

【2-1710】 実施期間 平成29～令和元年度
研究経費(累計額) 131,328千円

メタンの合理的排出削減に資する
東アジアの起源別収支監視と
評価システムの構築

課題代表者 伊藤昭彦（国立環境研究所）

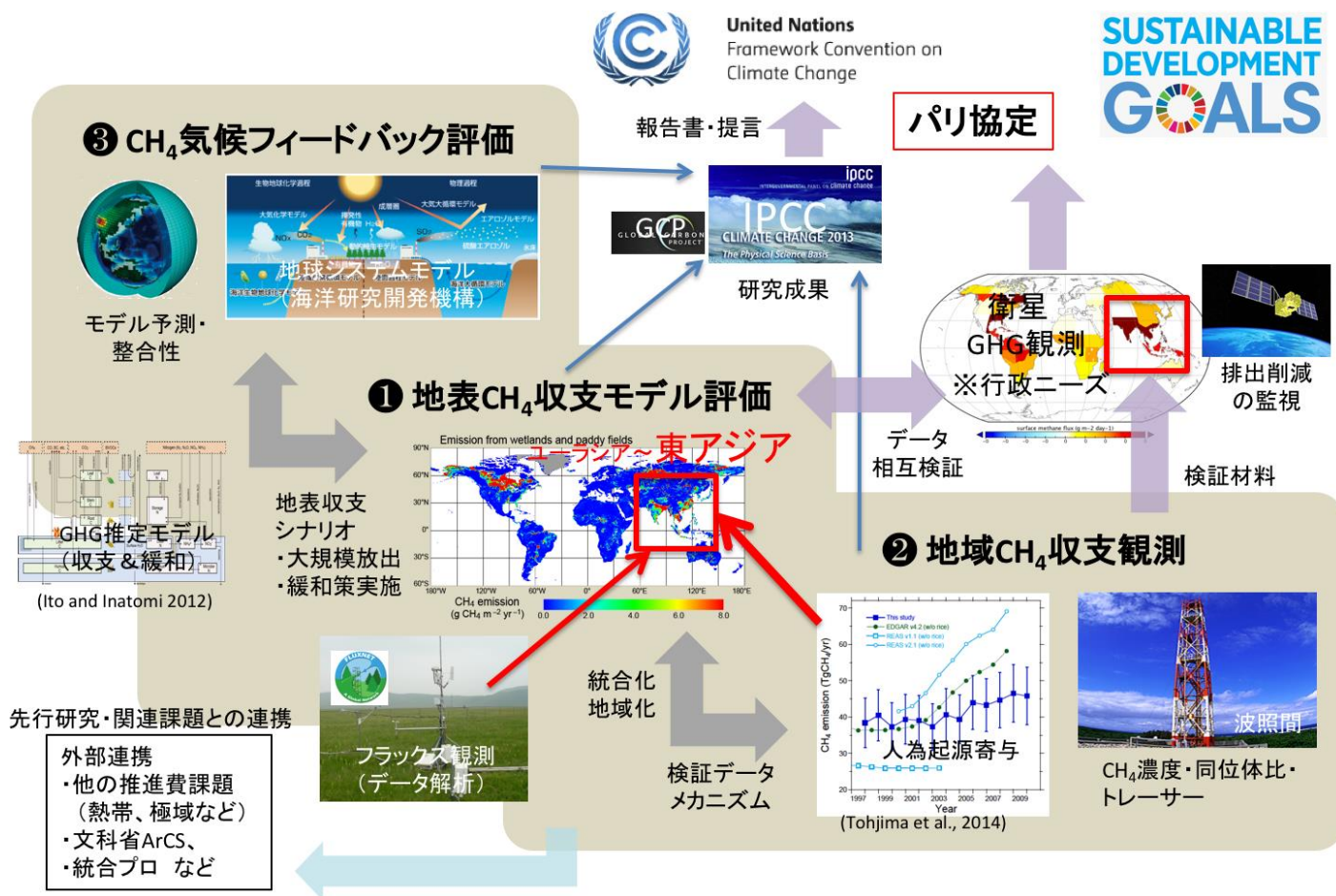
研究体制

- サブ1（国立環境研究所）：伊藤昭彦、平田竜一、齊藤誠
サブ2（国立環境研究所）：遠嶋康徳、梅澤拓
サブ3（海洋研究開発機構）：羽島知洋
（研究協力者：齊藤拓也、寺尾有希夫、井上晋平、井上忠雄）

研究開発目的



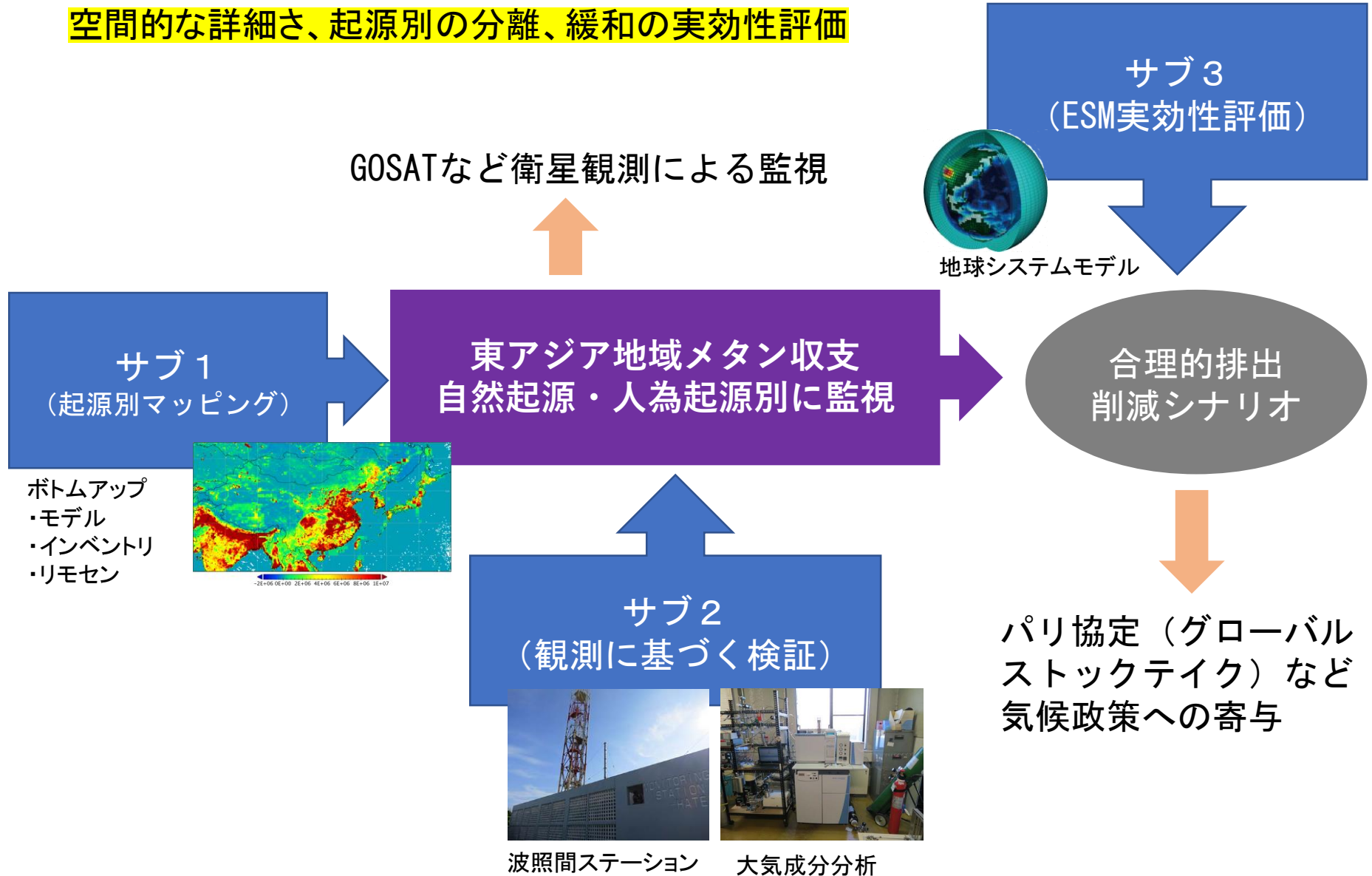
- 東アジア地域のCH₄収支をボトムアップで高精度に把握
- パリ協定に向けた実効性ある排出削減方針を提示



実施内容：監視・評価システム

利点

空間的な詳細さ、起源別の分離、緩和の実効性評価



波照間ステーション

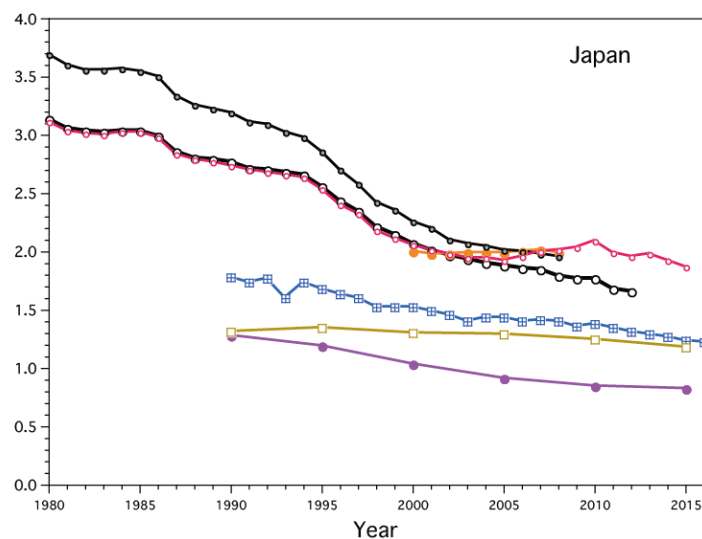
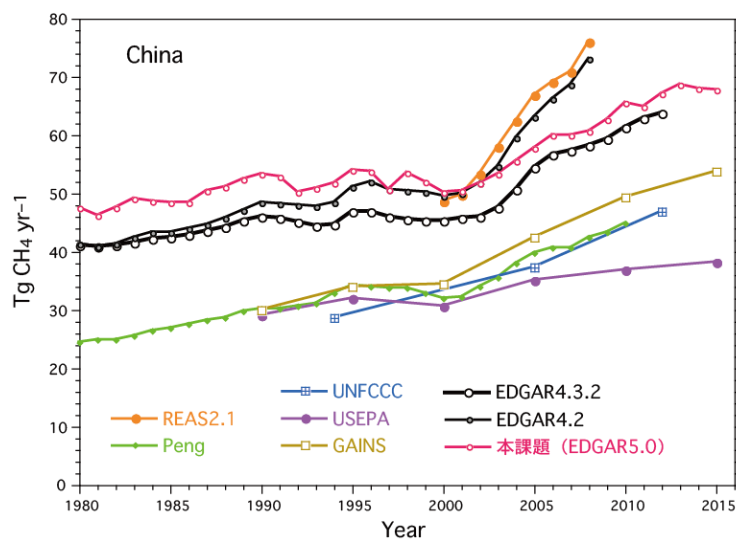
大気成分分析

サブテーマ1：ボトムアップ手法

表1. ボトムアップ評価の対象としたメタン放出・吸収セクターと使用データ.

