

低炭素研究プログラム

(課題解決型研究プログラム)

Low-Carbon Research Program

平成28～令和2年度
FY2016～2020

NIES



国立環境研究所研究プロジェクト報告 第142号

NIES Research Project Report, No.142

SR-142-2024

低炭素研究プログラム

(課題解決型研究プログラム)

Low-Carbon Research Program

平成28～令和2年度

FY2016～2020

国立研究開発法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

<https://www.nies.go.jp/>

課題解決型研究プログラム「低炭素研究プログラム」

(期間：平成28年度～令和2年度)

プログラム総括：江守正多

執 筆 者：三枝信子、町田敏暢、中岡慎一郎、伊藤昭彦、江守正多、小倉知夫、横畠徳太、
高橋潔、増井利彦

編 者：江守正多

序

本報告書は、2016～2020年度の5年間にわたって国立環境研究所第4期中長期計画の課題解決型研究プログラムとして実施した「低炭素研究プログラム」の成果をとりまとめたものです。

2015年に国連気候変動枠組条約のCOP21においてパリ協定が採択されて以降、本研究プログラムの実施期間中に、気候変動をめぐる国際動向は目まぐるしく展開しました。2016年にパリ協定が発効、2017年には米国トランプ政権がパリ協定からの離脱を宣言、2020年には中国が2060年までの脱炭素化、日本が2050年までの脱炭素化を宣言、そして米国がバイデン政権となりパリ協定に復帰しました。

国内的にも、2019年に取りまとめられた「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」で2050年の温室効果ガス排出量80%削減と2050年以降できるだけ早期の脱炭素化を目指した段階から、2020年には2050年までの脱炭素化に目標が切り替わりました。いわば、「低炭素」から「脱炭素」への目標の転換が起きたといえるでしょう。

本研究プログラムも、名称は「低炭素」でスタートしましたが、「脱炭素」を強く意識して研究を進めて参りました。プロジェクト1では、温室効果ガス等の動態の現状把握と機構解明を、パリ協定のグローバル・ストックテイクへの貢献を目指して発展させました。プロジェクト2では、パリ協定の長期目標である産業化前からの世界平均気温上昇量2°C、1.5°Cの理解につながる、総合的な気候変動リスク研究を行いました。プロジェクト3では、そのパリ協定の長期目標を実現するための、定量的な政策評価研究と、制度研究を行いました。いずれのプロジェクトの成果も、2021年から2022年に公表される気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次評価報告書に貢献できたと考えます。

2021年に開始された国立環境研究所第5期中長期計画では、これらの研究をさらに発展させ、気候変動・大気質研究プログラム、脱炭素・持続社会研究プログラムなどの複数の戦略的研究プログラムとして展開しています。さらに、気候危機対応研究イニシアティブとして、これらの気候変動関連研究を一体的に推進しています。いよいよ本格化する世界の脱炭素化に向けて、さらに大きな貢献ができるよう尽力して参ります。一層のご理解とご支援を賜りますようお願い申し上げます。

令和6年3月

国立研究開発法人 国立環境研究所
理事長 木本昌秀

目 次

1 研究の概要	1
1.1 研究プログラム全体の目的、目標、構成等	1
1.2 研究の概要	3
1.2.1 研究プロジェクト 1: マルチスケール GHG 変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究	3
1.2.2 研究プロジェクト 2: 気候変動予測・影響・対策の統合評価を基にした地球規模の気候変動リスクに関する研究	7
1.2.3 研究プロジェクト 3: 世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究	9
2 研究の成果	12
2.1 研究プロジェクト 1: マルチスケール GHG 変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究	12
2.1.1 サブテーマ 1: 大気観測による GHGs 収支のスケール別変動評価	12
2.1.1.1 目的と経緯	12
2.1.1.2 方法	12
2.1.1.3 結果と考察	13
2.1.1.4 まとめ	16
2.1.2 サブテーマ 2: 海洋・陸域の GHGs 収支とそのスケールアップ	17
2.1.2.1 目的と経緯	17
2.1.2.2 方法	17
2.1.2.3 結果と考察	17
2.1.2.4 まとめ	19
2.1.3 サブテーマ 3: 各種スケールでの緩和策・影響の科学的評価	20
2.1.3.1 目的と経緯	20
2.1.3.2 方法	20
2.1.3.3 結果と考察	20
2.1.3.4 まとめ	22
2.2 研究プロジェクト 2: 気候変動予測・影響・対策の統合評価を基にした地球規模の気候変動リスクに関する研究	24
2.2.1 サブテーマ 1: 気候変化の予測・理解・解釈	24
2.2.1.1 目的と経緯	24
2.2.1.2 方法	24
2.2.1.3 結果と考察	25
2.2.1.4 まとめ	28
2.2.2 サブテーマ 2: 陸域統合モデルによる低炭素シナリオ統合解析	29
2.2.2.1 目的と経緯	29
2.2.2.2 方法	30
2.2.2.3 結果と考察	31
2.2.2.4 まとめ	34
2.2.3 サブテーマ 3: 人間・社会的側面からの気候変動影響・適応・緩和策評価	35
2.2.3.1 目的と経緯	35
2.2.3.2 方法	35
2.2.3.3 結果と考察	37
2.2.3.4 まとめ	40
2.3 研究プロジェクト 3: 世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究	41
2.3.1 サブテーマ 1: 世界を対象とした低炭素社会評価のための統合評価モデル開発とその適用	41
2.3.1.1 目的と経緯	41
2.3.1.2 方法	42
2.3.1.3 結果と考察	42
2.3.1.4 まとめ	46

2.3.2 サブテーマ 2: 低炭素社会実現に向けた国際制度のあり方に関する研究	47
2.3.2.1 目的と経緯.....	47
2.3.2.2 方法.....	47
2.3.2.3 結果と考察.....	47
2.3.2.4 まとめ.....	51

[資料]

1 研究の組織と研究課題の構成.....	54
1.1 研究の組織.....	54
1.2 研究課題と担当者	58
2 研究成果発表一覧.....	60
2.1 誌上発表.....	60
2.2 口頭発表.....	93

1 研究の概要

1.1 研究プログラム全体の目的、目標、構成等

低炭素研究プログラムでは「環境研究・環境技術開発の推進戦略について」（平成 27 年 8 月 20 日中央環境審議会答申）に基づき、低炭素で気候変動に柔軟に対応する持続可能なシナリオづくり、気候変動の緩和・適応策に係る研究・技術開発、及び地球温暖化現象の解明・予測・対策評価に取り組むことを目的とした。

本研究プログラムでは、以下の 3 つの課題に取り組んだ。

- (1) マルチスケールの観測体制の展開による温室効果ガス等の排出・動態・収支及び温暖化影響の現状把握と変動要因の理解の深化。
- (2) 全球規模の気候予測モデル、影響予測モデル、対策評価モデルをより密接に結びつけた包括的なモデル研究体制の構築と気候変動リスクの総合的なシナリオ抽出。
- (3) 低炭素社会の実現に向けた道筋提示のための世界を対象とした統合評価モデルの詳細化・検証とそれを用いた政策評価及び国際制度のデザイン。

各課題のプログラム開始時における目標は次のとおりである。

(1) については、マルチスケールの温室効果ガス濃度監視体制を国際的に展開し、気候変動影響を考慮した自然界でのフラックス変動応答の観測やそのモデル評価、人為発生源の緩和対策評価体制づくりなどを行う。具体的には、2 年程度をかけて、これまで開発してきたアジア太平洋を中心とした広域観測点や測線、地域、また国際的な共同観測活動などを、国環研内の関連する研究活動とも連携しながらネットワークとしてまとめていく。同時に温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT、GOSAT2）事業とともに開発してきた大気モデル、プロセスモデル等を用いてフラックス推定の高分解能化を行い、フラックス変動の大きな地域などを抽出、検出できるようにする。3 年目には、気候変動影響や人為的なフラックス変動解析を全球規模で実施できる体制と、都市域、工業地域などのスケールに焦点を当てた解析を重点的に行える体制を構築し、5 年目までに、構築された観測体制における温暖化緩和・適応策実施の効果検証や温暖化影響抽出に係る精度評価を行うとともに、自然科学的側面からの低炭素社会の実現に向けた提言をより信頼度高く行うための観測解析体制全体における将来に向けた課題を検討する。

これらを通じて、今後 20 年程度のうちに温室効果ガス排出削減効果を含む温室効果ガス等の排出・動態・収支の情報や温暖化影響の状況を統合化し、それらの科学観測的情報を緩和・適応策へフィードバックすることで、低炭素社会構築を後押しするための自然科学的側面からの支援に貢献する。

(2) については、全球規模の気候予測モデル（地球システムモデル）、人間活動を含む陸域諸過程の影響予測モデル（土地利用、水資源、生態系等の統合モデル）、社会経済シナリオの抽出と対策評価のモデル（統合評価モデル）をより密接に結びつけた包括的なモデル研究体制を構築し、自然システムと人間・社会システム間の相互連関・整合性に留意した、対策の波及効果も含む気候変動リスクの総合的なシナリオを描出する。具体的には、3 年程度で気候予測モデル、影響評価モデル、対策評価モデル間のモデル結合もしくは統合的な利用を検討、実施し、気候予測、影響、社会経済シナリオと対策実施の効果をそれぞれ他のモデルにフィードバックできる包括的なモデル研究体制を構築し、5 年を目途に、これを用いて気候変動対策の波及効果も含む全球規模の気候変動リスクの総合的なシナリオを描出する。

これらを通じて、社会の様々な主体との対話を促進することにより、パリ協定で合意された 2°C 目標（及び努力目標としての 1.5°C）の必要性と実現可能性に関する議論に資する。また、気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change ; IPCC）の第 6 次評価報告書に向けた第 6 期結合モデル相互比較プロジェクト等の国際モデル相互比較及び国際的に組織化された総合的なシナリオ研究に貢献するとともに、2018 年の出版が検討されている 1.5°C 目標に関する IPCC 特別報告書に対して初期的な成果に基づき貢献することを目指す。

(3) については、世界を対象とした統合評価モデルの詳細化や分析結果の評価を通じた統合評価モデルの検証を進め、それを用いて 2°C目標（及び努力目標としての 1.5°C）の達成に向けた温室効果ガス排出削減経路や対策のロードマップの分析及び政策分析を行うとともに、国内外の統合評価モデルコミュニティ等と連携し、開発したモデルとの相互モデル比較や政策評価結果の比較を実施する。また、モデル分析結果から得られた目標達成に向けて必要とされる政策・対策が実現するような国際制度を設計し、様々なステークホルダーに対してモデル評価の成果も含めた知見や情報を提供する。具体的には、3年程度で世界モデルの詳細化を進め、国内外の統合評価モデルコミュニティ等と連携したモデル相互比較や政策評価を行うとともに、国際制度の設計については、2020年を目標としているカンクンプロセスにおける排出削減量深堀のための方法を検討するとともに、パリ協定で規定されている2023年の第1回グローバルストックテイキングの結果で削減目標が不十分と判断された場合における追加的な手続きを提案する。また、5年を目途に、低炭素研究プログラム全体の成果も踏まえつつ、より頑健な政策ロードマップを定量的、定性的に明らかにするとともに、国際制度については、合意が可能で、さらに長期的に野心的な目標設定のための制度構築を行う。

これらを通じて、低炭素社会の実現を目指した社会実装の支援に貢献する。

これらの取り組みにより、既に共有されている長期ビジョンである気温上昇 2°C目標について、その実現に向けた温室効果ガス排出経路を科学的方法を用いて定量化し、低炭素社会の実現に向けた実装に貢献するとともに、長期的な温室効果ガスの排出削減に向けた世界の緩和・適応策などの気候変動に関する政策決定に必要な知見の提供に寄与することを目指した。

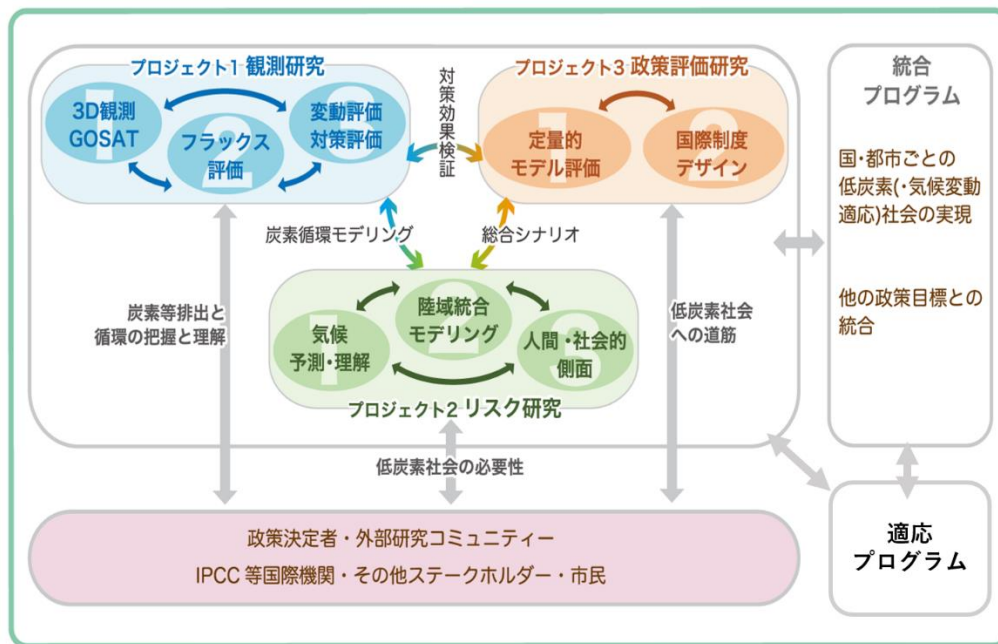


図1 低炭素研究プログラム全体の構造

本プログラムは、次の3つのプロジェクトから構成された。

- (1) **プロジェクト1: マルチスケール GHG 変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究**
 - サブテーマ1 「大気観測による GHGs 収支のスケール別変動評価」
 - サブテーマ2 「海洋・陸域の GHGs 収支とそのスケールアップ」
 - サブテーマ3 「各種スケールでの緩和策・影響の科学的評価」
- (2) **プロジェクト2: 気候変動予測・影響・対策の統合評価を基にした地球規模の気候変動リスクに関する研究**
 - サブテーマ1 「気候変化の予測・理解・解釈」

た広域観測点や測線、地域、また国際的な共同観測活動などを活用し、所内の関連する研究活動とも連携しながら観測ネットワークを構築した。同時に温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）シリーズの活動とも連携して開発してきた大気モデルやプロセスモデル等を用いて地表における温室効果ガスフラックスの推定における高分解能化を行い、フラックス変動の大きな地域などを抽出、検出することを可能にした。研究期間の後半には、気候変動影響や、都市域、工業地域などのスケールに焦点を当てた解析を重点的に行う手法を構築し、構築された観測体制における温室効果ガス削減策の効果検証や温暖化影響の検出に係る精度評価を行った。さらに、自然科学的側面からの低炭素社会の実現に向けた提言をより信頼度高く行うための観測解析体制全体における将来に向けた課題を検討した。これらを通じて、温室効果ガスの自然起源の変動の要因解明に加え、人為起源の温室効果ガス排出削減効果を把握し、それらの情報を活用することで低炭素社会構築を加速するために資する科学的知見を構築した。

(1) サブテーマ 1: 大気観測による GHGs 収支のスケール別変動評価

世界的に深刻な観測空白域である東南アジア、南アジアへの観測展開を確実に進め、インドネシアでは領域モデルや同位体比観測による温室効果ガスフラックス評価も行い、二酸化炭素（CO₂）の発生源寄与率の推定とモデルによる組み合わせで、インベントリに関する知見を蓄積した。船舶によるアジア航路観測の再開、民間航空機によるアジア観測強化など、データが極めて不足しているアジア域において世界をリードできる観測網を展開することに成功した。さらに、現在世界的に排出削減の連携強化が図られている巨大都市（メガシティ）からの人為起源温室効果ガス発生量の評価を目的とし、東京圏での定常観測や民間航空機の離着陸データ解析に基づく温室効果ガス放出の解析を進展させた。一方、地球温暖化の影響を受けやすい北半球高緯度地域においては、シベリアにおけるタワー観測網である JR-STATION による温室効果ガス観測データについて不確実性を併記したフォーマットで公開を進めたほか、2002-2017 年について逆解析を行い、シベリア域の CO₂ とメタン（CH₄）排出量の評価を行った。その他の温室効果ガスについては、ハロカーボンの観測を継続して東アジアにおけるフロン類の排出実態の解明に貢献すると共に、化石燃料起源 CH₄ に随伴して放出されるエタンやプロパンなどの炭化水素類の観測を新たに開始して CH₄ の発生源解析を進めた。

続いて全球の CO₂ 収支評価を目的とした大気酸素の観測結果（図 3 中の APO）に基づき、過去 19 年間（2000-2018 年）の海洋及び陸上生物圏の炭素吸収量を求め（海・陸の吸収量はそれぞれ 2.8Pg-C yr⁻¹ 及び 1.46Pg-C yr⁻¹）、それらの長期的な変動傾向を推定した。同様に CO₂ 同位体比観測からも過去 20 年間の炭素収支を解析した結果、海洋吸収は観測開始以降増加傾向にあったが 2015 年以降減少傾向にある可能性が指摘された。また、陸域生物圏の吸収量は 2000 年代には増加傾向にあったが 2010 年代になると減少傾向が認められ、特に 2015-2016 年のエルニーニョ時に吸収量が減少した可能性が指摘された。

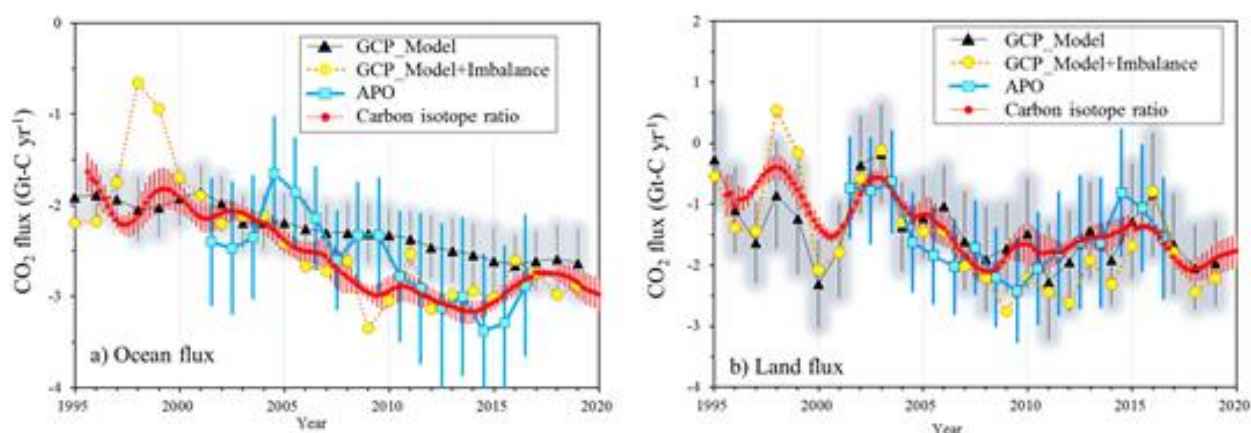


図 3 グローバルな二酸化炭素の吸収量に対する観測（本プログラム）とモデル（GCP）との比較、ならびにモデルインバランスの評価

大気中温室効果ガス観測と逆解析に基づくトップダウン法の高度化については、CO₂とCH₄の長期解析を実施し、包括的な温室効果ガスの全球フラックスの長期「再解析データ」を整備した。このデータを詳細に解析することで、国際共同研究グローバルカーボンプロジェクト（GCP）の一環として実施されたGCP-CH₄及びGCP-CO₂の統合解析、第2回地域別炭素収支評価（RECCAP-2）などのボトムアップも含めた統合的な研究プロジェクトに参加し、全球温室効果ガス収支分布に関する最新の知見をとりまとめることに貢献した。その科学的知見とデータはIPCC第6次評価報告書にも引用された。

GOSATのプロダクト利用研究では太陽光励起クロロフィル蛍光（SIF）の導出手法を開発し、全球SIF推定結果とGOSATの観測結果の比較を実施した。また、南米大陸中央部におけるCH₄収支の年変動と降水量の関係について解析を進めた。地上設置型フーリエ変換赤外分析計（FT-IR）の観測データがモデルデータの評価、インバージョン、観測に基づいたフラックス推定などに数多く利用された。

全球化学輸送モデルを用いて、北極域の黒色炭素(BC)に対する発生源寄与の評価を行い、温暖化に及ぼす影響について理解を進めた。モデルと観測との比較からボトムアップ型インベントリの人為起源BC排出量の検証を行い、中国からのBC排出量の推計を行った。また、インベントリの違いによる北極域のBC濃度への感度や不確実性の理解を深め、国際モデル相互比較プロジェクトCMIP6で使用されているインベントリデータ（CEDS）が中国からのBC排出量を過大評価している可能性を指摘した。

(2) サブテーマ2: 海洋・陸域のGHGs収支とそのスケールアップ

本サブテーマではボトムアップ手法に基づく海洋と陸域の温室効果ガス収支評価の高度化を目的としている。海洋では、国際海洋表層CO₂観測データベースSOCAT（Surface Ocean CO₂ Atlas）のCO₂分圧（pCO₂）のデータと、海面水温や塩分、クロロフィルa濃度などの時空間データセットに基づき、ニューラルネットワーク手法による2001年から2014年までの全球（南緯60度～北緯70度）pCO₂分布再現を2019年まで拡張した。2001年と2019年の7-9月におけるpCO₂分布を示した図4のとおり、大気中CO₂濃度増加に伴って海洋のpCO₂分布も増加傾向にあり、この19年で平均10%程度上昇した。しかし、その増加傾向分布は、海洋物理生物学的な影響を受けるため一様でない。例えば中央アメリカの太平洋近海域においてはpCO₂増加率が1µatm yr⁻¹程度で推移している一方、カルフォルニア沖では2.5µatm yr⁻¹を超える値を示している。これらの海域は船舶モニタリングによるpCO₂観測の航路上に位置しており今後も観測を継続、監視することが重要な海域であると言える。

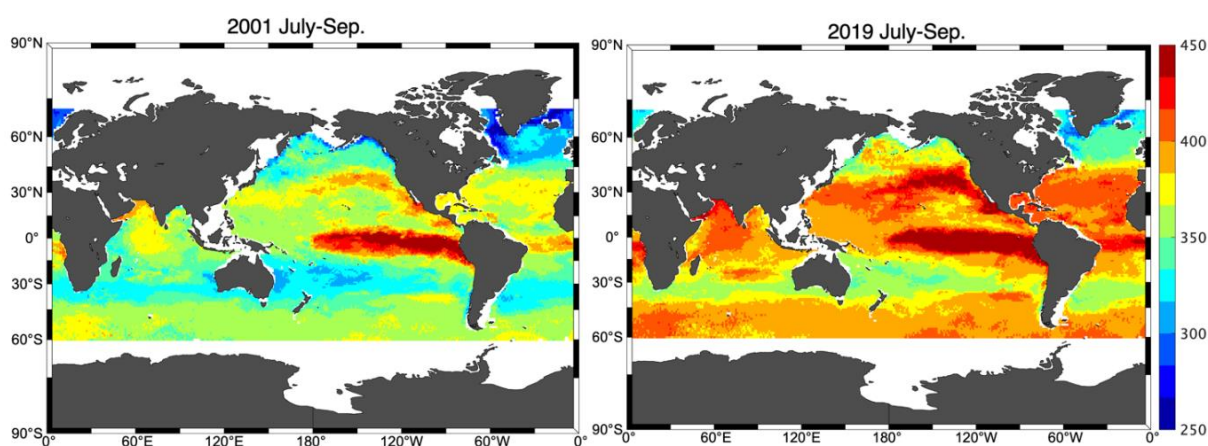


図4 ボトムアップ手法により推定された2001年（左）と2019年（右）7-9月におけるpCO₂分布（µatm）

陸域におけるボトムアップ法の高度化においては、特に複数の森林生態系における温室効果ガスの吸収量・放出量の長期間観測データに基づき、森林全体のCO₂吸収量や土壌からのCO₂放出量（土壌呼吸）についての長期変動要因の解明を進めた。例えば土壌呼吸を長期連続観測することのできる自動開閉型チャンバーを用いた国内の森林（台風による

カラマツ林倒壊からの回復中のサイト)における14年間のCO₂フラックス連続観測から、台風攪乱後に植生の自然回復による生態系総一次生産(GPP)の増加に伴い生態系呼吸や土壌呼吸が増加したことが明らかになった。特にシラカバを中心とした木本種類植生の成長は台風攪乱によって放出源に転換した生態系での炭素吸収源の回復を早めたことが本研究から示唆された。また、東南アジアにおける火災やオイルパーム転換など土地利用変化に伴う炭素収支の変化について観測、衛星データ解析、モデルを利用し、多面的な評価を行った。

(3) サブテーマ3:各種スケールでの緩和策・影響の科学的評価

地域から全球スケールでのボトムアップ手法による温室効果ガス収支評価を高度化し、CO₂、CH₄、一酸化二窒素(N₂O)について起源別で空間分布が詳細化された収支マップを作成した。それらの成果は、国際共同研究グローバルカーボンプロジェクトが推進する温室効果ガス収支の統合解析や、IPCC第6次評価報告書に大きく貢献した。人為起源温室効果ガスインベントリの高分解能評価については、東京都を対象として作成した手法を広域展開し、日本全国スケールで高分解能な人為起源CO₂排出マップを作成した。これらの成果は、緩和策の実施状況を客観的な方法で把握する科学的手法として今後有効活用されることが期待される。

気候変動の影響評価においては、北極域は温暖化の進行が早く深刻な影響が顕在化しやすいと予想されており、温室効果ガス放出の変化もいち早く監視・把握しておく必要がある。本サブテーマではボトムアップ的な手法による北半球高緯度域の包括的なCH₄収支として、北緯45度以北の陸域について、自然起源は湿原、火災、シロアリ、地質学的起源、土壌酸化を、人為起源は化石燃料採掘、都市・工業、農地、家畜、廃棄物についてそれぞれ評価を行った。自然起源は陸域生態系モデル(Vegetation Integrative Simulator for Trace gases, VISIT)による計算及び土地利用や火災に関する衛星観測データに基づいて評価し、人為起源は排出インベントリデータ(EDGAR5.0)を使用した。2000-2015年の平均的なCH₄放出量は57.2 Tg CH₄ yr⁻¹と推定され、そのうち約41%が人為起源によるものであった(図5)。最大の放出源は湿原であり、自然起源の大部分である33.9 Tg CH₄ yr⁻¹を占め、カナダ・ハドソン湾低地やロシア・西シベリア低地は大きな放出源となっていた。経年的には、1990年前後の旧ソビエト連邦の崩壊以降、シベリア地域での化石燃料採掘に伴う漏出起源と推察される放出量は減少したが、北欧では近年、石油採掘などに伴う放出増が見られた。自然起源の変動は気象条件に伴うもので、過去20年間には顕著な増加傾向は見られなかったが、湿原放出量と温度変動には相関が見られているため、今後の温度上昇傾向次第では増加幅が拡大することが懸念される。さらに永久凍土融解や火災の激化が進めば、CH₄放出量が大幅に増加する可能性もあるため、そのような正フィードバックを防止することは緩和の観点でも重要と考えられる。本研究は文科省・北極域研究推進プロジェクト(ArCS)の一部として実施された。

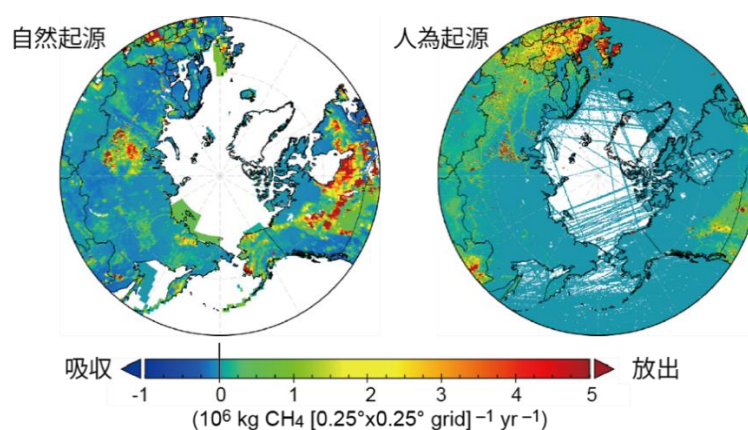


図5 北半球高緯度域におけるCH₄収支分布。2000-2015年の平均的な年間フラックス

1.2.2 研究プロジェクト2：気候変動予測・影響・対策の統合評価を基にした地球規模の気候変動リスクに関する研究

地球規模の気候予測モデル（地球システムモデル）、人間活動を含む陸域諸過程の影響予測モデル（土地利用、水資源、生態系等の統合モデル）、社会経済シナリオの描出と対策評価のモデル（統合評価モデル）をより密接に結びつけた包括的なモデル研究体制を構築し、自然システムと人間・社会システムの間相互連関・整合性に留意した、対策の波及効果も含む気候変動リスクの総合的なシナリオを描出した。具体的には、気候予測モデル、影響評価モデル、対策評価モデル間のモデル結合もしくは統合的な利用を検討、実施し、気候予測、影響、社会経済シナリオと対策実施の効果をそれぞれ他のモデルにフィードバックできる包括的なモデル研究体制を構築した。これを用いて気候変動対策の波及効果も含む地球規模の気候変動リスクの総合的なシナリオを描出した。

これらを通じて、社会の様々な主体との対話を促進することにより、パリ協定で合意された 2°C 目標（及び努力目標としての 1.5°C）の必要性と実現可能性に関する議論に貢献した。また、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 6 次評価報告書に向けた第 6 期結合モデル相互比較プロジェクト等の国際モデル相互比較及び国際的に組織化された総合的なシナリオ研究に貢献するとともに、2018 年に公表された 1.5°C の温暖化に関する IPCC 特別報告書に対して初期的な成果に基づき貢献した。

(1) サブテーマ 1 「気候変化の予測・理解・解釈」

全球気候モデルを用いた数値シミュレーションを実施し、その出力データを解析することにより、過去に起きた気候変化に対する理解を深めると共に、将来の気候変化を予測する研究を実施した。第 4 期中長期計画において実施した研究は以下の 3 つに大別できる。(1) 気候モデルと影響評価モデルの統合的利用、(2) 1.5°C の温暖化に関する IPCC 特別報告書への貢献、(3) IPCC 第 6 次評価報告書への貢献である。(1) - (3) の研究はいずれも国内外の研究機関と共同で実施した。

(1) の研究は、気候変動の影響を従来よりも精密に評価することを目指して実施した。気候変動の影響を評価する際には、30 年間の平均的な気候状態だけではなく、熱波や豪雨のような極端現象の頻度や強度も考慮すべきである。このような極端現象の情報を影響評価モデルに入力データとして提供するため、全球気候モデルと領域気候モデルを用いてアンサンブルシミュレーションが実施された。得られた出力データは"d4PDF"と名付けられて公開され、影響評価研究のために活用されている。サブテーマ 1 は d4PDF のデータ構築と解析に貢献した。

(2) の研究は、パリ協定で 2 つの温度目標（2°C と 1.5°C）が設定されたことを受けて実施した。IPCC は UNFCCC の招請を受けて、1.5°C の温暖化に関する特別報告書を 2018 年に準備することとなった。この特別報告書の準備に資するため、2°C と 1.5°C の温暖化に起因するリスクを評価する国際研究プロジェクト HAPPI が実施された。HAPPI プロジェクトでは複数の全球気候モデルを用いたアンサンブルシミュレーションが実施され、IPCC 特別報告書に対する貴重な情報源となった。また、出力データの解析により 70 報の学術論文が発表された（2021 年 12 月現在）。サブテーマ 1 は HAPPI プロジェクトの企画、データ構築、及び解析に貢献した。

(3) の研究において、気候モデル MIROC6 の開発と、それを用いたシミュレーションの実施、及び出力データの解析に貢献した。出力データの解析は、MIROC6 を含む複数のモデルを対象とした結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP6）の枠組みで実施した。そこから得られた知見は、IPCC 第 6 次評価報告書に対する情報源となった。

また、近年に観測された極端現象の発生確率や強度が、人間活動によりどの程度変化しているか評価する研究（イベント・アトリビューション）も実施した。得られた研究成果はプレスリリースや学術論文として公表されており、温暖化が生活に及ぼす影響について人々の理解を深めるのに役立っている。このような一般の理解は、緩和や適応の方策を議論する際に重要である。

(2) サブテーマ2「陸域統合モデルによる低炭素シナリオ統合解析」

炭素回収貯留付きバイオ燃料生産（BECCS）によるネガティブエミッションは、2°C以下の気候目標を達成するための多くの気候シナリオで重要な役割を果たす。灌漑による生産性向上は BECCS の実現可能性を高めるための有望な選択肢と考えられているが、水の利用可能性の制約まで加味した実現可能性は十分に理解されていない。そこで、全球水資源モデル H08 を使ったシミュレーションを行い、無制限の灌漑は、今世紀末までに天水（灌漑がない場合）の潜在的生産性と比較して、世界の BECCS 生産量を 60～71%増加させる一方、再生可能性の低い（つまり持続可能性の低い）水源からの取水を激増させてしまう（1392～3929 km³ yr⁻¹）ことを示した。水の利用可能性の制約を考慮した持続可能な灌漑はこの問題を回避するが、灌漑面積が大きく制約されるため、世界の BECCS の潜在生産性を 5～6%しか増加させられないことが分かった。この結果は、水の利用可能性が BECCS の可能性を大幅に制限しうることを示している。同時に、実現可能な BECCS の生産量が 2°C目標の達成に必要な量よりもかなり低いことを示唆している。

また、陸域生態系モデルを用いた気候変動の影響評価とネガティブエミッションへの貢献可能性に関する検討を行った。前半期間は影響評価を主に実施し、分野間モデル相互比較プロジェクト ISIMP の計算結果を分析することで、将来の温暖化が高緯度域の陸域生態系における生産力や炭素貯留量に対し、全球平均より大幅に強い影響を与えることを示した。後半は、ネガティブエミッションの観点から、陸域生態系による炭素貯留変化に関する研究を実施した。伐採量の半減などを設定した感度実験により、森林の管理・利用方法を変えることで、陸域生態系への炭素貯留量を増加させる可能性を示した。さらに、CMIP6で使用されている土地利用シナリオに基づいて、将来の耕作地及び森林面積が異なる設定で計算を行うことで、現実的なシナリオの下では生態系（特に土壌）の炭素ストックが増加する地域と減少する地域が現れるなど、森林管理によるネガティブエミッション実施に関する有用な知見が得られた。

陸域統合モデルを用いた研究については、モデルの記述論文を出版し、気候・作物・水資源・土地利用の相互作用に関する分析を行った。モデル計算結果を ISIMP でのモデル比較研究のために提供した。陸域統合モデルと ISIMP のデータを利用し、将来の気候変動が永久凍土融解や極端な干ばつ変化に及ぼす影響に関して分析した。また、様々な社会経済シナリオにおける炭素循環フィードバックに関して分析した。さらに、陸域統合モデルに大気・海洋モデルを結合させた「地球システム統合モデル」により、土地利用が炭素循環に及ぼす影響の評価を行った。これらの研究を通じて、IPCC の土地利用特別報告書及び第 6 次評価報告書の検討に貢献した。

(3) サブテーマ3「人間・社会的側面からの気候変動影響・適応・緩和策評価」

「影響予測モデルと対策評価モデルの統合利用ならびに最新社会経済シナリオの応用を通じた気候変動影響・適応策と緩和策の相互作用の評価」に関しては、セクター別気候変動影響が経済に及ぼす影響の包括的評価の取り組みの一つとして、家庭業務部門での冷暖房需要を通じた影響の評価を実施した。最新の気候予測情報を用い、既存研究では考慮されていなかったエンドユース、すなわち、地域レベルの冷暖房機器やその費用、電源構成の違いを考慮した。その結果、1) 対策を取らないケースでは、2100年において世界 GDP の 0.34%に相当する損失が生じるのに対し、「2°C目標」ケースではそれをほぼゼロにできること、さらに、2) 経済影響の主な要因は低所得国で将来の経済発展に伴って大幅なエアコン導入が進むことと、そのための冷房機器の導入費用であること、を明らかにした。

また、地球温暖化により追加的に必要となる労働者の熱中症予防の経済的コストを推計した。各種指針では、熱中症予防のために暑さの度合いと作業強度に応じて休憩取得（作業中断）が推奨されているが、温暖化条件下ではより長い休憩を取ることが必要となり、経済活動に影響が生じうる。本研究では、気候・影響予測と経済モデルを組み合わせ分析し、温暖化により追加的に必要となる熱中症予防の経済的コストを、複数将来シナリオ下で推計した。さらに、適応策（労働時間帯の調整）を考慮した分析も実施した。最大 3 時間の労働時間帯調整を想定した場合、2°C目標に相当する緩和経路（RCP2.6）を満たすケースでは今世紀末の GDP 損失を 0.14%まで抑制できるが、緩和無し（RCP8.5）ケースでは 1.6%の GDP 損失が残ることが示され、緩和・適応の同時実施の必要が示された。なお、上記の研究結果を含む、部門別の気候影響の経済評価の結果を総合化した研究を実施し、最も悲観的な将来の仮定の下では、21 世紀末における地球温暖化による被害額は世界全体の GDP の 3.9～8.6%に相当すると推計された一方、パリ協定の 2°C目標を達成し、

かつ、地域間の経済的な格差等が改善された場合には被害額は世界全体の GDP の 0.4~1.2%に抑えられるという推計結果が得られた。また、特に開発途上国においては社会経済状況の改善が被害額（対 GDP 比）を小さく抑える効果があることもわかった。当該研究結果については 2019 年 9 月に Nature Climate Change 誌で公表した。

2°C目標（及び努力目標としての 1.5°C）に対応したリスク評価に関しては、炭素循環・大気化学・気候動態・緩和費用を扱う簡易統合評価モデル ACC2 を活用し、パリ協定の温度目標（いわゆる 2°C目標と 1.5°C目標）及び排出目標（21 世紀後半に人為の GHG 排出を正味ゼロ）を達成するための最小費用排出経路の分析を実施し、しばしば同値として扱われる温度目標と排出目標の間の整合性について評価した。分析の結果、両目標は必ずしも一致せず、削減に早期から着実に取り組まなければ、排出をゼロにしても、温度目標達成に不十分な場合があることが示唆された。当該研究結果については 2018 年 3 月に Nature Climate Change 誌で公表した。

また、世界各地域から国別電力生産量に関して代表的な国々を取り上げ（中国、ドイツ、米国及びインド）、各国の石炭及び天然ガス火力発電に伴う温室効果ガスや短寿命気候汚染物質の排出量を算出し、石炭から天然ガスへのエネルギー転換が気候安定化目標に寄与するのかを不確実性も考慮し検証した。天然ガス火力発電に伴うメタン漏出や他の様々な大気汚染物質の排出も考慮し、世界各国における石炭から天然ガスへのエネルギー転換がパリ協定で定められた気候安定化目標に寄与することを示すことが出来た。この結論は石炭火力発電の段階的廃止（フェーズアウト）を支持するものである。当該研究結果については 2019 年 4 月に Nature Climate Change 誌で公表した。

1.2.3 研究プロジェクト3：世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

研究プロジェクト3では、2°C目標や 1.5°C目標の達成に向けた温室効果ガス排出削減経路や対策のロードマップの分析とその実現を目指して、世界を対象とした統合評価モデルの詳細化とそれをもとにしたモデル比較や政策評価を行うとともに、気候安定化の実現に向けた国際制度や政策のデザインを行い、得られた知見や情報を様々なステークホルダーに対して提供することで、低炭素社会の実現に向けた実装に貢献してきた。本プロジェクトは2つのサブテーマで構成される。サブテーマ1「世界を対象とした低炭素社会評価のための統合評価モデル開発とその適用」では、世界を対象とした統合評価モデルの拡充及び詳細化と、それらを用いた低炭素社会に向けた温室効果ガス排出削減経路と政策ロードマップの評価、さらにはモデルの信頼性や結果の蓋然性の向上を行ってきた。また、サブテーマ2「低炭素社会実現に向けた国際制度のあり方に関する研究」では、現時点で各国により提示されている 2030 年排出量目標の合計値が 2°C目標や 1.5°C目標達成に不十分であることをふまえて、今後、削減目標以上に排出量が削減されるための、かつ国際的に合意が可能な国際制度のデザインを行い、その評価を行ってきた。

(1) サブテーマ1「世界を対象とした低炭素社会評価のための統合評価モデル開発とその適用」

本サブテーマでは、主に世界を対象とした統合評価モデル AIM（Asia-Pacific Integrated Model）の拡張を行うとともに、拡張したモデルを用いた低炭素社会の実現に向けた対策の評価を行った。

世界を対象とした新しい社会経済シナリオである SSP（Shared Socioeconomic Pathways）を用いて、運輸旅客・貨物部門、家庭・業務部門、鉄鋼部門、セメント部門などのエネルギーサービス需要量を推計した。また、世界技術選択モデルを用いて、推計した将来のエネルギーサービス需要量を満たしつつ、2°C目標を達成する経路である RCP2.6 と整合する排出シナリオの定量化を行った。特に、長寿命温室効果ガス（GHG）と短寿命気候汚染物質（SLCPs）に対して、様々な対策の組み合わせを評価し、対策の組み合わせの差異による相乗効果・相殺効果の特徴について複数のシナリオを分析した。ガス種別に主要な排出部門やエネルギー種が異なるため、同じ 2°C目標相当の CO₂排出経路であっても、低炭素対策と大気汚染対策の組み合わせの差異によって、SLCPs や大気汚染物質の排出経路は大きく異なることが示唆された。また、対策の組み合わせによって対策の導入強度が異なるため、低炭素対策の部門別累積投資額と除去対策累積投資額の傾向も異なることが明らかになった。

また、2°C目標や1.5°C目標の達成に不可欠である主要な対策技術や排出経路に影響を与える主要な社会経済要因に注目し、世界応用一般均衡モデルを用いて、それらの想定を変えたときの炭素価格や経済影響の差異を分析した。また、運輸部門における車両のエネルギー効率の改善対策だけでなく、モーダルシフトや輸送効率改善などの運輸対策も考慮できるような世界の旅客・貨物運輸モデルを開発し、世界応用一般均衡モデルと結合して、2°C目標や1.5°C目標の達成にむけた運輸部門対策の貢献度合いや、運輸対策の導入が炭素価格や経済影響に与える影響について分析した。その結果、エネルギー効率改善技術の対策による削減への貢献は大きいですが、モーダルシフトや輸送効率改善などの省エネ技術対策以外も重要であることが示唆された。

さらに、世界の中でアジア地域は、GHGとSLCPsの排出量が今後も大幅に増加することが見込まれることから、統合研究プログラムと連携して、中国・インド・タイ・インドネシアなどの研究者に対して人材育成を目的としたトレーニングワークショップを実施し、統合評価モデルを用いた各国の排出削減目標の引き上げに向けた具体的な対策の評価方法を議論した。また、国際モデル比較評価（EMF30、DDPP、COMMITなど）やLCSRNetなどの国際研究に参画し、本プログラムや統合研究プログラムで得られた世界や日本を対象とした将来シナリオや温室効果ガスの排出経路に関する成果を提供した。

そのほか、統合評価モデルの理解や結果の解釈、シミュレーションといった操作は複雑で困難であり、政策決定者が容易に対策の種類やその組み合わせを検討することは困難である。一方で、政策の議論において、選択した対策や設定した導入強度の違いによるGHG、SLCPs及び大気汚染物質の計算結果や様々な影響を即時的に活用できることは、極めて重要である。こうした背景から、対策の強度とそれによるGHGやSLCPs、大気汚染物質の排出量や、排出量に対応した健康影響や環境影響などが簡易に評価できるWebツールを開発した。またWebツールを用いて、政策決定者や一般市民などのステークホルダーと議論を行った。

(2) サブテーマ2「低炭素社会実現に向けた国際制度のあり方に関する研究」

本サブテーマでは、低炭素社会の実現に向けて、国際的に合意が可能な国際制度のデザインを行い、その評価を行ってきた。長期低排出戦略策定手続きに関する調査として、以下のような分析を行った。2015年のパリ協定採択時に同時に採択されたCOP21決定では、2050年を見据えた長期低排出戦略を2020年までに提出することが求められていた。欧州主要国では、その後迅速に長期低排出戦略に関する議論が始まったため、その策定手続きを調査したところ、以下の特徴がみられた。(a) 研究者集団による科学的知見を踏まえた判断の場と、利害関係者集団による利害調整に関する議論の場の分離。(b) 複数のモデルを用いた緩和策費用の計算と幅広い参加者による議論。(c) 単なる気候変動対策ではなく、貧困家庭にエネルギー効率の高い住居を提供する等、社会問題の同時解決を目指した。(d) 産業界及び投資家が全体として化石燃料関連から低炭素なものへと投資を振り替えつつあった。日本では結果的には2019年6月に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」という名称で策定された長期低排出戦略であるが、欧州の策定プロセスと比べると、科学的知見よりも経済成長に重心が置かれ、幅広い参加よりは利害関係者集団による利害調整が反映された。その結果、まだ実用化への道筋が見えていない革新的な技術に依存した内容となった。

また、2018年促進的対話（タラノアダイアログ）に向けた国の進捗評価指標開発も行った。パリ協定では、5年に1度の頻度で「グローバル・ストックテイク」と呼ばれる進捗確認作業が規定されており、第1回を2023年に実施することになっている。これと類似した手続きとして2018年に「促進的対話」が実施されたことから、本研究では、再生可能エネルギー導入割合や一人当たり排出量、GDPあたり排出量等の指標を用いて2°C目標に至るために2030年時点で達成しておくべき水準を一部の先進国と途上国に分けて分析した。その結果、再生可能エネルギー導入割合や産業部門での省エネ水準、森林面積増加率等では先進国と途上国で同水準の目標設定が可能であること、一人当たりのエネルギー消費量では、韓国や南アフリカ等新興国はすでに先進国と同水準にあり今後減らす方向に目標を設定すべきであること等を示した。この結果はCOP23に合わせて開催されたワークショップで発表した。

そのほか、2006年の『スターン報告』以降、遠い将来の費用・便益を重みづける割引率について議論が活発化してきた。長期的に下がっていく割引率（DDR）や、炭素の社会的費用（SCC）への影響等、政策的な議論も行われている。ところが消費を尺度にした割引率について、世代内の所得不平等がある時に、どの消費水準を尺度にすべきかは明らかではない。そこで、先進国と途上国との格差を念頭に、消費割引率を成長効果と世代内分配効果に分割できる枠組みを示した。この枠組みでは、消費だけでなく人口や環境の格差も同じ枠組みで考慮できる。数値例も使いながら、世界全体としての消費の成長率が同じであっても、世代内の所得格差が大きい方が割引率が低くなることが示された。

さらに、気候変動枠組条約に関連する資金供与制度に関する研究として、緑の気候基金（GCF）に関して、プロジェクトに関するデータを収集し、データベースとして公表した。また、このデータベースを用いて、GCFによるプロジェクト選定の妥当性や評価方法について検討を行った。

2 研究の成果

2.1 研究プロジェクト1：マルチスケール GHG 変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究

2.1.1 サブテーマ1：大気観測による GHGs 収支のスケール別変動評価

2.1.1.1 目的と経緯

アジア域において依然として深刻な観測空白域であるボルネオ島、中国、インド、バングラデシュ、インドネシア、シベリア、ならびに大都市として重要な東京とジャカルタにおいて温室効果ガス観測の新規立ち上げ及び継続を行うと同時に、自然起源と人為起源による地表での温室効果ガスの収支とその変動要因を明らかにする。また、それらの知見とデータを広く公開し緩和策評価等の研究に利活用する。大気観測データを用いて地表での温室効果ガス収支を推定する逆解析手法の高度化については、全球での CO₂ 収支と CH₄ 収支の長期変化と時空間分布の推定を行うことを目的とした。

2.1.1.2 方法

二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄) 及び一酸化二窒素 (N₂O) の観測に加え、オゾン、一酸化炭素 (CO) 等の短寿命の地球温暖化関連物質の大気中濃度や地上・海上でのフラックス評価などを継続して実施した。アジア太平洋を中心とした観測空白域の解消を進めるため、これまで拡張してきた国内外の地上観測や船舶観測、航空機観測、温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) シリーズの活動と連携した観測、ジャカルタ、東京などの大都市での観測とデータ整備を進めた (図 6)。同時に、得られた観測データを海洋表層 CO₂ データベース (Surface Ocean CO₂ Atlas: SOCAT) 等の国際データベースへ提供した。それら観測データと大気モデルを使ったトップダウン法による地表での温室効果ガスの吸収・放出量推定の精度向上を行うと共に、プロセスモデル等を適用したボトムアップ法による推定手法を充実させることで、全球から地域までのマルチスケールでの温室効果ガス緩和策の評価手法を高度化した。さらに、緩和策評価の基礎となる排出インベントリをマルチスケールの観測・解析システムによって確認し信頼性を向上する手法の開発を進め、安定同位体比や化学的トレーサーを含む観測データ、モデル推定と併せて人為起源排出量の変化傾向とその不確実性を定量的に評価する手法を構築した。

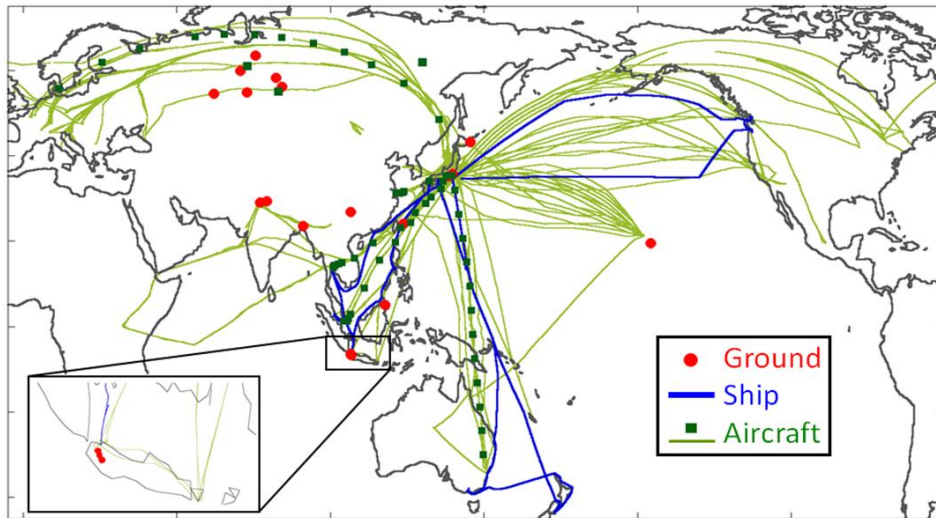


図 6 サブテーマ 1 で構築した観測ネットワーク。地上観測点（赤）には、落石岬、波照間島、富士山頂（標高 3776m）、シベリア（JR-STATION プロジェクトによる 6 基のタワー）、インド、バングラデシュ、中国、マレーシア、インドネシアを含む。船舶観測（青）には日本とオーストラリア・ニュージーランド、日本と北米、アジア諸国を結ぶ定期船に基づく観測を含む。航空機観測（緑）にはシベリアの 3 地点でのチャーター機による定期サンプリングと民間旅客機に基づく CONTRAIL プロジェクトによる観測を含む。

