

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

気候変動に対する地球規模の緩和策と適応策の
統合的なモデル開発に関する研究

(S-14-5)

平成27年度～令和元年度

Research on Development of an Integrated Assessment Model Incorporating Global-Scale
Climate Change Mitigation and Adaptation

〈研究代表機関〉

国立研究開発法人国立環境研究所

〈研究分担機関〉

東北大学

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所

〈研究協力機関〉

京都大学、立命館大学、関西学院大学、兵庫県立大学、関西大学、
国立政治大学（台湾）、State University(米国)、長崎大学、慶應義塾大学

令和2年5月

目次

I. 成果の概要	・・・・・・・・・・	p. 4
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発の方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた主な成果		
6. 研究成果の主な発表状況		
7. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
II-1 応用一般均衡モデルを用いた気候変動緩和策・影響・適応策の経済評価	・・・・・・・・・・	P. 24
(国立研究開発法人国立環境研究所)		
要旨		
1. はじめに		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた成果		
6. 国際共同研究等の状況		
7. 研究成果の発表状況		
8. 引用文献		
II-2 全球物理影響評価モデルを一般均衡モデルと連携させるための理論的・技術的基盤の確立に関する研究	・・・・・・・・・・	P. 50
(国立研究開発法人国立環境研究所)		
要旨		
1. はじめに		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた成果		
6. 国際共同研究等の状況		
7. 研究成果の発表状況		
8. 引用文献		
II-3 計量経済モデルを用いた緩和策と適応策の費用便益に関する研究	・・・・・・・・・・	P. 66
(国立大学法人東北大学)		
要旨		
1. はじめに		
2. 研究開発目的		

3. 研究開発方法
4. 結果及び考察
5. 本研究により得られた成果
6. 国際共同研究等の状況
7. 研究成果の発表状況
8. 引用文献

Ⅱ－４ 気候変動に対する実効性ある緩和と適応の実施に資する国際制度に関する研究 P. 87
(国立研究開発法人国立環境研究所)

要旨

1. はじめに
2. 研究開発目的
3. 研究開発方法
4. 結果及び考察
5. 本研究により得られた成果
6. 国際共同研究等の状況
7. 研究成果の発表状況
8. 引用文献

Ⅱ－５ 気候変動に対する効果的な緩和と適応の実施に資するガバナンスと資金メカニズムに関する研究 P. 106

(国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所)

要旨

1. はじめに
2. 研究開発目的
3. 研究開発方法
4. 結果及び考察
5. 本研究により得られた成果
6. 国際共同研究等の状況
7. 研究成果の発表状況
8. 引用文献

Ⅲ. 英文Abstract P. 123

I. 成果の概要

課題名 S-14-5 気候変動に対する地球規模の緩和策と適応策の統合的なモデル開発に関する研究

課題代表者名 肱岡 靖明（国立研究開発法人国立環境研究所 気候変動適応センター 副センター長）

研究実施期間 平成27～令和元年度

研究経費（累計額） 325,411千円

（平成27年度：68,472千円、平成28年度65,047千円、平成29年度：65,048千円、平成30年度：61,796千円、令和元年度：65,048千円）

本研究のキーワード 気候変動、応用一般均衡モデル、統合評価モデル、水力・火力発電、バイオ燃料作物灌漑、計量経済分析、農業・健康影響、国際制度、資金メカニズム、持続可能な開発目標

研究体制

- （1） 応用一般均衡モデルを用いた気候変動緩和策・影響・適応策の経済評価（国立研究開発法人国立環境研究所）
- （2） 全球物理影響評価モデルを一般均衡モデルと連携させるための理論的・技術的基盤の確立に関する研究（国立研究開発法人国立環境研究所）
- （3） 計量経済モデルを用いた緩和策と適応策の費用便益に関する研究（東北大学）
- （4） 気候変動に対する実効性ある緩和と適応の実施に資する国際制度に関する研究（国立研究開発法人国立環境研究所）
- （5） 気候変動に対する効果的な緩和と適応の実施に資するガバナンスと資金メカニズムに関する研究（森林総合研究所）

研究協力機関

京都大学、立命館大学、関西学院大学、兵庫県立大学、関西大学、国立政治大学（台湾）、State University(米国)、長崎大学、慶應義塾大学、

1. はじめに（研究背景等）

2013年・2014年に、IPCCの第一、第二、第三作業部会（WGI、WGII、WGIII）第5次評価報告書（AR5）が公表され、人間による影響が20世紀半ば以降に観測された気候変動の最も有力な要因であった可能性が極めて高く、気候変動による影響は既に現れていることが明らかとなった。将来の悪影響を回避するためには、リスクマネジメントの考え方にに基づき、長期的および分野横断的視点から、緩和策と適応策の双方が不可欠であると述べられている。しかしながら、両者の総合的な比較検討を支援する研究知見は限定的である。近年、国際的なプロジェクトにおいて、緩和策と適応策の総合的な検討が進められつ

つあるが、その場合、両者を同一の指標で比べるために金銭換算した情報が必要となる。WGIII AR5によると、いくつかの安定化目標に応じた緩和策費用に関して知見が集積されつつある。依然として幅はあるものの大規模な温室効果ガス削減にはGDP比で数パーセント(4-5%)といったオーダーの費用がかかることが明らかとなった。一方、影響・適応策の費用に関してはWGIIAR5に記載されている情報は非常に限られている。この主たる理由は、影響・適応策が多分野に及ぶため分野横断的な解析事例が非常に限られていること、気候変動の経済影響に関してほとんど知見がないためである。後者を解決するには物理的プロセスの解析モデル結果と経済換算する手法あるいは経済モデルを使う必要があるが、そのような研究はいまだ確立されていない。

2. 研究開発目的

IPCC第5次評価報告書においても、緩和策と適応策の統合的かつ定量的な評価の実施の必要性が示されている。このような総合的評価には、緩和策と適応策を適切に考慮可能な社会経済および気候シナリオが必須であるが、これまで利用可能なものが存在しなかった。しかしながら、IAMC（統合評価モデリングコンソーシアム）が公表した気候変動研究で分野横断的に用いられる社会経済シナリオ(SSP; Shared Socioeconomic Pathways)を用いた総合的な評価が加速されと考えられる。そこで本研究では、新たなシナリオ(SSP)を含む様々な社会状況を想定して、世界全体の温室効果ガス排出量と整合的な緩和策、影響被害（以降、影響被害はプラスの影響も含むものとする）、適応策を金銭換算を用いて統合的に推計することを目的とする。具体的には、テーマ2と3から提供される地球規模の気候変動による影響被害および適応策の効果と費用便益に関する情報を利用して、世界全体における温室効果ガスの削減・影響被害・適応策の費用を整合的に推計するための応用一般均衡モデルを開発する。

テーマ5内の連携を以下に示す。

サブテーマ(2)：テーマ2と3で開発される全球物理影響評価モデルを応用一般均衡モデルとどのように連携させるかについての理論的・技術的基盤の確立に関する研究を実施する。サブテーマ(3)：開発される計量経済モデルを用いて、応用一般均衡モデルに組み込まれている理論やパラメータの妥当性を検討し、必要なパラメータを推計し、パラメータ設定を支援する。サブテーマ(4)：国際制度の視点から、応用一般均衡モデルを用いた緩和策と適応策の統合評価実施に用いるシナリオ設定(政策仮定)の妥当性について検討を行う。サブテーマ(5)：ガバナンスと資金メカニズムの視点から、応用一般均衡モデルを用いた緩和策と適応策の統合評価実施に用いるシナリオ設定(政策仮定)の妥当性について検討を行う。

本研究は、世界全体および各国の気候変動緩和策の推進と、結果として残る影響を軽減するための適応策を総合的に比較・評価することが可能であり、我国だけではなく世界の環境政策を科学的に支援できると考えられる。

3. 研究開発の方法

(1) 応用一般均衡モデルを用いた気候変動緩和策・影響・適応策の経済評価

S-14-5 (1) では、応用一般均衡モデルである、A I M / C G E (Asia-Pacific Integrated Assessment Model/Computable General Equilibrium) モデルをコアツールとして使用し、気候変動の緩和策・影響・適応策にかかる経済的な評価を実施した。A I M / C G E モデルは、経済理論である一般均衡モデルに基づき世界全体の経済をシミュレーションすることができるモデルである。

気候変動の影響評価においては、各個別分野の影響評価モデルによって物理的プロセスに基づいて計算された影響をA I M / C G E モデルと結合することにより、G D P といったマクロ経済指標に対する影響を算出した。これに加えて、計量経済学的手法や統計的生命価値なども活用することにより、複数の異なる分野における影響を金銭換算することにより、同一の指標上で統合的に評価を行った (図 3.0.1)。

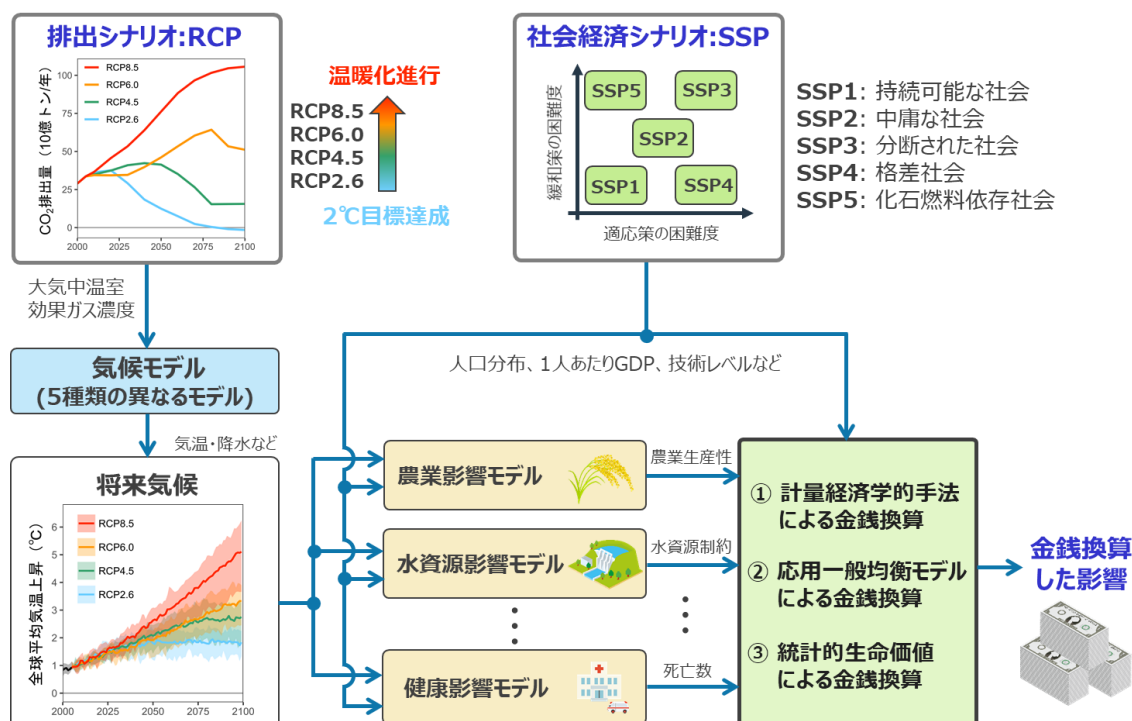


図3.0.1：気候変動による影響の統合的な評価の枠組み

緩和策に関連する研究としては、パリ協定におけるN D C (Nationally Determined Contribution) 実施に対する国際排出権取引の影響の評価をA I M / C G E モデルを用いて実施した。適応策に関連する研究としては、気温上昇による屋外労働者への暑熱ストレス影響回避の方法として労働時間帯シフトの効果検証を実施した。

(2) 全球物理影響評価モデルを一般均衡モデルと連携させるための理論的・技術的基盤の確立に関する研究

物理法則に基づく水資源モデルと経済法則に基づく応用一般均衡モデルを連動させるための技術開発を進め、発電に関する水利用に焦点を当てることで、気候変動の緩和策と影響評価にまたがる包括的な研究を実施した。

緩和策が水資源に波及する効果や、気候変動が水資源に及ぼす経済的な影響評価を行うには物理法則に基づく水資源モデルと経済法則に基づく経済モデルを連携させる必要がある。本課題ではそれぞれH08モデルとAIM/CGEモデルを拡張・連動させることにより、これを実施した。

市場取引されない水資源は経済評価が難しい。そこで、発電産業で大量の水が利用されていることに着目し、水力・火力・バイオ燃料発電に関する水利用に焦点を当てることで、物理的・経済的な温暖化影響評価を実施した。それぞれの気候変動との関係は以下の通りである。まず、水力発電の賦存量は河川流量に大きく依存する。温暖化によって河川流量が減る（増える）地域では、水力発電の賦存量も減少（増加）することになる。また水力発電は発電時に温室効果ガスを出さないため、炭素価格が高いほど相対的に安くなり、発電の選択肢としての重要性が増す。次に火力発電だが、内陸部の火力発電の利用可能量は冷却用水の水源である河川の流量と水温に大きく依存する（水温の上昇は水質基準に抵触しやすくなる）。温暖化により河川流量が減る、あるいは水温が上がる地域や期間では火力発電の発電量を落とさざるを得ない。最後に、バイオ燃料発電だが、2度目標、あるいはより厳しい1.5度目標を実現するには21世紀後半以降の温室効果ガスを負にしなければならない。これを実現する一つの手段として、バイオ燃料作物を大量に生産し、大気中の二酸化炭素を固定し、バイオ燃料発電を行ってエネルギーを得て、発生した二酸化炭素を地中等に回収・貯留するBio Energy Carbon Capture and Storage (BECCS)という技術が提案されている。バイオ燃料を効率的に生産するにあたって、灌漑実施の有無が大きな議論となっている。

（３）計量経済モデルを用いた緩和策と適応策の費用便益に関する研究

S-14-5（３）では、①計量経済学的手法と応用一般均衡モデルの手法を統合した世界農業経済モデルの開発、②季節による気温上昇の影響の違いを分析する健康被害モデルの開発、③緩和策の有効性の評価を行う。

① 計量経済学的手法と応用一般均衡モデルの手法を統合した世界農業経済モデルの開発

気候変動は、農業生産性に直接影響を及ぼすだけでなく、産業構造の変化や貿易（農作物の輸出入）などの間接的な影響を通じて、一国の農業部門に影響を与える。本研究では、計量経済学的手法を用いて、農業生産性モデルを開発し、応用一般均衡モデルの手法を用いて世界農業経済モデルを開発するとともに、これらのモデルを統合することで、気候変動が生産性の変化を通じて、各国の農業や経済に及ぼす影響を分析することのできるモデルを開発する。さらには、開発したモデルを用いて、気温上昇による農業生産性への直接影響、農作物の輸出入などの間接的な影響をも含んだ農業部門への総合的な影響をシミュレーション分析する。

特に、世界農業経済モデルの開発によって、計量経済学的手法を用いて推計される、気温上昇による国・地域別の農業生産性への影響を、応用一般均衡モデルとリンクさせることで、生産性への直接影響だけでなく、貿易相手国との比較優位（相対的な生産性の変化）の変化を通じて、農作物の輸出入へ及ぼす間接的な影響までも考慮した全効果を分析することができるようになり、これまでわからなかったメカニズムの存在を定量的に明らかにできるようになった。

② 季節による気温上昇の影響の違いを分析する健康被害モデルの開発

気温上昇によって、夏の気温が上昇することで、熱中症などにより死亡率が上昇する。しかし、冬の気温の上昇は、凍死などのリスクを減らすため、冬の死亡率を低下させる。このため、後者の効果は夏の気温上昇の影響を減少させる効果を持つ。本研究では、このような効果を考慮し、中国を対象に、計量経済学的手法を用いて健康被害モデルを開発し、気温上昇が総合的に死亡率に対してどのような効果を持つかを分析し、地域別に気温上昇の影響の違いを明らかにする。

③ 緩和策の有効性の評価

緩和策として近年多くの国で導入されている固定価格買取制度の有効性を評価するために、計量経済学的手法を用いて、日本のデータを使って、再生可能エネルギー普及モデルを開発し、この制度が再生可能エネルギー（特に、太陽光発電）の普及に与えた政策効果を推計する。

（４）気候変動に対する実効性ある緩和と適応の実施に資する国際制度に関する研究

① パリ協定とその合意形成過程の分析

COP等の交渉会議を傍聴し、国際機関文書や関連研究等を踏まえ、パリ協定及びその詳細ルールの交渉過程に関する情報を収集・分析し、その結果をテーマ5サブテーマ1（統合評価モデル研究）に提供し、統合評価モデル研究者と協働して、シナリオ設定の妥当性を検討した。

② 適応基金理事会において承認されたプロジェクトにみられる気候変動影響への脆弱性と適応便益の分析

途上国の関心が高く、かつ、定量的な指標がないために優先順位づけが困難な、適応関連資金メカニズムの制度設計への示唆を導出することを目的として、過去の実績及び関連研究を基に、適応基金理事会から承認された提案書において、①提案書提出国の地理的配分、②脆弱性に関する記述、③適応策の類型、④適応便益の4点がどのように記述されているかを分析した。

③ 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の分析

過去の実績及び関連研究を基に、国際、国内、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を概観し、それらの課題を示した。

④ 緑の気候基金（GCF）の近年の動向に関する調査

本業務では、今までの緑の気候基金（Green Climate Fund: GCF）の活動の実態を把握することを目的として、GCFのwebサイトに掲載されている情報、特に2018年から2019年にかけて公表されたものを中心に、情報をとりまとめた。

（５）気候変動に対する効果的な緩和と適応の実施に資するガバナンスと資金メカニズムに関する研究

持続可能な開発の観点から、気候変動の緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果の最大化に資する、国際・国内制度、資金メカニズムを明らかにする。そのために、特に緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果を生みやすい森林セクターの事例、アジア地域の国々の事例、SDGs達成のためのガバナンスの事例を対象に、定性手法（国際政治学の分析枠組等）、定量手法（モデル等）両方の手法を活用して分析する。以下が本研究課題で用いる主要な研究手法である（(1)～(4)）。

国際・国内ガバナンス

(1) 対策を統合的に実施する上での国内制度設計の要件の分析

途上国の国内の制度や活動に焦点を置き、森林セクターで重要な3つの対策（気候変動の緩和策、適応策、生物多様性保全/生態系保全策[生物多様性保全策と記す]）を統合的に実施できるかどうかを、制度に関する4つの区分（政策・戦略、制度枠組、資金供給、プログラム・プロジェクト）の評価指標を設定し、国において森林セクターの対策が重要であり、経済の発展度合いの異なる東南アジアの5か国（タイ、インドネシア、ベトナム、ラオス、カンボジア）について評価・分析を行う。

(2) モデルを活用した対策間のシナジー効果を評価した制度研究

インドネシアを対象として、気候変動、森林政策オプションの異なる4つのシナリオを基に、2030年までの森林セクターの気候変動の緩和と森林保全政策の同時実施の効果（SDG 13とSDG 15の同時達成）を定量的に評価し、その実現に向けた政策的課題を把握する。経済モデルである「応用一般均衡(CGE)モデル」と農業・森林・土地利用セクターの緩和策の技術情報を活用して緩和コストを評価する「AFOLUモデル」を用いる。

(3) SDGs達成のための国内ガバナンス分析

SDGs達成に向けた日本とインドネシアのガバナンス構造やそのパフォーマンス改善のための課題を分析するため、既存研究を基に構築したSDGsに関わる国家・地方レベルのガバナンスシステムを分析するためのマトリックスツールを用いる。ガバナンスの5つの構造（ビジョン目標設定、研究、戦略策定、実施、モニタリング評価）、3つの機能（意思決定能力、接続性、知識活用）を46指標で分析する。

資金メカニズム

(4) 地球環境ファシリティー（GEF）を事例にした資金メカニズム分析

GEFの森林セクターへの支援の特徴や課題（多面的便益を生み出すマルチフォーカルエリアプロジェクトの実施・執行機関や共同出資の傾向他）をGEFのプロジェクトデータベースのデータ（178のプロジェクト：149の承認された国家レベルの森林関連プロジェクト、29の承認されたグローバル・リージョナルレベルの森林関連プロジェクト）を分析し、森林セクターの多様な便益を高める支援制度について議論する。

4. 結果及び考察

(1) 応用一般均衡モデルを用いた気候変動緩和策・影響・適応策の経済評価

気候変動によって生じる被害額を金銭換算したものを、9分野（農業生産性、飢餓、熱関連超過死亡、冷暖房需要、労働生産性、水力発電、火力発電、河川洪水、沿岸浸水）にわたって合計した結果を図4.0.1に示す。緩和策が取られず、社会経済状況も最も悲観的なシナリオにおいては、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となった一方で、パリ協定の2℃目標に相当する緩和策が実施され、かつ、地域間の経済的な格差等が改善される仮定のシナリオにおいては、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。このように緩和策の実施規模や社会経済状況の改善といった要因が、気候予測の不確実性を考慮してもなお、気候変動による影響の大きさを大きく左右することが明らかとなった。

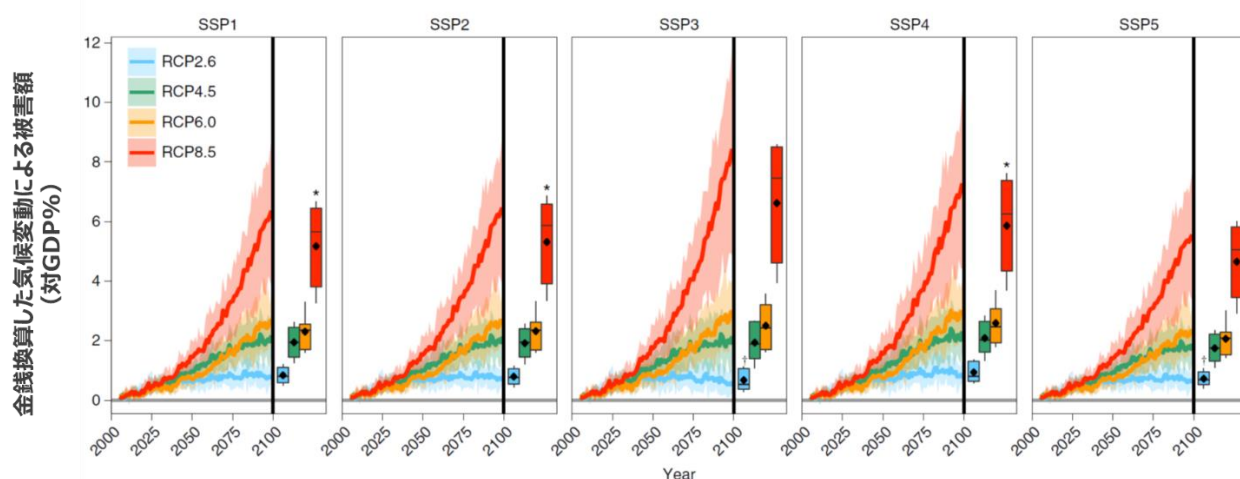


図4.0.1：気候変動による被害額（9分野の合計）

緩和策に関連した研究の成果として、国際排出権を導入することにより、パリ協定におけるNDCに相当する排出削減にかかる費用（厚生損失）を、2030年の時点で75%減少させる効果があることが示された。適応策に関連する研究の成果として、気温上昇による屋外労働者への暑熱ストレス影響を労働時間帯シフトのみによって対処しようとした場合、多い地域では6～8時間といった非現実的な量の労働時間帯シフトが必要となることなどが明らかとなった。

（2）全球物理影響評価モデルを一般均衡モデルと連携させるための理論的・技術的基盤の確立に関する研究

紙面の制約から水力発電の研究に絞って報告する。応用一般均衡モデルの一つであるAIM/CGEと世界の水循環を表現することのできる全球水資源モデルH08を用い、世界の国々を17の地域に分類して、それぞれの温暖化影響や緩和策実施の経済的影響の評価を試みた。特に着目したのは世界全体、温暖化によって河川流量が増加する傾向にあるカナダ、減少する傾向にあるブラジルでの影響である（カナダとブラジルは一つの地域と区分）。

気候変動の緩和策をとらず、水力発電賦存量への温暖化による影響も無視した計算を基準に考えると、温暖化による気温上昇を $+2^{\circ}\text{C}$ 未満とする緩和策をとることで、今世紀末にGDP損失が世界で約2.6%、ブラジルで約1.5%、カナダで約3.0%となることが示された。さらに、水力発電賦存量への温暖化による影響を加味すると、地球全体での結果はほぼ変わらないが、カナダについてはGDP損失が約0.1ポイント改善、ブラジルについては約0.1ポイント悪化することが示された。

得られた結果は様々な前提や仮定に基づくものであるが、温暖化の影響によって再生可能エネルギーの一つである水力発電の賦存量が増減し、緩和策の効果にも影響が及ぶ可能性が示された。なお、水力発電の追加的導入には、温室効果ガスの排出量や経済的影響以外にも、建設地周辺での漁業や生態系保全に関する影響も発生することがある。これらについては現在の研究プロジェクトでは扱わないが、地域によっては極めて大きな問題を持つため、温暖化の影響・緩和・適応に関する研究を統合したより複合的な影響評価を実施していくことが今後重要になる。

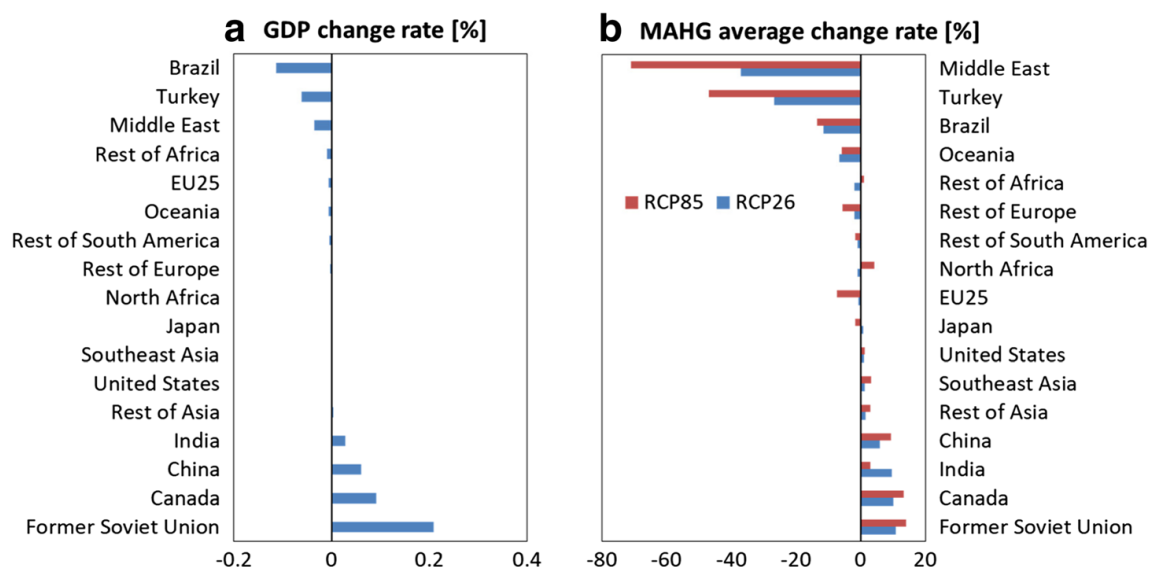


図4.0.2：(a)水力発電賦存量の変動を考慮したことによる各地域のGDP変化率(%)。正の地域では変動を考慮することにより、GDPが増加する。(b)水力発電賦存量の現状からの変化率(%)。正の地域では気候変動による降水量の増加により、賦存量が増加する

(3) 計量経済モデルを用いた緩和策と適応策の費用便益に関する研究

(1) 計量経済学的手法と応用一般均衡モデルの手法を統合した世界農業経済モデルの開発

開発した生産性モデルを用いて、MIROCによる気温上昇シナリオ(RCP85)における2050年における気温上昇(対2010年)による各国別の農業生産性への影響をシミュレーションした結果、次のような結論が得られた。

(生産性モデルの開発と気温上昇の農業生産性への影響)