自然起源／人為起源	セクター（放出/吸収）	使用データ・推定方法
自然起源	湿原（放出）	VISITモデル推定＋水田マップ
	シロアリ[共生微生物]（放出）	土地利用分布に基づく推定
	野外火災[バイオマス燃焼]（放出）	GFED4s/バイオマス燃焼＋Akagi et al. (2011) 排出係数
	地質学的起源（放出）	Etioppe et al. (2019)放出データ
	乾燥土壌による酸化（吸収）	VISITモデル推定
人為起源	化石燃料採掘（放出）	EDGAR5.0
	工業・交通・居住地（放出）	EDGAR5.0
	廃棄物・埋立（放出）	EDGAR5.0
	農地土壌[水田]（放出）	EDGAR5.0 [比較: VISITモデル推定]
	家畜[反芻動物の腸内発酵]（放出）	EDGAR5.0 [比較: FAOSTAT]

不確実性の評価：インベントリ間比較の例

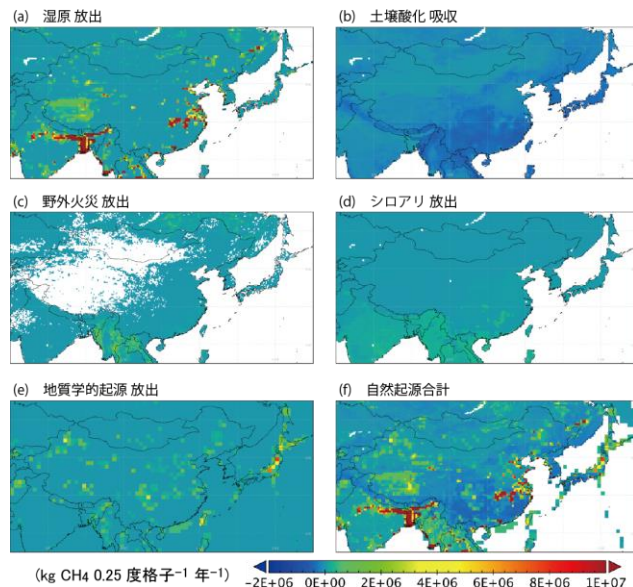


サブテーマ1：東アジアのCH₄収支

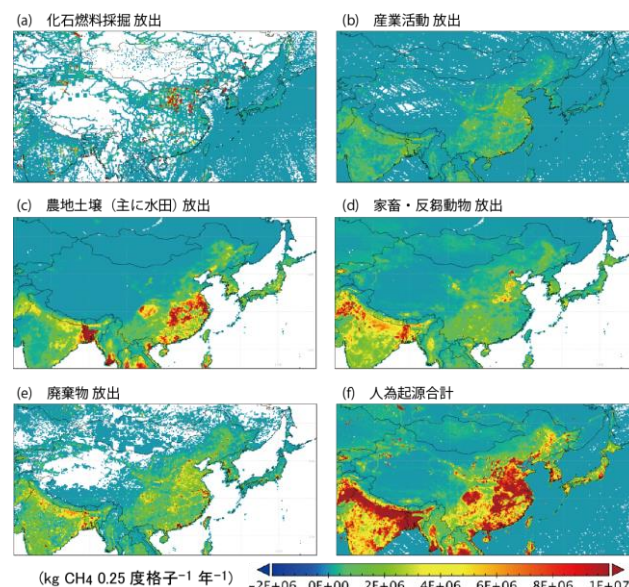
表2 東アジア地域の起源別メタン収支評価

人為/自然	排出セクター	CH ₄ 放出/吸収量 (Tg CH ₄ yr ⁻¹)							合計
		日本	中国	韓国	北朝鮮	台湾	モンゴル	香港	
人為	化石燃料採掘	0.06	16.10	0.08	0.41	0.01	0.14	0.00	16.80
	工業・交通	0.08	4.80	0.09	0.06	0.03	0.01	0.00	5.08
	廃棄物/埋立地	0.40	9.68	0.48	0.19	0.24	0.02	0.12	11.13
	水田	0.83	14.49	0.36	0.14	0.09	0.02	0.00	15.93
	家畜	0.62	7.92	0.27	0.05	0.02	0.34	0.00	9.21
	合計	1.98	52.99	1.28	0.86	0.38	0.53	0.13	58.16
自然	湿原	0.194	7.818	0.084	0.047	0.003	0.149	0.000	8.295
	シロアリ	0.017	0.415	0.006	0.005	0.006	0.003	0.000	0.452
	火災	0.003	0.093	0.001	0.003	0.000	0.025	0.000	0.124
	乾燥土壌	-0.183	-2.138	-0.048	-0.045	-0.016	-0.112	0.000	-2.542
	地質	0.649	1.186	0.000	0.013	0.094	0.061	0.000	2.003
	合計	0.679	7.372	0.042	0.024	0.087	0.126	0.000	8.331
人為+自然合計		2.7	60.4	1.3	0.9	0.5	0.7	0.1	66.5
人為起源寄与率(%)		74.5	87.8	96.8	97.3	81.5	80.9	100.0	87.5

自然
起源



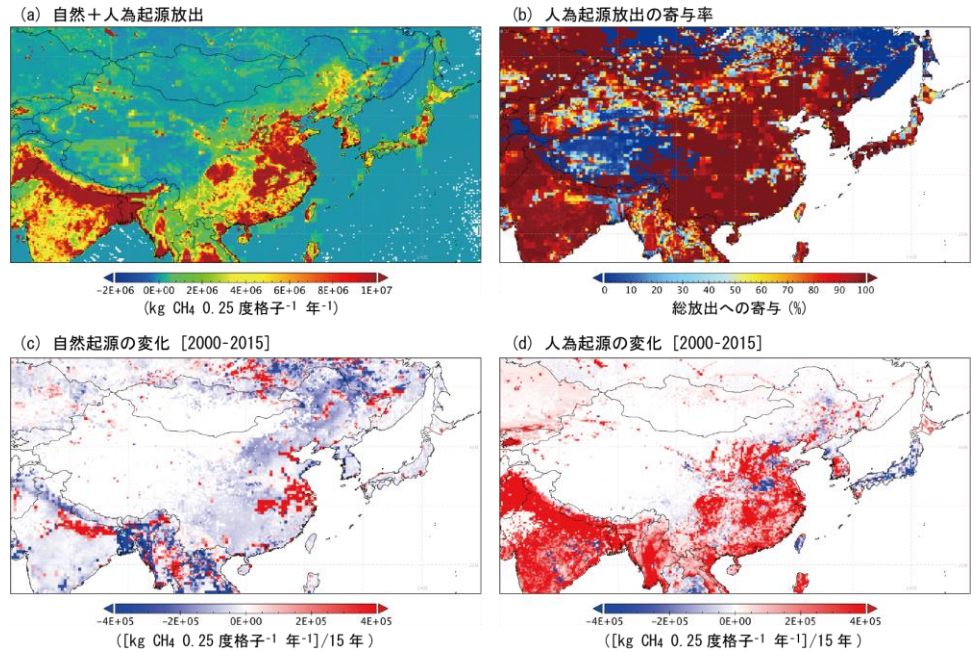
人為
起源



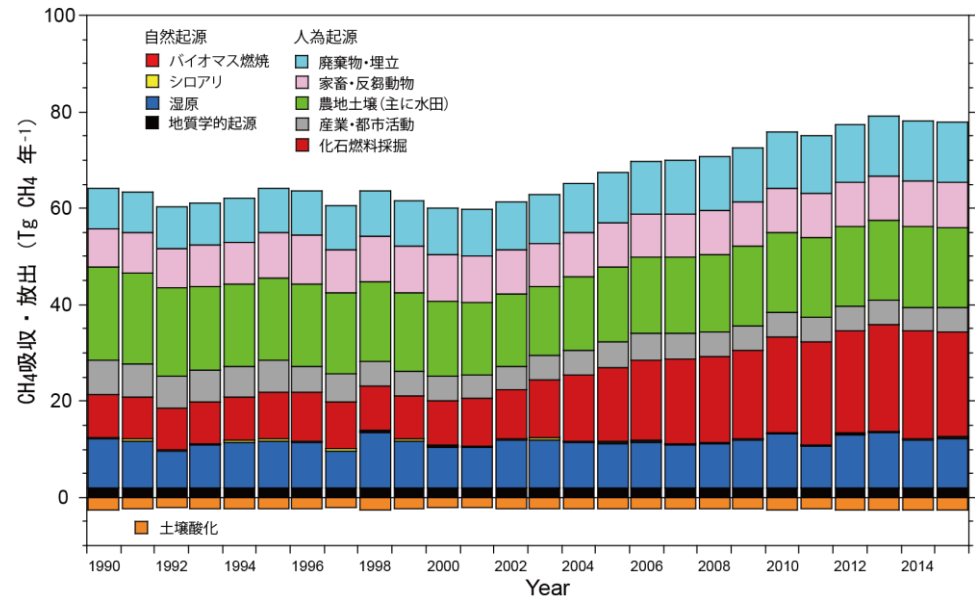
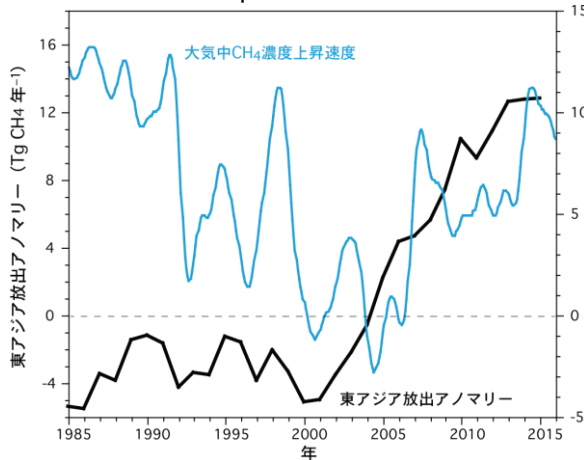
(2000-2015)

サブテーマ1：東アジアのCH₄収支

- 大都市、農地、炭鉱、湿原のホットスポット分布
- 人為起源寄与率が高い領域を特定
- 時間変化が大きい領域：湿原放出、炭鉱、都市・廃棄物の放出（日本では減少）
- 2002年までは自然・人為ともほぼ一定水準、2003年以降に化石燃料採掘や廃棄物起源の放出量が増加