2.1.1.3 結果と考察

アジア域では、依然として深刻な観測空白域であるボルネオ島、中国、インド、バングラデシュ、インドネシアの観測を順調に行い、南アジアの 2 地点については CH_4 の安定炭素同位体比の分析を行い、バングラデシュにおいてメタン排出源が季節で明瞭に異なることを検出した。また、化石燃料起源 CH_4 の指標となるエタンの解析を進め、波照間におけるエタンの観測とモデルとの比較から、東アジアにおけるエタンの放出インベントリが放出量を過小評価していることを見出した。

東京とインドネシア・ジャカルタの大都市からの人為起源 CO_2 排出に着目した観測も順調に実施した。東京では ^{14}C 及び酸素濃度の大气観測を実施し、 CO_2 濃度変動ならびに輸送量を起源ごとに案分した。その結果、冬季の CO_2 変動のうち平均で 29% が生物起源であること、ガソリンと天然ガス消費には日変動や季節変動が観測されたこと、などが明らかとなった。

ジャカルタでは ^{14}C 、 ^{13}C による評価を行いジャカルタ近郊とボゴールでは CO_2 の昼間の変動濃度のそれぞれ 43% と 83% が化石燃料起源であり、残りは生物起源であると推定された。また、メタン燃焼起源の CO_2 の発生やセメント工場の寄与が ^{13}C と組み合わせて検出されたほか、 $\text{PM}_{2.5}$ の重量及び化学成分の連続観測から自動車排ガスによる影響や地域的特徴を明らかにした。さらに、ジャカルタで観測された CO_2 濃度と領域モデルで計算された人為起源・自然起源の CO_2 濃度の日内変化、季節変化の比較結果及び NO_x など他の成分との相関関係を明らかにした²⁾。

西シベリアにおけるタワー観測ネットワーク（JR-STATION）においては CO_2 と CH_4 濃度の連続観測を継続した。本観測で得られた CO_2 データを用いて 2002-2017 の逆解析を行った結果、シベリア域での夏（6～8 月）の吸収量は、2000 年代に比ベ 2010 年代は増加傾向であったことが明らかになった（図 7）。気象要素との比較解析の結果、陸域 CO_2 吸収の増加の原因は、気温の上昇と CO_2 による施肥効果と推定された。

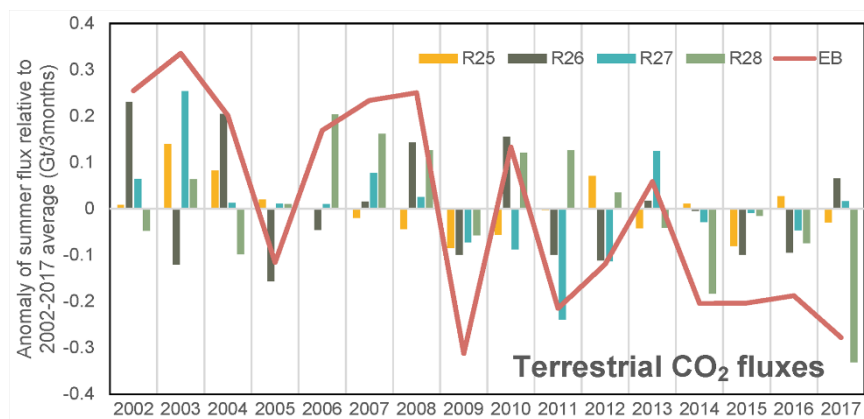


図7 逆解析（GELCAモデル）に基づく夏季（6-8月）のシベリア陸域によるCO₂吸収量（負値が吸収量）

逆解析手法の高度化においては、本サブテーマで得られた観測データ（波照間、落石、富士山、JR-STATION）を含む全球の大气CO₂濃度観測データから、1990年から2019年までの30年間の長期逆解析（NICAMモデル）に基づく全球CO₂フラックスの時空間変動の推定に成功した（図8）。この結果から、北米の東側やヨーロッパ、東南アジアで吸収の増加（または放出の減少）が示唆された。また、この結果は国際共同研究グローバルカーボンプロジェクトの全球CO₂収支の統合解析に利用された。

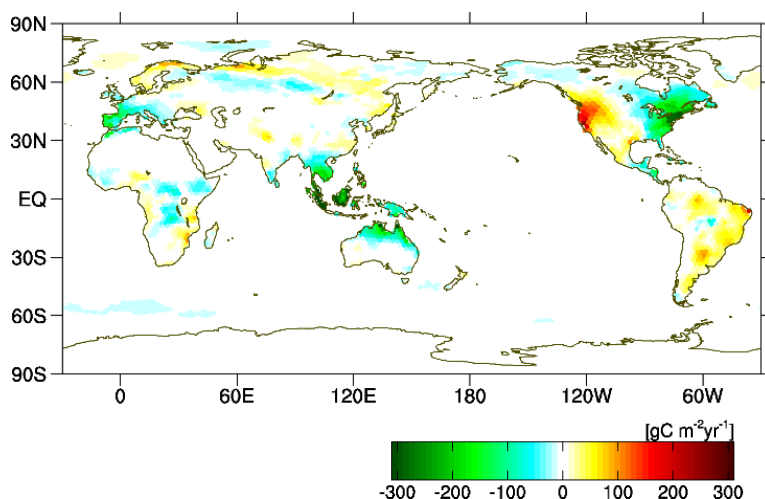


図8 逆解析で推定されたCO₂フラックスの長期変化（2005-2019年と1990-2004年の平均値の差）。赤、緑はそれぞれ放出が増加または吸収が減少、吸収が増加または放出が減少していることを示す。

CH₄については、2000年以降の長期逆解析に基づく全球CH₄フラックスの時空間変動の推定に成功した（図9）。この結果もグローバルカーボンプロジェクトの統合解析に利用された³⁾。さらにこの研究を発展させ、シベリアタワー観測、国環研船舶観測データを加えた解析を行い航空機データとの検証によって精度向上を確認した。本サブテーマによるCO₂とCH₄データ解析に基づき、国内外のボトムアップも含めた統合的な解析研究プロジェクトに貢献し、その成果は全球温室効果ガス収支に関する最新の知見としてIPCC第6次評価報告書にも引用された。

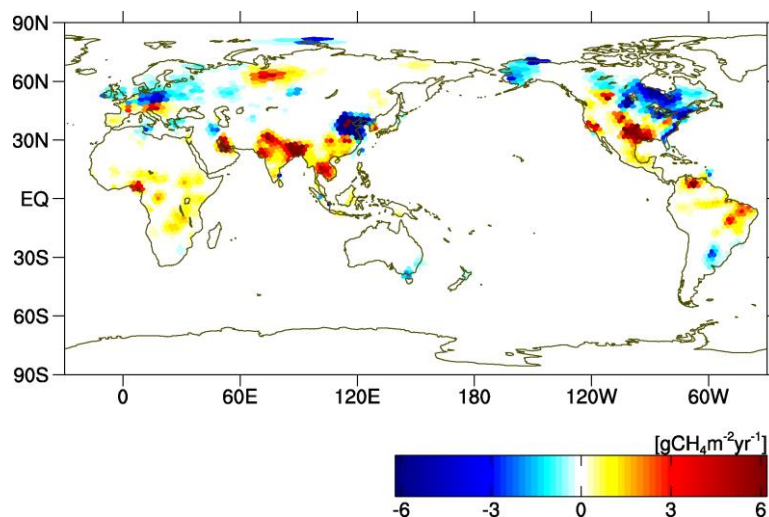


図9 逆解析で推定されたCH₄フラックスの長期変化（2009-2017年と2000-2008年の平均値の差）。赤、青はそれぞれフラックスが増加、減少していることを示す。

次に、全球のCO₂収支評価を目的とした大気酸素観測結果（図10中のAPO）から⁴⁾、過去19年間（2000-2018年）の海洋及び陸上生物圏の炭素吸収量を求め（海・陸の吸収量はそれぞれ2.8Pg-C yr⁻¹及び1.46Pg-C yr⁻¹）、それらの長期的な変動傾向を推定した。同様にCO₂同位体比観測からも過去20年間の炭素収支を解析した結果、海洋吸収は観測開始以降増加傾向にあったが2015年以降減少傾向にある可能性が指摘された。また、陸域生物圏の吸収量は2000年代には増加傾向にあったが2010年代になると減少傾向が認められ、特に2015-16年のエルニーニョ時に吸収量が減少した可能性が指摘された。独立した手法に基づく複数の解析結果が海洋と陸域の両方で詳細に比較され、不確実性の幅を考慮した上でその経年変動の傾向が整合的に解釈できたことは、本サブテーマによって得られた顕著な成果である。

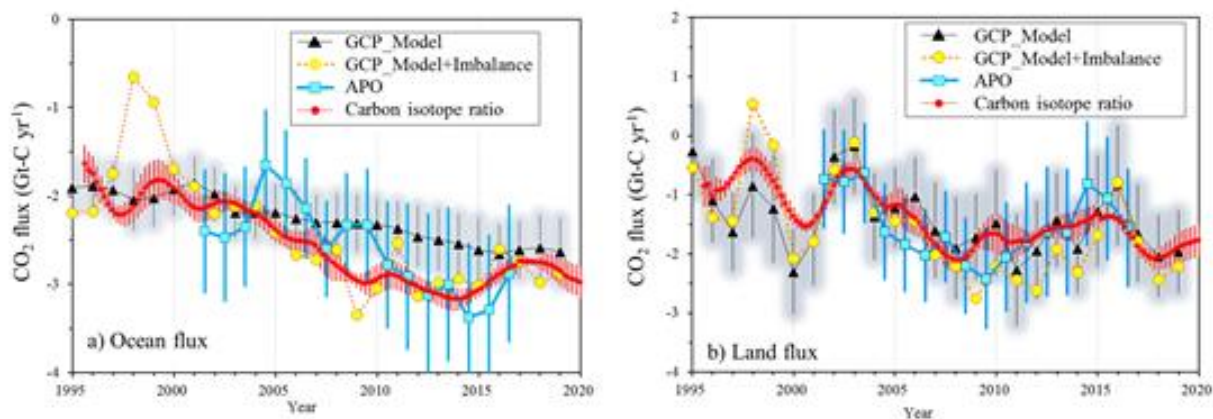


図10 グローバルな二酸化炭素の吸収量に対する観測（本プログラム）とモデル（GCP）との比較ならびにモデルインバランスの評価

このほかに、本サブテーマではGOSATのプロダクト利用研究として光合成によるCO₂吸収量の指標となる太陽光励起クロロフィル蛍光（SIF）を陸域生態系モデルVISITにより導出する手法を開発し、全球SIF推定結果とGOSATの観測結果を比較した。

また、地上フーリエ変換赤外分析計（FT-IR）観測による一酸化炭素、シアン化水素、エタンのデータとモデル計算等と組み合わせた解析を行うことにより、北極域においてこれらの気体が増加する現象の要因分析を行った。

黒色炭素（BC）については、全球化学輸送モデル（GEOS-Chem）によるタグトレーサー実験と観測との比較を行い、北極域の BC に対する発生源寄与の評価を行った。ボトムアップ型インベントリの違いによる北極域の BC 濃度への感度や不確実性の理解を深め、中国からの BC 排出量の推計を行った結果、国際モデル相互比較プロジェクト CMIP6 で使用されているインベントリデータ（CEDS）が中国からの BC 排出量を過大評価している可能性を見出した。この知見も、大気観測とモデルを組み合わせて既存の BC 排出量データに改善を迫ることのできた重要な成果である。

ハロカーボンについては、観測を継続して東アジアにおけるフロン類の排出実態の解明に貢献すると共に⁵⁶⁾、化石燃料起源 CH₄ に随伴して放出されるエタンやプロパンなどの炭化水素類の観測を新たに開始して CH₄ の発生源を明らかにした⁷⁾。

2012 年以降毎年 9~11 月に実施されている研究船「みらい」では、北極圏航海における大気中温室効果ガスの船上観測の結果をラグランジュ型粒子拡散モデルにより解析した。その結果、東シベリア大陸棚（ESAS）からの CH₄ 放出量がこれまでの報告値よりもかなり小さい可能性を明らかにした⁸⁾。

最後に、波照間で観測される CO₂ と CH₄ 濃度の変動比（ $\Delta\text{CO}_2/\Delta\text{CH}_4$ 比）を解析したところ、COVID-19 の影響を受けた 2020 年 2 月に減少し、その後 3~4 月にかけて回復する現象が認められた。冬季の波照間はユーラシア大陸の影響を強く受けること、また中国では COVID-19 の影響で 1 月末以降社会経済活動が停滞したことから、観測された $\Delta\text{CO}_2/\Delta\text{CH}_4$ 比の変化は中国の化石燃料起源 CO₂（FFCO₂）の排出量減少を捉えた可能性が示唆された。そこで、NICAM-TM を用いて中国の FFCO₂ 排出量を変化させながら $\Delta\text{CO}_2/\Delta\text{CH}_4$ 比の変化を計算し、観測結果と一致する FFCO₂ 排出量の変化を推定したところ、中国の FFCO₂ 排出量を 2 月に $32\pm 12\%$ 減、3 月には $19\pm 15\%$ 減と観測結果を説明できることが分かった（図 11）⁹⁾。

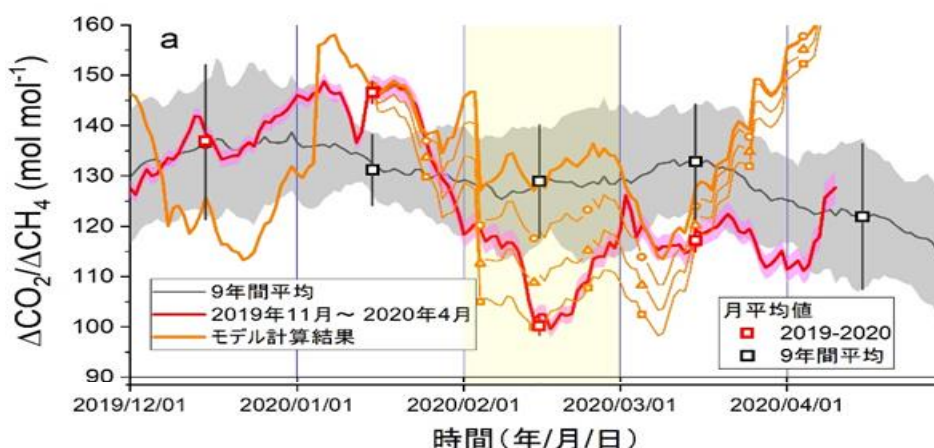


図 11 平年と COVID-19 の影響を受けた年の波照間で観測された CO₂ と CH₄ 濃度の変動比（ $\Delta\text{CO}_2/\Delta\text{CH}_4$ 比）⁹⁾

2.1.1.4 まとめ

世界的に深刻な観測空白域であるアジア域の温室効果ガス観測データを効果的に幅広く取得できるネットワークを整備し、世界の観測網にとって大きく貢献することができた。特に東南アジア、南アジアへの地上観測点の展開を確実に進め、インドネシアでは領域モデルや同位体比観測による温室効果ガスフラックス評価も行い、CO₂ の発生源寄与率の推定とモデルによる組み合わせで、インベントリに関しての知見を蓄積した。船舶によるアジア航路観測の再開、民間航空機によるアジア観測強化も進め、高精度のデータが極めて不足しているアジア域において地上観測だけでは得られない観測網を展開することに成功した。

さらに、世界的に不足している東京やジャカルタなどのメガシティからの人為起源温室効果ガス発生量の評価を目的とし、東京圏での定常観測や民間航空機の離着陸データ解析に基づく温室効果ガス放出の解析を進展させた。シベリア

におけるタワー観測網である JR-STATION による温室効果ガス観測データは不確実性を併記したフォーマットで公開を進めたほか、2002-2017 の逆解析を行い、シベリア域の CO₂ と CH₄ 排出評価を行った。ハロカーボンについては観測を継続して東アジアにおけるフロン類の排出実態の解明に貢献すると共に、化石燃料起源 CH₄ に随伴して放出されるエタンやプロパンなどの炭化水素類の観測を新たに開始して CH₄ の発生源解析を進めた。

本研究期間の後半ではデータの解析を進め、大気酸素観測と CO₂ 同位体比観測から独立に推定した過去 20 年間の炭素収支が非常に良い一致を示し、プロセスモデル等における課題を指摘できた。逆解析モデルの高度化においては CO₂ に加えて CH₄ についても全球のフラックス推定が国際共同研究で比較や統合解析の対象として活用された。黒色炭素などの短寿命気候強制力因子 (SLCF) についてもモデルと観測の比較を通したインベントリの精緻化に大きく貢献することができた。

2.1.2 サブテーマ 2：海洋・陸域の GHGs 収支とそのスケールアップ

2.1.2.1 目的と経緯

本サブテーマでは、サブテーマ 1 で得られる大気観測に基づくトップダウン的手法と比較し得るボトムアップ的手法の高度化を行うことを目的とする。特に、海洋と陸域における温室効果ガスの観測手法とそのスケールアップ手法を高度化する。海洋においては、国際的な海洋表層 CO₂ 観測データベース (Surface Ocean CO₂ Atlas: SOCAT) の pCO₂ データと、海面水温や塩分、クロロフィル a 濃度などの時空間データセットを用いてニューラルネットワーク手法による全球 pCO₂ 分布の推定を算出する。陸域においては特に森林生態系における樹冠上 CO₂ フラックスのデータや土壌呼吸のデータの長期的変化を明らかにすると同時に、近年インドネシアやマレーシアで天然林からオイルパーム林への転換により CO₂ や CH₄ の放出が拡大していることに注目し、ボルネオ島の森林がオイルパーム農園に転換された場合の質量ベース及び地球温暖化係数 (GWP) ベースの炭素吸収・放出量変化についても観測に基づいて定量的に評価する。

2.1.2.2 方法

トップダウン法と比較するボトムアップ法の研究においては、海洋、陸域での温室効果ガス収支の観測手法を高度化する。海洋では、CO₂ 交換量評価に必要となる pCO₂ 分布推定について太平洋域から全球へと拡張し、大気海洋間 CO₂ 交換量の時空間変動を評価した。陸域においては、複数の森林生態系において、観測タワーを使った微気象学的方法や土壌呼吸の自動観測装置を用いて温室効果ガスの吸収量・放出量の観測を行った。国内の森林 (富士山麓) においては過去 12 年間の林床部 CO₂ フラックス観測結果から森林の施業 (間伐) に伴う炭素収支の変化について解析を行った。また、火災やオイルパーム転換など土地利用変化に伴う炭素収支の変化について観測、衛星データ解析、モデルを利用し、多面的な評価を行った。

2.1.2.3 結果と考察

海洋では、SOCAT の pCO₂ データに加えて海面水温や塩分、クロロフィル a 濃度などの時空間データセットに基づき、ニューラルネットワーク手法による 2001 年から 2014 年までの全球 (南緯 60 度～北緯 70 度) pCO₂ 分布を再現し、これを 2019 年まで拡張した。2001 年と 2019 年の 7-9 月における pCO₂ 分布を示した図 12 のとおり、大気中 CO₂ 濃度増加に伴って海洋の pCO₂ 分布も増加傾向にあり、この 19 年で平均 10% 程度上昇した。しかしその増加傾向分布は海洋物理生物学的な影響を受けるため一様ではない。例えば中央アメリカの太平洋近海域においては pCO₂ 増加率が 1 $\mu\text{atm yr}^{-1}$ 程度で推移している一方、カルフォルニア沖では 2.5 $\mu\text{atm yr}^{-1}$ を超える値を示している。これらの海域は船舶モニタリングによる pCO₂ 観測の航路上に位置しており今後も観測を継続、監視することが重要な海域であると言える。また、再現された pCO₂ 分布から大気海洋間 CO₂ 交換量を評価し、サブテーマ 1 で得られたトップダウン手法による全球海洋 CO₂ 交換量と比較したところ両者の海洋 CO₂ 吸収量やその増加傾向が整合的であった。このことから、今後も両手法による海洋 CO₂ 吸収量の比較を行うことで、精緻な CO₂ 吸収量推定が期待できる。

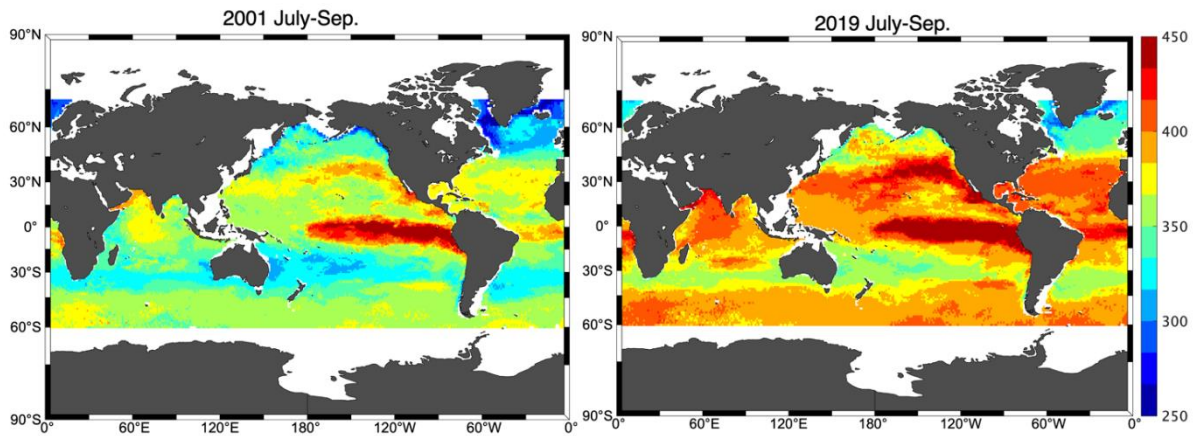


図 12 ボトムアップ手法により推定された 2001 年 (左) と 2019 年 (右) 7-9 月における $p\text{CO}_2$ 分布 (μatm)

陸域では、まず国内の森林 (富士北麓) における 12 年間の林床部炭素フラックス連続観測から、カラマツ林の間伐施業後に林床植生の光合成量が増加したことを明らかにし、間伐によって一時的に低下した森林生態系全体での炭素吸収量の回復を早めたことがわかった (図 13) ¹⁰⁾。

苫小牧カラマツ林の倒壊後の回復過程にある森林では、土壌呼吸を連続測定するための自動開閉型チャンバーを用いて 14 年間の CO_2 フラックス連続観測を行った結果から、台風攪乱後に植生の自然回復による生態系総一次生産 (GPP) の増加に伴い生態系呼吸や土壌呼吸が増加したことが明らかになった。特にシラカバを中心とした木本種類植生の成長は台風攪乱によって放出源に転換した生態系での炭素吸収源の回復を早めたことが本研究から示唆された (図 14) ¹¹⁾。

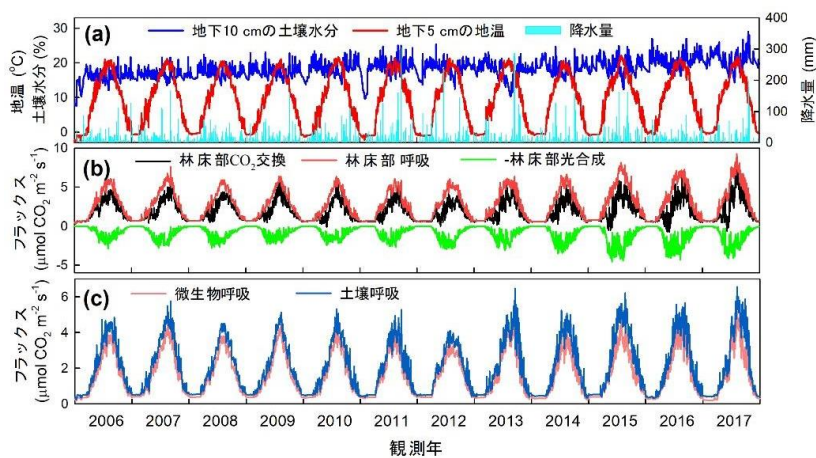


図 13 富士北麓における 2006 年から 2017 年の (a) 地温、土壌水分、降水量、(b) 林床部 CO_2 交換量、同呼吸量、同光合成量、(c) 微生物呼吸量、土壌呼吸量の変化

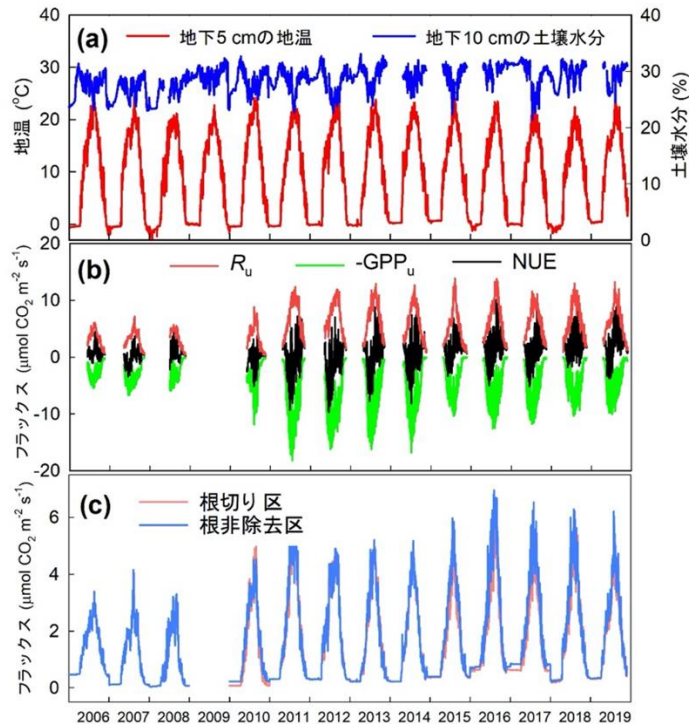


図 14 苫小牧カラマツ林跡地サイトにおける (a) 地温、土壌水分、(b) 林床部呼吸 (R_u)、林床部光合成 ($-GPP_u$)、林床部 CO_2 交換 (NUE)、及び (c) 土壌呼吸、微生物呼吸、の経年変化。

さらに、陸域においては、近年インドネシアやマレーシアで天然林からオイルパーム林へ転換される面積が増大しており、そこから莫大な量の温室効果ガス（特に CH_4 ）が排出されている可能性が指摘されていた。オイルパーム農園内では工場廃水を処理するためのため池（廃水ため池）が複数存在しており、それが重要な排出源と予想された。そこでマレーシアの観測地点で任意のタイミングで同時にサンプリングできるフローティングチャンバーシステムを開発し、温室効果ガス放出量を実測した。その結果、ため池から最大で CO_2 は $400 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ 、 CH_4 は $800 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ という、予想を超えた大きさの放出があることを明らかにした。次にボルネオ島の森林がオイルパーム農園に転換された場合の質量ベース及び地球温暖係数（GWP）ベースの炭素吸収・放出量変化について観測に基づき定量的に評価した。オイルパーム農園から放出される質量ベースの温室効果ガスのほとんどは圃場からの CO_2 だったが、GWP を考慮すると廃水ため池から放出される温室効果ガスは圃場から放出される GWP の 3 分の 1 から 3 分の 2 に達していた。廃水ため池の面積が圃場の面積の 0.4% であることを考慮すると、排水ため池による温室効果ガス放出のインパクトは非常に大きいことを明らかにした。近隣の森林の温室効果ガス収支はほぼ 0 であることから、天然林からオイルパームへの転換が温室効果ガス放出の増加に大きく寄与していることが本研究によって示された。

2.1.2.4 まとめ

全球海洋における CO_2 吸収・放出源推定については極域海洋を除く全球海域で 2001 年から 2019 年までの pCO_2 分布推定が可能となり CO_2 フラックスの時空間分布を評価することができた。さらにサブテーマ 1 で得られたトップダウン手法による全球海洋 CO_2 交換量と本手法による交換量を比較し、両者の絶対値や吸収増加傾向が整合的であると評価できたことは大きな成果であると言える。陸域では森林火災やオイルパームへの転換などホットスポットと呼ばれる地域を対象として土地利用変化に伴う炭素収支の変化について、観測、衛星データ解析、モデルを利用し、多面的に評価を行うことにより次期中長期計画に向けて広範囲な時空間変化を解明する端緒とすることが期待できる。農業や都市活動の影響を受ける陸水域及び陸域や、河川からの物質流入が卓越する沿岸域は、全球炭素循環の定量的な評価に依然として不確実性が大きい領域であるためその解明が引き続き課題である。そのため、観測データの充実とともに、数値モデル

などを開発して陸域-陸水と沿岸域の炭素循環について定量的な評価を行うことが次期中長期計画で取り組むべき課題の一つである。

2.1.3 サブテーマ3: 各種スケールでの緩和策・影響の科学的評価

2.1.3.1 目的と経緯

サブテーマ1及び2と連携し、観測及びモデルを用いて緩和策評価の基礎となるカテゴリ別の人為起源温室効果ガス排出推定を進める。特に、ボトムアップ手法に基づく温室効果ガス収支評価の高度化として、CO₂、CH₄、一酸化二窒素 (N₂O) について起源別で空間分布が詳細化された収支マップを作成する。また、CH₄ 排出量の増加が顕著な東アジアと、温暖化の影響を受けやすい北極域などの地域を対象に、温室効果ガスインベントリ、自然起源のCH₄交換モデル、大気成分観測データ等に基づき排出起源別の寄与率や季節変動の評価を実施する。

2.1.3.2 方法

地域から全球スケールにおいては、陸域生態系モデル VISIT に基づき、CO₂、CH₄、一酸化二窒素 (N₂O) の収支を評価した。東アジアにおいては、CH₄ の排出起源推定に有効な安定炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) の測定システムを開発し、波照間ステーションで採取される汚染イベントの空気試料を用いた観測を行った。CH₄ の $\delta^{13}\text{C}$ 測定システムについては、冷媒を使用しない新たな自動分析システムを構築した。北極域においては、CH₄収支の包括的な評価に向けて、北緯45度以北の陸域について自然起源は湿原、火災、シロアリ、地質学的起源、土壌酸化を、人為起源は化石燃料採掘、都市・工業、農地、家畜、廃棄物を考慮し、自然起源は陸域生態系モデル (VISIT) による計算及び土地利用や火災に関する衛星観測データに基づいて評価し、人為起源は排出インベントリ (EDGAR5.0) を使用し、2000-2015年の平均的なCH₄放出量を評価した。

2.1.3.3 結果と考察

地域から全球スケールにおいては、ボトムアップ手法による温室効果ガス収支評価を高度化し、CO₂、CH₄、一酸化二窒素 (N₂O) について起源別で空間分布が詳細化された収支マップを作成した (図15)。この成果は、国際共同研究グローバルカーボンプロジェクトが推進する温室効果ガス収支の統合解析に大きく貢献した。

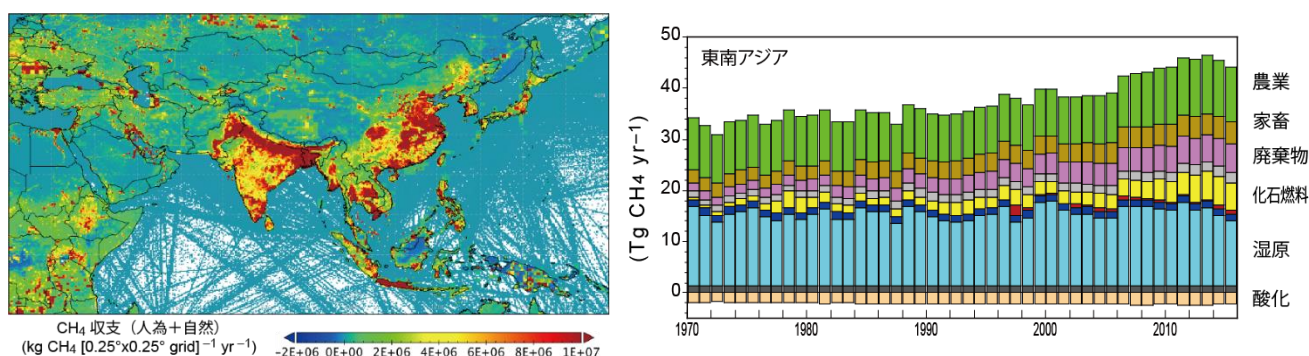


図15 ボトムアップ手法 (自然起源モデル+人為起源インベントリ) で評価したCH₄収支

東アジアにおいては、CH₄ 排出源の定量的理解には不確実性が大きく、特に排出カテゴリ別の寄与の把握は効果的な排出削減に向けた重要な基礎情報である。本サブテーマでは、波照間ステーションで2018年1月に観測されたイベント2例について、CH₄濃度と $\delta^{13}\text{C}$ の変動を求めた (図16)。これらのイベントでは、CH₄濃度の増加にともなって $\delta^{13}\text{C}$ の増加が観測された。東アジアのカテゴリ別CH₄排出マップ¹²⁾と波照間ステーションでのフットプリント (FLEXCPP: <https://db.cger.nies.go.jp/portal/analyses>) を利用して、波照間ステーションにおけるCH₄濃度と $\delta^{13}\text{C}$ のシミュレ

ーションを行った。図 16 の両イベントで、FLEXCPP シミュレーションは高濃度 CH_4 の出現を良く再現した。汚染イベントによって濃度増加への排出カテゴリー別の寄与は異なるが、これらのイベントでは石炭採掘と石油・天然ガス使用に関連した排出（燃料漏出・エネルギー分野）や廃棄物処理に関連した排出が濃度増加に著しく寄与していることが示唆された。一方で、FLEXCPP シミュレーションは $\delta^{13}\text{C}$ の増加を過小推定しており、今後さらにデータ蓄積・解析を進めることで、東アジアのカテゴリー別 CH_4 排出源推定の精度向上に向けて有用な情報提供が期待できることがわかった。

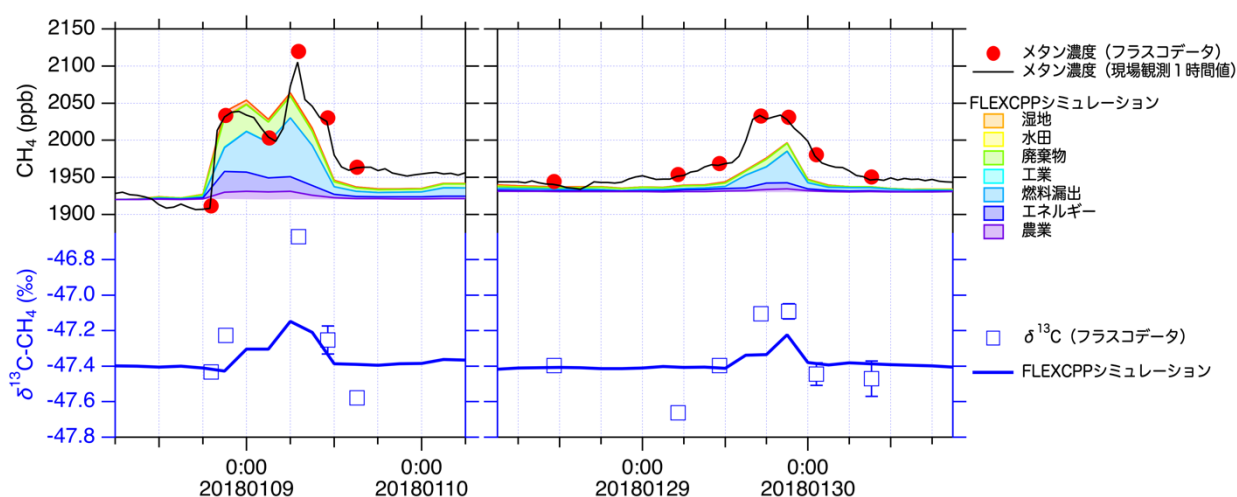


図 16 2018 年 1 月に波照間ステーションで観測された CH_4 濃度（上）と $\delta^{13}\text{C}$ （下）の変動。FLEXCPP による CH_4 濃度のシミュレーション結果（排出カテゴリー別に色分け）と、排出源別の寄与から推定される $\delta^{13}\text{C}$ の変動を併せて示す。

北極域については、北緯 45 度以北の陸域について推定された 2000-2015 年の平均的な CH_4 放出量は $57.2 \text{ Tg CH}_4 \text{ yr}^{-1}$ であり、そのうち約 41% が人為起源によるものであることがわかった（図 17）¹⁾。最大の放出源は湿原であり、自然起源の大部分である $33.9 \text{ Tg CH}_4 \text{ yr}^{-1}$ を占め、カナダ・ハドソン湾低地やロシア・西シベリア低地は大きな放出源となっていた。経年的には、1990 年前後の旧ソビエト連邦の崩壊以降、シベリア地域での化石燃料採掘に伴う漏出起源と推察される放出量は減少したが（図 18）、北欧では近年、石油採掘などに伴う放出増が見られた。自然起源の変動は気象条件に伴うもので、過去 20 年間には顕著な増加傾向は見られなかったが、これまでの研究により湿原放出量と温度変動には相関が見られているため、今後の温度上昇傾向次第では増加幅が拡大することが懸念される。さらに永久凍土融解や火災の激化が進めば、 CH_4 放出量が大幅に増加する可能性もあるため、そのような正フィードバックを防止することは緩和の観点でも重要と考えられる。本研究は文科省・北極域研究推進プロジェクト（ArCS）の一部として実施された。

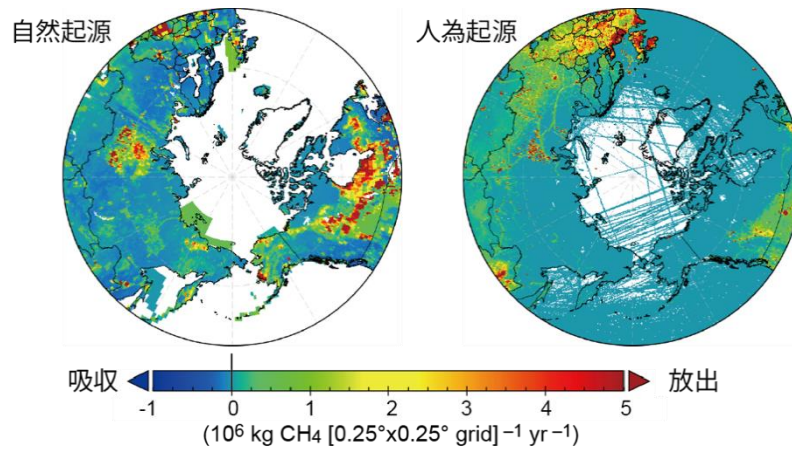


図 17 北半球高緯度域における CH₄ 収支分布。2000-2015 年の平均的な年間フラックス

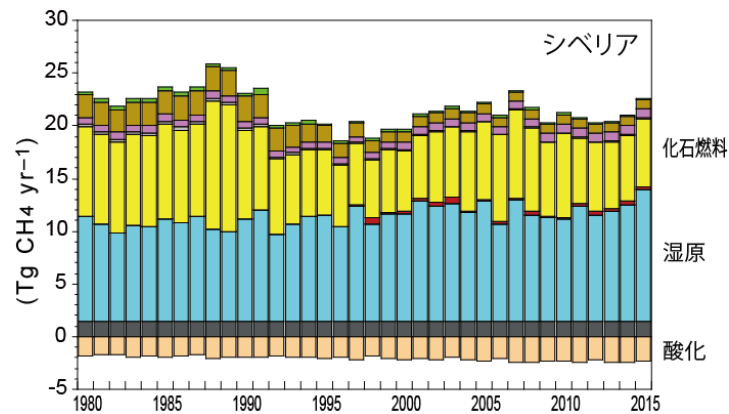


図 18 シベリアにおける CH₄ 発生量の長期変化

2.1.3.4 まとめ

サブテーマ 1 及び 2 と連携し、観測及びモデルを有効に組み合わせて緩和策評価の基礎となるカテゴリー別の人為起源温室効果ガス排出推定を行った。特に、CH₄ 排出量の増加が顕著な東アジアと、温暖化の影響を受けやすい北極域などの地域を対象に、温室効果ガスインベントリ、自然起源の CH₄ 交換モデル、大気成分観測データ等に基づき排出起源別の寄与率や季節変動の評価を行い、長期的な CH₄ 発生量の変動要因やその空間分布について新たな成果を創出することができた。これらの成果は、GOSAT シリーズに基づく観測プロジェクトにおいて、その観測データを使った逆推定による地表排出量評価に必須の先験値情報の高度化にも大きく貢献するものである。

引用文献

- 1) Ito A. (2021) Bottom-up evaluation of the regional methane budget of northern lands from 1980 to 2015, *Polar Science*, 27, 100558. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100558.
- 2) Nishihashi M., Mukai H., Terao Y., Hashimoto S., Osonoi Y., Boer R., Ardiansyah M., Budianto B., Immanuel G.S., Rakhman A., Nugroho R., Suwedi N., Rifai A., Ihsan I.M., Sulaiman A., Gunawan D., Suharguniyawan E, Nugraha M.S., Wattimena R.C., Ilahi A.F. (2019) Greenhouse gases and air pollutants monitoring project around Jakarta megacity, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 303 012038.
- 3) Saunio et al. (2020) The Global Methane Budget 2000–2017, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 1561–1623, <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>.
- 4) Tohjima Y., Mukai H., Machida T., Hoshina Y., Nakaoka S.-I. (2019) Global carbon budgets estimated from atmospheric O₂N₂ and CO₂ observations in the western Pacific region over a 15-year period, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 9269–9285, <https://doi.org/10.5194/acp-19-9269-2019>.
- 5) Rigby M., Park S., Saito T. et al. (2021) Increase in CFC-11 emissions from eastern China based on atmospheric observations, *Nature* 569, 546–550, <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1193-4>.
- 6) Park S., Western L.M., Saito T. et al. (2021) A decline in emissions of CFC-11 and related chemicals from eastern China, *Nature* 590, 433–437. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03277-w>.
- 7) Ikeda K., Tanimoto H., Sugita T., Akiyoshi H., Clerbaux C., Coheur P.F. (2021) Model and Satellite Analysis of Transport of Asian Anthropogenic Pollution to the Arctic: Siberian and Pacific Pathways and Their Meteorological Controls, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126: e2020JD033459, <https://doi.org/10.1029/2020JD033459>.
- 8) Tohjima Y., Zeng J., Shirai T., Niwa Y., Ishidoya S., Taketani F., Sasano D., Kosugi N., Kameyama S., Takashima H., Nara H., Morimoto S. (2020a) Estimation of CH₄ emissions from the East Siberian Arctic Shelf based on atmospheric observations aboard the R/V Mirai during fall cruises from 2012 to 2017, *Polar Science*, 27, <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100571>.
- 9) Tohjima Y., Patra P. K., Niwa Y., Mukai H., Sasakawa M., Machida T. (2020b) Detection of fossil-fuel CO₂ plummet in China due to COVID-19 by observation at Hateruma, *Sci Rep*, 10, 18688. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75763-6>.
- 10) Teramoto M., Liang N., Takahashi Y., Zeng J., Saigusa N., Ide R., Zhao X. (2019) Enhanced understory carbon flux components and robustness of net CO₂ exchange after thinning in a larch forest in central Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 274, 106–117.
- 11) Teramoto M., Liang N., Ishida S., Zeng J. (2018) Long-term stimulatory warming effect on soil heterotrophic respiration in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest in northern Japan. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 12, 1161–1177, <https://doi.org/10.1002/2018JG004432>.
- 12) Ito A., Tohjima Y., Saito T., Umezawa T., Hajima T., Hirata R., Saito M., Terao Y. (2019) Methane budget of East Asia, 1990–2015: A bottom-up evaluation. *Science of Total Environment*, 676, 40–52. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.263.

