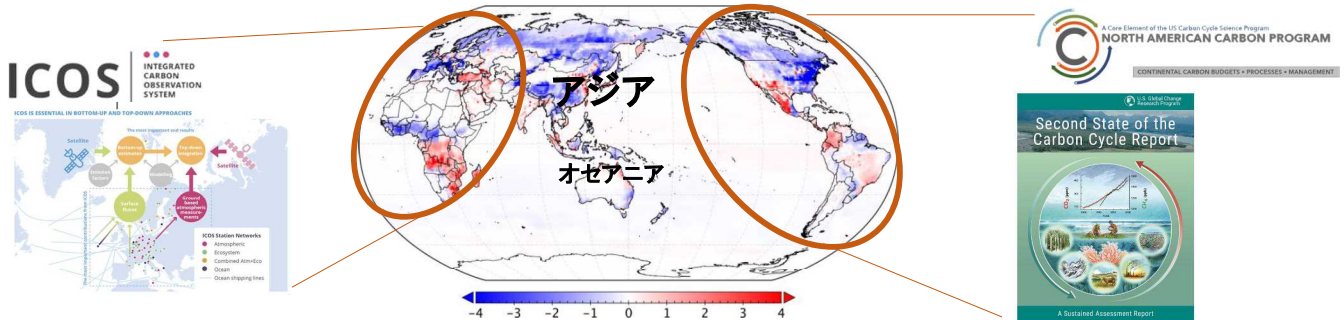
研究背景: GHG評価の現状

GHG収支評価の必要性と課題

- ・ グローバルストックテイクに貢献する科学的なGHG把握手法 (政策的)
- ・ 気候政策の効果を客観的な方法で検証 (")
- ・ GHG動態の現状解明と予測不確実性の低減 (科学的)

アジアにおける収支評価システムは欧米に比べて不十分

速報性へのボトルネック: オペレーショナルな体制が未整備



しかし、リソースを結集すれば可能



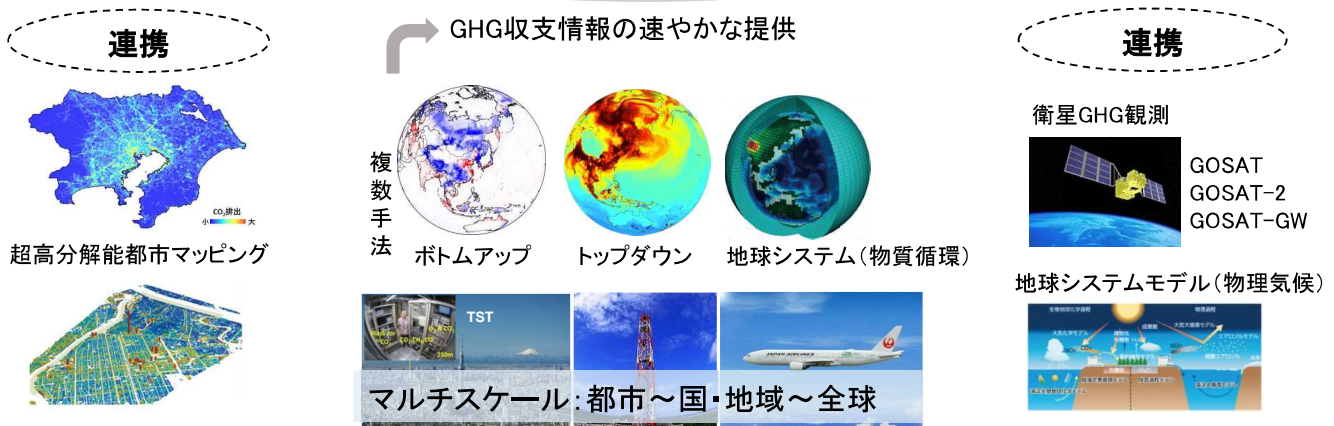
3

研究目的

本研究では、パリ協定・グローバルストックテイク等の政策的ニーズに応えられるよう、観測及びモデル研究を総合的に展開し、GHG動態を詳細に把握することを目的とする

- 具体的には
- ① 都市-国・地域-全球にわたる空間的なマルチスケールでの把握
 - ② 観測から収支評価までスピーディーに情報を提供する監視システムの構築
 - ③ 温暖化の現象解明と予測精度の向上に寄与する、ことを目的とする
- 以上において、科学的に最良の推定を目指すとともに、成果を国民にわかりやすく示す