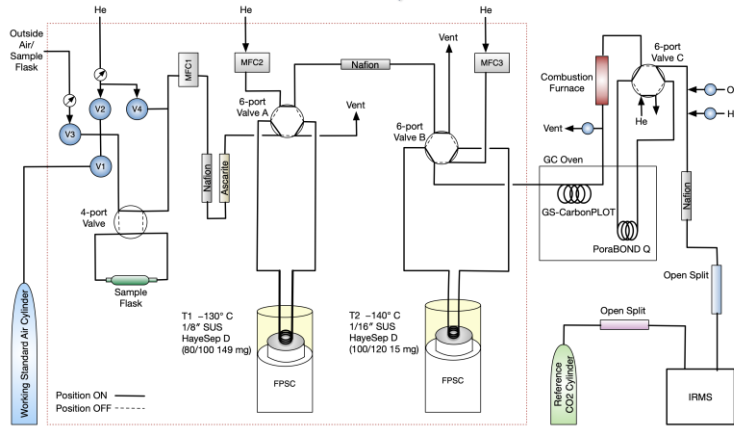
大気CH₄濃度変動との対応



サブ2 安定同位体比の観測に基づく放出源別の寄与の評価

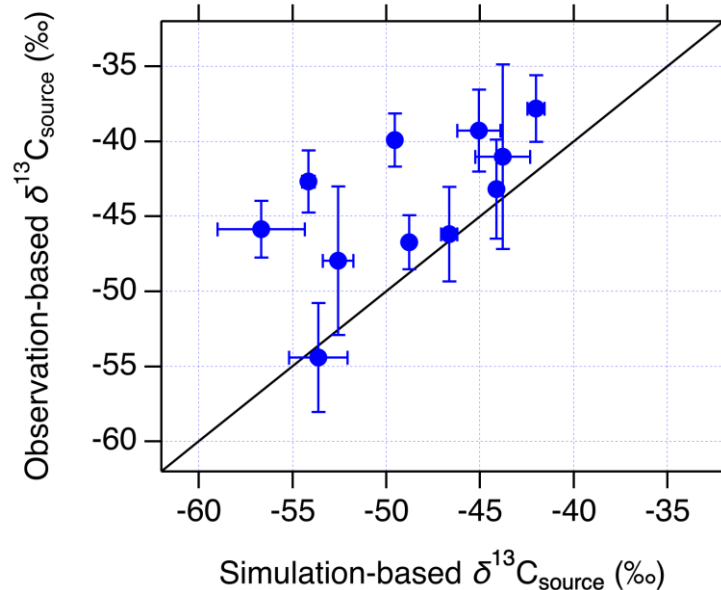
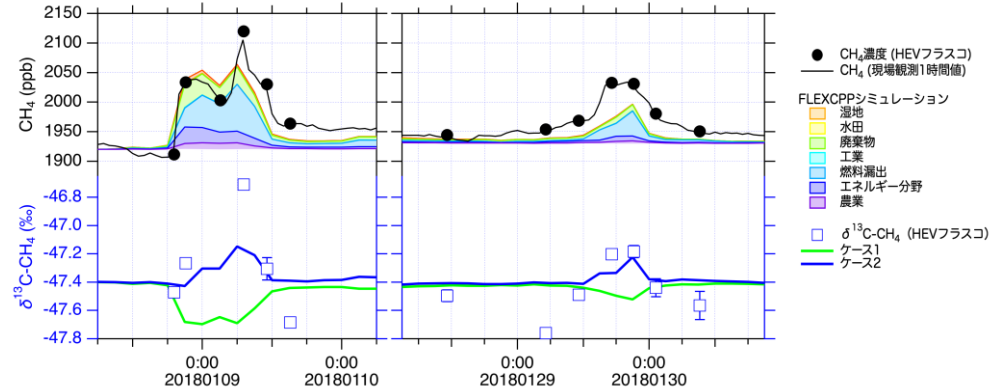
① 安定同位体比の測定システムの構築

(Umezawa et al. 2020)



② 波照間ステーションの汚染イベントの観測

& 放出源別のモデル計算との比較

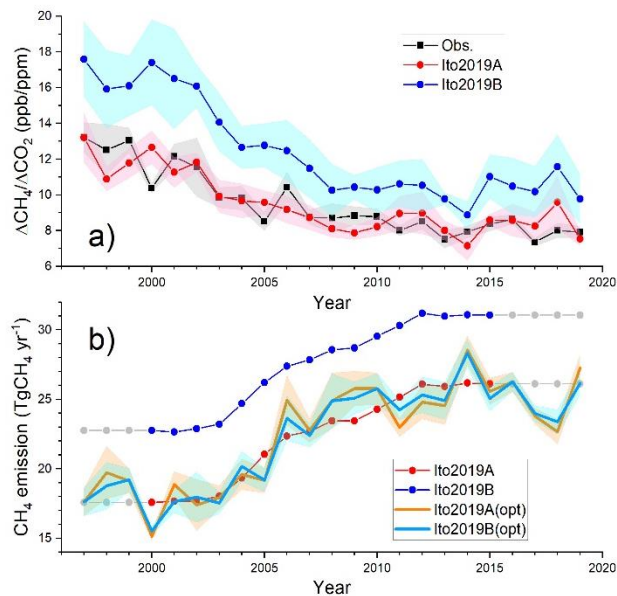
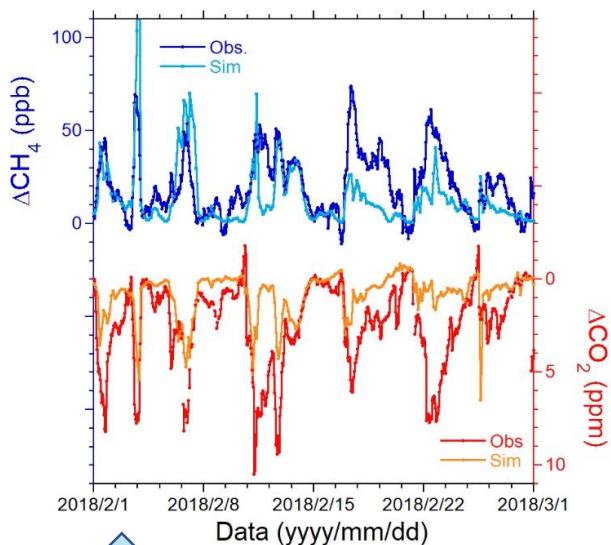


③ CH₄フラックスの放出源別の寄与の評価

化石燃料関連メタンの寄与率が過小評価、あるいは、農業や廃棄物関連の寄与率が過大評価されている可能性を示唆

サブ2 観測に基づくCH₄フラックス (Ito et al., 2019)の評価

波照間での観測 & 計算結果

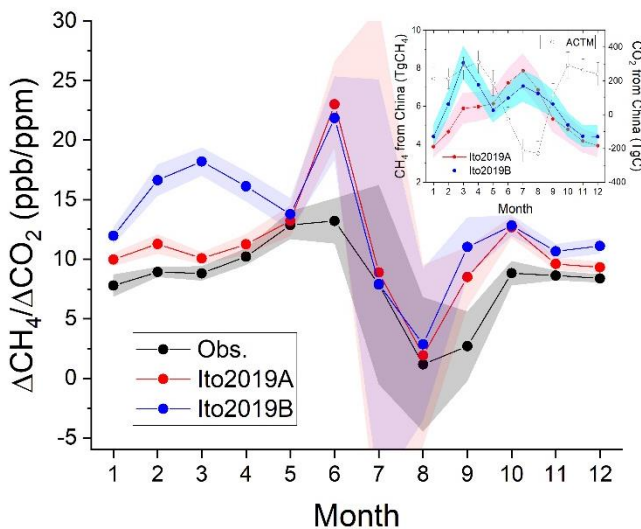


長期トレンドの評価

CH₄フラックスとLPDMに基づく計算結果は波照間の $\Delta CH_4 / \Delta CO_2$ 比の長期変化を再現



中国起源放出量の経年変化の妥当性を示唆



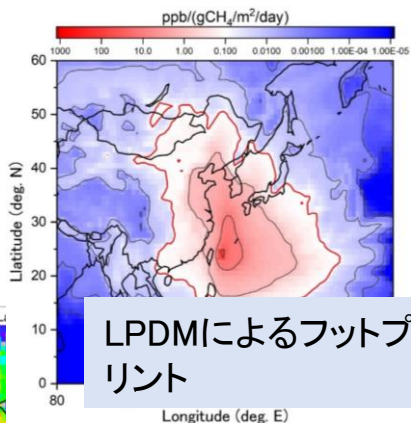
季節変動の評価

EDGARv4.3.2の水田CH₄フラックスは春期の放出を過大評価



VISITによる水田起源フラックスの妥当性を示唆

CH₄変動の計算



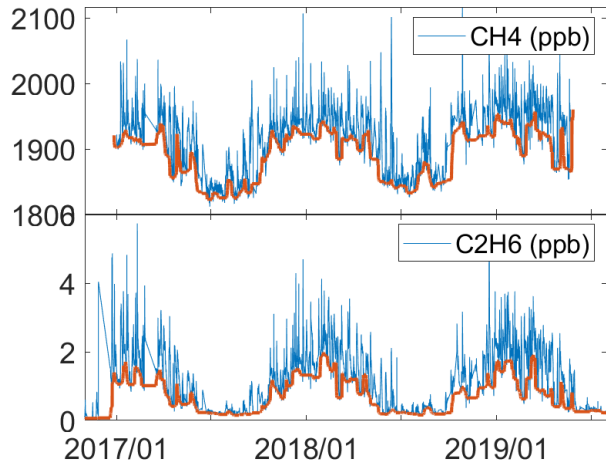
LPDMによるフットプリント

CH₄フラックスマップ
Ito et al. (2019)

サブ2 炭化水素の大気観測に基づく化石燃料起源メタンの寄与率評価

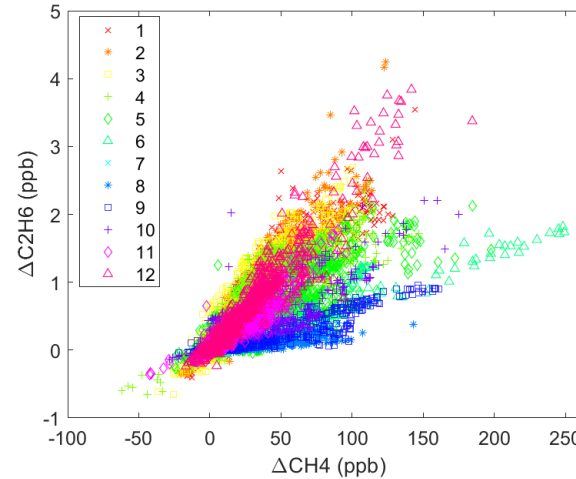
①波照間におけるメタンとエタンの観測

炭化水素測定システムの確立と波照間ステーションにおける準連続観測の実施



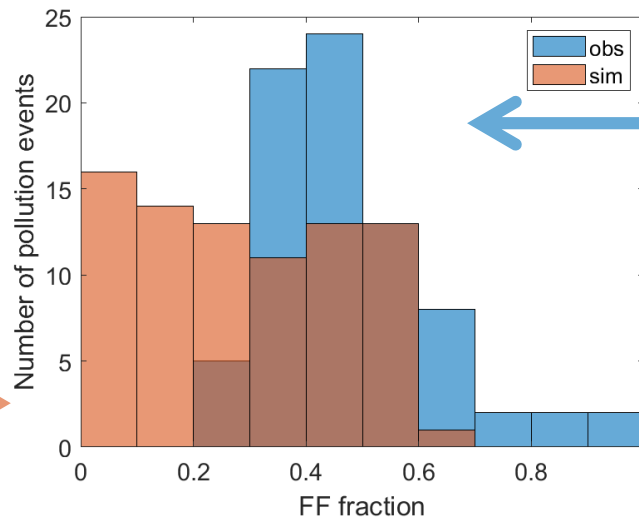
②エタン/メタン比の季節性

冬期に高く、化石燃料起源メタンの影響の季節性と整合的



高濃度イベントの
 $\Delta C_2H_6 / \Delta CH_4$
+ 発生源情報
(文献値)

放出インベントリとLPDM
によるモデル計算



③化石燃料起源メタンの寄与率 (観測とモデルの比較)

モデルが化石燃料起源メタンの寄与率を過小評価している可能性を示唆

サブ3 シナリオに基づくフィードバック評価:メタン濃度緩和と炭素シンク強化

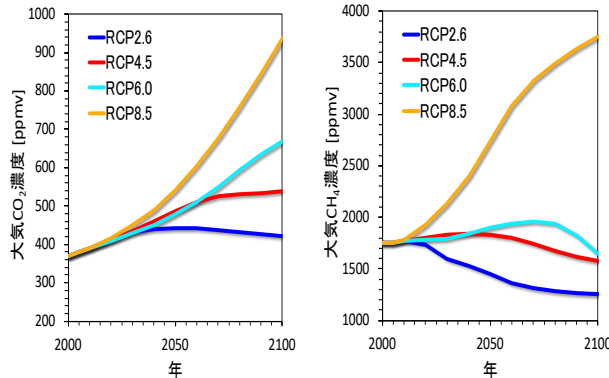
[目的]