- ① アジア地域においては、南アジア、東南アジア諸国で、生産性低下の影響が大きい(−1.8～−2.8%)。それ以外の国(韓国、台湾を除く)では、−0.5～−1.5%となる。
- ② 北米、中南米、ヨーロッパにおいては、気温が低い国では、気温上昇によって生産性が上昇する(カナダ、USA、ウクライナ、ロシア)。
- ③ ヨーロッパ(ロシア、ウクライナ以外)では、気温上昇の程度が他の国に比べて大きいため、気温上昇による生産性低下の影響は比較的大きい(−1.3～2.1%)
- ④ 気温の高い南米、カリブ諸国(カリブ諸国、ブラジル、コロンビア、ベネズエラ)では、気温上昇による生産性へのマイナスの影響が大きい。
- ⑤ アフリカ地域では、気温が高い国(コートジボアール、ガーナ、ナイジェリア、ケニア)では、気温上昇による生産性低下の影響が大きい(−2.6～−4.0%)が、気温が相対的に低い国(エジプト、モロッコ、エチオピア、南アフリカ)では、気温上昇による生産性低下の影響は小さい(−0.5～−1.2%)

(世界農業経済モデルの開発と気温上昇の農業部門や経済への影響)

- ① 北米では、気温上昇によって貿易を通じた間接効果も含めた農業部門への影響はプラスの効果であった。一方、気温上昇によるマイナスの効果が最も大きいのはアフリカ、次いで、中南米諸国であった。

- ② GDPへの影響（実質GDP変化率）で見ると、北米では、気温上昇による農業部門へのプラスの効果によって、実質GDPが増加する一方、実質GDPへのマイナス効果が最も大きいのはアフリカ、次いで、アジアであった。
- ③ 気温上昇が農業部門へ与える経路は、生産性への直接影響（直接効果）だけでなく、比較優位の変化を通じた間接効果（貿易を通じた効果）も重要な役割を果たす。気温上昇によって生産性が低下したとしても、貿易相手国の生産性低下がより大きければ、輸出が増加する結果、農業部門への影響が小さくなるが、貿易相手国の生産性の低下が小さければ、あるいは、貿易相手国の生産性が上昇するなら、輸出が減少し、輸入が増加する結果、農業部門へのマイナスの影響がより大きくなるからである。
- ④ 特に、相対的にアフリカ諸国のマイナス影響が大きいため、適応策の実施により、気温上昇による生産性の低下を緩和させることが重要な政策課題となる。

(2) 季節による気温上昇の影響の違いを考慮した健康被害モデルの開発

開発した健康被害モデルを用いて、中国において、気温が2.5度上昇した場合、年間1000人当たりの死亡者数の増加を省別にシミュレーションすると、気温上昇は、中国南部地方で死亡者数を増加させる一方、中国北部地方においてはむしろ死亡者数を減らすことがわかった。これは、北部では、気温上昇による冬の死亡者数の減少が、夏の死亡者数の増加を上回るからである。このように、気温上昇が死亡者数に与える影響は、地域間で大きな差があることがわかった。

(3) 緩和策の有効性の評価

開発した再生可能エネルギー普及モデルを用いて、固定価格買取制度における1%の買取価格の上昇が運転容量及び認定容量に与える影響を計算すると、買取価格が認定容量に与える効果は、運転容量のそれと比べて3倍～14倍程度大きいことがわかった。制度導入当初は、認定を受け、電力会社に接続申し込みをした時点の買取価格が適用された。加えて、必ずしもすぐに接続契約を締結する必要はなかったため、契約締結に至らないままの状態を維持することが可能であったことで、より高い買取価格を求めて、早期に認定だけを受けるインセンティブが強く働き、運転開始へのインセンティブが弱かったことが明らかとなった。

(4) 気候変動に対する実効性ある緩和と適応の実施に資する国際制度に関する研究

(1) パリ協定とその合意形成過程の分析

パリ協定の合意を促したのは、以下5つの要因であることを示した。①気候変動の科学的知見が進展・詳細化したこと、②世界中で起こった異常な気象現象の頻発により、気候変動問題に対する人々の危機感が高まったこと、③各国の今回合意しようという意思の高まり。特に、COP21前にほとんどの条約締約国が約束草案を提出したこと、米国及び中国が合意に前向きな姿勢を示していたこと、そして、会期終盤に、島嶼国、EU、米国などが名を連ねた「高い野心連合」が結成されたことは、合意形成に特に大きな影響をもたらした。④議長国フランスの采配のうまさ、そして、⑤欧米を中心として、各国、都市レベル、産業界、市民社会での気候変動問題への意欲的な取り組みが現実のものとなっていること。

(2) 適応基金理事会において承認されたプロジェクトにみられる気候変動影響への脆弱性と適応便益の分析

①地域ごとの提案書数に対する承認率については同等であるものの、適格国の数が地域ごとに大幅に

異なるため、バランスがとれているとは評しがたいこと、②適応基金による支援を受ける資格があるとされるためには、適格性クライテリアを満たさなければならず、同クライテリアには、「特に脆弱な」という文言が使われているが、かかる文言は、11の提案書に合計18回登場したのみであった。各国が「特に脆弱である」ことを明確に正当化することは、提案書が採択されるか否かに影響しなかったと言える。「脆弱性」については、承認された提案書に頻出するが、回数は、ひとつの提案書あたり、9から200近くと相当の幅が認められ、文脈も様々である。国レベルの脆弱性については、ほぼすべての提案書に、なぜその国が気候変動影響に脆弱であるといえるのか、複数の理由付けが記載されていたが、それら相互の関係性は必ずしも明確なたちでは示されていなかった。したがって、それぞれの国の「脆弱性の程度」を評価し比較することは困難である。③過半数のプロジェクトは、気候リスクの管理に主眼を置いたものであり、能力構築に関するプロジェクトがそれに続いていること、④ほとんどの提案書が3つのタイプの便益（経済、社会、環境）のすべてに言及しており、経済的便益については、すべての提案書で示されていること、また、生態系を基盤とした適応アプローチを採用した国は、環境上の便益を強調した書きぶりになっていること、を示した。

（3）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の分析

適応に関する国際制度構築に関する議論は、国家適応行動計画の策定等、一部の進展を除き難航してきた。その理由として、適応は、基本的に地方又は地域レベルでの対応であるため、国際制度の中で国家の権利義務関係として構成することが困難であること、適応策策定に必要な脆弱性評価・影響評価・経済評価が十分でない、あるいは偏在していたことを示した。

（4）緑の気候基金（GCF）の近年の動向に関する調査

GCFの課題につき、①アクセス機関の偏り、②資金補充の課題、③ダイレクトアクセス機関による途上国のニーズにより合致したプロジェクトの実施促進、④GCFが気候変動政策分野での影響力を強化できるような戦略的な計画の立案・適応の重視性の再認識および民間セクターの役割の強化、⑤GCF資金へのアクセス等の迅速化のための、GCFにおける管理と監督の役割の明確化と再検討、が指摘された。

（5）気候変動に対する効果的な緩和と適応の実施に資するガバナンスと資金メカニズムに関する研究

個別に実施されることが多いが本来シナジーが見込まれる、気候変動の緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果の最大化に資する国際・国内ガバナンス、資金メカニズムの課題と制度的要件が明らかになった。その国際・国内ガバナンス、資金メカニズムの課題と制度的要件について、特に緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果を生みやすい森林セクターの事例、アジア地域の国々の事例、持続可能な開発目標（SDGs）達成のためのガバナンスの事例を対象に分析し、重要な研究成果を出すことができた。

国際・国内ガバナンス

（1）対策を統合的に実施する上での国内制度設計の要件の分析

東南アジアの国々の事例分析を基に、森林セクターの気候変動の緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に実施する上では、3つの対策を扱う国家委員会の設立や省間連携の促進、分野横断的な基金やプログラム・プロジェクトの設立等、それぞれの区分で改革が必要なが示された。そして、制度的条件は、次の4つに集約することができた。1)3つの対策を扱う法制度の整備、2)3つの対策を扱う国

家委員会の設立および環境と森林を扱う省間連携の促進、3)3つの対策を扱う共通基金の設立、4)3つの対策を扱うプログラム・プロジェクトの設立。

(2) モデルを活用した対策間のシナジー効果を評価した制度研究

インドネシアの森林セクターにおいて緩和政策と森林保全政策を同時に2030年まで実施した場合、森林保全政策の効果により緩和目標の達成に必要な二酸化炭素削減量が低減し、緩和策として導入される（AFOLU部門の）技術のうち、再植林、森林保護、森林火災防止、アグロフォレストリーなどの導入量が特に低減することで全体的な緩和コストが削減された。緩和策の年間コストでみると、緩和政策の実施と比べ年間最大22.2%軽減されることが示された。

こうした森林セクターの気候変動の緩和政策と森林保全政策間のシナジーを実現するには、それぞれの政策面、戦略面での制度的な分断を無くし、SDG 13と15を含むSDGs達成を目指す政策を強化することが不可欠であることも明らかになった。

(3) SDGs達成のための国内ガバナンス分析

日本とインドネシアの事例分析から、SDGs達成に向けた各国のガバナンス構造やそのパフォーマンス改善のための課題の違いやその違いが起きる要因を明らかにした。

両国とも分野横断的な SDGsの達成に向け様々な省間調整メカニズムを構築しているが、特に地方レベルでは知識・能力構築等に課題が残ることが示された。

日本：ビジョン目標設定、研究、戦略策定の観点でよりパフォーマンスが高いガバナンス構造を有する（例：多様なアクターが参画）が、モニタリング評価や実施に関する課題が示された。

インドネシア：研究、戦略策定、モニタリング評価の観点でよりパフォーマンスが高いガバナンス構造を有するが（例：大統領令等SDGs実施の法的枠組あり）、ビジョン目標設定や実施に関する課題が示された。

各国の違いの要因は、SDGs達成のためのガバナンスシステム策定方法の違い、それをリードする省庁の違い、SDGsを支援する法制度枠組の有無が影響していることが示された。

資金メカニズム

(4) GEFを事例にした資金メカニズム分析

森林セクターの緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に取り組む上でのGEFの資金供給の課題を特定した。GEFの森林の多様な便益を生み出す活動への支援が拡大していること、その活動実施・執行の鍵となる機関が、多国間・二国間援助機関（国連開発計画、国連食糧農業機関、世界銀行、ドイツ、米国、欧州連合他）、途上国政府等であることが明らかになった。一方で、民間セクターへの参画は限定的であり民間資金の動員が必要であること等が示された。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

各種個別の現象を扱う影響評価モデルを応用一般均衡モデルと結合させることにより、複数の異なる課題に対して、同一の枠組みかつ互いに比較可能な形（金銭換算された形）で影響評価を実施することで、各課題に対する優先順位・費用対効果などを判断するために必要な科学的知見を創出した。また、幅広い将来想定の下で、複数の気候モデルアンサンブルの結果を活用し分析することにより、推計結果の不確実性に対する寄与を定量化した。その結果として、気候予測の不確実性を考慮してもなお、緩和

策の実施規模や社会経済状況の改善といった要因が気候変動による影響の大きさを大きく左右することを示した。これらの結果は気候変動による影響を軽減するための政策立案に対しても有用な知見として活用されることが期待される。

緩和策が水資源に波及する効果や、気候変動が水資源に及ぼす経済的な影響評価を行うには物理法則に基づく水資源モデルと経済法則に基づく経済モデルを連携させる必要があるが、本課題では水資源モデルH08と応用一般均衡モデルAIM/CGEという分野や原理の全く異なる2つの大規模モデルを連動させるための技術開発を進め、発電に関する水利用に焦点を当てることで、気候変動の緩和策と影響評価にまたがる研究を実施できた。具体的には、市場取引されない水資源は経済評価が難しいという問題に対して、発電産業で大量の水が利用されていることに着目し、水力・火力・バイオ燃料発電に関する水利用に焦点を当てることで、物理的・経済的な温暖化影響評価を実施し、気候変動影響に対するGDP損失を地域別に評価することに成功した。気候変動影響のより具体的な金銭換算を可能にしたことにより、緩和策・適応策・残余被害の甘受の政策判断に資する検討材料を提供できた。

世界農業経済モデルの開発による、貿易を通じた農業部門への影響を考慮した分析が可能となった。本研究では、計量経済学的手法を用いて、国別の気温上昇の影響を推計するために、生産性モデルを開発し、応用一般均衡モデルとリンクさせることで、従来の課題の解決を図った点に大きな科学的意義がある。また、貿易を通じた農業部門への影響を分析する際に、生産性に及ぼす直接影響だけでなく、貿易相手国との相対的な生産性への影響（比較優位の変化）が重要な役割を果たす点については、経済学分野において、これまで十分に明らかにされてこなかった点である。本モデルの開発によって、これまでわからなかった貿易を通じた農業部門への影響を分析する際の生産性に及ぼす直接影響だけでなく、貿易相手国との相対的な生産性への影響（比較優位の変化）を定量的に明らかにした科学的意義は大きい。

パリ協定の発効を受けて、途上国への適応策支援に対する注目がますます高まる中、資金支援における重要な機能のひとつである、気候変動影響にとりわけ脆弱な国への支援が、プロジェクト審査の段階で、どのように考慮されているかを、これまでの資金供与実績を踏まえて分析し、運用ルール決定に際して制度設計上留意すべき課題を抽出したことは、社会科学的観点から意義深い。

これまで研究が乏しかった、持続可能な開発の観点から、気候変動の緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果を最大化する国際・国内制度研究、資金メカニズム研究の発展に大きく貢献した。

(1) 東南アジアの国々の事例分析を基に、森林セクターの気候変動の緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に実施する上では、政策・戦略、制度枠組み、資金供給、プログラム・プロジェクト全てのレベルでの国内制度改革の必要性を提示した。

(2) インドネシアの森林セクターの緩和、森林保全策の同時に実施による効果を定量的に評価し、緩和コストの軽減の可能性を示した。

(3) 日本とインドネシアの事例分析から、SDGs達成に向けた各国のガバナンス構造やそのパフォーマンス改善のための課題の違いやその違いが起きる要因を明らかにした。

(4) 森林セクターの緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に取り組む上でのGEFの資金供給の課題を特定した。

(1)の成果はIPCCの土地関係特別報告書に引用された。(2)は、インドネシアの森林セクターにおける気候変動の緩和政策と森林保全政策間の同時実施の効果を初めて定量的に評価し、それを基に制度分析をするという、モデル活用をした制度分析の新たな研究分野の構築に貢献した。(3)は初めてアジアの

国々を事例にSDGs達成に向けた各国のガバナンス構造・機能を評価した研究であり、SDGsに関するガバナンスの研究の発展に大きく貢献した。(4)も途上国が対策を統合的に実施する上で求められる資金メカニズムの要件を明らかにすることができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・「気候変動シナリオ分析に関する研究会（経済産業省産業技術環境局より（一財）日本エネルギー経済研究所が受託）」に委員として参加し、その第1回会合において、本研究課題の成果（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）について話題提供した。
- ・「モデル・シナリオの勉強会（環境省地球環境局総務課脱炭素化イノベーション研究調査室主催；環境省、文部科学省、気象庁、農林水産省、国土交通省、経済産業省に開催案内）」に本研究課題の成果も含め、影響・適応研究におけるモデル・シナリオの活用事例について話題提供した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・IPCC 1.5℃特別報告書スコーピング会合に2名招聘され、S-14の研究で得られた知識や経験に基づき章構成の作成に貢献した。また、この特別報告書の第三章（Impacts of 1.5° C global warming on natural and human systems）主執筆者にも選ばれ、本研究の成果も踏まえ報告書を作成した。本研究にて得られた成果は複数の論文がIPCC 1.5℃特別報告書にも引用された。
- ・世界農業経済モデルを用いた気温上昇による各国・地域の農業部門への影響（特に、貿易を通じた総合的な評価）の分析結果において、貿易を考慮しても、気温上昇は、カナダ、アメリカ、ロシア、北ヨーロッパなど一部の国に大きな利益をもたらす一方で、アフリカなどの発展途上国に及ぼすマイナスの影響は大きいことを明らかにしている。特に、生産性の直接影響と、貿易を通じた間接効果も考慮した影響を総合影響は必ずしも一致しないことが明らかにされた。このような知見は、気候変動による途上国経済への影響をどのように緩和していくべきかを議論する上で貢献できるものと期待される。
- ・パリ協定とその交渉経緯の分析をCOP21終了後いち早く行い、気候変動分野の研究者や市民に共有したことにより、今後の気候変動対策強化に向けた合意形成の基礎固めに貢献した。
- ・サブテーマ代表の久保田は、本課題で実施した研究成果等も評価され、日本政府の推薦を受け、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次評価報告書第3作業部会第14章国際協力の主執筆者（LA）に選出された。報告書の執筆や議論においても、本課題の研究成果が活かされている。
- ・林野庁や環境省からの依頼で日本政府代表団の一員として国連気候変動枠組条約、生物多様性条約交渉に参加し、日本政府に政策的なアドバイスをした。また、生物多様性条約の資源動員ワークショップ Thematic workshop on resource mobilization for the Post-2020 Global Biodiversity Framework に、本研究成果も評価され専門家として選出され、ワークショップに参加し、ポスト2020の枠組みに対する資金制度の議論に貢献した。さらに、IPCCの土地関係特別報告書に成果として発表した論文が引用された。また、本課題で実施した研究成果も評価され、IPCCの第6次評価報告書第3作業部会第15章投資・資金のリードオーサーに選出され、報告書の執筆や議論においても、本研究成果が活かされている。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) S. Fujimori, I. Kubota, H. Dai, K. Takahashi, T. Hasegawa, J. Liu, Y. Hijioka, T. Masui and M. Takimi: *Environmental Research Letters*, 11, 104001 (2016) Will international emissions trading help achieve the objectives of the Paris Agreement?
- 2) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, T. Hasegawa, Y. Honda, N. Hanasaki, Y. Hijioka, T. Masui: *Earth's Future*, 6 (2018) Limited Role of Working Time Shift in Offsetting the Increasing Occupational-Health Cost of Heat Exposure.
- 3) J. Takakura, S. Fujimori, N. Hanasaki, T. Hasegawa, Y. Hirabayashi, Y. Honda, T. Iizumi, N. Kumano, C. Park, Z. Shen, K. Takahashi, M. Tamura, M. Tanoue, K. Tsuchida, H. Yokoki, Q. Zhou, T. Oki, Y. Hijioka: *Nature Climate Change*, 9, 737-741 (2019) Dependence of economic impacts of climate change on anthropogenically directed pathways
- 4) Fujimori, S., Hanasaki, N., and Masui, T.: Projections of industrial water withdrawal under shared socioeconomic pathways and climate mitigation scenarios, *Sustainability Science*, 12, 275-292, 2017.
- 5) Zhou, Q. et al., The economic consequences of global climate change and mitigation on future hydropower, *Clim. Chang*, 147, 77-90, 2018a.
- 6) Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Yoshikawa, S., Kanae, S., Okadera, T.: Cooling Water Sufficiency in a Warming World: Projection Using an Integrated Assessment Model and a Global Hydrological Model, *Water*, 10(7), 872, 2018b.
- 7) Zhou, Q., Hanasaki, N., and Fujimori, S.: Economic Consequences of Cooling Water Insufficiency in the Thermal Power Sector under Climate Change Scenarios, *Energies*, 11, 10.3390/en11102686, 2018c.
- 8) 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 Ix, J. F., Hanasaki, N., Hawkins, E., Hirabayashi, Y., Knorr, W., Little, C. M., Emanuel, K., Sheffield, J., Patz, J. A., and Hunter, C. L.: Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions, *Nature Climate Change*, 8, 1062-1071, 10.1038/s41558-018-0315-6, 2018.
- 9) 岡川梓・堀江哲也・須賀伸介・日引聡：環境科学会誌，Vol.28、No.6、pp.432-437（2015），久米島農家の赤土流出対策実施・サトウキビ作型選択の要因
- 10) S. Fujimori, I. Kubota, H. Dai, K. Takahashi, T. Hasegawa, J. Liu, Y. Hijioka, T. Masui and M. Takimi: *Environmental Research Letters* 11 (2016), 104001.
“Will international emissions trading help achieve the objectives of the Paris Agreement?”
- 11) K. MORITA, M. OKITASARI, and H. MASUDA: *Sustainability Science*, 15(1), 179-202 (2020), Analysis of National and Local Governance Systems to Achieve the Sustainable Development Goals: Case Studies of Japan and Indonesia.

- 12) K. MATSUMOTO, T. HASEGAWA, K. MORITA and S. FUJIMORI: Sustainability Science, 14(6), 1657-1672 (2019) Synergy Potential Between Climate Change Mitigation and Forest Conservation Policies in the Indonesian Forest Sector: Implications for Achieving Multiple Sustainable Development Objectives.
- 13) K. MORITA and K. MATSUMOTO: Forest Policy and Economics, 87, 59-69 (2018), Synergies among Climate Change and Biodiversity Conservation Measures and Policies in the Forest Sector: A Case Study of Southeast Asian Countries.
- 14) K. MORITA and K. MATSUMOTO: AGRIVITA: Journal of Agricultural Science, 40(1), 118-130 (2018), REDD+ Financing to Enhance Climate Change Mitigation and Adaptation and Biodiversity Co-Benefits: Lessons from Global Environment Facility.

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) Y. Kurakawa and A. Hibiki : Economically Enabled Energy Management (edited by T. Hatanaka, Y. Wasa and K. Uchida), Springer (2020年6月予定) “Effectiveness of feed-in tariff and renewable portfolio standard under strategic pricing in network access”
- 2) 古沢広祐、足立治郎、小野田真二編著：ギガトンギャップ - 気候変動と国際交渉、オルタナ、44-57 (2015) 「気候変動影響への適応及び気候変動による損失と損害に関する国際交渉・制度の動向（執筆担当：久保田泉）」
- 3) 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. Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, 65-75
- 4) 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（商事法務），(21):50-61
- 5) 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、赤渕芳宏、久保田泉編著『環境規制の現代的課題』〔大塚直先生還暦記念論文集〕（法律文化社）234-246

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 馬奈木俊介編：原発事故後のエネルギー需給の変化と日本経済への影響、ミネルバ書房（2016）「第9章日本の固定価格買取制度と太陽光発電普及の効果（執筆担当：日引聡）」
- 2) K. Nohara, A. Okagawa, A. Hibiki and H. Yamano : ERSa conference papers ersa16p211, European Regional Science Association (2016) Valuation of coral reefs using site choice model
- 3) K. Nohara M. Narukawa and A. Hibiki : DSSR Discussion Papers No.103, Graduate School of Economics and Management, Tohoku University (2019) Estimating the value of coral reefs in Kume Island, Japan, using a contingent behavior method: A Poisson-Inverse Gaussian approach with on-site correction

- 4) M. Kurata, K. Takahashi and A. Hibiki: DSSR Discussion Papers 95, Graduate School of Economics and Management, Tohoku University (2019) Gendered Impacts of Household and Ambient Air Pollution on Child Health: Evidence from Household and Satellite-based Data in Bangladesh
- 5) 森田香菜子：人と国土21：42(1) 48-49 (2016) 「気候変動・生物多様性問題と森林保全」

(2) 主な口頭発表 (学会等)

- 1) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Honda, T. Hasegawa, Y. Hijioka, T. Masui: Impacts World 2017 (2017) Adaptation difficulties in keeping labor capacity under the climate change <Best Poster Award 受賞>
- 2) Hanasaki, N.: Water-energy nexus studies by coupling the H08 global hydrological model and the AIM/CGE integrated assessment model, 8th GEWEX Open Science Conference: Extremes and Water on the Edge, Canmore, Canada, 2018.
- 3) Ai, Z. and Hanasaki, N.: Enhancement of a state-of-the-art global hydrological model in simulating the second-generation herbaceous bioenergy crop yield, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 2019.
- 4) 中寫一憲、日引 聡：環境経済政策学会 2016 年大会、(2016)
「気候変動が世界の農業生産性に及ぼす影響に関する実証分析、」
- 5) 岡川 梓、堀江哲也、日引 聡：環境経済政策学会 2016 年大会、(2016)
「サトウキビ農家の赤土流出対策実施の決定要因の分析」
- 6) 新熊隆嘉、日引聡、澤田英司：環境経済政策学会 2016 年大会、(2016)
” A Collective Responsibility and Judgment-proof Problem “、
- 7) K. Nohara, A. Okagawa, A. Hibiki and H. Yamano : European Regional Science Association Congress 2016, Vienna, U.S.A. (2016) ”Valuation of coral reefs using site choice model”
- 8) Y. Kurakawa and A. Hibiki: EAAERE Annual conference, Fukuoka, Japan (2016) “Effectiveness of feed-in tariff and renewable portfolio standard under strategic pricing in network access”
- 9) Y. Kurakawa and A. Hibiki: 35th USAEE/IAEE North American Conference, Houston, USA (2017) “Effectiveness of Feed-in Tariff and Renewable Portfolio Standard under strategic Pricing in Network Access”
- 10) 庫川幸秀、日引聡：日本経済学会 2017 年度秋期大会 (2017)
「送電部門の垂直的形態と可能エネルギー普及政策の効果」
- 11) 日引聡：環境経済政策学会2018年大会 (基調講演) (2018)
「気候変動と農業部門への影響」
- 12) 野村魁、佐藤宇樹、松田安昌、日引聡：環境経済・政策学会2018年大会 (2018)
「インドの大気汚染による呼吸器疾患への影響」
- 13) A. Hibiki: Annual meeting of Korean Environmental Economics Association (基調講演) (2018) Climate Change and its Impact on the Agricultural Sector (Seocheon-gun)

- 14) A. Hibiki: Annual meeting of Taiwanese Association of Environmental Resource Economics (基調講演) (2018) Impacts of Indoor and Outdoor Air Pollution on Child Health in Bangladesh (Taipei)
- 15) L. Ding and A. Hibiki: 2018 Annual meeting of Korea Environmental Economic Association, Seocheon-gun, Korea (2018) “Empirical Study on the Impact of PM10 on Mortality Rate in China” ,
- 16) Y. Kurakawa and A. Hibiki: 14th International Conference of West Economic Association International, Newcastle, Australia (2018) “Effectiveness of Feed-in Tariff and Renewable Portfolio Standard under strategic Pricing in Network Access” ,
- 17) M. Kurata, K. Takahashi and A. Hibiki: 2018 Annual meeting of Korean Environmental Economics Association, Seocheon-gun, Korea (2018) “Impacts of Indoor and Outdoor Air Pollution on Child Health in Bangladesh”
- 18) K. Nohara, A. Okagawa, A. Hibiki and H. Yamano: 2018 Annual meeting of Korean Environmental Economics Association, Seocheon-gun, Korea (2018) “The Recreational Value of Coral Reefs in Okinawa Prefecture: A Site Choice Model”
- 19) L. Ding and A. Hibiki: 2018 Annual meeting of Taiwanese Association of Environmental and Resource Economics, Taipei, Taiwan (2018) “Empirical Study on the Impact on Mortality in China”
- 20) L. Ding Lin and A. Hibiki: 2018 Annual meeting of Korean Environmental Economics Association, Seocheon-gun, Korea (2018) “Empirical Study on the Impact of PM10 on Mortality Rate in China”
- 21) Y. Kurakawa and A. Hibiki: 14th International Conference of West Economic Association International, Newcastle, Australia (2018) “Effectiveness of Feed-in Tariff and Renewable Portfolio Standard under strategic Pricing in Network Access”,
- 22) L. Ding and A. Hibiki: 15th International Conference of Western Economic Association, Tokyo, Japan (2019) “Empirical Study on the Impact on Mortality in China”
- 23) A. Hibiki, H. Lee and Y. Hijioka: Global: 15th International Conference of Western Economic Association, Tokyo, Japan (2019) “Global Warming and its Impact on the Agricultural Sector”
- 24) M. Kurata, K. Takahashi and A. Hibiki: 15th International Conference of Western Economic Association, Tokyo, Japan (2019) “Gendered Impacts of Household and Ambient Air Pollution on Child Health: Evidence from Household and Satellite-based Data in Bangladesh”
- 25) K. Nohara, A. Okagawa, A. Hibiki and H. Yamano: 15th International Conference of Western Economic Association, Tokyo, Japan (2019) “The Recreational Value of Coral Reefs in Okinawa Prefecture: A Site Choice Model”
- 26) A. Hibiki: Workshop on Climate Change and Economic Development, Hanoi, Viet Nam, (2019) “A CGE Approach (2019) “The Impact of Temperature Rise on the Agricultural Sector at the Country Level”