本課題



4

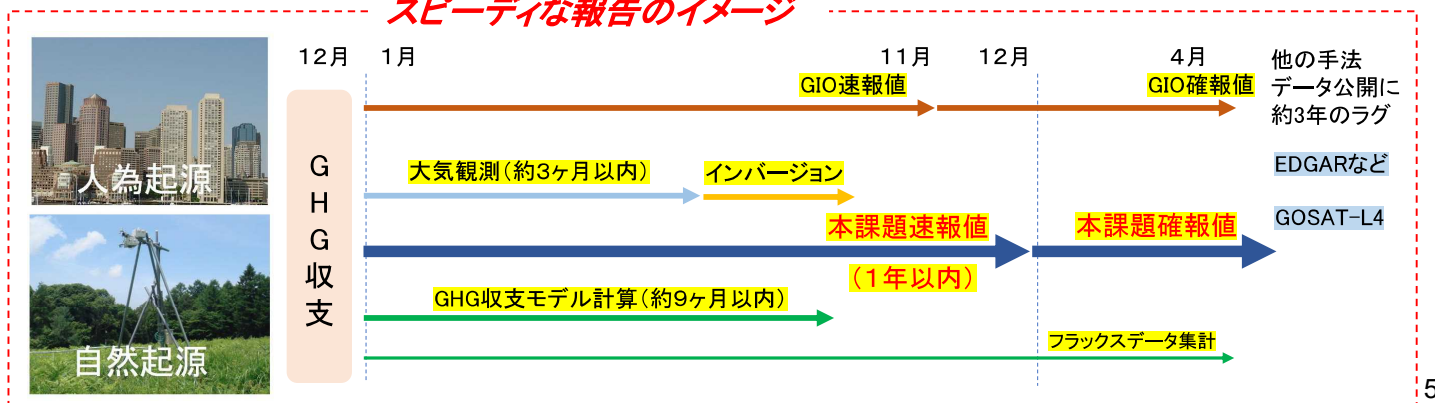
新規性・優位性

世界水準のGHG収支評価体制をゼロから3年以内に構築することは困難
→ 実績を踏まえた上で構築すべき（例：2-1701全球統合解析システム）

本課題の**新規性・優位性**は何か？（単なる継続ではなくSIIが必要な理由）

- マルチスケール：都市～国・地域～全球をシームレスにカバー
- 網羅性：主要GHG(CO₂、CH₄、N₂O)、関連物質(COなど)、自然＋人為起源
- 科学的な質の高さ：十分な実績、現状理解、予測に直結
残された科学的課題→ 都市放出、火災、凍土、気候-CO₂フィードバック、CH₄濃度変動など
- 速報性：GSTだけでなく突発的事象(例：大火災、COVID-19影響)にも対応

スピーディな報告のイメージ



成果目標

全体目標

- ◆ パリ協定・グローバルストックテイク(2023年＋それ以降)に向け、最良の科学に基づいて、GHG吸収・排出量をスピーディ(1年以内を目指す)に把握する監視システムを構築する
- ◆ 本事業で提案する体制をベースに高精度化を継続することで、2028年以降にも対応できる世界的にも高レベルな監視システムを提案する
- ◆ 都市-国・地域-全球にわたるマルチスケールで、基準年(2013年)からできるだけ最近までのGHG収支を定量化する
- ◆ アジア太平洋域における観測システム模擬実験を行い、日本およびアジア数力国でのグローバルストックテイク実施における最適な観測体制の検討を支援する
- ◆ GHG排出削減の実効性評価のため地球システムモデルを検証し再現性を向上させる
- ◆ 複数手法による評価結果を2022年分より報告書としてとりまとめる
- ◆ 他国の排出インベントリとの比較検証を行い、国際連携を通じてデータや監視技術を提供し、グローバルストックテイクの実施を支援する

個別目標

- ◆ 都市内のタワー、地上ステーション、航空機観測などによりアジア地域の観測体制を向上させる
- ◆ 速報性を高めるため大気GHGに関するデータ分析の効率化を進める
- ◆ 大気輸送拡散モデルによる地上フラックス推定を従来より高分解能化し、観測体制の最適化を検討する
- ◆ 地球システムモデルにGHG動態を組み込み、大気中濃度の再現性などを検証する
- ◆ 排出削減に伴う温度抑制シミュレーションなどを実施し、削減目標の見直しに資する実効性評価を行う
- ◆ 地上観測・排出インベントリなどを用いたボトムアップ手法を用いて国地域別のGHG収支評価を実施する
- ◆ 各手法による評価結果を年毎に報告書としてとりまとめ、分かりやすい方法で情報提供する

研究課題のテーマ構成

テーマ1: 大気観測に基づくマルチスケールのGHG収支評価

(リーダー: 国環研・丹羽洋介)

サブテーマ1-1: 大気モデルを用いた観測体制検討とGHG収支評価 (総括)

サブテーマ1-2: 地上観測・航空機による大気中のGHG動態の把握 (公募)

サブテーマ1-3: 船舶観測に基づく海洋CO₂フラックスデータの精緻化 (公募)

テーマ2: 排出削減策の実効性評価のためのGHG収支推定と地球システムモデル検証

(リーダー: 海洋研究開発機構・羽島知洋)

サブテーマ2-1: 地球システムモデルを用いたGHG排出削減の実効性評価 (総括)

サブテーマ2-2: トップダウン手法によるグローバルなGHG収支変動把握 (公募)