メタン濃度緩和が温暖化進行に及ぼす影響評価

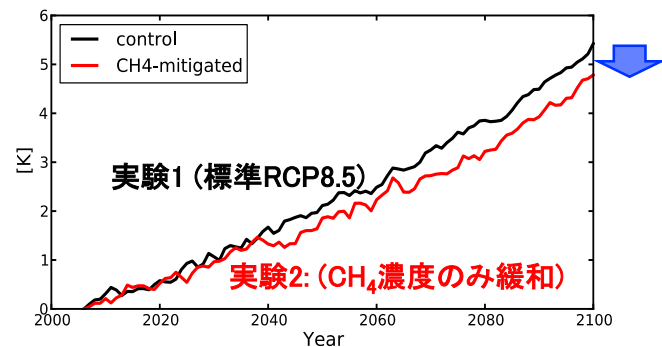
[モデル]

IPCC-AR5世代
地球システムモデル
(MIROC-ESM)

CO₂ & CH₄ 濃度



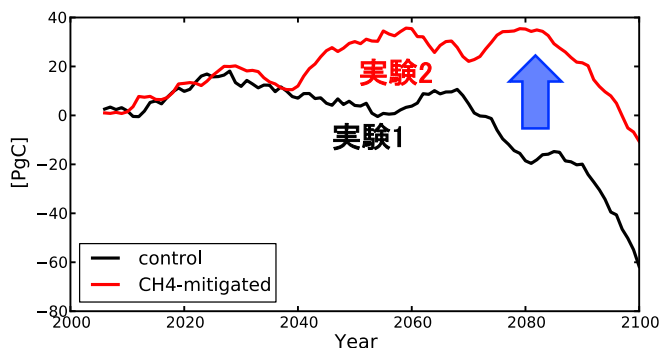
全球平均2m気温



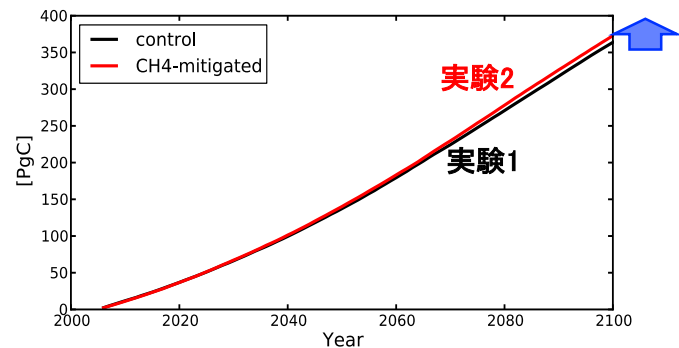
[実験]

・RCP8.5シナリオ実験で
メタン濃度のみRCP2.6に

陸域炭素貯留量変化 [Pg C]



海洋炭素貯留量変化 [Pg C]

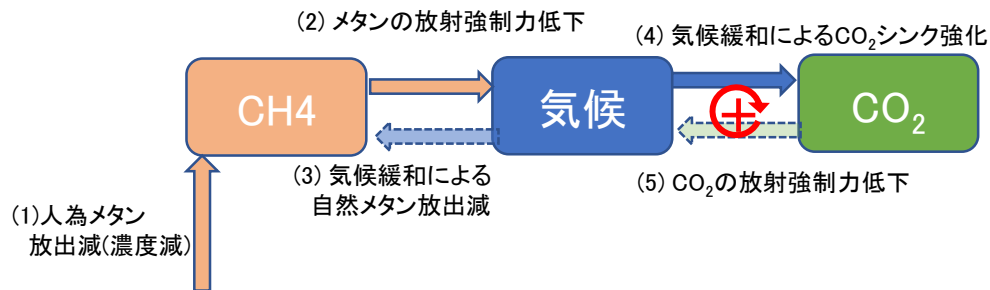


・メタン濃度低下は単に**全球気温を低下させるだけでなく**

海陸によるCO₂吸収を促進

- ・2m気温: -0.63 [°C] ($+5.42 \rightarrow +4.79$)
- ・陸炭素: $+51$ [PgC] ($-61.8 \rightarrow -10.6$)
- ・海炭素: $+9$ [PgC] ($+363.7 \rightarrow +372.9$)

・人為メタン排出削減は、**全球平均気温の低下→海陸CO₂吸収の強化(→さらなる気温低下)という間接的効果も見逃せない(簡易推定だと -0.24 °Cに相当)**



サブ3 シナリオに基づくフィードバック評価：温暖化と湿地メタン放出

[目的]

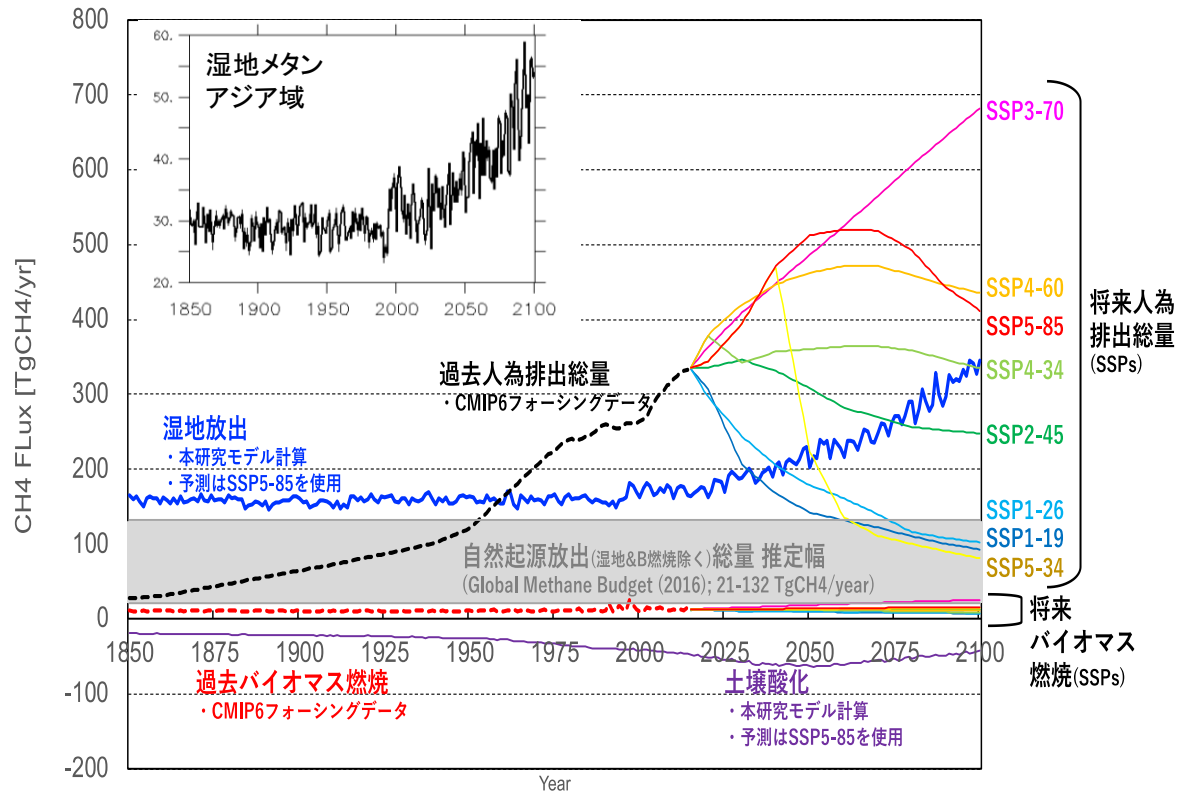
自然起源最大の湿地メタン放出の将来変化を調べる

[開発]

- ・IPCC-AR6世代最新地球システムモデル (MIROC-ES2L)
- ・+ **湿地メタン放出スキームを導入**

[実験]

- ・1850-2014: 過去再現実験
- ・2015-2100: SSP5-8.5シナリオ実験



・湿地メタン放出の増加:

全球で+140 Tg CH₄ yr⁻¹、東アで +17 Tg CH₄ yr⁻¹

・湿地メタン感度:

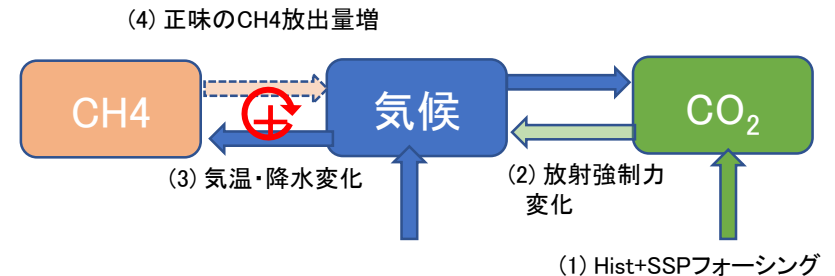
全球で37 Tg CH₄ yr⁻¹ °C⁻¹、東アで 3.6 Tg CH₄ yr⁻¹ °C⁻¹

・全球での湿地メタン放出の増幅は

現在のメタン排出総量(約560 Tg CH₄ yr⁻¹)の25%に相当、無視し得ない

・東アの寄与は現在/将来ともに相対的に大きくなさそう

(注) 東アジアと表記しているが、ここでは Lon=85-150° E, Lat=15-55° Nの積算値として計算



サブ3 大規模放出イベント評価: 温暖化とメタン循環

[目的]

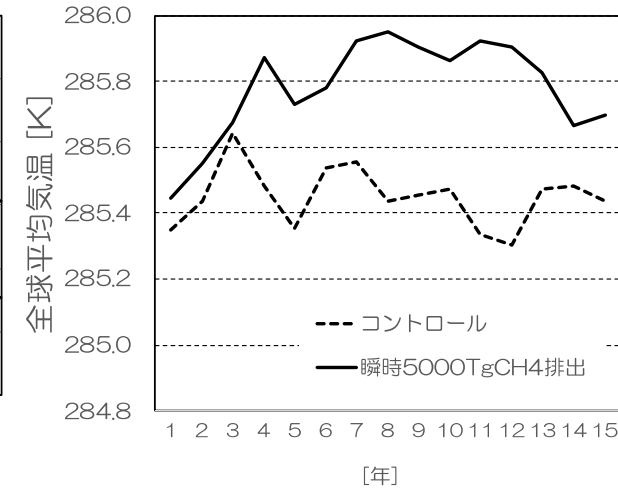
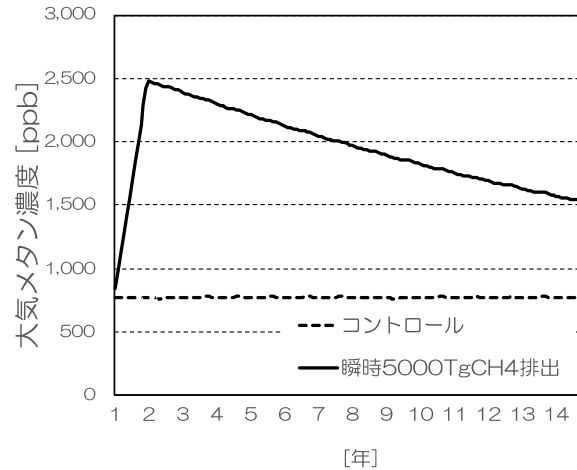
大規模メタン放出イベントと温暖化進行の調査

[開発]

- IPCC-AR6世代最新地球システムモデル (MIROC-ES2L)
- + 湿地メタン放出スキーム
- + 大気化学・輸送過程

[実験]

- 産業革命以前の状態から、1年目に 5000 Tg CH₄を強制的に与える (推進費2-1605によるエドマ融解メタン放出量推定値を参考)
- 基本応答・基礎知見を得るため単純化させた実験