- 27) 久保田泉：環境科学会2015年会、大阪 日本、2015
「気候変動影響適応のための資金メカニズムにおける衡平性」
- 28) 亀山康子：日本国際政治学会 2015 年度研究大会、2015
「気候変動レジームにおけるグローバル・ガバナンスの現状と課題」
- 29) 久保田泉：第20回環境法政策学会2016年大会、津 日本、2016
「適応基金理事会において承認されたプロジェクトにみられる気候変動影響への脆弱性と適応便
益の分析」
- 30) 久保田泉（2017）温暖化への適応．第21回環境法政策学会2017年度学術大会シンポジウム「転機
を迎える温暖化対策と環境法」，同論文報告要旨集，226-233，横浜 （及び、同シンポジウムの
パネルディスカッションでのパネリスト）
- 31) M. OKITASARI, K. MORITA, and H. MASUDA: 2019 Mexico Conference on Earth System
Governance, Oaxaca, 2019
“Local governance transitions and the governing of the Sustainable Development Goals in
Indonesia and Japan”
- 32) 森田香菜子、M. OKITASARI、増田大美：環境科学会2019年会、赤羽（2018）.
“National and Subnational Institutional Challenges and Opportunities to Achieve the
Sustainable Development Goals: Comparing Japan and Indonesia”
- 33) 森田香菜子、松本健一：環境科学会2017年会、小倉（2017）
「途上国における持続可能な森林保全・管理のための効果的な資金供与：カンボジアを事例とし
て」
- 34) K. MORITA and K. MATSUMOTO: 9th International Scientific Conference on Energy and
Climate Change. Athens, 2016.
“Effective Forest Finance to Enhance Climate Change Mitigation, Adaptation and
Biodiversity: Lessons from Global Environment Facility Finance”
- 35) K. MORITA and K. MATSUMOTO. The 2nd Asian Conference on Management and Sustainability.
広島, 2016.
“Institutions for Enhancing Co-benefits of Forest Conservation”
- 36) K. MORITA and K. MATSUMOTO: Journal of Environmental Indicators. Windsor, 2015.
“Synergy Potential among Climate Change Mitigation, Adaptation, and Biodiversity and
Ecosystem Conservation in the Forest Sector”

7. 研究者略歴

研究代表者

肱岡 靖明

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻博士課程修了、博士（工学）、現在、国立研究開発法人国立環境研究所 気候変動適応センター 副センター長

研究分担者

1) 高橋 潔

京都大学工学部衛生工学科卒業、博士（工学）、現在、国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 広域影響・対策モデル研究室 室長

2) 藤森 真一郎

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻卒業、博士（工学）、国立環境研究所社会環境システム研究センター研究員、現在、京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 准教授（～2018. 3. 31環境研退職のため分担者除外、2018. 4. 1～研究協力者）

3) 長谷川 知子

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻修了、博士（工学）、国立環境研究所 社会環境システム研究センター テーマ型任期付き研究員、現在、立命館大学理工学部環境都市工学科 准教授（～2019. 3. 31環境研退職のため分担者除外、2019. 4. 1～研究協力者）

4) 岡田 将誌

筑波大学大学院生命環境科学研究科博士後期課程修了、博士（理学）、現在、国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 地域環境影響評価研究室 主任研究員（2018. 4. 1～分担者）

5) 高倉 潤也

九州大学大学院統合新領域学府博士後期課程修了、博士（芸術工学）、現在、国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 広域影響・対策モデル研究室 研究員（2019. 4. 1～分担者）

6) 花崎 直太

東京大学工学系研究科社会基盤学博士課程修了、博士（工学）、現在、国立研究開発法人国立環境研究所 気候変動適応センター 気候変動影響評価研究室 室長

7) 日引 聡

東京大学大学院第2種博士課程満期退学、博士（経済）、現在、東北大学大学院経済学研究科教授

8) 久保田 泉

学習院大学大学院法学研究科法律学専攻博士後期課程修了、博士（法学）、国立環境研究所社会環境システム研究領域NIESアシスタントフェロー、同研究員を経て、現在、同研究所

社会環境システム研究センター 環境政策研究室 主任研究員

9) 亀山 康子

東京大学教養学部卒業、博士（学術）、現在、国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 副センター長

10) 森田 香菜子

東京工業大学大学院社会理工学研究科博士後期課程修了、博士（学術）、現在国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所国際連携・気候変動研究拠点主任研究員

II. 成果の詳細

II-1 応用一般均衡モデルを用いた気候変動緩和策・影響・適応策の経済評価

〈研究分担者〉

国立研究開発法人国立環境研究所

気候変動適応センター 気候変動適応戦略研究室 肱岡 靖明

社会環境システム研究センター 広域影響・対策モデル研究室 高橋 潔

社会環境システム研究センター 地域環境影響評価研究室 岡田 将誌

社会環境システム研究センター 広域影響・対策モデル研究室 高倉 潤也（平成31年度）

〈研究協力者〉

京都大学大学院

工学研究科 都市環境工学専攻 藤森 真一郎（平成27～29年度 分担）

立命館大学

理工学部 環境都市工学科 長谷川 知子（平成28～30年度 分担）

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター 統合環境経済研究室 増井 利彦（平成27年度 分担）

気候変動適応センター 気候変動適応戦略研究室 岡 和孝（平成30～31年度）

平成27（開始年度）～令和元年度研究経費（累計額）：161,104千円（研究経費は間接経費を含む）
（平成29年度：32,204千円、平成30年度：30,594千円、令和元年度：32,204千円）

〔要旨〕

本サブテーマ（応用一般均衡モデルを用いた気候変動緩和策・影響・適応策の経済評価）では、世界全体を対象として、今世紀中の影響被害額と適応策費用を、緩和策情報と統合して提示することを目的として、経済モデル（応用一般均衡モデル）を主要なツールとして活用し、各テーマ・サブテーマから得られる個別の影響モデルや政策分析の結果を統合し、緩和策・影響・適応策の統合的経済評価を実施した。

本サブテーマでは、研究プロジェクト期間内に、主として（１）応用一般均衡モデルを用いた個別セクター毎の気候変動影響評価、（２）気候変動による経済的影響の統合的評価、（３）パリ協定におけるNDC達成に対する国際排出権取引の有効性評価、（４）労働現場における暑熱ストレス影響を例とした全球規模での適応策の評価、（５）簡易影響評価モデルの開発、（６）S14プロジェクト全体におけるテーマ間連携のためのデータ提供、の6項目の研究開発を実施した。

これらの研究開発を通じて、複数の異なる課題に対して、同一の枠組みかつ互いに比較可能な形（金銭換算された形）での評価を実施することで、各課題に対する優先順位・費用対効果などを判断するために必要な科学的知見が蓄積することができた。加えて、幅広い将来想定の下で、複数の気候モデルアンサンブルの結果を活用し分析することにより、推計結果の不確実性に対する寄与を定量化することが可能となった。また、同一の気候条件の下であっても、社会経済条件の違いによって影響の大きさが異

なることを示し、気候変動による影響を軽減するための政策立案に対しても有用な知見として活用されることが期待される。

〔キーワード〕

気候変動、応用一般均衡モデル、経済影響、統合評価、社会経済シナリオ

1. はじめに

気候変動による影響、および気候変動に対する緩和策や適応策を実施することの影響は、極めて多岐にわたる。そのため、これらを個別に評価するだけでは、その全体像を把握することは困難であり、同一の指標の下でこれらの影響を比較することが望ましい。その方法の1つとして、これらの影響を金銭換算することが考えられる。

2013年から2014年にかけて発行されたIPCC第5次報告書や、それ以降の研究でも緩和策費用に関して知見が集積されつつあり、依然として幅はあるものの大規模な温室効果ガス排出削減にはGDP比で数パーセントといったオーダーの費用が必要であると考えられている。一方、影響や適応策の費用に関してはIPCC第5次報告書に記載されている情報は非常に限られていた。この主たる理由は、影響・適応策が多分野に及ぶため分野横断的な解析事例が非常に限られており、気候変動の経済影響に関してほとんど知見がないためである。これを解決するには物理的プロセスの解析モデル結果と経済換算する手法あるいは経済モデルを使う必要があった。

経済モデルに関しては、一般均衡理論をベースとした、全球規模の経済モデルであるAIM/CGE (Asia-Pacific Integrated Assessment Model/Computable General Equilibrium) モデルの開発が国立環境研究所および京都大学において進められてきた¹⁾。AIM/CGEモデルは本プロジェクトの開始前の段階では、主として緩和策の分析に用いられていた。物理的プロセスによって計算される個別の影響モデルと結合することにより、気候変動影響や適応策の経済的評価が可能になることが期待されていたが、そのような手法は本プロジェクトの開始時点においては確立されていなかった。

また、気候変動の影響は将来にわたって生じるものであるため、例えば今世紀末までといった長期的な視点での評価が必要である。しかし、当然ながら将来は不確実なものであり正確な予測を行うことは不可能である。そのため、将来推計を行う際には、将来シナリオを用いたアプローチが取られる。気候変動研究の分野では、本プロジェクトの開始時点以前では、SRES (Special Report on Emissions Scenarios) シナリオが広く用いられていたが、それに代わるものとして、排出経路シナリオとしてRCP (Representative Concentration Pathway) シナリオ²⁾、社会経済シナリオとしてSSP (Shared Socioeconomic Pathway) シナリオ³⁾が開発された。これらのシナリオを活用することにより、より幅広い将来想定の下での影響評価が可能となることが期待されていた。

2. 研究開発目的

本サブテーマ（応用一般均衡モデルを用いた気候変動緩和策・影響・適応策の経済評価）においては、世界全体を対象として、今世紀中の影響被害額と適応策費用を、緩和策情報と統合して提示することを目的とした。具体的には、経済モデルであるAIM/CGEモデルを主要なツールとして活用し、各テーマ・サブテーマから得られる個別の影響モデルや政策分析の結果を統合し、緩和策・影響・適応

策の統合的経済評価を実施した。また、S14プロジェクト全体の統括についてはS14-1「全体の総括と統合的戦略評価」がそれを担当するが、経済評価の観点および社会経済モデルを用いた定量的な分析においては、本サブテーマもプロジェクトの各テーマの研究を統合する役割を果たすとともに、RCPやSSPシナリオの活用方法や経済モデルの出力として得られる情報を、各テーマに対して提供を行う。

3. 研究開発方法

本サブテーマでは、応用一般均衡モデルである、AIM/CGEモデルをコアツールとして使用し、気候変動の緩和策・影響・適応策のかかる経済的な評価を実施した。AIM/CGEモデルは、経済理論である一般均衡モデルに基づき世界全体の経済をシミュレーションすることができるモデルである（図3.1.1）。世界全体は17の地域に分割されており、それぞれの地域で約40の産業部門、家計部門、政府部門が存在し、生産、消費、資本形成、貿易などの経済活動がモデル化されている。シミュレーションの結果として、GDPや家計消費支出といったマクロ経済指標が出力される。

また、将来シナリオとしては、RCPシナリオとSSPシナリオを使用した。排出シナリオであるRCPシナリオはRCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5の4種類があり、RCP2.6は概ね2℃目標に相当する温室効果ガスの排出削減が達成されるシナリオであり、RCP8.5は温室効果ガスの排出削減が行われず排出量の増加が続くシナリオである（RCP4.5、RCP6.0はそれらの中間に相当する）。これらの排出シナリオに従った気候モデルを用いた気候予測の結果が、CMIP5（Coupled Model Intercomparison Project 5）の成果として利用可能であり、影響評価にもその気候情報を活用する（図3.1.2）。

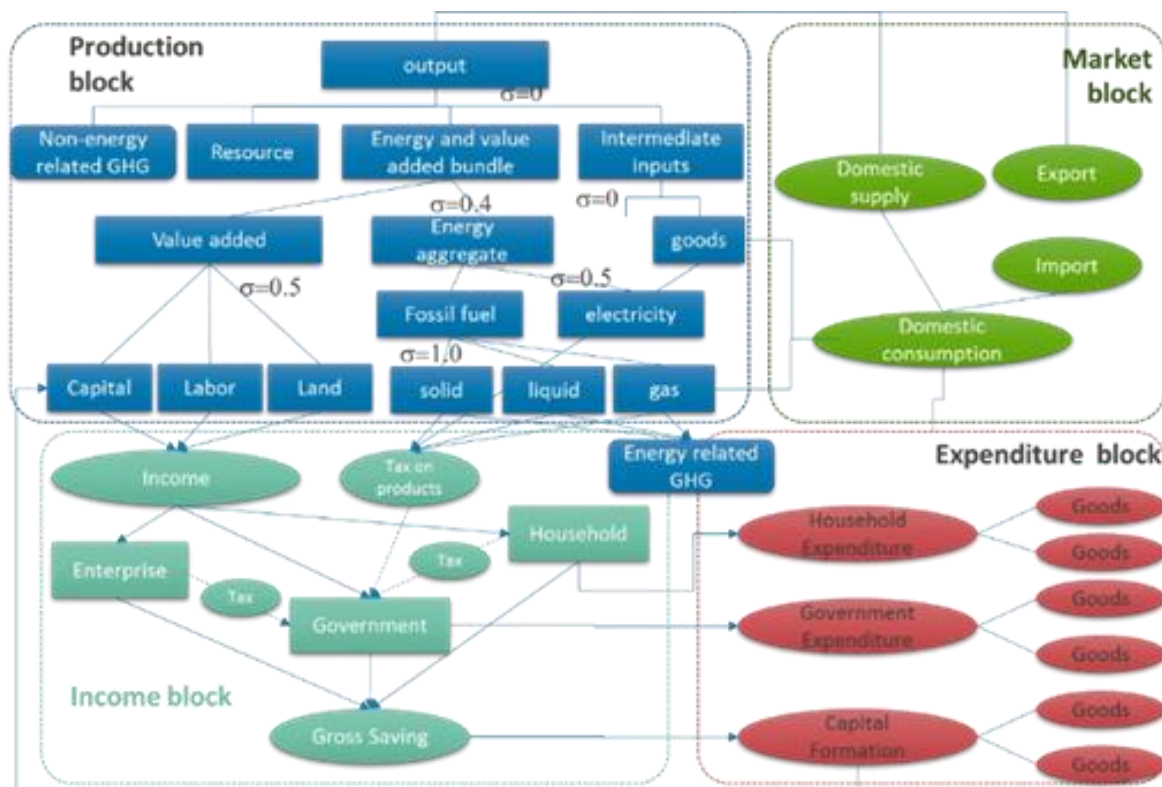


図3.1.1：AIM/CGEモデル構造の概念図

社会経済シナリオであるSSPシナリオは、SSP1、SSP2、SSP3、SSP4、SSP5の5種類があり、それぞれ異なる将来の社会経済状況の変化が想定されており、国別の人口、国の豊かさ、技術レベルなど様々な項目が含まれている。SSP1は、現在の開発途上国も含めて持続可能な形で経済成長が達成されるというシナリオです。SSP2では、社会経済状況の改善が現在のペースのまま続きます。SSP3では、技術革新が進まず、現在の開発途上国は貧しいままに留まります。SSP4シナリオでは、地域間および国の中での格差が拡大します。そして、SSP5シナリオでは、より早いペースでの経済成長を達成しますが、化石燃料に依存し続ける、といった世界観をそれぞれのシナリオは表している（図3.1.3）。

このAIM/CGEモデルおよびシナリオを活用し、主として以下の（１）から（６）に挙げる項目について、それぞれ研究開発を実施した。

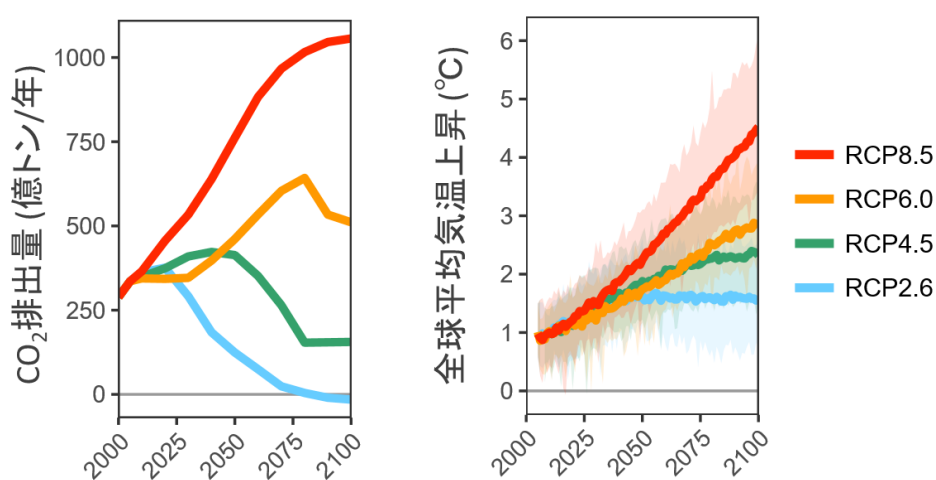


図3.1.2：各RCPシナリオにおけるCO₂排出量と対応する全球平均気温上昇（右）

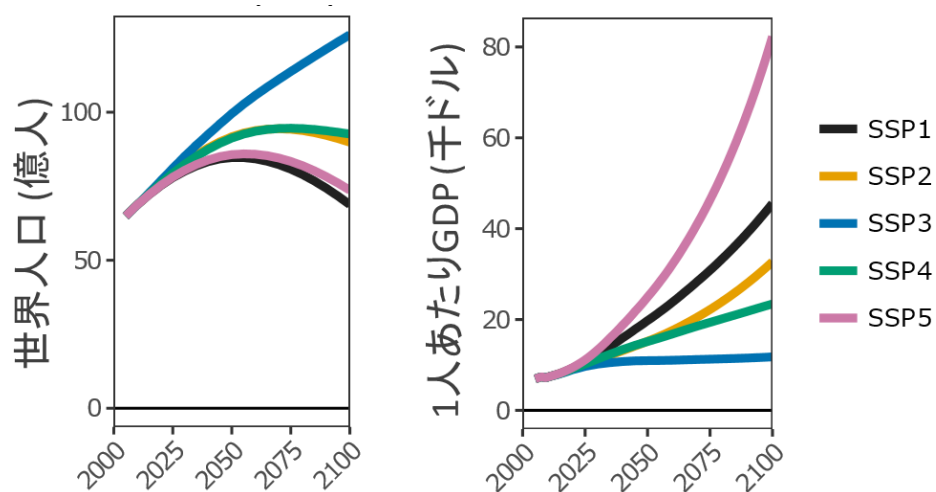


図3.1.3：各SSPシナリオにおける人口と1人あたりGDP

（１）応用一般均衡モデルを用いた個別セクター毎の気候変動影響評価

気候変動は社会経済に対しても影響を与えるが、この影響は直接的な影響に留まらず、経済全体に対して間接的な影響（波及効果）も生じさせる。このような影響も含めて気候変動による影響評価を実施するために、応用一般均衡モデルであるA I M／C G Eモデルを用いて評価を実施した。評価の流れは、以下の通りである。まず、気候モデルの出力として得られる将来の気温や降水といった情報に基づき、生物・物理学的な影響（例えば、作物収量や暑熱ストレス指標など）を計算する。この計算は全球を対象として、グリッド単位（例えば緯度・経度0.5° 刻み）で実施する。この結果を、地域ごとに集約しA I M／C G Eモデルへの入力（計算に用いる各種のパラメータ；たとえば農作物の土地生産性や労働生産性）として用いる。パラメータを変化させる前（気候変動による影響が無い状況に相当）と、パラメータを変化させた後（気候変動による影響がある状況に相当）それぞれにおいて、A I M／C G Eモデルによる経済シミュレーションを実施し、経済的な均衡点を計算する。そのときの各種のマクロ経済指標（たとえばG D P等）の差が、気候変動による経済影響に相当する（図3.1.4）。

具体的には、【農業生産性】【低栄養・飢餓】【冷暖房需要】【労働生産性】に関する影響についてA I M／C G Eモデルを用いた評価を実施した。また、評価を実施する際には、R C Pシナリオによって表される気候条件の違いだけではなく、S S Pシナリオによって表される社会経済状況の違いについても考慮を行った。

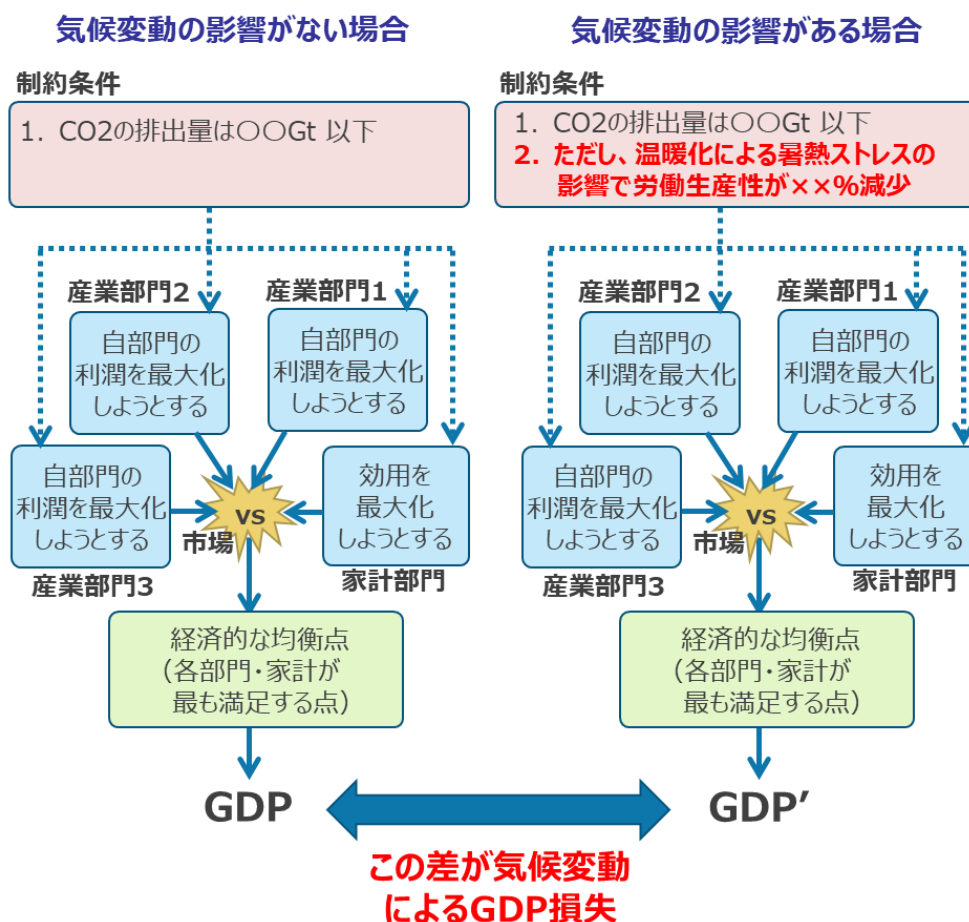


図3.1.4：C G Eモデルによる気候変動影響評価の考え方

（３）パリ協定におけるNDC達成に対する国際排出権取引の有効性評価

パリ協定のもと締約国は、各国の排出削減約束、目標を達成するための措置、進捗状況の報告要件を示し、各国が自主的に決定する削減目標（NDC）を提出した。一方、気候変動緩和策には、相応の費用がかかるが、野心的な緩和行動のためには、費用対効果の高い、資源の動員を促すメカニズムとアプローチの確立が望まれる。国際炭素排出量取引は、世界全体の削減コストを低減する経済的に費用対効果の高い方法であることはよく知られている。しかし、NDCの文脈における排出権取引の有効性を明らかにした研究はこれまでなかった。ここでは、各国のNDC（データ収集時点ではINDC；削減目標の草案）における排出権取引の有効性を評価した。

AIM/CGEモデルを用いてNDCに対応する排出量削減目標を、排出権取引を行わずに目標達成する場合と、排出権取引を活用して目標達成する場合でそれぞれシミュレーションを実施し、排出量削減を行わない場合と比較した厚生損失（家計部門の消費支出減少）をそれぞれ算出した。

（４）労働現場における暑熱ストレス影響を例とした全球規模での適応策の評価

気候変動による経済的影響の軽減には、緩和策と並び適応策が重要な役割を占めると考えられている。しかしながら、全球規模で適応策の効果をモデル化し、その経済的効果まで評価を行った例はこれまでほとんどなかった。本研究では、暑熱ストレスの増大による屋外労働者の労働生産性低下への適応策として労働時間帯のシフトについて検討を行った。第４節の結果及び考察でも述べるが、労働生産性の低下による経済影響は、気候変動による経済的影響のうちの大きな部分を占めており、経済的な観点からは特に適応策が重要な部門である。暑熱ストレスの指標であるWBGTの日内変動に基づき、現状と同程度の作業可能時間を確保するには、どの程度の労働時間帯の前倒しが必要であるかを推定した。また、労働時間帯の前倒し量を現実的な範囲に抑えた場合に、どの程度、経済的影響を軽減できるかについてAIM/CGEモデルを用いて推計を行った。

（５）簡易影響評価モデルの開発

本プロジェクトにおいては、２）でも述べた通り、複数の分野にわたって気候変動による経済影響評価を実施する枠組みを構築した。既存の研究と比較すると、より幅広い将来想定の下での推計結果が利用可能となったが、よりきめ細やかな将来想定の下での推計結果が必要となる場合がある。しかし、このような個別の将来想定において、２）で用いた手法と同様の手法（シミュレーション）により、その都度追加計算を実施することは、計算時間などの観点から見て現実的ではない。そこで、本研究ではプロセスベースのシミュレーション（図3.1.6(a)）の結果を、少ない計算負荷で統計的に再現するエミュレーション手法（図3.1.6(b)）の開発を行った。開発したエミュレーション手法によって、元のシミュレーション結果をどの程度再現できるかについて、複数のエミュレーション手法間で比較・評価を実施した。

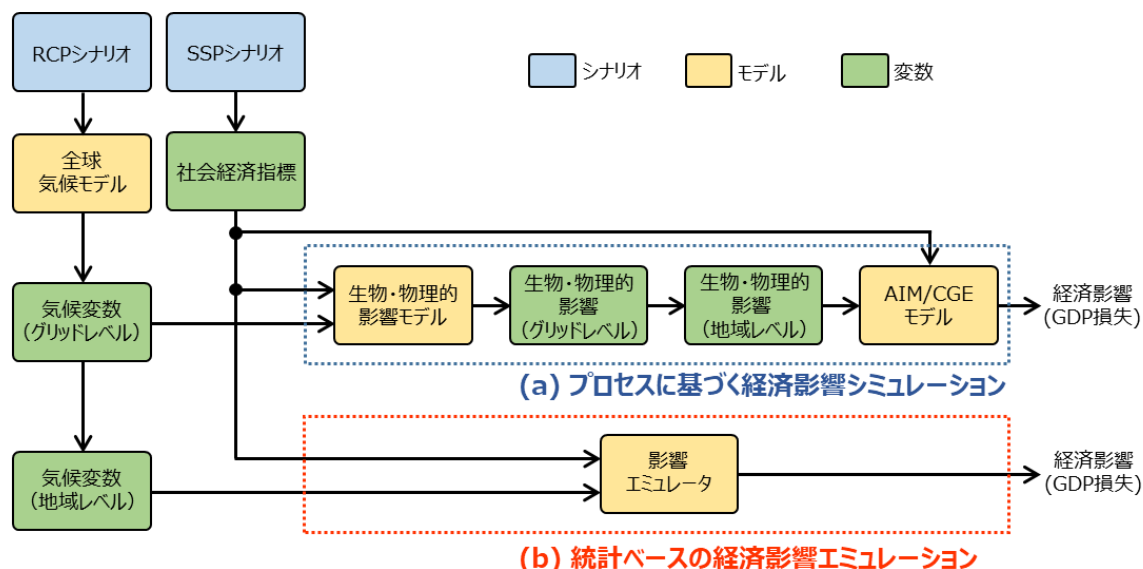


図3.1.6：気候変動影響評価におけるシミュレーションとエミュレーションの流れ

(6) S14プロジェクト全体におけるテーマ間連携のためのデータ提供

S14プロジェクトを構成する各テーマ（S14-1「全体の総括と統合的戦略評価」、S14-2「生態系保全による緩和策と適応策の統合」、S14-3「気候変動に対する地球規模の適応策の費用便益分析」、S14-4「アジアのメガシティにおける緩和を考慮した適応策の実施事例研究」）それぞれにおいて、各種の社会経済シナリオの情報、土地利用データ、AIM/CGEモデルにより計算された気候変動の緩和費用、気候変動による経済影響などの結果を活用した研究が実施されている。これらの各研究テーマにおいて必要となる各種の情報について提供を実施した。