テーマ3: 排出インベントリと観測データ及び物質循環モデル推定に基づくGHG収支評価

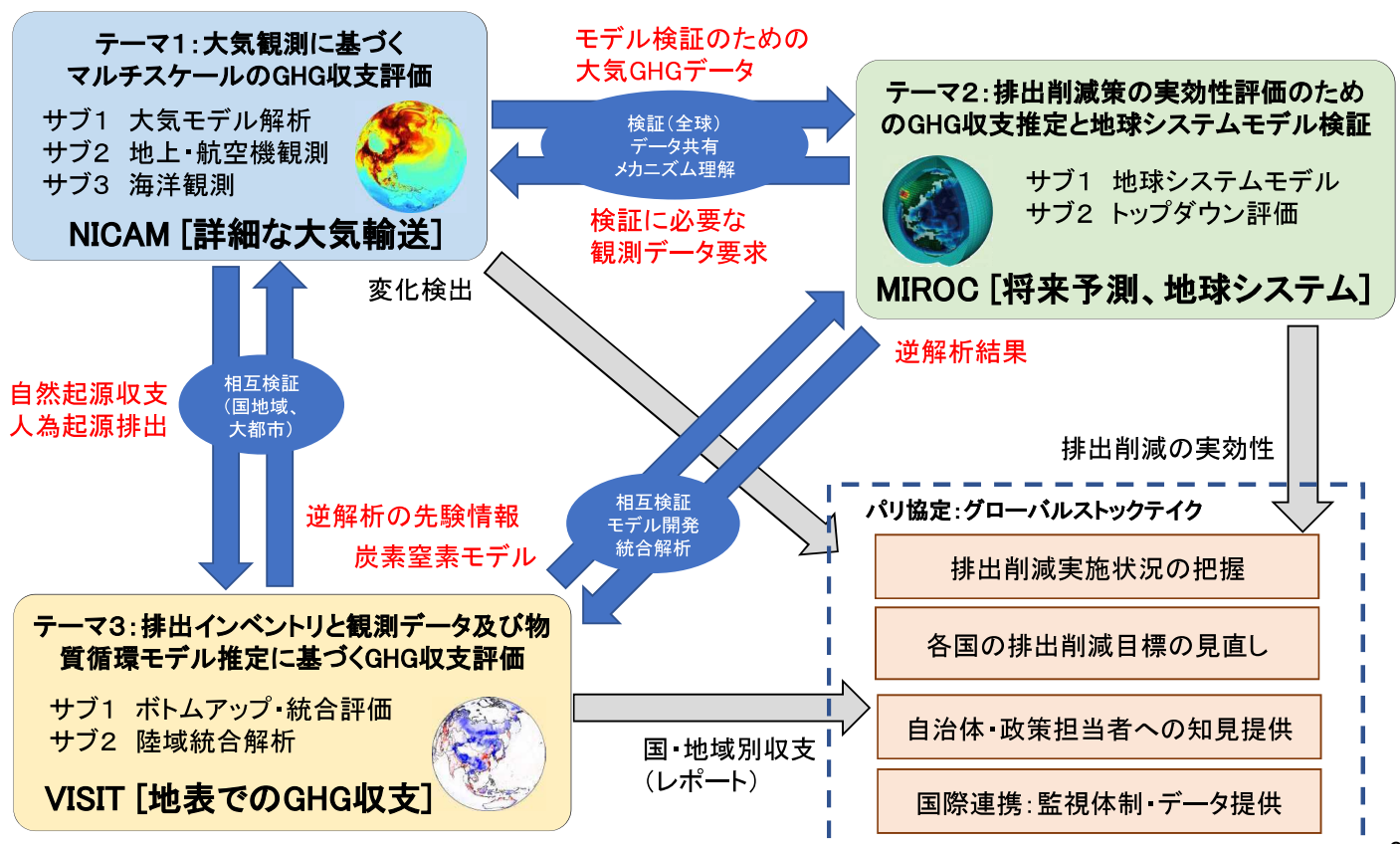
(リーダー: 国環研・伊藤昭彦)

サブテーマ3-1: 人為起源インベントリを含むGHG収支のボトムアップ評価と分析 (総括)

サブテーマ3-2: 観測データ及びモデル推定の統合解析による陸域のGHG収支評価 (公募)

7

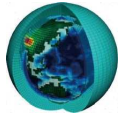
全体構成とテーマ間連携



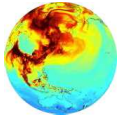
8

継続的かつ迅速な観測データ取得体制

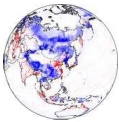
主に使用される
モデル



MIROC
(地球システム)



NICAM
(大気輸送)



VISIT
(地表放出・吸収)

全球(グローバル)
スケール

10^4 km^2

国・地域
スケール

10^2 km^2

大都市
スケール

10^0 km^2

主な観測データ



データ取得後、およそ3ヶ月で利用可能

GOSAT (2009～)
GOSAT-2 (2018～)、GW (2023 予定～)
OCO-2 など海外衛星データ

CONTRAIL (2005～)
※地球一括で2021年度以降も継続予定

気象庁南鳥島観測所など
(GAW: 1993～: 事業として継続)

大気観測国際ネットワーク
NOAA、AGAGE など

国環研波照間ステーションなど
(1993～: 所内事業として継続)

東京での観測など
(2016～)
※別予算で継続予定

アジア-全球における連携

大気・海洋・陸域の観測ネットワーク、モデル相互比較検証、など

グローバル

Global Carbon Project (GCP)、WMO-GAW、FLUXNET、GOSAT
Global Earth Observation System of Systems (GEOSS)、SOCAT



NASA-GSFC (ODIAC)
他地域 (NACP、ICOS)

日本

JapanFlux
東北大学
など

アジア～オセアニア

GCP-RECCAP
[大気、陸域モデル]

AOGEOSS
AsiaFlux (アジア各国)

CSIRO (オーストラリア)
OzFlux (")
NIWA (ニュージーランド)



政策貢献：実績からさらなる貢献へ

COP25での成果アピール



環境研 三枝センター長

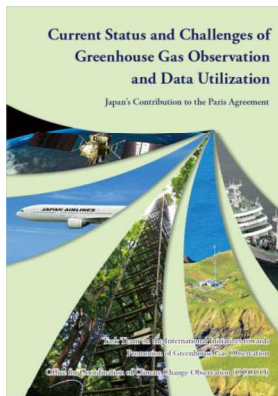


JAMSTEC P. K. Patra氏

前推進費を含む日本の取組について、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(2019年12月)

地球環境研究センター：地球温暖化対策を話し合う国連の会議「COP25」からのたより

GHG観測に関するリーフレット（英語版）



温室効果ガス観測推進に向けた国際イニシアティブに関する検討チーム活動報告英文リーフレット(Current Status and Challenges of Greenhouse Gas Observation and Data Utilization: Japan's Contribution to the Paris Agreement)

地球観測に関する政府間会合(GEO)及び世界気象機関(WMO)等の気候変動に関わる国際的枠組での取組を念頭に、日本としての取組や今後の計画等について関係府省庁・機関にて情報共有・検討・議論をすることを目的として平成29年度に活動を開始しました。本リーフレットでは、検討チームにて共有された情報に基づき、温室効果ガスに関わる地球観測が温暖化対策の新しい国際枠組み「パリ協定」にどのように貢献するかという視点で、現状と今後の課題をまとめた内容を紹介しています。