	人為起源 (強制放出) [TgCH ₄ yr ⁻¹]	湿地メタン 放出 [TgCH ₄ yr ⁻¹]	バ燃烧+ その他自然 (固定値) [TgCH ₄ yr ⁻¹]	大気シンク [TgCH ₄ yr ⁻¹]	土壌酸化 [TgCH ₄ yr ⁻¹]	大気CH ₄ 濃度 [ppb]	全球平均 気温 [K]
(1) コントロール実験	0	132.8	63.6	215	2.4	773	285.4
(2) 5000TgCH ₄ 排出 実験ピーク値	5000	146.4	63.6	479	7.8	2482	285.9
(2)-(1)	5000	13.6	0.0	264	5.3	1709	0.5

• 5000TgCH₄の強制放出

• 全球で最大 +1700 ppb、+0.5°C

• 温暖化進行とメタン濃度変化

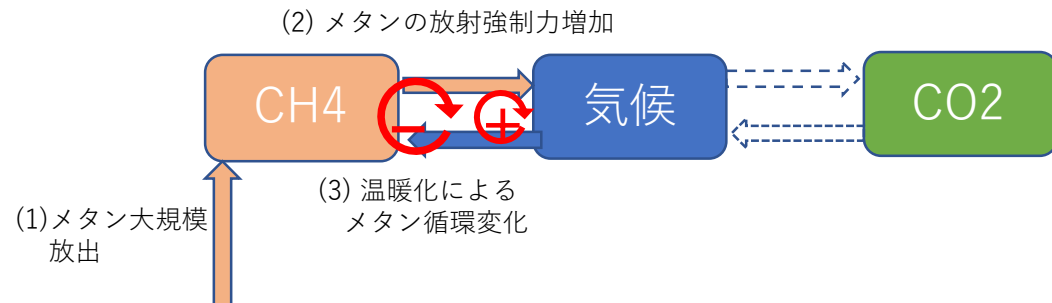
大気シンクは負フィードバック (大)

湿地メタンの正フィードバック (小)

• ただし、以下の効果によりさらなる昇温可能性

• 炭素循環フィードバック (温暖化→海陸CO₂放出)

• 湿地メタンは指数関数的な温度応答



サブテーマ1-3：合理的排出削減への道筋

- パリ協定における各国排出削減目標 (NDC: 日本は2013年比-12.3%)
- 国別/起源別に人口あたり/GDPあたり排出量
- 社会経済シナリオSSPにおける排出量

シナリオ1 (左図):

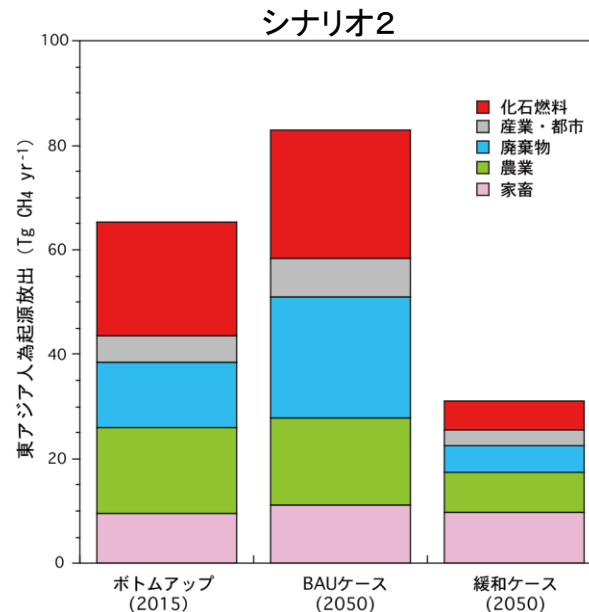
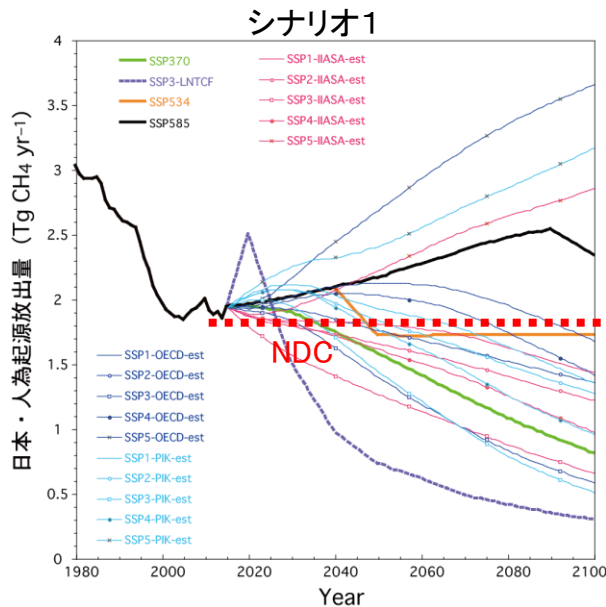
・SSP1-5におけるGDP x 起源別GDPあたり排出量(固定/変化)

- 例: 日本で毎年1%削減→減少に向かうが2030年にNDCを満たすのは2/15件のみ

シナリオ2 (中・右図):

- 起源別の排出削減ポテンシャル(Höglund-Isakksonら)を積み上げ

- 東アジアで2050年までに最大で53%減(31 Tg CH₄ yr⁻¹)が可能



排出源と想定される緩和技術	2050年までの削減ポテンシャル
家畜(牛)飼料の変更、品種改良、堆肥の管理など	-11%
農業(残渣燃焼)焼却処分の禁止	-100%
農業(水田)水管理、品種改良、土壌改良	-49%
化石燃料(石炭採掘)採掘前の脱ガス、酸化を促す換気装置	-58%
産業(バイオ燃料・化石燃料)該当技術なし	0%
廃棄物(家庭・固形)リサイクル、有機質廃棄物の埋立回避	-82%
廃棄物(産業・固形)再利用、有機質廃棄物の埋立回避	-74%

主な成果：科学的成果

- 東アジア地域のCH₄収支とその変動を、ボトムアップ的手法で詳細に評価およびマップ化した
 - 大気中のCH₄濃度・同位体比・炭化水素類を、波照間ステーションで測定し、起源別に放出寄与を推定した
 - 地球システムモデルを拡張し、CH₄の排出削減および大規模放出による気候フィードバックを分析した
- 国内CH₄研究情報の集約(2019年気象学会専門分科会を主催)
- Global Carbon Project統合解析/国際モデル比較に寄与

論文発表(査読付き)

- 1) T. UMEZAWA, et al.: Atmospheric Measurement Techniques, 11, 1207-1231, doi:10.5194/amt-11-1207-2018 (2018), Interlaboratory comparisons of $\delta^{13}\text{C}$ and δD measurements of atmospheric CH₄ for combined use of data sets from different laboratories
- 2) A. ITO, Y. TOHJIMA, T. SAITO, T. UMEZAWA, T. HAJIMA, R. HIRATA, M. SAITO, and Y. TERAQ: Science of the Total Environment, 676, 40-52 (2019), Methane budget of East Asia, 1990–2015: A bottom-up evaluation.
- 3) A. ITO: Polar Science, 21, 26–36 (2019), Methane emission from pan-Arctic natural wetlands estimated using a process-based model, 1901–2016
- 4) G. WONG, R. HIRATA, T. HIRANO, F. KIEW, E.B. AERIES, K.K. MUSIN, J.W. WAILI, K.S. LO, and L. MELLING: Agricultural and Forest Meteorology, 282/283, 107869 (2020) How do land use practices affect methane emissions from tropical peat ecosystems?
- 5) T. UMEZAWA, S. J. ANDREWS, and T. SAITO: Journal of the Meteorological Society of Japan, 98(1), 115–127, doi:10.2151/jmsj.2020-007 (2020), A cryogen-free automated measurement system of stable carbon isotope ratio of atmospheric methane.
- 6) S. INOUE, A. ITO, C. YONEZAWA: Remote Sensing, 12, 1622 (2020), Mapping paddy fields in Japan by using a Sentinel-1 SAR time series supplemented by Sentinel-2 images on Google Earth Engine

主な成果の活用：環境政策貢献

【重点課題⑧】地球温暖化現象の解明・予測・対策評価

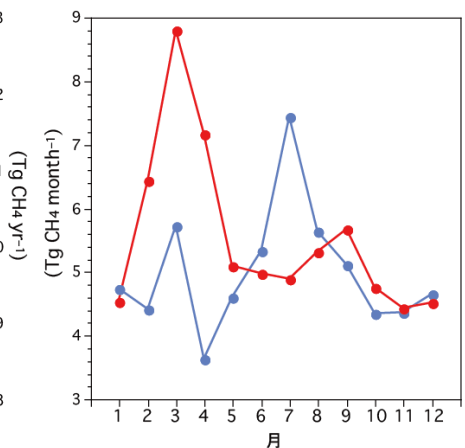
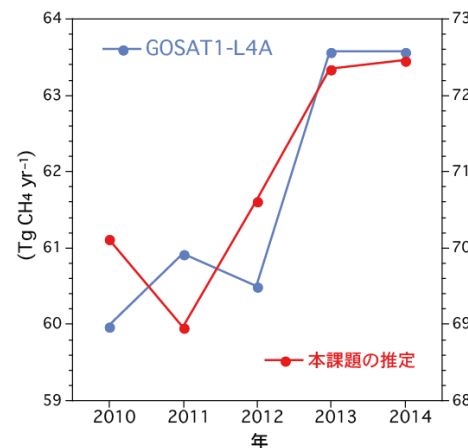
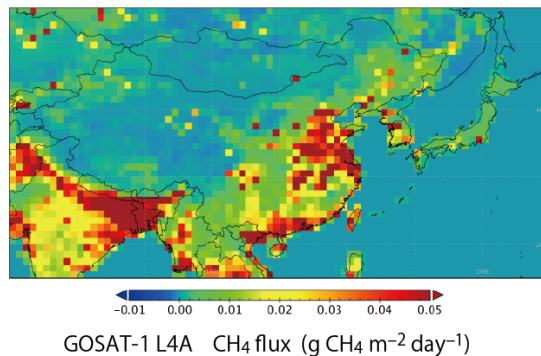
【重点課題⑥】気候変動の緩和策に係る研究・技術開発

(2-9) リモートセンシングデータを活用した温室効果ガス排出量監視システムの確立

- 緩和策立案の基礎となる科学的手法による国別・起源別データ
 - 人為起源CH₄を東アジアスケールで監視するシステムを構築
 - CH₄排出削減が温暖化を抑制する実効性を評価
- IPCC AR6(CH₄収支)、IPCC AR7(温暖化予測)に貢献

- 衛星観測(GOSATなど)によるトップダウン的監視を検証し、空間分解能や起源別推定において補完する情報を提供

GOSAT-L4A
との比較



国民との科学・技術対話



1. エコイノベーションとエコビジネスに関する研究会（SPEED研究会）夏季セミナー（2017年7月14日、参加者約50名）
2. 国立環境研究所一般公開（2018年4月21日、参加者約150名）
「メタンを知ろう、測ろう」
3. 国立環境研究所公開シンポジウム（神戸：2018年6月15日、参加者約450名；東京：2018年6月22日、参加者約800名）
4. 市民公開講座「ともに考えよう地球温暖化と私たちの暮らし」（主催：アースドクターふなばし、2018年6月16日）
5. 国立環境研究所公開シンポジウム（北九州：2019年6月14日、参加者約210名；東京：2018年6月21日、参加者約640名）
6. 国立環境研究所夏の大公開（2019年7月20日、参加者6165名）
「メタンを知ろう、測ろう(2)」
7. 報道発表（2019年6月17日）

メタンを測ろう！

呼吸の中のメタンを測ってみよう

メタン濃度の測定方法

GC-FID
メタンをガスクロマトグラフで検出する装置が普及し、水素炎中でメタンを燃焼させて検出します。装置調子が安定している状態で測定することで、この方法で大気中のメタン濃度を測定しています。