4. 結果及び考察

(1) 応用一般均衡モデルを用いた個別セクター毎の経済影響評価

【農業生産性】

気候変動による農業生産性の変化が、マクロ経済指標（GDP）に与える影響の推計結果に影響を与える複数の要因ごとに評価を行った結果が、図4.1.1である。ここで考慮した要因は、土地利用の変化の有無、(2)CO₂施肥効果の有無、(3)異なる気候条件（RCPシナリオの違い）、(4)異なる社会経済条件（SSPシナリオの違い）である。GDPに対して与える影響の大きさは、2100年の時点で0.02～0.06%であることがわかった。推計された影響の大きさは、特に社会経済条件によって大きく異なり、人口が多く、低所得、技術発展ペースが遅いことを特徴とする悲観的なシナリオ（SSP3）において、特に大きくなることが分かった。

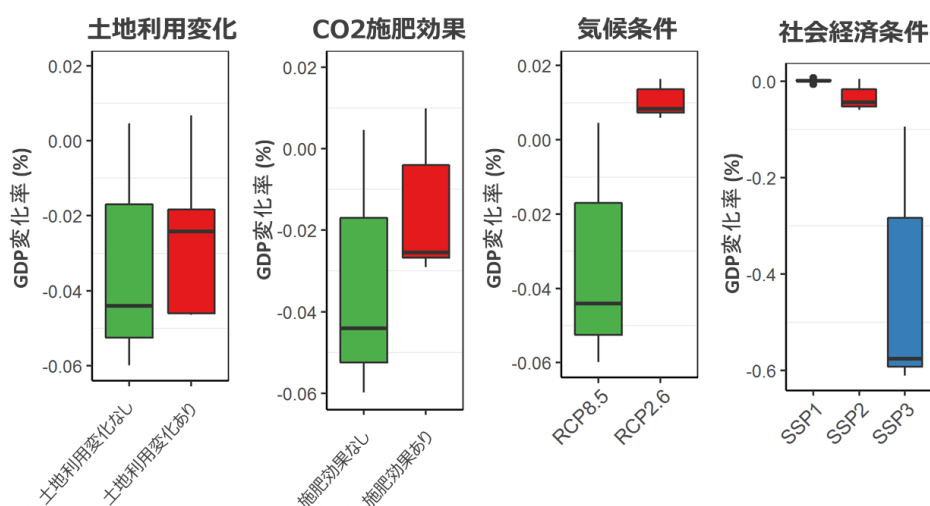


図4.1.1：気候変動による農業生産性の変化がGDPへ与える影響

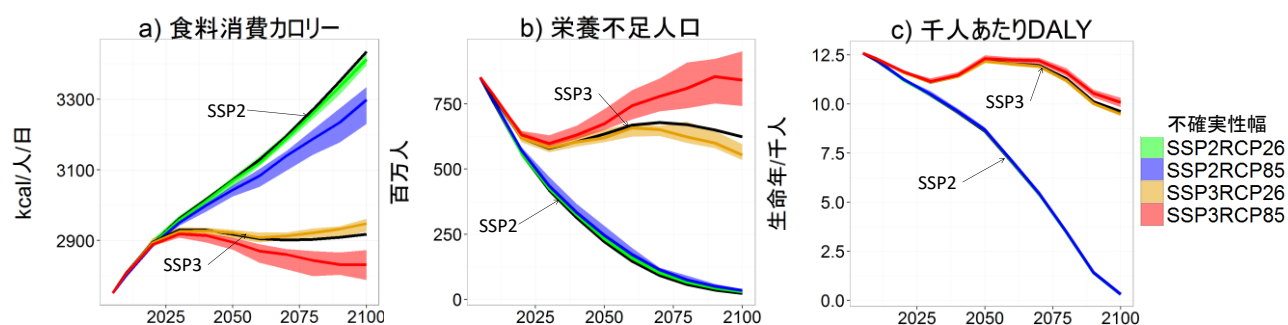


図4.1.2：気候変動による低栄養・飢餓関連指標に与える影響

【低栄養・飢餓】

推計された、気候変化による世界の平均食料消費カロリー、栄養不足人口、DALY（障害調整生存年）への影響を図4.1.2に示す。RCP8.5（排出量削減を行わないシナリオ）のような強い気候変化の下では、RCP2.6（2℃目標に対応した排出量削減を行うシナリオ）と比較して、社会経済条件に関らず、高い確率で世界の平均一人当たりの消費量は減少し、栄養不足人口とDALYは増加するという負の影響を示した。社会経済シナリオ間で比較すると、SSP2（経済発展が進むシナリオ）と比較してSSP3（経済発展があまり進まないシナリオ）の方が悪影響は大きい。それは、SSP3の総人口が大きいことと、SSP2では所得増加などにより食料へのアクセスが改善していることによる。

【冷暖房需要】

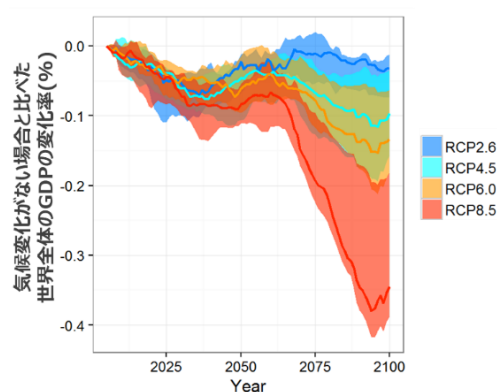
気候変動の下での気温上昇による冷房需要の増加による経済への負の影響は、暖房利用の減少によるプラスの影響を相殺し、さらに正味で負の影響を与えるのに十分に大きいことがわかった。最も温室効果ガス排出量の多いシナリオ（RCP8.5）における経済損失は、気候変動の無いと仮定した仮想的なシナリオと比較して2100年の世界全体のGDPの0.34%に相当した。一方、最も排出量の少ないシナリオ（RCP2.6）での経済損失は、2100年の世界全体のGDPの0.03%に留まった。これ

らの経済的損失は主に、エネルギー消費量の変化によるものではなく、空調機器などの設備導入コストが大きな部分を占めることが分かった（図4.1.3）。

【労働生産性】

労働可能時間の短縮による GDP 損失（労働者の休憩による熱中症予防のコスト）は、排出量が最も多いシナリオ（RCP8.5）では、2100年の時点で2.6～4.0%となる。一方、2℃目標を達成した場合（RCP2.6）、GDP損失は0.5%以下と推計された。これに対応する気候変動緩和策による便益（回避できる損失）は、2℃目標達成のための緩和コストとも比較可能なオーダーの値である。気候変動の緩和や社会経済の発展にともなうエアコンの普及などによって脆弱な地域やセクターは限定される可能性があるが、特に農業や建設業など屋外での作業を伴うセクターにおいて依然として影響を受けることが予想される（図4.1.4）。特に屋外労働において適応策の必要性が高いことを示している。

(a) GDP変化



(b) GDP損失と設備コストの比較

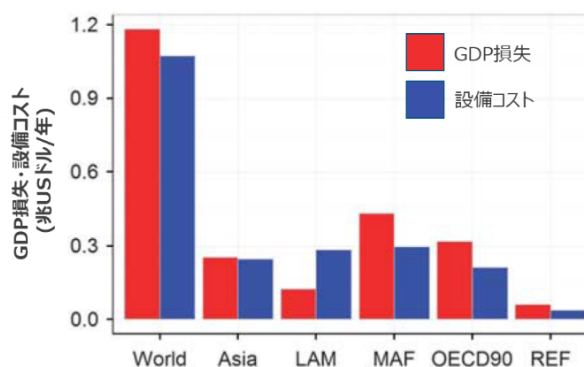
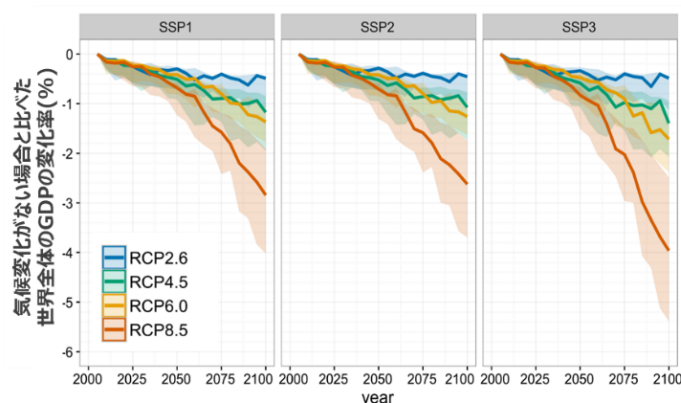


図4.1.3：冷暖房需要の変化によるGDPへの影響と設備コスト

(a) GDP変化



(b) セクター別

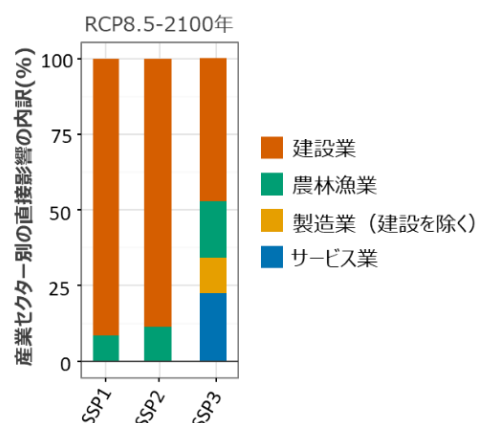


図4.1.4：労働生産性の低下によるGDPへの影響とセクター別の内訳

（２）気候変動による経済的影響の統合的評価

気候変動によって生じる被害額を金銭換算したものを、9分野にわたって合計した結果を図4.1.5に示す。いずれのSSPシナリオ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おり、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となった。一方で、パリ協定の2℃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仮定のシナリオ（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。

地域ごとに見た場合、同じ条件（同一のSSPやRCP）であっても、地域によって受ける影響の大きさが大きく異った。また、同一の気候条件（RCP）の下で社会経済条件（SSP）の違いが被害額に与える影響も地域によって大きく異った。図4.1.6では、例として、アフリカ、ヨーロッパ、北米地域における被害額（対GDP比）と、1人あたりGDPと地域の平均気温1℃上昇による各地域における追加的な被害の大きさの関係を示している。被害額（対GDP比）はアフリカでは大きく、北米では比較的小さく、また、社会経済状況の改善（1人あたりGDPの増加）が被害の軽減にどの程度効果があるかにも、地域によって大きな差がある。この結果は、特にアフリカなどの開発途上国の占める割合が多い地域では、緩和策の実施だけでなく、社会経済状況を改善することが被害軽減のためには重要であることを示唆する。

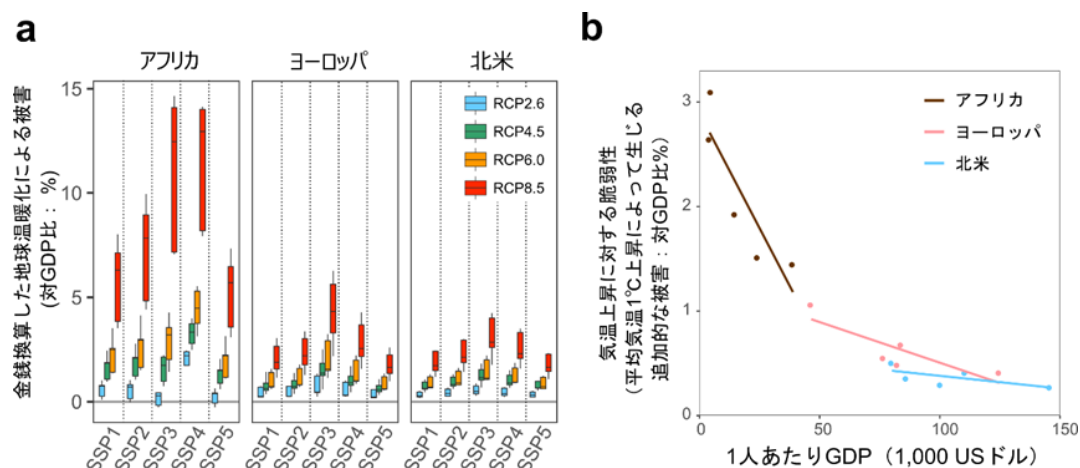


図4.1.5：気候変動による被害額（9分野の合計）

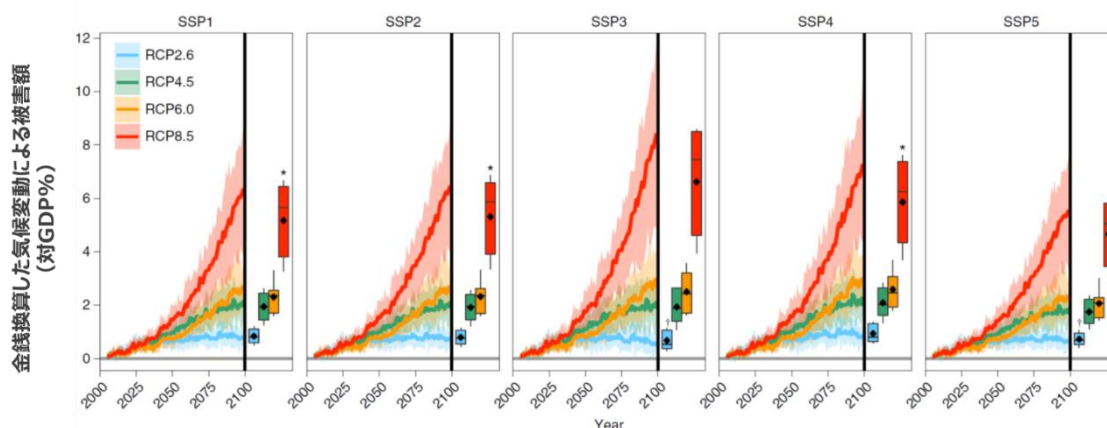


図4.1.6：地域別の被害額、および、1人あたりGDPと脆弱性の関係

図4.1.7は、緩和策の実施や社会経済状況の改善といった人為的な要因と気候予測の不確実性が被害額の推計結果の差に対して寄与する割合を年代別に表している。比較的近い将来（2020～2039年）においては、気候予測の不確実性が大きな割合を占めており、仮に緩和策などの気候変動対策を取ったとしても、その効果よりも、気候予測の不確実性の方が大きく、対策の効果は必ずしも明確ではないことを意味する。しかし、この関係は21世紀の中盤には逆転し、人為的な要因の占める割合が大きくなっていく（2050～2069年においては63%、2080～2099年においては78%）。これらの結果は、中長期的には、気候モデルの違いによる結果の不確実性を考慮してもなお、人為的な温室効果ガスの排出削減や社会経済状況の改善は、気候変動による被害を大きく軽減させる効果があることを示している。

（3）パリ協定におけるNDC達成に対する国際排出権取引の有効性評価

図4.1.8に示すように、排出権取引は2030年の排出削減にかかる世界的な厚生損失を75%（約230億US\$に相当）減少させた。先進国は、排出権取引がない場合、損失が大きい傾向にあるが排出権取引の導入により損失は大幅に減少した。例えば、2030年の日本、米国、EUの厚生損失は排出権取引がない場合、それぞれ0.7%、0.8%、0.5%であり、排出権取引は-0.2%、0.2%、-0.1%へとそれぞれ減少させた。対照的に、途上国の状況は様々であった。例えば、中国とインドは、排出権取引のために負の影響を受けるが、アフリカと南アジアは正の影響を受ける。開発途上国の炭素価格は、排出権取引がない場合ほとんど無視できるレベルのものであったが、国内の炭素市場を国際市場に開放する場合、これらの地域の炭素価格は10\$/tCO₂に上昇する。このような地域差や制度の導入方法を考慮することは必要であるが、排出権取引の枠組みは、NDCの実現のために経済的に効果的な手段であることが示された。

被害額（対GDP比）の推計結果の差に影響を与える要因

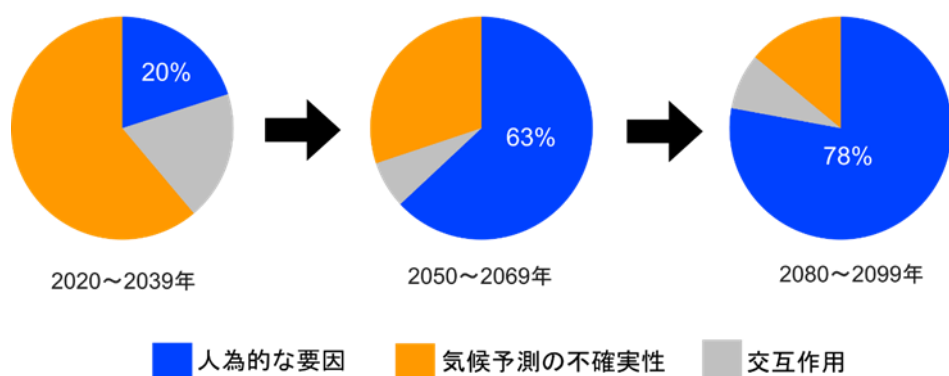


図4.1.7：被害額の推計結果に影響を与える要因の分解

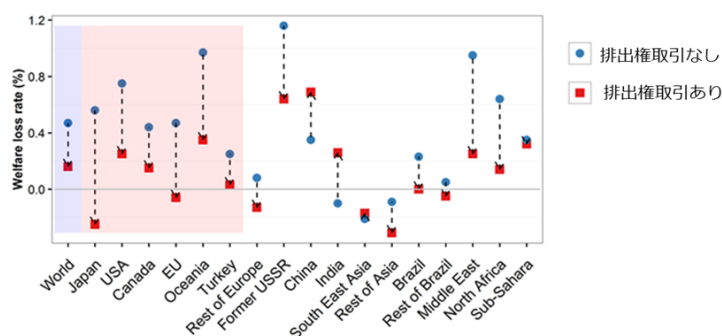


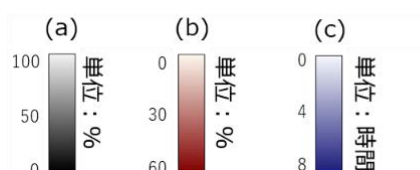
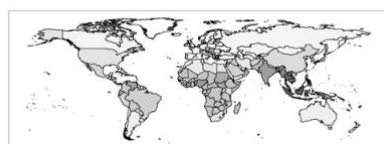
図4.1.8：国際排出権取引の有無による厚生損失の比較

（４）労働現場における暑熱ストレス影響を例とした全球規模での適応策の評価

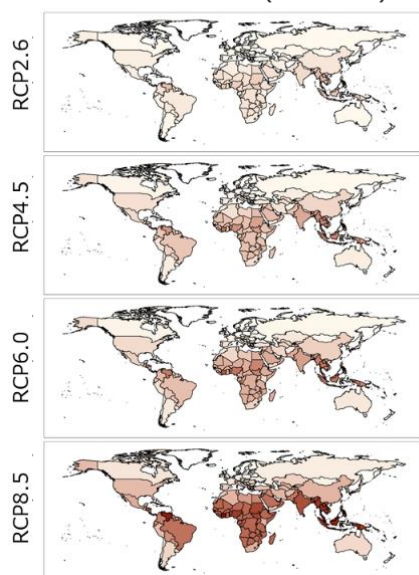
世界全体で、熱中症のリスクを避けて作業に従事可能な時間の割合がどの程度減少し、その減少を避けるためにどの程度の就業時間帯の前倒しが必要になるかを推計した結果を図4.1.9に示す。現状でも既に、特に東南アジアを中心とする低緯度地域において大きな影響を受けているが、気候変動の進行に伴い更に大きな影響が予測されている。仮に、この影響を避けようとした場合、特にRCP8.5シナリオの下では、低緯度地域において6～8時間といった非現実的なシフトが必要となる。RCP2.6シナリオの下であっても、影響を避けるためには多い国では概ね2～3時間程度の時間帯シフトが必要であると推計された。

労働時間帯のシフトを行わなかった場合と行った場合での経済的損失を、経済モデルを用いて比較した結果を図4.1.10に示す。ここでは、労働時間帯のシフトは日の出の時刻を考慮して最大3時間と仮定している。RCP8.5シナリオの下では、労働時間帯シフトを導入しない場合（2.4%のGDP損失）に比較すると、労働時間帯シフトを導入することで損失は少なく抑えられるものの1.6%のGDP損失が依然生じることが予測されました。一方、2℃目標が達成される状況の下（RCP2.6）では、最大3時間の労働時間帯シフトによりGDP損失は0.44%から0.14%まで軽減されると推計された。これらの結果は、地球温暖化の緩和策が実行されない限りは、労働時間帯のシフトだけで暑熱ストレスの影響を避けることは困難であることが示された。更に、仮に2℃目標に相当する緩和策が実施されたとしても、影響を完全に避けるためには、無視できない量（多い地域では2～3時間程度）の適応策の導入が必要であることを示している。

(a) 現状（2000年代）の
作業従事可能な時間の割合



(b) 作業従事可能時間の割合の
現状からの減少率（2090年代）



(c) 現状の作業従事可能な時間を保つために
必要な労働時間帯のシフト量（2090年代）

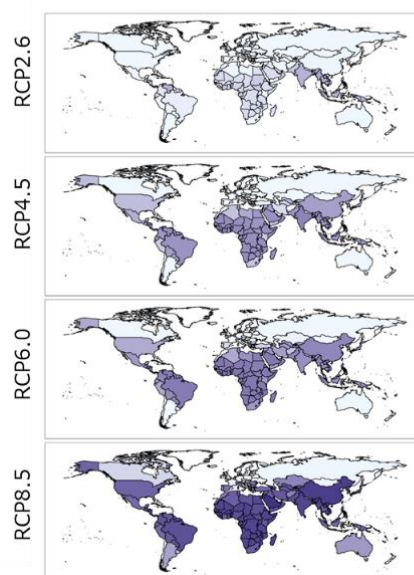


図4.1.9：気候変動による屋外作業可能時間への影響と必要な労働時間帯のシフト量

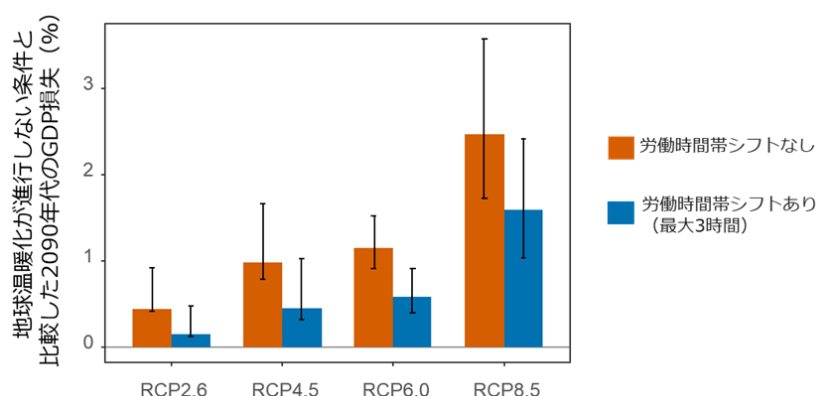


図4. 1. 10：労働時間帯シフトの有無によるGDP損失の比較

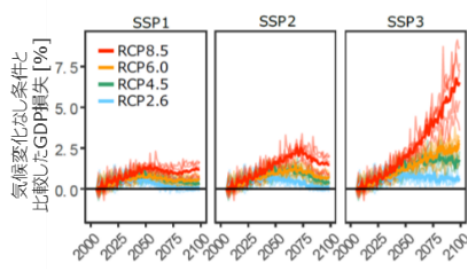
（5）簡易影響評価モデルの開発

開発した簡易影響評価手法（エミュレーション）によって、元のシミュレーション結果をどの程度再現できているか比較した結果の例を図4. 1. 11に示す。ここで、エミュレーションの手法としては、従来の統合評価モデルなどでよく使われている気温のみを入力とする2次式、気温以外の社会経済状況を表す変数も入力として用いる2次式、気温以外の社会経済状況を表す変数も入力として用いた上で、変数間の非線形な相互作用も考慮可能な人工ニューラルネットワーク（ANN）の異なる手法を用いている。図4. 1. 11(a)に示したシミュレーション結果と比較すると、2次式では、影響の大きさのSSP間の違いやSSP1およびSSP2で経済損失の増大が飽和する特性をうまく再現することができていない一方で、ANNを用いた場合には、このような傾向を概ね再現できていることが分かる。経済影響のエミュレーションには、従来用いられていた2次式のような単純な関数形ではなく、より複雑な入出力間の関係を表現することが可能なANNのような手法を用いることが有効であることが分かった。

（6）S-14プロジェクト全体におけるテーマ間連携のためのデータ提供

たとえば、S14-1「全体の総括と統合的戦略評価」においては、気候変動にかかる総費用（緩和コスト、適応コスト、残余被害）についての分析を実施しているが、残余被害（気候変動影響）については、2）にて述べた結果を提供した。また、緩和コストについても、AIM/CGEモデルによって算出した各SSPにおける緩和コスト（図4. 1. 12）の値を提供した。また、この緩和コストに対応する炭素価格の値についても、たとえばS-14-2「生態系保全による緩和策と適応策の統合」において推計された生態系における炭素貯留効果を金銭換算するといった目的にも提供した。

(a) シミュレーション結果



(b) エミュレーション結果

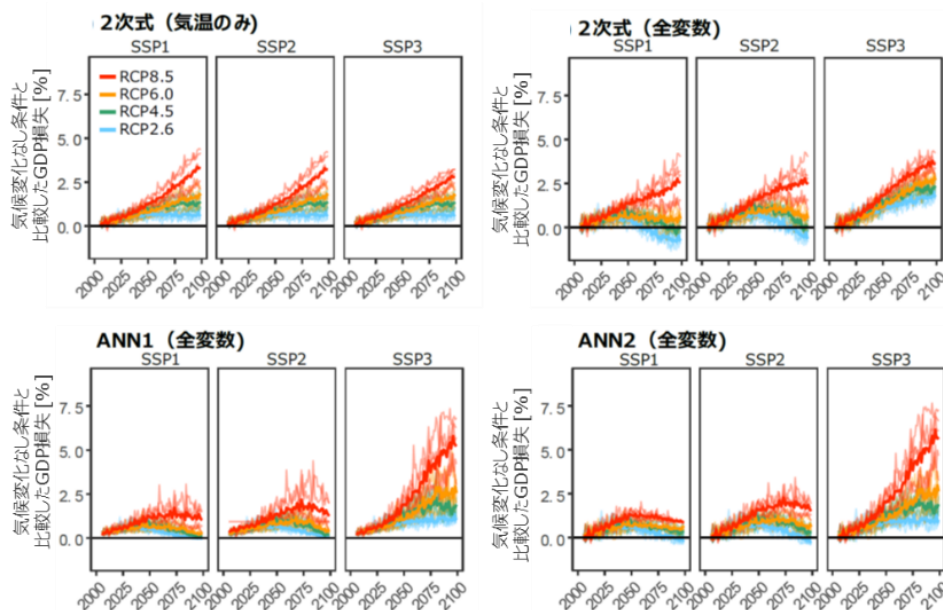


図4.1.11：気候変動による経済影響のシミュレーション結果とエミュレーション結果の比較例
(サブサハラ・アフリカ地域の気候変動による労働生産性低下による経済影響)