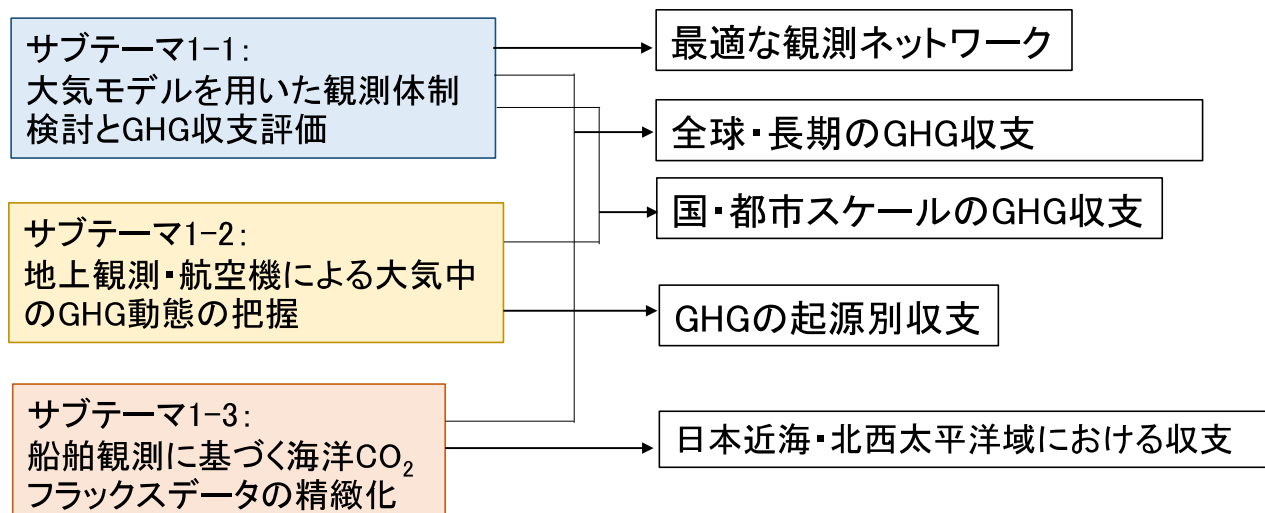
http://occo.nies.go.jp/pdf/inter_initiatives_pamphlet_e2018.pdf

11

テーマ1：大気観測に基づくマルチスケールのGHG収支評価

実施内容

大気観測とモデル解析により、GHG収支をスピーディーに監視・報告できる体制を構築する。経年変動や大小様々なスケールの炭素収支メカニズムの理解を深化させる。また、そのために必要な観測体制について、新たな評価手法を確立し、提案する。



12

サブテーマ1-1: 大気モデルを用いた観測体制検討とGHG収支評価

実施内容

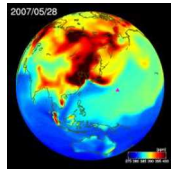
- 大気モデル・逆解析を軸としたマルチスケールGHG収支評価システムの開発
- 観測システム模擬実験(OSSE)の実施と、アジア地域のGHG収支推定向上に有効な観測(手法、位置、頻度、精度等)の検討

全球・月～数十年スケール

+サブテーマ1-3全球海洋
フラックス

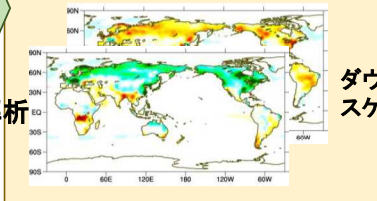
領域・日～年スケール

低解像度モデル
+
逆解析システム

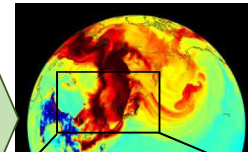


逆解析

全球・長期GHGフラックス



ダウン
スケーリング



領域外の影響大
全球高解像度
モデルを利用

都市・国スケール
収支推定へ
サブテーマ1-2
と協働

OSSEに
よる有効
な観測の
検討



サブテーマ1-2による観測を中心とした観測網

全球スケール

都市・国スケール

13

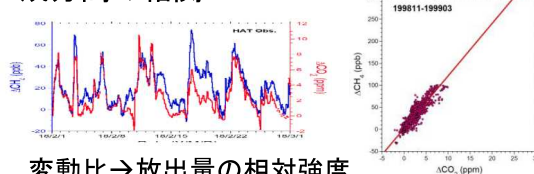
サブテーマ1-2: 地上観測・航空機による大気中のGHG動態の把握

実施内容

- 地表観測サイトや航空機観測を用いた、アジア・太平洋域の対流圏下部から上部におけるGHG動態の継続的な把握と、多成分、同位体比観測を用いたGHG収支の起源分離推定



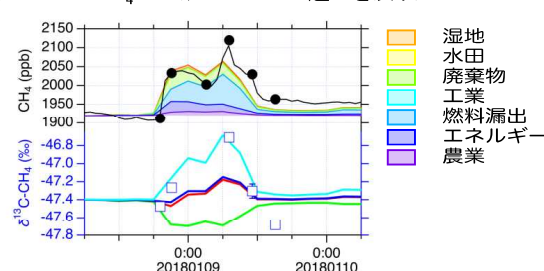
成分間の相関



変動比→放出量の相対強度
(時・空間変化の検出)

同位体比変動→発生源の推定

$^{13}\text{CH}_4$ →生成プロセスの違いを反映



- 先端的な測定手法による精密観測の実施と今後の高度化に向けた技術シーズの検討

- 都市大気における高精度・高頻度観測



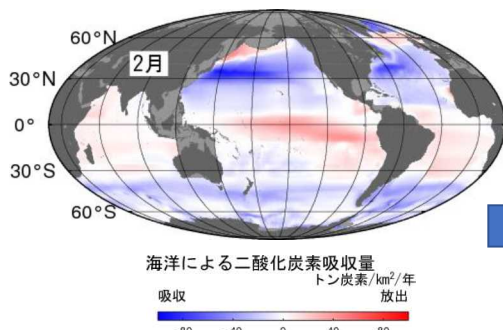
- モザイク状の排出源を捕捉
- CO_2 は0.1 ppm以下、 CH_4 は1 ppb以下の精度で連続観測