2.2 研究プロジェクト2: 気候変動予測・影響・対策の統合評価を基にした地球規模の気候変動リスクに関する研究

2.2.1 サブテーマ1: 気候変化の予測・理解・解釈

2.2.1.1 目的と経緯

サブテーマ1では全球気候モデルを用いた数値シミュレーションを実施し、その出力データを解析することにより、過去に起きた気候変化に対する理解を深めると共に、将来の気候変化を予測する研究を実施した。その目的は、気候変化に対する緩和策や適応策の立案を助けることである。上記の目的を達するため、PJ2(1)では気候モデルと影響評価モデルを結び付ける研究に取り組んだ。また、PJ2(1)を開始した2016年は、1.5°Cの温暖化に関するIPCC特別報告書(以下、IPCC SR1.5°C)が公開される2年前であり、IPCC第6次評価報告書第1作業部会(以下、IPCC AR6)が公開される5年前であった。このため、両IPCC報告書の作成に貢献することもPJ2(1)の重要なテーマであった。第4期中長期計画(2016-2020年)においてPJ2(1)が実施した研究は以下の3つに大別できる。「気候モデルと影響評価モデルの統合的利用」、「IPCC SR1.5°Cへの貢献」、「IPCC AR6への貢献」である。以上3つの研究は、いずれも国内外の研究機関と協力して実施した。何故なら、気候モデルの開発と運用には多くの人的資源と計算機資源が必要となるためである。

2.2.1.2 方法

【気候モデルと影響評価モデルの統合的利用】

本研究は、気候変動の影響を従来よりも精密に評価することを目指して実施した。気候変動の影響評価は、気候モデルの出力データに後処理を加えたものを影響評価モデルに入力として与え、シミュレーションを実施する形で行われる。従来は、気候モデルの出力データとして30年間の平均的な気候状態などが用いられてきた。しかし、気候変動の影響を評価する際は30年間の平均的な気候状態だけではなく、熱波や豪雨のような極端現象の頻度や強度も考慮すべきである。このような極端現象の情報を影響評価モデルに入力データとして提供するため、全球気候モデルと領域気候モデルを用いて初期値アンサンブルシミュレーションが実施された。得られた出力データはd4PDF(Database for Policy Decision making for Future climate change)と名付けられて公開され、影響評価研究のために活用されている。このd4PDFは前例に無いほどアンサンブルメンバー数の多いことが特長である。PJ2(1)はd4PDFのデータ構築と解析に貢献した。解析結果の一例を次節(2.2.1.3)で紹介する。

【IPCC SR1.5°Cへの貢献】

本研究は、2015年に採択されたパリ協定で2つの温度目標(2°Cと1.5°C)が設定されたことを受けて実施した。IPCCはUNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change)より招請を受けて、1.5°Cの温暖化に関する特別報告書(IPCC SR1.5°C)を2018年に準備することとなった。この特別報告書を準備するにあたって、1.5°Cと2°Cの温暖化のリスクを評価する研究が急遽、必要となった。しかも、この研究は2016-2017年という短い期間に実施される必要があり、特に、猛暑や豪雨などの極端気象が果たす役割について知見が必要とされていた。以上の必要を満たすために、国際研究プロジェクトHAPPI(Half a degree Additional warming, Prognosis and Projected Impacts)が実施された。HAPPIプロジェクトでは複数の全球気候モデルを用いた初期値アンサンブルシミュレーションが実施され、IPCC SR1.5°Cに対する貴重な情報源となった。HAPPIの出力データの解析により、これまで70報の学術論文が発表されている(2021年12月現在)。PJ2(1)はHAPPIプロジェクトの企画、データ構築及び解析に貢献した。解析結果の一例を次節(2.2.1.3)で紹介する。

【IPCC AR6 への貢献】

本研究において、PJ2 (1) は、結合モデル相互比較プロジェクト第 6 期 (CMIP6, Coupled Model Intercomparison Project phase 6) に参加してシミュレーションデータの構築に貢献した。構築されたデータは IPCC AR6 を作成する際の科学的な基盤となった。CMIP6 に日本から参加した研究グループの一つに、全球気候モデル MIROC (Model for Interdisciplinary Research On Climate) を開発、運用するグループがある。このグループの一員として、PJ2 (1) は MIROC6 の開発、MIROC5/6 によるシミュレーションの実施及び CMIP6 データの解析に貢献した。CMIP6 データを解析する際の狙いの一つは、気候予測の不確実性 (複数の気候モデルによるシミュレーション結果のばらつき) について理解を深め、不確実性の低減を図ることである。そのような解析結果の一例を次節 (2.2.1.3) で紹介する。

また、PJ2 (1) では、近年に観測された極端気象 (例えば猛暑など) の発生確率や強度が、人間活動によりどの程度変化しているか評価する研究 (イベント・アトリビューション、E/A) を実施した。得られた研究成果は IPCC AR6 に対する重要な貢献となるだけでなく、プレスリリースや学術論文として公表されており、温暖化が生活に及ぼす影響について人々の理解を深めるのに役立っている。このような一般の理解は、緩和や適応の方策を議論する際に重要である。E/A 研究の一例を次節 (2.2.1.3) で紹介する。

2.2.1.3 結果と考察

【気候モデルと影響評価モデルの統合的利用】

気温と降水量の極端現象の発生確率に人間活動がどの程度影響を及ぼしているか確認するため、データベース d4PDF の中から、全球気候モデル(MRI-AGCM)を用いたアンサンブルシミュレーションの出力を解析した。具体的には、1951-2010 年の気候を再現するアンサンブルシミュレーション 100 メンバーと、同じ期間で人為起源の温暖化が起こらない仮想的な設定のアンサンブルシミュレーション 100 メンバーを利用した。そして年最低日最低気温、年最高日最高気温、年最大日平均降水量の 3 変数に注目して、過去の記録が更新される確率を 2 つのアンサンブル間で比較した。その結果、過去の記録が更新される確率は人間活動によって北半球陸上を中心に統計的に有意に変化している様子が確認できた。例えば図 19 の左側を見ると、記録破りの暑い昼が発生する確率を過去再現シミュレーション (赤実線) と非温暖化シミュレーション (青実線) で比較できる。2001-2010 年の観測値 (黒破線) と同じ程度の面積で発生する確率は、過去再現シミュレーションの方が非温暖化シミュレーションよりも高い。従って、観測と同じ程度の面積で記録破りの暑い昼が発生する確率は人間活動により高まったことが分かる。図 19 の右側では記録破りの強い雨について同様のことが言える。以上の研究成果は、これまでに例の無いほど多数のアンサンブルシミュレーションの結果 (d4PDF) を活用したものであり、この出力データを利用することで、確率密度分布の裾野にあたる極端現象の再現と変化について十分な議論が可能となったことを例示している。

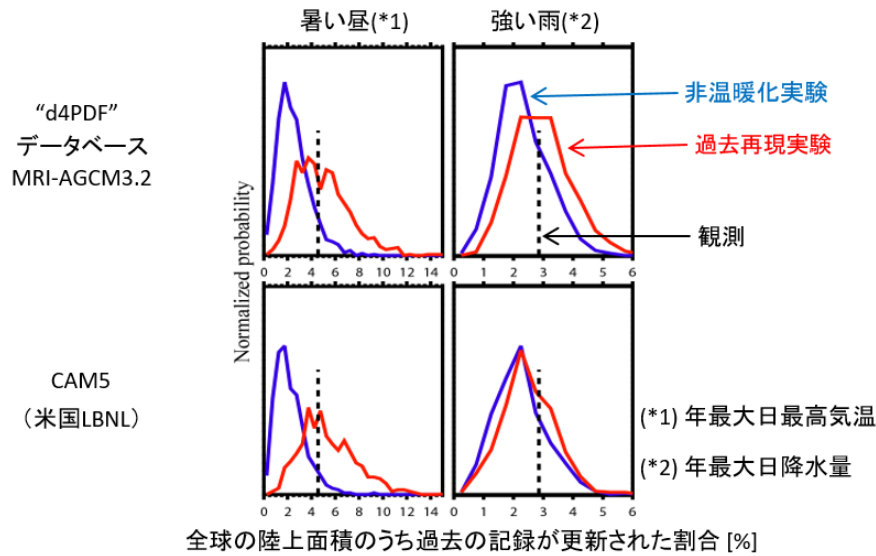


図 19 2001-2010 年に記録破りの暑い昼または強い雨が生じる領域の面積に関する発生確率密度関数。面積は、観測データの存在する陸上面積全体に対する割合 (%) として表現する。暑い昼は年最大日最高気温、強い雨は年最大日降水量を指標とする。上段が d4PDF データベース、下段が気候モデル CAM5 によるシミュレーション結果。Shiogama et al. (2016) の Fig.5(b,c,e,f) を改変。

【1.5°Cの温暖化に関する IPCC 特別報告書への貢献】

パリ協定は、産業革命前からの世界平均気温上昇を 2°C より十分低く、できれば 1.5°C に抑えることを目標に掲げた。そこで、1.5°C 目標を達成できた場合に 2°C 上昇した場合と比べて、極端な気象現象とその影響をどの程度抑制できるのか調べるために、HAPPI プロジェクトのシミュレーション出力を解析した。具体的には、6 つの異なる気候モデルを用いて、産業革命前から 1°C 温暖化した現在の状態と 1.5°C、2°C 温暖化した状態のそれぞれについて、10 年間のシミュレーションを異なる初期値から 100 メンバー程度実施した。そして、約 100 メンバーのシミュレーション出力から極端な気象現象とその影響の発生頻度を算出した。その結果、2°C の温暖化では CO₂ 排出量の少ない国・地域ほど猛暑の頻度の増加率が大きく、CO₂ 排出量の多い国・地域と比べて不公平性が拡大することが分かった (図 20 左、赤実線)。一方、1.5°C の温暖化では猛暑の頻度の増加率が低だけでなく、不公平性 (負の傾きの大きさ) も小さくなる (図 20 左、青実線)。屋外労働者が熱中症のリスクを避けて安全に働くことができる時間が温暖化によりどれだけ減少するか、に注目した場合でも同様の結果が得られた (図 20 右)。但し、図 20 右では裕福な国・地域と裕福でない国・地域の不公平性を図示した。

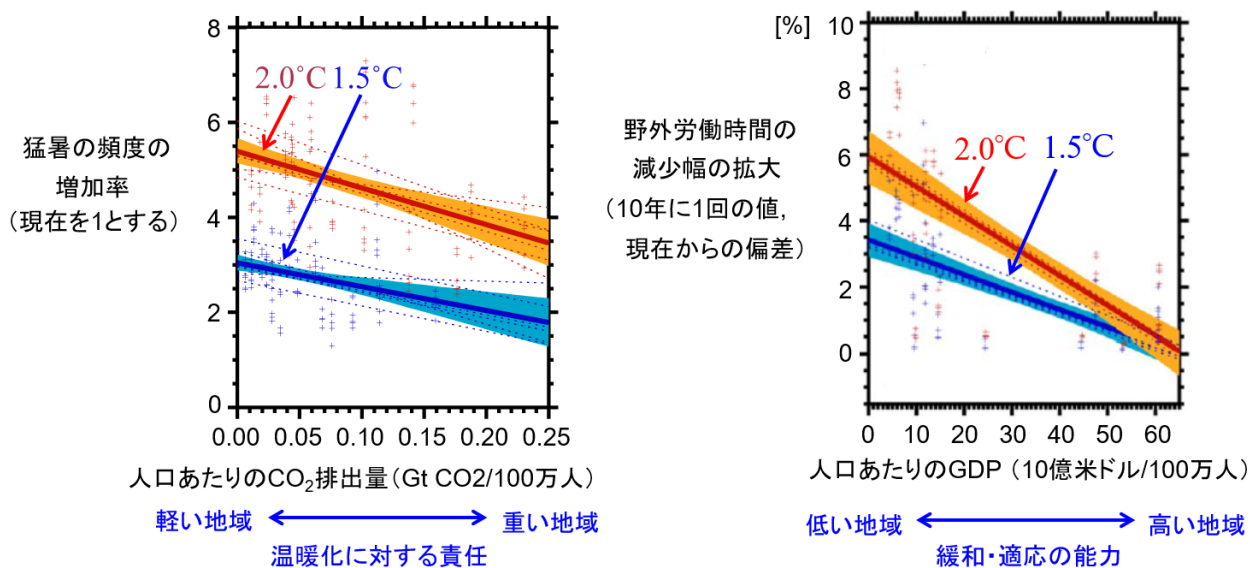


図 20 パリ協定が目標に定めた 2°C 及び 1.5°C の温暖化から生じる猛暑の頻度の増加率（左図）、及び野外労働時間の減少幅の拡大（右図）。横軸は、左図が人口あたりの CO₂ 排出量、右図が人口あたりの GDP。前者が温暖化に対する責任の指標であり、後者は緩和・適応の能力の指標となる。Shiogama et al. (2019) の Fig.4 (a)、5 (b) を改変。

【IPCC 第 6 次評価報告書への貢献】

全球気候モデルを用いた将来予測シミュレーションにおいては、複数のモデルによる結果に不確実性（モデル間のばらつき）があることが知られており、気候変化の社会・経済的影響を予測する上で困難をもたらしている。気候予測の結果がモデル間でばらつく要因として重要視されているのが、亜熱帯海洋上の下層雲である。下層雲は、現在気候において、太陽光を反射して地表を冷やす働きがある。一方、気候が温暖化すると下層雲は減少する傾向が見られ、地表を冷やす働きが弱くなるため、温暖化を加速すると予測されている（正の雲フィードバック）。しかし、複数の気候モデルで将来予測シミュレーションを実施すると、下層雲フィードバックの大きさがモデル間で一致せず、その結果、地表気温の上昇幅がばらつくこととなる。そこで、下層雲フィードバックがモデル間でばらつく仕組みを理解するために、CMIP5/6 のシミュレーション出力を解析した。その結果、下層雲フィードバックの大きさが現在気候の対流活動の強さと関係することが分かった。図 21 を見ると、対流活動が弱いモデルほど下層雲フィードバックは大きく、温暖化が加速される傾向が確認できる。横軸の対流活動度を衛星観測から見積もると 2.5% 程度となり、ほとんどのモデルでは対流活動を観測より過大評価している。縦軸と横軸の関係性、及び対流活動度の観測データを利用すると、雲フィードバックの確からしい値は 0.5-3.4W/m²/°C と推定される。この推定値の幅は CMIP5/6 モデル間のばらつきより小さいため、雲フィードバックの不確実性を観測から制約できることが分かった。

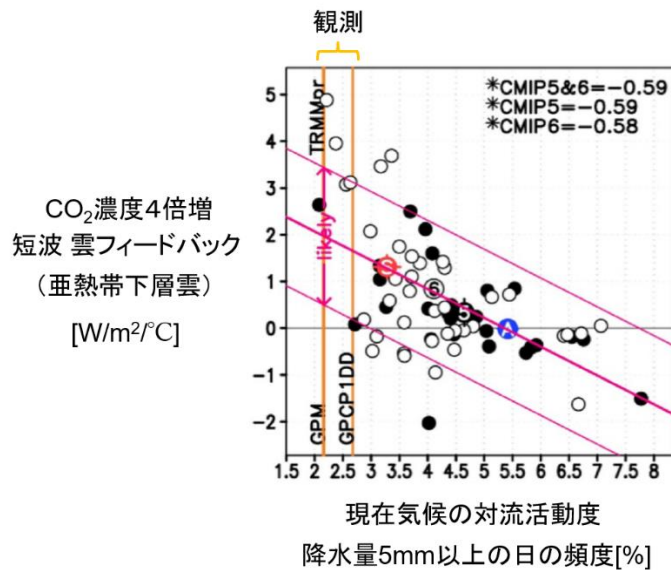


図 21 現在気候における対流活動の強さ（横軸）と CO₂濃度 4 倍増から生じる短波雲フィードバックの強さ（縦軸）の関係。短波雲フィードバックは亜熱帯海洋上で下層雲が分布する領域の平均値であり、正に大きいほど温暖化が促進される。白丸と黒丸は、それぞれ、CMIP 第 5 期と第 6 期に参加した個々の気候モデルの出力を示す。右上の数値は縦軸と横軸の相関係数を示しており、橙色の縦の実線は観測データの位置を示す。Hirota et al. (2021)の Fig.4 (a) を改変。

2020 年 8 月に北西太平洋で海面水温が観測史上の最高値を記録した。海面水温の上昇は台風の発達を促す働きがある。少なくとも 9 月中旬まで続いたこの異常高温は、台風 10 号など熱帯低気圧の勢力を強め、日本や朝鮮半島への被害を大きくした可能性がある。地球温暖化に対する緩和策と適応策を適切に講じるためには、このような地域的異常高温の発生要因を理解することが重要である。そこで、2020 年 8 月の北西太平洋における異常高温に対して人間活動がどのような影響を与えたか調べるために、気候モデルによるアンサンブルシミュレーションの出力データ及び観測データを解析した。その結果、2020 年 8 月に相当する異常高温が発生する頻度は 2001-2020 年の過去再現シミュレーションにおいて約 15 年に一度と見積もられた（図 22 の赤破線と赤実線）。一方、産業革命後の人間活動を無いものと仮定した非温暖化シミュレーションでは発生頻度が 1000 年に一度以下と極めて低い結果となった（図 22 の青実線）。従って、2020 年 8 月の異常高温状態は過去の人間活動による温暖化が無ければ発生する可能性は極めて低かったことが示された。さらに、将来予測シミュレーションの結果から、2031-2050 年には上記の異常高温状態が 2 年に一度以上の頻度で発生する、つまり新たな平常状態となることが予測された（図 22 の黄破線）。また、全球平均気温の産業革命前からの上昇をパリ協定の目標通り 1.5°Cや2°Cに留めたとしても、このような状況は免れない可能性が高いことが分かった。

2.2.1.4 まとめ

PJ2 (1) では全球気候モデルを用いて、過去に起きた気候変化に対する理解を深めると共に、将来の気候変化を予測する研究を実施した。第 4 期中長期計画（2016-2020 年）において実施した研究は「気候モデルと影響評価モデルの統合的利用」、「IPCC SR1.5°Cへの貢献」、「IPCC AR6 への貢献」に大別できる。「気候モデルと影響評価モデルの統合的利用」においてはデータベース d4PDF の構築と解析に貢献した。「IPCC SR1.5°Cへの貢献」においては国際研究プロジェクト HAPPI の企画、データ構築及び解析に貢献した。d4PDF と HAPPI の登場により、影響評価研究においても極端現象を高度な形で考慮することが可能になった。「IPCC AR6 への貢献」においては気候モデル MIROC の開発及び国際研究プロジェクト CMIP6 のデータ構築と解析に貢献した。また、イベント・アトリビューション研究を実施することにより、気候変化が生活に及ぼす影響について人々の理解を深めることに貢献した。

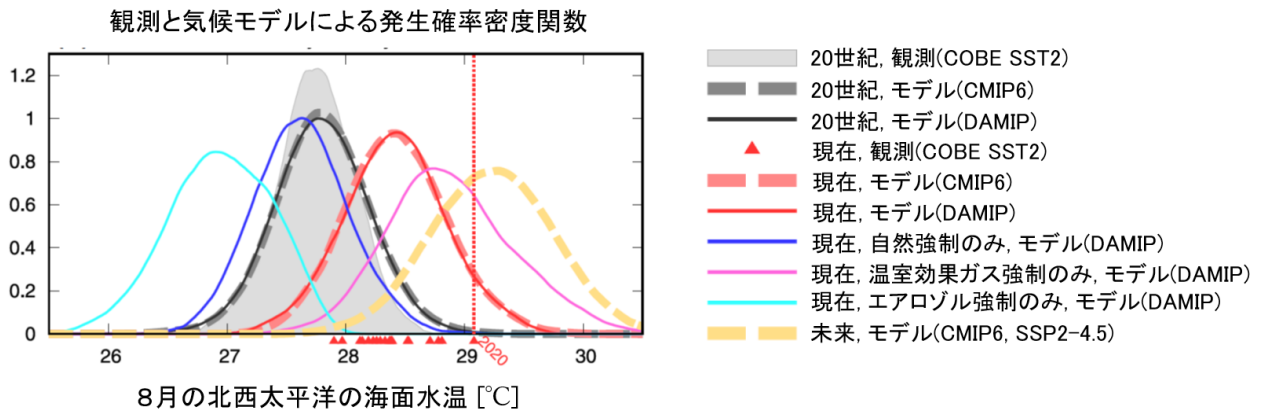


図 22 8月の北西太平洋の海面水温に関する発生確率密度関数。20世紀（1901-2000年）、現在（2001-2020年）、未来（2031-2050年）の値を示す。データは、観測によるものと、気候モデルを用いたシミュレーション出力を使用した。2020年の観測値を縦の赤色の点線で示す。Hayashi et al. (2020)の Fig.2 (b) を改変。

引用文献

- 1) Shiogama, H., Y. Imada, M. Mori, R. Mizuta, D. Stone, K. Yoshida, O. Arakawa, M. Ikeda, C. Takahashi, M. Arai, M. Ishii, M. Watanabe, and M. Kimoto (2016), Attributing historical changes in probabilities of record-breaking daily temperature and precipitation extreme events, SOLA, 12, 225-231, doi:10.2151/sola.2016-045.
- 2) Shiogama, H., T. Hasegawa, S. Fujimori, D. Murakami, K. Takahashi, K. Tanaka, S. Emori, I. Kubota, M. Abe, Y. Imada, M. Watanabe, D. Mitchell, N. Schaller, J. Sillmann, E. M. Fischer, J. F. Scinocca, I. Bethke, L. Lierhammer, J. Takakura, T. Trautmann, P. Doell, S. Ostberg, H. M. Schmied, F. Saeed, and C. -F. Schleussner (2019), Limiting global warming to 1.5°C will lower increases in inequalities of four hazard indicators of climate change, Environ. Res. Lett., 14, 124022, doi:10.1088/1748-9326/ab5256.
- 3) Hirota, N., T. Ogura, H. Shiogama, P. Caldwell, M. Watanabe, Y. Kamae, and K. Suzuki (2021), Underestimated marine stratocumulus cloud feedback associated with overly active deep convection in models, Environ. Res. Lett., 16, 074015, doi:10.1088/1748-9326/abfb9e.
- 4) Hayashi, M., H. Shiogama, S. Emori, T. Ogura, and N. Hirota (2020), The northwestern Pacific warming record in August 2020 occurred under anthropogenic forcing, Geophys. Res. Lett., 48, e2020GL090956, doi:10.1029/2020GL090956.

2.2.2 サブテーマ2: 陸域統合モデルによる低炭素シナリオ統合解析

2.2.2.1 目的と経緯

PJ2 (2) では、気候変動や気候変動対策が人間活動と自然環境に及ぼす様々な影響を評価するために、全球規模の様々な数値モデル（水資源・陸域生態系・作物成長・土地利用モデル及びこれらを結合した陸域統合モデル）を開発・改良し、様々な将来予測シミュレーションとその分析を行った。国際的なモデル研究プロジェクトである気候変動影響の分野横断モデル相互比較プロジェクト（Inter-Sectoral Model Intercomparison Project, ISIMIP）に数値モデルシミュレーション結果を提供し、また他機関が提供したシミュレーション結果の分析を行うことにより、気候変動影響に関する国際的な共同研究を行った。以下では、主として人間活動と水資源の関わりに着目した「水資源の制約が世界規模でのバイオエネルギー生産にもたらす影響の推定」、土地利用変化と陸域生態系の相互作用に関する分析「地球システムモデルで再現された土地利用変化の影響」、また陸面物理過程・水資源・陸域生態系・土地利用のモデルを結合した「陸域統合モデル MIROC-INTEG-LAND による水・土地・生態系予測」に関する研究を報告する。

2.2.2.2 方法

【水資源の制約が世界規模でのバイオエネルギー生産にもたらす影響の推定】

全球平均気温の上昇を 2°C や 1.5°C に抑えるには 21 世紀後半に世界の温室効果ガスの正味の排出量を負にすること（排出量の大幅削減と併せて大気中の二酸化炭素を吸収して減らすこと）が必要である。実現の方法の一つとして二酸化炭素回収・貯留付バイオエネルギー（英語の *Bioenergy with carbon capture and storage* の頭文字を取って BECCS）という技術が注目されている。BECCS は、人類の活動に必要な電気や水素などのエネルギーを、バイオマス生産性の高い植物（以下、エネルギー作物）から作ったあと、発生した二酸化炭素を地中深くに注入する技術である。植物は光合成によって大気中の二酸化炭素を自身のバイオマスに変えるため、BECCS でエネルギーを作るたびに大気中の二酸化炭素濃度は低下することになる。これまでの多くの研究において、2°C または 1.5°C の気候目標を達成するために BECCS の大規模な実施が織り込まれている。しかし、BECCS を大規模に行うと、エネルギー作物の生産のために水と土地などの資源が大量に使用され、食料生産や生態系保全と競合することも指摘されてきた。

こうした中、灌漑はエネルギー作物の生育を促進するため、土地の必要量を減らしながらエネルギー作物の生産を増やす有望な方法と考えられてきた。しかし、エネルギー作物生産のための灌漑に追加的に水を使えば、農業、工業、生活など他の用途を含めた水利用の持続可能性に悪影響を与えることが懸念される。また、河川水や地下水の過剰なくみ上げを行えば、水資源の枯渇という別の環境問題が発生する。食料生産や生態系保全との競合を防ぎつつ、水資源も枯渇させない持続可能な範囲内において、灌漑は世界の BECCS の最大実施可能量（栽培可能面積を最大限利用してエネルギー作物を生産してエネルギー利用・二酸化炭素回収・貯留を行うことで大気中から除去できる二酸化炭素量）をどの程度高めることができるかについては、推定を試みた研究がこれまでなかった。

そこで本研究（Ai et al. 2021）では、国立環境研究所で開発された全球水資源モデル H08（Hanasaki et al. 2018）を利用し、コンピュータシミュレーションを駆使して実施した。H08 は、地球の水循環と人間の水利用を 50km 四方の解像度で、日単位でシミュレーションすることができる。まず H08 に改良を加え、エネルギー作物の成長と灌漑が精度よく表現できるようにした。次に、エネルギー作物が栽培可能な地域を特定した。食料生産、生物多様性、土地劣化、砂漠化への悪影響を防ぐため、農地や自然保護区などを除外し、荒地などの残された土地だけでエネルギー作物が栽培されると想定した。ここで、牧草地を保全するか（Pasture Protection、以下 PP）、転換するか（Pasture Conversion、PC）については、両方とも検討することにした。次に、持続可能な水利用の条件を、（1）現地及び下流の農業・工業・生活・環境用途の水利用量を確保すること、（2）再生可能でない水源からの取水に依存しないこと、（3）水ストレス指標を高めないことと定義した。最後に、a) 灌漑しない（灌漑なし）、b) 持続可能な水利用の条件に合うように灌漑する（持続可能な灌漑）、c) 同条件を無視して必要なだけ灌漑する（完全な灌漑）、の 3 通りについてシミュレーションを行い、結果を分析した。

【地球システムモデルで再現された土地利用変化の影響】

低炭素社会の実現において陸域生態系における土地利用は重要な要因であり、近年の地球システムモデルにおいても陸域の諸過程を扱うスキームに土地利用の影響を組み込む試みが進められている。CMIP6 には土地利用にフォーカスしたモデル相互比較プロジェクト（LUMIP）が含まれ、世界の地球システムモデルによる将来土地利用シナリオを用いた分析が行われた。その結果は、現在の地球システムモデルにおいて森林破壊や耕作放棄地などの土地利用のモデル化は標準化されておらず、共通のシナリオを用いた場合でも土地利用が陸域の炭素ストックや正味収支に与える影響は大きく異なる（不確実性が高い）ことが示された。そこで本研究（Ito and Hajima, 2020）では、地球システムモデルにおける陸域の諸過程及び土地利用影響の推定を改善するための問題点を明確することを目的として、日本で開発された MIROC-ES2L において土地利用変化がどのような影響を与えているかを調べた。データとしては、地球システムモデル MIROC-ES2L により、IPCC 第 6 次評価報告書に向けて LUMIP が設定したプロトコルに基づく実験出力データを使用した。土地利用シナリオデータセット LUH2 のうち ssp126、ssp370 を入力に用いた計算を行い、自然植生の耕作地化、土地利用変化が地表面のエネルギー、水、炭素収支にどのような影響を与えたかを調べた。

総取水量（4001 km³ yr⁻¹）に匹敵し、巨大な量と言える。さらに、これらの水は河川などの再生可能な水源で賄うことは到底できず、73-78%もの割合を再生可能でない水源からのくみ上げに頼らざるを得ないことが分かった。

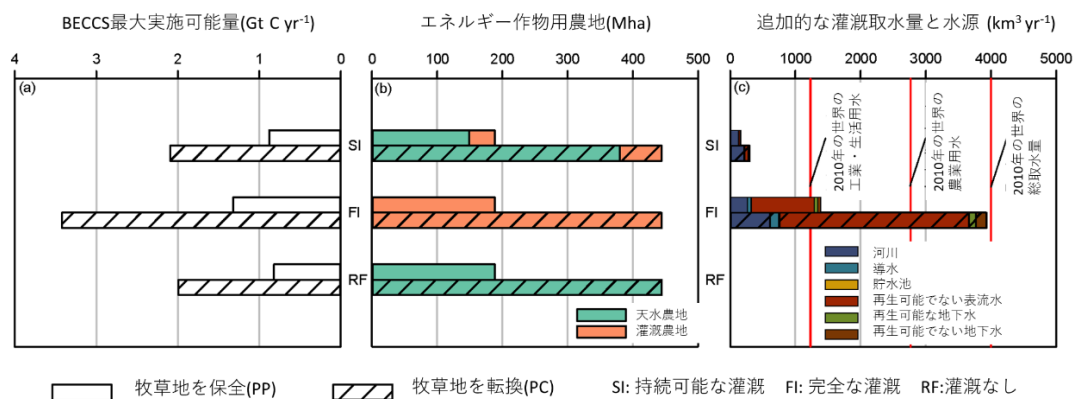


図 24 (a) BECCS 最大実施可能量（炭素換算 10 億 t yr⁻¹）、(b) エネルギー作物用農地（百万 ha）、(c) エネルギー作物生産に伴う追加的な灌漑取水量と水源（km³ yr⁻¹）

これまで、灌漑によってエネルギー作物の生産性を高められ、必要になる農地も抑えられるという楽観論があったが、地球水循環と人間水利用を時空間詳細に計算することのできる全球水資源モデル H08 を使って、食料生産や生物多様性を考慮した土地利用シナリオの下で、下流域を含む水利用の持続可能性を考慮したシミュレーションの結果、持続可能な灌漑では、BECCS の最大実施可能量をわずかにしか増やすことができないことが明らかになった。また、本研究による持続可能な灌漑による BECCS の最大実施可能量（0.88～2.09 Gt C yr⁻¹）は、1.5℃または 2℃目標を達成するための BECCS の必要量である 1.6～4.1 Gt C yr⁻¹ の下限に近く、パリ協定の目標を達成する上で果たすであろう BECCS の役割について再検討する必要があることを示唆している。本研究の技術や成果は、気候、水、土地利用などに関する複数の持続可能な開発目標（SDGs）を同時に達成するために多くの示唆を与えるものでもある。

【地球システムモデルで再現された土地利用変化の影響】

過去の森林破壊を与えた実験では、地表における日射の反射率などが徐々に変化し、陸域全体の正味のエネルギー吸収と大気への蒸発散量が徐々に減少する状況が再現されていた。伐採で森林の炭素ストックが減少した地域では、炭素の平均滞留時間が短縮される（炭素循環が加速される）傾向が見られた。このような状況は観測とも整合的であった。将来実験では、将来の食糧需要などによる耕作地拡大などの土地利用変化が、土壌水分から河川への流出量や植生バイオマスに相当の影響を与えることが示された。感度実験（図 25）により影響パターンを調べた結果からは、将来の土地管理が気候変動に影響を与え、対策としても重要であることが示唆された。

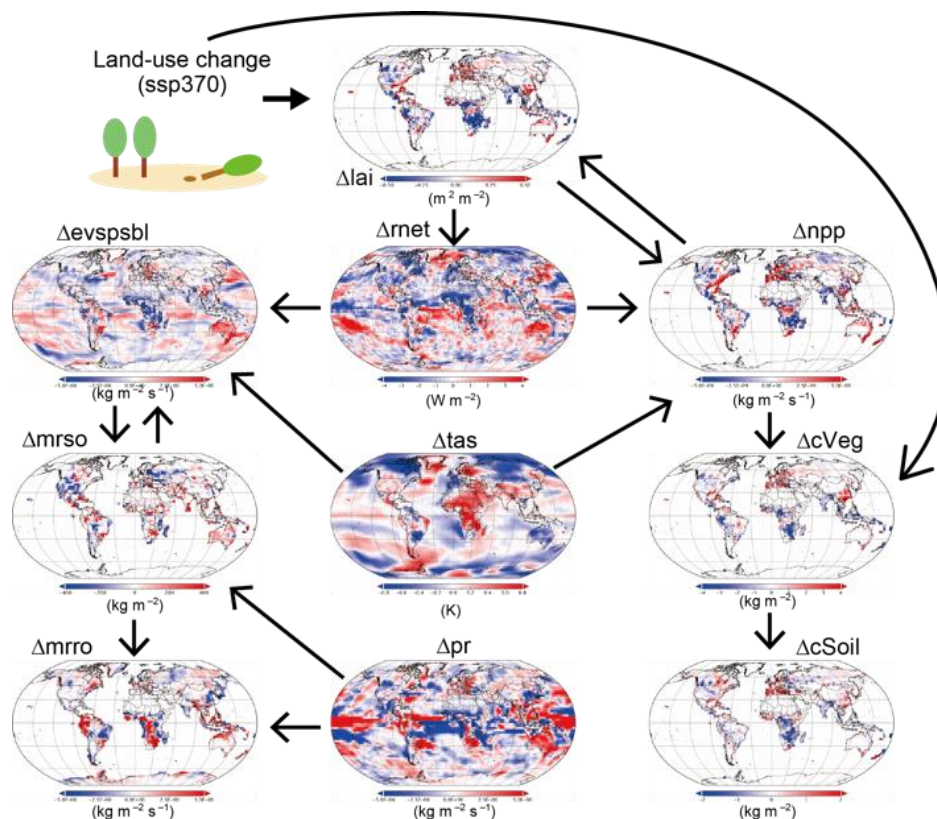


図 25 MIROC-ES2L でシミュレートされた土地利用変化によって引き起こされる影響の関係。青は土地利用の感度実験における減少、赤は増加を示す。土地利用変化（左上、ssp370 シナリオ）により、まず植生が破壊された場所では葉の量 (lai) やバイオマス (cVeg) が減少し、その結果、エネルギー収支 (met)、蒸発散(evpsbl)や流出 (mrro) が変化した。また植生の生産力 (npp)、土壌炭素 (cSoil) にも影響が生じた。さらにモデル計算は、地表のエネルギーや水の収支が変化することで、地表の温度 (tas) や降水 (pr) にも影響が及ぶことを考慮している。なお、乾燥地を農地に転換するなど、別の土地利用変化により影響が生じている場所も見られた。

【陸域統合モデル MIROC-INTEG-LAND による水・土地・生態系予測】

将来の気候変動と社会経済の変化と、作物の成長・土地利用・水資源利用の関係を調べた結果が図 26 である。陸域統合モデルにおいて、気候変動と CO₂ 施肥効果 (CO₂ 濃度増加による作物収量の増加) を考慮した場合としない場合の計算を行い、これらの要素が土地利用変化や水資源利用に与える効果を示す。気候変動を考慮しない場合には (水色)、気候変動を考慮した場合 (赤) に比べて、作物収量が大きくなるため (図 26a)、食料需要を満たすための農地面積が抑えられる (図 26b)。これにより、気候変動を考慮しない場合には水需要も少なく抑えられる (図 26c)。これらの関係において、CO₂ 施肥効果も非常に重要な役割を果たし、CO₂ 施肥効果も気候変動も考慮しない場合 (緑) には、作物収量が小さくなるために、より多くの農地が必要となり、水需要も大きくなる。この結果、気候変動と CO₂ 施肥効果に伴う作物収量の変化が、将来の穀物農地と水需要に大きな影響を及ぼすことを示す。

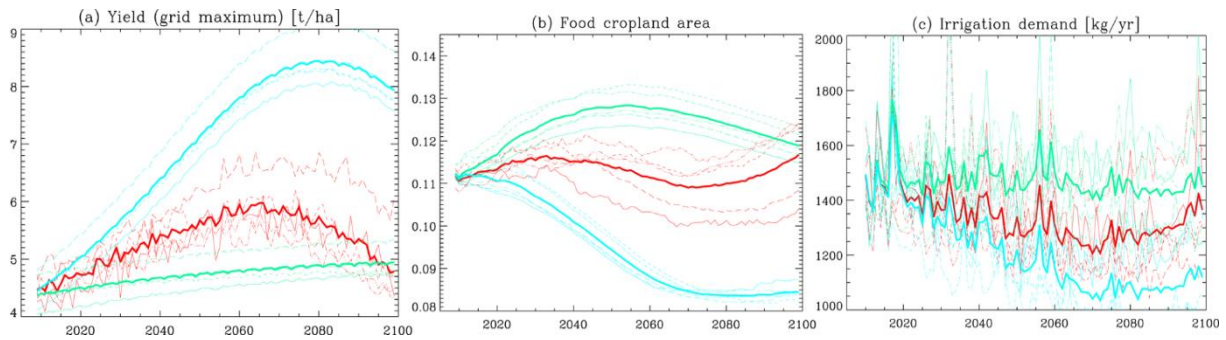


図 26 陸域統合モデル (MIROC-INTEG-LAND) による RCP8.5 にもとづく将来予測の全球平均時系列 (a) 作物収量 [t/ha]、(b) 穀物農地面積 [陸域の面積割合]、(c) 灌漑水需要 [kg/yr]。赤線が気候変動と CO₂ 施肥効果を考慮した結果、水が気候変動を考慮しない結果、緑が気候変動と CO₂ 施肥効果の両方を考慮しない結果 (Yokohata et al. 2020)。

2.2.2.4 まとめ

PJ2 (2) によって開発・改良された全球モデルは、人間活動と自然環境の非常に複雑な相互作用を考慮することのできる最先端のモデルである。これらのモデルを利用して様々なシミュレーションを行い、得られた結果の分析を行うことにより、将来の気候変動が及ぼしうる様々な問題や、気候変動対策の有効性や起こり得る問題点に関する知見を得ることができた。モデル研究によって得られた結果のうち、気候変動に直面する多くの人々にとって意味のあると考えられる成果に関しては報道発表を行い、ホームページ上での内容の解説を行った。また、気候変動がもたらす影響に関して市民と話し合うワークショップ (<https://cger.nies.go.jp/cgemews/201911/347005.html>) なども開催し、研究成果を社会に還元することにも力を入れた。引き続き、最先端の人間活動—自然環境モデルの開発と改良を行い、将来の気候変動のリスクを明らかにするとともに、有効な気候変動対策に関する知見を得ることにより、社会が低炭素・脱炭素に向かうことに貢献することを目指す。

引用文献

- 1) Ai, Z., N. Hanasaki, V. Heck, T. Hasegawa, and S. Fujimori (2021), Global bioenergy with carbon capture and storage potential is largely constrained by sustainable irrigation, *Nature Sustainability*, doi: 10.1038/s41893-021-00740-4.
- 2) Hanasaki, N., S. Yoshikawa, Y. Pokhrel, and S. Kanae (2018), A global hydrological simulation to specify the sources of water used by humans, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22(1), 789-817, doi: 10.5194/hess-22-789-2018.
- 3) Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Fifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Kheshgi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian, and M.V. Vilariño (2018), Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].
- 4) 森田茂紀編著, 2018: エネルギー作物学, 180p, 朝倉書店.
- 5) Ito A, Hajima T (2020) Biogeophysical and biogeochemical impacts of land-use change simulated by MIROC-ES2L. *Progress in Earth and Planetary Science* 7: 54. DOI: 10.1186/s40645-020-00372-w
- 6) Yokohata, T., Kinoshita, T., Sakurai, G., Pokhrel, Y., Ito, A., Okada, M., Satoh, Y., Kato, E., Nitta, T., Fujimori, S., Felfelani, F., Masaki, Y., Iizumi, T., Nishimori, M., Hanasaki, N., Takahashi, K., Yamagata, Y., Emori, S. (2020) MIROC-INTEG-LAND version1: A global bio-geochemical land surface model with human water management, crop growth, and land-use change. *Geosci. Model Development*. 13, 4713-4747

2.2.3 サブテーマ3: 人間・社会的側面からの気候変動影響・適応・緩和策評価

2.2.3.1 目的と経緯

PJ2 (3) では、影響予測モデルと対策評価モデル（統合評価モデル）の統合利用、最新の社会経済シナリオ（共通社会経済経路とその派生シナリオ）の応用を通じて、気候変動影響・適応策と緩和策の相互作用の評価を実施するとともに、全球排出経路モデルの高度化を踏まえた政策分析を実施した。

そのうち、気候変動影響・適応策と緩和策の相互作用の評価に関しては、「モデル相互比較による作物収量変化と緩和策実施が食料安全保障に及ぼす影響の分析」、「複数分野にわたる世界全体での地球温暖化による経済的被害の推計」、「影響の全球平均気温上昇に対する線形近似性の評価」について方法・結果を報告する。一方、全球排出経路モデルの高度化をふまえた政策分析に関しては、「簡易統合評価モデル ACC2 を用いたパリ協定の温度目標と排出目標の間の整合性について評価」について報告する。

2.2.3.2 方法

【モデル相互比較による作物収量変化と緩和策実施が食料安全保障に及ぼす影響の分析】

世界農業経済モデル比較（AGMIP-GlobalEcon）に参加し、気候変化に伴う作物収量変化と緩和策実施が食料安全保障（特に飢餓リスク）に及ぼす影響の共通前提条件での分析を実施するとともに、各国研究チームによる分析結果の比較に基づく共同研究論文の作成を主導した（Hasegawa et al., 2018）。気候変化ならびに GHG 排出削減策が農作物の生産・消費や食料価格に及ぼす影響については、8 つの統合評価モデルあるいは農業経済モデルが用いられた。分析には各モデルが出力する一人当たり食料消費カロリー、食料価格、さらにそこから導出される飢餓リスク人口、食料支出の4指標を用いた。モデル内で GHG 排出削減策は世界一律の炭素税を課すことで表現された。この炭素税は次の3つの経路で食料安全保障に影響をもたらす。第一に、農業由来の GHG 排出に炭素税が課されることで農業財（農業部門の生産物）の価格が上昇し生産・消費が抑制される。第二に、農業地（農地、牧草地）の拡大に伴う土地利用変化由来の

GHG 排出に炭素税が課させることにより土地の価格が上昇し、これも食料価格の上昇、食料消費の減少を招く。第三に、化石燃料に炭素税が課されるとバイオエネルギーの需要が増加し、これもまた土地価格や食料価格の上昇、食料消費の減少につながる。

将来分析のシナリオとしては、GHG 排出削減策を取らず気候変動が加速するケース（気候変動加速ケース; RCP6.0）と、GHG 排出削減策を取り気候変動が緩和されるケース（対策ケース; RCP2.6）の2種類を検討した。この2ケースは共に気候変動による作物収量への影響を受け、今世紀末の世界の平均気温が産業革命前比でそれぞれ 2.7°C（RCP6.0）、1.6°C（RCP2.6）上昇に相当する。また、RCP2.6では、GHG 排出削減策を取るために、GHG 排出に対して炭素税を課すことを想定した。また、この気候変動加速ケースと対策ケースに対して、3つの異なる人口や GDP といった社会経済状況の将来変化想定（SSP1-3）で同様に解析を行いモデル出力の頑健性を確認した。さらに、参照シナリオとして、気候変動緩和策を取らず仮想的に気候変動影響がないと仮定したベースラインケースを準備した。

【複数分野にわたる世界全体での地球温暖化による経済的被害の推計】

環境研究総合推進費課題 S-14-5 の一環として、分野別影響予測情報の世界経済モデル AIM/CGE への実装と新シナリオ枠組での経済影響の統合評価を実施した（図 27; Takakura et al. (2019)）。地球温暖化によって影響を受けると考えられている主要な9つの分野（農業生産性、飢餓、暑さによる死亡、冷暖房需要、労働生産性、水力発電、火力発電、河川洪水、海面上昇）を対象として、被害額の推計を実施した。将来の温室効果ガス排出量や社会経済状況については、RCP 及び SSP と呼ばれる気候変動研究において広く用いられているシナリオ（将来の仮定）を用いた。RCPs（Representative Concentration Pathways）は温室効果ガスの排出量についてのシナリオで、RCP2.6（2°C目標相当）、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5（緩和策無し）の4種類のシナリオを利用した。

各分野における影響の被害額への換算は、以下の3つの方法によって行った。1つ目は、物理的に計算される影響を直接被害額に換算する方法であり、過去に起きた災害における物理的影響等と被害額の関係から、被害額を予測する式を作成した（河川洪水・海面上昇）。2つ目は、経済モデルを用いる方法であり、物理的に計算される影響を経済活動に影響を与えるパラメータ（生産性など）に変換した上で、経済モデルに入力して経済的影響（GDP の変化）を推計した（農業生産性・飢餓・冷暖房需要・労働生産性・水力発電・火力発電）。3つ目は、統計的生命価値と呼ばれる方法であり、死亡のリスクを回避するための支払い意思額によって1人あたりの生命の価値を金銭換算し、推計された地球温暖化による死亡者数と掛け合わせることで求めた（飢餓・暑さによる死亡・河川洪水）（図 27）。

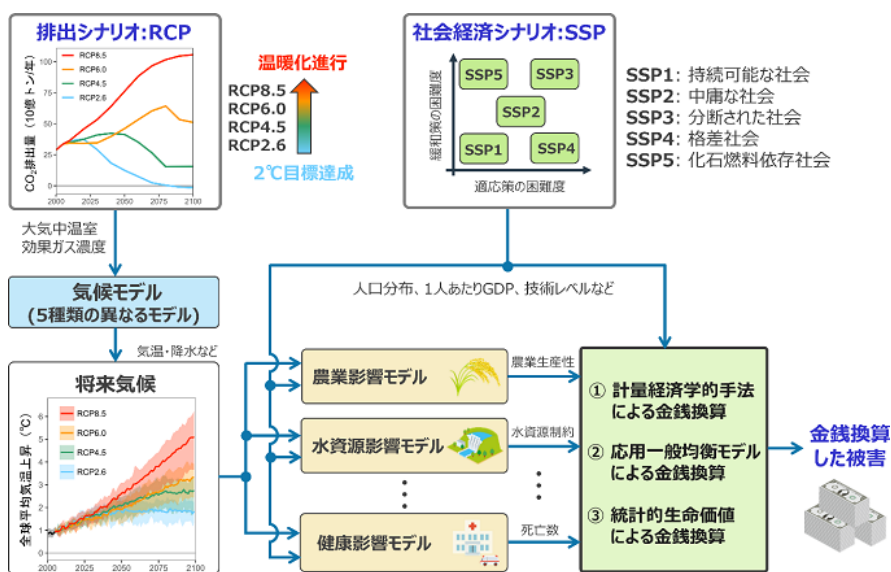


図 27 地球温暖化による被害の金銭換算の流れ

【影響の全球平均気温上昇に対する線形近似性の評価】

影響の簡易分析手法開発の一環として、各種影響の全球平均気温上昇 (Δ GMT) に対する線形近似性について評価した (Tanaka et al., 2017)。仮に温暖化影響の変化が全球平均気温上昇 (Δ GMT) に対し線形と近似できるなら、ある Δ GMT レベルの線形的な延長として単純に各レベルの影響を推計できる。一方非線形であれば、 Δ GMT レベルが近くても影響には大きな差が生じる場合が考えられ、注意が必要である。本研究では、陸域生態系及び水資源関連指標について、影響の変化が Δ GMT に対して線形か非線形かを統計的手法を用いて分析した。陸域生態系指標は、植生純一次生産 (NPP)、野外火災による CO_2 放出 (Fire)、土壌流出 (Erosion) の 3 指標で、VISIT モデルの出力を用いた。水資源指標は、表面流出量 (Runoff) の 1 指標とし、H08 モデルの出力を使用した。現在 (1981–2000 年) と将来 (2010–2099 年) について 1 年間隔、全球 0.5° 格子のデータを、各 10 年代平均 (現在データは 20 年平均) し、全球 (WLD) 及び 7 地域 (EUR: ヨーロッパ、ASA: アジア、RUS: ロシア、LAM: 中南米、MAF: 中東アフリカ、NAM: 北米、OCN: オセアニア) に領域集計して、現在の値に対する比を解析対象とした。影響評価の入力となる気候シナリオは、5 つの GCM \times 4 つの RCP シナリオの計 20 シナリオである。解析対象データを 1981–2000 年平均からの全球平均気温上昇 (Δ GMT8100) の 0.1°C 刻みのビン ($0.3\sim 3.5^\circ\text{C}$) に、各々 $\pm 0.25^\circ\text{C}$ から重複を許して分類した。そして、 Δ GMT8100 = 1.5°C (Δ GMT = 2.0°C ; 工業化前比) のビンのデータを線形的に延長したものと各ビンのデータの間、母平均の有意差があるか統計的検定を実施した。有意水準は 10% とし、検定により有意差があった場合に非線形とみなした。

【簡易統合評価モデル ACC2 を用いたパリ協定の温度目標と排出目標の間の整合性について評価】

簡易統合評価モデル ACC2 (Aggregated Carbon Cycle, Atmospheric Chemistry, and Climate Model) を活用し、パリ協定の温度目標 (いわゆる 2°C 目標と 1.5°C 目標) 及び排出目標 (21 世紀後半に人為の GHG 排出を正味ゼロ) を達成するための最小費用排出経路の分析を実施し、特に、(しばしば同値として扱われる) 温度目標と排出目標の間の整合性について評価した (Tanaka et al., 2018)。ACC2 は、炭素循環、大気化学、物理気候動態、緩和費用に関わる全球レベルの主要なプロセスを記述しており、地球科学と環境経済学の知見が必要とされる長期的な気候政策を主な分析対象とする。本研究では、ACC2 の最適化アルゴリズムにより、モデル中の気候感度等の不確実なパラメータについて、過去の観測データやその他の知見と整合性を満たすよう設定した。

2.2.3.3 結果と考察

【モデル相互比較による作物収量変化と緩和策実施が食料安全保障に及ぼす影響の分析】

2°C 目標の達成に向けた強い GHG 排出削減策を実施する場合 (RCP2.6)、中庸な社会経済条件 (SSP2) では、気候変動緩和策を取らず仮想的に気候変動影響もないと仮定したベースラインと比べて、食料消費は年世界全体で平均 $110\text{kcal}/\text{日}/\text{人}$ 低下し、飢餓リスク人口は 7800 万人増加となった。一方、緩和策を実施しないシナリオ (RCP6.0) では気候変動による作物収量変化によって食料消費は $45\text{kcal}/\text{日}/\text{人}$ 低下し、飢餓リスク人口は 1500 万人の増加となった (図 28 右)。また、GHG 排出削減策を強く実施すればするほど、食料安全保障への影響は大きくなることが示された。すなわち、炭素税の上昇に伴って、食料価格は上昇・食料支出は増加し、食料消費が減少、さらには飢餓リスク人口が増加することが示された。地域別にみると、サブサハラアフリカ、南アジア (インドとその他アジア) で大きな負の影響が見られた。これらの地域は、気候変動緩和策を取らず仮想的に気候変動影響もないと仮定したベースラインにおいて、2050 年世界全体の飢餓リスク人口のそれぞれ 40%、20% を占めるが、RCP2.6 の GHG 排出削減策の実施によって、ベースラインからさらに 1200 万人、1600 万人の飢餓リスク人口が増加することが示された。

この結果は GHG 排出削減策の経済合理性だけでなく、飢餓リスクに直面する低所得者、GHG 排出部門や地域の特性を考慮し、炭素税率を部門によって変える、直接排出を規制する、補助金を用いる、あるいは炭素税収を食料安全保障対策に充当するなど、多様な政策オプションを取る可能性を検討することが望ましいことを示唆するものである。

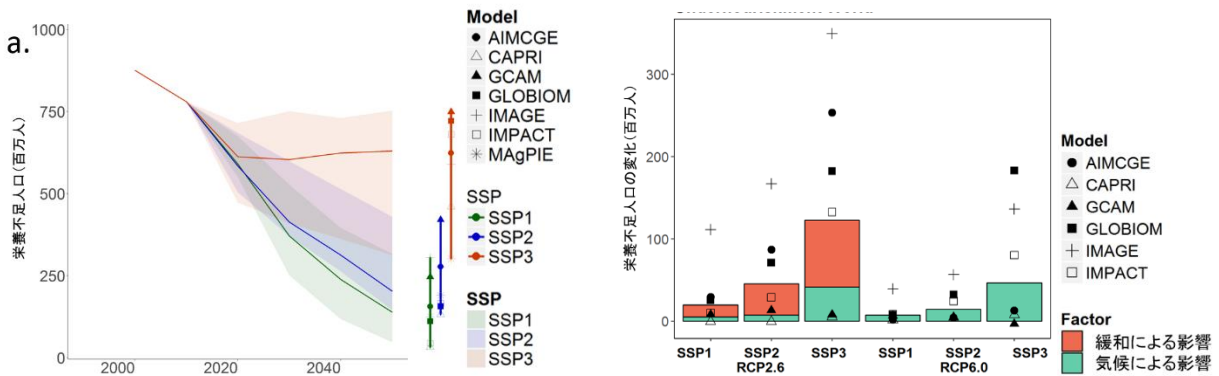


図 28 左:基準ケース（気候変化無し・緩和策無し）での栄養不足人口（SSP 別・世界）、右:2050 年における気候変化・緩和策実施による栄養不足人口変化（対基準ケース比・世界）。右図で、棒グラフは気候変化（緑）と緩和策（赤）に起因する栄養不足人口の変化量の複数モデル推計の中央値を示し、▲等の記号は両因子による総変化量の各モデル推計値を示す。

【複数分野にわたる世界全体での地球温暖化による経済的被害の推計】

各シナリオ（SSP と RCP の組合せ）の下で推計された、21 世紀末（2080～2099 年）における全世界での地球温暖化による被害額（対 GDP 比）の推計結果を示したものが図 29 である。いずれの SSPs の下でも気温の上昇が大きいほど、被害額が大きい結果となっている。最も悲観的なシナリオ（SSP3-RCP8.5）においては、被害額は世界全体の GDP の 3.9～8.6%に相当するという結果になった。一方で、パリ協定の 2°C 目標を達成し、かつ、地域間の経済的な格差等が改善されるシナリオ（SSP1-RCP2.6 もしくは SSP2-RCP2.6）においては、被害額は世界全体の GDP の 0.4～1.2% 相当に抑えられるという結果が得られた。また、特に開発途上国においては社会経済状況の改善が被害額（対 GDP 比）を小さく抑える効果があることもわかった。これらの結果は、温室効果ガスの排出削減等の地球温暖化対策の取り方や社会経済状況の変化といった、我々人類が選択しうる要因が将来の地球温暖化によって生じる被害の大きさに対して大きな影響力を持つことを示唆している。

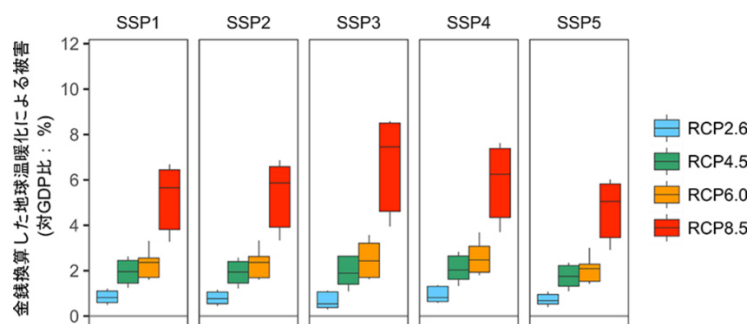


図 29 推計された地球温暖化による被害額（2080-2099 年の期間の平均）。箱ヒゲ図の広がり異なる気候モデルを用いることによる予測のバラツキを表す（ヒゲの両端が異なる気候モデルによる推計値の最大・最小値、箱の両端が 1/4、3/4 分位値、箱の中央の線が中央値、にそれぞれ対応）