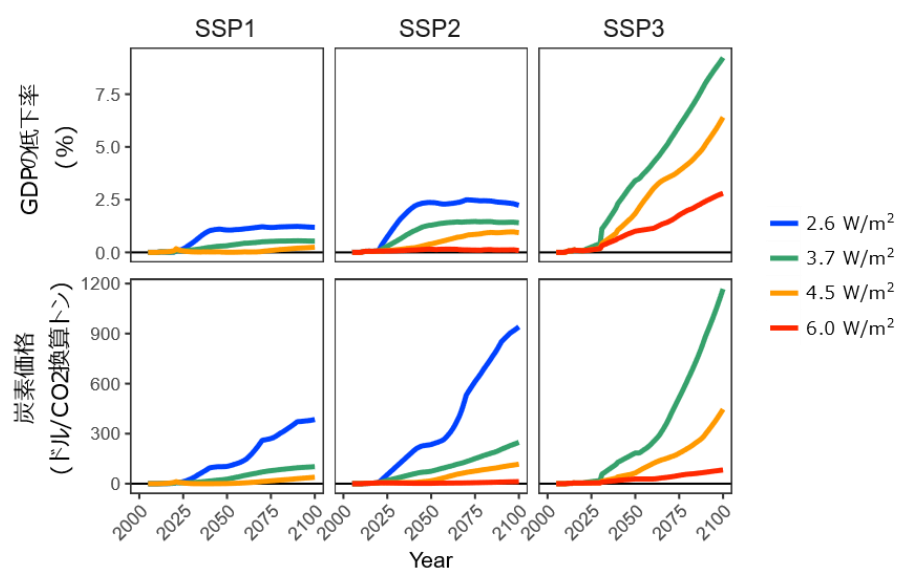


図4.1.12：A I M／C G Eモデルにより算出した緩和策実施コスト

他にも、A I M／C G Eモデルと結合して実行される土地利用モデルであるA I M／P L U Mモデルによって推計された土地利用データ等についても提供し、各種の分析で活用された。なお、これら提供したデータを用いて、他のテーマにおいて実施された分析結果の詳細については、各テーマからの報告書を参照されたい。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

各種個別の現象を扱う影響評価モデルを応用一般均衡モデルと結合させることにより、複数の異なる課題に対して、同一の枠組みで影響評価を実施し、知見を蓄積することができた。また、異なる課題に対する分析結果が互いに比較可能な形で得られており、各課題に対する優先順位・費用対効果などを判断するために必要な科学的知見が蓄積できている。これまで、気候変動に対する緩和策・影響・適応策の費用/効果を同一の枠組みで評価した知見は極めて限られていたが、本研究で得られる定量的で比較可能な結果は、より高度な科学的な進歩が期待できる。加えて、幅広い将来想定の下で、複数の気候モデルアンサンブルの結果を活用し分析することにより、推計結果の不確実性に対する寄与を定量化することが可能となった。その結果として、気候予測の不確実性を考慮してもなお、緩和策の実施規模や社会経済状況の改善といった要因が気候変動による影響の大きさを大きく左右することを示した。これらの結果は、気候変動による影響を軽減するための政策立案に対しても有用な知見として活用されることが期待される。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・分担者の高橋は「気候変動シナリオ分析に関する研究会（経済産業省産業技術環境局より（一財）日本エネルギー経済研究所が受託）」に委員として参加し、その第1回会合（2019年12月27日）において、本研究課題の成果（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）について話題提供した。
- ・分担者の高橋は「モデル・シナリオの勉強会（環境省地球環境局総務課脱炭素化イノベーション研究調査室主催；環境省、文部科学省、気象庁、農林水産省、国土交通省、経済産業省に開催案内）」に講師として参加し、本研究課題の成果も含めながら、影響・適応研究におけるモデル・シナリオの活用事例について話題提供した（2019年10月16日）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・I P C C 1.5℃特別報告書スコーピング会合に2名招聘され、S-14の研究で得られた知識や経験に基づき章構成の作成に貢献した。また、この特別報告書の第三章（Impacts of 1.5° C global warming on natural and human systems）主執筆者にも選ばれ、本研究の成果も踏まえ報告書を作成した。本研究にて得られた成果は複数の論文がI P C C 1.5℃特別報告書にも引用された。
- ・本研究にて得られた成果は、気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）あるいは、アジア太平洋気候変動適応情報プラットフォーム（AP-PLAT）において配信を予定している。これらの情報は、日本国内の自治体や企業、アジア太平洋諸国における気候変動適応施策の立案、実施において参考情報として活用されることが期待される。

6. 国際共同研究等の状況

- 1) 研究協力案件名 : The Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC)、カウンターパート : IAMC Members (Argonne National Laboratory, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics (ABARE)、Bundeswehr University, Munich Business Council for Sustainable Development - Argentina, CEA-LERNA, University of Social Sciences, Center for Energy and Environmental Policy Research, Beijing Institute of Technology (CEEP-BIT)、Central Research Institute of Electric Power Industry, Centre for International Climate and Energy Research (CICERO), University of Oslo, Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Developpement (CIRED)、Chalmers University, CRA International, DIW Berlin, ECN Netherlands, Electric Power Research Institute (EPRI)、Energy Research Institute, National Development and Reform Commission (NDRC)、Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP)、ETH Zurich, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies (IPTS)、Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM)、Frederick S. Pardee Center for International Futures, University of Denver, Hamburg University and Economic and Social Research Institute (ESRI)、Imperial College London, Indian Institute of Management, Institut d'Economie et de Politique de l'Energie (IEPE-CNRS)、Institute of Applied Energy, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)、Massachusetts Institute of Technology Joint Program on the Science and Policy of Global Change, National Center for Atmospheric Research (NCAR)、Ohio State University, Pacific Northwest National Laboratory, Joint Global Change Research Institute at the University of Maryland, Paul Scherrer Institute, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)、Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)、Programa de Planejamento Energetico - PPE/COPPE/UFRJ, Purdue University, RAND, Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE)、San Marcos University, Stanford University Energy Policy Forum (EMF)、Tellus Institute, Texas A&M University, Tsinghua University, Tyndall Centre for Climate Change Research, The University of East Anglia, Universidad de Los Andes / Universidad Nacional de Colombia, Universidad Iberoamericana Puebla, University College London, University of Cambridge, University of Denver, University of Oldenburg, US Environmental Protection Agency, VTT, World Bank、活動内容 : IAMC の Steering Committee のメンバーとして参画すると共に、モデル比較研究に貢献した。
- 2) 研究協力案件名 : The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP)、カウンターパート : Global Economics Team、活動内容 : Global Economics Team のメンバーとしてモデル比較研究に貢献した
- 3) 研究協力案件名 : Exploring National and Global Actions to Reduce Greenhouse Gas Emissions (ENGAGE)、カウンターパート : International Institute for Applied Systems Analysis (Austria) - Project coordinator, Potsdam Institute for Climate Impact Research (Germany), Ministry of Infrastructure and Water Management (Netherlands), Euro-Mediterranean Center on Climate Change (Italy), E3 Modelling (Greece), Central European University (Hungary), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Brazil), The Energy and Resources Institute

(India), National Institute for Environmental Studies (Japan), NewClimate Institute (Germany), Wageningen University (Netherlands), National Research University Higher School of Economics (Russia), Tsinghua University (China), Energy Research Institute (China), National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (China), Indian Institute of Management (India), Research Institute of Innovative Technology for the Earth (Japan), Korea Advanced Institute of Science and Technology (Korea), University of Seoul Industry Cooperation Foundation (Korea), Sirindhorn International Institute of Technology - Thammasat University (Thailand), International University - Vietnam National University Ho Chi Minh City (Vietnam), Bandung Institute of Technology (Indonesia), Jill Jaeger (Austria), Utrecht University (Netherlands), Kyoto University (Japan)、活動内容：モデル比較研究への貢献と本プロジェクトで得られた推計結果の情報提供を実施している。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 長谷川知子、藤森真一郎、横畠徳太、高橋潔、増井利彦：土木学会論文集G(環境)，71 (6)，23-34(2015) 気候変化による低栄養に起因する健康影響の経済評価
- 2) T. Hasegawa, S. Fujimori, K. Takahashi, T. Yokohata and T. Masui : Climatic Change, 136:189-202 (2016) Economic implications of climate change impacts on human health through undernourishment.
- 3) S. Fujimori, I. Kubota, H. Dai, K. Takahashi, T. Hasegawa, J. Liu, Y. Hijioka, T. Masui and M. Takimi: Environmental Research Letters, 11, 104001 (2016) Will international emissions trading help achieve the objectives of the Paris Agreement?
- 4) T. Hasegawa, P. Chan, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Hijioka and T. Masui: Palgrave Communications, 2, 16013-20. (2016) Quantifying the economic impact of changes in energy demand for space heating and cooling systems under varying climatic scenarios
- 5) S. Fujimori, X. Su, J. Liu, T. Hasegawa, K. Takahashi, T. Masui, M. Takimi: SpringerPlus, 5:1620 (2016) Implication of Paris Agreement in the context of long term climate mitigation goals.
- 6) P. Alexander, R. Prestele, P.H. Verburg, A. Arneth, C. Baranzelli, F.B. Silva, C. Brown, A. Butler, K. Calvin, K. Dendoncker, J.C. Doelman, R. Dunford, K. Engstrom, D. Eitelberg, S. Fujimori, P.A. Harrison, T. Hasegawa, P. Havlik, S. Holzhauser, F. Humoenoder, C. Jacobs-Crisioni, A.K. Jain, T. Krisztin, P. Kyle, C. Lavalley, T. Lenton, J. Liu, P. Meiyappan, A. Popp, T. Powell, R.D. Sands, R. Schaldach, E. Stehfest, J. Steinbuks, A. Tabeau, H.V. Meijl, M.A. Wise and M.D.A. Rounsevell: Global Change Biology, 23, 767-781 (2017) Assessing uncertainties in land cover projections

- 7) S. Fujimori, M. Abe, T. Kinoshita, T. Hasegawa, H. Kawase, K. Kushida, T. Masui, K. Oka, H. Shiogama, K. Takahashi, H. Tatebe and M. Yoshikawa: PLOS ONE, 12 (1), e0169733-e0169733 (2017) Downscaling Global Emissions and Its Implications Derived from Climate Model Experiments
- 8) S. Fujimori, N. Hanasaki and T. Masui: Sustainability Science, 12 (2), 275-292 (2017) Projections of industrial water withdrawal under shared socioeconomic pathways and climate mitigation scenarios
- 9) T. Hasegawa, S. Fujimori, A. Ito, K. Takahashi, and T. Masui: Science of The Total Environment, 580, 787-796 (2017) Global land-use allocation model linked to an integrated assessment model
- 10) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Hasegawa, Y. Honda, T. Masui (2017) Cost of preventing workplace heat-related illness through worker breaks and the benefit of climate-change mitigation. Environmental Research Letters, 12, 064010
- 11) T. Iizumi, J. Furuya, Z. Shen, W. Kim, M. Okada, S. Fujimori, T. Hasegawa, M. Nishimori (2017) Responses of crop yield growth to global temperature and socioeconomic changes. Scientific Reports, 7 (7800)
- 12) 藤森真一郎, 飯泉仁之直, 長谷川知子, 高倉潤也, 高橋潔, 肱岡靖明, 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
- 13) 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
- 14) 高橋潔, 佐尾博志, 本田靖, 藤森真一郎, 高倉潤也: 土木学会論文集G (環境), 74 (5), I_53-I_60 (2018) 地球温暖化に伴う熱関連死亡による被害額.
- 15) S. Fujimori, T. Iizumi, T. Hasegawa, J. Takakura, K. Takahashi, Y. Hijioka: Sustainability, 10 (10), 3673 (2018) Macroeconomic Impacts of Climate Change Driven by Changes in Crop Yields.
- 16) M. Okada M, T. Iizumi, T. Sakamoto, M. Kotoku, G. Sakurai, Y. Hijioka, M. Nishimori: Earth's Future, 6 (2018) Varying benefits of irrigation expansion for crop production under a changing climate and competitive water use among crops.
- 17) C. Park, S. Fujimori, T. Hasegawa, J. Takakura, K. Takahashi, Y. Hijioka: Environmental Research Letters, 13, 045010 (2018) Avoided economic impacts of energy demand changes by 1.5 and 2 °C climate stabilization.
- 18) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, T. Hasegawa, Y. Honda, N. Hanasaki, Y. Hijioka, T. Masui: Earth's Future, 6 (2018) Limited Role of Working Time Shift in Offsetting the Increasing Occupational-Health Cost of Heat Exposure.
- 19) L. Tang, Y. Furushima, Y. Honda, T. Hasegawa, N. Itsubo: The International Journal of Life Cycle Assessment (2018) Estimating human health damage factors related to CO2 emissions by considering updated climate-related relative risks.

- 20) 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: 土木学会論文集G(環境), 75(5), I_73-I_80 (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
- 21) 西浦理, 藤森真一郎, 田村誠: 土木学会論文集G(環境) 75(5), I_81-I_88. (2019) 全世界の波及的な効果を考慮した海面上昇によるマクロ経済影響評価
- 22) S.E. Kim, H. Lee, J. Kim, Y.K. Lee, M. Kang, Y. Hijioka, H. Kim: Environmental Health, 18(55) (2019) Temperature as a risk factor of emergency department visits for acute kidney injury: a case-crossover study in Seoul, South Korea
- 23) S.E. Kim, X. Yang, H. Dai, S. Fujimori, Y. Hijioka, Y. Honda, M. Hashizume, T. Masui, T. Hasegawa, X. Xu, K. Yi, H. Kim: Environment International, 136(105507) (2020) Air quality co-benefits from climate mitigation for human health in South Korea
- 24) Y. Mo, H.G. Kim, P.R. Huber, J.H. Thorne, Y. Hijioka, D.K. Lee: Global Ecology and Conservation, 20(2019) Influences of planning unit shape and size in landscapes dominated by different land-cover types on systematic conservation planning
- 25) H. Ohashi, T. Hasegawa, A. Hirata, S. Fujimori, K. Takahashi, I. Tsuyama, K. Nakao, Y. Kominami, N. Tanaka, Y. Hijioka, T. Matsui: Nature Communications, 10, 5240 (2019) Biodiversity can benefit from climate stabilization despite adverse side effects of land-based mitigation
- 26) J. Takakura, S. Fujimori, N. Hanasaki, T. Hasegawa, Y. Hirabayashi, Y. Honda, T. Iizumi, N. Kumano, C. Park, Z. Shen, K. Takahashi, M. Tamura, M. Tanoue, K. Tsuchida, H. Yokoki, Q. Zhou, T. Oki, Y. Hijioka: Nature Climate Change, 9, 737-741 (2019) Dependence of economic impacts of climate change on anthropogenically directed pathways
- 27) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Hijioka, Y. Honda: International Journal of Biometeorology, 63(6), 787-800 (2019) Site-specific hourly resolution wet bulb globe temperature reconstruction from gridded daily resolution climate variables for planning climate change adaptation measures

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 肱岡靖明: 減CO2クラブ, (14), 2 (2015) 今後10年における我が国の気候変動影響への適応の取り組みについて
- 2) 肱岡靖明: 月刊ガバナンス, (174), 14-16 (2015) 気候変動の現状と適応計画
- 3) 肱岡靖明: 国立天文台編, 理科年表 平成28年, 丸善出版, 1098p (2015)
- 4) 肱岡靖明: 国立天文台編, 環境年表 平成27-28年(理科年表シリーズ), 丸善出版, 498p (2015)
- 5) 江守正多, 肱岡靖明, 甲斐沼美紀子: 江守正多, 肱岡靖明, 甲斐沼美紀子監修, IPCC reoort communicator ガイドブック～基礎知識編～ 統合報告書 基礎知識編, IPCC リポートコミュニケーター・プロジェクト, 38p (2015)
- 6) 原澤英夫, 肱岡靖明: クロスメディア・マーケティング, 78-79 80-81 82-83 (2015) 7.1 影響評価の概要. 7.2 影響評価のための統合評価モデル. 7.3 分野別の影響評価手法とそのケーススタディ. 三村信男監修, 気候変動適応策のデザイン,

- 7) 国立天文台編：環境年表、丸善出版、479-487（2015）
- 8) 肱岡靖明：土木学会誌、102（1）、12-15（2017）気候変動による日本への影響。
- 9) 肱岡靖明：国立天文台編、環境年表 平成 29-30 年（理科年表シリーズ）、丸善出版、536p（2017）
- 10) 肱岡靖明：近代科学社、2-4 220-229 229-234（2016）1.1 地球温暖化の進行。5.1.1 北米各都市における適応策。5.1.2 英国気候変動法に基づく Adaptation reporting power に見る公益企業の気候変動適応計画。国土文化研究所監修、気候変動下の水・土砂災害適応策 -社会実装に向けて-
- 11) 肱岡靖明：国立天文台編、理科年表 平成 29 年、丸善出版、1104p（2016）
- 12) K. Takahashi, M. Sato, Y. Hijioka: Walter Leal Filho, Kathryn Adamson, Rachel M. Dunk, Ulisses M. Azeiteiro, Sam Illingworth, Ftima Alves eds., Implementing Climate Change Adaptation in Cities and Communities, Springer International Publishing, 303-320（2016）Trends and Issues of Climate Change Education in Japan
- 13) 藤森真一郎：生産研究、68(5)、403-409（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
- 14) P. Kyle, N. Johnson, E. Davies, D. L. Bijl, Mouratiadou I., M. Bevione, L. Drouet, S. Fujimori, Y. Liu and M. Hejazi: Environmental Science & Technology, 50(17), pp 8930-8931（2016）“Setting the System Boundaries of Energy for Water for Integrated Modeling”
- 15) T. Hasegawa, S. Fujimori, Y. Shin, K. Takahashi, T. Masui and A. Tanaka: The WSPC Reference on Natural Resources and Environmental Policy in the Era of Global Change Volume 3: Computable General Equilibrium Models, CHAPTER 8（2017）Global Assessment of Agricultural Adaptation to Climate Change using CGE Model
- 16) 肱岡靖明：全国環境研会誌、43（4）、8-15（2018）気候変動影響・気候変動適応研究の現状
- 17) 西浦理、藤森真一郎、田村誠：環境衛生工学研究 33-3、124-126（2019）気候変動が引き起こす海面上昇による波及的な経済影響の評価

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 長谷川知子、藤森真一郎、横畠徳太、高橋潔、増井利彦：第 43 回環境システム研究論文発表会（2015）気候変化による低栄養に起因する健康影響の経済評価
- 2) 高橋潔：日本学術会議公開シンポジウム「生命を育む地球環境の変動予測と適応—我が国における IGBP25 年間の歩み」（2015）物理・生態・人間システムのつながりのモデル化
- 3) C. Park, T. Hasegawa, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Masui: Eighth Annual Meeting of the IAMC 2015, Potsdam, Germany, (2015) Economic consequences of climate-induced changes in the energy demand for heating and cooling
- 4) K. Takahashi, M. Sato and Y. Hijioka: World Symposium on Climate Change Adaptation (WSCCA-2015), Manchester, England, (2015) Trends and issues of Climate Change Education in Japan
- 5) K. Takahashi, A. Ito, S. Fujimori: UNESCO JAPAN workshop on participatory scenarios (2015) The latest scenario sets commonly utilized in the climate change research community
- 6) S. Fujimori: Climate Change Impacts & Integrated Assessment XXI (CCI/IA), (2015) Integrated assessment model with agricultural impact
- 7) S. Fujimori, T. Hasegawa, K. Takahashi, T. Masui: AgMIP Global Economic Modeling

- (GlobEcon) group, Phase 2 progress meeting (2015) How to construct the SSPs? - the AIM example
- 8) S. Fujimori, S. Ron, T. Hasegawa: EMF 33 meeting (2015) EMF33 bioenergy supply scenario CGE implementation issues: FARM and AIM approaches
 - 9) T. Hasegawa, S. Fujimori, K. Takahashi, T. Yokohata, T. Masui: IAMC meeting 2015 (2015) Economic implications of climate change on human health through undernourishment
 - 10) 肱岡靖明: 第1回 適応自治体フォーラム(2016) SI-CAT アプリの概要
 - 11) 肱岡靖明: 第31回 日本国際保健医療学会学術大会(2016) 気候変動によるリスクと適応策
 - 12) 岡和孝、肱岡靖明: 環境科学会 2016 年会 (2016) 自治体レベルにおける気候変動の影響評価および適応策の検討を支援するためのアプリケーションの開発 (SI-CAT アプリの開発)
 - 13) 高橋敬子、肱岡靖明、高橋潔、花崎直太: 日本環境教育学会第27回大会(東京)(2016) 気候変動教育実施に向けた自治体の役割とは-日本・ドイツ・オーストリアの事例分析に基づいて
 - 14) 長谷川知子、藤森真一郎、高橋潔、増井利彦: 第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (2016) 気候緩和策による食料安全保障への影響分析
 - 15) 藤森真一郎、増井利彦、高橋潔: 「1.5°Cに抑える努力の追求(パリ協定)」研究者集会(2016) IAM 研究コミュニティでの1.5°C CSRに向けた動き
 - 16) 高橋敬子、肱岡靖明、高橋潔、花崎直太: 日本環境教育学会第27回大会(東京)(2016) 気候変動教育実施に向けた自治体の役割とは-日本・ドイツ・オーストリアの事例分析に基づいて
 - 17) S. Fujimori, I. Kubota, H. Dai, K. Takahashi, T. Hasegawa, J. Liu, Y. Hijioka, T. Masui and M. Takimi: Ninth Annual Meeting of the IAMC 2016, Beijing, China (2016) Will International Emissions Trading Help Achieve the Objectives of the Paris Agreement?
 - 18) C. Park, T. Hasegawa, S. Fujimori, J. Takakura, K. Takahashi, Y. Hijioka and T. Masui: Ninth Annual Meeting of the IAMC 2016, Beijing, China (2016) Economic implications of limiting global temperature at 1.5 °C: the case of building energy use
 - 19) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Hasegawa, Y. Honda and T. Masui: Ninth Annual Meeting of the IAMC 2016, Beijing, China (2016) Economic cost of workplace heatstroke prevention by following recommended work/rest cycles
 - 20) T. Hasegawa, S. Fujimori and Y. Ochi: AgMIP6 Global workshop, Montpellier, France (2016) Food security: multi-model comparison preliminary analysis
 - 21) T. Hasegawa, J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, T. Masui, Y. Hijioka and Y. Honda: Assessment of human health impacts from climate change - steps forward, JRC Seville, Seville, Spain (2016) Economic impact assessment of climate change impacts on human health using AIM/CGE: undernourishment and labor productivity
 - 22) K. Takahashi, S. Fujimori, N. Hanasaki, T. Hasegawa, Y. Hijioka, T. Masui, C. Park, A. Tanaka and Q. Zhou: Snowmass Workshops: Climate Change Impacts and Integrated Assessment, Colorado, U.S.A (2016) AM-IAV-ESM linkage in AIM project - Focusing spatial resolution issues-
 - 23) K. Takahashi: Regional Action on Climate Change Conference (RACC9) (2017) Integrated Analysis of Mitigation and Adaptation

- 24) T. Hasegawa, P. Havilik, S. Fujimori, Y. Ochi: Coordinated Global and Regional Assessment Workshop +1.5/+2.0 ° C Worlds and Beyond (2017) Using Food Security Indicators Climate mitigation effects on food security: multi global economic modelling comparison
- 25) S. Fujimori, J. Takakura: CGRA +1.5 AND 2° C IMPACTS WORKSHOP (2017) AgMIP Phase 2, 2nd round core scenario results overview and some insights
- 26) S. Fujimori, J. Takakura, S. Hasegawa, N. Hanasaki, T. Iizunmi, K. Takahashi, Y. Hijioka: Workshop on Modeling Integrated Energy-Water-Land Systems Dynamics (2017) Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate change MiLAI Project
- 27) 藤森真一郎, 飯泉仁之直, 長谷川知子, 高倉潤也, 高橋潔, 肱岡靖明, 増井利彦: 第25回地球環境シンポジウム (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
- 28) J. Liu, S. Fujimori, K. Takahashi, T. Hasegawa, X. Su, T. Masui: 2nd Global Conference on Theory and Applications of OR/OM for Sustainability (2017) Socio-economic factors and future challenges of the 1.5°C goal
- 29) T. Hasegawa, J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, T. Yokohata, T. Masui, Y. Hijioka, Y. Honda: Impacts World 2017 (2017) Avoid climate change impacts on human health through undernourishment in the context of the Paris Agreement
- 30) T. Hasegawa, G. Sakurai, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Masui: Impacts World 2017 (2017) Global food insecurity under climate volatility
- 31) 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: 第45回環境システム研究論文発表会 (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
- 32) T. Hasegawa, H. Ohashi, S. Fujimori, K. Takahashi, T. Masui: The Food and Land-Use Coalition Work Stream 1: Food Agriculture, Biodiversity, Land and Energy (FABLE) Pathways First meeting of the country teams (2017) Land use in AIM-Health-CGE: global food, agriculture and land use in AIM
- 33) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Honda, T. Hasegawa, Y. Hijioka, T. Masui: Tenth Annual Meeting of the IAMC 2017 (2017) Economic assessment of effectiveness of shifting working time to offset the impact of labor capacity reduction due to climate change
- 34) G. Sakurai, M. Okada, M. Nishimori, M. Yokozawa: AGU Fall Meeting 2017 (2017) Benefits of seasonal forecasts of crop yields
- 35) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Honda, T. Hasegawa, Y. Hijioka, T. Masui: Impacts World 2017 (2017) Adaptation difficulties in keeping labor capacity under the climate change
- 36) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Honda, T. Hasegawa, Y. Hijioka, T. Masui: 17th International Conference on Environmental Ergonomics (2017) Can human biologically adapt to the forthcoming climate change? From the viewpoint of workable hours under thermal stresses
- 37) M. Okada M, T. Iizumi, T. Sakamoto, M. Kotoku, G. Sakurai, M. Nishimori: AGU Fall Meeting 2017 (2017) The limit of irrigation adaption due to the inter-crop conflict of water use

- under changing climate and landuse.
- 38) 高橋潔, 佐尾博志, 本田靖, 藤森真一郎, 高倉潤也: 第26回地球環境研究シンポジウム (2018) 地球温暖化に伴う熱関連死亡による被害額
 - 39) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Q. Zhou, N. Hanasaki, T. Iizumi, Y. Honda, T. Hasegawa, T. Masui, Y. Hijioka: Scenarios Forum 2019 (2019) Emulators to explore economic impact of climate change under numerous scenario combinations.
 - 40) 岡田将誌, 花崎直太, 高橋潔, 肱岡靖明: 日本農業気象学会 2018 年全国大会 (2018) アジアにおける水資源制約下での灌漑による気候変化適応の地域的特徴.
 - 41) M. Okada, Y. Hijioka: AGU Fall Meeting 2018 (2018) Impact of irrigation on crop yield gain under future change in water resources.
 - 42) G. Sakurai, T. Doi, M. Okada, M. Nishimori, M. Yokozawa: EGU General Assembly 2018 (2018) Potential benefits of changing the planting date to account for seasonal weather forecasts.
 - 43) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Q. Zhou, N. Hanasaki, T. Iizumi, Y. Honda, T. Hasegawa, T. Masui, Y. Hijioka: Eleventh Annual Meeting of the IAMC 2018 (2018) Emulation of projected economic impacts of climate change: Mimicking integrated assessment models coupled with bio/physical impact models.
 - 44) 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: 第27回地球環境シンポジウム(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 (富山)
 - 45) 西浦理, 藤森真一郎, 田村誠: 第27回地球環境シンポジウム (2019) 全世界の波及的な効果を考慮した海面上昇によるマクロ経済影響評価 (富山)
 - 46) 肱岡靖明: 第46回長野県環境科学研究発表会 (2019) 気候変動による影響とその適応 (長野)
 - 47) S. Fujimori: Twelfth Annual Meeting of the IAMC 2019 (2019) Climate change impacts: a CGE modeling approach (Tsukuba, Japan)
 - 48) J. Takakura, S. Fujimori, N. Hanasaki, T. Hasegawa, Y. Honda, T. Iizumi, C. Park, K. Takahashi, Q. Zhou, Y. Hijioka (2019) Sector-wide Estimation of Economic Impacts of Climate Change Considering Variations in Exposure and Vulnerability Represented by SSP Scenarios. Twelfth Annual Meeting of the IAMC 2019 (Tsukuba, Japan)
 - 49) 岡田将誌, 肱岡靖明: 2019 年日本地理学会秋季学術大会 (2019) 気候および農家労働環境からみた徳島県における果樹園分布の地域差異 (新潟)
 - 50) 岡田将誌, 肱岡靖明: 日本農業気象学会 2020 年全国大会 (2020) 世界主要穀物生産に対する渇水リスク予測 (堺)
 - 51) O. Nishiura, S. Fujimori, M. Tamura: Twelfth Annual Meeting of the IAMC 2019 (2019) An Assessment of Global Macro-Economic Impacts caused by Sea Level Rise Using SSPs and RCPs framework (Tsukuba, Japan)
 - 52) M. Okada, T. Iizumi, Y. Hijioka: AGU Fall Meeting 2019 (2019) Future climate change decreases benefits from irrigation for global food production (San Francisco, U.S.A.)