14

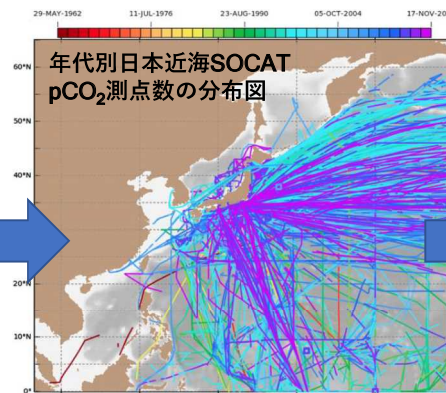
サブテーマ1-3: 船舶観測に基づく海洋CO₂フラックスデータの精緻化

実施内容

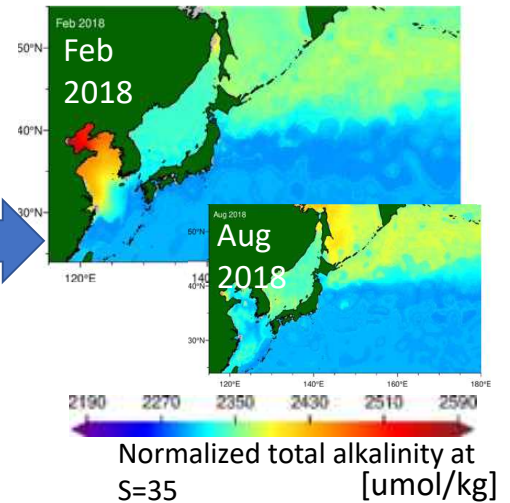
- 船舶によるpCO₂観測のデータベースSOCATや海洋再解析データを活用した大気-海洋間のGHG収支評価
- 日本近海・北西太平洋域における海洋のpCO₂分布データの精緻化



従来の推定値は、外洋域の解析が中心
生物活動等の盛んな縁辺海や沿岸の海洋データが少なく(空白域)、日本近海・北西太平洋域のCO₂収支推定の大きな誤差要因



近年増加している観測や整備されたデータベースを活用、再構築し、狭領域の収支評価に反映。最適化された大気濃度データを用いて大気-海洋間のCO₂フラックスを計算。
(サブテーマ1-1、1-2と協働)



GLODAP v2.2019データベースのアルカリ度観測値を用いた全アルカリ度のマッピング例

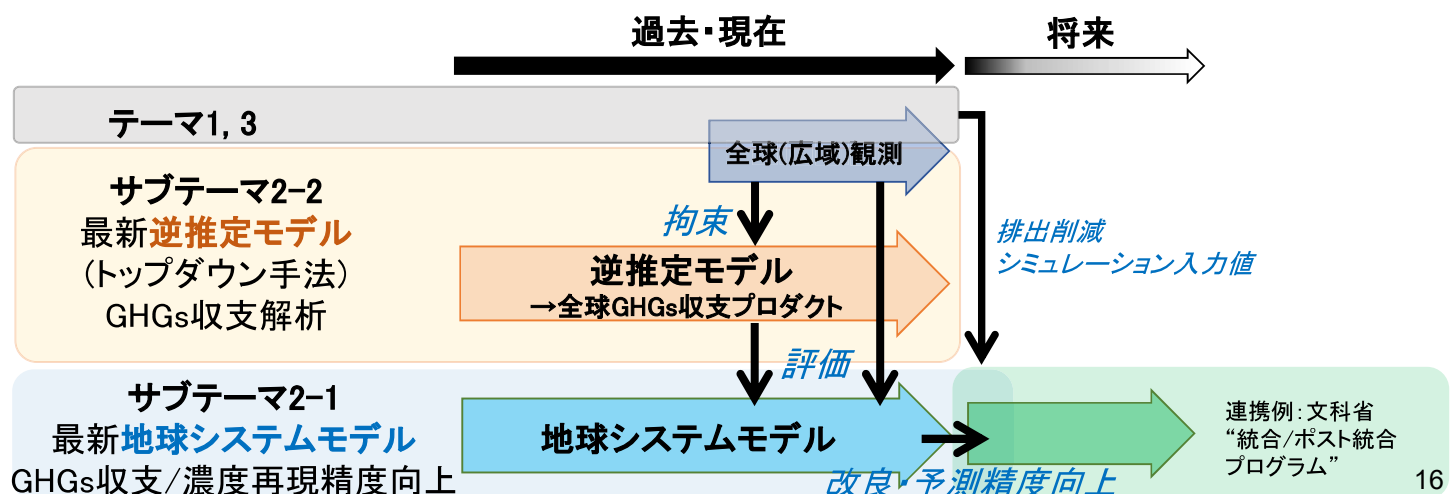
15

テーマ2: 排出削減策の実効性評価のためのGHG収支推定と地球システムモデル検証

実施内容

将来予測に用いられる地球システムモデルの全球GHG動態の再現性を向上させるため、逆推定モデルによる全球GHG収支の評価と大気中濃度などに基づくモデル検証を行い、排出削減による温度上昇の抑制効果シミュレーションを行う

- 研究課題全体での**複数GHGs収支の最新情報**は、政策決定における科学的基礎情報となるだけでなく、地球システムモデル(温暖化予測モデル)の**評価/検証材料**として**世界的にも貴重**
- これまではCO₂のモデル導入/検証が主体、さらにこれをCH₄、N₂O等に**発展**
- さらに、最新GHGs収支情報を入力値とした**排出削減-温暖化抑制シミュレーション**(国内温暖化予測研究プロジェクト等と連携)
- これら**観測-トップダウン/ボトムアップ手法-予測モデル**連携による取り組みは**世界でも先駆的**