【影響の全球平均気温上昇に対する線形近似性の評価】

各種影響の ΔGMT との線形近似性の評価に関して、WLD では、Erosion を除く各指標の変化は $\Delta\text{GMT}8100 = 1.5^\circ\text{C}$ の影響に対しほぼ線形となった。Erosion は $\Delta\text{GMT}8100 \geq 1.7^\circ\text{C}$ で非線形となり、GMT 上昇により増加傾向が鈍化する傾向がみられた（図 30）。地域別で見ても、Erosion は概ね $\Delta\text{GMT}8100 \geq 2.0^\circ\text{C}$ 前後で非線形となり、 1.5°C 影響の線形変化よりもグラフが下にずれていた（つまり、増加傾向は鈍化し、減少傾向は加速する）。その他の指標には地域差がみられ、例えば Fire は、北半球高緯度の RUS では $\Delta\text{GMT}8100 \geq 2.5^\circ\text{C}$ で 1.5°C 影響の線形変化よりも上にずれ、増加傾向が加速

した。全球で見ると線形となるが、地域により非線形性がみられることは、地域別変化が平均化されると影響変化が概ね線形となり、ある ΔGMT レベルでの影響を線形的に延長して比較的簡易に各 ΔGMT レベルの影響を推計できる一方で、各地域の挙動はそれと異なり軽視できないことを示唆する。また、基準気温 ($\Delta\text{GMT}_{8100}=1.5^\circ\text{C}$) に近い ΔGMT でも非線形性がみられることから、 ΔGMT レベルが近くても影響には非線形的な差が生じうることに留意する必要がある。

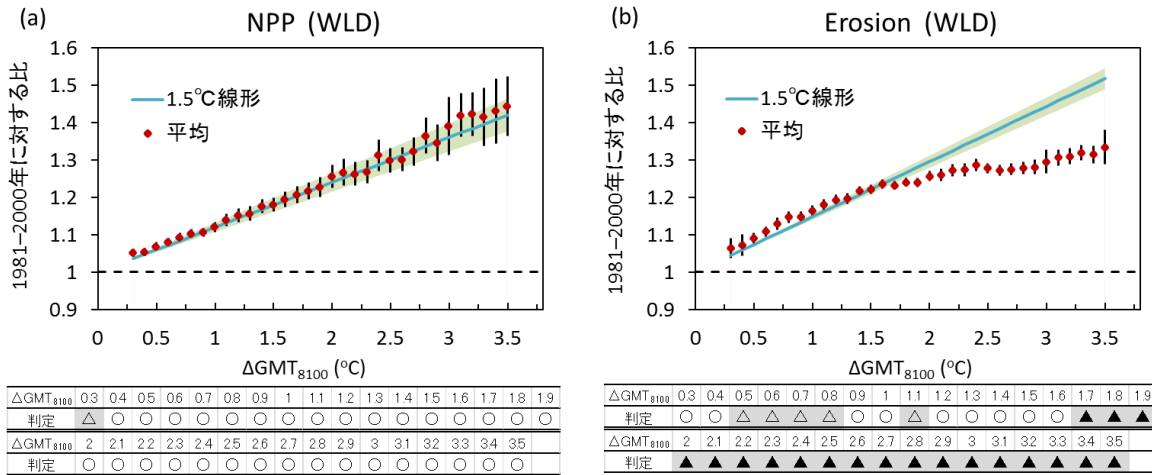


図 30 全球 (WLD) における、(a) NPP、(b) Erosion の ΔGMT_{8100} に対する変化 (1981–2000 年に対する比で示す) と、各 ΔGMT_{8100} レベルの線形性の判定結果 (グラフのマークとエラーバーは各ビンの平均及び信頼区間。実線と陰影は 1.5°C 影響を線形的に延長した値の平均と信頼区間を示す。表の○は線形、△は非線形 (上にずれる)、▲は非線形 (下にずれる) を示す。)

【簡易統合評価モデル ACC2 を用いたパリ協定の温度目標と排出目標の間の整合性について評価】

パリ協定の温度目標とゼロ排出目標の整合性を両方向から検討した。まず費用が出来るだけ掛からない排出削減方法で温度目標を目指すと、温室効果ガスの排出はどうなるか (ケース (ア) から (エ)) を分析した (図 31)。また逆に、ゼロ排出目標を目指すと気温上昇はどうなるのか (ケース (オ) から (キ)) についても検討した。研究では 10 のシナリオを検討した。その結果、短期間に急激な排出削減を行えば、温暖化は一時的な目標超過なしに 1.5°C 及び 2°C で安定することが分かった。例えば、 1.5°C 目標には 2033 年までに約 8% もの排出削減 (ケース (イ))、 2°C 目標には 2060 年までに約 3 分の 2 の排出削減が必要になる (ケース (エ))。いずれの場合も、その後はその排出量を保てば良く正味ゼロ排出までは進まない。

一方、そのような急激な削減は困難であるため、気温が一時的に目標を超過し、今世紀末までに 1.5°C や 2°C 上昇に戻るシナリオも検討した。 1.5°C 一時超過シナリオでは、2070 年までに温室効果ガスの排出は正味ゼロになり、その後今世紀中は正味負に保たれる (ケース (ア)) (負の排出には大気から二酸化炭素を回収する活動が必要)。 2°C 一時超過シナリオでは、2085 年までに排出はゼロになり、その後は負になるが、負である期間は 1.5°C 一時超過の場合よりも短くなる (ケース (ウ))。

逆に、温度目標ではなくゼロ排出目標を目指すシナリオにも目を向けた。その中で、今世紀中頃 (2060 年) に正味ゼロ排出になる場合と今世紀最後 (2100 年) にそうなる場合を分析した。前者の場合、気温は 2°C 目標付近でピークを迎え、その後下がる (ケース (オ))。後者の場合、気温は 2043 年に 2°C 上昇を超え、約 1 世紀の間 (ケース (カ))、もしくはそれ以上の間 (ケース (キ))、 2°C 上昇まで戻らない。

従って、ゼロ排出を達成するタイミングが非常に重要になる。パリ協定で明記されている今世紀後半ゼロ排出という目標を達成しても、排出削減が遅ければ、同じく明記されている温度目標を大きく外れることがあることが示された。

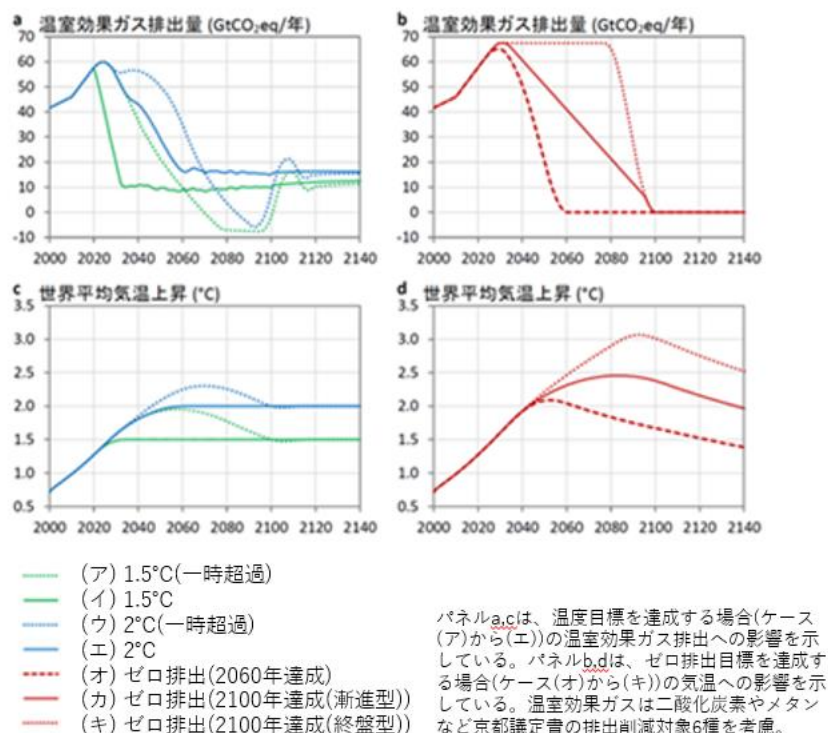


図 31 ACC2 を用いたパリ協定温度目標及び排出目標達成のための最小費用排出経路分析（代表的なケースの温室効果ガス排出量と世界平均気温上昇（産業化前比））

2. 2. 3. 4 まとめ

PJ2 (3) では、研究目的として掲げた「影響予測モデルと対策評価モデルの統合利用ならびに最新社会経済シナリオの応用を通じた気候変動影響・適応策と緩和策の相互作用の評価」ならびに「全球排出経路モデルの高度化をふまえた政策分析」のいずれの課題についても、着実に研究成果を重ねることが出来た。前者については本レポートでの報告事項に加え、「労働者の熱中症予防を通じた気候影響及び適応効果の評価」（Takakura et al. (2017)・Takakura et al. (2018)）、「簡易影響予測手法の開発」（高倉ら, 2019）についても研究成果の創出・公表を実施できた。後者についても、本レポートでの報告事項に加え「非 CO₂温室効果ガスの排出削減を考慮した長期温度目標に整合的な排出経路の分析」（Su et al., 2017）についても研究成果の創出・公表を実施できた。研究成果の多くは 2018 年に公表された IPCC1.5°C 特別報告書にも適時に貢献した。

引用文献

- 1) Hasegawa T., Fujimori S., Havlik P., Valin H., Bodirsky B., Doelman J. C., Fellmann T., Kyle P., Koopman J.F.L., Lotze-Campen H., Mason-D., Ochi Y., Perez-Dominguez I., Stehfest E., Sulser T.B., Tabeau A., Takahashi K., Takakura J., Van Meijl H., Van Zeist W., Wiebe K.D., Witzke P. (2018) Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, 8, 699-703
- 2) Su, X., Takahashi, K., Fujimori, S., Hasegawa, T., Tanaka, K., Kato, E., Shiogama, H., Masui, T., Emori, S. (2017) Emission pathways to achieve 2.0 and 1.5°C climate targets. *Earth's Future*, 5, doi:10.1002/2016EF000492.
- 3) Takakura J., Fujimori S., Takahashi K., Hijioka Y., Hasegawa T., Honda Y., Masui T. (2017) Cost of preventing workplace heat-related illness through worker breaks and the benefit of climate-change mitigation. *Environmental Research Letters*, 12 (6), 064010.

- 4) Takakura J., Fujimori S., Takahashi K., Hasegawa T., Honda Y., Hanasaki N., Hijioka Y., Masui T. (2018) Limited Role of Working Time Shift in Offsetting the Increasing Occupational-Health Cost of Heat Exposure. *Earth's Future*, 6 (18), 1588-1602
- 5) Tanaka, A., Takahashi, K., Shiogama, H., Hanasaki, N., Masaki, Y., Ito, A., Noda, H., Hijioka, Y., Emori, S. (2017) On the scaling of climate impact indicators with global mean temperature increase: a case study of terrestrial ecosystems and water resources. *Climatic Change Letters*, doi: 10.1007/s10584-017-1911-6
- 6) Tanaka, K. and O'Neill, B.C.: *Nature Climate Change*, 8,319-324 (2018) The Paris Agreement Zero-emissions Goal is not Always Consistent with the 1.5°C and 2°C Temperature Targets. doi:10.1038/s41558-018-0097-x
- 7) 高倉潤也, 藤森真一郎, 高橋潔, Zhou Qian, 花崎直太, 飯泉仁之直, 長谷川知子, 本田靖, 増井利彦, 脇岡靖明 (2019) 気候変動による全球規模経済影響のエミュレーション手法の試作と評価. *土木学会論文集G (環境)*, 75 (5), I_73-I_80

2.3 研究プロジェクト3:世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

プロジェクト3では、低炭素社会の実現に向けた取り組みを評価するために、サブテーマ1:世界を対象とした低炭素社会評価のための統合評価モデル開発とその適用、サブテーマ2:低炭素社会実現に向けた国際制度のあり方に関する研究、の2つのサブテーマを設定し、それぞれ、道筋提示のための世界を対象とした統合評価モデルの詳細化・検証とそれを用いた政策評価及び国際制度のデザインを目的に研究を行ってきた。以下では、サブテーマ毎に研究成果を示す。なお、低炭素社会プログラムのプロジェクト3では、主として世界規模の緩和策を対象としており、低炭素社会の実現に向けた個別の国や地域を対象とした分析は、統合研究プログラムにおいて実施した。

2.3.1 サブテーマ1:世界を対象とした低炭素社会評価のための統合評価モデル開発とその適用

2.3.1.1 目的と経緯

2015年に開催された気候変動枠組条約 (UNFCCC) の第21回締約国会議 (COP21) で採択されたパリ協定において、「世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して2°Cより十分低い水準に抑えるとともに、1.5°Cに抑える努力を追求する」ことが合意された。これらはいわゆる“2°C目標”及び“1.5°C目標”と呼ばれる。2°C目標の実現には今世紀後半には温室効果ガス (GHGs: Greenhouse gases) の排出量を正味ゼロにする必要があり、二酸化炭素 (CO₂) の排出削減だけに注目するのではなく、その他の温室効果ガス (GHG) 排出量の大幅削減も必要とされる。また、2018年には気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) によって「1.5°C特別報告書」が公表され、1.5°C目標の実現に向けて早期に大幅削減に向けた対策を取り、2050年頃までに正味のCO₂排出量 (吸収量を除いた排出量) をゼロにする必要があることが示された。さらに、世界の中でもアジア諸国は、GHGの主要排出地域であるだけでなく大気汚染問題も深刻である。国連環境計画 (UNEP: United Nations Environmental Programme) 及び世界気象機関 (WMO: World Meteorological Organization) によって2011年に公表された報告書では、大気汚染物質の中には冷却効果を持つ物質だけでなく、大気中の寿命が短く、かつ大気を温める作用を持つ短寿命気候汚染物質 (SLCPs: Short-Lived Climate Pollutants) があり、これらSLCPsの早期大幅削減も重要であることが指摘された。そこで本サブテーマでは、パリ協定で示された2°C目標の実現に向けた世界のGHG排出経路や経済影響、GHG対策とSLCPs対策と大気汚染物質対策の同時実現、及び1.5°C目標の実現可能性などを定量的に評価することを目的としている。

2.3.1.2 方法

2°C目標及び1.5°C目標に関する定量的な評価に向けて、前中期計画において開発してきた世界を対象とした技術選択モデル、経済モデル及び要素モデル群で構成される統合評価モデル AIM (Asia-Pacific Integrated Model) を改良及び拡張し、以下の取り組みを実施した。

- (1) 世界要素モデル群を用いて、共通社会経済シナリオ (SSP: Shared Socio-economic Pathways) に対応するエネルギーサービス需要の推計、2°C目標と統合的な排出シナリオの定量化
- (2) 世界技術選択モデル (AIM/Enduse [Global]モデル) を用いて、2°C目標及び1.5°C目標の達成にむけた GHG 排出経路や技術的な潜在削減量、革新的技術の潜在導入量、GHGs と SLCPs の同時対策の相乗効果・相殺効果などの定量化
- (3) 世界経済モデル (AIM/CGE [Global]モデル) を用いて、2°C目標及び1.5°C目標を実現するときの炭素価格や経済影響の差異、社会経済要因の差異による目標達成度の比較、各国削減目標と世界排出経路とのギャップ縮小への対策などの定量化
- (4) 国際モデル比較研究を通じた他のモデルとの結果の比較や検証、及びフランスやドイツで行われたシナリオ開発過程における知見を踏まえたアジア諸国における将来シナリオ開発の方法の情報整理。
- (5) GHGs 及び SLCPs に関する主要な対策とそれら排出削減効果を、政策決定者などが簡易に評価することが可能な web ツールの開発
- (6) トレーニングワークショップによる人材育成

以下で、各項目についての結果と考察を説明する。

2.3.1.3 結果と考察

- (1) SSP シナリオを用いたエネルギーサービス需要推計とガス種別排出経路の評価

共通社会経済シナリオ SSPs と呼ばれる新しい社会経済シナリオを踏まえたエネルギーサービス需要推計を行い、それらを前提として世界技術選択モデルを用いて、異なる社会像である SSP1、SSP2 及び SSP3 における GHGs、SLCPs 及び大気汚染物質の排出経路を定量化した。SSPs はいずれも追加的な緩和策の導入を行わないなりゆきシナリオであり、SSP2 は 5 つの SSPs の中で中庸的なシナリオである。SSP2 を元に 2°C目標に向けた低炭素対策を取った場合と、より持続可能な社会を想定した SSP1 を元に 2°C目標に向けた低炭素対策を取った場合を比較した。その結果、低炭素対策による大気汚染物質や黒色炭素 (BC) の共便益削減効果は SSP1 の方が小さいことが明らかになった (Hanaoka and Masui, 2018)。

また、旅客部門と貨物部門を合わせた世界運輸モデルを開発し、SSP2 をベースとし、モーダルシフトや輸送効率改善などの運輸対策を考慮した旅客輸送量及び貨物輸送量の分析を行った (図 32)。そして、世界運輸モデルと世界経済モデルを統合して、2°C目標及び 1.5°C目標の実現に向けた運輸対策の導入が炭素価格や経済影響に与える影響について分析した。公共機関へのモーダルシフト、輸送効率の改善、エネルギー効率の改善、次世代自動車の導入などの運輸対策を比較した結果、2°C目標及び 1.5°C目標の実現に向けてエネルギー効率改善や電気自動車の導入などの技術革新が CO₂削減に最も効果的であることが示された (Zhang et al., 2018)。

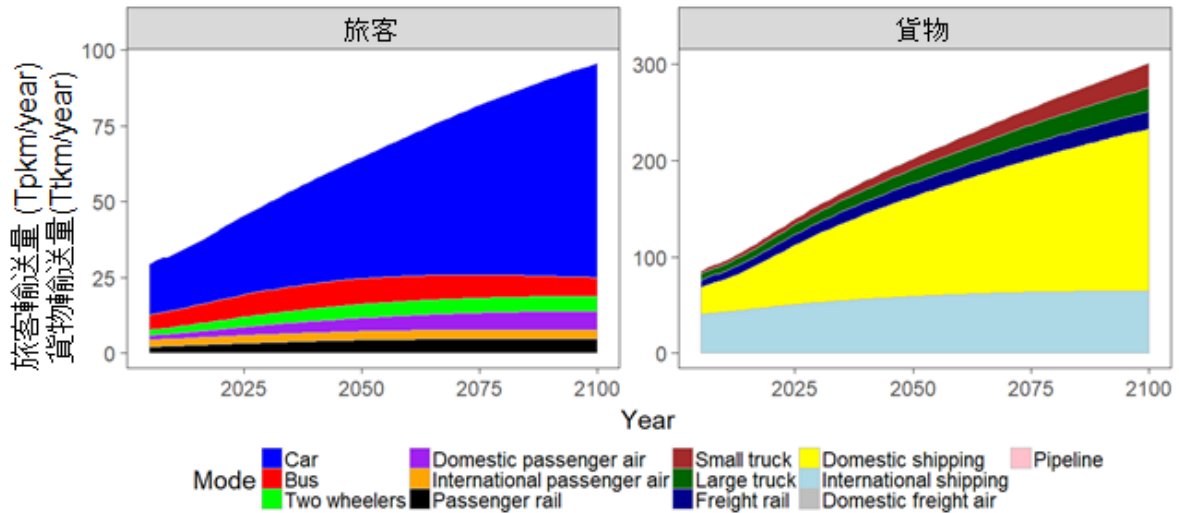


図 32 SSP2に基づいた世界の旅客輸送量及び貨物輸送量の推計

(2) 世界技術選択モデルを用いた GHGs と SLCPs の同時対策の相乗効果・相殺効果の評価

2°C目標に対応する世界の排出経路と各国のNDCsの総和とのギャップ縮小を検討するには、排出主要国の傾向や特徴を把握する必要がある。そこで、世界技術選択モデル AIM/Enduse [Global]を用いて、2°C目標の実現に相当する低炭素対策と大気汚染対策の様々な組合せを分析し、組合せの差異による相乗効果や相殺効果の特徴を定量的に評価するとともに、メタン (CH₄)、黒色炭素 (BC) 及び対流圏オゾン (O₃) といった SLCPs の削減による気候変動抑制及び健康影響軽減の双方からみてバランスがとれた、世界及びアジアの排出削減経路を探索した (Hanaoka and Masui, 2020)。図 33 は、アジアにおける大気汚染物質及び SLCPs のガス種別排出削減経路を示している。

2°C目標に相当する同じ CO₂ 排出経路であっても、図 33 に示すように対策の組み合わせ次第で、大気汚染物質や SLCPs の排出経路は大きく異なることが分かる。2°C目標相当の低炭素対策による世界の GHGs の削減経路と、SLCPs 及び大気汚染物質の排出削減経路の特徴を定量的に評価した結果、アジアの中でも特に中国、インドが大きな影響を及ぼしているため、中国、インドを対象に異なるガス種間の削減率の相関分析に加えて、2050 年までの低炭素対策の部門別累積投資額と除去対策累積投資額の比較分析を実施した。その結果、低炭素対策と大気汚染対策の組合せによって、部門別・ガス種別の削減傾向だけでなく、低炭素対策の部門別累積投資額と除去対策累積投資額の傾向も異なることが明らかとなった。また、中国、インドの次に成長著しい東南アジアにおける評価を実施した。国及びガス種によって主要な排出源が異なるため、削減ポテンシャルの大きい部門が異なる。2°C目標の実現に向けて様々な対策の組み合わせが考えられるが、再生可能エネルギーの導入強化、民生部門や運輸部門における電化の強化などが、低炭素対策としても、また BC や対流圏 O₃ に対する SLCPs 対策としても効果的であると考えられる。

シナリオグループ	シナリオコード名	グラフ	主な低炭素対策・大気汚染対策・短寿命気候汚染物質対策の組合せ					
			除去対策強化	2度目標低炭素対策	CO ₂ 回収貯留(CCS)強化	再生可能エネルギー強化	家庭部門電化強化	運輸部門電化強化
なりゆき	Ref	—						
除去対策のみ	EoPmid	---	Mid					
	EoPmax	---	Max					
2°C目標 + 除去対策	2D-EoPmid-CCSBLD	—	Mid	✓	✓		✓	
	2D-EoPmax-CCSBLD	—	Max	✓	✓		✓	
	2D-EoPmid-RESTRT	—	Mid	✓		✓		✓
	2D-EoPmax-RESTRT	—	Max	✓		✓		✓
	2D-EoPmid-RESBLDTRT	—	Mid	✓		✓	✓	✓
	2D-EoPmax-RESBLDTRT	—	Max	✓		✓	✓	✓

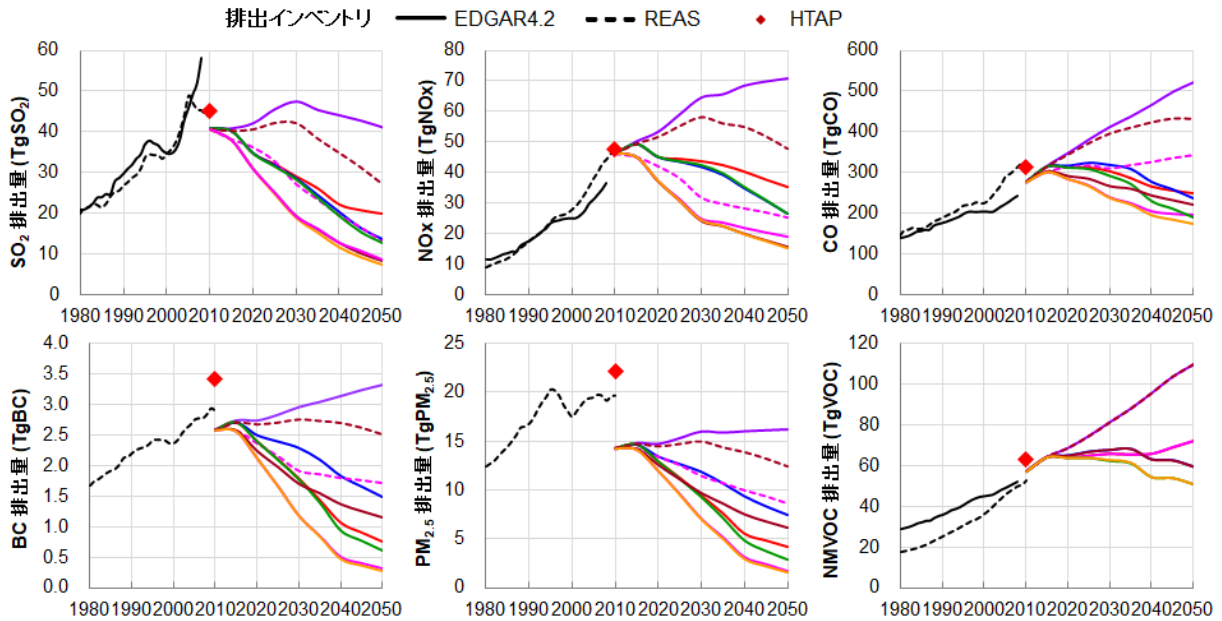


図 33 アジアにおけるガス種別排出削減経路と排出インベントリ

(3) 世界経済モデルを用いた 2°C/1.5°C目標の経済影響及び各国削減目標と世界排出経路とのギャップの評価

世界経済モデル AIM/CGE [Global]を用いて、2°C目標、1.5°C目標を達成する排出経路の差異に影響を与える要因を明らかにするために、ライフスタイルなどの社会経済要因や低炭素電源等の対策技術を対象とした複数のシナリオを作成し、2°C目標、1.5°C目標を達成する際の炭素価格や経済影響の差異を定量的に評価した。また、世界の2°C目標相当の排出経路に対する各国の排出削減目標（NDC: Nationally Determined Contributions）との差異を埋めるために、先進国・途上国の違いを考慮し、複数の部門（エネルギー供給部門、家庭業務部門、産業部門、運輸部門、農業部門、その他非 CO₂部門）に対する適正実施緩和策（GPP: Good Practice Policies）シナリオを検討し、世界経済モデルを用いて評価した（van Soest, et al., 2021）。図 34 の(ア)に各シナリオの世界の GHG 排出経路、(イ)に対策による経済影響（Current Policy シナリオからの GDP 損失）、(ウ)に発電に占める再生可能エネルギーの割合を、それぞれ示す。NDC シナリオに対して GPP シナリオは、GHG 排出量を引き下げることができ、NDC シナリオと 2°C目標シナリオとの排出量の差異を 73%まで埋めることができる。しかし、2°C目標の実現に向けて 2030 年以降にさらに対策を加速する必要がある（Bridge シナリオ）。そのため、アジア地域では、2030 年までは 2°C目標の方が GDP 損失は大きい、2030 年以降は対策を加速する Bridge シナリオの方が GDP 損失が大きくなることが示された。

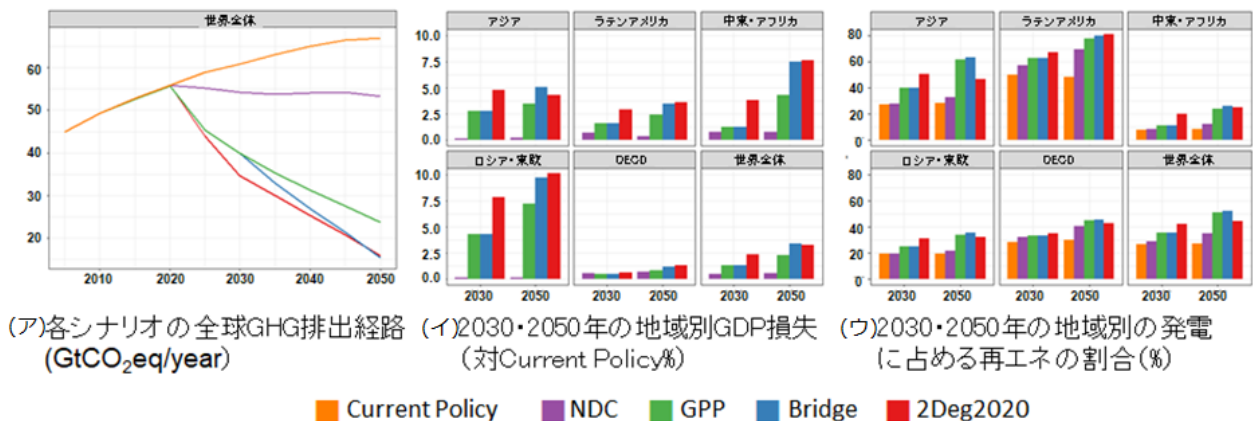


図 34 世界経済モデルを用いて評価した GHG 排出経路とその特徴

(4) 国際モデル比較等の国際連携

国際モデル比較評価 (EMF30、COMMIT 等) や LCSRNet、DDPP 等の国際研究に参画し、低炭素研究プログラムや統合研究プログラムで得られた世界や日本を対象とした将来シナリオや GHG 排出経路に関する成果を提供した。EMF30 で実施された SLCPs である CH₄ の地域別、部門別の削減量の国際モデル比較分析の国際誌受理に貢献した (Harmsen, et al. 2019, Smith, et al., 2020)。フランスやドイツでは、これまでにステークホルダーも巻き込み、多様なシナリオ開発が行われていることが分かり、こうした先進事例に関する具体的な手続き等を整理するとともに、わが国のシナリオ開発においても、ステークホルダーを巻き込み、技術革新や消費行動の変化など将来の可能性について、多様なシナリオの描写の可能性について検討した。また、日仏共同研究を通じて人材交流に向けた取り組みについて意見交換を行い、フランス CIREN (環境・開発国際センター) が開発している IMACLIM との比較やフランスにおける長期低排出発展戦略策定過程に関する情報収集、IPCC 第 6 次評価報告書 (AR6) に向けた国別シナリオの検討を行った。

(5) 政策決定者向けの簡易評価 web ツールの開発

統合評価モデルを用いた分析結果は、政策決定者にとって有用な情報を提供するが、モデルの詳細な理解や実際の計算は専門家に委ねることが必要となる。一方で政策決定における議論においては、様々な前提をもとにした計算結果が必要となり、時には議論にあわせて結果が求められる場合もある。こうした状況に対応するためには複雑さと操作しやすさを両立させる統合評価モデルが必要であるが、現実的にこうしたモデルを開発することは困難であることから、いくつかの前提をもとに世界技術選択モデルを使って計算を行い、その結果を元に様々な想定に対応する世界及びアジアを対象とした GHGs、SLCPs 及び大気汚染物質の計算結果を内挿して出力することとした。開発した削減対策評価簡易 Web ツールである AIM/SLCP tool (Scenario Lookup by Coalition for Protecting environment tool) については、Web 上で公開 (https://www-iam.nies.go.jp/aim/data_tools/S12/) し、AIM/SLCPtool を用いて政策決定者や一般市民など様々なステークホルダーとの意見交換を実施した。

(6) トレーニングを通じた人材育成

低炭素プログラムのプロジェクト 3 では、主に世界を対象とした緩和策が分析対象であったが、統合研究プログラム、気候変動戦略連携オフィスと共同で、タイを対象とした技術選択モデル、経済モデルのトレーニングワークショップ、インドを対象とした技術選択モデルのトレーニングワークショップ、中国を対象とした技術選択モデルのトレーニングワークショップをそれぞれ実施し、人材育成に努めてきた。また、統合研究プログラムと連携して、インド、中国、タイを対象とした技術選択モデルを一国及び州・省別の地域格差が分析

できるように地域解像度・部門解像度を拡充し、またインドネシアを対象とした経済モデルによる NDC の評価など、各国の排出削減努力の引き上げに向けた具体的な対策の評価を行い、NDC 評価について貢献した。

2.3.1.4 まとめ

本中長期計画が実施される直前の 2015 年に、2°C 目標を含むパリ協定が合意され、本プロジェクトも 2°C 目標の実現可能性の評価を中心に分析を行ってきた。一方で、中長期計画の途中である 2018 年に、IPCC による 1.5°C 特別報告書が公表されたことで、1.5°C 目標の実現に向けた分析も注目されるようになり、GHG 排出削減を前倒しするようなシナリオの検討も追加で進め、前項の (1) ~ (5) に記載した研究を実施してきた。2°C 目標を達成する排出シナリオについては、SSPs に対応した社会経済シナリオのもとで GHGs だけでなく SLCPs や大気汚染物質などの世界規模での排出削減経路を明らかにすることができたと考えている。一方で、1.5°C 目標の実現には、GHG 排出削減の大幅な前倒しが必要となり、先進国だけでなく発展途上国も含めて低炭素社会の実現から脱炭素社会の実現が求められるようになった。1.5°C 目標を目指した脱炭素社会の実現に向けては、技術革新だけでなく行動変容を含めた発展経路の見直しも含めた取り組みが必要であり、今後は、脱炭素対策と持続可能性の同時達成に向けた評価などに焦点を当てた研究が必要であると考えている。

引用文献

- 1) Zhang, R., Fujimori, S., Hanaoka, T. (2018) The contribution of transport policies to the mitigation potential and cost of 2°C and 1.5°C goals. *Environmental Research Letters*, 13(5): 054008, DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabb0d>
- 2) Zhang, R., Fujimori, S., Hanaoka, T. (2018) Contribution of the transport sector to climate change mitigation: Insights from a global passenger transport model coupled with a computable general equilibrium model. *Applied Energy*, 211(1):76-88, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.103>
- 3) Hanaoka, T., Masui, T. (2018) Co-benefits of Short-Lived Climate Pollutants and Air Pollutants by 2050 while achieving the 2 degree target in Asia. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 6(3): 505-520, DOI: <http://dx.doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0218>
- 4) Harmsen, M., van Vuuren, D.P., Bodirsky, B.L., Chateau, J., Durand-Lasserve, O., Drouet, L., Fricko, O., Fujimori, S., Gernaat, D.E.H.J., Hanaoka, T., Hilaire, J., Keramidas, K., Luderer, G., Moura, M.C.P., Sano, F., Smith, S.J., Wada, K. (2019) The role of methane in future climate strategies: Mitigation potentials and climate impacts. *Climate Change*, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02437-2>
- 5) Hanaoka, T., Masui, T. (2020) Exploring Effective Short-Lived Climate Pollutant Mitigation Scenarios by Considering Synergies and Trade-offs of Combinations of Air Pollutant Measures and Low Carbon Measures towards the Level of the 2 °C Target in Asia. *Environmental Pollution*, 261, 113650, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113650>
- 6) Smith, S., Chateau, J., Dorheim, K., Drouet, L., Durand-Lasserve, O., Fricko, O., Fujimori, S., Hanaoka, T., Harmsen, M., Hilaire, J., Keramidas, K., Klimont, Z., Luderer, G., Moura, M.C.P., Riahi, K., Rogelj, J., Sano, F., van Vuuren, D.P., Wada, K. (2020) Impact of methane and black carbon mitigation on forcing and temperature: a multi-model scenario analysis, *Climate Change*, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02794-3>
- 7) van Soest H., Reis L.A., Baptista L.B., Bertram C., Depres J., Drouet L., Elzen M., Fragkos P., Fricko O., Fujimori S., Grant N., Harmsen M., Iyer G., Keramidas K., Koberle A., Krieglner E., Malik A., Mittal S., Oshiro K., Riahi K., Roelfsema M., van Ruijven B., Schaeffer R., Silva D., Tavoni M., Unlu G., Vandyck T., van Vuuren D. (2021) Global roll-out of comprehensive policy measures may aid in bridging emissions gap. *Nature Communications* 12, 6419, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26595-z>

2.3.2 サブテーマ 2: 低炭素社会実現に向けた国際制度のあり方に関する研究

2.3.2.1 目的と経緯

本プログラムが開始された 2016 年は、2015 年 12 月に開催された国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）にてパリ協定が採択された直後にあたる。そのため、パリ協定採択後に残された制度的観点からの課題が、本サブテーマにとっての研究課題ともなった。その中で、主要なものは以下のとおりである。

- (1) 2050 年以降に向けた長期低炭素戦略策定: 2020 年までに作成し条約事務局提出が COP 決定の中で求められている。長期戦略は長期的な最終目標の提示の意味を持つと同時に、国の 2030 年目標の水準の妥当性検証に重要なメルクマールとなる。
- (2) 国の 2030 年目標（NDC）の国家間比較の手法: パリ協定では、各国が自国の決定を踏まえて削減目標を決めることになっているため、国家間の目標を横断的に比べて公平性の観点から評価する手段がない。現在の各国の 2030 年目標が絶対値での温室効果ガス排出量目標の他、GDP 当たり排出量の改善目標、BAU 比等があり、横断的比較が困難であることから、比較を可能とするために必要な追加的な報告項目を提示するとともに、比較のための手法を開発して、より高い削減目標を掲げる可能性を検討する必要がある。
- (3) 資金に関する議題: 先進国やその他の国が途上国に対して、2020 年までに毎年 1000 億ドル資金支援することが求められているが、その用途として緩和策と適応策にバランスよく配分することが求められている。また、資金を受け取る側である途上国の国や地域間公平性にも配慮が求められる。また、2010 年の COP16 で設立された緑の気候基金の活動の有効性検証も必要である。
- (4) 割引率に関する研究: 上記全体を通じた理論的な課題として、世代間の公平性を検討するための割引率の議論がある。本サブテーマの一部として、割引率に関する研究を進める。

プログラムの研究期間である 2016～2020 年度を通じて、これらの課題に関する研究を実施した。

2.3.2.2 方法

上記に掲げた 4 つの課題それぞれに対して、以下の方法で研究を実施した。

- (1) パリ協定以前に、すでに 2050 年目標を法的に位置づけていた英独仏 3 か国に関して、同目標を国内法規中に位置づけた政策決定過程を文献・インタビューにより調査し、今後その他の国で 2050 年以降に関する長期ビジョンを作成するために有効な手続きを提示した。
- (2) 国の 2030 年排出量目標を比較するために、指標として使用可能な基礎データを収集し、相互の相関関係等を調べ、指標を確定した。その後、G20 加盟国を対象として、指標として使うデータを収集し、比較を試みた。また、その成果を、サブテーマ 1 と協力し、2018 年に条約事務局の下で実施されたタラノア対話（COP24 に向けて、国の努力の進捗評価に関する意見を表明する場が条約事務局によって提供された）に提出した。
- (3) 気候変動関連の基金に関して、まず、適応基金に関して、発展途上国及び脆弱なコミュニティに対して資金を配分する際に、いかなる配慮がなされているかを調査した。次に、緑の気候基金が設立 10 周年を迎えるにあたり、同基金の拠出国、拠出先となった国や事業タイプ等で分類しデータベースを作成した。このデータベースを国立環境研究所適応センターのウェブサイトから公開すると同時に、自らも本データベースを利用して内容を分析し、基金の評価を行った。
- (4) 将来世代が受ける被害と現世代が排出削減に投資する資金とを比べる費用便益分析や統合評価モデルに必要な割引率の概念について、理論的な研究を実施した。

2.3.2.3 結果と考察

- (1) 2050 年の目標設定に関する意思決定の調査

長期低炭素戦略に関する英独仏での策定過程において、文献調査やヒアリング調査を実施した結果、3 つの国の間で以下の共通点が挙げられた。

- (a) 研究者集団による科学的知見を踏まえた判断の場と、利害関係者集団による利害調整に関する議論の場の分離。気候変動抑制のために「何をすべきか」と「何が受け入れられるか」の混乱防止に寄与していた。
- (b) 複数のモデルを用いた緩和策コストの計算と幅広い参加者による議論。コストは単に限界削減コストのみならず、新産業の発展や化石燃料の輸入コストの削減等も含まれていた。
- (c) 単なる気候変動対策ではなく、貧困家庭にエネルギー効率の高い住居を提供する等、社会問題の同時解決を目指していた。
- (d) 産業界及び投資家が全体として化石燃料関連から低炭素なものへと投資を振り替えつつあった。今後、他の国々も長期戦略を策定するにあたり、究極的に実質排出量ゼロを目指すというパリ協定の規定が民間企業の経営マインドを変え、低炭素社会に向けた先行投資が社会経済的に有利という認識を広めることが国際レベルで更なる排出量削減を進めていく上で重要という点が指摘できた。

この調査を実施したのは 2016 年度であったが、その後 5 年間の間に、2050 年目標に関しては大きな進展があった。まず、2018 年に気候変動枠組条約に関する政府間パネル (IPCC) が 1.5°C 特別報告書を提示し、2°C 目標と比べ 1.5°C 目標の方が気候変動の悪影響を軽減できることが示された。また、2°C 目標であれば今世紀後半中に世界全体の温室効果ガス総排出量を実質ゼロにする必要があるが、1.5°C を目指すのであれば遅くとも 2050 年までにその水準を達成しなくてはならないことが示された。これを受け、英国は 2019 年に自国の 2050 年目標を実質ゼロに改定した。その後、他の多くに国もそれに倣った。2019 年以降、気温目標を 2°C から 1.5°C に変更するプロセスにおいても、上記の 4 つの観点が必要な項目であった。特に (c) と (d) は、英独仏の国内や EU 地域内での合意形成に決定的に重要だった。なお、日本も 2020 年 10 月に 2050 年実質ゼロを表明したが、国際的な影響を多分に受けており、上記の 4 つの観点とはまた異なる要因が効いていた。

(2) 国の 2030 年目標 (NDC) の国家間比較の手法

まず、国の削減目標を評価する上で指標となりそうなデータを複数選び、相互の関連性を確認した。排出量は、人口、GDP、エネルギー消費量、ともに互いに一定の相関関係を持つため、独立した指標としては用いるべきではないと考えられる。そのため、いくつかの指標を複合した新たな指標を作成する検討を行った。一人当たり排出量や再生可能エネルギーのエネルギー総消費量におけるシェアといった基本的な指標を用いることで各国の努力の進捗を計測できる有用性を示した。したがって、今後は排出量目標の提出に合わせて、目標年に想定されている人口や GDP、一次エネルギー総供給量、再生エネルギー供給量、に関する情報の提出を促す報告制度を構築することが進捗確認に有益であることが示された。図 35 は指標の一案として検討したものである。横軸にエネルギーの炭素強度、縦軸に再生可能エネルギーシェアをとり、左上を目指して推移することを確認できる。

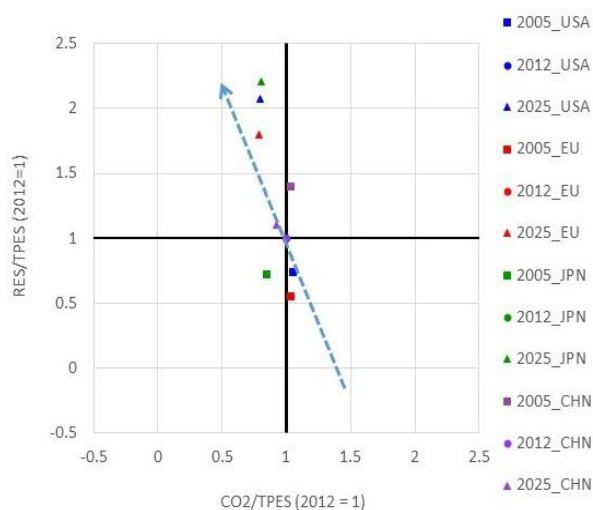


図 35 エネルギー炭素強度と再生可能エネルギーシェアとの関連性

一連の作業が終了した次に、G20 を対象として評価することを目的として、指標に用いるデータ収集を行った。G20 の中には、インドネシア等、いわゆる途上国と呼ばれる国も含まれるため、本研究に必要なデータがすべてそろっているわけではない。あっても古いものである場合が多い。また、2030 年目標の水準を評価するためには、G20 それぞれの国の 2030 年時点で予想される数値が必要となってくる。これもまた、先進国以外の国では公式な

予想値は出されていないため、世界銀行等のウェブサイトから数字を収集し、独自に計算して指標を作成する作業を行った (Kameyama and Kawamoto, 2016)。

また、この作業に対して意見を聞くために、海外で類似の研究を行っているチームの専門家3名を招聘し、非公開での意見交換会を実施し、また、公開シンポジウムを開催することで、国内に研究活動を周知した。さらに、本研究結果を2017年モロッコで開催されたCOP23のサイドイベントにて発表した。

翌年、2018年には、サブテーマ1と協力し、タラノア対話で掲げられた3つの質問「Where are we?」「Where do we want to do?」「How do we get there?」に対する研究成果をまとめ、2018年3月に国連気候変動枠組条約事務局に意見提出した。特にサブテーマ2に関わる部分として、国の緩和策の進捗を計測するための指標を Climate Change Mitigation Policy Progression Indicator (C-PPI) と名付け、これを用いて G20 諸国の緩和策を評価した。結果の一例として省エネに関する結果を図36に示す。G20の各国を一人当たり GDP の水準に応じて3グループ(先進国、準先進国、新興国)に分け、経済水準と指標における水準との関連性に着目した。結果、すべての国でアウトカム指標に改善は見られるが、特にグループ2の国の改善度が低く、政策導入水準がグループ2で低いことがアウトカムに現われていること等が示された。

なお、これらの指標研究の結果を公開することを目的として、C-PPIのウェブサイトを日英両方で設立し、定期的に日英でレポートを作成して公開した。

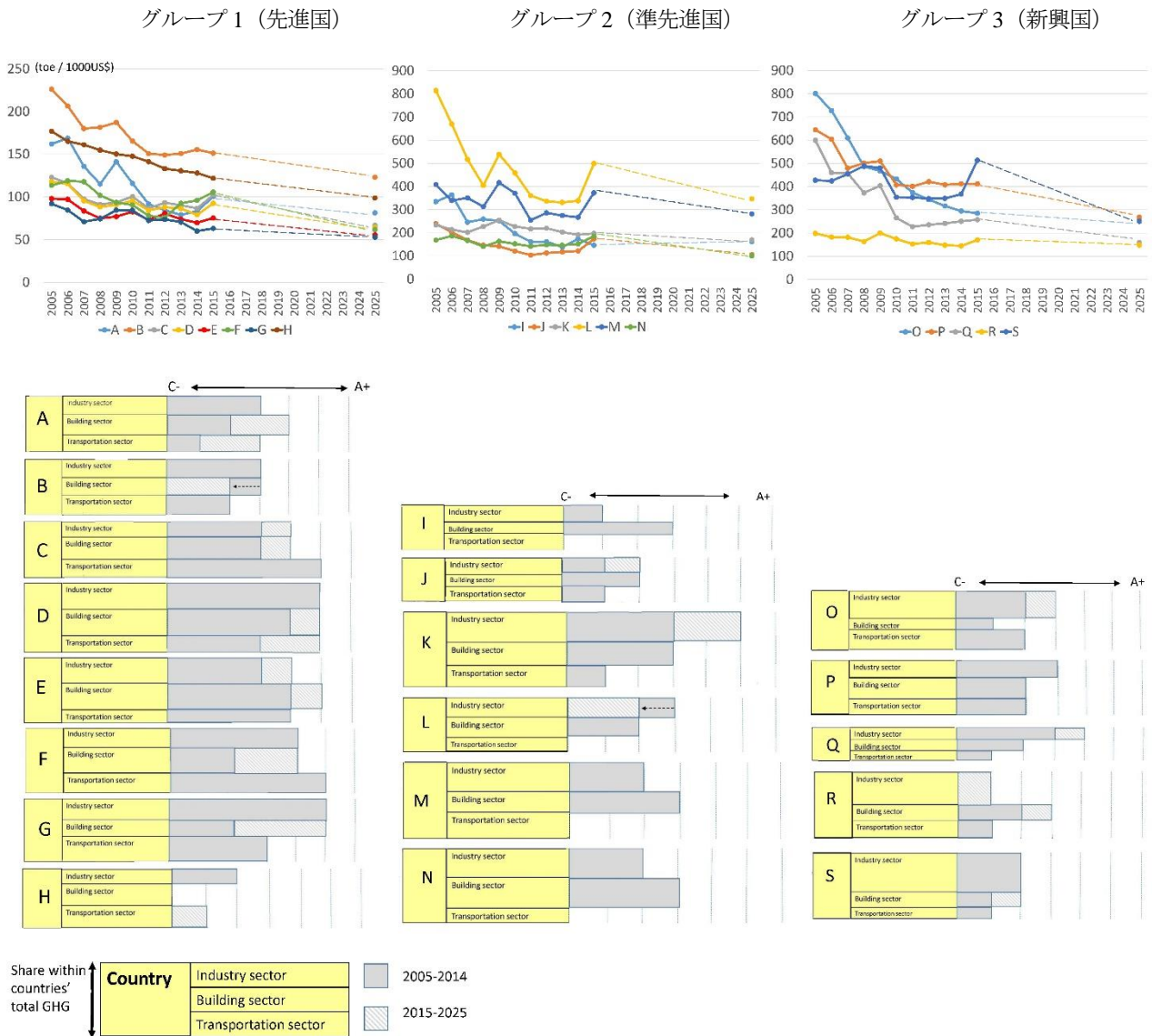
日本語版: http://www-iam.nies.go.jp/climatepolicy/cppi/index_j.html

英語版: <http://www-iam.nies.go.jp/climatepolicy/cppi/index.html>

上記の結果を踏まえ、以下のような指摘ができた。

- ・先進国グループの排出削減目標は、いずれも現在よりも改善方向に向かっていることは確認できるが、改善のスピードが遅い。省エネについては下げ止まり感があり、その他の指標(エネルギーにおける炭素強度等)で改善を図る必要がある。
- ・準先進国(アルゼンチン、ブラジル、韓国等)は、一人当たり GDP など経済指標では、2030年時点で現在の先進国の水準に十分達成する予定であるにもかかわらず、2030年の排出量目標から計算されるさまざまな指標(例えば省エネ度)は、改善方向には向かうものの現在の先進国の水準にはおぼつかない。現在の先進国並みの省エネ度や技術水準を目指せば、これらの国の2030年排出量目標はさらに下げられるポテンシャルがある。
- ・新興国(中国、インド等)の中には、2030年時点でも先進国なみの経済水準に至らない国もあるが、例えばエネルギーをバイオマス(薪など)から化石燃料に転換させるために指標そのものが改悪の方向に向かうことを想定している国も見受けられた。指標ごとに改善点を見直すことで、経済的にゆたかさを目指しながら排出量を減らす方策が十分あり得る。

これらの指標研究は、外部競争資金の関係で2018年度に終了したが、その後、長期目標を2°Cから1.5°Cに変える動きに連動して、2030年目標を改定する動きも強まった。2021年時点での各国の新たな削減目標を用いて再度この指標を用いた評価をすることは、極めて重要なプロセスであるが、今後の課題として2021年度から開始した新たなプログラムに引き継がれる。



注: グループ 1: A:オーストラリア、B:カナダ、C:フランス、D:ドイツ、E:イタリア、F:日本、G:イギリス、H:米国
 グループ 2: I:アルゼンチン、J:ブラジル、K:韓国、L:ロシア、M:サウジアラビア、N:トルコ
 グループ 3: O:中国、P:インド、Q:インドネシア、R:メキシコ、S:南アフリカ

図 36 省エネの指標結果 (上段がアウトカム指標 3、下段がアクション指標)

(3) 資金に関する研究

適応関連資金メカニズムの運用ルールの決定に際しては、まず、国を中心とした資金供与制度が有効なものなのか、今後も国の中央政府が同メカニズムにおいて、中心的な役割を果たし続け得るのかについての検討が必要であると指摘した。さらに、今後、(a) 様々な脆弱性を有する国々の様々なニーズに応えるため、国/目的別の資金窓口の設置や、予算の設定が必要であること、(b) 審査プロセスの透明化が必要であること、への配慮が必要と結論づけた。

緑の気候基金に関しては、111 件のプロジェクトが承認されていた。その内訳は、緩和 33 件、緩和+適応 28 件、適応 50 件である。GCF では、これらのプロジェクト承認後、効果検証までは着手できていない。しかし、GCF が設立 10 周年を迎えることから、今後は、実施プロジェクトの実効性が問われると予想される。そこで、本研究では、中でも特に効果を測りづらい緩和+適応関連プロジェクトを取り上げ、プロジェクト評価のための考慮すべき観点について萌芽的な検討を行った。28 件の緩和+適応関連プロジェクトは、地域ごとに特徴があった。アフリカでは、再生可能エネルギーや森林保全を対象として民間投資呼び込みを目的としたものや、農家や女性等を対象

に低金利融資を行う等、金融関連のプロジェクトが多くみられた。アジアでは、マングローブや森林の保全と、近隣住民のバイオマス燃料の効率的利用あるいは代替エネルギー供与を組み合わせたプロジェクトが複数存在した。小島嶼諸国では、水供給に必要なポンプのためのエネルギーを再生可能エネルギーに代える等の事業が多いことが分かった。緑の気候基金のデータベースについては、https://a-plat.nies.go.jp/gcf_projects/にて公開している。

(4) 割引率に関する研究

2006年のスターン報告以降、遠い将来の費用・便益を重みづける割引率について議論が活発化している。長期的に下がっていく割引率(DDR)や、炭素の社会的費用(SCC)への影響等、政策的な議論も行われている。ところが消費を尺度にした世代間割引率について、世代内の所得不平等があるときに、どの消費水準を尺度にすべきかは明らかではない。そこで、先進国と途上国との格差を念頭に、図37に示すように、消費割引率を(ア)経済成長効果と(イ)世代内分配効果に分割できる枠組みを示した(Yamaguchi, 2018)。消費だけでなく人口や環境の格差も同じ枠組みで考慮できる。そして、世界全体としての消費の成長率が同じであっても、世代内の所得格差が大きい方が割引率が低くなることが示された。また、この世代間割引率に関する理論を応用して、空間軸における環境への支払意思額の割引率についての理論枠組みを構築し、気候変動の分析における環境割引率と消費割引率との差に相当することなどを示した(Yamaguchi and Shah, 2020)。

また、パリ協定の制約下での自然資本としての化石燃料資源について、SCCを内生化するための理論的な検討を行った。さらに、富ベースの費用便益分析に基づいて、2020年のCOVID-19感染症流行に対応した経済活動の停滞による温室効果ガス削減のコベネフィットは、他の資本の増減に比べて微々たる水準であることを示した。

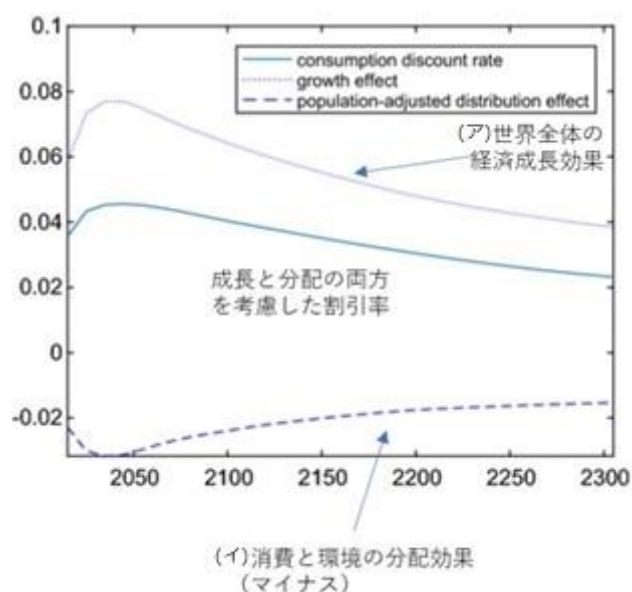


図37 成長と分配の両方を考慮した割引率

2.3.2.4 まとめ

5年間の研究を進める間にも、パリ協定を中心とする国際交渉や社会の動向は日進月歩に進展し、5年前に提示した問題意識や課題がこの期間に変遷したものもあった。これらの影響や、実社会の変遷に応じた研究活動の変更に関しては、それぞれ(1)～(4)の中で記した。

また、この期間中、国ごとの目標設定や政策の他、国内の多様な主体（企業、自治体、都市、等）の自発的な動きが目立つようになった。国として積極的な気候変動対策を実施していなくても、これらの主体の動向によって結果的に排出量が国の目標以上に削減される可能性もあることから、今後はこれらの動向に焦点をあてた研究も必要となる。

引用文献

- 1) Kameyama Y., Kawamoto A. (2016) Four intermediate goals: a methodology for evaluation of climate mitigation policy packages. *Climate Policy* 18(2), 210-220, doi: 10.1080/14693062.2016.1258632.
- 2) Yamaguchi R. (2018) Intergenerational Discounting with Intragenerational Inequality in Consumption and the Environment, *Environmental and Resource Economics*, 73, 957-972.
- 3) Yamaguchi R., Payal S. (2020) Spatial discounting of ecosystem services. *Resource and Energy Economics*, 62, 101186.