CRDS
空気を試料中にレーザーを照射し、メタンによる吸収を測定します。比較的新しい測定方法で、国立環境研究所でも各施設の環境モニタリングに取り入れています。

GC-IRMS
空気を試料中にメタンを濃縮し、メタンの同位体比を測定します。メタンの同位体比は、その源（気体源）に関するヒントを与えてくれます。国立環境研究所では、このような環境研究所では、このような環境研究所でも取り入れています。

人が吐き出すメタン

人間の呼吸の中にもメタンが含まれます。これは、腸内にメタンを生成する菌が産生しているからです。人の呼吸に含まれるメタンの量は個人差があります。

全人類が吐き出すメタンの量はどのくらい？

もっとメタンを吐き出す動物は？

$Q = C \times B \times D \times P \times d = 0.3 \text{ Tg CH}_4/\text{yr}$

Q: 全人類が吐き出すメタン量
C: 呼吸中の呼吸量 (L/day) → 10 ppm
B: 1日平均呼吸率 (ml/day) → 19 ml/day
D: 1呼吸の日数 → 365 day
P: 世界人口 → 70億人
d: CH_4 1 mlあたりのメタン量 → 0.05 kg/m³

牛や羊などの反芻動物は大量のメタンを吐き出しています。畜産の増加がもとで、大気中に放出されるメタン量も増えてきました。畜産に伴う世界のメタン放出は、約100 Tg CH_4/yr にもなり、これは世界の全メタン放出の10%程度に相当します。

2019年6月17日

国立環境研究所
National Institute for Environmental Studies

JAMSTEC
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

国立研究開発法人 海洋研究開発機構

東アジアのメタン放出分布をボトムアップ手法で詳細にマップ化（お知らせ）

（筑波科学学園都市記者会、環境省記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会同時配信）

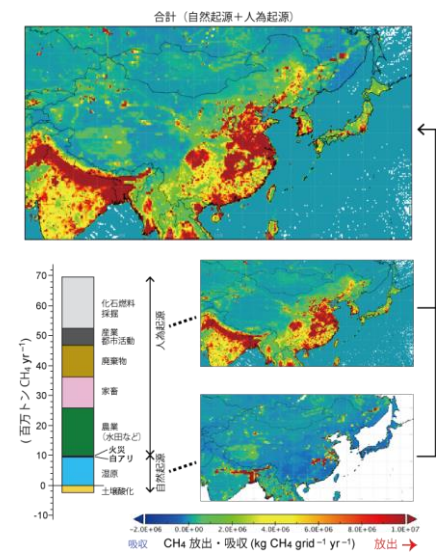
A. ITO, Y. TOHJIMA, T. SAITO, T. UMEZAWA, T. HAJIMA, R. HIRATA, M. SAITO, and Y. TERAO: Science of the Total Environment, 676, 40-52 (2019), Methane budget of East Asia, 1990–2015: A bottom-up evaluation.

令和元年6月17日（月）
国立研究開発法人 国立環境研究所
地球環境研究センター

室長 伊藤 昭彦
主任研究員 平田 竜一
主任研究員 齋藤 誠
主任研究員 寺尾 有希夫

環境計測研究センター
室長 逸嶋 康徳
主任研究員 斉藤 拓也
研究員 梅澤 拓

国立研究開発法人 海洋研究開発機構
グループリーダー代理 羽島 知洋



研究計画の達成状況

- 達成
- 一部達成
- ・ 未実施

	H29	H30	H31/R1
サブ1	<ul style="list-style-type: none"> ○ 排出インベントリと放出モデルの現状分析 ○ 推定精度の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 放出の広域シミュレーション ○ 排出寄与率推定と整合性 ○ 湿原スキームの改良 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 放出変化の数値実験 ○ 地域収支の統合評価 ○ シナリオ開発と対策評価
サブ2	<ul style="list-style-type: none"> ○ CH₄同位体と炭化水素類の測定システム構築 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 波照間ステーションでの大気成分観測 ○ 炭化水素類の準連続観測 ○ 同位体観測開始 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 観測の継続 ○ 各種観測に基づく総合的解析
サブ3	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地球システムモデルにおけるCH₄の扱い精査 ○ データの利用方針検討 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 予測計算のセットアップ ○ 湿原スキームの改良 	<ul style="list-style-type: none"> ○ オンライン実験の実施 ○ シナリオに基づくフィードバック効果の評価

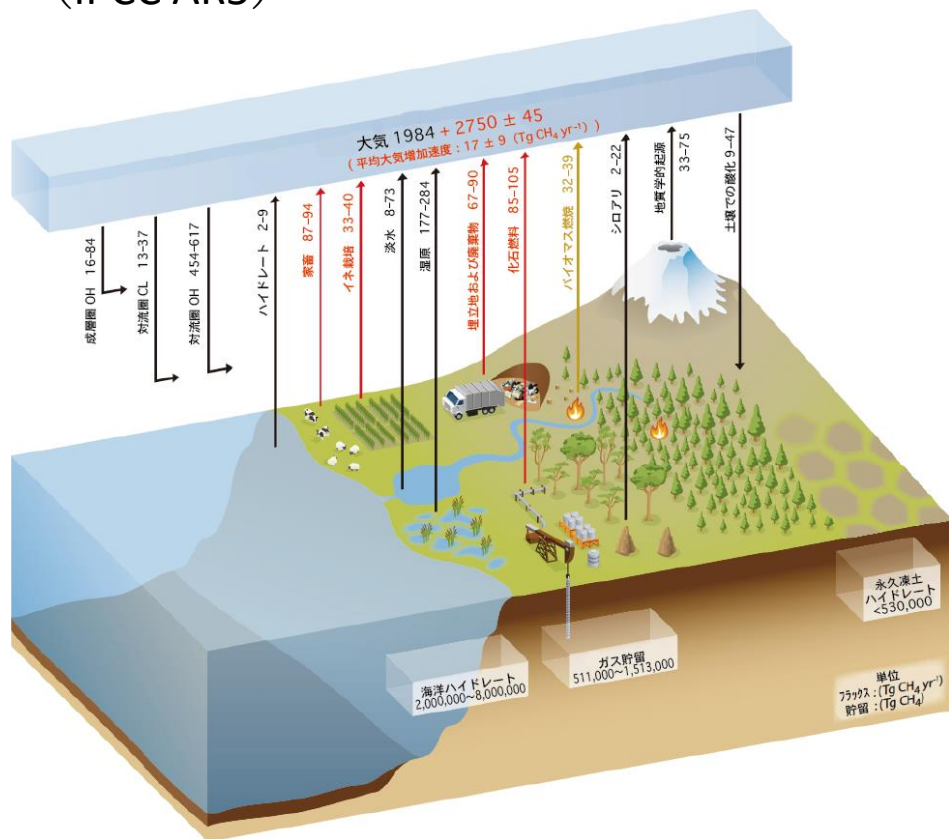
サブテーマ間連携
課題間連携

波照間視察、データ共有、緩和シナリオ検討 など
2-1605、2-1701、2-1802、2-1803、文科省統合プロ など

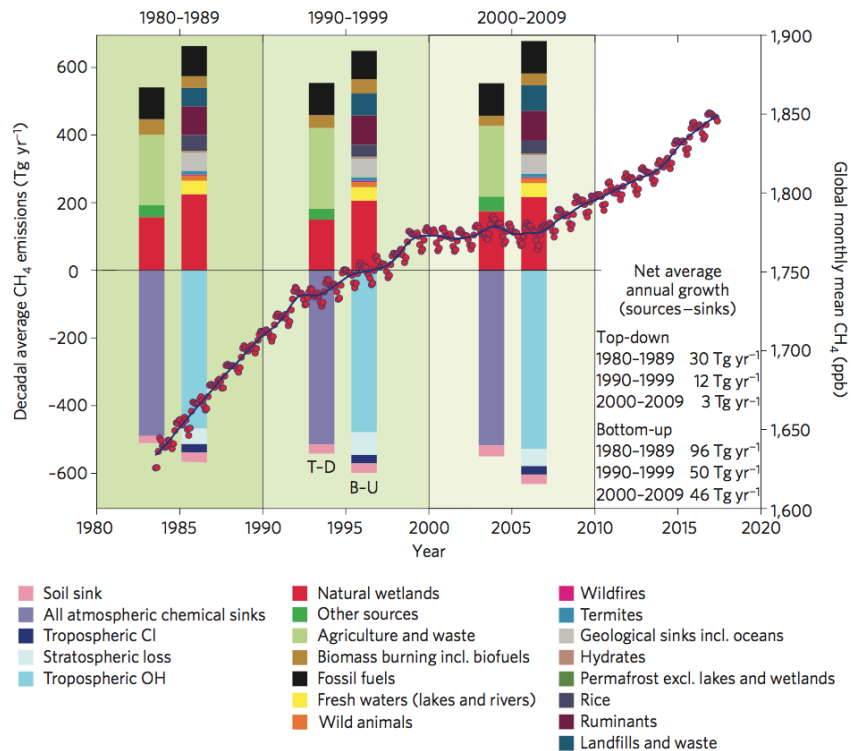
その他資料

グローバルなメタン動態の概要

(IPCC AR5)



(Crill et al. 2017)



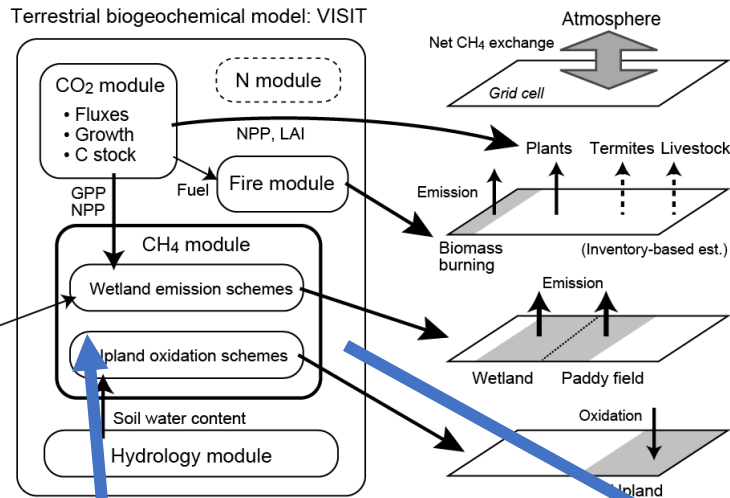
グローバルなメタン動態の概要

陸域生態系モデルVISITの構造

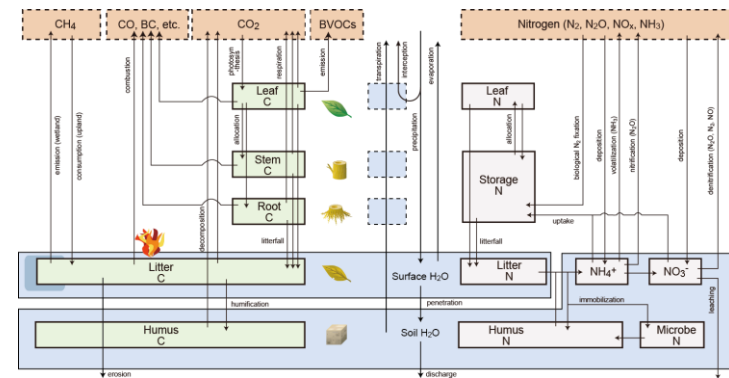
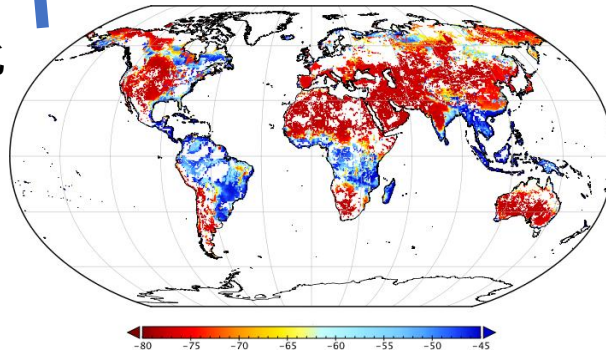
グリッド毎のCH₄収支推定スキーム