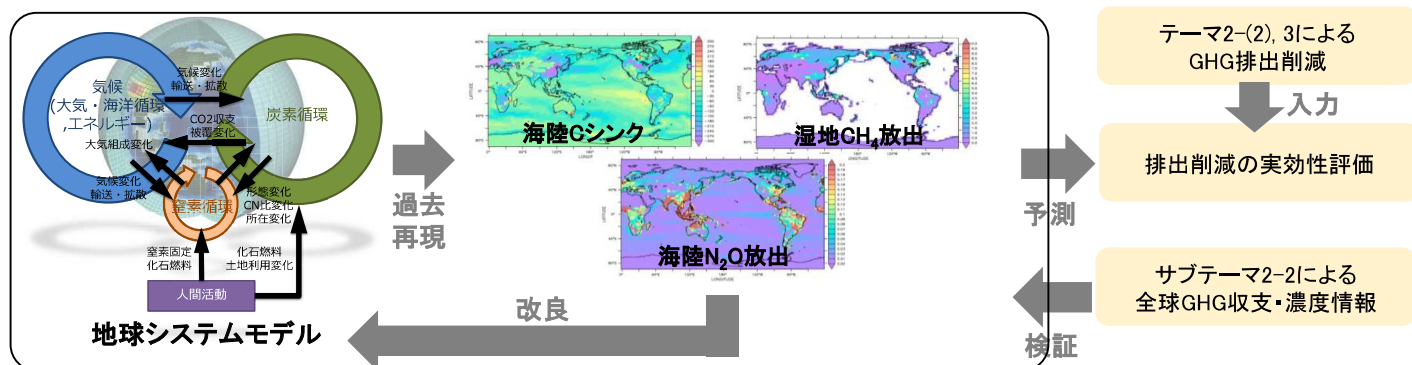


16

サブテーマ2-1: 地球システムモデルを用いたGHG排出削減の実効性評価

実施内容

将来予測に用いられる地球システムモデルの全球GHG動態の再現性を向上させるため、逆推定モデルによる全球GHG収支の評価とモデル検証を行い、排出削減による温度上昇の抑制効果シミュレーションを行う



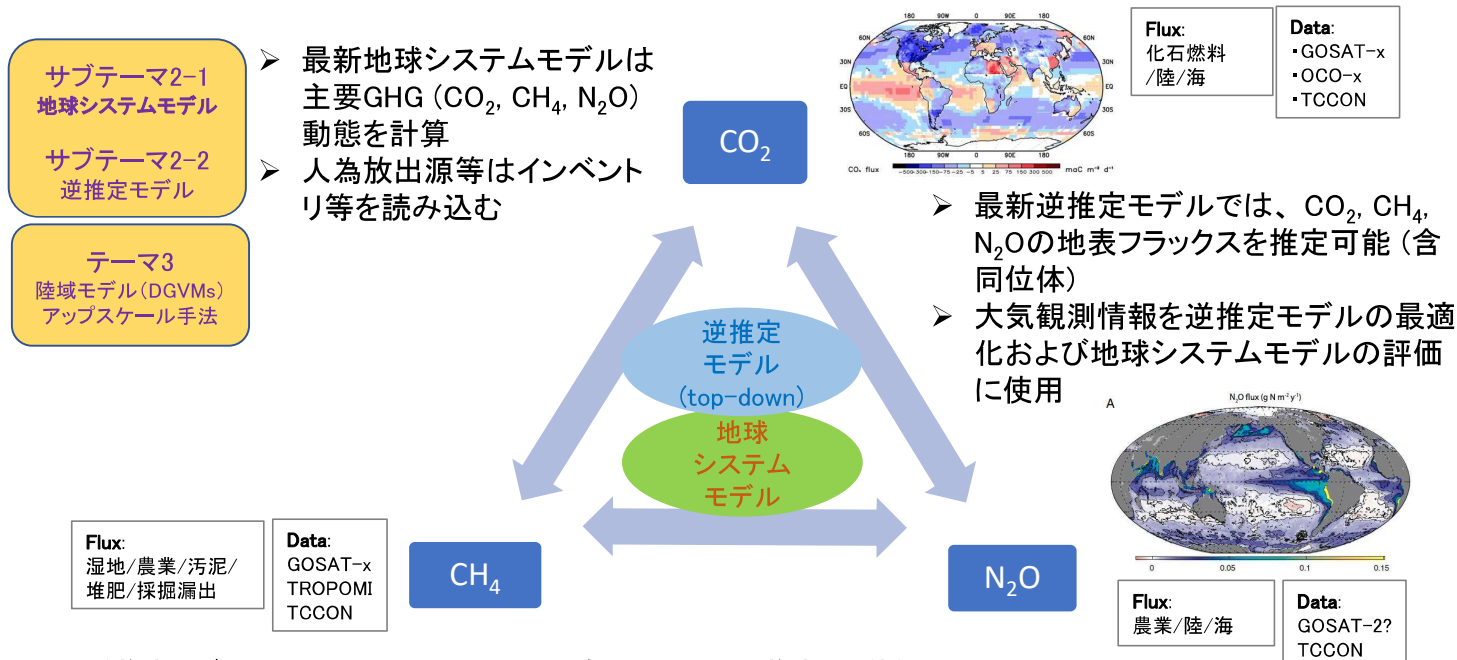
- 地球システムモデル: 地球の様々な相互作用過程を考慮した温暖化予測モデル (例: 温暖化-GHG放出の促進)
- これまではCO₂過程のモデル導入/検証が主体、依然として±20ppmv程度の誤差
→ 最新GHG収支/濃度情報により、問題の鍵となる地域や過程を同定、モデル改良を実施
- 最新予測モデルではCH₄やN₂O動態も予測、モデル開発が先行し検証不十分
→ 全球動態のメカニズム(例: 時空間変動、相互作用過程等)解明と平行したモデル検証の必要性
- サブテーマ2-2の温室効果ガス収支情報と知見を基に温室効果ガス収支・濃度の時空間変動を検証
- 特に、最近では過去～現在の再現性能が高いモデルをより重視する研究潮流あり
→ 観測-モデル研究の国内連携深化が次世代モデル/温暖化予測の鍵を握る可能性
- 排出削減の実効性評価シミュレーションを実施(他研究プログラムと連携)、効率的な研究遂行を目指して異なる複雑度のモデル(地球システムモデル、気候モデル、簡易気候モデル等)を活用