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) Y. Hijioka: Japan - Korea International Workshop for Climate Impact and Economic Assessment Consider Uncertainty, 2015 “Overview of Research on Climate Change Impacts and Adaptation in Japan”
- 2) 肱岡靖明：第62回日本生態学会大会(2015)「T14 地球温暖化と生態系 ～質問～」
- 3) 肱岡靖明：地球環境を守るかごしま県民運動推進大会(2015)「地球温暖化に関する最新状況」
- 4) 肱岡靖明：平成27年度環境問題研修会・事業成果等発表会(2015)「気候変動の影響と適応策」
- 5) Y. Hijioka: Tokyo workshop for weather presenters: communicating the science of climate change, 2015 “Major Impacts and Vulnerabilities for Asia”
- 6) Y. Hijioka: RACC8, 2016 “Knowledge Platform for Regional and Local Adaptation Actions”
- 7) 肱岡靖明：東京大学環境システム第8回談話会(2016)「気候変動による影響評価と適応政策検討のための統合評価モデル開発と今後の課題」
- 8) Y. Hijioka: Sophia University Symposium Asia and the World in the 21st Century: Living with Climate Change Transcending borders towards working solutions, 2016 “Major Impacts and Vulnerabilities for Asia”
- 9) 肱岡靖明：第43回 環境保全・公害防止研究発表会(2016)「地域における気候変動適応へのアプローチ」
- 10) 肱岡靖明：気候変動に伴う福島県の温暖化影響予測報告会(2016)「気候変動による各分野の影響の考え方について」
- 11) 肱岡靖明：気候変動に伴う福島県の温暖化影響予測報告会(2016)「福島県における気候変動による健康への影響」
- 12) 肱岡靖明：地球温暖化防止セミナー「2050年の地球はどうなってる？」(浜田)(2016)「地球温暖化による島根の影響は？」
- 13) 肱岡靖明：地球温暖化防止セミナー「2050年の地球はどうなってる？」(出雲)(2016)「地球温暖化による島根の影響は？」
- 14) 肱岡靖明：徳島県環境審議会(2016)「気候変動による影響とその適応策」
- 15) 肱岡靖明：H28年度気候講演会 どげんなっとうと！？地球温暖化(2016)「気候変動による影響とその適応策」
- 16) 肱岡靖明：第14回 環境研究シンポジウム(2016)「気候変動によるリスクと適応策」
- 17) Y. Hijioka: THE 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATE CHANGE ADAPTATION, 2016 “Recent climate change adaptation activities in Japan”
- 18) 肱岡靖明：川内川サミット(2016)「気候変動の影響と適応策」
- 19) 肱岡靖明、藤森真一郎：第61回水工学講演会『第29回アゲールシンポジウム』(2017)「気候変動影響評価における社会経済シナリオの役割」
- 20) 肱岡靖明：中国四国地域の気候変動への適応策連絡会議(2017)「適応策を巡る最近の動向と地域に期待される取組」

- 21) 肱岡靖明：東京都技術職員研修『技術セミナー3』（2017）「気候変動による影響とその適応策」
- 22) Y. Hijioka: 2nd International Forum on Sustainable Future in Asia, 2nd NIES International Forum, 2017 “Recent climate change adaptation activities in Japan”
- 23) 肱岡靖明：気候変動リスクと適応に関するセミナー（函館）（2017）「気候変動による影響とその適応策」
- 24) 肱岡靖明：気候変動リスクと適応に関するセミナー（札幌）（2017）「気候変動による影響とその適応策」
- 25) 肱岡靖明：気候変動適応策 地域・自治体スケールの策定支援研究会（2017）「日本における気候変動影響評価と適応策に関する研究概要」
- 26) Y. Hijioka: CLICC Asia Regional Workshop, 2017” Recent climate change adaptation activities in Japan”
- 27) 高橋潔：パタゴニア第6回草の根活動家のためのツール会議：気候変動編（2018）気候変動の影響、現状を知る
- 28) 高橋潔：大和証券株式会社勉強会（2018）気候変動リスクとその管理について考える
- 29) 肱岡靖明：平成30年度エネルギー特別講座「IPCC1.5℃特別報告書について」（2019）IPCC 1.5℃特別報告書 ～第3章～自然及び人間システムにおける1.5℃地球温暖化の影響
- 30) 肱岡靖明：シンポジウム「動き出すパリ協定、選ばれる企業」（2019）気候変動によるリスクと適応.
- 31) 肱岡靖明（2019）気候変動によるリスクと適応. シンポジウム「動き出すパリ協定、選ばれる企業」
- 32) 肱岡靖明（2019）気候変動適応センターとしての役割. 2019年度エコカレッジ（職域コース）
- 33) 肱岡靖明（2019）現在日本で起きている気候変動影響、並びに今後予測される変化・影響について. Signs from Nature 公開記念イベント《東京》
- 34) 肱岡靖明（2019）IPCC 1.5℃特別報告書 ～第3章～自然及び人間システムにおける1.5℃地球温暖化の影響. 平成30年度エネルギー特別講座「IPCC1.5℃特別報告書について」

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 毎日新聞（2017年6月13日、全国版夕刊、8項「温暖化でGDP4%減 今世紀末の世界対策取らぬ場合」）
- 2) 毎日新聞（2018年11月4日、全国版3頁、「始業時間6時間前倒し 熱中症避けて働くには 世界の気温4.5度上昇時」）
- 3) 毎日新聞（2019年10月16日 全国版 17項「温暖化被害 最悪GDPの8.6%に」）

（6）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) S. Fujimori, T. Masui, Y. Matsuoka : NIES Discussion Paper, 2012-01 (2012) AIM/CGE [basic] manual
- 2) D. P. van Vuuren et al.: Climatic Change 109, 5 (2011) The representative concentration pathways: an overview
- 3) B.C. O’Neill et al.: Climatic Change 122, 387-400 (2013) A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways

Ⅱ－２ 全球物理影響評価モデルを一般均衡モデルと連携させるための理論的・技術的基盤の確立に関する研究

国立環境研究所 気候変動適応センター 気候変動影響評価研究室 花崎直太

国立環境研究所 気候変動適応センター 気候変動影響評価研究室 Zhou Qian（平成27-30年度のみ）

国立環境研究所 気候変動適応センター 気候変動影響評価研究室 Ai Zhipin（平成30-31年度のみ）

平成27年度～令和元年度研究経費（累計額）：80,003千円（研究経費は間接経費を含む）

（平成29年度：15,992千円、平成30年度：15,193千円、令和元年度：15,992千円）

〔要旨〕

物理法則に基づく水資源モデルと経済法則に基づく応用一般均衡モデルを連動させるための技術開発を進め、エネルギーに関する水利用に焦点を当てて気候変動の緩和策と影響評価にまたがる包括的な研究を実施した。研究は主に、水力発電への影響評価、火力発電への影響評価、バイオ燃料作物の収量評価、統合的影響評価への貢献の4つからなる。水力発電への影響評価については、2℃目標を達成する（炭素価格が高くなる）世界において、温暖化による水力発電賦存量の増減の経済的影響が21世紀末に最大で地域のGDPの0.2%に及び、温暖化対策による地域のGDP損失の約1割に相当することを明らかにした。火力発電への影響評価については、全球平均気温が4℃上昇するRCP8.5シナリオにおいて、温暖化による火力発電の利用可能量の低下の経済的影響は21世紀の後半に最大で地域のGDPの0.6%、世界のGDPの0.2%に及ぶことを明らかにした。バイオ燃料作物の収量評価については、全球水資源モデルを拡張し、食糧生産との競合の少ない第2世代バイオ燃料の代表的作物であるMiscanthusとSwitchgrassの収量を世界的に推定可能にした。統合的影響評価への貢献については、気候変動に関する水資源影響評価を実施し、統合的な物理的・経済的影響評価の実現に貢献した。

〔キーワード〕

水力発電、火力発電冷却用水、バイオ燃料作物灌漑

1. はじめに

気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略を立てるにあたり、水資源は両者と密接に関わる要素である。水は社会に欠かせない資源であり、緩和策の中にも水を大量に消費するものが含まれている。一方で温暖化の影響によって将来の気候が変化し、安定的に得られる水資源量は減少すると予測されており、悪影響回避のために必要な緩和策や適応策が議論されている。気候政策や持続可能社会への転換政策の検討にあたり、水資源を考慮することは極めて重要である。

世界の社会・経済・温室効果ガス排出および地球の水循環・水利用を定量的に評価するための道具として、それぞれ応用一般均衡モデルと全球水資源モデルがある。これまで緩和策の検討には応用一般均衡モデルを中心とする統合評価モデルが利用されてきたが、多くの場合、水資源の制約は考慮されていなかった。また、世界の水資源への影響評価と適応策の検討には全球水資源モデルが利用されてきたが、社会・経済の扱いが弱いという問題があった。

2. 研究開発目的

本研究は世界で最も詳細に人間の水利用が扱える全球水資源モデルの一つであるH08と、同じく最も包括的に世界の社会・経済変化と気候政策を扱える応用一般均衡モデルの一つであるAIM/CGEを連動させるための理論的・技術的基盤を確立し、社会・経済・温室効果ガス排出の変化および水資源・水利用の変化を、相互作用させつつ整合的にシミュレーションすることを目的とする。これにより、水不足問題を回避した統合的な緩和策と適応策を評価・分析することを可能にする。適応策・緩和策・水資源の複合問題は世界的に関心の高いテーマであり、得られた知見はIPCC報告書等、世界に向けて発信する。なお、本研究は水資源に注目するが、研究の骨格は他の分野にも応用できると考えられる。

3. 研究開発方法

平成27年度は水力発電に着目して研究を実施した。環境省総合推進費S-10プロジェクトにおいて、全球水資源モデルH08単体を利用した将来の水力発電賦存量の温暖化影響評価が実施されている（眞崎ら、2014）。また、応用一般均衡モデルAIM/CGE単体を利用した将来の水力発電量の推定が共通社会経済パス（SSP）シナリオの開発時に実施されている（Fujimori et al., 2017）。ただし、AIM/CGEのシミュレーションにおいて、温暖化に伴う水力発電賦存量の変化は考慮されていなかった。そこで、AIM/CGEとH08を連携させることにより、AIM/CGEには水力発電賦存量の制約を、H08には水力発電量（需要）の制約を導入し、緩和・適応に関する検討を実施することを目標とした。両モデルを連携させることにより、温暖化影響および緩和策の実施が全球・地域規模にどのような影響を与えるのか、検討を行った。

方法の概要を示したのが図3.2.1である。まず、気候シナリオをH08に与えることにより、気候変化の影響下における地域別の包蔵水力を推定した。次にH08の結果を利用して、地域別に包蔵水力を変化させることにより、温暖化や緩和のシナリオに応じて、発電量、電源構成、GDPなどにどのような影響が出るのかをシミュレーションした。結果は、世界平均に加え、AIM/CGEの17の地域区分から、水文学的に対照的な特徴を持つブラジルおよびカナダに着目した（Zhou et al. 2016; 2018a）。

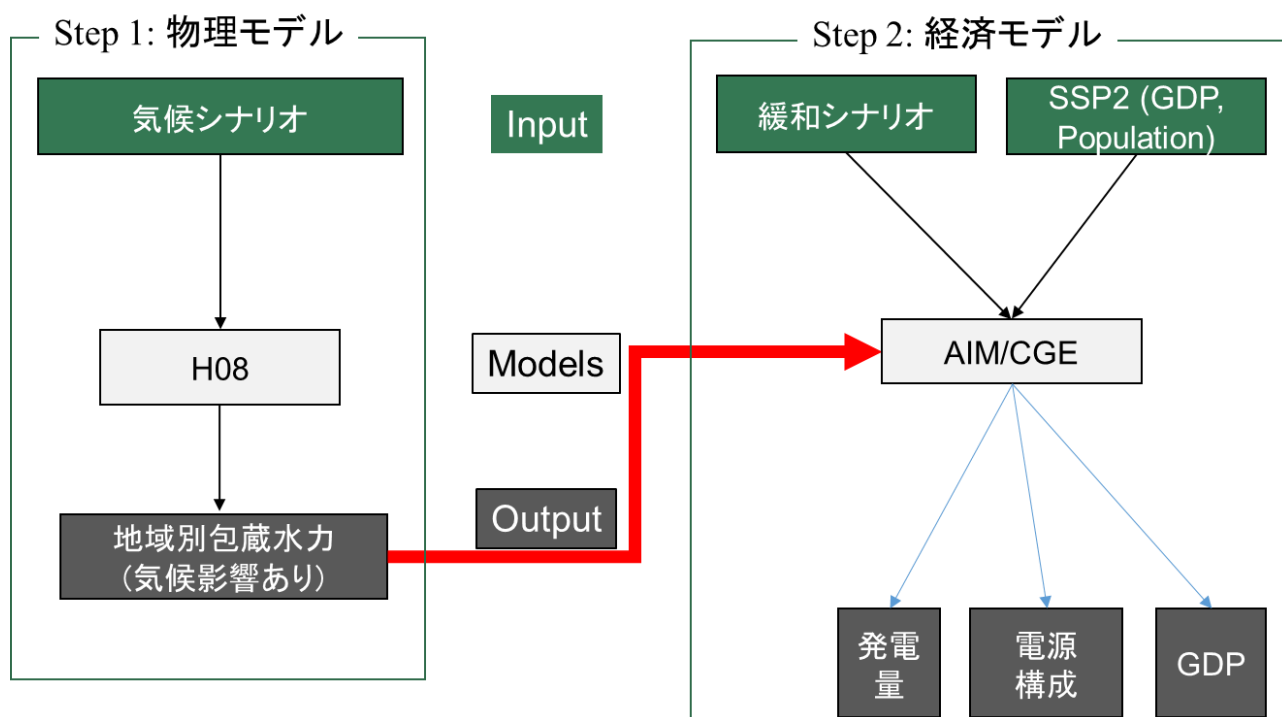


図3.2.1：水力発電に係るモデル連携の模式図

平成28年度は火力発電の冷却用水に着目して研究を実施した。日本では稀だが、世界には河川を水源とした火力発電の冷却が広く行われており、温暖化による河川流量変動への影響が懸念されている。環境省総合推進費S-10プロジェクトにおいて、全球水資源モデルH08を利用した将来の工業用水利用量

（火力発電所の冷却用水を含む）の推定が実施されている（Hanasaki et al., 2013a, b）。また、応用一般均衡モデルAIM/CGE単体を利用した将来の火力発電量の見通しが、共通社会経済経路（SSP）シナリオの開発時に実施されている（Fujimori et al., 2017）。ただし、冷却水の時空間詳細な賦存量や、不足時の社会経済的影響を評価することができなかった。そこで、AIM/CGEとH08を連携させることにより、AIM/CGEには冷却水の入手可能性の制約を、H08には火力発電量需要の制約を導入し、緩和・適応に関する検討を実施することを目標とした（Zhou et al. 2017; 2018b, 2018c）。

火力発電所には干ばつに対して余裕をもって設計されているため、扱うべき冷却水の制約とは「年に数日間火力発電所を停止するあるいは出力を下げる」といった事象である。さらに、冷却水の賦存量は河川流量に加えその他の水利用や上流の貯水池操作などの影響を、冷却水の需要量は発電方式や冷却方式の影響を、それぞれ強く受けるため、不足量に関する定量的なシナリオを短期間に開発するのも難しかった。そこで、仮想的に年1%の出力低下（1年のうち約4日間発電を停止することに相当）が起きた場合の影響について検討を行った。これをAIM/CGEで表現するため、火力発電部門の資本生産性パラメータを全地域・全期間1%低下させ、その振る舞いを対照実験の結果と比較・考察した（図3.2.2）。

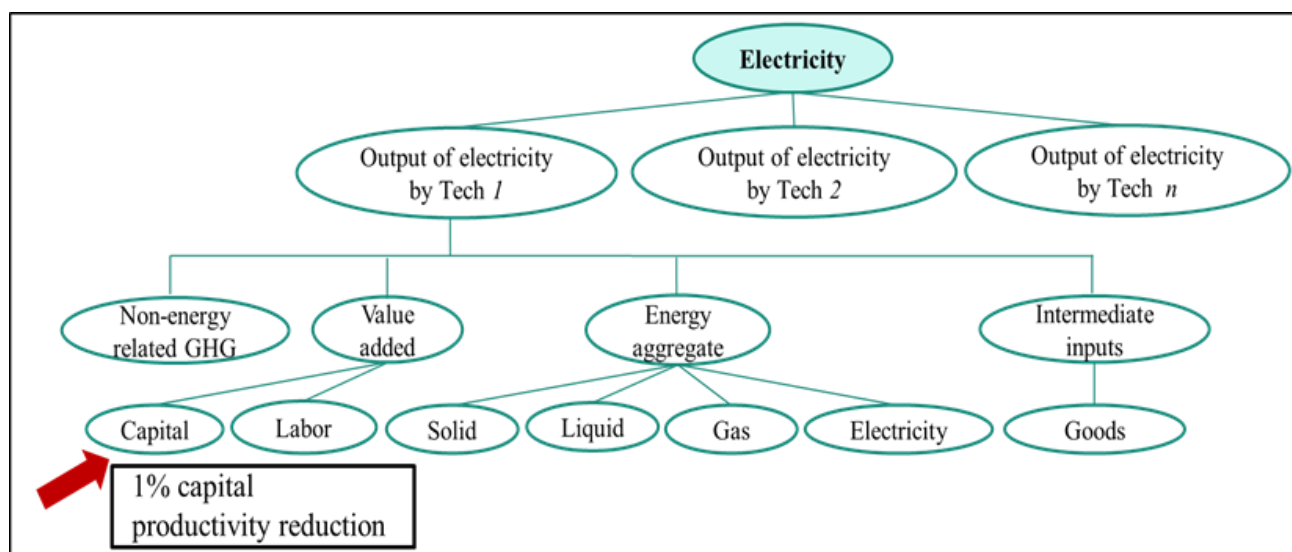


図3.2.2：発電部門の生産関数（Zhou et al., 2017より転載）

平成29年度から令和元年度にかけてはバイオエネルギー生産およびその灌漑に着目して研究を行った。2度目標、あるいはより厳しい1.5度目標を実現するには21世紀後半以降の温室効果ガスを負にしなければならない。これを実現する一つ的手段として、バイオ燃料作物を大量に生産し、大気中の二酸化炭素を固定し、バイオ燃料発電を行ってエネルギーを得て、発生した二酸化炭素を地中等に回収・貯留するBio Energy Carbon Capture and Storage (BECCS)という技術が提案されている。灌漑をすることでバイオ燃料作物の生産性は向上するが、水資源の持続的な利用と競合することが指摘されている。これまでもバイオ燃料作物と灌漑に関する先駆的な研究はあったものの（Bonsch et al. 2016）、緩和策と水資源の持続的な利用を統合的に評価するに至っていなかった。

平成29年度は第2世代のバイオ燃料作物であるMiscanthusとSwitchgrassについて収量を計算できるよう、H08を機能拡張した。H08には食料作物の農事歴・潜在生産性・灌漑必要量を計算するサブモデルが含まれているが、多年草である両作物をモデルの中で妥当にシミュレーションできるようこれらのソースコードの改変を行った（Yamagata et al. 2018）。令和元年度は、このモデルの徹底的な検証とチューニングを行った。ドイツのポツダム気候影響研究所の協力も得て、世界の観測収量データを収集・整備し（図3.2.3）、1000通りを超すパラメータの組み合わせの中から、妥当なシミュレーション結果が得られるものを抽出した（Ai et al. 2019）。

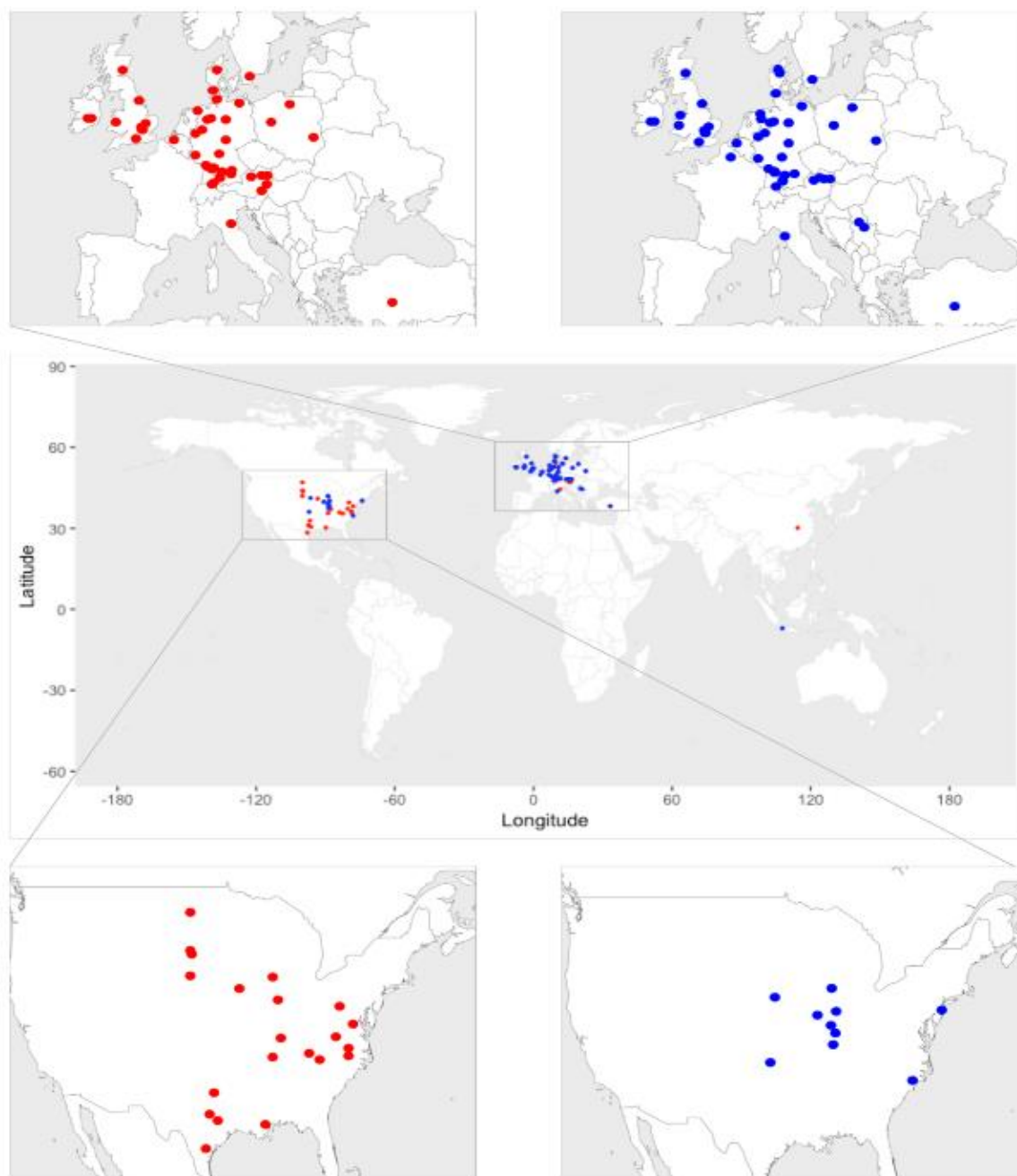


図3.2.3：観測データを収集した地点。

赤：Miscanthus、青：Switchgrass。Ai et al. (2019)より転載。

平成30年度は簡易な土地利用シナリオを用いてバイオ燃料作物の大量生産と灌漑水利用の関係についての検討を行った。H08は一つの計算セルにつき、食料用二毛作灌漑農地・一毛作灌漑農地・天水農地、その他土地利用の4つの土地利用を混在させることができるが、新たにバイオ燃料用灌漑農地・天水農地の2つの土地利用を加えた。この新モデルを利用し、基準実験と2つのシナリオ実験を実施した。基準実験はバイオ燃料作物の栽培をゼロとし、現在の食料用の灌漑・天水農地の分布情報を利用してH08の計算を実施するものである。シナリオ1は現在の天水農地の1/5をバイオ燃料作物生産用の灌漑農地に転用するものである。バイオ燃料の灌漑は、作物に水ストレスがかからないよう、栽培期間を通

して土壌水分量を一定量に保つことで表現した。このときの水源は近接の河川水とし、河川水が不足する場合には代替水源がどれくらい必要かについても算出した。シナリオ2は現在の天水農地の2/5をバイオ燃料作物生産用の天水農地に転用するものである（Yamagata et al. 2018）（図3.2.4）。

平成29年度から令和元年度にかけては統合的影響評価への貢献に係る研究も実施した。物理的影響評価（Mora et al. 2018）および経済的影響評価（Takakura et al. 2019）が実現したが、本項では主にハワイ大学マノア校のCamilo Mora助教（当時）が実施した前者について述べる。

Camilo Mora助教率いるチームはまず12,000以上の論文タイトルの検索を行った後、3,200に絞り込んだ主要な科学論文を調査し、過去数十年に観測された気候関連災害による影響をまとめた。また、気温上昇、熱波、降水変化、洪水、水不足、干ばつ、火災、海面上昇、暴風雨、自然土地被覆、海洋化学変化という11災害について、最新の地球温暖化影響予測から災害ごとに指標を作成し（図3.2.5）、それらを足し合わせた累積的な気候関連災害の評価を行った。本サブプロジェクトは水不足に関する影響予測を担当した