Input (each grid cell)

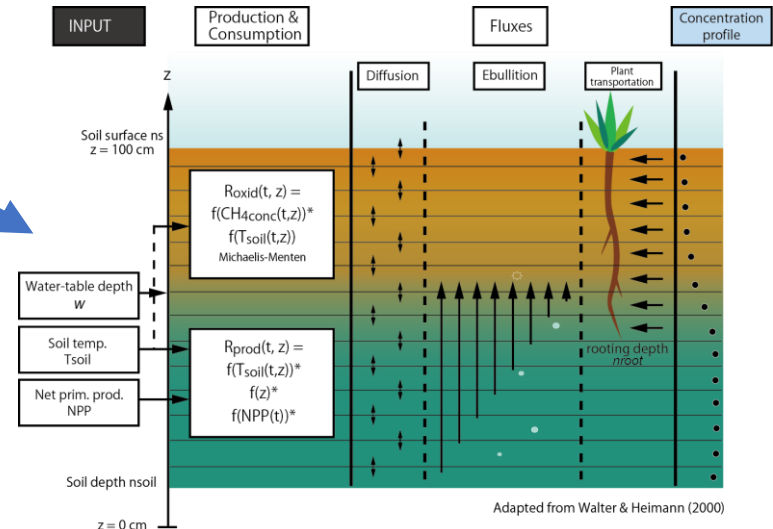
- Lat., Lon., Alt.
- Climate
 - Temperature
 - Precipitation
 - Radiation
 - Wind
 - Humidity
- Land cover
 - natural vegetation
 - wetland fraction
 - paddy field fraction
 - cropland fraction
- Inundation fraction
- Soil type & properties



同位体比の予測



湿原メタン放出スキーム (Walter-Heimann)



Adapted from Walter & Heimann (2000)

サブ2:

地域スケールのメタン放出量推定精度向上のための観測研究

- 波照間ステーションにおいてメタンを含む温室効果ガス濃度の現場観測、メタンの安定同位体比のフラスコ観測、炭化水素類の現場観測を実施し、大気輸送モデルを利用してサブ1で開発した東アジアのメタンフラックスの評価を行った。
- メタン濃度の冬期の短期変動成分を解析し、大気輸送モデルによる計算結果と比較したところ、サブ1のメタンフラックスの長期増加傾向や季節変動は観測とよく一致することがわかった。
- 安定同位体比の測定システムを構築し、汚染イベント時のメタンの安定同位体比の観測を実施した。モデル計算の結果と比較したところ、サブ1のメタンフラックスでは化石燃料放出の寄与率が過小評価あるいは農業や廃棄物放出の寄与率が過大評価である可能性があること示唆された。
- 炭化水素類の測定システムを構築し、観測されたメタンとエタンの短期変動成分を解析した。各汚染イベントの化石燃料放出の寄与率を推定してモデル計算の結果と比較したところ、サブ1のメタンフラックスでは化石燃料起源の寄与が過小評価あるいは化石燃料以外の放出源の関与がある可能性が示唆された。

モデル開発 陸域メタン過程導入 (H30-R01)

[目的]

自然起源最大の湿地メタン放出の将来変化

[開発]

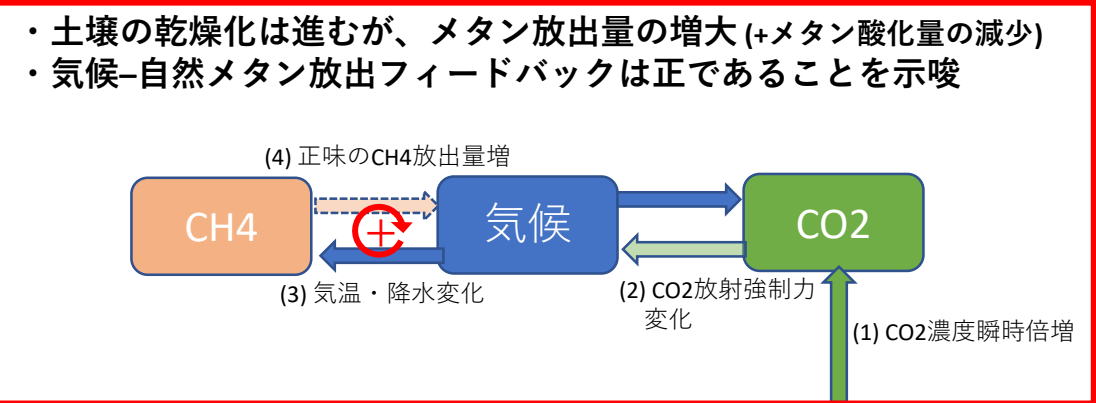
- 最新地球システムモデル MIROC-ES2L (大気化学無し)
- サブ1で開発・導入しているメタン関連スキーム導入
 - メタン放出スキーム (Walter & Heimann)
 - メタン参加スキーム (Curry et al.,)



- メタン放出のホットスポットにおける土壤に乾燥バイアスがあるため、土壤パラメータを変更
→ 土壤水分とメタン放出の地理的コントラストが良好に
- 湿地診断に用いる閾値を、全球のメタン放出量の調整パラメータとして使用
→ 産業革命以前で全球約 160 [TgCH₄ yr⁻¹]

[実験]

- 産革前コントロール実験
- 感度実験：産業革命以前から瞬時にCO₂放射強制力倍増理想化実験を実施



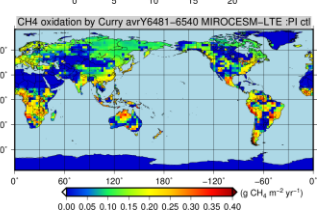
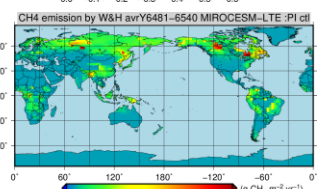
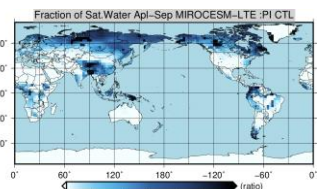
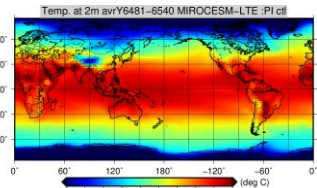
気温 [°C]

土壤水分 [-]

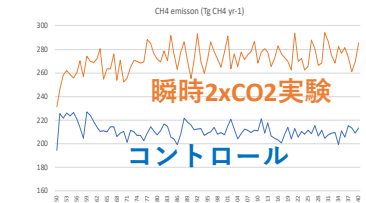
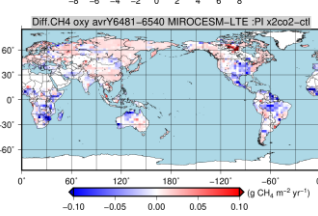
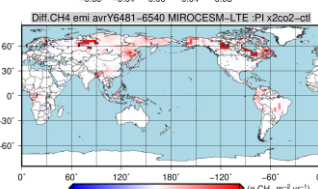
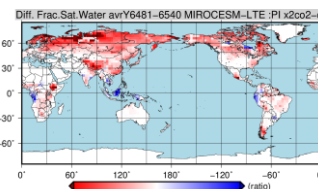
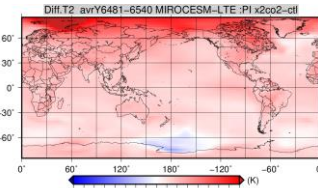
湿地CH₄放出 [gCH₄ m⁻² yr⁻¹]

土壤CH₄酸化 [gCH₄ m⁻² yr⁻¹]

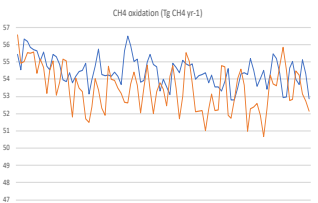
1. PIコントロール



2. 瞬時2xCO2 実験



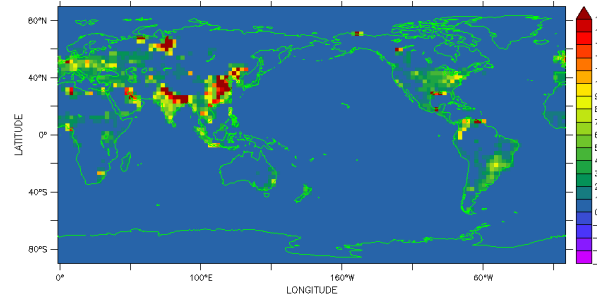
全球湿地CH₄放出 [TgCH₄ yr⁻¹]



全球土壤CH₄酸化 [TgCH₄ yr⁻¹]

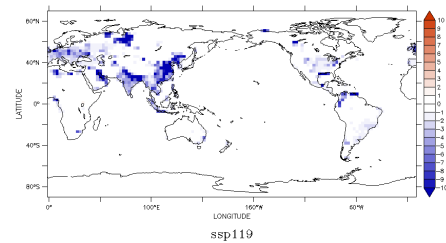
SSPシナリオにおける 人為メタン放出取り扱い： 全球

CMIP6, 2000-2012: 298 TgCH₄ yr⁻¹



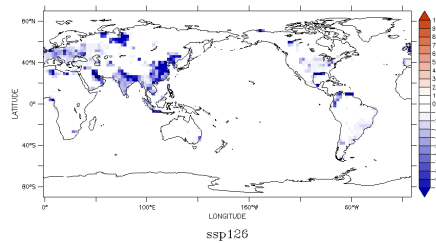
2000-2012, Anthropogenic [gCH₄ m⁻² yr⁻¹]

SSP1-19: -205 TgCH₄ yr⁻¹



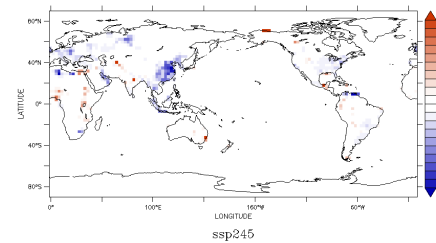
ssp119

SSP1-26: -196 TgCH₄ yr⁻¹



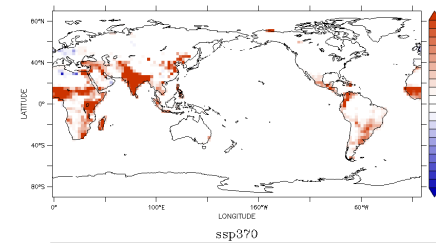
ssp126

SSP2-45: -50 TgCH₄ yr⁻¹



ssp245

SSP3-70: +384 TgCH₄ yr⁻¹



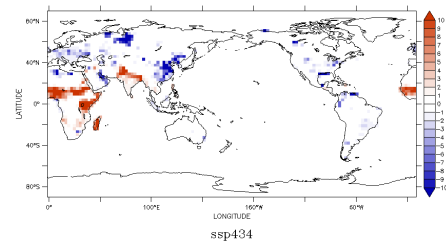
ssp370

- 急激なエネルギーセクターからの排出減(再エネへのシフト)
- 緩やかな農業/汚泥からの排出減(人口に依存)

- 2030-40年頃にピーク
(再エネへ次第にシフト)