17

サブテーマ2-2: トップダウン手法によるグローバルな吸収源把握

実施内容

将来予測に用いられる地球システムモデルの全球GHG動態の再現性を向上させるため、逆推定モデルによるGHGガス収支の評価とモデル検証を行い、排出削減による温度上昇の抑制効果シミュレーションを行う



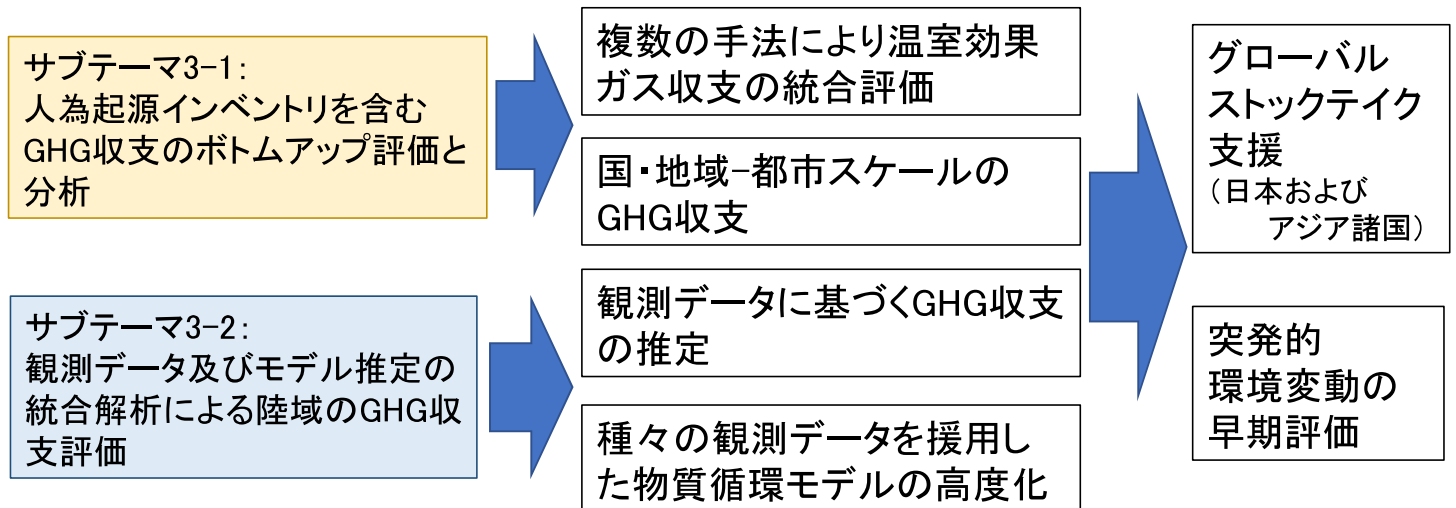
- 逆推定モデルによるCO₂, CH₄, N₂Oといった全球GHG収支の推定と動態解明
- インベントリ情報やアップスケール手法、衛星観測も活用(テーマ3)
- これを基にサブテーマ2-1のモデルを検証

18

テーマ3: 排出インベントリと観測データ及び物質循環モデル推定に基づくGHG収支評価

実施内容

インベントリやモデルを用いたボトムアップ的手法によりGHG収支を推定し、トップダウン評価と合わせてGHG収支の評価を行う。これらをシステム化し、2023年及びそれ以降5年毎に実施されるグローバルストックテイクへの情報提供や突発的なイベント発生時における影響評価をスピーディに行えるような体制を築く。他国の排出インベントリとも比較を行うことで検証し、他国におけるグローバルストックテイク実施の支援を検討する。