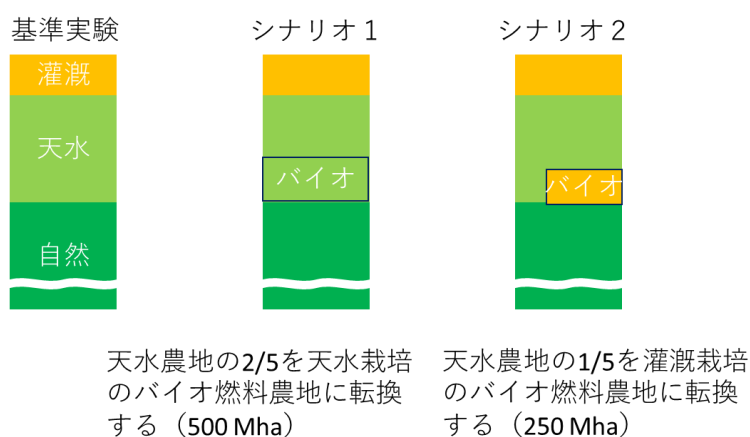


図3.2.4：バイオ燃料生産におけるシナリオ実験

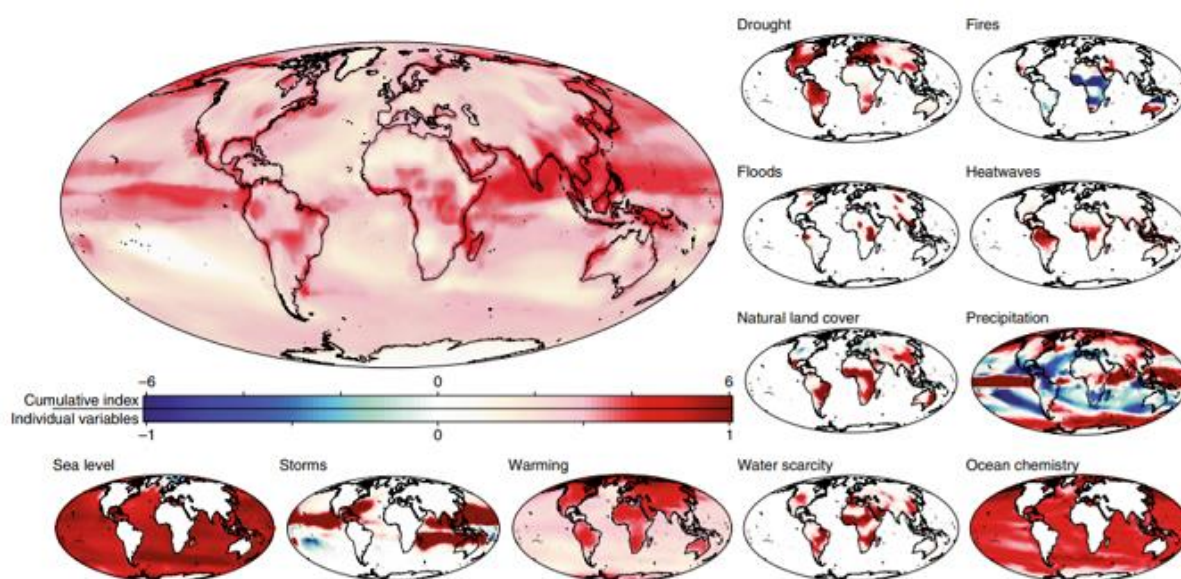


図3.2.5：累積的な気候関連災害の世界地図。本サブプロジェクトが結果を提出したのはWater scarcityの部分である。Mora et al. (2018)より転載。

4. 結果及び考察

水力発電に関する研究については、GDPに関する結果についてのみ報告する。緩和策なしで包蔵水力の温暖化影響も無視した計算を参照実験とみなした場合、+2℃安定化によって、世紀末にGDPが世界で約2.6%、ブラジルで約1.5%、カナダで約3.0%減少することが示された（図4.2.1の1列目）。次に、また、緩和策をとらず、包蔵水力の温暖化影響がGDPに及ぼす効果だけを評価した場合（図4.2.1の2列目）、影響は軽微で、参照実験との違いはほとんど見られなかった。最後に、緩和策も温暖化影響も両方とも考慮した場合、全球ではほぼ緩和策なしと同じ結果になるが、ブラジルとカナダでは違った様相が表われることが示された（図4.2.1の同3列目）。すなわち、ブラジルについては温暖化影響が大きければ大きいほど、緩和策をとった際にGDPを押し下げる効果が見られた（RCP8.5相当の排出量から2度目標を達成しようとする場合、GDP減少が1.7%に拡大する）。カナダについては逆であった（同条件でGDP減少が2.80%に減少する）。両国の違いは、温暖化が包蔵水力に与える効果による。ブラジルでは降水量の減少に伴い、包蔵水力も減少する。緩和策実施下における、温室効果ガスを排出しない水力発電の減少は、よりコストの高い発電により埋め合わされることにつながったため、GDPを押し下げたと考えられる。カナダではこの逆のメカニズムが働いたため、逆の結果となった。

火力発電に関する研究については、AIM/CGEを利用し、火力発電部門の資本生産性パラメータを全地域・全期間に対して1%低下させて21世紀中の動学的シミュレーションを実施した。まず、この結果として火力発電量が1%下がるのか検討したところ、図4.2.2 (a)に示す通り、すべての地域で変化率は1%未満であることが分かった。その低下の程度にも相当な地域差がみられた。この原因を検討したところ、モデルの中でやや奇妙なふるまいが起きていたことが明らかになった。すなわち、応用一般均衡モデルは火力発電の資本生産性の低下に対し、発電量を減らしたり、他の電源に代替したりするのではなく、より資本を蓄積することにより生産性低下を賄おうとしていたのである。図4.2.3 (a)はGDPに対する火力発電の資本量を比較したもののだが、対照実験に対してARRAY実験は0.5%資本蓄積が多く、資本蓄積が促進されていることがわかる。

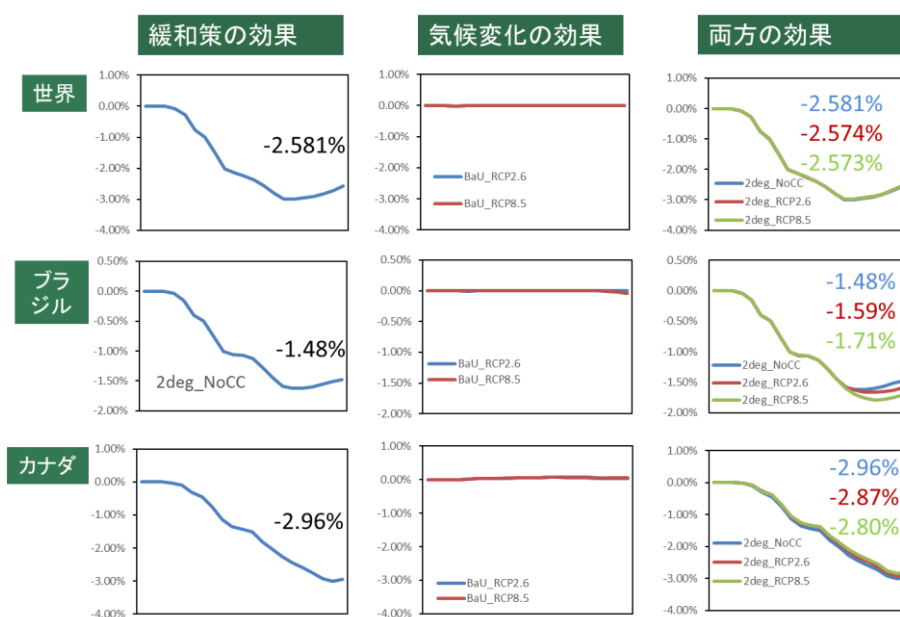


図4.2.1：緩和策および気候変化が世界およびブラジルとカナダのGDPに及ぼす影響。

緩和策なし、気候変化なしを基準にした。

続いて、GDPへの影響について示したのが図4.2.2 (b)である。発電量と同様にやはり大きな地域差がみられるが、図4.2.2 (a)と比較してわかるとおり、発電量の減少率とは明瞭な関係はみられなかった。GDP減少率の違いが何を反映しているのかについて考察したところ、電力産業の各地域経済における規模とよく対応していることが明らかになった。図4.2.3 (c)を見ると、例えば、CIS (旧ソ連) は電力産業の地域経済に占める割合が大きく、GDPも大きく低下したことが示されている。

モデルの結果に見られた資本の増強は、現実社会の長期的な対策（適応）に相当するという点では妥当だが、干ばつが起きた時に瞬時に資本増強で対応ができないという点で非現実的なふるまいである。冷却用水の不足という一時的な現象に対し、長期的・短期的両面の振る舞いを分析できるよう応用一般均衡モデルを拡張することの重要性を明らかにすることができた。

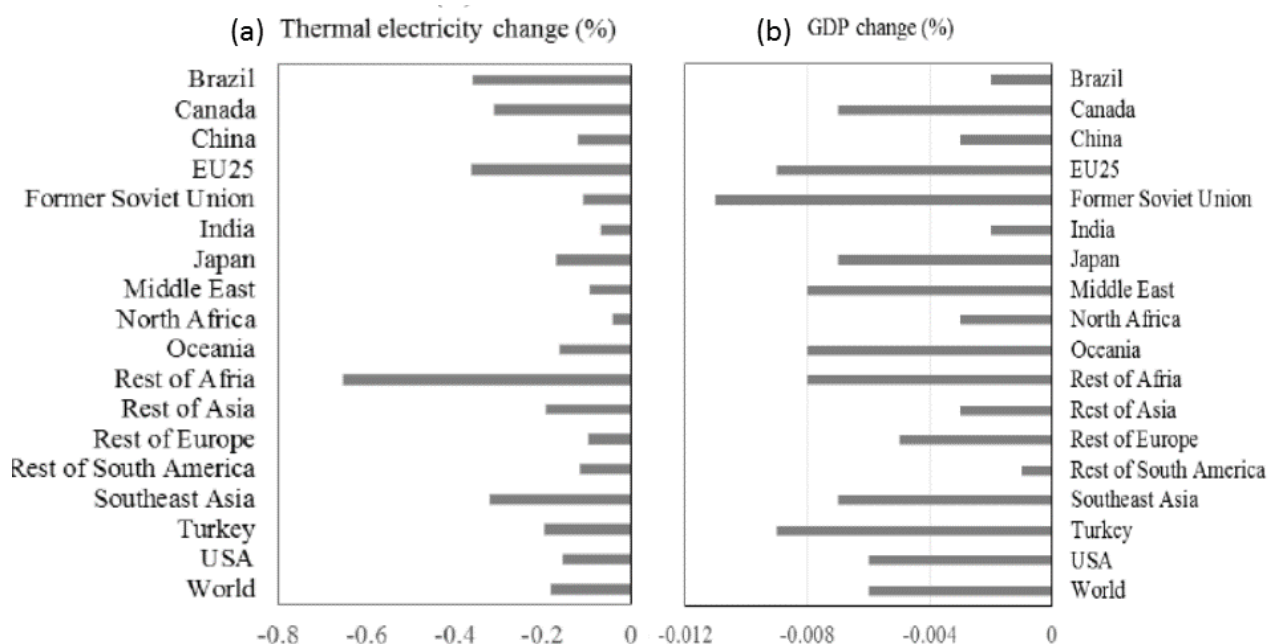


図4.2.2 : (a) ARAY実験の発電量の対照実験に対する比。 (b) ARAY実験のGDPの対照実験に対する比。

Zhou et al. (2017)の図2、3より転載。

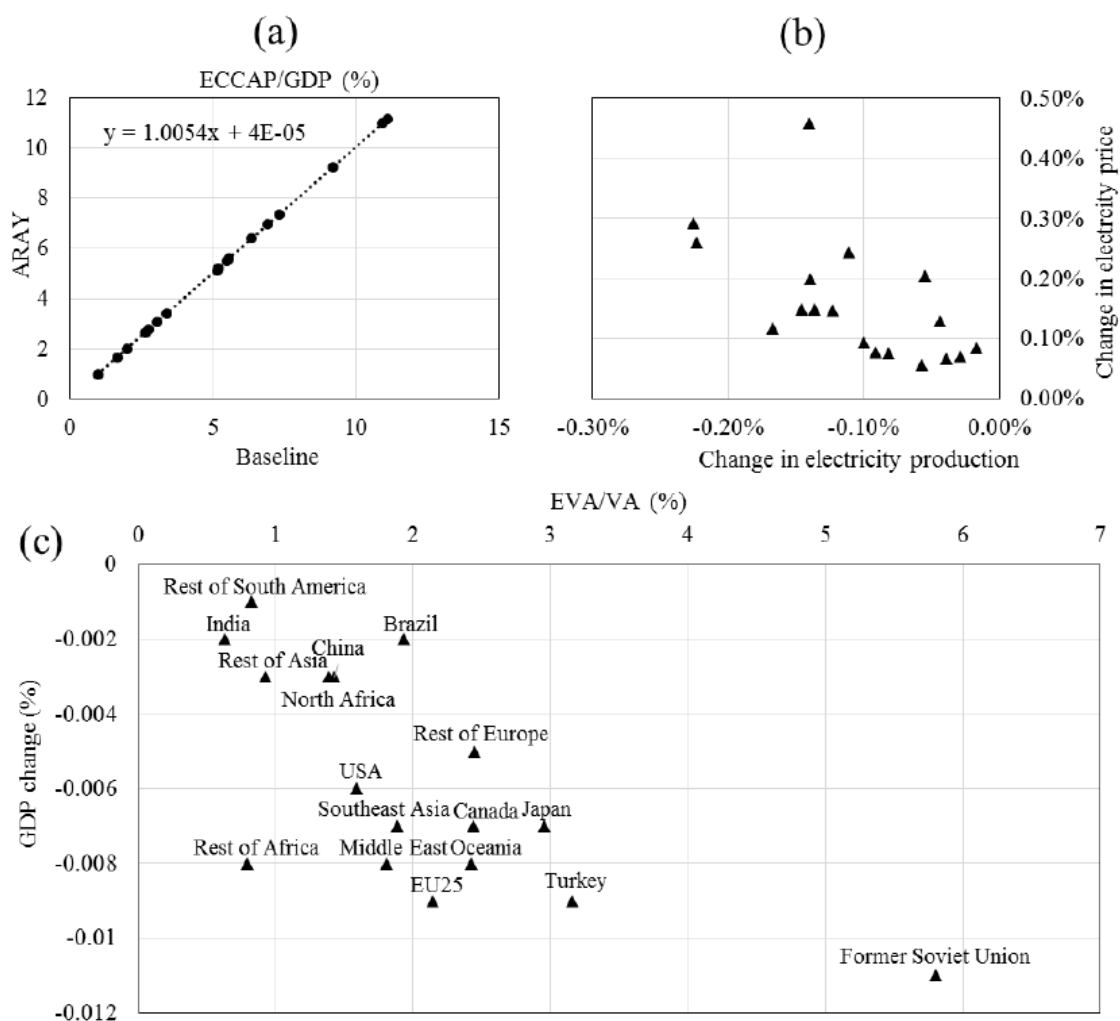


図4.2.3：(a)電力部門の資本のGDPに対する割合（対照実験とARAY実験）、(b)発電量変化と電力価格変化の関係、(c)電力部門の付加価値の全部門付加価値に対する割合（ARAY実験）。Zhou et al. (2017)の図4を転載。

バイオ燃料作物の収穫量のシミュレーション結果を図4.2.4(a)および(b)に示す。Miscanthus、Switchgrassともに、観測とのよい一致が見られる。Miscanthusについては、新しいモデルの収量は観測範囲内または観測範囲に近く分布し、低緯度での収量が高緯度よりも高い傾向なども良好に再現された。Switchgrassについては、一部の場所で比較的大きな誤差（過大評価）もあるものの、やはり良好に再現された。

図4.2.5 (a)および(b)に示すように、天水条件下では、ブラジル、アルゼンチン、中部アフリカ、米国東部、中国南部において収量が高い。図4.2.5 (c)および(d)に示すように、特に米国西部、南ヨーロッパ、インド、中東、オーストラリア沿岸部、中国東北部などの乾燥地域に分布する地域では、灌漑により収量が大幅に増加した。世界規模では、MiscanthusとSwitchgrassの収量の平均増加量（極気候地域を除く）はそれぞれ19.9および10.6 t/ha/yrであり、灌漑により収量が2倍になることが示された。

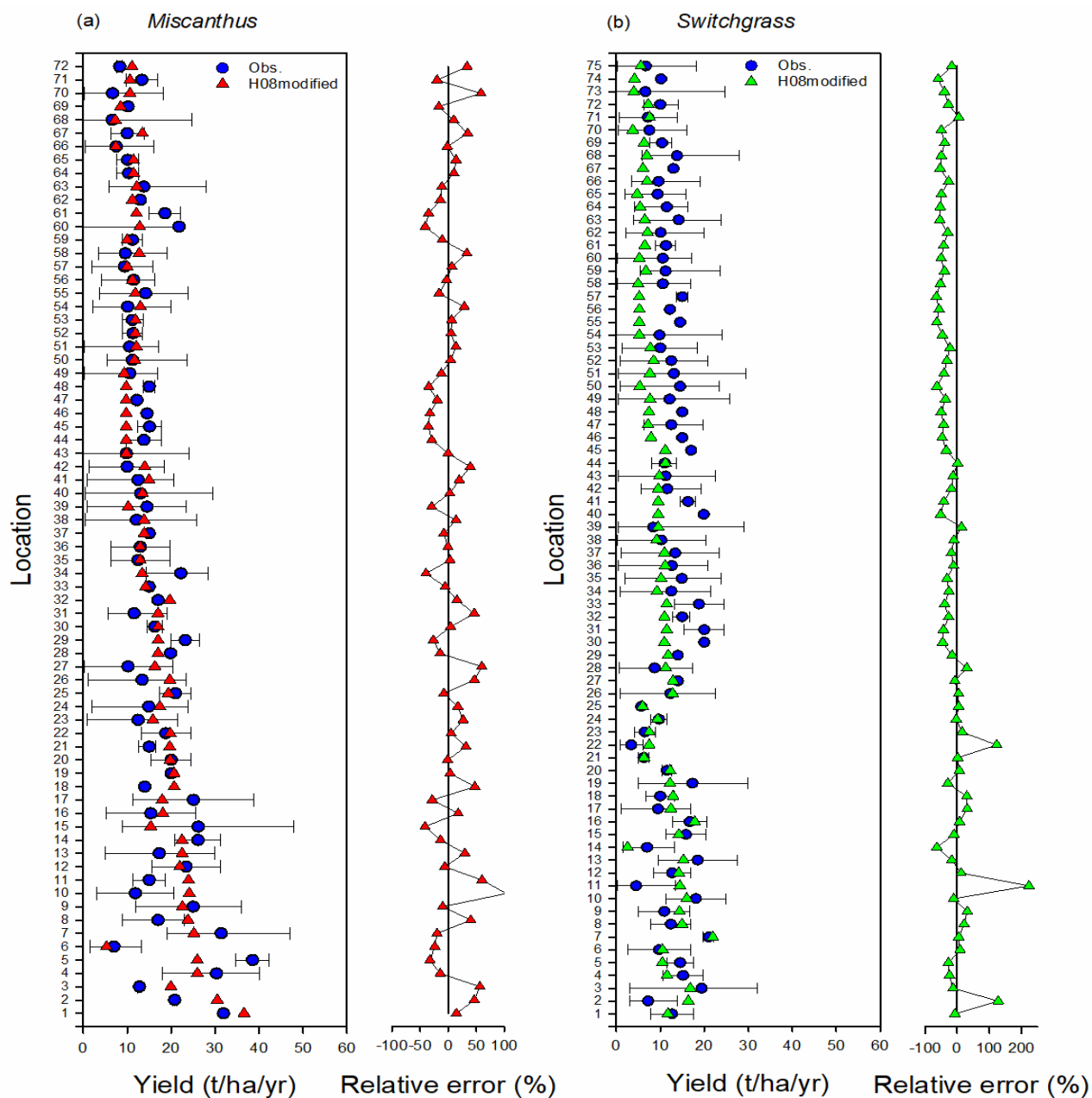


図4.2.4：観測地点における観測収量（青）と計算収量（赤）。(a) *Miscanthus*、(b) *Switchgrass*。観測収量のプロットは平均値、バーは文献に記載された最小・最大収量の幅を示す。

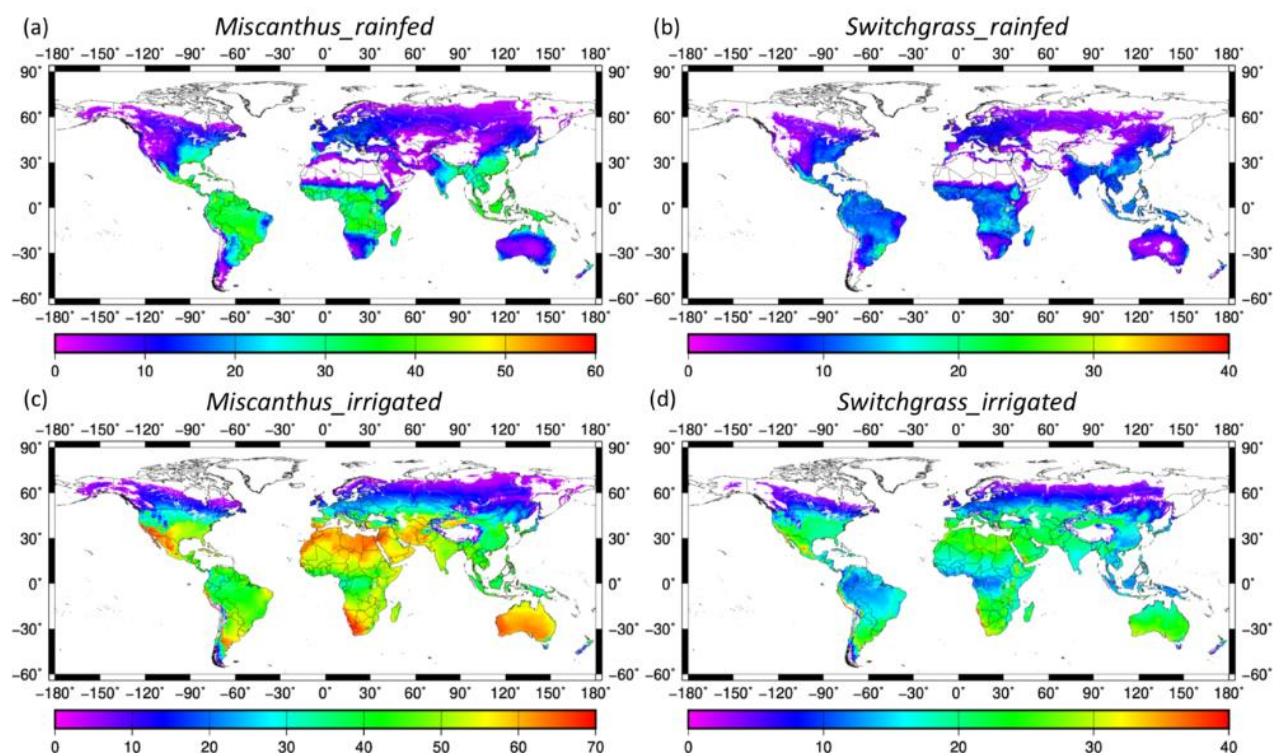
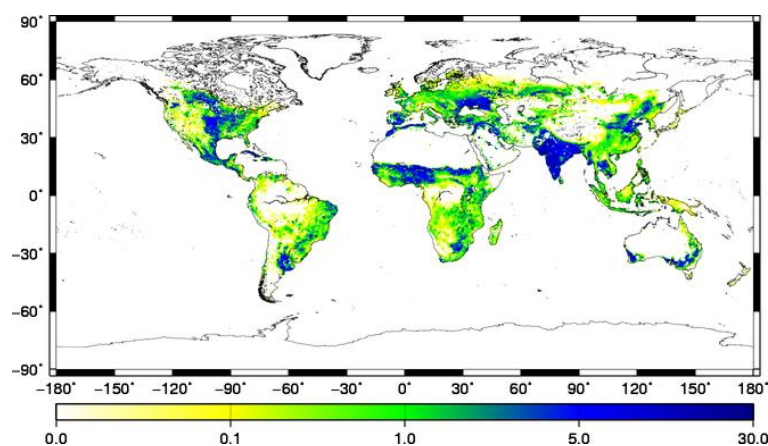


図4.2.5 : (a) Miscnathusの収量（天水）、(b) Miscnathusの収量（灌漑）、(c) Switchgrassの収量（天水）、(d) Switchgrassの収量（灌漑）。単位は全てkg/ha/yrFig.3 (Ai et al. 2019, Fig 6より転載)。

BECCS検討の結果を表4.2.1に示す。実験設定により、食料用の灌漑農地はいずれのシミュレーションでも変わらないが、天水農地の1/5をバイオ燃料用の灌漑農地に転換するシナリオ1において、バイオマス燃料の灌漑に必要な追加的な水量は消費ベースで1780km³/yrと推定された。この水量は現在の食料用の灌漑水量1590km³/yrとほぼ同量である。灌漑用水はアメリカの中央部、インド、中国の北部など、現在も灌漑の需要が大きなところに集中する傾向がみられた（図4.2.6）。全体のうち、約1520km³/yrは近接河川からの取水が可能だが、残りの1850km³/yrは河川以外からの取水が必要と推定された。灌漑による効果が大いなのは北米の西部、アフリカの南部、南アジアの西部などの乾燥域であった。

表4.2.1 バイオ燃料生産に必要な土地と水資源

			基準	シナリオ 1	シナリオ 2
土地 [M ha]	食料用	灌漑	270	270	270
		天水	1240	1000	790
	バイオ燃料用	灌漑	0	240	0
		天水	0	0	460
灌漑 [km ³ /yr]	食料用		1590	1590	1590
	バイオ燃料用		0	1780	0
	合計		1590	3370	1590
	河川からの取水		790	1520	790
	その他水源からの取水		800	1850	800

図4.2.6：世界の灌漑必要量の分布[m³ s⁻¹]

最後に統合的影響評価への貢献について主要な結果を示す。まず、文献調査の結果、健康、食料、水、経済、インフラ、安全保障といった人間システムに関連する主要分野の多くが、複数の災害に同時に影響を受けていたことが判明した。次に、累積的な気候関連災害の評価を行った結果、地球温暖化が進んだ場合、2100年までに、各気候関連災害が増加するため、複数の災害が同時に発生するケースが増加することが示された。同時に発生する気候関連災害に影響される人の数は、最も温暖化の進行が少ない低排出シナリオにおいても十分多く、特に熱帯の沿岸地域で多い。温暖化の進行度がより高い場合はさらに増加する（図4.2.7）。このように網羅的な文献調査と複数影響評価研究を統合することにより、気候関連災害の同時発生とその複合的な影響を整理し評価した。異なる災害の人間への影響を個々に評価するだけでは影響を小さく評価している可能性が大きく、温室効果ガス排出削減目標や適切な適応策を策定するためには、このような複数災害の影響を考慮することが重要である。

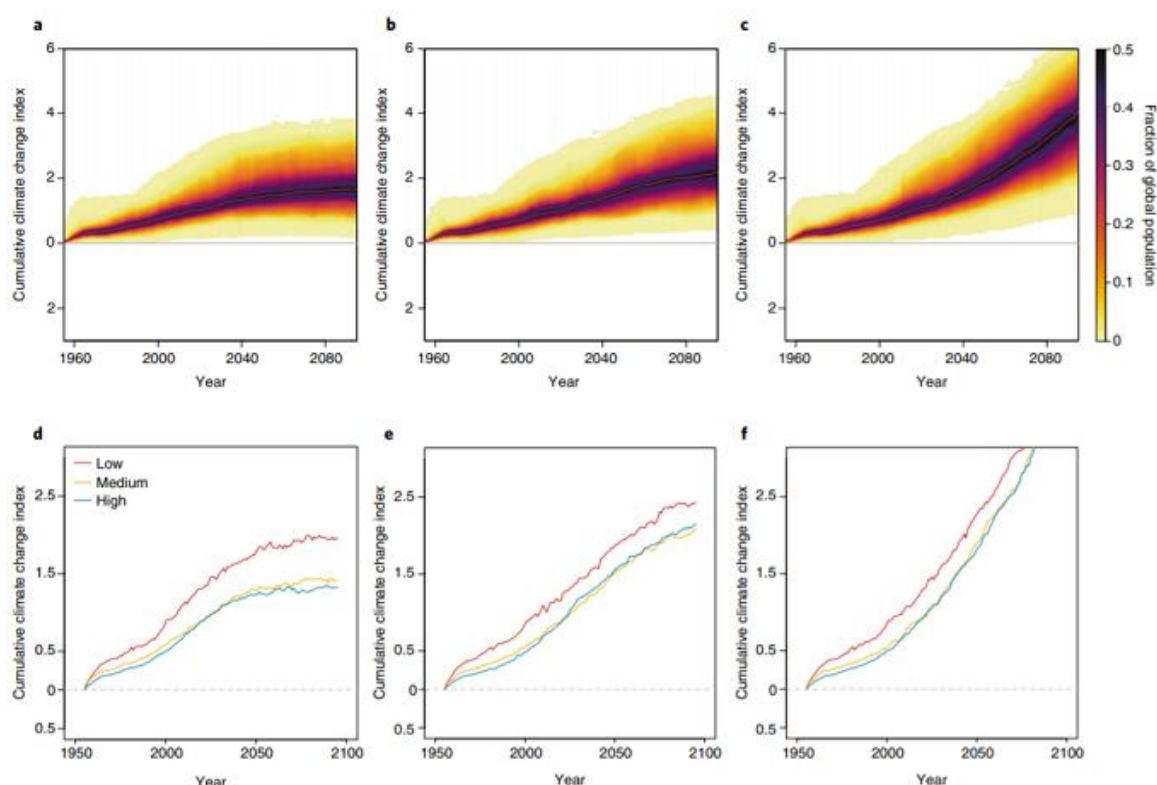


図 4.2.7：同時の気候関連災害に暴露される人口。a-c は 3 つの RCP シナリオの下、様々なレベルの累積的な気候関連災害に暴露された世界人口の割合を示す。a-c はそれぞれ、RCP 2.6、4.5、8.5 である。d-f は同じシナリオの下、低・中・高所得の国における人口の過半数が暴露された累積気候関連災害の数を示す。d-f はそれぞれ、RCP 2.6、4.5、8.5 である。Mora et al. (2018) より転載。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