[資 料]

1 研究の組織と研究課題の構成

1.1 研究の組織

[A 研究担当者]

地球環境研究センター

センター長

三枝信子

副センター長

江守正多

炭素循環研究室

室長

梁 乃申

荒巻能史

奈良英樹

寺尾有希夫

西橋政秀

大内麻衣*)

富松元*)

Sun Lifei

Zhao Xin

野村渉平*)

寺本宗正*)

地球大気化学研究室

室長

谷本浩志

杉田考史

池田恒平

Deng Yange

藤縄 環

岡本祥子*)

Mueller Astrid

Shi Chong

山下陽介

坂田昂平

衛星観測研究室

森野 勇

吉田幸生

野田 響

八代 尚

大山博史

Frey Mathias Max

押尾春樹

染谷 有

Tran Thi Ngoc Trieu

Dupuy Eric Albert*)

物質循環モデリング・解析研究室

室長

伊藤昭彦

Maksyutov Shamil*)

中山忠暢

齊藤 誠

丹羽陽介

村上和隆

Cong Richao*)

Naveen Chandra

Yin Shuai

井上晋平

宮内達也

佐伯田鶴*)

石澤みさ*)

高木宏志*)

Janardanan Achari Rajesh*)

中河嘉明*)

気候モデリング・解析研究室

小倉知夫

気候変動リスク評価研究室

室長

塩竈秀夫

山形与志樹

横島徳太

田中克政

廣田渚郎

立入 郁

Zusman Eric

吉田崇紘

佐藤雄亮

小端拓郎

林未知也

Melnikova Irina*)

村上大輔*)

大気・海洋モニタリング推進室

室長

町田敏暢

中岡慎一郎

笹川基樹

高尾信太郎

所 立樹

林 一宏*)

陸域モニタリング推進室

室長 (兼務)

三枝信子

	高橋義幸 平田竜一 Pingchun Habura*)
地球環境データ統合解析推進室 室長 統合利用計画連携研究グループ	白井知子
エミッションインベントリ連携研究グループ	市井和仁
衛星観測センター	野尻幸宏 近藤 雅征
地域環境研究センター 主席研究員室 生物・生態系環境計画センター 生物多様性保全計画研究室 環境計測研究センター 動態化学研究室 室長	清野友規 Nyein Chan 王 勤学 小熊宏之
反応化学計測研究室	遠嶋康徳 斉藤拓也 梅澤 拓 保科 優*)
気候変動適応センター センター長 副センター長 気候変動影響評価研究室 室長	猪俣 敏 向井人史 脇岡靖 花崎直太 石崎紀子 Zhou Qian*) 高田久美子*) Ai Zhipin Boulangue Julien Padiyedath Gopalan Saritha
気候変動影響観測・監視研究室	小出 大
社会環境システム研究センター センター長 副センター長	亀山康子 高橋潔

統合環境経済研究室

室長

増井利彦
青柳みどり
花岡達也
Silva Herran Diego
Ambiyah Abdullah
Li Zhaoling
Malahayati Marissa
Vishwanathan Saritha
Yawale Satish Kumar
Xie Yang*)
岡川 梓*)
Dai Hancheng*)
Xing Rui*)

広域影響・対策モデル研究室

室長

高橋 潔 (兼務)
芦名秀一
高倉潤也
Park Chaeyeon
Wu Wenchao
藤森真一郎*)
Liu Jingyu*)
Su Xuanming*)
Zhang Runsen*)
佐尾博志*)

環境社会イノベーション研究室

朝山慎一郎
山口臨太郎
長谷川知子*)

環境政策研究室

久保田泉
金森有子*)

(注) 所属・役職は最終年度終了時点のもの。また、*) 印は過去に所属していた職員等を示す。

[B 客員研究員]

山田朋人	(国立大学法人北海道大学)	(2016年度～2020年度)
石澤みさ	(カナダ環境・気候変動省 気候研究部門)	(2017年度～2020年度)
木下嗣基	(国立大学法人茨城大学)	(2017年度～2018年度、2020年度)
藤森真一郎	(国立大学法人京都大学)	(2018年度～2020年度)
長谷川知子	(立命館大学)	(2019年度～2020年度)
加藤悦史	(一般財団法人エネルギー総合工学研究所)	(2019年度～2020年度)

1.2 研究課題と担当者

【プログラム総括】 江守正多

【プロジェクト1 マルチスケールGHG変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究】

プロジェクトリーダー 三枝信子

サブテーマ1「大気観測によるGHGs収支のスケール別変動評価」

町田敏暢・奈良英樹・寺尾有希夫・西橋政秀・Lifei Sun・Zhao Xin・
谷本浩志・杉田孝史・池田恒平・Yange Deng・藤縄環・Mueller Astrid・
Chong Shi・山下陽介・坂田昂平・森野勇・吉田幸生・大山博史・八代尚・
Matthias Max Frey・押尾晴樹・染谷有・Tran Thi Ngoc Trieu・伊藤昭彦・
中山忠暢・齊藤誠・丹羽洋介・村上和隆・宮内達也・Naveen Chandra・Yin Shuai・
井上晋平・笹川基樹・所立樹・高橋善幸・平田竜一・白井知子・清野友規・
Nyein Chan・市井和仁・野尻幸宏・近藤雅征・遠嶋康徳・斉藤拓也・梅澤拓・
猪俣敏・向井人史

サブテーマ2「海洋・陸域のGHGs収支とそのスケールアップ」

中岡慎一郎・梁乃申・荒巻能史・奈良英樹・谷本浩志・野田響・高尾信太郎・
所立樹・高橋善幸・平田竜一・王勤学・小熊宏之・野尻幸宏・市井和仁・
近藤雅征

サブテーマ3「各種スケールでの緩和策・影響の科学的評価」

伊藤昭彦・梁乃申・荒巻能史・奈良英樹・寺尾有希夫・西橋政秀・Lifei Sun・
Zhao Xin・谷本浩志・杉田孝史・池田恒平・Yange Deng・藤縄環・Mueller Astrid・
Chong Shi・山下陽介・坂田昂平・森野勇・吉田幸生・野田響・大山博史・
八代尚・Matthias Max Frey・押尾晴樹・染谷有・Tran Thi Ngoc Trieu・
中山忠暢・齊藤誠・丹羽洋介・村上和隆・宮内達也・Naveen Chandra・Yin Shuai・
井上晋平・町田敏暢・笹川基樹・中岡慎一郎・高尾信太郎・所立樹・高橋善幸・
平田竜一・白井知子・清野友規・Nyein Chan・市井和仁・野尻幸宏・
近藤雅征・遠嶋康徳・斉藤拓也・梅澤拓・猪俣敏・王勤学・小熊宏之・
向井人史

【プロジェクト2 気候変動予測・影響・対策の統合評価を基にした地球規模の気候変動リスクに関する研究】

プロジェクトリーダー 江守正多

サブテーマ1「気候変化の予測・理解・解釈」

小倉知夫・塩竈秀夫・田中克政・廣田渚郎・立入郁・Zusman Eric・佐藤雄亮・
林未知也

サブテーマ2「陸域統合モデルによる低炭素シナリオ統合解析」

山形与志樹・伊藤昭彦・横畠徳太・吉田崇紘・小端拓郎

サブテーマ3「人間・社会的側面からの気候変動影響・適応・緩和策評価」

亀山康子・高橋潔・増井利彦・青柳みどり・高倉潤也・Wu Wenchao・
Park Chaeyeon・久保田泉・朝山慎一郎・肱岡靖明・花崎直太・石崎紀子・
Boulangé Julien・Ai Zhipin・Padiyedath Gopalan Saritha

【プロジェクト3 世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究】

プロジェクトリーダー 増井利彦

サブテーマ1「世界を対象とした低炭素社会評価のための統合評価モデル開発とその適用」

花岡達也・高橋潔・肱岡靖明・芦名秀一・Silva Herran Diego・

Yawale Satish Kumar・Li Zhaoling・Ambiyah Abdullah・Marissa Malahayati・

Saritha Vishwanathan

サブテーマ2「低炭素社会実現に向けた国際制度のあり方に関する研究」

亀山康子・山口臨太郎・朝山慎一郎・久保田泉

(注) 最終年度終了時点のもの。

2 研究成果発表一覧

2.1 誌上发表 (プロジェクト間の重複あり)

<雑誌>

発表者・(刊年)・題目・掲載誌・巻(号)・頁

(1) プロジェクト1 : マルチスケール GHG 変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究

Adachi M., Ito A., Yonemura S., Takeuchi W. (2017) Estimation of global soil respiration by accounting for land-use changes derived from remote sensing data. *Journal of Environmental Management*, 200, 97-104

Akimoto H., Nagashima T., Tanimoto H., Klimont Z., Amann M. (2020) An empirical approach toward the SLCP reduction targets in Asia for the mid-term climate change mitigation. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 73

Akitsu T.K., Nakaji T., Kobayashi H., Okano T., Honda Y., Bayarsaikhan U., Terigele, Hayashi M., Hiura T., Ide R., Igarashi S., Kajiwara K., Kumikawa S., Matsuoka Y., Nakano T., Nakano T., Okuda A., Sato T., Tachiiri K., Takahashi Y., Uchida J., Nasahara K.N. (2020) Large-scale ecological field data for satellite validation in deciduous forests and grasslands. *Ecological Research*, 35 (6), 1010-1028

Aramaki T., Nakaoka S., Terao Y., Kobayashi T., Osonoi Y., Mukai H., Tohjima Y. (2019) Variation of surface radiocarbon in the North Pacific during summer season 2004-2016. *Radiocarbon*, 61 (5), 1367-1375

Babenhauserheide A., Hase F., Morino I. (2020) Net CO₂ fossil fuel emissions of Tokyo estimated directly from measurements of the Tsukuba TCCON site and radiosondes. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13, 2697-2710

Bader W., Bovy B., Conway S., Strong K., Smale D., Turner A.J., Blumenstock T., Boone C., Coen M.C., Coulon A., Garcia O., Griffith D.W.T., Hase F., Hausmann P., Jones N., Krummel P., Murata I., Morino I., Nakajima H., O'Doherty S., Paton-Walsh C., Robinson J., Sandrin R., Schneider M., Servais C., Sussmann R., Mahieu E. (2017) The recent increase of atmospheric methane from 10 years of ground-based NDACC FTIR observations since 2005. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(3), 2255-2277

Belikov D.A., Maksyutov S., Yaremchuk A., Ganshin A., Kaminski T., Blessing S., Sasakawa M., Gomez-Pelaez A.J., Starchenko A. (2016) Adjoint of the global Eulerian-Lagrangian coupled atmospheric transport model (A-GELCA v1.0): development and validation. *Geoscientific Model Development*, 9 (2), 749-764

Belikov D., Arshinov M., Belan B., Davydov D., Fofonov A., Sasakawa M., Machida T. (2019) Analysis of the diurnal, weekly, and seasonal cycles and annual trends in atmospheric CO₂ and CH₄ at tower network in Siberia from 2005 to 2016. *Atmosphere*, 10 (11), 689

Bond-Lamberty B., Christianson D.S., Malhotra A., Pennington S.C., Sihi D., Agha Kouchak A., Anjileli H., Arain M.A., Armesto J.J., Ashraf S., Ataka M., Baldocchi D., Black T.A., Buchmann N., Carbone M.S., Chang S., Crill P., Curtis P.S., Davidson E.A., Desai A.R., Drake J.E., El-Madany T.S., Gavazzi M., Gorres C., Gough C.M., Goulden M., Gregg J., Gutierrez del Arroyo O., He J., Hirano T., Hopple A., Hughes H., Jarveoja J., Jassal R., Jian J., Kan H., Kaye J., Kominami Y., Liang N., Lipson D., Macdonald C.A., Maseyk K., Mathes K., Mauritz M., Mayes M.A., McNulty S., Miao G., Migliavacca M., Miller S., Miniati C.F., Nietz J.G., Nilsson M.B., Noormets A., Norouzi H., O'Connell C.S., Osborne B., Oyonarte C., Pang Z., Peichl M., Pendall E., Perez-Quezada J.F., Phillips C.L., Phillips R.P., Raich J.W., Renchon A.A., Ruehr N.K., Sanchez-Canete E.P., Saunders M., Savage K.E., Schrumppf M., Scott R.L., Seibt U., Silver W.L., Sun W., Szutu D., Takagi K., Takagi M., Teramoto M., Tjoelker M.G., Trumbore S., Ueyama M., Vargas R., Varner R.K., Verfaillie J., Vogel C., Wang J., Winston G., Wood T.E., Wu J., Wutzler T., Zeng J., Zha T., Zou J. (2020) COSORE: A community database for continuous soil respiration and other soil-atmosphere greenhouse gas flux data. *Global Change Biology*, 26(12), 7268-7283

Bril A., Maksyutov S., Belikov D., Oshchepkov S., Yoshida Y., Deutscher N., Griffith D., Hase F., Morino I., Kivi R., Notholt J., Pollard D., Sussmann R., Velasco V., Warneke T. (2016) EOF-based regression algorithm for the fast retrieval of atmospheric CO₂ total column amount from the GOSAT observations. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 189, 258-266

Byrne B., Liu J., Lee M., Baker I., Bowman K.W., Deutscher N.M., Feist D.G., Griffith D.W.T., Iraci L.T., Kiel M., Kimball J.S., Miller C.E., Morino I., Parazoo N.C., Petri C., Roehl C.M., Sha M.K., Strong K., Velasco V.A., Wennberg P.O., Wunch D. (2020) Improved Constraints on Northern Extratropical CO₂ Fluxes Obtained by Combining Surface - Based and Space - Based Atmospheric CO₂ Measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125 (15), e2019JD032029

- Cantu A.G., Frieler K., Reyer C.P.O., Ciais P., Chang J., Ito A., Nishina K., Francois L., Henrot A.J., Hickler T., Steinkamp J., Rafique R., Zhao F., Ostberg S., Schaphoff S., Tian H., Pan S., Yang J., Morfopoulos C., Betts R. (2018) Evaluating changes of biomass in global vegetation models: the role of turnover fluctuations and ENSO events. *Environmental Research Letters*, 13, 075002
- Cheung S., Nitani R., Tsurumoto C., Endo H., Nakaoka S., Cheah W., Lorda J., Xia X., Suzuki K. (2020) Physical Forcing Controls the Basin - Scale Occurrence of Nitrogen - Fixing Organisms in the North Pacific Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 34, e2019GB006452
- Claxton T., Hossaini R., Wilson C., Montzka S., Chipperfield M., Wild O., Bednarz E., Carpenter L., Andrews S., Hackenberg S., Muhle J., Oram D., Park S., Park M., Atlas E., Navarro M., Schauffler S., Sherry D., Vollmer M., Schuck T., Engel A., Krummel P., Maione M., Arduini J., Saito T., Yokouchi Y., O'Doherty S., Young D., Lunder C. (2020) A Synthesis Inversion to Constrain Global Emissions of Two Very Short Lived Chlorocarbons: Dichloromethane, and Perchloroethylene. *JGR: Atmospheres*, 125 (12), 1-25
- Cong R., Saito M., Hirata R., Ito A., Maksyutov S. (2019) Uncertainty Analysis on Global Greenhouse Gas Inventories from Anthropogenic Sources. *International Journal of Environmental Pollution and Remediation*, 7, 1-8
- Cui E., Huang K., Arain M. A., Fisher J.B., Huntzinger D.N., Ito A., Luo Y., Jain A.K., Mao J., Michalak A.M., Niu S., Parazoo N., Peng C., Peng S., Poulter B., Ricciuti D.M., Schaefer K.M., Schwalm C.R., Shi X., Tian H., Wang W., Wang J., Wei Y., Yan E., Yan L., Zeng N., Zhu Q., Xia J. (2019) Vegetation functional properties determine uncertainty of simulated ecosystem productivity: A traceability analysis in the east Asian monsoon region. *Global Biogeochemical Cycles*, 33, 1-22
- Dorothee C. E. Bakker, Benjamin Pfeil, Camilla S. Landa, Nicolas Metzl, Kevin M. O'Brien, Are Olsen, Karl Smith, Cathy Cosca, Harasawa S., Stephen D. Jones, Nakaoka S., Nojiri Y., Ute Schuster, Tobias Steinhoff, Colm Sweeney, Taro Takahashi, Bronte Tilbrook, Wada C., et al. (2016) A multi-decade record of high-quality fCO₂ data in version 3 of the Surface Ocean CO₂ Atlas (SOCAT). *Earth System Science Data*, 8, 383-413
- Du M., Liang N. (2019) Observations of atmospheric particulate matters and its local environmental effects in Japan. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 15, 176-181
- Engel A., Rigby M., Burkholder J.B., Fernandez R.P., Froidevaux L., Hall B.D., Hossaini R., Saito T., Vollmer M.K., Yao B. (2018) Chapter 1: Update on Ozone-Depleting Substances (ODSs) and Other Gases of Interest to the Montreal Protocol. In: World Meteorological Organization 編, *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 58*, 1-87
- Fang X., Park S., Saito T., Tunnicliffe R., Ganesan A., Rigby M., Li S., Yokouchi Y., Fraser P.J., Harth C.M., Krummel P.B., Muhle J., O'Doherty S., Salameh P.K., Simmonds P.G., Weiss R.F., Young D., Lunt M.F., Manning A.J., Gressent A., Prinn R.G. (2019) Rapid increase in ozone-depleting chloroform emissions from China. *Nature Geoscience*, 12 (2), 89-93
- Feng L., Palmer P.I., Bosch H., Parker R.J., Webb A.J., Correia C.S.C., Deutscher N.M., Domingues L.G., Feist D.G., Gatti L.V., Gloor E., Hase F., Kivi R., Liu Y., Miller J.B., Morino I., Sussmann R., Strong K., Uchino O., Wang J., Zahn A. (2017) Consistent regional fluxes of CH₄ and CO₂ inferred from GOSAT proxy XCH₄:XCO₂ retrievals, 2010-2014. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 4781-4797
- Frey M., Sha M.K., Hase F., Kiel M., Blumenstock T., Harig R., Surawicz G., Deutscher N.M., Shiomi K., Franklin J., Bosch H., Chen J., Grutter M., Ohyama H., Sun Y., Butz A., Tsidu G.M., Ene D., Wunch D., Cao Z., Garcia O., Ramonet M., Vogel F., Orphal J. (2019) Building the Collaborative Carbon Column Observing Network (COCCON): long-term stability and ensemble performance of the EM27/SUN Fourier transform spectrometer. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12, 1513-1530
- Friedlingstein P., Jones M.W., O'Sullivan M., Andrew R.M., Hauck J., Peters G.P., Peters W., Pongratz J., Sitch S., Quere C.L., Bakker D.C.E., Canadell J.G., Ciais P., Jackson R.B., Anthoni P., Barbero L., Bastos A., Bastrikov V., Becker M., Bopp L., Buitenhuis E., Chandra N., Chevallier F., Chini L.P., Currie K.I., Feely R.A., Gehlen M., Gilfillan D., Gkritzalis T., Goll D.S., Gruber N., Gutekunst S., Harris I., Havard V., Houghton R.A., Hurtt G., Ilyina T., Jain A.K., Joetzer E., Kaplan J.O., Kato E., Goldewijk K.K., Korsbakken J.I., Landschutzer P., Lauvset S.K., Lefevre N., Lenton A., Lienert S., Lombardozi D., Marland G., McGuire P.C., Melton J.R., Metzl N., Munro D.R., Nabel J.E.M.S., Nakaoka S., Neill C., Omar A.M., Ono T., Peregon A., Pierrot D., Poulter B., Rehder G., Resplandy L., Robertson E., Rodenbeck C., Seferian R., Schwinger J., Smith N., Tans P.P., Tian H., Tilbrook B., Tubiello F.N., Werf G.R.V.D., Wiltshire A.J., Zaehle S. (2019) Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, 11, 1783-1838

- Gao J., Zhang Y., Song Q., Lin Y., Zhou R., Dong Y., Zhou L., Li J., Jin Y., Zhou W., Liu Y., Sha L., Grace J., Liang N. (2019) Stand age-related effects on soil respiration in rubber plantations (*Hevea brasiliensis*) in southwest China. *European Journal of Soil Science*, 70 (6), 1221-1233
- Gaubert B., Stephens B.B., Basu S., Chevallier F., Deng F., Kort E.A., Patra P.K., Peters W., Rodenbeck C., Saeki T., Schimel D., Van der Laan-Luijkx I., Wofsy S., Yin Y. (2019) Global atmospheric CO₂ inverse models converging on neutral tropical land exchange, but disagreeing on fossil fuel and atmospheric growth rate. *Biogeosciences*, 16, 117-134
- Groot Zwaafink C.D., Henne S., Thompson R.L., Dlugokencky E.J., Machida T., Paris J.D., Sasakawa M., Segers A., Sweeney C., Stohl A. (2018) Three-dimensional methane distribution simulated with FLEXPART 8-CTM-1.1 constrained with observation data. *Geoscientific Model Development*, 11 (11), 4469-4487
- He Y., Peng S., Liu Y., Li X., Wang K., Ciais P., Arain M.A., Fang Y., Fisher J.B., Goll D., Hayes D., Huntzinger D.N., Ito A., Jain A.K., Janssens I.A., Mao J., Matteo C., Michalak A.M., Peng C., Penuelas J., Poulter B., Qin D., Ricciuto D., Schaefer K., Schwalm C.R., Shi X., Tian H., Vicca S., Wei Y., Zeng N., Zhu Q. (2020) Global vegetation biomass production efficiency constrained by models and observations. *Global Change Biology*, 26, 1474-1484
- Hikosaka K., Noda H. (2019) Modeling leaf CO₂ assimilation and photosystem II photochemistry from chlorophyll fluorescence and the photochemical reflectance index. *Plant, Cell & Environment*, 42 (2), 730-739
- Hirano T., Suzuki K., Hirata R. (2017) Energy balance and evapotranspiration changes in a larch forest caused by severe disturbance during an early secondary succession. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232 (15), 457-468
- Hoshina Y., Tohjima Y., Katsumata K., Machida T., Nakaoka S. (2018) In situ observation of atmospheric oxygen and carbon dioxide in the North Pacific using a cargo ship. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 9283-9295
- Hossaini R., Patra P.K., Leeson A.A., Krysztofiak G., Abraham N.L., Andrews S.J., Archibald A.T., Aschmann J., Atlas E.L., Belikov D.A., Bonisch H., Carpenter L.J., Dhomse S., Dorf M., Engel A., Feng W., Fuhlbrugge S., Griffiths P.T., Harris N.R.P., Hommel R., Keber T., Kruger K., Lennartz S.T., Maksyutov S., Mantle H., Mills G.P., Miller B., Montzka S.A., Moore F., Navarro M.A., Oram D.E., Pfeilsticker K., Pyle J.A., Quack B., Robinson A.D., Saikawa E., Lopez A.S., Sala S., Sinnhuber B.M., Taguchi S., Tegtmeier S., Lidster R.T., Wilson C., Ziska F. (2016) A multi-model intercomparison of halogenated very short-lived substances (TransCom-VSLS): linking oceanic emissions and tropospheric transport for a reconciled estimate of the stratospheric source gas injection of bromine. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 9163-9187
- Ichii K., Ueyama M., Kondo M., Saigusa N., Kim J., Alberto Ma.C., Ardo J., Euskirchen E.S., Kang M., Hirano T., Joiner J., Kobayashi H., Marchesini L.B., Merbold L., Miyata A., Saitoh T.M., Takagi K., Varlagin A., Bret-Harte M.S., Kitamura K., Kosugi Y., Kotani A., Kumar K., Li S.G., Machimura T., Matsuura Y., Mizoguchi Y., Ohta T., Mukherjee S., Yanagi Y., Yasuda Y., Zhang Y., Zhao F. (2017) New data-driven estimation of terrestrial CO₂ fluxes in Asia using a standardized database of eddy covariance measurements, remote sensing data, and support vector regression. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122, 767-795
- Ikeda K., Tanimoto H., Sugita T., Akiyoshi H., Kanaya Y., Zhu C., Taketani F. (2017) Tagged black carbon simulations in the Arctic: Transport, source contributions, and budget. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 10515-10533
- Immanuel G.S., Rakhman A., Budianto B., Boer R., Ardiansyah M., Hamid N., Gumilang I., Nishihashi M., Mukai H., Terao Y., Hashimoto S., Osonoi Y., Nugroho R., Suwedi N., Rifai A., Ihsan I.M., Sulaiman A., Gunawan D., Suharguniyawan E., Nugraha M.S., Wattimena R.C. (2019) Real Time Air Quality Monitoring System in Three Sites (Bogor, Cibereum and Serpong). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 303 (1), 012055
- Inatomi M., Hajima T., Ito A. (2019) Fraction of nitrous oxide production in nitrification and its effect on total soil emission: A meta-analysis and global-scale sensitivity analysis using a process-based model. *PLOS ONE*, 14 (7), e0219159
- Inoue M., Morino I., Uchino O., Nakatsuru T., Yoshida Y., Yokota T., Wunch D., Wennberg P.O., Roehl C.M., Griffith D.W.T., Velasco V.A., Deutscher N.M., Warneke T., Notholt J., Robinson J., Sherlock V., Hase F., Blumenstock T., Rettinger M., Sussmann R., Kyro E., Kivi R., Shiomi K., Kawakami S., De Maziere M., Arnold S.G., Feist D.G., Barrow E.A., Barney J., Dubey M., Schneider M., Iraci L.T., Podolske J.R., Hillyard P.W., Machida T., Sawa Y., Tsuboi K., Matsueda H., Sweeney C., Tans P.P., Andrews A.E., Biraud S.C., Fukuyama Y., Pittman J.V., Kort E.A., Tanaka T. (2016) Bias corrections of GOSAT SWIR XCO₂ and XCH₄ with TCCON data and their evaluation using aircraft measurement data. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(8), 3491-3512

- Iriana W., Tonokura K., Inoue G., Kawasaki M. (2018) Ground-based measurements of column-averaged carbon dioxide molar mixing ratios in a peatland fire-prone area of Central Kalimantan, Indonesia. *Scientific Reports*, 8, 8437
- Ishidoya S., Sugawara H., Terao Y., Kaneyasu N., Aoki N., Tsuboi K., Kondo H. (2020) O₂:CO₂ exchange ratio for net turbulent flux observed in an urban area of Tokyo, Japan, and its application to an evaluation of anthropogenic CO₂ emissions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 5293-5308
- Ishikura K., Hirano T., Okimoto Y., Hirata R., Kiew F., Melling L., Aeries E.B., Lo K.S., Musin K.K., Waili J.W., Wong G.X., Ishii Y. (2018) Soil carbon dioxide emissions due to oxidative peat decomposition in an oil palm plantation on tropical peat. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254 (15), 202-212
- Ishizawa M., Mabuchi K., Shirai T., Inoue M., Morino I., Uchino O., Yoshida Y., Belikov D., Maksyutov S. (2016) Inter-annual variability of summertime CO₂ exchange in Northern Eurasia inferred from GOSAT XCO₂. *Environmental Research Letters*, 11, 105001
- 伊藤昭彦 (2016) 植生起源 VOC の広域推定モデル. *大気化学研究*, 36, 036A02
- Ito A. (2017) Solar radiation management and ecosystem functional responses. *Climatic Change*, 142, 53-66
- 伊藤昭彦, 小出大, 中河嘉明 (2017) 陸域生物圏モデルの開発と温暖化研究 : 最近の動向. *天気*, 64 (6), 409-427
- Ito A., Nishina K., Ishijima K., Hashimoto S., Inatomi M. (2018) Emissions of nitrous oxide (N₂O) from soil surfaces and their historical changes in East Asia: a model-based assessment. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5(1), 55
- Ito A., Tohjima Y., Saito T., Umezawa T., Hajima T., Hirata R., Saito M., Terao Y. (2019) Methane budget of East Asia, 1990-2015: A bottom-up evaluation. *Science of the Total Environment*, 676, 40-52
- Ito A. (2019) Disequilibrium of terrestrial ecosystem CO₂ budget caused by disturbance-induced emissions and non-CO₂ carbon export flows: a global model assessment. *Earth System Dynamics*, 10, 685-709
- Ito A. (2019) Methane emission from pan-Arctic natural wetlands estimated using a process-based model, 1901-2016. *Polar Science*, 21, 26-36
- Ito A. (2020) Constraining size-dependence of vegetation respiration rates. *Scientific Reports*, 10 (4304), 1-8
- Ito A., Hajima T. (2020) Biogeophysical and biogeochemical impacts of land-use change simulated by MIROC-ES2L. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 54
- Ito A., Ichii K. (2021) Terrestrial ecosystem model studies and their contributions to AsiaFlux. *Journal of Agricultural Meteorology*, 77(1), 81-95
- Iwasaki C., Imasu R., Bril A., Yokota T., Yoshida Y., Morino I., Oshchepkov S., Wunch D., Griffith D.W.T., Deutscher N.M., Kivi R., Pollard D., Roehl C.M., Velazco V.A., Sussmann R., Warneke T., Notholt J. (2017) Validation of GOSAT SWIR XCO₂ and XCH₄ Retrieved by PPDF-S Method and Comparison with Full Physics Method. *SOLA*, 13, 168-173
- Iwata H., Nakazawa K., Sato H., Itoh M., Miyabara Y., Hirata R., Takahashi Y., Tokida T., Endo R. (2020) Temporal and spatial variations in methane emissions from the littoral zone of a shallow mid-latitude lake with steady methane bubble emission areas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295, 108184
- Jackson R.B., Saunio M., Bousquet P., Canadell J.G., Poulter B., Stavert A.R., Bergamaschi P., Niwa Y., Segers A., Tsuruta A. (2020) Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. *Environmental Research Letters*, 15, 071002
- Janardanan R., Maksyutov S., Oda T., Saito M., Kaiser J.W., Ganshin A., Stohl A., Matsunaga T., Yoshida Y., Yokota T. (2016) Comparing GOSAT observations of localized CO₂ enhancements by large emitters with inventory-based estimates. *Geophysical Research Letters*, 43 (7), 3486-3493
- Janardanan R., Maksyutov S., Ito A., Yoshida Y., Matsunaga T. (2017) Assessment of Anthropogenic Methane Emissions over Large Regions Based on GOSAT Observations and High Resolution Transport Modeling. *Remote Sensing*, 9 (9), 941

- Janardanan achari R., Maksyutov S., Tsuruta A., Wang F., Tiwari Y.K., Valsala V., Ito A., Yoshida Y., Kaiser J.W., Janssens-Maenhout G., Arshinov M., Sasakawa M., Tohjima Y., Worthy D.E.J., Dlugokencky E.J., Ramonet M., Arduini J., Lavric J.V., Piacentino S., Krummel P.B., Langenfelds R.L., Mammarella I., Matsunaga T. (2019) Country-Scale Analysis of Methane Emissions with a High-Resolution Inverse Model Using GOSAT and Surface Observations. *Remote Sensing*, 12(3), 375
- Jia B., Luo X., Cai X., Jain A., Huntzinger D.N., Xie Z., Zeng N., Mao J., Shi X., Ito A., Wei Y., Tian H., Poulter B., Hayes D., Schaefer K. (2020) Impacts of land use change and elevated CO₂ on the interannual variations and seasonal cycles of gross primary productivity in China. *Earth System Dynamics*, 11, 235-249
- Jiang F., Chen J., Zhou L., Zhang H., Machida T., Ciais P., Peters W., Wang H., Chen B., Liu L., Zhang C., Matsueda H., Sawa Y. (2016) A comprehensive estimate of recent carbon sinks in China using both top-down and bottom-up approaches. *Scientific Reports*, 6, 22130
- Jung M., Reichstein M., Schwalm C.R., Huntingford C., Sitch S., Ahlstrom A., Arneeth A., Camps-Valls G., Ciais P., Friedlingstein P., Gans F., Ichii K., Jain A.K., Kato E., Papale D., Poulter B., Raduly B., Rodenbeck C., Tramontana G., Viovy N., Wang Y.P., Weber U., Zaehle S., Zeng N. (2017) Compensatory water effects link yearly global land CO₂ sink changes to temperature. *NATURE*, 541 (26), 516-526
- Kanaya Y., Yamaji K., Miyakawa T., Taketani F., Zhu C., Choi Y., Komazaki Y., Ikeda K., Kondo Y., Klimont Z. (2020) Rapid reduction in black carbon emissions from China: evidence from 2009-2019 observations on Fukue Island, Japan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 6339-6356
- Kaneyasu N., Ishidoya S., Terao Y., Mizuno Y., Sugawara H. (2020) Estimation of PM_{2.5} Emission Sources in the Tokyo Metropolitan Area by Simultaneous Measurements of Particle Elements and Oxidative Ratio in Air. *ACS Earth and Space Chemistry*, 4 (2), 297-304
- Kiew F., Hirata R., Hirano T., Wong G.X., Aeries E.B., Musin K.K., Waili J.W., Lo K.S., Shimizu M., Melling L. (2018) CO₂ balance of a secondary tropical peat swamp forest in Sarawak, Malaysia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248 (15), 494-501
- Kiew F., Hirata R., Hirata T., Wong G.X., Aries E.B., Kemudang K., Wenceslaus J., San L.K., Melling L. (2020) Carbon dioxide balance of an oil palm plantation established on tropical peat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295, 108189
- Kim J., Kim H.M., Cho C.H., Boo K.O., Jacobson A.R., Sasakawa M., Machida T., Arshinov M., Fedoseev N. (2017) Impact of Siberian observations on the optimization of surface CO₂ flux. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17 (4), 2881-2899
- Kivimäki E., Lindqvist H., Hakkarainen J., Laine M., Sussmann R., Tsuruta A., Detmers R., Deutscher N. M., Dlugokencky E. J., Hase F., Hasekamp O., Kivi R., Morino I., Notholt J., Pollard D. F., Roehl C., Schneider M., Sha M. K., Velasco V.A., Warneke T., Wunch D., Yoshida Y., Tamminen J. (2019) Evaluation and Analysis of the Seasonal Cycle and Variability of the Trend from GOSAT Methane Retrievals. *remote sensing*, 11, 882
- Koirala S., Jung M., Reichstein M., De Graaf I.E.M., Camps-Valls G., Ichii K., Papale D., Raduly B., Schwalm C.R., Tramontana G., Carvalhais N. (2017) Global distribution of groundwater-vegetation spatial covariation. *Geophysical Research Letters*, 44, 4134-4142
- Kondo M., Saitoh T.M., Sato H., Ichii K. (2017) Comprehensive synthesis of spatial variability in carbon flux across monsoon Asian forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 623-634
- Kondo M., Patra P.K., Sitch S., Friedlingstein P., Poulter B., Chevallier F., Ciais P., Canadell J.G., Bastos A., Lauerwald R., Calle L., Ichii K., Anthoni P., Arneeth A., Haverd V., Jain A.K., Kato E., Kautz M., Law R.M., Lienert S., Lombardozzi D., Maki T., Nakamura T., Peylin P., Rodenbeck C., Zhuravlev R., Saeki T., Tian H., Zhu D., Ziehn T. (2020) State of the science in reconciling top - down and bottom - up approaches for terrestrial CO₂ budget. *Global Change Biology*, 26 (3), 1068-1084
- Le Quéré C., Andrew R. M., Friedlingstein P., Sitch S., Pongratz J., Manning A. C., Korsbakken J. I., Peters G. P., Canadell J. G., Jackson R. B., Boden T. A., Tans P. P., Andrews O. D., Arora V. K., Bakker D. C. E., Barbero L., Becker M., Betts R. A., Bopp L., Chevallier F., Chini L. P., Ciais P., Cosca C. E., Cross J., Currie K., Gasser T., Harris I., Hauck J., Haverd V., Houghton R. A., Hunt C. W., Hurtt G., Ilyina T., Jain A. K., Kato E., Kautz M., Keeling R. F., Klein Goldewijk K., Körtzinger A., Landschützer P., Lefèvre N., Lenton A., Lienert S., Lima I., Lombardozzi D., Metz N., Millero F., Monteiro P. M. S., Munro D. R., Nabel J. E. M. S., Nakaoka S.-I., Nojiri Y., Padin X. A., Peregón A., Pfeil B., Pierrot D., Poulter B., Rehder G., Reimer J., Rödenbeck C., Schwinger J., Séférian R., Skjelvan I., Stocker B. D., Tian H., Tilbrook B., van der Laan-Luijkx I. T., van der Werf G. R., van Heuven S., Viovy, N., Vuichard N., Walker A. P., Watson A. J., Wiltshire A. J., Zaehle S., Zhu D. (2018) Global Carbon Budget 2017, *Earth System Science Data*, 10(1), 405-448

- Le Quééré C., Andrew R.M., Friedlingstein P., Sitch S., Hauck J., Pongratz J., Pickers P.A., Korsbakken J.I., Peters G.P., Canadell J.G., Arneeth A., Arora V.K., Barbero L., Bastos A., Bopp L., Chevallier F., Chini L.P., Ciais P., Doney S.C., Gkritzalis T., Goll D.S., Harris I., Haverd V., Hoffman F.M., Hoppema M., Houghton R.A., Hurtt G., Ilyina T., Jain A.K., Johannessen T., Jones C.D., Kato E., Keeling R.F., Goldewijk K.K., Landschutzer P., Lefevre N., Lienert S., Liu Z., Lombardozi D., Metzl N., Munro D.R., Nabel J.E.M.S., Nakaoka S., Neill C., Olsen A., Ono T., Patra P., Peregón A., Peters W., Peylin P., Pfeil B., Pierrot D., Poulter B., Rehder G., Resplandy L., Robertson E., Rocher M., Rodenbeck C., Schuster U., Schwinger J., Seferian R., Skjelvan I., Steinhoff T., Sutton A., Tans P.P., Tian H., Tilbrook B., Tubiello F.N., Laan-Luijckx I.T.V.D., Werf G.R.V.D., Viovy N., Walker A.P., Wiltshire A.J., Wright R., Zaehle S., Zheng B. (2018) Global Carbon Budget 2018. *Earth System Science Data*, 10, 2141-2194
- Li S., Yuan W., Ciais P., Viovy N., Ito A., Jia B., Zhu D. (2019) Benchmark estimates for aboveground litterfall data derived from ecosystem models. *Environmental Research Letters*, 14 (084020), 1-12
- Liang N., Teramoto M., Takagi M., Zeng J. (2017) High-resolution data on the impact of warming on soil CO₂ efflux from an Asian monsoon forest. *Scientific Data*, 4, 170026
- Lin X., Rogers B.M., Sweeney C., Chevallier F., Arshinov M., Dlugokencky E., Machida T., Sasakawa M., Tans P., Keppel-Aleks G. (2020) Siberian and temperate ecosystems shape Northern Hemisphere atmospheric CO₂ seasonal amplification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117 (35), 21079-21087
- Liu Y., Piao S., Gasser T., Ciais P., Yang H., Wang H., Keenan T.F., Huang M., Wan S., Song J., Wang K., Janssens I.A., Penuelas J., Huntingford C., Wang X., Arain M.A., Fang Y., Fisher J.B., Huang M., Huntzinger D.N., Ito A., Jain A.K., Mao J., Michalak A., Peng C., Poulter B., Schwalm C., Shi X., Tian H., Wei Y., Zeng N., Zhu Q., Wang T. (2019) Field-experiment constraints on the enhancement of the terrestrial carbon sink by CO₂ fertilization. *Nature Geoscience*, 12, 809-814
- Lutsch E., Strong K., Jones D.B.A., Blumenstock T., Conway S., Fisher J.A., Hannigan J.W., Hase F., Kasai Y., Mahieu E., Makarova M., Morino I., Nagahama T., Notholt J., Ortega I., Palm M., Poberovskii A.V., Sussmann R., Warneke T. (2020) Detection and attribution of wildfire pollution in the Arctic and northern midlatitudes using a network of Fourier-transform infrared spectrometers and GEOS-Chem. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20 (21), 12813-12851
- 町田敏暢, 坪井一寛, 丹羽洋介, 梅澤拓, 石島健太郎, 松枝秀和 (2020) 民間旅客機が切り拓く大気中二酸化炭素の新たな観測ネットワーク. *Japan Energy & Technology Intelligence*, 68 (1), 83-86
- 向井人史, 野村渉平 (2017) 変動する気候下での炭素循環. 向井人史 野村渉平訳, パリティ, 丸善株式会社, 4-12
- 向井人史, 寺尾有希夫 (2018) 温室効果ガスの監視. *現代化学*, (571), 34-39
- 向井人史, 寺尾有希夫 (2018) 地球温暖化と二酸化炭素. *Journal of the Society of INORGANIC MATERIALS, JAPAN*, 25 (397), 354-361
- Miyazaki Y., Gowda D., Tachibana E., Takahashi Y., Hiura T. (2019) Identification of secondary fatty alcohols in atmospheric aerosols in temperate forests. *Biogeosciences*, 16, 2181-2188
- Murakami K., Nomura D., Hashida G., Nakaoka S., Kitade Y., Hirano D., Hirawake T., Ohshima K. (2020) Strong biological carbon uptake and carbonate chemistry associated with T dense shelf water outflows in the Cape Darnley polynya, East Antarctica. *Marine Chemistry*, 225(C8), 103842
- Nakaji T., Oguma H., Nakamura M., Kachina P., Asanok L., Marod D., Aiba M., Kurokawa H., Kosugi Y., Kassim A.R., Hiura T. (2019) Estimation of six leaf traits of East Asian forest tree species by leaf spectroscopy and partial least square regression. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111381
- Nakayama T. (2016) New perspective for eco-hydrology model to constrain missing role of inland waters on boundless biogeochemical cycle in terrestrial-aquatic continuum. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16, 138-148
- Nakayama T. (2017) Biogeochemical contrast between different latitudes and the effect of human activity on spatio-temporal carbon cycle change in Asian river systems. *Biogeosciences Discussions*, DOI:10.5194/BG-2017-447
- Nakayama T. (2017) Development of an advanced eco-hydrologic and biogeochemical coupling model aimed at clarifying the missing role of inland water in the global biogeochemical cycle. *Journal of Geophysical Research*, 122, 966-988

- Nakayama T. (2017) Scaled-dependence and seasonal variations of carbon cycle through development of an advanced eco-hydrologic and biogeochemical coupling model. *Ecological Modelling*, 356, 151-161
- Nakayama T., Maksyutov S. (2018) Application of process-based eco-hydrological model to broader northern Eurasia wetlands through coordinate transformation. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 18 (3), 269-277
- Nakayama T., Pelletier G.J. (2018) Impact of global major reservoirs on carbon cycle changes by using an advanced eco-hydrologic and biogeochemical coupling model. *Ecological Modelling*, 387, 172-186
- 中山忠暢 (2018) 地表水-地下水相互作用及びその生態系や生物地球化学へ及ぼす影響〜プロセス型モデルを用いたアプローチ〜. *地下水学会誌*, 60 (2), 143-156
- Nakayama T. (2020) Inter-annual simulation of global carbon cycle variations in a terrestrial-aquatic continuum. *Hydrological Processes*, 34, 662-678
- Nakayama T., Wang Q-X., Okadera T. (2021) Evaluation of spatio-temporal variations in water availability using a process-based eco-hydrology model in arid and semi-arid regions of Mongolia. *Ecological Modelling*, 440, 109404
- Nara H., Tanimoto H., Tohjima Y., Mukai H., Nojiri Y., Machida T. (2017) Emission factors of CO₂, CO and CH₄ from Sumatran peatland fires in 2013 based on shipboard measurements. *Tellus B*, 69, 1399047
- Naveen C., Patra P.K., Bisht J.S.H., Ito A., Umezawa T., Saigusa N., Morimoto S., Aoki S., Janssens-Maenhout G. (2021) Emissions from the Oil and Gas Sectors, Coal Mining and Ruminant Farming Drive Methane Growth over the Past Three Decades. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99 (2), 309-337
- Nishihashi M., Mukai H., Terao Y., Hashimoto S., Osonoi Y., Boer R., Ardiansyah M., Budianto B., Immanuel G.S., Rakhman A., Nugroho R., Suwedi N., Rifai A., Ihsan I.M., Sulaiman A., Gunawan D., Suharguniyawan E., Nugraha M.S., Wattimena R.C., Ilahi A.F. (2019) Greenhouse gases and air pollutants monitoring project around Jakarta megacity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 303 (1), 012038
- Niwa Y., Fujii Y. (2020) A conjugate BFGS method for accurate estimation of a posterior error covariance matrix in a linear inverse problem. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(732), 3118-3143
- Niwa Y., Tomita H., Satoh M., Imasu R., Sawa Y., Tsuboi K., Matsueda H., Machida T., Sasakawa M., Belan B., Saigusa N. (2017) A 4D-Var inversion system based on the icosahedral grid model (NICAM-TM 4D-Var v1.0)-Part 1: Offline forward and adjoint transport models. *Geoscientific Model Development*, 10 (3), 1157-1174
- Niwa Y., Fujii Y., Sawa Y., Iida Y., Ito A., Satoh M., Imasu R., Tsuboi K., Matsueda H., Saigusa N. (2017) A 4D-Var inversion system based on the icosahedral grid model (NICAM-TM 4D-Var v1.0) - Part 2: Optimization scheme and identical twin experiment of atmospheric CO₂ inversion. *Geoscientific Model Development*, 10, 2201-2219
- 野田響 (2018) 人工衛星による太陽光励起クロロフィル蛍光の観測の概要. *日本リモートセンシング学会誌*, 38 (5), 410-413
- 野田響, 吉田幸生, 押尾晴樹, 宮内達也 (2019) GOSAT-2 により観測される太陽光励起クロロフィル蛍光の概要と将来の展望. *日本リモートセンシング学会誌*, 39 (1), 57-60
- Noda H.M., Muraoka H., Nasahara K.N. (2021) Phenology of leaf optical properties and their relationship to mesophyll development in cool-temperate deciduous broad-leaf trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 297 (15), 108236
- Noda H., Muraoka H., Nasahara K.N. (2021) Plant ecophysiological processes in spectral profiles: perspective from a deciduous broadleaf forest. *Journal of Plant Research*, 134, 737-751
- Nomura S., Mukai H., Terao Y., Machida T., Nojiri Y. (2017) Six years of atmospheric CO₂ observations at Mt. Fuji recorded with a battery-powered measurement system, *Atmospheric Measurement Techniques*, 10, 667-680
- Nomura S., Mukai H., Terao Y., Takagi K., Mohamad M., Jahaya M. F. (2018) Evaluation of forest CO₂ fluxes from sonde measurements in three different climatological areas including Borneo, Malaysia, and Iriomote and Hokkaido, Japan, *Tellus B Chemical and Physical Meteorology*, 70 (1), 1-19