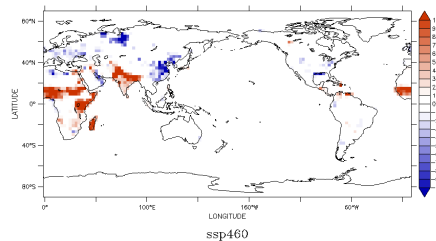
- ベースライン(緩和策等弱い)シナリオ
につき **単調増加**

SSP4-34: +37 TgCH₄ yr⁻¹



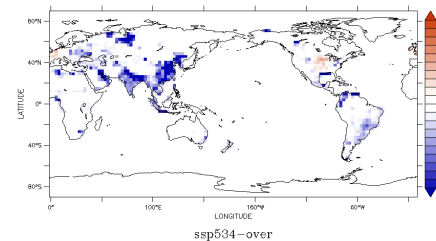
ssp434

SSP4-60: +138 TgCH₄ yr⁻¹



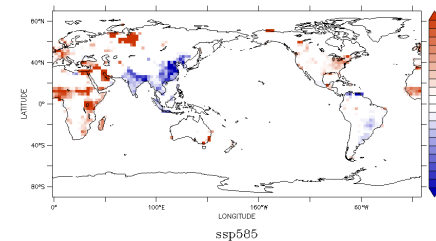
ssp460

SSP5-34: -216 TgCH₄ yr⁻¹



ssp534-over

SSP5-85: +113 TgCH₄ yr⁻¹



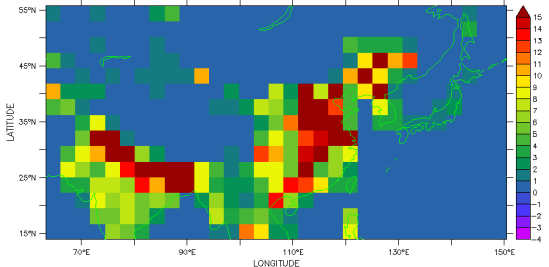
ssp585

- エネルギーセクター排出の増加と
農業排出(人口)減少の複合

SSPシナリオにおける人為メタン放出取り扱い：東アジア

注) 東アジアと表記しているが、ここでは Lon=65-150° E, Lat=15-55° Nの積算値としてモデルからは計算している

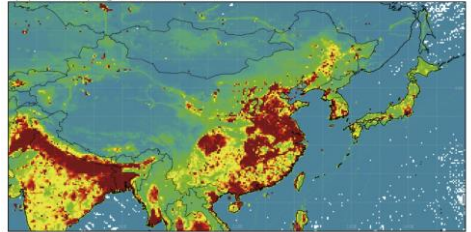
CMIP6, 2000-2012: 106 TgCH₄ yr⁻¹



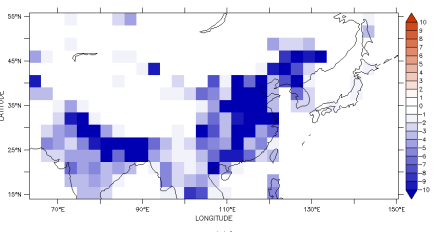
2000-2012, Anthropogenic [gCH₄ m⁻² yr⁻¹]

Ito 2019: 59.78 TgCH₄ yr⁻¹

(b) Anthropogenic emissions

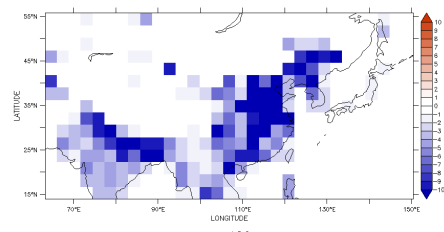


SSP1-19: -80.4 TgCH₄ yr⁻¹



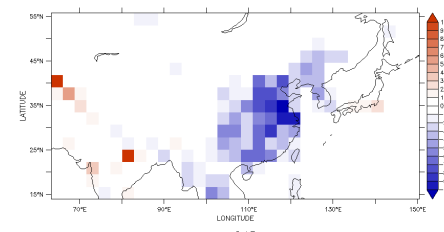
ssp119

SSP1-26: -76.7 TgCH₄ yr⁻¹



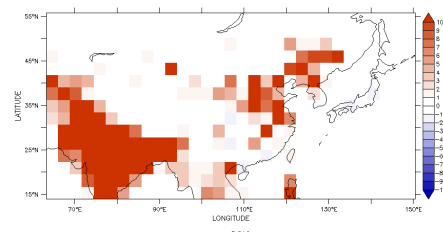
ssp126

SSP2-45: -22.3 TgCH₄ yr⁻¹



ssp245

SSP3-70: +119.6 TgCH₄ yr⁻¹



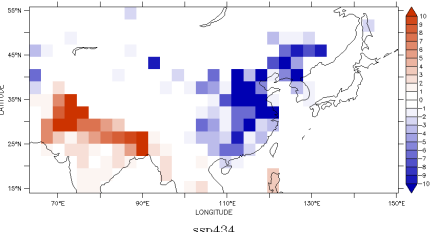
ssp370

- ・ 急激なエネルギーセクターからの排出減(再エネへのシフト)
- ・ 緩やかな農業/汚泥からの排出減(人口に依存)

- ・ 2030-40年頃にピーク(再エネへ次第にシフト)

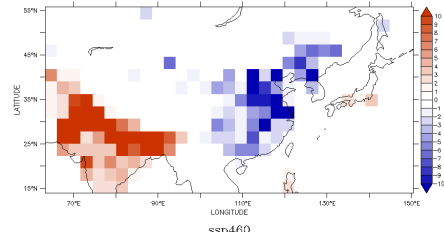
- ・ ベースライン(緩和策等弱い)シナリオにつき **単調増加**

SSP4-34: -12.0 TgCH₄ yr⁻¹



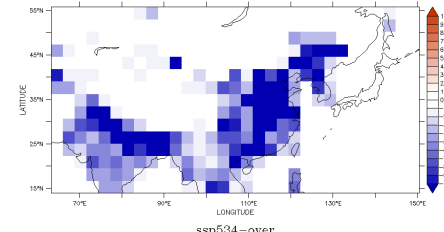
ssp434

SSP4-60: +15.87 TgCH₄ yr⁻¹



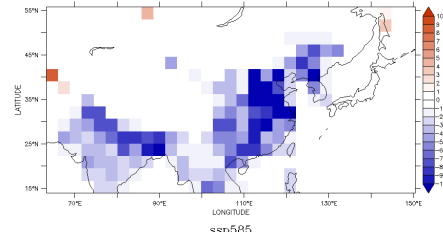
ssp460

SSP5-34: -93.5 TgCH₄ yr⁻¹



ssp534-over

SSP5-85: -53.1 TgCH₄ yr⁻¹

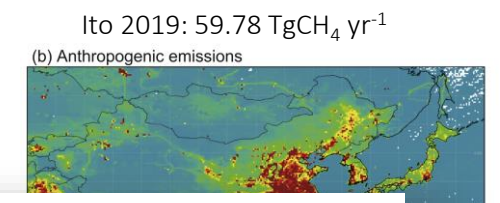
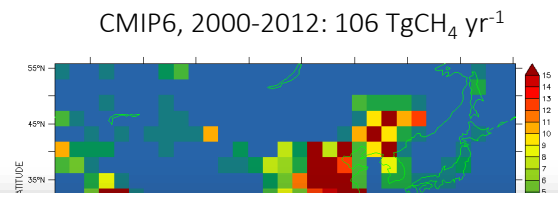


ssp585

- ・ エネルギーセクター排出の増加と農業排出の減少(人口)

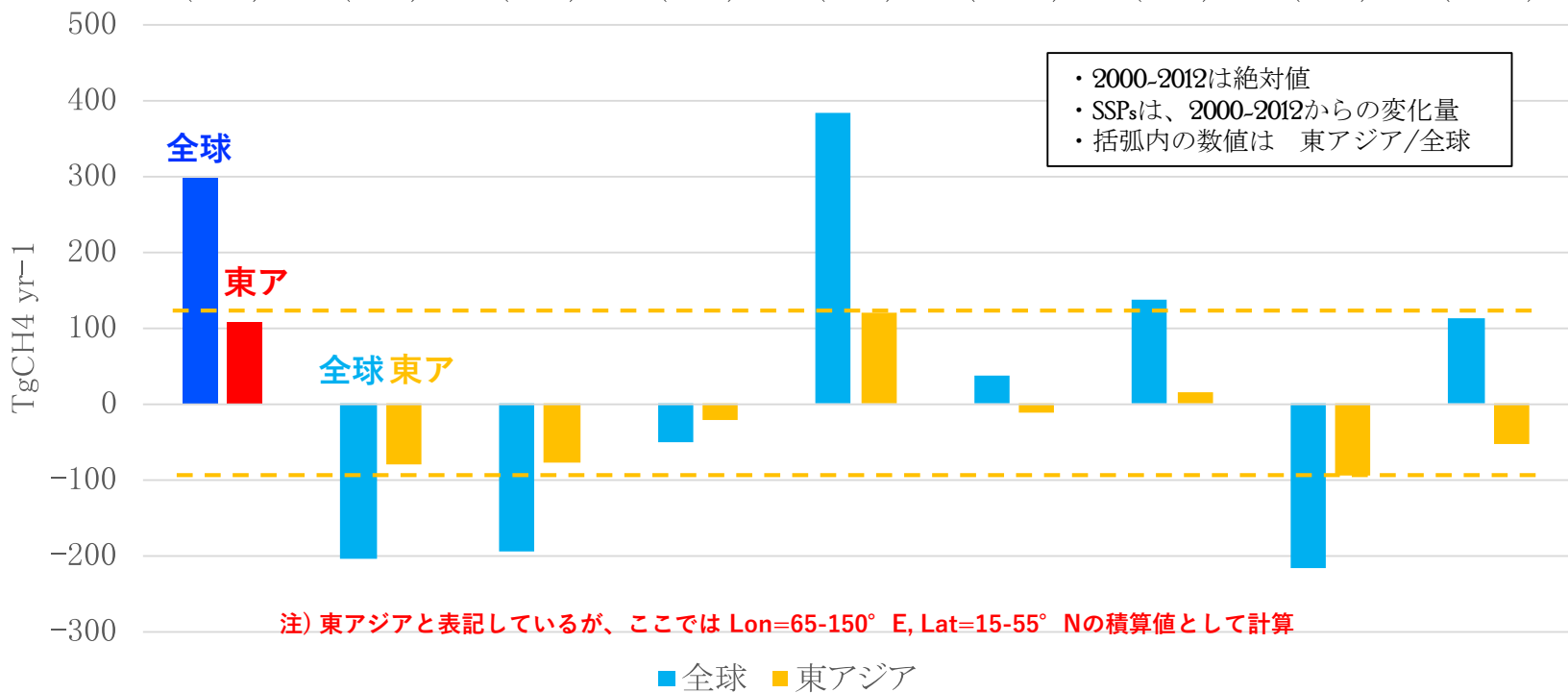
元データ：CMIP6 input4MIPs website, <https://esgf-node.llnl.gov/projects/input4mips/>
 定性的説明：Gidden et al., 2019

SSPシナリオにおける人為メタン放出取り扱い：東アジア



SSPシナリオにおける全球人為メタン排出に対する東アジア域の寄与

2000-2012	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP4-3.4	SSP4-4.6	SSP5-3.4	SSP5-8.5
(0.36)	(0.39)	(0.39)	(0.45)	(0.31)	(-0.32)	(0.12)	(0.43)	(-0.47)



元データ：CMIP6 input4MIPs website, <https://esgf-node.llnl.gov/projects/input4mips/>
 定性的説明：Gidden et al., 2019