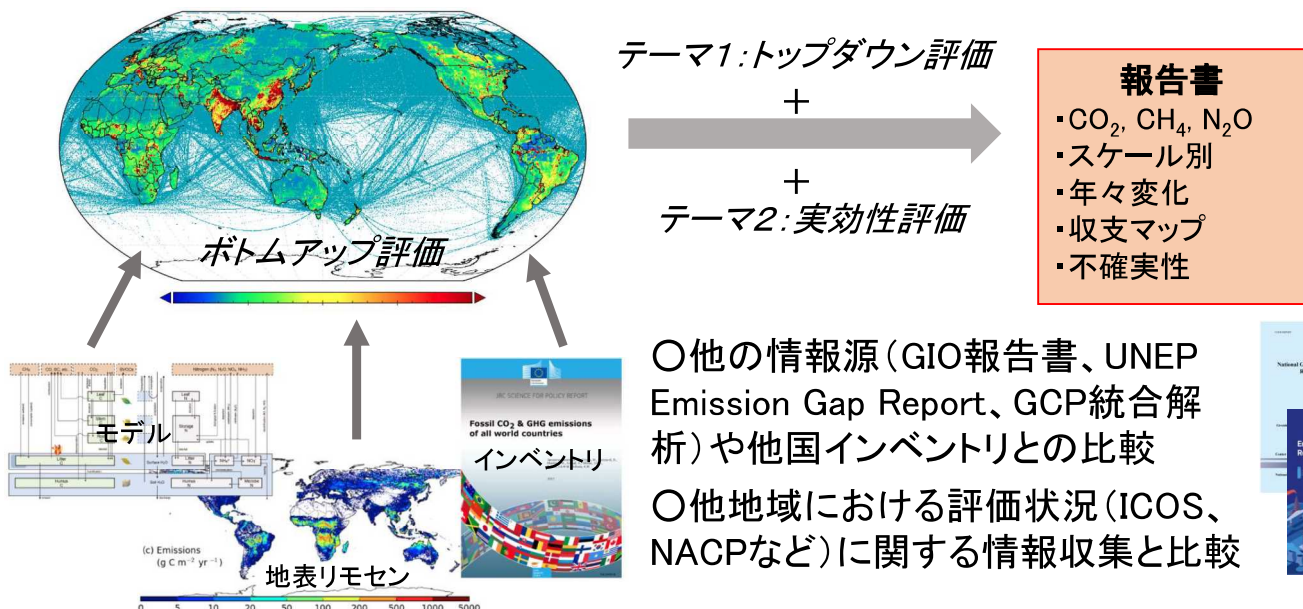


19

サブテーマ3-1: 人為起源インベントリを含むGHG収支のボトムアップ評価と分析

実施内容

- 自然起源の放出モデル、人為排出インベントリ、地表リモセンデータ等を用いるボトムアップ的手法により、アジアからグローバルを対象に、国別のGHG収支を評価する。
- 他国・他機関によるインベントリ等と比較し整合性を確認する
- 複数手法による推定結果をとりまとめ、年毎にGHG収支に関する報告書を作成し公開する

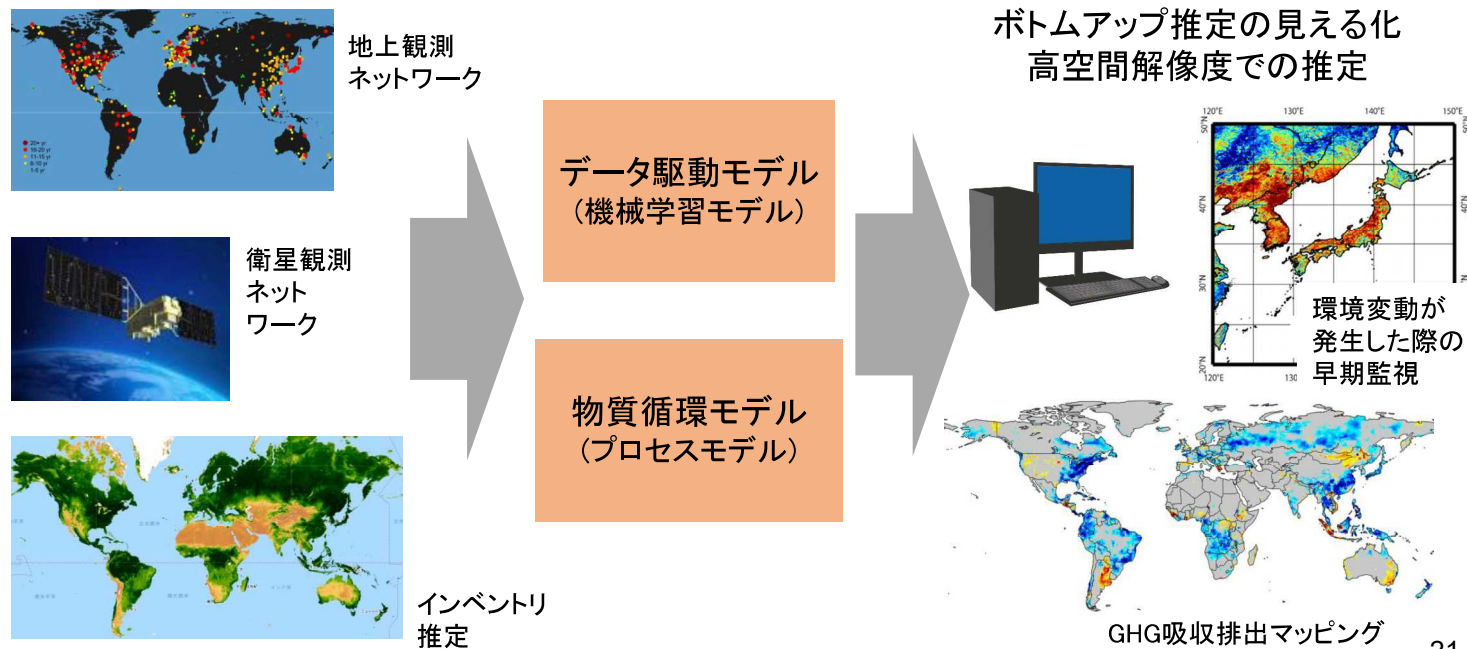


20

サブテーマ3-2: 観測データ及びモデル推定の統合解析による 陸域のGHG収支評価

実施内容

- 地上観測ネットワークや衛星観測を活用し、空間解像度の高いボトムアップ推定を行う
- 種々の観測データセットを活用し、物質循環モデルを高度化する
- これらを基盤にスピーディにGHG収支を把握できるシステムを構築する



21

年次計画

サブ	内容	FY2021	FY2022	FY2023
テーマ1 大気観測に基づくマルチスケールのGHG収支評価	1-1:	大気モデル開発、技術シーズ検討		
		観測システム模擬実験		
	1-2:	大気観測によるGHG動態把握		
		同位体比・関連成分の精密測定		
テーマ2 排出削減策の実効性評価のためのGHG収支推定と地球システムモデル検証	1-3:	移動体などによる都市大気観測		
		船舶などによる海洋pCO ₂ 観測		
		全球海洋pCO ₂ データセット構築		
テーマ3 排出インベントリと観測データ及び物質循環モデル推定に基づくGHG収支評価	2-1:	地球システムモデルGHG検証		
		再現性向上のためのモデル改良		
		排出削減の実効性評価		
	2-2:	大気インバージョンによる検証材料		
		大気中GHG変動の要因解析		
	3-1:	排出インベントリ収集、精度評価		
		統合的な報告書の作成		
		国際ワークショップの開催		
	3-2:	陸域GHG収支データ収集		
		データ同化などによる精緻化		
		データ駆動モデル、高分解能マッピング		
		ボトムアップ手法による収支評価		

22