- Ohyama H., Morino I., Velazco V.A., Klausner T., Bagtasa G., Kiel M., Frey M., Hori A., Uchino O., Matsunaga T., Deutscher N.M., DiGangi J.P., Choi Y., Diskin G.S., Pusede S.E., Fiehn A., Roiger A., Lichtenstern M., Schlager H., Wang P.K., Chou C.C.K., Andres-Hernandez M.D., Burrows J.P. (2020) Validation of XCO₂ and XCH₄ retrieved from a portable Fourier transform spectrometer with those from in situ profiles from aircraft-borne instruments. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13, 5149-5163
- Okamoto S., Tanimoto H. (2016) A review of atmospheric chemistry observations at mountain sites. *Progress in Earth and Planetary Science*, 3, 34
- Okamoto S., Tanimoto H., Hirota N., Ikeda K., Akimoto H. (2018) Decadal shifts in wind patterns reduced continental outflow and suppressed ozone trend in the 2010s in the lower troposphere over Japan. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(22), 12980-12993
- Oo A.Z., Sudo S., Inubushi K., Chellappan U., Yamamoto A., Ono K., Mano M., Hayashida S., Koothan V., Osawa T., Terao Y., Palanisamy J., Palanisamy E., Venkatachalam R. (2018) Mitigation Potential and Yield-Scaled Global Warming Potential of Early-Season Drainage from a Rice Paddy in Tamil Nadu, India. *Agronomy*, 8 (10), 202
- Oo A.Z., Sudo S., Inubushi K., Mano M., Yamamoto A., Ono K., Osawa T., Hayashida S., Patra P.K., Terao Y., Elayakumar P., Vanitha K., Umamageswari C., Jothimani P., Ravi V. (2018) Methane and nitrous oxide emissions from conventional and modified rice cultivation systems in South India, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 252, 148-158
- Pandey S., Houweling S., Krol M., Aben I., Chevallier F., Dlugokencky E., Gatti L.V., Gloor E., Miller J., Detmers R., Machida T., Rockmann T. (2016) Inverse modeling of GOSAT-retrieved ratios of total column CH₄ and CO₂ for 2009 and 2010. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 5043-5062
- Park S., Western L., Saito T., Reddington A., Henne S., Fang X., Prinn R., Manning A., Montzka S., Fraser P., Ganesan A., Harth C., Kim J., Krummel P., Liang Q., Muhle J., O'Doherty S., Park H., Park M., Park M.K., Reimann S., Salameh P., Weiss R., Rigby M. (2021) A decline in emissions of CFC-11 and related chemicals from eastern China. *Nature*, 590, 433-437
- Patra P.K., Crisp D., Kaiser J.W., Wunch D., Saeki T., Ichii K., Sekiya T., Wennberg P.O., Feist D.G., Pollard D.F., Griffith D.W.T., Velazco V.A., De Maziere M., Sha M.K., Roehl C., Chatterjee A., Ishijima K. (2017) The Orbiting Carbon Observatory (OCO-2) tracks 2-3 peta-gram increase in carbon release to the atmosphere during the 2014-2016 El Nino. *Scientific Reports*, 7, 13567
- Patra P.K., Hajima T., Saito R., Chandra N., Yoshida Y., Ichii K., Kawamiya M., Kondo M., Ito A., Crisp D. (2021) Evaluation of earth system model and atmospheric inversion using total column CO₂ observations from GOSAT and OCO-2. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8, 25
- Poulter B., Bousquet P., Canadell J.G., Ciais P., Pregon A., Saunio M., Arora V.K., Beerling D.J., Brovkin V., Jones C.D., Joos F., Gedney N., Ito A., Kleinen T., Koven C.D., McDonald K., Melton J.R., Peng C., Peng S., Prigent C., Schroeder R., Riley W.J., Saito M., Spahni R., Tian H., Taylor L., Viovy N., Wilton D., Wiltshire A., Xu X., Zhang B., Zhang Z., Zhu Q. (2017) Global wetland contribution to 2000-2012 atmospheric methane growth rate dynamics. *Environmental Research Letters*, 12, 094013
- Prinn R., Weiss R.F., Arduini J., Arnold T., DeWitt H.L., Fraser P.J., Ganesan A.L., Gasore J., Harth C.M., Hermansen O., Kim J., Krummel P.B., Li S., Loh Z.M., Lunder C.R., Maione M., Manning A.J., Miller B.R., Mitrevski B., Muhle J., O'Doherty S., Park S., Reimann S., Rigby M., Saito T., Salameh P.K., Schmidt R., Simmonds P.G., Steele L.P., Vollmer M.K., Wang R.H., Yao B., Yokouchi Y., Young D., Zhou L. (2018) History of chemically and radiatively important atmospheric gases from the Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE). *EARTH SYSTEM SCIENCE DATA*, 10 (2), 985-1018
- Qin X.C., Nakayama T., Matsumi Y., Kawasaki M., Imasu R., Morino I., Tanaka Y., Ishidoya S., Sato K., Ohashi M. (2019) Observation of column-averaged molar mixing ratios of carbon dioxide in Tokyo. *Atmospheric Environment: X*, 2(11), 100022
- Sabrekov A. F., Glagolev M.V., Alekseychik P.K., Smolentsev B.A., Terentieva I.E., Krivenok L.A., Maksyutov S. (2016) A process-based model of methane consumption by upland soils. *Environmental Research Letters*, 11 (7), 075001
- Sabrekov A.F., Rinkle B.R., Glagolev M.V., Terentieva I. E., Stepanenko V.M., Kotsyurbenko O., Maksyutov S., Pokrovsky O. (2016) Variability in methane emissions from West Siberias shallow boreal lakes. *Biogeosciences Discussions*, 14(15), 3715-3742
- Saeki T., Patra P.K. (2017) Implications of overestimated anthropogenic CO₂ emissions on East Asian and global land CO₂ flux inversion. *Geoscience Letters*, 4, 9

Saito M., Kim H., Ito A., Yokota T., Maksyutov S. (2016) Enhanced Methane Emissions during Amazonian Drought by Biomass Burning. PLOS ONE, 11 (11), e0166039

齊藤誠 (2017) GOSAT データの陸域生態系研究 (温室効果ガス) への利用 - アマゾンの旱魃とメタン収支の関係について-. 生物の科学 遺伝, 71 (1), 63-69

Saito M., Niwa Y., Saeki T., Cong R., Miyauchi T. (2019) Overview of Model Systems for Global Carbon Dioxide and Methane Flux Estimates Using GOSAT and GOSAT-2 Observations. Journal of The Remote Sensing Society of Japan, 39 (1), 50-56

Saito N., Kimoto S., Sugimura R., Imasu R., Kawakami S., Shiomi K., Kuze A., Machida T., Sawa Y., Matsueda H. (2016) Algorithm update of the GOSAT/TANSO-FTS thermal infrared CO₂ product (version 1) and validation of the UTLS CO₂ data using CONTRAIL measurements. Atmos. Meas. Tech., 9, 2119-2134

Saito N., Kimoto S., Sugimura R., Imasu R., Shiomi K., Kuze A., Niwa Y., Machida T., Sawa Y., Matsueda H. (2017) Bias assessment of lower and middle tropospheric CO₂ concentrations of GOSAT/TANSO-FTS TIR Version 1 product. Atmos. Meas. Tech., 10, 3877-3892

Sakai T., Uchino O., Nagai T., Liley B., Morino I., Fujimoto T. (2016) Long-term variation of stratospheric aerosols observed with lidars over Tsukuba, Japan, from 1982 and Lauder, New Zealand, from 1992 to 2015. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 121, DOI:10.1002/2016JD025132

Sasakawa M., Machida T., Ishijima K., Arshinov M., Patra P.K., Ito A., Aoki S., Petrov V. (2017) Temporal characteristics of CH₄ vertical profiles observed in the West Siberian Lowland over Surgut from 1993 to 2015 and Novosibirsk from 1997 to 2015. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122(20), 11261-11273

佐藤正樹, 川畑拓矢, 宮川知己, 八代尚, 三好建正 (2021) 「富岳」による新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測. 繊維学会誌, 77 (2), 54-58

Schepers D., Butz A., Hu H., Hasekamp O.P., Arnold S.G., Schneider M., Feist D.G., Morino I., Pollard D., Aben I., Landgraf J. (2016) Methane and carbon dioxide total column retrievals from cloudy GOSAT soundings over the oceans. Journal of Geophysical Research, 121 (9), 5031-5050

Schneising O., Buchwitz M., Reuter M., Bovensmann H., Burrows J.P., Borsdorff T., Deutscher N.M., Feist D.G., Griffith D.W.T., Hase F., Harmans C., Iraci L.T., Kivi R., Landgraf J., Morino I., Notholt J., Petri C., Pollard D.F., Roche S., Shiomi K., Strong K., Sussmann R., Velazco V.A., Warneke T., Wunch D. (2019) A scientific algorithm to simultaneously retrieve carbon monoxide and methane from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. Atmospheric Measurement Techniques, 12, 6771-6802

Sha L., Teramoto M., Nam J.N., Hashimoto S., Yang M., Sanwangsri M., Liang N. (2020) Soil carbon flux research in the Asian region: review and future perspectives. Journal of Agricultural Meteorology, 77(1), 24-51

Shan C. (2019) Regional CO emission estimated from ground-based remote sensing at Hefei site, China. Atmospheric Chemistry, 222, 25-35

Shang Z., Zhou F., Smith P., Saikawa E., Ciais P., Chang J., Tian H., Del Grosso S.J., Ito A., Chen M., Wang Q., Bo Y., Cui X., Castaldi S., Juszczak R., Kasimir A., Magliulo V., Medinets S., Medinets V., Rees R.M., Wohlfahrt G., Sabbatini S. (2019) Weakened growth of cropland-N₂O emissions in China associated with nationwide policy interventions. Global Change Biology, 25, 3706-3719

Shibata Y., Nagasawa C., Abo M., Inoue M., Morino I., Uchino O. (2018) Comparison of CO₂ vertical profiles in the lower troposphere between 1.6 μm differential absorption lidar and aircraft measurements over tsukuba. Sensors, 18 (11), 4064

Shirai T., Ishizawa M., Zhuravlev R., Ganshin A., Belikov D., Saito M., Oda T., Valsala V., Gomez-Pelaez A.J., Langenfelds R., Maksyutov S. (2017) A decadal inversion of CO₂ using the Global Eulerian-Lagrangian Coupled Atmospheric model (GELCA): sensitivity to the ground-based observation network. Tellus B: Chemical and Physical Meteorology, 69, 1291158

白井知子 (2017) 大気中二酸化炭素の吸収・放出量を推定する. 化学と教育, 65 (3), 124-125

Smith P., Calvin K., Nkem J., Campbell D., Cherubini F., Grassi G., Korotkov V., Hoang A.L., Lwasa S., McElwee P., Nkonya E., Saigusa N., Soussana J.F., Taboada M.A., Manning F.C., Nampanzira D., Arias-Navarro C., Vizzari M., House J., Roe S., Cowie A., Rounsevell M., Arneeth A. (2020) Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and adaptation, and combat land degradation and desertification? Global Change Biology, 26, 1532-1575

- Sun L., Teramoto M., Liang N., Yazaki T., Hirano T. (2017) Comparison of litter-bag and chamber methods for measuring CO₂ emissions from leaf litter decomposition in a temperate forest. *Journal of Agricultural Meteorology*, 73 (2), 68-76
- Sun L., Hirano T., Yazaki T., Teramoto M., Liang N. (2019) Fine root dynamics and partitioning of root respiration into growth and maintenance components in cool temperate deciduous and evergreen forests. *Plant and Soil*, 446(1-2), 471-486
- Sun L., Takagi K., Teramoto M., Hayakashi S., Liang N. (2020) Inter-annual variation of soil respiration and its spatial heterogeneity in a cool-temperate young larch plantation in northern Japan. *Journal of Agricultural Meteorology*, 76 (3), 119-127
- Sun Y., Liu C., Zhang L., Palm M., Notholt J., Yin H., Vigouroux C., Lutsch E., Wang W., Shan C., Blumenstock T., Nagahama T., Morino I., Mahieu E., Strong K., Langerock B., Maziere M.D., Hu Q., Zhang H., Petri C., Liu J. (2020) Fourier transform infrared time series of tropospheric HCN in eastern China: seasonality, interannual variability, and source attribution. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 5437–5456
- Takao S., Nakaoka S., Hashihama F., Shimada K., Yoshikawa-Inoue H., Hirawake T., Kanda J., Hashida G., Suzuki K. (2020) Effects of phytoplankton community composition and productivity on sea surface pCO₂ variations in the Southern Ocean. *Deep-Sea Research Part I*, 160, 103263
- Taketani F., Aita M.N., Yamaji K., Sekiya T., Ikeda K., Sasaoka K., Hashioka T., Honda M.C., Matsumoto K., Kanaya Y. (2018) Seasonal Response of North Western Pacific Marine Ecosystems to Deposition of Atmospheric Inorganic Nitrogen Compounds from East Asia. *Scientific Reports*, 8, 9324
- 竹谷文一, 相田真希, 関谷高志, 山地一代, 池田恒平, 松本和彦, 本多牧生, 金谷有剛 (2021) 大気窒素化合物の日本海への沈着が表層クロロフィル a 濃度に及ぼす影響. *エアロゾル研究*, 36 (1), 46-54
- Tan Z., Zhuang Q., Henze D.K., Frankenberg C., Dlugokencky E., Sweeney C., Turner A.J., Sasakawa M., Machida T. (2016) Inverse modeling of pan-Arctic methane emissions at high spatial resolution: what can we learn from assimilating satellite retrievals and using different process-based wetland and lake biogeochemical models? *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16 (19), 12649-12666
- Tang A.C.I., Melling L., Stoy P.C., Musin K.K., Aeies E.B., Waili J.W., Shimizu M., Poulter B., Hirata R. (2020) A Bornean peat swamp forest is a net source of carbon dioxide to the atmosphere. *Global Change Biology*, 26, 6931-6944
- Tang X., Zhang Y., Wu C., Luo K., Liang N. (2018) Responses of soil temperature and soil water content to extreme snow-damage in subtropical evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains, Yunnan. *Chinese Journal of Ecology*, 37 (6), 1833-1840
- Taoka T., Iwata H., Hirata R., Takahashi Y., Miyabara Y., Itoh M. (2020) Environmental Controls of Diffusive and Ebullitive Methane Emissions at a Subdaily Time Scale in the Littoral Zone of a Midlatitude Shallow Lake. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(9), e2020JG005753
- Teramoto M., Liang N., Zeng J., Saigusa N., Takahashi Y. (2017) Long-term chamber measurements reveal strong impacts of soil temperature on seasonal and inter-annual variation in understory CO₂ fluxes in a Japanese larch (*Larix kaempferi* Sarg.) forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247, 194-206
- Teramoto M., Liang N., Ishida S., Zeng J. (2018) Long-term stimulatory warming effect on soil heterotrophic respiration in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest in northern Japan. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123(4), 1161-1177
- Teramoto M., Liang N., Takahashi Y., Zeng J., Saigusa N., Ide R., Zhao X. (2019) Enhanced understory carbon flux components and robustness of net CO₂ exchange after thinning in a larch forest in central Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 274, 106-117
- Terentieva I.E., Glagolev M.V., Lapshina E.D., Sabrekov A.F., Maksyutov S. (2016) Mapping of West Siberian taiga wetland complexes using Landsat imagery: implications for methane emissions. *Biogeosciences*, 13, 4615-4626
- Terentieva I.E., Sabrekov A.F., Glagolev M.V., Lapshina E.D., Smolentsev B.A., Maksyutov S. (2017) A new map of wetlands in the southern taiga of the West Siberia for assessing the emission of methane and carbon dioxide. *Water Resources*, 44 (3), 297-307
- Thompson R.L., Sasakawa M., Machida T., Aalto T., Worthy D., Lavric J.V., Myhre C.L., Stohl A. (2017) Methane fluxes in the high northern latitudes for 2005-2013 estimated using a Bayesian atmospheric inversion. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17 (5), 3553-3572

- Tian H., Yang J., Lu C., Xu R., Canadell J.G., Jackson R.B., Arneth A., Chang J., Chen G., Ciais P., Gerber S., Ito A., Huang Y., Joos F., Lienert S., Messina P., Olin S., Pan S., Peng C., Saikawa E., Thompson R.L., Vuichard N., Winiwarter W., Zaehle S., Zhang B., Zhang K., Zhu Q. (2018) The global N₂O model intercomparison project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99, 1231-1251
- Tian H., Yang J., Xu R., Lu C., Canadell J.G., Davidson E.A., Jackson R.B., Arneth A., Chang J., Ciais P., Gerber S., Ito A., Joos F., Lienert S., Messina P., Olin S., Pan S., Peng C., Saikawa E., Thompson R.L., Vuichard N., Winiwarter W., Zaehle S., Zhang B. (2019) Global soil nitrous oxide emissions since the preindustrial era estimated by an ensemble of terrestrial biosphere models: Magnitude, attribution, and uncertainty. *Global Change Biology*, 25, 640-659
- Tohjima Y., Mukai H., Machida T., Hoshina Y., Nakaoka S. (2019) Global carbon budgets estimated from atmospheric O₂/N₂ and CO₂ observations in the western Pacific region over a 15-year period. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 9269-9285
- Tohjima Y., Patra P. K., Niwa Y., Mukai H., Sasakawa M., Machida T. (2020) Detection of fossil-fuel CO₂ plume in China due to COVID-19 by observation at Hateruma. *Scientific Reports*, 10, 18688
- Tohjima Y., Zeng J., Shirai T., Niwa Y., Ishidoya S., Taketani F., Sasano D., Kosugi N., Kameyama S., Takashima H., Nara H., Morimoto S. (2020) Estimation of CH₄ emissions from the East Siberian Arctic Shelf based on atmospheric observations aboard the R/V Mirai during fall cruises from 2012 to 2017. *Polar Science*, 27, 100571
- Tsuruta A., Aalto T., Backman L., Hakkarainen J., Laan-Luijckx I., Krol M., Spahni R., Houweling S., Laine M., Dlugokencky E., Gomez-Pelaez A., Schoot M., Langenfelds R., Yoshida Y. (2017) Global methane emission estimates for 2000-2012 from CarbonTracker Europe-CH₄ v1.0. *Geoscientific Model Development*, 10, 1261-1289
- Umezawa T., Niwa Y., Sawa Y., Machida T., Matsueda H. (2016) Winter crop CO₂ uptake inferred from CONTRAIL measurements over Delhi, India. *Geophysical Research Letters*, 43(22), 11,859-11,866
- Umezawa T., Matsueda H., Sawa Y., Niwa Y., Machida T., Zhou L. (2018) Seasonal evaluation of tropospheric CO₂ over the Asia-Pacific region observed by the CONTRAIL commercial airliner measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 14851-14866
- Umezawa T., Matsueda H., Oda T., Higuchi K., Sawa Y., Machida T., Niwa Y., Maksyutov S. (2020) Statistical characterization of urban CO₂ emission signals observed by commercial airliner measurements. *Scientific Reports*, 10, 7963
- Velazco V.A. (2017) Total Carbon Column Observing Network Philippines: Toward quantifying atmospheric carbon in Southeast Asia. *Climate, Disaster and Development Journal*, 2 (2), 1-12
- Velazco V.A., Morino I., Uchino O., Hori A., Kiel M., Bukosa B., Deutscher N.M., Sakai T., Nagai T., Bagtasa G., Izumi T., Yoshida Y., Griffith D.W.T. (2017) TCCON Philippines: First Measurement Results, Satellite Data and Model Comparisons in Southeast Asia. *Remote Sensing*, 9 (12), 1228
- Wang F., Maksyutov S., Tsuruta A., Janardanan achari R., Ito A., Sasakawa M., Machida T., Morino I., Yoshida Y., Kaiser J.W., Janssens-Maenhout G., Dlugokencky E.J., Mammarella I., Lavric J.V., Matsunaga T. (2019) Methane Emission Estimates by the Global High-Resolution Inverse Model Using National Inventories. *Remote Sensing*, 11(21), 2489
- Wang J.S., Kawa S.R., Collatz G.J., Sasakawa M., Gatti L.V., Machida T., Liu Y., Manyin M.E. (2018) A global synthesis inversion analysis of recent variability in CO₂ fluxes using GOSAT and in situ observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18 (15), 11097-11124
- Wang W., Liu C. (2016) Investigating the performance of a greenhouse gas observatory in Hefei, China. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 10(7), 2627-2643
- Wang W., Tian Y., Liu C., Sun Y., Liu W., Xie P., Liu J., Xu J., Morino I., Velazco V.A., Griffith D.W.T., Notholt J., Warneke T. (2017) Investigating the performance of a greenhouse gas observatory in Hefei, China. *Atmos. Meas. Tech*, 10, 2627-2643
- Wanninkhof R., Pickers P.A., Omar A.M., Sutton A., Murata A., Olsen A., Stephens B.B., Tilbrook B., Munro D., Pierrot D., Rehder G., Santana-Casiano J.M., Trinanes J., Tedesco K., O, Currie K., Barbero L., Telszewski M., Hoppema M., Ishii M., Gonzalez-Davila M., Bates N.R., Metzl N., Suntharalingam P., Feely R.A., Nakaoka S., Lauvset S.K., Takahashi T., Steinhoff T., Schuster U. (2019) A Surface Ocean CO₂ Reference Network, SOCONET and Associated Marine Boundary Layer CO₂ Measurements. *Frontiers in Marine Science*, 6 (400), 1-21

- Wong G.X., Hirata R., Hirano T., Kiew F., Aeries E.B., Musin K.K., Waili J.W., Lo K.S., Melling L. (2018) Micrometeorological measurement of methane flux above a tropical peat swamp forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257 (15), 353-361
- Wong G.X., Hirata R., Hirano T., Kiew F., Aeries E.B., Musin K.K., Waili J.W., Lo K.S., Melling L. (2020) How do land use practices affect methane emissions from tropical peat ecosystems? *Agricultural and Forest Meteorology*, 282-283, 107869
- Wu D., Ciais P., Viovy N., Knapp A.K., Wilcox K., Bahn M., Smith M.D., Vicca S., Fatichi S., Zscheischler J., He Y., Li X., Ito A., Arneth A., Harper A., Ukkola A., Paschalis A., Poulter B., Peng C., Ricciuto D., Reinthaler D., Chen G., Tian H., Genet H., Mao J., Ingrisch J., Nabel J.E.S.M., Pongratz J., Boysen L.R., Kautz M., Schmitt M., Meir P., Zhu Q., Hasibeder R., Sippel S., Dangal S.R.S., Sitch S., Shi X., Wang Y., Luo Y., Liu Y., Piao S. (2018) Asymmetric responses of primary productivity to altered precipitation simulated by ecosystem models across three long-term grassland sites. *Biogeosciences*, 15, 3421-3437
- Wu L., Hasekamp O., Hu H., Landgraf J., Butz A., van de Brugh J., Aben I., Pollard D.F., Griffith D.W.T., Feist D.G., Koshelev D., Hase F., Toon G.C., Ohyama H., Morino I., Notholt J., Shiomi K., Iraci L., Schneider M., de Maziere M., Sussmann R., Kivi R., Warneke T., Goo T.Y., Te Y. (2018) Carbon dioxide retrieval from OCO-2 satellite observations using the RemoTeC algorithm and validation with TCCON measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 3111-3130
- Yan T., Song H., Wang Z., Teramoto M., Wang J., Liang N., Ma C., Sun Z., Xi Y., Li L., Peng S. (2019) Temperature sensitivity of soil respiration across multiple time scales in a temperate plantation forest. *Science of the Total Environment*, 688, 479-485
- Yashiro H., Terasaki K., Kawai Y., Kudo S., Miyoshi T., Imamura T., Minami K., Inoue H., Nishiki T., Saji T., Satoh M., Tomita H. (2020) A 1024-member ensemble data assimilation with 3.5-km mesh global weather simulations. A 1024-Member Ensemble Data Assimilation with 3.5-Km Mesh Global Weather Simulations. In *Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*. Atlanta, Georgia: IEEE Press., *Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*, Article No 1, 1-10
- 八代尚 (2020) 計算で挑む環境研究-シミュレーションが広げる可能性 7 より速く、より多く、より長く、より複雑に-シミュレーションを支える技術-。国立環境研究所地球環境研究センターニュース, 31 (7)
- 八代尚 (2021) より正確な気象予測を可能にする 史上最大規模の計算を「富岳」で実現。HPCI マガジン「富岳百景」
- Yasunaka S., Ono T., Nojiri Y., Whitney F.A., Wada C., Murata A., Nakaoka S., Hosoda S. (2016) Long-term variability of surface nutrient concentrations in the North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 43, 3389-3397
- Yasunaka S., Kouketsu S., Strutton P.G., Sutton A.J., Murata A., Nakaoka S., Nojiri Y. (2019) Spatio-temporal variability of surface water pCO₂ and nutrients in the tropical Pacific from 1981 to 2015. *Deep-Sea Research Part II*, 169-170, 104680
- Yasunaka S., Mitsudera H., Whitney F., Nakaoka S. (2020) Nutrient and dissolved inorganic carbon variability in the North Pacific. *Journal of Oceanography*, 77, 3-16
- 吉川慶, 矢崎友嗣, 井手玲子, 栗原純一, 小熊宏之, 平野高司 (2016) ハイパースペクトル画像による植生情報の時空間変動解析. *北海道の農業気象*, 68, 11-20
- Yu L., Wang H., Wang Y., Zhang Z., Chen L., Liang N., He J. (2020) Temporal variation in soil respiration and its sensitivity to temperature along a hydrological gradient in an alpine wetland of the Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 282-283, 107854
- Zeng Z. (2016) Global land mapping of satellite-observed CO₂ total columns using spatio-temporal geostatistics. *International Journal of Digital Earth*, 10(4), 426-456
- Zhao X., Liang N., Zeng J., Mohti A. (2021) A simple model for partitioning forest soil respiration based on root allometry. *Soil Biology and Biochemistry*, 152, 108067
- Zhu C., Kanaya Y., Takigawa M., Ikeda K., Tanimoto H., Taketani F., Miyakawa T., Kobayashi H., Pisso I. (2020) FLEXPART v10.1 simulation of source contributions to Arctic black carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 1641-1656

Zscheischler J., Mahecha M.D., Avitabile V., Calle L., Carvalhais N., Ciais P., Gans F., Gruber N., Hartmann J., Herold M., Ichii K., Jung M., Landschutzer P., Laruelle G.G., Lauerwald R., Papale D., Peylin P., Poulter B., Ray D., Regnier P., Rodenbeck C., Roman-Cuesta R.M., Schwalm C., Tramontana G., Tyukavina A.T., Valentini R., Van der Werf G., West T.O., Wolf J.E., Reichstein M., Ichii K. (2017) Reviews and syntheses: An empirical spatiotemporal description of the global surface-atmosphere carbon fluxes: opportunities and data limitations. *Biogeosciences*, 14, 3685-3703

(2) プロジェクト2 : 気候変動予測・影響・対策の統合評価を基にした地球規模の気候変動リスクに関する研究

Abe M., Nozawa T., Ogura T., Takata K. (2016) Effect of retreating sea ice on Arctic cloud cover in simulated recent global warming. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 14343-14356

Abe M., Takata K., Kawamiya M., Watanabe S. (2017) Vegetation masking effect on future warming and snow albedo feedback in a boreal forest region of northern Eurasia according to MIROC-ESM. *Journal of Geophysical Research*, 122, 9245-9261

Ai Z., Hanasaki N., Heck V., Hasegawa T., Fujimori S. (2020) Simulating second-generation herbaceous bioenergy crop yield using the global hydrological model H08 (v.bio1). *Geoscientific Model Development*, 13 (12), 6077-6092

Ai Z., Wang Q-X., Yang Y.H., Manevski K., Yi S., Zhao X. (2020) Variation of gross primary production, evapotranspiration and water use efficiency for global croplands. *Agric. For. Meteorol.*, 287 (15), 107935

Alexander P., Prestele R., Verburg P.H., Arnoeth A., Baranzelli C., Silva F.B., Brown C., Butler A., Calvin K., Dendoncker N., Doelman J.C., Dunford R., Engstrom K., Eitelberg D., Fujimori S., Harrison P.A., Hasegawa T., Havlik P., Holzhauser S., Humoenoder F., Jacobs-Crisioni C., Jain A. K., Krisztin T., Kyle P., Lavalle C., Lenton T., Liu J., Meiyappan P., POPP A., Powell T., Sands R.D., Schaldach R., Stehfest E., Steinbuks J., Tabeau A., Meijl H.V., Wise M.A., Rounsevell M.D.A. (2017) Assessing uncertainties in land cover projections. *Global Change Biology*, 2017 (23), 767-781

Angelil O., Stone A., Perkins-Kirkpatrick S., Alexander L.V., Wehner M., Shiogama H., Wolski P., Ciavarella A., Christidis N. (2017) On the nonlinearity of spatial scales in extreme weather attribution statements. *Climate Dynamics*, 50, DOI:10.1007/s00382-017-3768-9

Aoyagi M. (2017) Climate Change Communication in Japan. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, DOI:10.1093/acrefore/9780190228620.013.470

Asayama S., Emori S., Sugiyama M., Kasuga F., Watanabe C. (2020) Are we ignoring a black elephant in the Anthropocene? Climate change and global pandemic as the crisis in health and equality. *Sustainability Science*, 16, 695-701

Baker H.S., Millar R.J., Karoly D.J., Beyerle U., Guilloid B.P., Mitchell D., Shiogama H., Sparrow S., Woollings T., Allen M.R. (2018) Higher CO₂ concentrations increase extreme event risk in a 1.5°C world. *Nature Climate Change*, 8, 604-608

Baker H.S., Woollings T., Mbengue C., Allen M.R., O'Reilly C.H., Shiogama H., Sparrow S. (2019) Forced summer stationary waves: the opposing effects of direct radiative forcing and sea surface warming. *Climate Dynamics*, 53, 4291-4309

Boulangé J., Hanasaki N., Veldkamp T., Schewe J., Shiogama H. (2018) Magnitude and robustness associated with the climate change impacts on global hydrological variables for transient and stabilized climate states. *Environmental Research Letters*, 13 (6), 064017

Boulangé J., Malhat F., Jaikaew P., Nanko K., Watanabe H. (2019) Portable rainfall simulator for plot-scale investigation of rainfall-runoff, and transport of sediment and pollutants. *International Journal of Sediment Research*, 34 (1), 38-47

Burek P., Satoh Y., Kahil T., Ting T., Greve P., Smilovic M., Guillaumot L., Zhao F., Wada Y (2020) Development of the Community Water Model (CWatM v1.04) - A high-resolution hydrological model for global and regional assessment of integrated water resources management. *Geoscientific Model Development*, 13, 3267-3297

Chadwick R., Ackerley D., Ogura T., Dommenges D. (2019) Separating the influences of land warming, the direct CO₂ effect, the plant physiological effect, and SST warming on regional precipitation changes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(2), 624-640

Champhong A., Hanasaki N., Kiguchi M., Oki T. (2020) Reconstructing the pristine flow of highly developed rivers - a case study on the Chao Phraya River. *Hydrological Research Letters*, 14 (2), 89-96

- Chang J., Ciais P., Wang X., Piao S., Asrar G., Betts R., Chevallier F., Dury M., Francois L., Frieler K., Garcia Cantu Ros A., Henrot A.H., Hickler T., Ito A., Morfopoulos C., Munhoven G., Nishina K., Ostberg S., Pan S., Peng S., Rafique R., Reyer C., Rodenbeck C., Schaphoff S., Steinkamp J., Tian H., Viovy N., Yang J., Zeng N., Zhao F. (2017) Benchmarking carbon fluxes of the ISIMIP2a biome models. *Environmental Research Letters*, 12 (4), 045002
- Chen M., Rafique R., Asrar G.R., Bond-Lamberty B., Ciais P., Zhao F., Reyer C.P.O., Ostberg S., Chang J., Ito A., Yang J., Zeng N., Kalnay E., West T., Leng G., Francois L., Munhoven G., Henrot A., Tian H., Pan S., Nishina K., Viovy N., Morfopoulos C., Betts R., Schaphoff S., Steinkamp J., Hickler T. (2017) Regional contribution to variability and trends of global gross primary productivity. *Environmental Research Letters*, 12, 105005
- Cherubini F., Fuglestvedt J., Gasser T., Gasser T., Reisinger A., Cavalett O., Huijbregts M.A.J., Huijbregts M.A.J., Johansson D.J.A., Jorgensen S.V., Raugel M., Schivleyl G., Stromman A.H., Tanaka K., Levasseur A. (2016) Bridging the gap between impact assessment methods and climate science. *Environmental Science & Policy*, 64, 129-140
- Cherubini F., Tanaka K. (2016) Amending the inadequacy of a single indicator for climate impact analyses. *Environmental Science & Technology*, 50(23), 12530–12531
- Ciais P., Boucher O., Tanaka K. (2021) Un nouvel outil pour le suivi quotidien des émissions de CO2 dans le monde. *Meteo & Climat Info*, (82), 2-3 <In French>
- Cui E., Huang K., Arain M. A., Fisher J.B., Huntzinger D.N., Ito A., Luo Y., Jain A.K., Mao J., Michalak A.M., Niu S., Parazoo N., Peng C., Peng S., Poulter B., Ricciuto D.M., Schaefer K.M., Schwalm C.R., Shi X., Tian H., Wang W., Wang J., Wei Y., Yan E., Yan L., Zeng N., Zhu Q., Xia J. (2019) Vegetation functional properties determine uncertainty of simulated ecosystem productivity: A traceability analysis in the east Asian monsoon region. *Global Biogeochemical Cycles*, 33, 1-22
- Duan W., Hanasaki N., Shiogama H., Chen Y., Zou S., Nover D., Zhou B., Wang Y. (2019) Evaluation and Future Projection of Chinese Precipitation Extremes Using Large Ensemble High-Resolution Climate Simulations. *JOURNAL OF CLIMATE*, 32, 2169-2183
- Emori S., Taylor K., Hewitson B., Zermoglio F., Juckes M., Lautenschlager M., Stockhause M. (2016) CMIP5 data provided at the IPCC Data Distribution Centre. IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis (TGICA) Fact Sheets
- 江守正多 (2016) パリ協定における 1.5°Cおよび2°C目標の科学的・政策的含意 -ICA-RUS プロジェクトの成果より-. *環境経済・政策研究*, 9 (1), 75-78
- 江守正多 (2017) 科学から見た気候変動問題の現状. *環境技術会誌*, 168, 11-13
- 江守正多 (2017) 「分煙革命」と地球温暖化. *東京都小中学校環境教育研究会会報「東京の青い空」*, 60, 1
- Emori S., Takahashi K. (2018) Integrated climate assessment: risks, uncertainties, and society (ICA-RUS). *Sustainability Science*, 13, 275-277
- Emori S., Takahashi K., Yamagata Y., Kanae S., Mori S., Fujigaki Y. (2018) Risk implications of long-term global climate goals: overall conclusions of the ICA-RUS project. *Sustainability Science*, 13, 279-289
- 江守正多 (2018) 温暖化が進む限り豪雨も猛暑も増え続ける. *公明*, 156, 20-25
- 江守正多 (2019) 国連の気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 「1.5 度特別報告書」をどう読み解くか. *全国商工新聞*
- 江守正多 (2020) 「地球温暖化はウソ」と思っている方へ-誰かの片棒をかつがないために. *季刊社会運動*, 439, 58-67
- 江守正多 (2020) 組織的な温暖化懐疑論・否定論にご用心. *国際環境経済研究所 HP 内「オピニオン」*
- 江守正多 (2020) 気候危機とコロナ危機. *全国ネット通信*, 2020年7月号, 2
- 江守正多 (2020) 気候危機の現状と文明の「卒業素」. *哲学*, 71, 10-21
- 江守正多 (2020) 気候変動問題への「関心と行動」を問いなおす-専門家としてのコミュニケーションの経験から. *環境情報科学*, 49 (2), 2-6

Frank S., Havlik P., Soussana J., Levesque A., Valin H., Wollenberg E., Kleinwechter U., Fricko O., Gusti M., Herrero M., Smith P., Hasegawa T., Kraxner F., Obersteiner M. (2017) Reducing greenhouse gas emissions in agriculture without compromising food security? *Environmental Research Letter*, 12, 105004

Friedlingstein P., Jones M.W., O'Sullivan M., Andrew R.M., Hauck J., Peters G.P., Peters W., Pongratz J., Sitch S., Quere C.L., Bakker D.C.E., Canadell J.G., Ciais P., Jackson R.B., Anthoni P., Barbero L., Bastos A., Bastrikov V., Becker M., Bopp L., Buitenhuis E., Chandra N., Chevallier F., Chini L.P., Currie K.I., Feely R.A., Gehlen M., Gilfillan D., Gkritzalis T., Goll D.S., Gruber N., Gutekunst S., Harris I., Haverd V., Houghton R.A., Hurtt G., Ilyina T., Jain A.K., Joetzjer E., Kaplan J.O., Kato E., Goldewijk K.K., Korsbakken J.I., Landschutzer P., Lauvset S.K., Lefevre N., Lenton A., Lienert S., Lombardozi D., Marland G., McGuire P.C., Melton J.R., Metz N., Munro D.R., Nabel J.E.M.S., Nakaoka S., Neill C., Omar A.M., Ono T., Peregón A., Pierrot D., Poulter B., Rehder G., Resplandy L., Robertson E., Rodenbeck C., Seferian R., Schwinger J., Smith N., Tans P.P., Tian H., Tilbrook B., Tubiello F.N., Werf G.R.V.D., Wiltshire A.J., Zaehle S. (2019) Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, 11, 1783-1838

Friedlingstein, P., O'Sullivan M., Jones M. W., Andrew R. M., Hauck J., Olsen A., Peters G. P., Peters W., Pongratz J., Sitch S., Le Quéré C., Canadell J. G., Ciais P., Jackson R. B., Alin S., Aragão L. E. O. C., Arneeth A., Arora V., Bates N. R., Becker M., Benoit-Cattin A., Bittig H. C., Bopp L., Bultan S., Chandra N., Chevallier F., Chini L. P., Evans W., Florentie L., Forster P. M., Gasser T., Gehlen M., Gilfillan D., Gkritzalis T., Gregor L., Gruber N., Harris I., Hartung K., Haverd V., Houghton R. A., Ilyina T., Jain A. K., Joetzjer E., Kadono K., Kato E., Kitidis V., Korsbakken J. I., Landschützer P., Lefèvre N., Lenton A., Lienert S., Liu Z., Lombardozi D., Marland G., Metzl N., Munro D. R., Nabel J. E. M. S., Nakaoka S. I., Niwa Y., O'Brien K., Ono T., Palmer P. I., Pierrot D., Poulter B., Resplandy L., Robertson E., Rödenbeck C., Schwinger J., Séférian R., Skjelvan I., Smith A. J. P., Sutton A. J., Tanhua T., Tans P. P., Tian H., Tilbrook B., van der Werf G., Vuichard N., Walker A. P., Wanninkhof R., Watson A. J., Willis D., Wiltshire A. J., Yuan W., Yue X., Zaehle S. (2020) Global Carbon Budget 2020, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 3269-3340

Fronzek S., Carter T.R., Pirttioja N., Alkemade R., Audsley E., Bugmann H., Florke M., Holman I., Honda Y., Ito A., Janes-Bassett V., Lafond V., Leemans R., Mokrech M., Nunez S., Sandars D., Snell R., Takahashi K., Tanaka A., Wimmer F., Yoshikawa M. (2018) Determining sectoral and regional sensitivity to climate and socio-economic change in Europe using impact response surfaces. *Regional Environmental Change*, 19, 679-693

藤森真一郎 (2016) 温暖化による経済的な損失：世界のエネルギー需要変化. *生産研究*, 68 (5), 65-71

藤森真一郎, 飯泉仁之直, 長谷川知子, 高倉潤也, 高橋潔, 脇岡靖明, 増井利彦 (2017) 気候変化による作物収量変化を通じたマクロ経済への影響. *土木学会論文集 G(環境)*, 73 (5), I_397-I_405

Fujimori S., Abe M., Kinoshita T., Hasegawa T., Kawase H., Kushida K., Masui T., Oka K., Shiogama H., Takahashi K., Tatebe H., Yoshikawa M. (2017) Downscaling Global Emissions and Its Implications Derived from Climate Model Experiments. *PLOS ONE*, 12 (1), e0169733-e0169733

Fujimori S., Hanasaki N., Masui T. (2017) Projections of industrial water withdrawal under shared socioeconomic pathways and climate mitigation scenarios. *Sustainability Science*, 12, 275-292

Fujimori S., Hasegawa T., Rogelj J., Su X., Havlik P., Krey V., Takahashi K., Riahi K. (2018) Inclusive climate change mitigation and food security policy under 1.5°C climate goal. *Environmental Research Letters*, 13 (7), e074033

Fujimori S., Iizumi T., Hasegawa T., Takakura J., Takahashi K., Hijioka Y. (2018) Macroeconomic Impacts of Climate Change Driven by Changes in Crop Yields. *Sustainability*, 10 (10), 3673

Fujimori S., Hasegawa T., Krey V., Riahi K., Bertram C., Bodirsky B.L., Bosetti V., Callen J., Despres J., Doelman J., Drouet L., Emmerling J., Frank S., Fricko O., Havlik P., Humpenoder F., Koopman J.F.L., van Meijl H., Ochi Y., Popp A., Schmitz A., Takahashi K., van Vuuren D. (2019) A multi-model assessment of food security implications of climate change mitigation. *Nature Sustainability*, 2, 386-396

Fujimori S., Hasegawa T., Takahashi K., Dai H., Liu J.Y., Ohashi H., Xie Y., Zhang Y., Matsui T., Hijioka Y. (2020) Measuring the sustainable development implications of climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 15, 085004

Gao L., Yoshikawa S., Iseri Y., Fujimori S., Kanae S. (2017) An Economic Assessment of the Global Potential for Seawater Desalination to 2050. *Water*, 9 (10), 763-763

- Gidden M.J., Riahi K., Smith S.J., Fujimori S., Luderer G., Kriegler E., van Vuuren D.P., van den Berg M., Feng L., Klein D., Calvin K., Doelman J.C., Frank S., Fricko O., Harmsen M., Hasegawa T., Havlik P., Hilaire J., Hoesly R., Horing J., Popp A., Stehfest E., Takahashi K. (2019) Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific Model Development*, 12 (4), 1443-1475
- Gillett N.P., Shiogama H., Funke B., Hegerl G., Knutti R., Matthes K., Santer B.D., Stone D., Tebaldi C. (2016) The Detection and Attribution Model Intercomparison Project (DAMIP v1.0) contribution to CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9, 3685-3697
- Gomez-Garcia M., Matsumura A., Ogawada D., Takahashi K. (2019) Time Scale Decomposition of Climate and Correction of Variability Using Synthetic Samples of Stable Distributions. *Water Resources Research*, 55(5), 3632-3658
- Good P., Andrews T., Chadwick R., Dufresne J.L., Gregory J.M., Lowe J.A., Schaller N., Shiogama H. (2016) nonlinMIP contribution to CMIP6: model intercomparison project for non-linear mechanisms: physical basis, experimental design and analysis principles (v1.0). *Geoscientific Model Development*, 9, 4019-4028
- Hajima T., Watanabe M., Yamamoto A., Tatebe H., Noguchi M.A., Abe M., Ohgaito R., Ito A., Yamazaki D., Okajima H., Ito A., Takata K., Ogochi K., Watanabe S., Kawamiya M. (2020) Development of the MIROC-ES2L Earth system model and the evaluation of biogeochemical processes and feedbacks. *Geoscientific Model Development*, 13, 2197-2244
- Hanasaki N., Satoh Y., Kahil T., Byers E., Burek P., Fischer G., Tramberend S., Greve P., Florke M., Eisner S., Magnuszewski P., Nava L.F., Cosgrove W., Langan S., Wada Y. (2017) Multi-model and multi-scenario assessments of Asian water futures: The Water Futures and Solutions (WfAS) initiative. *Earth*, 5 (7), 823-852
- 花崎直太, 伊藤昭彦, 田中朱美, 高橋潔 (2017) 1.5°Cの地球温暖化の陸域系への影響. *環境情報科学*, 46 (3), 19-24
- Hanasaki N., Yoshikawa S., Pokhrel Y., Kanae S. (2018) A global hydrological simulation to specify the sources of water used by humans. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22 (1), 789-817
- Hanasaki N., Yoshikawa S., Pokhrel Y., Kanae S. (2018) A Quantitative Investigation of the Thresholds for Two Conventional Water Scarcity Indicators Using a State-of-the-Art Global Hydrological Model with Human Activities. *Water Resources Research*, 54 (10), 8279-8294
- 花崎直太 (2018) 水文学から見た水・エネルギー連環の主な要素と最近の研究の動向. *エネルギー・資源*, 39 (4), 238-241
- Hasegawa A., Imada Y., Shiogama H., Mori M., Tatebe H., Watanabe M. (2020) Impact of air-sea coupling on the probability of occurrence of heat waves in Japan. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7 (78), 1-12
- Hasegawa T., Fujimori S., Havlik P., Valin H., Bodirsky B.L., Doelman J.C., Fellmann T., Kyle P., Koopman J.F.L., Lotze-Campen H., D'Croz D.M., Muller C., Ochi Y., Dominguez I.P., Stehfest E., Sulser T.B., Tabeau A., Takahashi K., Takakura J., van Meijl H., van Zeist W.J., Wiebe K., Witzke P. (2020) Reply to: An appeal to cost undermines food security risks of delayed mitigation. *Nature Climate Change*, 10, 420-421
- Hayashi M., Shiogama H., Emori S., Ogura T., Hirota N. (2021) The northwestern Pacific warming record in August 2020 occurred under anthropogenic forcing. *Geophysical Research Letters*, 48 (1), e2020GL090956
- Hirota N., Ogura T., Tatebe H., Shiogama H., Kimoto M., Watanabe M. (2018) Roles of Shallow Convective Moistening in the Eastward Propagation of the MJO in MIROC6. *Journal of Climate*, 31, 3033-3047
- 廣田渚郎 (2019) 地球温暖化に伴う総降水量と極端降水の変化. *環境技術*, 48 (4), 200-204
- Hirsch A.L., Guillod B.P., Seneviratne S.I., Beyerle U., Boysen L.R., Brovkin V., Davin E.L., Doelman J.C., Kim H., Mitchell D.M., Nitta T., Shiogama H., Sparrow S., Stehfest E., Vuuren D.P.V., Wilson S. (2018) Biogeophysical Impacts of Land-Use Change on Climate Extremes in Low-Emission Scenarios: Results From HAPPI-Land. *Earth's Future*, 6(3), 396-409

Hong Y.-C., Hicks K., Malley C., Kuylensstierna J., Emberson L., Balakrishnan K., Pillarisetti A., Sunwoo Y., Espita D., Lu F., Silayan A., Dematera K., Oanh N.T.K., Augustian D.P., Sase H., Yamashita K., Mars K., Rupakheti M., Unger C., Panday A., Pradhan B.B., Gul C., Tanaka K., Chae Y., Carmichael G., Agrawal M., Steiner A., Han C., Jeon H., Min M.A.H., Yusoff K., Zhaozhong F., Wang Z., Takemura T., Amann M., Borken-Kleefeld J., Cofala J., Gomez-Sanabria A., Heyes C., Hoglund-Isaksson L., Kiesewetter G., Klimont Z., Nguyen B., Purohit P., Rafaj P., Sander R., Wagner F., Schopp W., Hao J., Wang S., Ye W., Duan L., Shindell D., Seltzer K., Borgford-Parnell N., Zusman E., Jagath P., Gamaralalage D., Hengesbaugh M., Yagasa R., Hotta Y., Onogawa K., Totoki Y., Liu C., Lee S.-Y., Akahoshi K., Elder M., Liu X., Pham N.-B., Feng X., Murray F., Rehman I., Sharma S., Patdu K., Tao H., Li W., Tsevegjav B., Anenberg S., Saikawa E., Minjares R., Fabian B., Prajapati S., Chitrakar M., Maharjan S., Arif M., Patel S., Valdez S., Shende R., Xianqiang M., Youkai X., Wan W., Kobashi T., Unapumnuk K., Yamineva Y., Pearson P., Kamyotra J.S. (2018) 著, Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based Solutions (Summary), United Nations Environment Programme (UNEP), 58p

Iizumi T., Takikawa H., Hirabayashi Y., Hanasaki N., Nishimori M. (2017) Contributions of different bias-correction methods and reference meteorological forcing data sets to uncertainty in projected temperature and precipitation extremes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122 (15), 7800-7819

Iizumi T., Furuya J., Shen Z., Kim W., Okada M., Fujimori S., Hasegawa T., Nishimori M. (2017) Responses of crop yield growth to global temperature and socioeconomic changes. *Scientific Reports*, 7, 7800

Iizumi T., Shiogama H., Imada Y., Hanasaki N., Takikawa H., Nishimori M. (2018) Crop production losses associated with anthropogenic climate change for 1981-2010 compared with preindustrial levels. *International Journal of Climatology*, 38(14), 5405-5417

Imada Y., Shiogama H., Takahashi C., Watanabe M., Mori M., Kamae Y., Maeda S. (2017) Climate change increased the likelihood of the 2016 heat extremes in Asia. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98 (12), S97-S101

Imada Y., Maeda S., Watanabe M., Shiogama H., Mizuta R., Ishii M., Kimoto M. (2017) Recent Enhanced Seasonal Temperature Contrast in Japan from Large Ensemble High-Resolution Climate Simulations. *atmosphere*, 8 (3), 1-13

Imada Y., Watanabe M., Kawase H., Shiogama H., Arai M. (2019) The July 2018 High Temperature Event in Japan Could Not Have Happened without Human-Induced Global Warming. *SOLA*, 15A, 8-12 <SOLA 論文賞 awarded>

Ishizaki N., Nishimori M., Iizumi T., Shiogama H., Hanasaki N., Takahashi K. (2020) Evaluation of two bias-correction methods for gridded climate scenarios over Japan. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 16, 80-85

Ito A., Hajima T. (2020) Biogeophysical and biogeochemical impacts of land-use change simulated by MIROC-ES2L. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 54

Ito A., Hajima T., Lawrence D.M., Brovkin V., Delire C., Guenet B., Jones C.D., Malyshev S., Matera S., McDermid S.P., Peano D., Pongratz J., Robertson E., Shevliakova E., Vuichard N., Warland D., Wiltshire A., Ziehn T. (2020) Soil carbon sequestration simulated in CMIP6-LUMIP models: implications for climatic mitigation. *Environmental Research Letters*, 15 (12), 124061

甲斐沼美紀子, 高橋潔 (2017) 気候変動「パリ協定」目標実現に向けての問題のフレーミング. *環境情報科学*, 46 (3), 1-7

Kamae Y., Ogura T., Shiogama H., Watanabe M. (2016) Recent progress toward reducing the uncertainty in tropical low cloud feedback and climate sensitivity: a review. *Geoscience Letters*, 3, 17

Kamae Y., Chadwick R., Ackerley D., Ringer M., Ogura T. (2018) Seasonally variant low cloud adjustment over cool oceans. *Climate Dynamics*, 52, 5801-5817

Kassaye T., Boulange J., Saito H., Watanabe H. (2019) Calibration of capacitance sensor for Andosol under field and laboratory conditions in the temperate monsoon climate. *Soil and Tillage Research*, 189, 52-63

Kawamiya M., Hajima T., Tachiiri K., Watanabe S., Yokohata T. (2020) Two decades of Earth system modeling with an emphasis on Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC). *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 1-13

Kim Y.H., Min S.K., Stone D.A., Shiogama H., Wolski P. (2018) Multi-model event attribution of the summer 2013 heat wave in Korea. *Weather and Climate Extremes*, 20, 33-44

Kinose Y., Masutomi Y., Shiotsu F., Hayashi K., Ogawada D., Gomez-Garcia M., Matsumura A., Takahashi K., Fukushi K. (2020) Impact assessment of climate change on the major rice cultivar Ciherang in Indonesia. *Journal of Agricultural Meteorology*, 76 (1), 19-28

工藤拓毅, 高橋潔, 福村佳美, 黒沢厚志 (2019) 座談会 : 気候変動対策における環境管理規格~ISO14000 ファミリーの役割と開発の課題~. *季報エネルギー総合工学*, 42 (2), 3-22

Kusaka H, Suzuki-Parker A., Aoyagi T., Adachi S., Yamagata Y. (2016) Assessment of RCM and urban scenarios uncertainties in the climate projections for August in the 2050s in Tokyo. *Climate Change*, 137, 427-438

Kyle P., Johnson N., Davies E., Bijl D. L., Mouratiadou I., Bevione M., Drouet L., Fujimori S., Liu Y., Hejazi M. (2016) Setting the System Boundaries of Energy for Water for Integrated Modeling. *Environmental Science & Technology*, 50(17), 8930–8931

Lange S., Volkholz J., Geiger T., Zhao F., Vega I., Veldkamp T., Reyer C.P.O., Warszawski L., Huber V., Jagermeyr J., Schewe J., Bresch D.N., Buchner M., Chang J., Ciais P., Dury M., Emanuel K., Folberth C., Gerten D., Gosling S.N., Grillakis M., Hanasaki N., Henrot A.J., Hickler T., Honda Y., Ito A., Khabarov N., Koutroulis A., Liu W., Muller C., Nishina K., Ostberg S., Schmied H.M., Seneviratne S.I., Stacke T., Steinkamp J., Thiery W., Wada Y., Willner S., Yang H., Yoshikawa M., Yue C., Frieler K. (2020) Projecting Exposure to Extreme Climate Impact Events Across Six Event Categories and Three Spatial Scales. *Earth*, 8 (12), e2020EF001616

Le Quéré C., Andrew R. M., Canadell J. G., Sitch S., Korsbakken J. I., Peters G. P., Manning A. C., Boden T. A., Tans P. P., Houghton R. A., Keeling R. F., Alin S., Andrews O. D., Anthoni P., Barbero L., Bopp L., Chevallier F., Chini L. P., Ciais P., Currie K., Delire C., Doney S. C., Friedlingstein P., Gkritzalis T., Harris I., Hauck J., Haverd V., Hoppema M., Klein Goldewijk K., Jain A. K., Kato E., Körtzinger A., Landschützer P., Lefèvre N., Lenton A., Lienert S., Lombardozzi D., Melton J. R., Metzl N., Millero F., Monteiro P. M. S., Munro D. R., Nabel J. E. M. S., Nakaoka S., O'Brien K., Olsen A., Omar A. M., Ono T., Pierrot D., Poulter B., Rödenbeck C., Salisbury J., Schuster U., Schwinger J., Séférian R., Skjelvan I., Stocker B. D., Sutton A. J., Takahashi T., Tian H., Tilbrook B., van der Laan-Luijkx I. T., van der Werf G. R., Viovy N., Walker A. P., Wiltshire A. J., Zaehle S. (2016). *Global Carbon Budget 2016*. *Earth Syst. Sci. Data*, 8(2), 605-649. <https://doi.org/10.5194/essd-8-605-2016>

Le Quéré C., Andrew R. M., Friedlingstein P., Sitch S., Pongratz J., Manning A. C., Korsbakken J. I., Peters G. P., Canadell J. G., Jackson R. B., Boden T. A., Tans P. P., Andrews O. D., Arora V. K., Bakker D. C. E., Barbero L., Becker M., Betts R. A., Bopp L., Chevallier F., Chini L. P., Ciais P., Cosca C. E., Cross J., Currie K., Gasser T., Harris I., Hauck J., Haverd V., Houghton R. A., Hunt C. W., Hurtt G., Ilyina T., Jain A. K., Kato E., Kautz M., Keeling R. F., Klein Goldewijk K., Körtzinger A., Landschützer P., Lefèvre N., Lenton A., Lienert S., Lima I., Lombardozzi D., Metzl N., Millero F., Monteiro P. M. S., Munro D. R., Nabel J. E. M. S., Nakaoka S., Nojiri Y., Padín X. A., Peregon A., Pfeil B., Pierrot D., Poulter B., Rehder G., Reimer J., Rödenbeck C., Schwinger J., Séférian R., Skjelvan I., Stocker B. D., Tian H., Tilbrook B., van der Laan-Luijkx I. T., van der Werf G. R., van Heuven S., Viovy N., Vuichard N., Walker A. P., Watson A. J., Wiltshire A. J., Zaehle S., Zhu D. (2018) *Global Carbon Budget 2017*, *Earth System Science Data*, 10(1), 405–448

Le Quéré C., Andrew R.M., Friedlingstein P., Sitch S., Hauck J., Pongratz J., Pickers P.A., Korsbakken J.I., Peters G.P., Canadell J.G., Arneeth A., Arora V.K., Barbero L., Bastos A., Bopp L., Chevallier F., Chini L.P., Ciais P., Doney S.C., Gkritzalis T., Goll D.S., Harris I., Haverd V., Hoffman F.M., Hoppema M., Houghton R.A., Hurtt G., Ilyina T., Jain A.K., Johannessen T., Jones C.D., Kato E., Keeling R.F., Goldewijk K.K., Landschützer P., Lefevre N., Lienert S., Liu Z., Lombardozzi D., Metzl N., Munro D.R., Nabel J.E.M.S., Nakaoka S., Neill C., Olsen A., Ono T., Patra P., Peregon A., Peters W., Peylin P., Pfeil B., Pierrot D., Poulter B., Rehder G., Resplandy L., Robertson E., Rocher M., Rodenbeck C., Schuster U., Schwinger J., Seferian R., Skjelvan I., Steinhoff T., Sutton A., Tans P.P., Tian H., Tilbrook B., Tubiello F.N., Laan-Luijkx I.T.V.D., Werf G.R.V.D., Viovy N., Walker A.P., Wiltshire A.J., Wright R., Zaehle S., Zheng B. (2018) *Global Carbon Budget 2018*. *Earth System Science Data*, 10, 2141-2194 Leclerc D., Obersteiner M., Barrett M., Butchart S.H.M., Chaudhary A., Palma A.D., DeClerck F.A.J., Marco M.D., Doelman J.C., Durauer M., Freeman R., Harfoot M., Hasegawa T., Hellweg S., Hilbers J.P., Hill S.L.L., Humpenoder F., Jennings N., Krisztin T., Mace G.M., Ohashi H., Popp A., Purvis A., Schipper A.M., Tabeau A., Valin H., van Meijl H., van Zeist W., Visconti P., Alkemade R., Almond R., Bunting G., Burgess N.D., Cornell S.E., Fulvio F.D., Ferrier S., Fritz S., Fujimori S., Grooten M., Harwood T., Havlik P., Herrero M., Hoskins A.J., Jung M., Kraml T., Lotze-Campen H., Matsui T., Meyer C., Nel D., Newbold T., Schmidt-Traub G., Stehfest E., Strassburg B.B.N., van Vuuren D.P., Ware C., Watson J.E.M., Wu W., Young L. (2020) Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature*, 585 (7826), 551-556

- Lee D., Min S.K., Fischer E., Shiogama H., Bethke I., Lierhammer L., Scinocca J.F. (2018) Impacts of half a degree additional warming on the Asian summer monsoon rainfall characteristics. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044033
- Levasseur A., Cavalett O., Fuglestedt J.S., Gasser T., Gasser T., Johansson D.J.A., Jorgensen S.V., Raugai M., Reisinger A., Schivley G., Stromman A., Tanaka K., Cherubini F. (2016) Enhancing life cycle impact assessment from climate science: Review of recent findings and recommendations for application to LCA. *Ecological Indicators*, 71, 163-174
- Levasseur A., Schryver A.D., Hauschild M., Kabe Y., Sahnoune A., Tanaka K., Cherubini F. (2016) Greenhouse gas emissions and climate change impacts. In (eds. O. Jolliet and R. Frischknecht). *Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators*, 60-79
- Li C., Li C., Michel C., Michel C., Graff L.S., Bethke I., Bethke I., Zappa G., Bracegirdle T.J., Fischer E., Harvey B. J., Iversen T., King M.P., King M.P., Krishnan H., Lierhammer L., Mitchell D., Scinocca J., Shiogama H., Stone D.A., Stone D.A., Wettstein J. J., Wettstein J. J., Wettstein J. J. (2018) Midlatitude atmospheric circulation responses under 1.5 and 2.0°C warming and implications for regional impacts. *Earth System Dynamics*, 9, 359-382
- Liu F., Sun F., Lim W.H., Zhang J., Wang H., Shiogama H., Zhang Y. (2018) Global drought and severe drought-affected populations in 1.5 and 2°C warmer worlds. *Earth System Dynamics*, 9, 267-283
- Liu J., Yang H., Gosling S.N., Kumm M., Florke M., Pfister S., Hanasaki N., Wada Y., Zhang X., Zheng C., Alcamo J., Oki T. (2017) Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's Future*, 5 (6), 545-559
- Liu J.Y., Fujimori S., Takahashi K., Hasegawa T., Wu W., Geng Y., Takakura J., Masui T. (2021) The importance of socioeconomic conditions in mitigating climate change impacts and achieving Sustainable Development Goals. *Environmental Research Letters*, 16, 014010
- Liu W., Lim W.H., Sun F., Mitchell D., Wang H., Chen D., Bethke I., Shiogama H., Fischer E. (2018) Global Freshwater Availability Below Normal Conditions and Population Impact Under 1.5 and 2 °C Stabilization Scenarios. *Geophysical Research Letters*, 45(18), 9803-9813
- Liu X., Liu W., Yang H., Tang Q., Floerke M., Masaki Y., Schmied H.M., Ostberg S., Pokhrel Y., Satoh Y., Wada Y. (2019) Multimodel assessments of human and climate impacts on mean annual streamflow in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(3), 1245-1261
- Liu X., Tang Q., Liu W., Veldkamp T., Boulange J., Liu J., Wada Y., Huang Z., Yang H. (2019) A Spatially Explicit Assessment of Growing Water Stress in China From the Past to the Future. *Earth's Future*, 7(9), 1027-1043
- Liu Y., Piao S., Gasser T., Ciais P., Yang H., Wang H., Keenan T.F., Huang M., Wan S., Song J., Wang K., Janssens I.A., Penuelas J., Huntingford C., Wang X., Arain M.A., Fang Y., Fisher J.B., Huang M., Huntzinger D.N., Ito A., Jain A.K., Mao J., Michalak A., Peng C., Poulter B., Schwalm C., Shi X., Tian H., Wei Y., Zeng N., Zhu Q., Wang T. (2019) Field-experiment constraints on the enhancement of the terrestrial carbon sink by CO₂ fertilization. *Nature Geoscience*, 12, 809-814
- Liu Z., Ciais P., Deng Z., Lei R., Davis S.J., Feng S., Zheng B., Cui D., Dou X., Zhu B., Guo R., Ke P., Sun T., Lu C., He P., Wang Y., Yue X., Wang Y., Lei Y., Zhou H., Cai Z., Wu Y., Guo R., Han T., Xue J., Boucher O., Boucher E., Chevallier F., Tanaka K., Wei Y., Zhong H., Kang C., Zhang N., Chen B., Xi F., Liu M., Breon F.M., Lu Y., Zhang Q., Guan D., Gong P., Kammen D.M., He K., Schellnhuber H.J. (2020) Near-real-time monitoring of global CO₂ emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic. *Nature Communications*, 11, 5172
- Liu Z., Ciais P., Deng Z., Davis S. J., Zheng B., Wang Y., Cui D., Zhu B., Dou X., Ke P., Sun T., Guo R., Zhong H., Boucher O., Breon F.M., Lu C., Guo R., Xue J., Boucher E., Tanaka K., Chevallier F. (2020) Carbon Monitor, a near-real-time daily dataset of global CO₂ emission from fossil fuel and cement production. *Scientific Data*, 7, 392
- Ma S., Zhou T., Angelil O., Shiogama H. (2017) Increased Chances of Drought in Southeastern Periphery of the Tibetan Plateau Induced by Anthropogenic Warming. *American Meteorological Society*, 30, 6543-6560
- Ma S., Zhou T., Stone DA, Angelil O., Shiogama H. (2017) Attribution of the July-August 2013 heat event in Central and Eastern China to anthropogenic greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters*, 12, 054020

- Madakumbura G.D., Kim H., Utsumi N., Shiogama H., Fischer E.M., Seland O., Scinocca J.F., Mitchell D.M., Hirabayashi Y., Oki T. (2019) Event-to-event intensification of the hydrologic cycle from 1.5°C to a 2°C warmer world. *Scientific Reports*, 9 (1), 3483
- Masaki Y., Hanasaki N., Biemans H., Schmied H.M., Tang Q., Wada Y., Gosling S.N., Takahashi K., Hijioka Y. (2017) Intercomparison of global river discharge simulations focusing on dam operation-multiple models analysis in two case-study river basins, Missouri-Mississippi and Green-Colorado. *Environmental Research Letters*, 12, 055002-055002
- Masaki Y., Hanasaki N., Takahashi K., Hijioka Y. (2018) Consequences of implementing a reservoir operation algorithm in a global hydrological model under multiple meteorological forcing. *Hydrological Sciences Journal*, 63 (7), 1047-1061
- Michibata T., Suzuki K., Ogura T., Jing X. (2019) Incorporation of inline warm rain diagnostics into the COSP2 satellite simulator for process-oriented model evaluation. *Geoscientific Model Development*, 12, 4297-4307
- Mitchell D., James R., Forster P.M., Betts R.A., Shiogama H., Allen M.R. (2016) Realizing the impacts of a 1.5 °C warmer world. *Nature Climate Change*, 6, 735–737
- Mitchell D., Achuta Rao K., Allen M., Allen M., Bethke I., Beyerle U., Ciavarella A., Forster P.M., Fuglested J., Gillett N., Haustein K., Ingram W., Iversen T., Kharin V., Klingaman N., Massey N., Fischer E., Schleussner C.F., Scinocca J., Seland O., Shiogama H., Shuckburgh E., Sparrow S., Stone D., Uhe P., Wallom D., Wehner M., Zaaboul R. (2017) Half a degree additional warming, prognosis and projected impacts (HAPPI): background and experimental design. *Geoscientific Model Development*, 10, 571-583
- Mitchell D., Heaviside C., Schaller N., Allen M.R., Ebi K.L., Fischer E., Gasparrini A., Harrington L., Kharin V., Shiogama H., Sillmann J., Sippel S., Vardoulakis S. (2018) Extreme heat-related mortality avoided under Paris Agreement goals. *Nature Climate Change*, 8, 551–553
- Mizuta R., Murata A., Ishii M., Shiogama H., Hibino K., Mori N., Arakawa O., Imada Y., Yoshida K., Aoyagi T., Kawase H., Mori M., Okada Y., Shimura T., Nagatomo T., Ikeda M., Endo H., Nosaka M., Arai M., Takahashi C., Tanaka K., Takemi T., Tachikawa Y., Temur K., Kamae Y., Watanabe M., Sasaki H., Kitoh A., Takayabu I., Nakakita E., Kimoto M. (2017) Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models. *American Meteorological Society*, 98(7), 1383-1398
- Mora C., Spirandelli D., Franklin E.C., Lynham J., Kantar M.B., Miles W., Smith C.Z., Freel K., Moy J., Louis L.V., Barba E.W., Bettinger K., Frazier A.G., Colburn J.F., Hanasaki N., Hawkins E., Hirabayashi Y., Knorr W., Little C.M., Emanuel K., Sheffield J., Patz J.A., Hunter C.L. (2018) Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions. *nature*, 8, 1062-1071
- Mori S., Shiogama H. (2018) The value of knowledge accumulation on climate sensitivity uncertainty: comparison between perfect information, single stage and act then learn decisions. *Sustainability Science*, 13, 351–368
- Murakami D., Peters G.W., Yamagata Y., Matsui T. (2016) Participatory Sensing Data Tweets for Micro-Urban Real-Time Resiliency Monitoring and Risk Management. *IEEE Access*, 4, 347-372
- Murakami D., Peters G.W., Matsui T., Yamagata Y. (2020) Spatiotemporal analysis of urban heatwaves using Tukey g-and-h random field models. *IEEE Access*, 9, 79869-79888
- Nicholls Z.R.J., Meinshausen M., Lewis J., Gieseke R., Dommenges D., Dorheim K., Fan C.S., Fuglested J.S., Gasser T., Goluke U., Goodwin P., Hartin C., Hope A.P., Kriegler E., Leach N.J., Marchegiani D., McBride L.A., Quilcaille Y., Rogelj J., Salawitch R.J., Samset B. H., Sandstad M., Shiklomanov A.N., Skeie R.B., Smith C.J., Smith S., Tanaka K., Tsutsui J., Xie Z. (2020) Reduced Complexity Model Intercomparison Project Phase 1: introduction and evaluation of global-mean temperature response. *Geoscientific Model Development*, 13, 5175-5190
- Nishina K., Ito H., Hanasaki N., Hayashi S. (2017) Reconstruction of spatially detailed global map of NH₄⁺ and NO₃ - application in synthetic nitrogen fertilizer. *Earth System Science Data*, 9, 149-162
- Nishiura O., Tamura M., Fujimori S., Takahashi K., Takakura J., Hijioka Y. (2020) An Assessment of Global Macroeconomic Impacts Caused by Sea Level Rise Using the Framework of Shared Socioeconomic Pathways and Representative Concentration Pathways. *sustainability*, 12, 3737

- Noda A.T., Kodama C., Yamada Y., Satoh M., Ogura T., Ohno T. (2019) Responses of clouds and large-scale circulation to global warming evaluated from multidecadal simulations using a global nonhydrostatic model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(9), 2980-2995
- Nosaka M., Ishii M., Shiogama H., Mizuta R., Murata A., Kawase H., Sasaki H. (2020) Scalability of future climate changes across Japan examined with large-ensemble simulations at + 1.5 K, +2 K, and + 4 K global warming levels. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 27
- Ogura T., Shiogama H., Watanabe M., Yoshimori M., Yokohata T., Annan J.D., Hargreaves J.C., Ushigami N., Hirota K., Someya Y., Kamae Y., Tatebe H., Kimoto M. (2017) Effectiveness and limitations of parameter tuning in reducing biases of top-of-atmosphere radiation and clouds in MIROC version 5. *Geoscientific Model Development*, 10, 4647-4664
- Ohashi H., Hasegawa T., Hirata A., Fujimori S., Takahashi K., Tsuyama I., Nakao K., Kominami Y., Tanaka N., Hijioka Y., Matsui T. (2019) Biodiversity can benefit from climate stabilization despite adverse side effects of land based mitigation. *Nature Communications*, 10, 5240
- 太畑祐輔, 長谷川知子, 越智雄輝, 高橋潔 (2020) 気候変動対策による低栄養に起因する健康被害評価. *土木学会論文集 G (環境)*, 76 (5), I_433-I_439
- Oki T., Yano S., Hanasaki N. (2017) Economic aspects of virtual water trade. *Environmental Research Letters*, 12 (4), 044002
- Oneill B.C., Oppenheimer M., Warren R., Hallegatte S., Kopp R.E., Poertner H.O., Scholes R., Birkmann J., Foden W., Licker R., Mach K.J., Marbaix P., Mastrandrea M.D., Price J., Takahashi K., van Ypersele J.P., Yohe G. (2017) IPCC reasons for concern regarding climate change risks. *Nature Climate Change*, 7, 28-37
- 大沼友貴彦, 金炯俊, 芳村圭, 新田友子, 大石龍太, 高田久美子 (2018) 陸域モデル国際相互比較実験 (LS3MIP) を想定した MATSIRO による 20 世紀再現実験. *土木学会論文集 B1 (水工学)*, 75 (4), I_43-I_48
- Paik S., Min S.K., Kim Y.H., Kim B.M., Shiogama H., Heo J. (2017) Attributing Causes of 2015 Record Minimum Sea-Ice Extent in the Sea of Okhotsk. *Journal of Climate*, 30, 4693-4703
- Pandy A., Rupakheti M., Mar K., Tanaka K. (2019) 1.3 Air quality and climate. In: Arnico Panday, Maheswar Rupakhet, Kathleen Mar, and Katsumasa Tanaka 著, *Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based Solutions*, United Nations Environment Programme (UNEP), 25-35
- Park C., Fujimori S., Hasegawa T., Takakura J., Takahashi K., Hijioka Y. (2018) Avoided economic impacts of energy demand changes by 1.5 and 2 °C climate stabilization. *Environmental Research Letters*, 13, 045010
- Park C., Thome J.H., Hashimoto S., Lee D.K., Takahashi K. (2021) Differing spatial patterns of the urban heat exposure of elderly populations in two megacities identifies alternate adaptation strategies. *Science of The Total Environment*, 781, 146455
- Prestele R., Alexander P., Rounsevell M., Arneth A., Calvin K., Doelman J., Eitelberg D., Engstrom K., Fujimori S., Hasegawa T., Havlik P., Humpenoder F., Jain A.K., Krisztin T., Kyle P., Meiyappan P., Popp A., Sands R.D., Schaldach R., Schungel J., Stehfest E., Tabeau A., Meijl H., Vliet J., Verburg P.H. (2016) Hotspots of uncertainty in land use and land cover change projections: a global scale model comparison. *Global Biology Change*, 22(12), 3967-3983
- Quan S.J., Dutt F., Woodworth E., Yamagata Y., Yang P.P.J. (2017) Local Climate Zone Mapping for Energy Resilience: A Fine-grained and 3D Approach. *Energy Procedia*, 105, 3777-3783
- Rao S., Klimont Z., Leitao J., Riahi K., Dingenen R., Reis L. A., Calvin K., Dentener F., Drouet L., Fujimori S., Harmsen M., Luderer G., Heyes C., Streffer J., Tavoni M., Vuuren D.P. (2016) A multi-model assessment of the co-benefits of climate mitigation for global air quality. *Environmental Research Letters*, 11 (12), 124013
- Rosa I.M.D., Pereira H.M., Ferrier S., Alkemade R., Acosta L.A., Akcakaya H.R., Belder E., Fazel A.M., Fujimori S., Harfoot M., Harhash K.A., Harrison P.A., Hauck J., Hendriks R.J.J., Hernandez G., Jetz W., Karlsson-Vinkhuyzen S.I., Kim H., King N., Kok M.T.J., Kolomytsev G.O., Lazarova T., Leadley P., Lundquist C.J., Marquez J.G., Meyer C., Navarro L.M., Nesshover C., Ngo H.T., Ninan K.N., Palomo M.G., Pereira L.M., Peterson G.D., Pichs R., Popp A., Purvis A., Ravera F., Rondinini C., Sathyapalan J., Schipper A.M., Seppelt R., Settele J., Sitas N., Vuuren D. (2017) Multiscale scenarios for nature futures. *Nature Ecology & Evolution*, 1, 1416-1419

- Saeed F., Bethke I., Fischer E., Legutke S., Shiogama H., Stone D.A., Schleussner C.F. (2018) Robust changes in tropical rainy season length at 1.5°C and 2°C. *Environmental Research Letters*, 13, 064024
- Saito K., Machiya H., Iwahana G., Ohno H., Yokohata T. (2020) Mapping simulated circum-Arctic organic carbon, ground ice, and vulnerability of ice-rich permafrost to degradation. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 31
- Saito K., Machiya H., Iwahana G., Yokohata T., Ohno H. (2021) Numerical model to simulate long-term soil organic carbon and ground ice budget with permafrost and ice sheets (SOC-ICE-v1.0). *Geoscience Model Development*, 14, 521-542
- Schewe J., Gosling S.N., Reyer C., Zhao F., Ciais P., Elliott J., Francois L., Huber V., Lotze H.K., Seneviratne S.I., van Vliet M.T.H., Vautard R., Wada Y., Breuer L., Buchner M., Carozza D.A., Chang J., Coll M., Deryng D., De Wit A., Eddy T.D., Folberth C., Frieler K., Friend A.D., Gerten D., Gudmundsson L., Hanasaki N., Ito A., Khabarov N., Kim H., Lawrence P., Morfopoulos C., Muller C., Schmied H.M., Orth P., Ostberg S., Pokhrel Y., Pugh T.A.M., Sakurai G., Satoh Y., Schmid E., Stacke T., Steenbeek J., Steinkamp J., Tang Q., Tian H., Tittensor D.P., Volkholz J., Wang X., Warszawski L. (2019) State-of-the-art global models underestimate impacts from climate extremes. *Nature Communications*, 10 (1005), 1-14
- Schweizer V.J., Ebi K.L., van Vuuren D.P., Jacoby H.D., Riahi K., Strefler J., Takahashi K., van Ruijven B.J., Weyant J.P. (2020) Integrated Climate-Change Assessment Scenarios and Carbon Dioxide Removal. *One Earth*, 3 (2), 166-172
- 塩竈秀夫 (2017) 1.5°C、2.0°C目標に対する気候変動予測. *環境情報科学*, 46 (3), 15-18
- 塩竈秀夫 (2017) 地球温暖化1-地球温度の変化. *日本医師会雑誌特別号「環境による健康リスク」*, 146 (2), S182-S184
- 塩竈秀夫 (2018) パリ協定, IPCC1.5°C特別報告書, HAPPI. *天気*, 65 (5), 55-66
- 塩竈秀夫 (2018) 過去と将来の気候変動. *環境技術*, 47 (7), 353-412
- Shiogama H., Hasegawa T., Fujimori S., Murakami D., Takahashi K., Tanaka K., Emori S., Kubota I., Abe M., Imada Y., Watanabe M., Mitchell D., Schaller N., Sillmann J., Fischer E., Scinocca J.F., Bethke I., Lierhammer L., Takakura J., Trautmann T., Doll P., Ostberg S., Schmied H.M., Saeed F., Schleussner C.F. (2019) Limiting global warming to 1.5°C will lower increases in inequalities of four hazard indicators of climate change. *Environmental Research Letters*, 14, 14022
- 塩竈秀夫 (2020) これまでの地球温暖化とこれからの対策. *電気ガラス*, 62, 9-11
- Shiogama H., Hirata R., Hasegawa T., Fujimori S., Ishizaki N., Chatani S., Watanabe M., Mitchell D., Lo Y.T.E. (2020) Historical and future anthropogenic warming effects on droughts, fires and fire emissions of CO₂ and PM_{2.5} in equatorial Asia when 2015-like El Nino events occur. *Earth System Dynamics*, 11, 435-445
- Smith C.J., Kramer R.J., Myhre G., Alterskjaer K., Collins W., Sima A., Boucher O., Dufresne J.L., Nabat P., Michou M., Yukimoto S., Cole J., Paynter D., Shiogama H., O'Connor F.M., Robertson E., Wiltshire A., Andrews T., Hannay C., Miller R., Nazarenko L., Kirkevag A., Olivie D., Fiedler S., Lewinschal A., Mackallah C., Dix M., Pincus R., Forster P.M. (2020) Effective radiative forcing and adjustments in CMIP6 models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 9591-9618
- Stone D.A., Christidis N., Folland C., Perkins-Kirkpatrick S., Perlwitz J., Shiogama H., Wehner M.F., Wolski P., Cholia S., Krishnan H., Murray D., Angelil O., Beyerle U., Ciavarella A., Dittus A., Quan X., Tadrossi M. (2019) Experiment design of the International CLIVAR C20C+ Detection and Attribution project. *Weather and Climate Extremes*, 24, 100206
- Su X., Shiogama H., Tanaka K., Fujimori S., Hasegawa T., Hijioaka Y., Takahashi K., Liu J. (2018) How do climate-related uncertainties influence 2 and 1.5 °C pathways? *Sustainability Science*, 13, 291-299
- Sugiyama M., Asayama S., Kosugi T., Ishii A., Emori S., Adachi J., Akimoto K., Fujiwara M., Hasegawa T., Hibi Y., Hirata K., Ishii T., Kaburagi T., Kita Y., Kobayashi S., Kurosawa A., Kuwata M., Masuda K., Mitsui M., Miyata T., Mizutani H., Nakayama S., Oyamada K., Sashida T., Sekiguchi M., Takahashi K., Takamura Y., Taki J., Taniguchi T., Tezuka H., Ueno T., Watanabe S., Watanabe R., Yamagishi N., Yoshizawa G. (2017) Transdisciplinary co-design of scientific research agendas: 40 research questions for socially relevant climate engineering research. *Sustainability Science*, 12 (1), 31-44
- 立入郁, 高橋潔, 伊藤泰志, 高山範理, 杉村乾 (2017) 1.5°Cと2°C -気候変動「パリ協定」目標の意味と実現への道筋. *環境情報科学*, 46 (3), 64-70

- Takahashi C., Shiogama H., Imada Y., Kosaka Y., Mori M., Arai M., Kamae Y., Watanabe M. (2018) The Effects of Natural Variability and Climate Change on the Record Low Sunshine over Japan During August 2017. *American Meteorological Society*, 100(1), S67-S71
- Takahashi K. (2017) Overview of studies in Japan on climate change impacts and adaptation: towards climate risk management based on scientific evidence. *Global Environmental Research*, 21, 29-37
- 高橋潔, 佐尾博志, 本田靖, 藤森真一郎, 高倉潤也 (2018) 地球温暖化に伴う熱関連死亡による被害額. *土木学会論文集 G (環境)*, 74 (5), I_53-I_60
- 高橋潔 (2019) 極端気象と地球温暖化 その影響と適応策を考える. *エネルギーレビュー*, 39 (12), 11-14
- Takakura J., Fujimori S., Takahashi K., Hijioka Y., Hasegawa T., Honda Y., Masui T. (2017) Cost of preventing workplace heat-related illness through worker breaks and the benefit of climate-change mitigation. *Environmental Research Letters*, 12 (6), 064010
- 高倉潤也, 藤森真一郎, 高橋潔, 本田靖, 長谷川知子, 肱岡靖明, 増井利彦 (2017) 気候変動に伴う暑熱ストレスの増大による屋外労働可能時間短縮に対する適応策の検討. *土木学会論文集 G (環境)*, 73 (6), II_283-II_291
- Takakura J., Fujimori S., Takahashi K., Hasegawa T., Honda Y., Hanasaki N., Hijioka Y., Masui T. (2018) Limited Role of Working Time Shift in Offsetting the Increasing Occupational-Health Cost of Heat Exposure. *Earth*, 6(11), 1588-1602
- 高倉潤也, 藤森真一郎, 高橋潔, ZHOUQIAN, 花崎直太, 飯泉仁之直, 長谷川知子, 本田靖, 増井利彦, 肱岡靖明 (2019) 気候変動による全球規模経済影響のエミュレーション手法の試作と評価. *土木学会論文集 G (環境)*, 75 (5), I_73-I_80
- Takakura J., Fujimori S., Hanasaki N., Hasegawa T., Hirabayashi Y., Honda Y., Iizumi T., Kumano N., Park C., Shen Z., Takahashi K., Tamura M., Tanoue M., Tsuchida K., Yokoki H., Zhou Q., Oki T., Hijioka Y. (2019) Dependence of economic impacts of climate change on anthropogenically directed pathways. *Nature Climate Change*, 9, 737-741
- Takakura J., Fujimori S., Takahashi K., Hijioka Y., Honda Y. (2019) Site-specific hourly resolution wet bulb globe temperature reconstruction from gridded daily resolution climate variables for planning climate change adaptation measures. *International Journal of Biometeorology*, 63 (6), 787-800
- Takano K.T., Hibino K., Numata A., Oguro M., Aiba M., Shiogama H., Takayabu I., Nakashizuka T. (2017) Detecting latitudinal and altitudinal expansion of invasive bamboo *Phyllostachys edulis* and *Phyllostachys bambusoides* (Poaceae) in Japan to project potential habitats under 1.5°C-4.0°C global warming. *Ecology and Evolution*, 7(23), 9848-9859
- Takata K., Hanasaki N. (2020) The effects of afforestation as an adaptation option: a case study in the upper Chao Phraya River basin. *Environmental Research Letters*, 15(4), 044020
- Tanaka A., Takahashi K., Shiogama H., Hanasaki N., Masaki Y., Ito A., Noda H., Hijioka Y., Emori S. (2017) On the scaling of climate impact indicators with global mean temperature increase: a case study of terrestrial ecosystems and water resources. *Climatic Change*, 141, 775-782
- Tanaka K., Ohmura A., Folini D., Wild M., Ohkawara M. (2016) Is global dimming and brightening in Japan limited to urban areas? *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 13969-14001
- Tanaka K. (2016) Interactive comment on “Urbanization effect on sunshine duration during global dimming and brightening periods in China”. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, C1-C5
- Tanaka K. (2017) Interactive comment on “Accounting for the climate-carbon feedback in emission metrics” by Thomas Gasser et al.. *Earth Syst. Dynam. Discuss*, C1-C7
- Tanaka K. (2017) Interactive comment on Community Climate Simulations to assess avoided impacts in 1.5°C and 2°C futures. *Earth System Dynamics Discussion*, C1-C5
- Tanaka K., Cherubini F., Levasseur A. (2017) Unmask temporal trade-offs in climate policy debates: but how? *Science, eLetter*
- Tanaka K., Iki T., Suda T. (2017) Meet three Japanese MSCA IF grantees who came back to Japan. *EURAXESS Japan Quarterly Newsletter*, (6), 10-15

- Tanaka K., Lund T.M., Aamaas B., Berntsen T. (2018) Climate effects of non-compliant Volkswagen diesel cars. *Environmental Research Letters*, 13, 044020
- Tanaka K., O'Neill B.C. (2018) The Paris Agreement zero-emissions goal is not always consistent with the 1.5 °C and 2 °C temperature targets. *Nature Climate Change*, 8 (4), 319-324
- 田中克政 (2018) パリ協定の温度目標とゼロ排出目標は本当に整合しているのか?. 地球環境研究所ニュース, 29 (4)
- 田中克政 (2018) ディーゼル乗用車を優遇する政策は気候変動対策に寄与したのか: 欧州のディーゼル乗用車の排出ガス不正について. 地球環境研究所ニュース, 29 (4)
- 田中克政, Zusman Eric (2019) UNEP Report “Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based Solutions” (in Japanese). 地球環境研究所ニュース, 30 (1)
- Tanaka K., Zusman E. (2019) UNEP Report “Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based Solutions.”. Center for Global Environmental Research (CGER) News, 30 (1)
- Tanaka K., Cavalett O., Collins W. J., Cherubini F. (2019) Asserting the climate benefits of the coal-to-gas shift across temporal and spatial scales. *Nature Climate Change*, 9, 389-396
- 田中克政 (2019) 石炭火力から天然ガス火力発電への転換は、パリ協定目標の達成に寄与 石炭火力発電の段階的廃止の追い風に. 地球環境研究センターニュース, 30 (4)
- Tang L., Furushima Y., Honda Y., Hasegawa T., Itsubo N. (2018) Estimating human health damage factors related to CO2 emissions by considering updated climate-related relative risks. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24, 1118–1128
- Tatebe H., Ogura T., Nitta T., Komuro Y., Ogochi K., Takemura T., Sudo K., Sekiguchi M., Abe M., Saito F., Chikira M., Watanabe S., Mori M., Hirota N., Kawatani Y., Mochizuki T., Yoshimura K., Takata K., O'ishi R., Yamazaki D., Suzuki T., Kurogi M., Kataoka T., Watanabe M., Kimoto M. (2019) Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6. *Geoscientific Model Development*, 12, 2727-2765
- Thinh L.V., Yadav I.C., Boulange J., Thuyet D.Q., Watanabe H. (2019) Modeling of runoff water and runoff pesticide concentrations in upland bare soil using improved SPEC model. *Journal of Pesticide Science*, 44 (3), 148-155
- Vanderkelen I., van Lipzig N.P.M., Lawrence D.M., Droppers B., Golub M., Gosling S.N., Janssen A.B.G., Marce R., Muller Schmied H., Perroud M., Pierson D., Pokhrel Y., Satoh Y., Schewe J., Seneviratne S.I., Stepanenko V.M., Tan Z., Woolway R.I., Thiery W. (2020) Global Heat Uptake by Inland Waters. *Geophysical Research Letters*, 47 (12), e2020GL087867
- Wada Y., Bierkens M.F.P., Roo A.D., Dirmeyer P.A., Famiglietti J.S., Hanasaki N., Konar M., Liu J., Schmied H.M., Oki T., Pokhrel Y., Sivapalan M., Troy T.J., Van Dijk A.I.J.M., Van Emmerik T., Van Huijgevoort M.H.J., Van Lanen H.A.J., Vorosmarty C.J., Wanders N., Wheeler H. (2016) Human - water interface in hydrological modelling: current status and future directions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21 (8), 4169-4193
- Wang Y., Zhang J., Sanchez-Lorenzo A., Tanaka K., Trentmann J., Yuan W., Wild M. (2021) Hourly Surface Observations Suggest Stronger Solar Dimming and Brightening at Sunrise and Sunset Over China. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091422
- Wartenburger R., Seneviratne S.I., Hirschi M., Chang J., Ciais P., Deryng D., Elliott J., Folberth C., Gosling S.N., Gudmundsson L., Henrot A.-J., Hickler T., Ito A., Khabarov N., Kim H., Leng G., Liu J., Liu X., Masaki Y., Morfopoulos C., Muller C., Schmied H.M., Nishina K., Orth R., Pokhrel Y., Pugh T.A.M., Satoh Y., Schaphoff S., Schmid E., Sheffield J., Stacke T., Steinkamp J., Tang Q., Thiery W., Wada Y., Wang X., Weedon G.P., Yang H., Zhou T. (2018) Evapotranspiration simulations in ISIMIP2a-Evaluation of spatio-temporal characteristics with a comprehensive ensemble of independent datasets. *Environmental Research Letters*, 13, 075001
- Watanabe M., Kamae Y., Shiogama H., DeAngelis A., Suzuki K. (2018) Low clouds link equilibrium climate sensitivity to hydrological sensitivity. *Nature Climate Change*, 8, 901-906
- Wehner M., Stone D., Mitchell D., Shiogama H., Fischer E., Graff L.S., Kharin V.V., Lierhammer L., Sanderson B., Krishnan H. (2018) Changes in extremely hot days under stabilized 1.5 and 2.0 °C global warming scenarios as simulated by the HAPPI multi-model ensemble. *Earth System Dynamics*, 9(1), 299-311

- Wehner M., Stone D.A., Shiogama H., Wolski P., Ciavarella A., Christidis N., Krishnan H. (2018) Early 21st century anthropogenic changes in extremely hot days as simulated by the C20C+ detection and attribution multi-model ensemble. *Weather and Climate Extremes*, 20, 1-8
- Wu W., Hasegawa S., Ohashi H., Hanasaki N., Liu J., Matsui T., Fujimori S., Masui T., Takahashi K. (2019) Global advanced bioenergy potential under environmental protection policies and societal transformation measures. *Global change biology bioenergy*, 11 (9), 1041-1055
- Xu W., Chang J., Ciaia P., Guenet B., Viovy N., Ito A., Reyer C.P.O., Tian H., Shi H., Frieler K., Forrest M., Ostberg S., Schaphoff S., Hickler T. (2020) Reducing uncertainties of future global soil carbon responses to climate and land use change with emergent constraints. *Global Biogeochemical Cycles*, 34(10), e2020GB006589
- Yamagata Y., Murakami D., Minami K., Arizumi N., Kuroda S., Tanjo T., Maruyama H. (2016) Electricity Self-Sufficient Community Clustering for Energy Resilience. *MDPI energies*, 9 (543)
- Yamagata Y., Murakami D., Yoshida T., Seya H., Kuroda S. (2016) Value of urban views in a bay city: Hedonic analysis with the spatialmultilevel additive regression (SMAR) model. *Landscape and Urban Planning*, 151, 89-102
- Yamagata Y., Murakami D. (2017) Spatially-explicit Resilience Modeling for PV Electricity Supply-demand Balance. *Energy Procedia*, 105, 3269-3274
- Yamagata Y., Yang J., Galaskiewicz J. (2017) State power and diffusion processes in the ratification of global environmental treaties, 1981-2008. *International Environmental Agreements*, 17 (4), 501-529
- Yamagata Y., Hanasaki N., Ito A., Kinoshita T., Murakami D., Zhou Q. (2018) Estimating water-food-ecosystem trade-offs for the global negative emission scenario (IPCC-RCP2.6). *Sustainability Science*, 13, 301–313
- Yamagata Y., Yoshida T., Murakami D., Matsui T., Akiyama Y. (2018) Seasonal Urban Carbon Emission Estimation Using Spatial Micro Big Data. *Sustainability* 2018, 10, 4472
- Yano S., Hanasaki N., Itsuno N., Oki T. (2016) Potential Impacts of Food Production on Freshwater Availability Considering Water Sources. *Water*, 8 (4), 163
- Yokohata T., Tanaka K., Nishina K., Takahashi K., Emori S., Kiguchi M., Iseri Y., Honda Y., Okada M., Masaki Y., Yamamoto A., Shigemitsu M., Yoshimori M., Sueyoshi T., Iwase K., Hanasaki N., Ito A., Sakurai G., Iizumi T., Nishimori M., Lim W. H., Miyazaki C., Okamoto A., Kanae S., Oki T. (2018) Visualizing the Interconnections Among Climate Risks. *Earth's Future*, 7, 85-100
- Yokohata T., Kinoshita T., Sakurai G., Pokhrel Y., Ito A., Okada M., Satoh Y., Kato E., Nitta T., Fujimori S., Felfelani F., Masaki Y., Iizumi T., Nishimori M., Hanasaki N., Takahashi K., Yamagata Y., Emori S. (2019) MIROC-INTEG1: A global bio-geochemical land surface model with human water management, crop growth, and land-use change. *Geoscientific Model Development*, DOI:10.5194/gmd-2019-184
- Yokohata T., Kinoshita T., Sakurai G., Pokhrel Y., Ito A., Okada M., Satoh Y., Kato E., Nitta T., Fujimori S., Felfelani F., Masaki Y., Iizumi T., Nishimori M., Hanasaki N., Takahashi K., Yamagata Y., Emori S. (2020) MIROC-INTEG-LAND version 1: a global biogeochemical land surface model with human water management, crop growth, and land-use change. *Geoscientific Model Development*, 13, 4713-4747
- Yokohata T., Saito K., Ito A., Ohno H., Tanaka K., Hajima T., Iwahana G. (2020) Future projection of greenhouse gas emissions due to permafrost degradation using a simple numerical scheme with a global land surface model. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 56
- Yokohata T., Saito K., Takata K., Nitta T., Satoh Y., Hajima T., Sueyoshi T., Iwahana G. (2020) Model improvement and future projection of permafrost processes in a global land surface model. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7 (69), 1-12
- Yoshimori M., Watanabe M., Shiogama H., Oka A., Abe-Ouchi A., Ohgaito R., Kamae Y. (2016) A review of progress towards understanding the transient global mean surface temperature response to radiative perturbation. *Progress in Earth and Planetary Science*, 3, 21

Zaherpour J., Gosling N.S., Mount N., Schmied M.H., Veldkamp E.I.T., Dankers R., Eisner S., Gerten D., Gudmundsson L., Haddeland I., Hanasaki N., Kim H., Leng G., Liu J., Masaki Y., Oki T., Pokhrel Y., Satoh Y., Schewe J., Wada Y. (2018) Worldwide evaluation of mean and extreme runoff from six global-scale hydrological models that account for human impacts. *Environmental Research Letters*, 13 (6), 065015

Zhao F., Veldkamp T.I.E., Frieler K., Schewe J., Ostberg S., Willner S., Schaubberger B., Gosling S.N., Muller Schmied H., Portmann F.T., Leng G., Huang M., Liu X., Tang Q., Hanasaki N., Biemans H., Gerten D., Satoh Y., Pokhrel Y., Stacke T., Ciais P., Chang J., Ducharme A., Guimberteau M., Wada Y., Kim H., Yamazaki D. (2017) The critical role of the routing scheme in simulating peak river discharge in global hydrological models. *Environmental Research Letters*, 12, 075003

Zhou Q., Yabar H., Mizunoya T., Higano Y. (2017) Evaluation of Integrated Air Pollution and Climate Change Policies: Case Study in the Thermal Power Sector in Chongqing City, China. *Sustainability*, 9 (10), 1741

Zhou Q., Hanasaki N., Fujimori S., Yoshikawa S., Kanae S., Okadera T. (2018) Cooling Water Sufficiency in a Warming World: Projection Using an Integrated Assessment Model and a Global Hydrological Model. *Water*, 10 (7), 872

Zhou Q., Hanasaki N., Fujimori S. (2018) Economic Consequences of Cooling Water Insufficiency in the Thermal Power Sector under Climate Change Scenarios. *Energies*, 11 (10), 2686

Zhou Q., Hanasaki N., Fujimori S., Masaki Y., Hijioka Y. (2018) Economic consequences of global climate change and mitigation on future hydropower generation. *Climatic Change*, 147, 77–90

(3) プロジェクト3：世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

Bauer N., Calvin K., Emmerling J., Fricko O., Fujimori S., Hilaire J., Eom J., Krey V., Kriegler E., Mouratiadou I., Boer H.S., Berg M., Carrara S., Daioglou V., Drouet L., Edmonds J. E., Germaat D., Havlik P., Johnson N., Klein D., Kyle P., Marangoni G., Masui T., Pietzcker R. C., Strubegger M., Wise M., Riahi K., Vuuren D.P. (2017) Shared Socio-Economic Pathways of the Energy Sector - Quantifying the Narratives. *Global Environmental Change*, 42, 316-330

Boonpanya T., Masui T. (2020) Assessment of Thailand Socio-Economic Impact towards Greenhouse Gas Mitigation Actions in 2030 Using a Computable General Equilibrium Model. *Chemical Engineering Transactions*, 78, 289-294

Boonpanya T., Masui T. (2021) Assessing the economic and environmental impact of freight transport sectors in Thailand using computable general equilibrium model. *Journal of Cleaner Production*, 280 (Part1), 124271

Boonpanya T., Masui T. (2021) Decarbonizing Thailand: A Socio-economic Impact Study of Peak Emissions Before 2050. *Thai Environmental Engineering Journal*, 35 (1), 23-30

Chaiyapa W., Esteban M., Kameyama Y. (2018) Why go green? Discourse analysis of motivations for Thailand's oil and gas companies to invest in renewable energy. *Energy Policy*, 120, 448-459

Chunark, P., Hanaoka T., Limmeechokchai, B. (2021) Shared socioeconomic pathways and long-term GHG mitigation towards 2050 in Thailand cement industry. *Cleaner and Responsible Consumption*, 2, 100006

Dai H., Xie Y., Liu J., Masui T. (2018) Aligning renewable energy targets with carbon emissions trading to achieve China's INDCs: A general equilibrium assessment. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 82, 4121-4131

Edelenbosch O.Y., Kermeli K., Crijns-Graus W., Worrell E., Bibas R., Fais B., Fujimori S., Kyle P., Sano F., Vuuren D.P. (2017) Comparing projections of industrial energy demand and greenhouse gas emissions in long-term energy models. *Energy*, 122, 701-710

Edelenbosch O.Y., Mccollum D.L., Vuuren D.P., Bertram C., Carrara S., Daly H., Fujimori S., Kitous A., Kyle P., Broin E.O., Karkatsoulis P., Sano F. (2017) Decomposing passenger transport futures: Comparing results of global integrated assessment models. *Transportation Research, D* (55), 281-293

Fragkos P., van Soest H.L., Schaeffer R., Reedman L., Macaluso N., Evangelopoulou S., De Vita A., Sha F., Qimin C., Kejun J., Mathur R., Shekhar S., Dewi R.G., Silva D., Oshiro K., Fujimori S., Park C., Safonov G., Iyer G. (2021) Energy system transitions and low-carbon pathways in Australia, Brazil, Canada, China, EU-28, India, Indonesia, Japan, Republic of Korea, Russia and the United States. *Energy*, 216 (1), 119385

- Fujimori S., Dai H., Masui T., Matsuoka Y. (2016) Global energy model hindcasting. *Energy*, 114 (1), 293-301
- Fujimori S., Kubota I., Dai H., Takahashi K., Hasegawa T., Liu J., Hijioka Y., Masui T., Takimi M. (2016) Will international emissions trading help achieve the objectives of the Paris Agreement? *Environmental Research Letters*, 11, 104001
- Fujimori S., Su X., Liu J., Hasegawa T., Takahashi K., Masui T., Takimi M. (2016) Implication of Paris Agreement in the context of long-term climate mitigation goals. *Springer Plus*, 5, 1620
- 藤森真一郎, 長谷川知子, 高橋潔, 増井利彦, 滝見真穂 (2016) パリ協定の短中期的排出目標と長期気候安定化目標における含意. *土木学会論文集 G(環境)*, 72 (5), I_223-I_231
- Fujimori S., Hasegawa T., Masui T., Takahashi K., Herran D.S., Dai H., Hijioka Y., Kainuma M. (2017) SSP3: AIM implementation of Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change*, 42, 268-283
- Fujimori S., Hasegawa T., Rogelj J., Su X., Havlik P., Krey V., Takahashi K., Riahi K. (2018) Inclusive climate change mitigation and food security policy under 1.5°C climate goal. *Environmental Research Letters*, 13 (7), e074033
- Gidden M.J., Riahi K., Smith S.J., Fujimori S., Luderer G., Kriegler E., van Vuuren D.P., van den Berg M., Feng L., Klein D., Calvin K., Doelman J.C., Frank S., Fricko O., Harmsen M., Hasegawa T., Havlik P., Hilaire J., Hoesly R., Horing J., Popp A., Stehfest E., Takahashi K. (2019) Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific Model Development*, 12 (4), 1443-1475
- Hanaoka T., Masui T. (2018) Co-benefits of Short-Lived Climate Pollutants and Air Pollutants by 2050 while achieving the 2 degree target in Asia. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 6 (3), 505-520
- Hanaoka T., Masui T., Park C., Dongkun L., Taeyong J. (2019) Impacts of Climate Change, Income Change and Mitigation Measures on CO2 emission in the Korean Residential Sector in 2050. *Journal of Climate Change Research*, 10 (1), 9-21
- 花岡達也 (2019) 「気候変動」と「大気汚染」の問題を同時解決. *国立環境研究所ニュース*, 38 (3), 5-8
- 花岡達也, 増井利彦 (2019) アジアの研究者と共に築く脱炭素社会—統合評価モデル AIM の開発を通じた国際協力. *環境儀*, 74, 3-14
- Hanaoka T., Masui T. (2020) Exploring Effective Short-Lived Climate Pollutant Mitigation Scenarios by Considering Synergies and Trade-offs of Combinations of Air Pollutant Measures and Low Carbon Measures towards the Level of the 2°C Target in Asia. *Environmental Pollution*, 261, 113650
- 花岡達也 (2020) フロン類排出抑制による地球温暖化対策: 第1回 フロン類排出を見逃すな! オゾン層破壊と地球温暖化への影響. *地球温暖化*, 11, 28-29
- 花岡達也 (2020) 短寿命気候汚染物質と地球温暖化対策: 第4回 短寿命気候汚染物質 (SLCP) の発生源と削減対策. *地球温暖化*, 5, 28-29
- 花岡達也 (2020) 短寿命気候汚染物質と地球温暖化対策: 第5回 短寿命気候汚染物質 (SLCP) 削減対策とビジネス展開. *地球温暖化*, 7, 30-31
- 花岡達也 (2020) 短寿命気候汚染物質と地球温暖化対策: 第6回 短寿命気候汚染物質 (SLCP) の将来の排出緩和シナリオと今後の課題. *地球温暖化*, 9, 34-35
- 花岡達也 (2021) フロン類排出抑制による地球温暖化対策: 第2回 冷媒フロン類の排出削減効果は大! 削減の実態と必要な対策. *地球温暖化*, 1, 36-37
- 花岡達也 (2021) フロン類排出抑制による地球温暖化対策: 第3回 注目必須 原材料に使われる HCFC-22 の増加と副産物. *地球温暖化*, 3, 28-29
- Harmsen M., van Vuuren D.P., Bodirsky B.L., Chateau J., Durand-Lasserre O., Drouet L., Fricko O., Fujimori S., Gernaat D.E.H.J., Hanaoka T., Hilaire J., Keramidas K., Luderer G., Moura M.C.P., Sano F., Smith S.J., Wada K. (2019) The role of methane in future climate strategies: Mitigation potentials and climate impacts. *Climate Change*, 163, 1409-1425

- Hasegawa T., Park C., Fujimori S., Takahashi K., Hijioka Y., Masui T. (2016) Quantifying the economic impact of changes in energy demand for space heating and cooling systems under varying climatic scenarios. *palgrave communications*, 2, 16013
- Hasegawa T., Fujimori S., Ito A., Takahashi K., Masui T. (2017) Global land-use allocation model linked to an integrated assessment model. *Science of The Total Environment*, 580, 787-796
- Hasegawa T., Fujimori S., Havlik P., Valin H., Bodirsky B.L., Doelman J.C., Fellmann T., Kyle P., Koopman J.F.L., Lotze-Campen H., D'Croz D.M., Muller C., Ochi Y., Dominguez I.P., Stehfest E., Sulser T.B., Tabeau A., Takahashi K., Takakura J., van Meijl H., van Zeist W.J., Wiebe K., Witzke P. (2020) Reply to: An appeal to cost undermines food security risks of delayed mitigation. *Nature Climate Change*, 10, 420-421
- Jiang K., Tamura K., Hanaoka T. (2017) Can we go beyond INDCs: Analysis of a future mitigation possibility in China, Japan, U.S. and the U.S. *Advances in Climate Change Research*, 8 (2), 117-122
- Ju Y., Sugiyama M., Kato E., Matsuo Y., Oshiro K., Silva D. (2021) Industrial decarbonization under Japan's national mitigation scenarios: a multi-model analysis. *Sustainability Science*, 16, 411-427
- Ju Y., Sugiyama M., Silva D., Wang J., Inoue A. (2021) An open-source tool for visualization of climate mitigation scenarios: Mipplot. *Environmental Modelling & Software*, 139, 105001
- Kameyama Y., Kawamoto A. (2016) Four intermediate goals: a methodology for evaluation of climate mitigation policy packages. *Climate Policy*, 18(2), 210-220
- 亀山康子 (2016) パリ協定—2020年以降の国際制度の概要と残された課題. *廃棄物資源循環学会誌*, 27 (2), 109-116
- 亀山康子 (2017) パリ協定で目指される長期ビジョンと政策パッケージ. *エネルギー・資源*, 38 (5), 12-15
- 亀山康子 (2017) パリ協定の下での脱炭素化社会の展望. *環境と文明*, 25 (7), 3-4
- 亀山康子 (2017) 国際政治から見た気候変動問題の行方. *季刊環境技術会誌*, (168), 14-15
- 亀山康子 (2017) 気候変動対処に向けた国際的取り組みの経緯とパリ協定について. *環境年表平成 29-30 年*, 502-503
- Kameyama Y. (2017) Remaining Research Agendas in the Post-2020 Period under the Paris Agreement. *Global Environmental Research*, (21), 3-10
- Kameyama Y. (2018) Changing climate policy in Asia. *East Asia Forum*, <https://www.eastasiaforum.org/2018/06/16/changing-climate-policy-in-asia/>
- 亀山康子 (2018) SDGs—気候変動分野からのインプット. *環境情報科学*, 47 (1), 12-16
- 亀山康子 (2018) ストックホルム会合で日本は変わったか?. *環境と文明*, 26 (6), 6-7
- 亀山康子 (2018) 低炭素社会実現に向けたロードマップ開発—パリ協定の下での社会変革. *化学と工業*, 71 (5), 394-396
- 亀山康子 (2018) 国際政治に重要性を増す「気候変動」の射程. *外交*, 52 (Nov./Dec.2018), 114-119
- 亀山康子 (2018) 気候変動対策をめぐる世界の動向. *環境環境会議*, 2008 年春, 32-37
- 亀山康子 (2019) パリ協定の課題と日本の対応. *国際問題*, (678), 24-33
- 亀山康子 (2019) 低炭素社会実現に向けて. *ケミカルエンジニアリング*, 64 (7), 1-5
- 亀山康子 (2019) 日本の気候変動対策と生態系保全策との間のトレードオフ・シナジーに関する包括的分析. *環境情報科学*, 48 (4), 74-79
- 亀山康子 (2019) 激しさを増す気候変動 COP25 の課題は. *外交*, 58, 80-81
- Kameyama Y. (2020) Can Japan Achieve Net-Zero Emissions? Climate Change Policy Developments in Japan and Its Implications. *Sasakawa Peace Foundation USA*, <https://spfusa.org/research/can-japan-achieve-net-zero-emissions/>

- Kameyama Y. (2020) Emitters in the Spotlight - Japan: Innovation First, Climate Next. Institut Montaigne Website, <https://www.institutmontaigne.org/en/blog/emitters-spotlight-japan-innovation-first-climate-next>
- Kameyama Y., Ono K. (2020) The Development of Climate Security Discourse in Japan. *Sustainability Science*, 16, 271–281
- 亀山康子 (2020) COP25 の成果と 2030 年目標への課題. *外交*, 59, 76-77
- 亀山康子 (2020) コロナ対策と気候変動対策の融合. *現代の理論*, (秋), 4-10
- 亀山康子 (2020) 気候危機と日本. *小日本*, 38, 17-19
- 亀山康子 (2020) 緑の地球を残したい. *環境と文明*, 28 (10), 5-6
- 亀山康子 (2020) 非国家主体の活動に希望. *現代の理論*, 2020 春号, 4-9
- 亀山康子, 佐々木実紀 (2020) 気候変動リスク認識に関する世界および日本の企業業種別分析. *環境科学会誌*, 33 (6), 159-171
- Kameyama Y. (2021) Climate Change Policy: Can New Actors Affect Japan's Policy-Making in the Paris Agreement Era? *Social Science Japan Journal*, 24(1), 67–84
- 亀山康子 (2021) バイデン政権の気候変動対策と日本. *世界*, (943), 183-191
- 亀山康子 (2021) 気候変動ガバナンスにおけるステークホルダー間ネットワーク-産業界の役割を事例として. *学術の動向*, 26 (1), 84-87
- Kriegler E., Bauer N., Humpenoder F., Leimbach M., Strefler J., Baumstark L., Bodirsky B.L., Hilaire J., Klein D., Mouratiadou I., Weindl I., Bertram C., Dietrich J.-P., Luderer G., Pehl M., Pietzcker R., Piontek F., Lotze-Campen H., Biewald A., Bonsch M., Giannousakis A., Kreidenweis U., Muller C., Rolinski S., Schultes A., Schwanitz J., Stevanovic M., Calvin K., Emmerling J., Fujimori S., Edenhofer O. (2017) Fossil-fueled development (SSP5): An energy and resource intensive scenario for the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 297-315
- 久保田泉 (2018) 国際／各国／サブナショナルの各レベルにおける適応策及び適応支援策の現状と課題. *環境法政策学会誌*, (21), 50-61
- Li Z., Dai Hancheng, Song Junnian, Sun L., Geng Yong, Lu Keyu, Hanaoka T. (2019) Assessment of the carbon emissions reduction potential of China's iron and steel industry based on a simulation analysis. *Energy*, 183, 279-290
- Li Z., Hanaoka T. (2020) Development of large-point source emission downscale model by estimating the future capacity distribution of the Chinese iron and steel industry up to 2050. *Resources, Conservation & Recycling*, 161, 104853
- Liu J., Fujimori S., Masui T. (2016) Temporal and spatial distribution of global mitigation cost: INDCs and equity. *Environmental Research Letters*, 11 (11), 114004
- Liu J.Y., Fujimori S., Takahashi K., Hasegawa T., Wu W., Geng Y., Takakura J., Masui T. (2021) The importance of socioeconomic conditions in mitigating climate change impacts and achieving Sustainable Development Goals. *Environmental Research Letters*, 16, 014010
- Luderer G., Pietzcker R.C., Carrara S., Boer H.S., Fujimori S., Johnson N., Mima S., Arent D. (2017) Assessment of wind and solar power in global low-carbon energy scenarios: An introduction. *Energy Economics*, 64, 542-551
- Malahayati M., Masui T. (2018) Challenges in Implementing Emission Mitigation Technologies in Indonesia Agricultural Sector: Criticizing the Available Mitigation Technologies. *Open Agriculture*, 3 (1), 46-56
- Malahayati M., Masui T. (2018) Synchronising Ministry of Agriculture Target with Emission Mitigation Action Target: Case Study of Indonesia Towards 2030. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 79-84
- 増井利彦, 久保田泉 (2017) パリ協定の意義、課題と今後の温暖化対策. *電気評論*, 102 (6), 50-51
- 増井利彦 (2017) 「ゼロ炭素社会」に向けた日本の取り組みを考える. *公明*, (133), 36-41

- 増井利彦 (2017) 2050年温室効果ガス排出量の80%削減に向けて. 環境技術会誌, (166), 19-21
- 増井利彦 (2017) 低炭素社会の実現に向けた取り組み. 公衆衛生, 81 (12), 988-994
- 増井利彦 (2017) 日本における脱炭素社会の実現への課題. 環境技術会誌, (168), 16-18
- 増井利彦 (2017) 長期目標と地球温暖化対策税. 全国ネット通信, 28 (秋), 1-1
- 増井利彦 (2019) これからの脱炭素社会に向けて. 環境技術会誌, (178), 15-17
- 増井利彦 (2019) 国立研究開発法人国立環境研究所における低炭素研究プログラム PJ3 世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究. *Japan Engineering & Technology Intelligence*, 67 (1), 102-105
- 増井利彦 (2020) パリ協定が提起した気候変動問題. 経済, (298), 44-53
- 増井利彦 (2020) 低炭素社会から脱炭素社会へ. *Indust*, 35 (12), 7-11
- Mittal S., Liu J., Fujimori S., Shukla P.R. (2018) An Assessment of Near-to-Mid-Term Economic Impacts and Energy Transitions under “2°C” and “1.5°C” Scenarios for India. *Energies*, 11 (9)
- Nakajima T., Ohara T., Masui T., Takemura T., Yoshimura K., Goto D., Hanaoka T., Itahashi S., Kurata G., Kurokawa J., Maki T., Masutomi Y., Nakata M., Nitta T., Seposo X., Sudo K., Suzuki C., Suzuki K., Tsuruta H., Ueda K., Watanabe S., Yu Y., Yumimoto K., Zhao S. (2020) A Development of Reduction Scenarios of the Short-Lived Climate Pollutants (SLCPs) for Mitigating Global Warming and Environmental Problems. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 33
- 太畑祐輔, 長谷川知子, 越智雄輝, 高橋潔 (2020) 気候変動対策による低栄養に起因する健康被害評価. 土木学会論文集 G (環境), 76 (5), I_433-I_439
- Pietzcker R.C., Ueckerdt F., Carrara S., Boer H.S., Despres J., Fujimori S., Johnson N., Kitous A., Scholz Y., Sullivan P., Luderer G. (2017) System integration of wind and solar power in integrated assessment models: A cross-model evaluation of new approaches. *Energy Economics*, 64, 583-599
- Popp A., Calvin K., Fujimori S., Havlik P., Humpenoder F., Stehfest E., Bodirsky B.L., Dietrich J.P., Doelmann J.C., Gusti M., Hasegawa T., Kyle P., Obersteiner M., Tabeau A., Takahashi K., Valin H., Waldhoff S., Weindl I., Wise M., Krieglner E., Lotze-Campen H., Fricko O., Riahi K., Vuuren D.P. (2017) Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 42, 331-345
- Rajbhandari S., Limmeechokchai B., Masui T. (2019) The impact of different GHG reduction scenarios on the economy and social welfare of Thailand using a computable general equilibrium (CGE) model. *Energy, Sustainability and Society*, 9, 19
- Rao S., Klimont Z., Leitao J., Riahi K., Dingenen R., Reis L. A., Calvin K., Dentener F., Drouet L., Fujimori S., Harmsen M., Luderer G., Heyes C., Strefler J., Tavoni M., Vuuren D.P. (2016) A multi-model assessment of the co-benefits of climate mitigation for global air quality. *Environmental Research Letters*, 11 (12), 124013
- Rao S., Klimont Z., Smith S.J., Dingenen R., Dentener F., Bouwman L., Riahi K., Amann M., Bodirsky B.L., Vuuren D.P., Reis L.A., Calvin K., Drouet L., Fricko O., Fujimori S., Gernaat D., Havlik P., Harmsen M., Hasegawa T., Heyes C., Hilaire J., Luderer G., Masui T., Stehfest E., Strefler J., Sluis S., Tavoni M. (2017) Future air pollution in the Shared Socio-economic Pathways. *Global Environmental Change*, 42, 346-358
- Riahi K., Vuuren D.P., Krieglner E., Edmonds J., O'Neill B.C., Fujimori S., Bauer N., Calvin K., Dellink R., Fricko O., Lutz W., Popp A., Cuaresma J.C., KC S., Leimbach M., Jiang L., Kram T., Rao S., Emmerling J., Ebi K., Hasegawa T., Havlik P., Humpenoder F., Silva L.A., Smith S., Stehfest E., Bosetti V., Eom J., Gernaat D., Masui T., Rogelj J., Strefler J., Drouet L., Krey V., Luderer G., Harmsen M., Takahashi K., Baumstark L., Doelman J.C., Kainuma M., Klimont Z., Marangoni G., Lotze-Campen H., Obersteiner M., Tabeau A., Tavoni M. (2017) The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168
- Rogelj J., Popp A., Calvin K.V., Luderer G., Emmerling J., Gernaat D., Fujimori S., Strefler J., Hasegawa T., Marangoni G., Krey V., Krieglner E., Riahi K., Vuuren D.P., Doelman J., Drouet L., Edmonds J., Fricko O., Harmsen M., Havlik P., Humpenoder F., Stehfest E., Tavoni M. (2018) Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °C. *Nature Climate Change*, 8, 325-332

- Sakaguchi I., Ishii A., Sanada Y., Kameyama Y., Okubo A., Mori K. (2020) Japan's environmental diplomacy and the future of Asia-Pacific environmental cooperation. *International Relations of the Asia-Pacific*, 21 (1), 121–156
- Sakamoto S., Nagai Y., Sugiyama M., Fujimori S., Kato E., Komiyama R., Matsuo Y., Oshiro K., Silva D. (2021) Demand-side decarbonization and electrification: EMF 35 JMIP study. *Sustainability Science*, 16, 395–410
- Shiraki H., Sugiyama M., Matsuo Y., Komiyama R., Fujimori S., Kato E., Oshiro K., Silva D. (2021) The role of renewables in the Japanese power sector: implications from the EMF35 JMIP. *Sustainability Science*, 16, 375–392
- Siagian U.W.R., Yuwono B.B., Fujimori S., Masui T. (2017) Low-Carbon Energy Development in Indonesia in Alignment with Intended Nationally Determined Contribution (INDC) by 2030. *Energies*, 10 (1), 52
- Silva D., Fujimori S., Kainuma M. (2019) Implications of Japan's long term climate mitigation target and the relevance of uncertain nuclear policy. *Climate Policy*, 19 (9), 1117-1131
- Silva D., Kuriyama K. (2020) Challenges for realising Japan long-term strategy for decarbonisation under the Paris Agreement, and the role of scenarios. IGES Working paper, 1-29
- Silva D., Fujimori S. (2021) Beyond Japanese NDC: energy and macroeconomic transitions towards 2050 in emission pathways with multiple ambition levels. *Sustainability Science*, 16, 489-501
- Smith S., Chateau J., Dorheim K., Drouet L., Durand-Lasserre O., Fricko O., Fujimori S., Hanaoka T., Harmsen M., Hilaire J., Keramidas K., Klimont Z., Luderer G., Moura M.C.P., Riahi K., Rogelj J., Sano F., van Vuuren D.P., Wada K. (2020) Impact of methane and black carbon mitigation on forcing and temperature: a multi-model scenario analysis. *Climate Change*, 163, 1427–1442
- Sugiyama M., Fujimori S., Wada K., Oshiro K., Kato E., Komiyama R., Silva D., Matsuo Y., Shiraki H., Ju Y. (2021) EMF 35 JMIP study for Japan's long-term climate and energy policy: scenario designs and key findings. *Sustainability Science*, 16, 355–374
- Tachiiri K., Silva D., Su X., Kawamiya M. (2019) Effect on the Earth system of realizing a 1.5°C warming climate target after overshooting to the 2°C level. *Environmental Research Letters*, 14 (12), 124063
- Tran T.T., Fujimori S., Masui T. (2016) Realizing the Intended Nationally Determined Contribution: The Role of Renewable Energies in Vietnam. *Energies*, 9 (8), 587
- van Soest H., Reis L.A., Baptista L.B., Bertram C., Depres J., Drouet L., Elzen M., Fragkos P., Fricko O., Fujimori S., Grant N., Harmsen M., Iyer G., Keramidas K., Koberle A., Kriegler E., Malik A., Mittal S., Oshiro K., Riahi K., Roelfsema M., van Ruijven B., Schaeffer R., Silva D., Tavoni M., Unlu G., Vandyck T., van Vuuren D. (2021) Global roll-out of comprehensive policy measures may aid in bridging emissions gap. *Nature Communications*, 12, 6419
- Vuurena D.P., Riahi K., Calvin K., Dellink R., Emmerling J., Fujimori S., KC S., Kriegler E., O'Neill B. (2017) The Shared Socio-economic Pathways: Trajectories for human development and global environmental change. *Global Environmental Change*, 42, 148-152
- Wu R., Dai H., Geng Y., Xie Y., Masui T., Liu Z., Qian Y. (2017) Economic Impacts from PM2.5 Pollution-Related Health Effects: A Case Study in Shanghai. *Environmental Science & Technology*, 51(9), 5035–5042
- Wu Y., Liu C., Hung M., Liu T., Masui T. (2019) Sectoral energy efficiency improvements in Taiwan: Evaluations using a hybrid of top-down and bottom-up models. *Energy Policy*, 132, 1241-1255
- Xie Y., Dai H., Dong H., Hanaoka T., Masui T. (2016) Economic impacts from PM2.5 pollution-related health effects in China: A provincial-level analysis. *Environmental Science and Technology*, 50 (9), 4836-4843
- Xie Y., Dai H., Hanaoka T., Masui T. (2016) Health and Economic Impacts of PM2.5 Pollution in Beijing-Tianjin-Hebei Area. *China Population, Resources and Environment*, 26 (11), 19-27 <In 中国語>
- Xing R., Hanaoka T., Kanamori Y., Dai H., Masui T. (2015) Energy Service Demand Projections and CO2 Reduction Potentials in Rural Households in 31 Chinese Provinces. *Sustainability*, 7, 15833-15846
- Xing R., Hanaoka T., Kanamori Y., Masui T. (2018) Achieving zero emission in China's urban building sector: Opportunities and barriers. *Current Option in Environmental Sustainability*, 30, 115-122

Xing R., Hanaoka T., Kanamori Y., Masui T. (2018) Estimating energy service demand and CO₂ emissions in the Chinese service sector at provincial level up to 2030. *Resources, conservation and recycling*, 134, 347-360

Xing, R., Hanaoka T., Masui T. (2021) Deep decarbonization pathways in the building sector: China's NDC and the Paris Agreement. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044054

Yamaguchi R. (2019) Intergenerational Discounting with Intragenerational Inequality in Consumption and the Environment. *Environmental and Resource Economics*, 73 (4), 957-972

Yamaguchi R. (2020) Available capital, utilized capital, and shadow prices in inclusive wealth accounting. *Ecological Economics*, 169, 106525

Yamaguchi R., Shah P. (2020) Spatial discounting of ecosystem services. *Resource and Energy Economics*, 62, 101186

Yawale S., Hanaoka T., Kapshe, M. (2020) Development of energy balance table for rural and urban households and evaluation of energy consumption in Indian states. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110392

Zhang R., Fujimori S., Dai H., Hanaoka T. (2018) Contribution of the transport sector to climate change mitigation: Insights from a global passenger transport model coupled with a computable general equilibrium model. *Applied Energy*, 211 (1), 76-88

Zhang R., Fujimori S., Hanaoka T. (2018) The contribution of transport policies to the mitigation potential and cost of 2°C and 1.5°C goals. *Environmental Research Letters*, 13 (5), 054008

<書籍等>

発表者・(刊年)・題目・出版社・総頁数

(3) プロジェクト3：世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

Kameyama Y. (2017) Kameyama Y.著, *Climate Change Policy in Japan: From the 1980s to 2015*, Routledge, 205p

Fujimori S., Kainuma M., Masui T. (2017) Fujimori S., Kainuma M., Masui T.ed., *Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective*, Springer, 328p

<書籍等 (分担執筆) >

発表者・(刊年)・題目・編著者名・書名・出版社・頁

(1) プロジェクト1：マルチスケールGHG変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究

町田敏暢 (2016) 2-9 シベリア上空の温室効果ガス. 河村公隆 (代表) 編, *低温環境の科学事典*, 朝倉書店, 52-53

Miyoshi T., Kotsuki S., Terasaki K., Otsuka S., Lien G.Y., Yashiro H., Tomita H., Satoh M., Kalnay E. (2020) Precipitation Ensemble Data Assimilation in NWP Models. In: Vincenzo Levizzani, Christopher Kidd, Dalia B. Kirschbaum, Christian D. Kummerow, Kenji Nakamura, F. Joseph Turkeds., *Satellite Precipitation Measurement: Volume 2*, Springer, Cham, 983-991

森野勇 (2017) 温室効果ガスのグローバル分布特性. 山川修治, 常盤勝美, 渡来靖編, *気候変動の事典*, 朝倉書店, 80-85

中岡慎一郎 (2017) 3.3.2 海と大気の大気二酸化炭素交換. 日本海洋学会編, *海の温暖化*, 朝倉出版, 49-52

Nakayama T. (2017) Impact of over-exploitation of water resources on eco-hydrological change in China (Chap.22). In: Saeid Eslamianed., *Handbook of Drought and Water Scarcity*, Taylor and Francis, 409-421

Nakayama T. (2019) Nakayama T.ed., *Development of process-based NICE model and simulation of ecosystem dynamics in the catchment of East Asia (Part V)*, Center for Global Environmental Research (CGER), National Institute for Environmental Studies (NIES), 122p

(2) プロジェクト2：気候変動予測・影響・対策の統合評価を基にした地球規模の気候変動リスクに関する研究

デイビッド・ウォレス・ウェルズ, 江守正多, 藤井留美 (2020) ー. デイビッド・ウォレス・ウェルズ著, 地球に住めなくなる日: 「気候崩壊」の避けられない真実, NHK 出版株式会社, 288p

江守正多 (2018) I 社会の意思決定を考える. 対話. 江守正多 (2020) 14 地球温暖化を正しく理解するには. 日本地球惑星科学連合編, 地球・惑星・生命, 東京大学出版会, 164-173

江守正多 (2021) Column 02 気候変動をめぐる懐疑論. 国際環境 NGO FoE Japan 編著, 気候変動から世界をまもる 30 の方法 わたしたちのクライメート・ジャスティス!, 合同出版株式会社, 62

Fujimori S., Masui T., Matsuoka Y. (2017) CHAPTER 9: A Global Computable General Equilibrium Model Coupled with Bottom-Up Energy End-Use Technology. In: Fujimori S., Masui T., Matsuoka Y. 著, The WSPC Reference on Natural Resources and Environmental Policy in the Era of Global Change Volume 3: Computable General Equilibrium Models, World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 296-306

Hasegawa T., Fujimori S., Shin Y., Takahashi K., Masui T., Tanaka A. (2017) CHAPTER 8: Global Assessment of Agricultural Adaptation to Climate Change using CGE Model. In: Hasegawa T., Fujimori S., Shin Y., Takahashi K., Masui T., Tanaka A. 著, The WSPC Reference on Natural Resources and Environmental Policy in the Era of Global Change Volume 3: Computable General Equilibrium Models, World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 438-445

Kobashi T., Yamagata Y., Yoshida T., CHANG S., Y. Mochizuki, A. Ahl, Aleksejeva J. (2020) Chapter 9 - Smart city and ICT infrastructure with vehicle to X applications toward urban decarbonization. In: Yoshiki Yamagata and Perry P.J. Yang 編, Urban Systems Design, Elsevier, 289-333

Murakami D., Yamagata Y. (2020) Models in quantitative geography. In: YAMAGATA Y., SEYA H. eds. 著, Spatial Analysis Using Big Data: Methods and Urban Applications, Academic Press, 159-178

Murakami D., Yamagata Y. (2020) Spatial scenario creation based on downscale methods. In: YAMAGATA Y., SEYA H. eds. 著, Spatial Analysis Using Big Data: Methods and Urban Applications, Academic Press, 259-270

Seya H., Yamagata Y. (2020) Mathematical preparation. In: YAMAGATA Y., SEYA H. eds. 著, Spatial Analysis Using Big Data: Methods and Urban Applications, Academic Press, 9-31

高橋潔 (2018) 適応策 (第3章「気候変動と地球温暖化」). 環境経済・政策学会編, 環境経済・政策学事典, 丸善出版, 162-163

高橋潔 (2019) 2-37 気候影響の評価. 大気環境学会編, 大気環境の事典, 朝倉出版, 122-123

高橋潔 (2019) 気候変動による社会・人間系へのリスク. 日本リスク研究学会編, リスク学事典, 丸善出版, 422-423

Yamagata Y., Seya H., Maruyama D. (2016) Urban Economics Model for Land - Use Planning. Modeling Urban Heatwave Risk in Adelaide, South Australia. Flood Risk Management in Cities. Resilient Community Clustering: A Graph Theoretical Approach. Agent - Based Modeling- A tool for Urban Resilience Research? Urban Resilience Assessment: Multiple Dimensions, Criteria, and Indicators. In: Yamagata Y., Maruyama H. eds., Urban Resilience Atransformative Approach, Springer, 25-43 45-62 63-77 115-133 135-151 259-276

Yamagata Y., Yoshida T., Binder R., Chen H., Chang S., Murayama A., Tobey M., Yang P. (2020) Kyojima smart community studio: Urban systems design, Japan. In: Yamagata Yoshiki 著, The International Geodesign Collaboration: Changing Geography by Design, Esri Press, 132-133

(3) プロジェクト3：世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

Fujimori S., Hasegawa T., Masui T. (2017) AIM/CGE V2.0: Basic Feature of the Model. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T. ed., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 305-328

- Fujimori S., Kubota I., Dai H., Takahashi K., Hasegawa T., Liu C., Hijioka Y., Masui T., Takimi M. (2017) The Effectiveness of the International Emissions Trading under the Paris Agreement. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T.ed., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 65-75
- Fujimori S., Masui T., Matsuoka Y. (2017) AIM/CGE V2.0 Model Formula. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T.ed., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 201-303
- Fujimori S., Masui T., Matsuoka Y. (2017) CHAPTER 9: A Global Computable General Equilibrium Model Coupled with Bottom-Up Energy End-Use Technology. In: Fujimori S., Masui T., Matsuoka 著, The WSPC Reference on Natural Resources and Environmental Policy in the Era of Global Change Volume 3: Computable General Equilibrium Models, World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 296-306
- Fujimori S., Siagian U.W.R., Hasegawa T., Yuwono B.B., Boer R., Immanuel G., Masui T. (2017) An Assessment of Indonesia's Intended Nationally Determined Contributions. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T.ed., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 125-142
- Fujimori S., Su X., Liu J., Hasegawa T., Takahashi K., Masui T., Takimi M. (2017) Implications of the Paris Agreement in the Context of Long-Term Climate Mitigation Goals. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T.ed., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 11-29
- 花岡達也 (2017) 気候変動対策と大気汚染対策の促進. 花岡達也著, 国立天文台編, 環境年表 平成 29-30, 丸善, 107-108
- 花岡達也 (2019) 大気汚染と地球温暖化をともに制御する. 大気環境学会編, 大気環境の事典, 朝倉出版, 272-273
- 亀山康子 (2017) 持続可能な開発目標 (SDGs). 車谷典男監修, 日本医師会雑誌第 146 巻特別号 (2) 環境による健康リスク, 日本医師会, 36-39
- 亀山康子 (2018) 実効性. 持続可能な発展. 京都議定書. 気候変動とオゾン層保護. 国際制度決定過程におけるステークホルダー. 環境経済・政策学会編, 環境経済・政策学事典, 丸善出版, 62-63 44-45 170-171 212-213 538-539
- 亀山康子 (2018) 持続可能な社会づくりをめざしてー地球温暖化と世界の動き. 帝国書院監修, 地理・地図資料, 帝国書院, 4-7
- 亀山康子 (2018) 気候変動. アメリカ学会編, アメリカ文化事典, 丸善出版, 26-27
- 亀山康子 (2018) 気候変動対処に向けた国際的取り組みの経緯とパリ協定について. 国立天文台編, 環境年表 2019-2020, 丸善出版, 496-497
- 亀山康子 (2019) 地球環境問題の概観と根源にあるもの. 温暖化防止のための国際的取組み. 大気環境学会編, 大気環境の事典, 朝倉書店, 282-283 308-309
- 亀山康子 (2021) 15 パリ協定で決まったこと. FoE Japan 編, 気候変動から世界をまもる 30 の方法, 合同出版, 84-88
- 久保田泉 (2019) 気候変動に対する国際的な取り組み・ガバナンス. 一般社団法人日本リスク研究会編, リスク学辞典, 丸善出版株式会社, 404-405
- 久保田泉 (2019) 気候変動対策 (緩和策) における規制的手法の役割. 大久保規子, 高村ゆかり, 赤淵芳宏, 久保田泉編著, 環境規制の現代的展開 大塚直先生還暦記念論文集, 法律文化社, 234-246
- Limmeechokchai B., Chunark P., Fujimori S., Masui T. (2017) Asian INDC Assessments: The Case of Thailand. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T.ed., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 157-178
- Liu J., Fujimori S., Masui T. (2017) Temporal and Spatial Distribution of Global Mitigation Cost: INDCs and Equity. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T.ed., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 45-63
- 増井利彦 (2018) 統合評価モデルとシナリオ. 温暖化対策費用. 環境経済・政策学会編, 環境経済・政策学事典, 丸善, 194-195 196-197
- 増井利彦 (2019) 第3章 目標 13 気候変動に具体的な対策を. ピーターD ピーダーセン 竹林征雄編著, SDGs ビジネス戦略, 日刊工業新聞社, 187-194

増井利彦 (2021) 科学者は60年以上も前から温暖化の警鐘を鳴らしていた。国際環境 NGO FoE Japan 編, 気候変動から世界をまもる 30 の方法 わたしたちのクライメート・ジャスティス!, 合同出版, 41-46

Shukla P.R., Mittal S., Liu J., Fujimori S., Dai H., Zhang R. (2017) India INDC Assessment: Emission Gap Between Pledged Target and 2 °C Target. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T.eds., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 113-124

Sprinz D.F., Bang G., Bruckner L., Kameyama Y. (2018) Chapter 7 Major Countries. In: Urs Luterbacher and Detlef F. Sprinzeds., Global Climate Policy: Actors, Concepts, and Enduring Challenges, MIT Press, 171-216

Takahashi K., Emori S., Fujimori S., Masui T. (2017) Risks from Global Climate Change and the Paris Agreement. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T.ed., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 31-44

Thepkhun P., Bundit L., Fujimori S., Masui T., Shrestha R. (2016) Thailand's Low-Carbon Scenario 2050: The AIM/CGE Analyses of CO₂ Mitigation Measures. In: Ram M. Shrestha, Sunil Malla, Migara H. Liyanage 編, Climate Policy and Energy Development in Thailand: an Assessment, Regional Energy Resourced Information Center, 175-199

Tran T.T., Fujimori S., Masui T. (2017) Realizing the Intended Nationally Determined Contribution: The Role of Renewable Energies in Vietnam. In: Fujimori S., Kainuma M., Masui T.ed., Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, Springer, 179-200

鎗目雅, 亀山康子 (2017) エネルギーと気候変動—持続可能な開発に向けたレジリエンスとイノベーション。蟹江憲史編, 『持続可能な開発目標とは何か』, ミネルヴァ書房, 141-161

2.2 口頭発表 (プロジェクト間の重複あり)

発表者・(暦年)・題目・学会等名称・予稿集名・頁

(1) プロジェクト1: マルチスケール GHG 変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究

Aalto T., Kangasaho V., Tsuruta A., Rautiainen K., Backman L., Laan-Luijkx I.T.V.D., Krol M., Spahni R., Lienert S., Houweling S., Laurila T., Juha Hatakka, Worthy D., Sasakawa M., Peltola O., Mauranen A., Heimann M., Kozlova L., Dlugokencky E., Crotwell A., Peters W. (2016) Methane budgets in northern latitudes during soil freezing period. The 2nd ICOS Science Conference

Belan B.D., Machida T., Sasakawa M., Maksyutov S., Davydov D., Fofonov A., Arshinov M. (2016) Changes in CO₂ trends observed in the lower troposphere over West Siberia. EGU General Assembly 2016, Geophysical Research Abstracts, 18(11616)

Deutscher N.M. (2016) TCCON H₂O retrievals for satellite validation. The 12th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-12), Abstract Collection, 65

市井和仁, 近藤雅征, 植山雅仁 (2016) 地上観測と衛星観測を利用した広域陸域 CO₂ フラックスの経験的広域化手法の現状と応用。第24回生研フォーラム「宇宙からの地球環境・災害のモニタリングとリスク評価」, なし

池田恒平, 谷本浩志, 金谷有剛, 朱春茂, 竹谷文一 (2016) タグ付きトレーサーモデルを用いた北極域へのブラックカーボン長距離輸送の解析。第22回大気化学討論会, 第22回大気化学討論会 講演要旨集, 26

Ikeda K., Tanimoto H., Nagashima T., Nara H., Mukai H., Nojiri Y., Tohjima Y., Davila Y., Dong X., Emmons L.K., Flemming J., Fu J., Ghude S., Henze D.K., Jonson J.E., Lund M.T., Park R., Pierce R.B., Sudo K. (2016) Multi-model comparison of marine boundary layer O₃ in HTAP2 simulations with cargo ship observations in Asia-Pacific. 14th IGAC Science Conference, Abstracts

Ito A., Saito M., Hirata R., Senda M. (2016) Advancement of regional-scale emission mapping of greenhouse gases using anthropogenic emission inventories and process-based model. American Geophysical Union 2016 Fall Meeting, Abstracts

町田敏暢, 澤庸介, 松枝秀和, 丹羽洋介, 坪井一寛, 勝又啓一, 笹川基樹, 村山昌平, 森本真司, 豊田栄, 青木周司 (2016) 北極上空における温室効果気体の変動。GRENE 北極事業成果報告会, なし

Machida T., Umezawa T., Sawa, Y., Niwa, Y., Matsueda, H. (2016) The recent changes and topics in CONTRAIL project. EGU General Assembly 2016, Abstracts

町田敏暢 (2016) 民間航空機で CO₂ を測る！-CONTRAIL の挑戦-. 日本気象予報士会 第 84 回神奈川支部例会, なし

Morino I., Velazco V.A., Uchino O., Schwandner F.M., Macatangay R.C., Nakatsuru T., Deutscher N.M., Belikov D., Maksyutov S., Oishi Y., Nakajima T.Y., Griffith D.W.T. (2016) Towards TCCON in the Philippines: The importance of monitoring atmospheric carbon in tropical Southeast Asia. The 12th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-12), Abstract Collection, 90

森野勇, 井上誠, 内野修, 大山博史, 川上修司, 塩見慶, 町田敏暢, 長濱智生, Velazco V.A., Schwandner F.M., Macatangay R.C., Griffith D.W.T., TCCON partners (2016) 地上設置高分解能 FTIR を用いた温室効果ガスの観測の進展. 第 22 回大気化学討論会, 同講演要旨集, 4

Morino I., Velazco V.A., Uchino O., Schwandner F.M., Macatangay R.C., Nakatsuru T., Deutscher N.M., Belikov D., Maksyutov S., Oishi Y., Nakajima T.Y., Griffith D.W.T. (2016) Towards TCCON in the Philippines: The importance of monitoring atmospheric carbon in tropical Southeast Asia. Annual Joint NDACC-IRWG & TCCON Meeting 2016

Nakayama T., Maksyutov S. (2016) Re-evaluation of carbon stocking ability in biosphere through advanced eco-hydrologic and biogeochemical coupling model. EcoSummit2016, Abstracts

Nakayama T., Maksyutov S. (2016) Development of advanced eco-hydrologic and biogeochemical coupling model to constrain missing role of inland waters on boundless biogeochemical cycle. AGU Fall Meeting 2016

Nara H., Tanimoto H., Tohjima Y., Mukai H., Nojiri Y., Machida T. (2016) Emissions of CO₂, CO, and CH₄ from peat forest fires on Sumatra Island in non El-Nino year 2013. International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Project 2016 Science Conference, Abstracts

三枝信子 (2016) 地球をめぐる温室効果ガス—どこでどれだけ減らせるか?. 国立研究開発法人国立環境研究所 公開シンポジウム 2016 守るべき未来と「環境」の今〜地球・生物・循環・安全・社会の半歩先を語ろう〜, なし

Saigusa N. (2016) Terrestrial monitoring and GHG inventories. Workshop on Greenhouse Gas Inventories in Asia

三枝信子 (2016) 地球をめぐる温室効果ガス—全球規模での監視の必要性—. 地球を見守る宇宙の眼〜温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」の今とこれから〜

Sasakawa M., Machida T., Tsuda N., Katsumata K., Arshinov M., Davydov D., Fofonov A. (2016) Continuous measurement of CO₂ and CH₄ concentration from a tower network (JR-STATION) over Siberia. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 同予稿集

その他 391 件

(2) プロジェクト 2 : 気候変動予測・影響・対策の統合評価を基にした地球規模の気候変動リスクに関する研究

江守正多 (2016) 気候変動影響、気温上昇目標と約束草案との関係性. 日本学術会議公開シンポジウム「パリ協定を踏まえた今後のエネルギー・温暖化対策のあり方」, なし

江守正多 (2016) 気候変動問題と社会のトランスフォーメーション (試論). 一般社団法人エネルギー・資源学会 サマールワークショップ 2016, なし

江守正多 (2016) 気候変動リスクと人類の選択〜持続可能な地球社会の実現に向けて〜. 日本学術会議主催公開シンポジウム「成熟社会における持続可能な水産業のあり方とその中長期戦略」, なし

江守正多 (2016) パリ協定の長期目標をどうとらえるか?-ICA-RUS プロジェクトの成果より. 推進費 S-10 公開シンポジウム「地球温暖化対策の長期目標を考える-パリ協定の『1.5℃』、『2℃』目標にどう向き合うか?」, なし

Imamovic A., Tanaka K., Folini D., Wild M. (2016) Global dimming and urbanization: did negative SSR trends collocate with regions of population growth? European Geosciences Union General Assembly 2016, Abstracts, (16), 2719-2725

Fujimori S., Oshiro K. (2016) Japan NDC (AIM/Enduse[Japan]) Global emissions trading under NDCs (AIM/CGE[global]). Climate Change Impacts & Integrated Assessment XXII (CCI/IA)

藤森真一郎, 増井利彦, 高橋潔 (2016) IAM 研究コミュニティでの 1.5°C CSR に向けた動き. 「1.5°Cに抑える努力の追求 (パリ協定)」研究者集会, なし

Hanasaki N. (2016) Incorporation of advanced water abstraction schemes into the H08 global hydrological model. Japan Geoscience Union Meeting 2016, Abstracts

Hanasaki N. (2016) Reservoir operation schemes in global-hydrological models. Including Water Management in Large Scale Models

Hasegawa T., Fujimori S., Ochi Y. (2016) Food security: multi-model comparison preliminary analysis. AgMIP economic modeling group meeting

Ito A. (2016) Overview of terrestrial ecosystem model, VISIT. Workshop on Land Surface Model Development for the Coming Decade

Ito A. (2017) Solar radiation management and ecosystem functional responses. Impact World 2017

Ogura T., Tatebe H., Kamae Y., Watanabe M., Kimoto M. (2016) On the systematic errors in cloud simulation by MIROC6. 13th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society

Ogura T., Webb M. J. (2016) Radiative heating effect of SST increase in climate feedback. CFMIP/WCRP/ICTP Conference on Cloud Processes, Circulation, and Climate Sensitivity

Ogura T. (2017) Implementation of COSP in MIROC and its current application. COSP Workshop

Takahashi K., Emori S. (2016) Global Climate Risk Management: Introduction to ICA-RUS report 2015. Adaptation Futures 2016, Abstracts

高橋潔 (2016) 地球温暖化～日本への影響～自分たちに今できること. 牛久市民大学, なし

高橋潔 (2016) 地球温暖化に関するリスクの最新の科学的知見. 千葉県環境講座, なし

Takahashi K., Fujimori S., Hanasaki N., Hasegawa T., Hijioaka Y., Masui T., Park C., Tanaka A., Zhou Q. (2016) IAM-IAV-ESM linkage in AIM project - Focusing spatial resolution issues -. Snowmass Workshops: Climate Change Impacts and Integrated Assessment

Takahashi K., Emori S., Yamagata Y., Kanae S., Mori S., Fujigaki Y. (2016) Comparing risks for aiming at 1.5°C, 2.0°C and 2.5°C degree targets with climate uncertainties. 1.5 Degrees: Meeting the challenges of the Paris Agreement, Abstracts, 77-78

その他 245 件

(3) プロジェクト3 : 世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

Fujimori S., Oshiro K. (2016) Japan scenarios: some insights from national and global model comparison. CD-LINKS 3rd meeting

Fujimori S., Kubota I., Dai H., Takahashi K., Hasegawa T., Liu J., Hijioaka Y., Masui T., Takimi M. (2016) Will International Emissions Trading Help Achieve the Objectives of the Paris Agreement? Ninth Annual Meeting of the IAMC 2016

Fujimori S. (2016) AgMIP Phase 2 Core scenario results overview and some insights. AgMIP Global Economics Workshop

Hanaoka T. (2016) Cobenefits and tradeoffs of reducing GHGs, SLCPs and air pollutants emissions when exploring the 2 °C target scenarios. The 22nd AIM International Workshop

Hanaoka T., Masui T. (2016) Exploring the 2°C target scenarios by considering climate benefits and health benefits - role of biomass and CCS. Energy Procedia, 13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-13)

Hanaoka T. (2016) Long-Lived GHGs, Short-Lived Climate Pollutants, air pollutants emissions projections and reductions in Asia and the World. International Workshop on Landuse and Emissions in South/Southeast Asia

Hanaoka T., Masui T. (2016) Mitigation potentials of Short-Lived Climate Pollutants and air pollutants by 2050 while achieving the low-carbon society in Asia. 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment systems

花岡達也, 増井利彦 (2017) 世界の温室効果ガス, 短寿命気候汚染物質, 大気汚染物質の緩和シナリオ: 気候変動対策と大気汚染対策のバランスの考察. 第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 同講演論文集, 311-314

花岡達也 (2017) 世界の温室効果ガス, 短寿命気候汚染物質, フロンガスの将来排出シナリオ - パリ協定およびキガリ改正の意味と課題 -. 気候変動途上国支援策の可能性

Hanaoka T. (2017) Overview of AIM/Enduse model - bottom-up type recursive dynamic optimization model -. 2017 International Workshop on End-Use Energy Modeling

Hanaoka T. (2017) Overview of AIM/Enduse model - Iron and Steel Sector -. 2017 International Workshop on End-Use Energy Modeling

Hanaoka T. (2017) Overview of AIM/Enduse modeling - Transport Sector -. 2017 International Workshop on End-Use Energy Modeling

亀山康子 (2016) 温室効果ガス削減対策の現状と今後の課題. 大分県地球温暖化防止活動推進員及び環境教育アドバイザー合同研修会, なし

亀山康子, 高村ゆかり, 田村堅太郎, 栗山昭久, 有村俊秀, 小俣幸子 (2016) 気候変動緩和策の進捗を計測するための指標開発に向けた一考察. 環境経済・政策学会 2016 年大会, なし

亀山康子 (2016) シンポジウムの主旨説明, 推進費研究の概要. あなたの国の温暖化対策は十分ですか? 気候変動対策の進捗を測るための一般公開シンポジウム, なし

亀山康子 (2016) 温暖化国際交渉から考えるグローバル・サステナビリティ. 茨城大学地球変動適応科学研究機関 (ICAS) 設立 10 周年記念シンポジウム, なし

Kameyama Y. (2016) Climate change mitigation Policy Progression Indicator (C-PPI) ver.3: 37 Action indicators and 6 Outcome indicators to measure climate mitigation policies. Side Event at Japan Pavilion, The 22nd Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change

Kameyama Y. (2016) Paris Agreement and COP22. Workshop under G7 Alliance on Resource Efficiency - Resource Efficiency and Low-Carbon Society: Identifying Opportunities and Implications

増井利彦 (2016) パリ協定と日本の排出削減. 経営者「環境力」クラブ 2016 年度第 1 回会合, なし

増井利彦 (2016) パリ協定と日本の取り組み. 環境基礎講座, なし

その他 136 件

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第 142 号
NIES Research Project Report, No.142

(SR-142-2024)

低炭素研究プログラム
(課題解決型研究プログラム)
平成 28～令和 2 年度
Low-Carbon Research Program
FY2016～2020

令和 6 年 3 月発行

編 集 国立環境研究所 編集分科会
発 行 国立研究開発法人 国立環境研究所
〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16 番 2
E-mail : pub@nies.go.jp

Published by the National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan
March 2024

無断転載を禁じます

国立環境研究所の刊行物は以下の URL からご覧いただけます。

<https://www.nies.go.jp/kanko/index.html>