緩和策が水資源に波及する効果や、気候変動が水資源に及ぼす経済的な影響評価を行うには物理法則に基づく水資源モデルと経済法則に基づく経済モデルを連携させる必要がある。本課題ではそれぞれ世界最先端のH08モデルとAIM/CGEモデルを拡張・連動させることにより、これを実施することができた。結果は13編の査読論文誌に取りまとめられた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特になし

<行政が活用することが見込まれる成果>

本課題によって得られた知見は、IPCC第6次評価報告書等の国際レポートからの引用が期待される。

6. 国際共同研究等の状況

次項の文献8と10が国際共同研究論文である（一編が米国のミシガン州立大学、もう一編が米国のハワイ大学）。他に2編の国際共同研究論文を投稿中である（二編ともドイツのポツダム気候影響研究所）。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

1. Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Masaki, Y., and Hijioka, Y.: Model-based analysis of impact of climate change and mitigation on hydropower, J. JSCE (B1), 72 (4). I_19-I_24, 2016.
2. Hanasaki, N., Yoshikawa, S., Kakinuma, K., and Kanae, S.: A seawater desalination scheme for global hydrological models, Hydrol. Earth Syst. Sci., 20, 4143-4157, 2016.
3. Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Takahashi, K., and Hijioka, Y.: An analysis on hypothetical shocks representing cooling water shortage using a computable general equilibrium model, J. JSCE (B1), 73(4). I_79-I_84, 2017.
4. Fujimori, S., Hanasaki, N., and Masui, T.: Projections of industrial water withdrawal under shared socioeconomic pathways and climate mitigation scenarios, Sustainability Science, 12, 275-292, 2017.
5. Zhou, Q. et al., The economic consequences of global climate change and mitigation on future hydropower, Clim. Chang, 147, 77-90, 2018a.
6. Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Yoshikawa, S., Kanae, S., Okadera, T.: Cooling Water Sufficiency in a Warming World: Projection Using an Integrated Assessment Model and a Global Hydrological Model, Water, 10(7), 872, 2018b.
7. Zhou, Q., Hanasaki, N., and Fujimori, S.: Economic Consequences of Cooling Water Insufficiency in the Thermal Power Sector under Climate Change Scenarios, Energies, 11, 10.3390/en11102686, 2018c.
8. Hanasaki, N., Yoshikawa, S., Pokhrel, Y., and Kanae, S. A global hydrological simulation to specify the sources of water used by humans, Hydrol. Earth Syst. Sci., 22, 789-817, 2018.
9. Yamagata, Y., Hanasaki, N., Ito, A., Kinoshita, T., Murakami, D., and Zhou, Q.: Estimating water-food-ecosystem trade-offs for the global negative emission scenario (IPCC-RCP2.6), Sustainability Science, 13, 301-313, 10.1007/s11625-017-0522-5, 2018.
10. 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 Ix, J. F., Hanasaki, N., Hawkins, E., Hirabayashi, Y., Knorr, W., Little, C. M., Emanuel, K., Sheffield, J., Patz, J. A., and Hunter, C. L.: Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions, Nature Climate Change, 8, 1062-1071, 10.1038/s41558-018-0315-6, 2018.

11. Takakura, J. y., 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., and Hijioka, Y.: Dependence of economic impacts of climate change on anthropogenically directed pathways, *Nature Climate Change*, 9, 737–741, 10.1038/s41558-019-0578-6, 2019.

<査読付論文に準ずる成果発表>

なし

<その他誌上発表（査読なし）>

1. Ai, Z., Hanasaki, N., Heck, V., Hasegawa, T., and Fujimori, S.: Enhancement and validation of a state-of-the-art global hydrological model H08 (v.biol) to simulate second-generation herbaceous bioenergy crop yield, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 2019, 1–22, 10.5194/gmd-2019-277, 2019.
2. 花崎直太: 水文学から見た水・エネルギー連環の主要要素と最近の研究の動向, *エネルギー・資源*, 39, 238–241, 2018.

(2) 口頭発表（学会等）

1. Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Masaki, Y., and Hijioka, Y.: Scenario Analysis on Global Hydropower Development Paths and Their Contribution to GHG Mitigation Utilizing a Dynamic CGE Model, *AGU Fall Meeting 2015*.
2. Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Masaki, Y., and Hijioka, Y.: Climate Change Impact and Mitigation Assessment on Hydropower: Model-Based Analysis, *Society of Environmental Science, Annual Meeting 2015*.
3. Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Masaki, Y., and Hijioka, Y.: Consequences of global climate change on future hydropower generation, *19th Annual Conference on Global Economic Analysis 2016*.
4. Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Masaki, Y., and Hijioka, Y.: Model-based analysis of impact of climate change and mitigation on hydropower, *The 60th Conference on Hydraulic Engineering 2016*.
5. Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Masaki, Y., and Hijioka, Y.: Economic analysis of climate change impacts on thermal power generation, *Society of Environmental Science, Annual Meeting 2016*.
6. Zhou, Q., Hanasaki, N., Fujimori, S., Takahashi, K., and Hijioka, Y.: An analysis on hypothetical shocks representing cooling water shortage using a computable general equilibrium model, *The 61st Conference on Hydraulic Engineering 2017*.
7. Zhou, Q., Hanasaki, N., Takakura, J., Fujimori, S., Takahashi, K., Hijioka, Y.: Assessment of Climate Change Impact on Cooling Water: Economic Evaluations for the Thermal Electricity Sector, *JpGU-AGU Joint Meeting, 2017*.

8. Hanasaki, N.: Water-energy nexus studies by coupling the H08 global hydrological model and the AIM/CGE integrated assessment model, 8th GEWEX Open Science Conference: Extremes and Water on the Edge, 2018.
9. Ai, Z., Hanasaki, N.: A global simulation of the second-generation bioenergy crop yield using H08, Japan Society for Hydrology and Water Resources, Annual Meeting, 2019
10. Ai, Z., Hanasaki, N.: A global simulation of bioenergy crop yield。Japan Geoscience Union 2019
11. Ai, Z. and Hanasaki, N.: Enhancement of a state-of-the-art global hydrological model in simulating the second-generation herbaceous bioenergy crop yield, AGU Fall Meeting 2019.

(3) 出願特許

なし

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

国立環境研究所夏の公開2017

国立環境研究所夏の公開2018

国立環境研究所夏の公開2019

(5) マスコミ等への公表・報道等

1. 地球温暖化は多様な災害の増加と同時発生をもたらし世界の多くの人に影響を与える、平成30年11月16日（テーマ3との共同発表）
2. 地球温暖化による穀物生産被害は過去30年間で平均すると世界全体で年間424億ドルと推定、平成30年12月11日（テーマ3との共同発表）

(6) その他

8. 引用文献

1. Hanasaki, N., Fujimori, S., Yamamoto, T., Yoshikawa, S., Masaki, Y., Hijioka, Y., Kainuma, M., Kanamori, Y., Masui, T., Takahashi, K., and Kanae, S.: A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways - Part 1: Water use, Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 2375-2391, 10.5194/hess-17-2375-2013, 2013.
2. Hanasaki, N., Fujimori, S., Yamamoto, T., Yoshikawa, S., Masaki, Y., Hijioka, Y., Kainuma, M., Kanamori, Y., Masui, T., Takahashi, K., and Kanae, S.: A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways - Part 2: Water availability and scarcity, Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 2393-2413, 10.5194/hess-17-2393-2013, 2013.
3. 眞崎良光, 花崎直太, 高橋潔, and 肱岡靖明: 気候変動にともなう理論包蔵水力と流況に基づく水力発電量の将来変化, 土木学会論文集G (環境), 70, I_111-I_120, 2014.

Ⅱ－3 計量経済モデルを用いた緩和策と適応策の費用便益に関する研究

指定国立大学法人東北大学

経済学研究科

日引 聡

<研究協力者>

戸田裕之（平成26～令和元年度 京都大学）

宮脇幸司（平成26～令和元年度 関西学院大学）

中島一憲（平成26～27年度 兵庫県立大学）

新熊隆嘉（平成29～令和元年度 関西大学）

Lee, Huey-Lin（平成29～令和元年度 国立政治大学（台湾））

笹沼克信（平成29～令和元年度 State University of New York at Stony Brook（米国））

平成27（開始年度）～令和元年度研究経費（累計額）：33,682千円（研究経費は間接経費を含む）

（平成29年度：6,733千円、平成30年度：6,396千円、令和元年度：6,733千円）

〔要旨〕

I P C C 第5次報告書は、気候変動による社会への悪影響回避のためには、緩和策と適応策の双方のアプローチを用いる必要があると報告している。このため、緩和策と適応策の双方の政策効果を総合的に評価するために、地球規模で自然環境（大気、水など）の変化をとらえるモデルと経済モデル（特に、応用一般均衡モデル）を統合したモデル開発が世界的に進められている。応用一般均衡モデルは、経済構造を詳細に分析できる利点がある反面、モデルの挙動を決めるパラメータは、エキスパートジャッジ（専門家による感覚的な判断）に基づいて設定されているという問題点が指摘されてきた。誤ったパラメータの利用は、分析結果を歪めるため、エキスパートジャッジに代わり、信頼性の高いパラメータを計量経済学的手法を用いて推計することが重要な研究課題の一つとなっている。このため、本研究では、計量経済学的手法を用いて、過去のデータを分析することで、信頼度の高いパラメータを推計するとともに、農業モデルについては、そのパラメータを応用一般均衡モデルのパラメータとして活用することで、計量経済学的手法と応用一般均衡モデルをリンクし、より信頼性の高いモデル開発及び推計を目指す。具体的には、（1）計量経済学的手法と応用一般均衡モデルの手法を統合した世界農業経済モデルの開発、（2）季節による気温上昇の影響の違いを分析する健康被害モデルの開発、（3）緩和策の有効性の評価を行う。

特に、世界農業経済モデルの開発によって、計量経済学的手法を用いて推計される、気温上昇による国・地域別の農業生産性への影響を、応用一般均衡モデルとリンクさせることで、生産性への直接影響だけでなく、貿易相手国との比較優位（相対的な生産性の変化）の変化を通じて、農作物の輸出入へ及ぼす間接的な影響までも考慮した全効果を分析することができるようになり、これまでわからなかったメカニズムの存在を定量的に明らかにできるようになった。

また、健康被害モデルの開発によって、季節の違いによる気温上昇の効果の違いを考慮した健康被害モデルを開発することで、年間を通じた気温上昇の影響を総合的に評価するモデル化の手法を開発でき

るようになった。

〔キーワード〕

気候変動、計量経済分析、応用一般均衡モデル、農業影響、健康影響

1. はじめに

I P C C 第5次報告書は、気候変動による社会への悪影響回避のためには、緩和策と適応策の双方のアプローチを用いる必要があると報告している。本研究課題では、気候変動が農業や健康に及ぼす影響を評価するモデルを構築するとともに、再生可能エネルギー導入促進のために近年多くの国で導入されている固定価格買取制度（FIT）制度を対象に、緩和策の政策の有効性を評価するモデルを構築する。

近年、緩和策と適応策の双方の政策効果を総合的に評価するために、地球規模で自然環境（大気、水など）の変化をとらえるモデルと経済モデル（特に、応用一般均衡モデル）を統合したモデル開発が世界的に進められている。応用一般均衡モデルは、経済構造を詳細に分析できる利点がある反面、モデルの挙動を決めるパラメータは、エキスパートジャッジ（専門家による感覚的な判断）に基づいて設定されているという問題点が指摘されてきた。誤ったパラメータの利用は、分析結果を歪めるため、エキスパートジャッジに代わり、信頼性の高いパラメータを計量経済学的手法を用いて推計することが重要な研究課題の一つとなっている。このため、本研究では、応用一般均衡モデルにおいて用いられているパラメータのうち、重要な役割を果たすものについては、計量経済学的手法を用いて、過去のデータを分析することで、信頼度の高いパラメータを推計し、そのパラメータを応用一般均衡モデルのパラメータとして活用することで、計量経済学的手法と応用一般均衡モデルをリンクし、より信頼性の高いモデル開発及び推計を目指す。

本研究では、以下の3つの研究を実施する。

（1） 計量経済学的手法と応用一般均衡モデルの手法を統合した世界農業経済モデルの開発

気候変動は、農業生産性に直接影響を及ぼすだけでなく、産業構造の変化や貿易（農作物の輸出入）などの間接的な影響を通じて、一国の農業部門に影響を与える。本研究では、計量経済学的手法を用いて、農業生産性モデルを開発し、応用一般均衡モデルの手法を用いて世界農業経済モデルを開発するとともに、これらのモデルを統合することで、気候変動が生産性の変化を通じて、各国の農業や経済に及ぼす影響を分析することのできるモデルを開発する。

（2） 季節による気温上昇の影響の違いを分析する健康被害モデルの開発

気温上昇によって、夏の気温が上昇することで、熱中症などにより死亡率が上昇する。しかし、冬の気温の上昇は、凍死などのリスクを減らすため、冬の死亡率を低下させる。このため、後者の効果は夏の気温上昇の影響を減少させる効果を持つ。本研究では、このような効果を考慮し、中国を対象に、計量経済学的手法を用いて健康被害モデルを開発し、気温上昇が総合的に死亡率に対してどのような効果を持つかを分析し、地域別に気温上昇の影響の違いを明らかにする

（3） 緩和策の有効性の評価

緩和策として近年多くの国で導入されている固定価格買取制度の有効性を評価するために、計量経済学的手法を用いて、日本のデータを使って、再生可能エネルギー普及モデルを開発し、この制度が再生可能エネルギー（特に、太陽光発電）の普及に与えた政策効果を推計する

2. 研究開発目的

本研究開発の目的は、下記の通り。

(1) 計量経済学的手法と応用一般均衡モデルの手法を統合した世界農業経済モデルの開発

気候変動による農業部門への影響を国レベルで評価する場合、主要作物だけでは、全体の影響を評価するためには不十分である。一方、国別に詳細な作物別のデータが利用可能でないため、すべての作物が集計された農業生産額を用いる必要がある。このため、気温上昇などの気候変動が、一国全体の農業生産性（単位土地面積当たりの農業生産額）に与える影響を分析するためのモデルとして、計量経済学的手法を用いて、国レベルの農業生産性モデルを開発する。さらに、気候変動の影響を統合的に分析するために、本研究で開発する農業生産性モデルとリンク可能な応用一般均衡モデル（世界農業経済モデル）を開発し、開発したモデルを用いて、以下の分析を行う。

- ① 将来の気温シナリオに基づいて、農業生産性モデルを使って、各国別に気温上昇による農業生産性への影響をシミュレーションする
- ② 上記①の結果と世界農業経済モデルを用いて、気温上昇による各国の生産性への影響の違いが、貿易の変化を通じて、各国の農業部門や経済厚生などに及ぼす影響をシミュレーションする。

(2) 季節による気温上昇の影響の違いを考慮した健康被害モデルの開発

気温上昇によって、夏の気温が上昇することで、熱中症などにより死亡率が上昇する。しかし、冬の気温の上昇は、凍死などのリスクを減らすため、冬の死亡率を低下させる。本研究の目的は、中国を対象に、季節の違いによる気温上昇の効果の違いに着目し、このような効果を考慮した健康被害モデルを開発することで、年間を通じた気温上昇の影響（冬の死亡率低下の影響と夏の死亡率上昇の効果）及び、地域間の影響の格差を総合的に評価するモデル化の手法を開発することを目的としている。

(3) 緩和策の有効性の評価

本研究では、計量経済学的手法を用いて、日本の固定価格買取制度を対象に、再生可能エネルギー普及モデルを開発し、この制度が再生可能エネルギー（特に、太陽光発電）の普及に与えた政策効果を推計することにより、固定価格買取制度の有効性を評価するとともに、制度設計上の課題を分析し、より効果的な緩和策の在り方を検討することを目的としている。

3. 研究開発方法

(1) 計量経済学的手法と応用一般均衡モデルの手法を統合した世界農業経済モデルの開発

① 農業生産性モデルの開発

本研究は世界120ヶ国において、農作物の土地生産性（耕地面積あたりの農作物生産額）と経済的要因および気候要因とがどのような関係性にあるかということを分析するために、次式で示させる土地生産性モデルを基本モデルとして考え、推計する。

$$\begin{aligned}
 \ln(Prod_{it}) = & \alpha_1 \ln(Popland_{it}) + \alpha_2 \ln(Irrig_{it}) + \alpha_3 \ln(Temp_{it}) + \alpha_4 \ln(Temp_{it}) * \ln(Vapop_{it}) \\
 & + \alpha_5 \{\ln(Temp_{it})\} * D_{desert_i} + \alpha_6 \ln(Temp_{it}) * D_{cold\&cool_i} + \alpha_7 \ln(Temp_{it}) * D_{temperate_i} \\
 & + \alpha_8 \{\ln(Temp_{it})\}^2 + \alpha_9 \{\ln(Temp_{it})\}^2 * D_{desert_i} + \alpha_{10} \{\ln(Temp_{it})\}^2 * D_{cold\&cool_i} \\
 & + \alpha_{11} \{\ln Temp_{it}\}^2 * D_{temperate_i} + \alpha_{12} \ln(Rain_{it}) + \alpha_{13} TimeTrend + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで、Prod、Popland、Irrig、Vapop、Temp、Rain、Ddesert、 $D_{cold\&cool}$ 、 $D_{temperate}$ 、TimeTrend、 ε はそれぞれ、農業部門の土地生産性、農業人口・農地比率、灌漑比率、農業部門における実質一人当たりGDP、年間平均気温、年間平均降水量、砂漠気候ダミー、寒帯・冷帯ダミー、温帯ダミー、タイムトレンド、誤差項を表している。 i は国、 t は年を表す。被説明変数の農業部門の土地生産性は、農業生産額を農作物の耕地面積で除したものである。気温変数に関して、2乗の項を考慮しているのは、気温条件と土地生産性の間に逆U字型の関係があると想定されるからである。データに関しては、FAOによるFAOSTATより、農業生産額、耕作面積、農業用資本ストック、農業労働人口などを、World BankによるClimate Data APIから、国別に、年平均気温（℃）および年平均降水量（mm）を収集し構築した、世界120ヶ国、1980年から2007年までの28年分のパネルデータのデータベースを用いて固定効果モデルで推計を行った。

（気温上昇と生産性への影響）

（1）式から、2050年における気温上昇（対2010年）による生産性の変化は次式で計算される。

$$\begin{aligned} & \left(\frac{Productivity(Temp2050)}{Productivity(Temp2010)} \right) - 1 \\ &= \exp \left\{ \alpha_3 + \alpha_4 \ln Vapop2010_i + \alpha_6 D_{cold_i} + \alpha_7 D_{temperate_i} \right\} \\ & * \{ \ln(Temp2050_i) - \ln(Temp2010_i) \} + \{ \alpha_8 + \alpha_{10} D_{cold_i} + \alpha_{11} D_{temperate_i} \} \\ & * \{ \{ \ln(Temp2050_i) \}^2 - \{ \ln(Temp2010_i) \}^2 \} - 1 \quad (2) \end{aligned}$$

なお、以下のシミュレーション分析では、（1）式の推計結果と東京大学等によって開発されたMIROCによる将来気温予測値（RCP8.5シナリオを前提）を国レベルに集計した結果を用いて、シミュレーションを行っている。各国の気温上昇のシナリオは表3.3.1、3.3.2に示すとおりである。

表3.3.1：2050年における気温上昇（対2010年、MIROCによる結果）

国・地域	気候帯	2010 年 平 均 気 温 (2007-2014年平均)	2050年における気温上昇（対2010年）			
			RPC26	RPC40	RPC60	RPC85
Republic of Korea	冷帯	11.45℃	1.35℃	1.48℃	0.85℃	1.78℃
Russian Federation	冷帯	-4.63	1.37	1.53	0.80	1.89
Ukraine	冷帯	9.66	1.27	1.64	0.97	1.94
Romania	冷帯	10.30	1.44	1.55	0.90	2.12
Canada	冷帯	-5.92	1.65	1.91	1.46	2.60
USA	冷帯	7.56	1.39	1.72	1.29	2.02
China	温帯	7.08	1.49	1.66	1.08	2.10
Japan	温帯	11.49	1.26	1.51	0.83	1.67
Iran	温帯	18.04	1.29	1.57	1.26	2.02
Pakistan	温帯	20.69	1.31	1.54	1.10	1.95
Uzbekistan	温帯	13.27	1.34	1.31	0.97	1.75
Saudi Arabia	温帯	25.75	1.26	1.56	1.23	2.06
Turkey	温帯	12.14	1.13	1.54	1.04	1.90

Australia	温帯	21.98	0.77	0.79	0.75	1.10
Poland	温帯	8.88	1.20	1.37	0.87	1.89
Belgium	温帯	10.70	0.89	1.01	0.56	1.44
France	温帯	12.67	1.08	1.16	0.73	1.68
Germany	温帯	9.76	1.02	1.15	0.70	1.77
Netherlands	温帯	10.44	0.73	0.89	0.43	1.28
United Kingdom	温帯	9.23	0.52	0.62	0.23	1.05
Greece	温帯	14.78	1.21	1.45	0.91	1.81
Italy	温帯	12.81	1.28	1.47	0.99	1.92
Spain	温帯	13.92	0.96	1.15	0.83	1.64
Egypt	温帯	23.48	1.08	1.41	1.05	1.93
Morocco	温帯	18.25	1.01	1.35	1.06	1.75
South Africa	温帯	18.37	1.00	1.02	0.97	1.32
Argentina	温帯	14.68	0.53	0.70	0.61	0.97

表3. 3. 2：2050年における気温上昇（対2010年、続き）

国・地域	気候帯	2010 年 平 均 気 温 (2007-2014年平均)	2050年における気温上昇（対2010年）			
			RPC26	RPC40	RPC60	RPC85
Indonesia	熱帯	26.10℃	0.71℃	0.88℃	0.65℃	1.05℃
Malaysia	熱帯	25.74	0.67	0.80	0.58	1.07
Myanmar	熱帯	23.37	1.09	0.98	0.62	1.13
Philippines	熱帯	25.84	0.72	0.90	0.67	1.07
Thailand	熱帯	26.60	0.82	0.84	0.59	0.95
Viet Nam	熱帯	24.51	1.01	1.05	0.62	1.18
Bangladesh	熱帯	25.35	1.05	1.09	0.61	1.24
India	熱帯	24.68	0.91	1.08	0.77	1.27
Sri Lanka	熱帯	27.29	0.73	0.79	0.59	0.96
Ethiopia	熱帯	23.13	1.05	1.10	0.90	1.37
Kenya	熱帯	25.25	1.06	1.13	0.90	1.35
United Republic of Tanzania	熱帯	23.17	1.03	1.10	0.82	1.32
Cote d'Ivoire	熱帯	26.68	1.04	0.99	0.86	1.25
Ghana	熱帯	27.68	1.07	1.06	0.90	1.29
Nigeria	熱帯	27.47	1.03	1.05	0.88	1.31
Mexico	熱帯	21.27	1.06	1.32	1.08	1.56
Brazil	熱帯	25.64	0.98	1.01	0.95	1.44
Colombia	熱帯	24.61	0.87	0.89	0.71	1.21
Peru	熱帯	19.61	1.00	1.04	0.83	1.38
Venezuela	熱帯	25.88	0.98	1.06	0.84	1.39

② 世界農業経済モデルの開発

本研究では、世界を68か国／地域に分割し、各国において12産業部門（農業、酪農、林業、漁業、鉱業、食肉加工業、食品工業、軽工業、重工業、電気・水道・ガス、運輸・通信業、その他サービス業）をもつ応用一般均衡モデルを開発した。モデルのフレームワークを図に示すと、図3. 3. 1のようになる。一方、農業生産性モデルと応用一般均衡モデルを統合した世界農業経済モデルのフレームワークは図3. 3. 2のようになる。

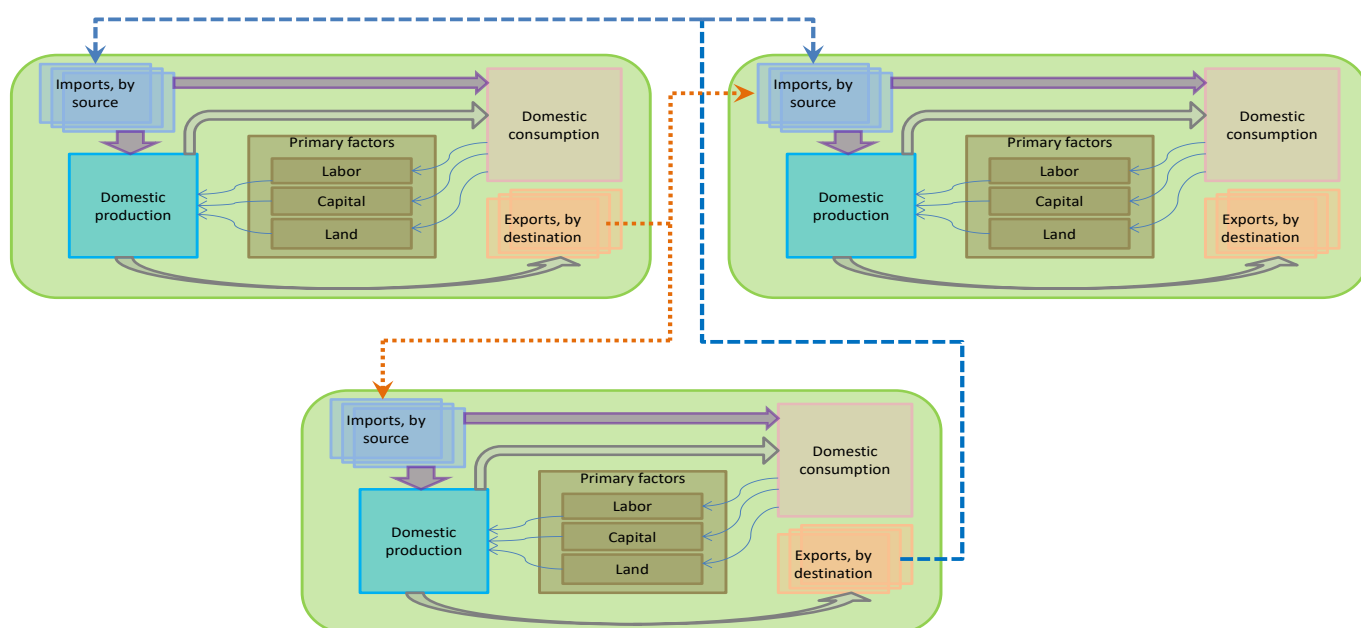


図3. 3. 1：応用一般均衡モデルの構造

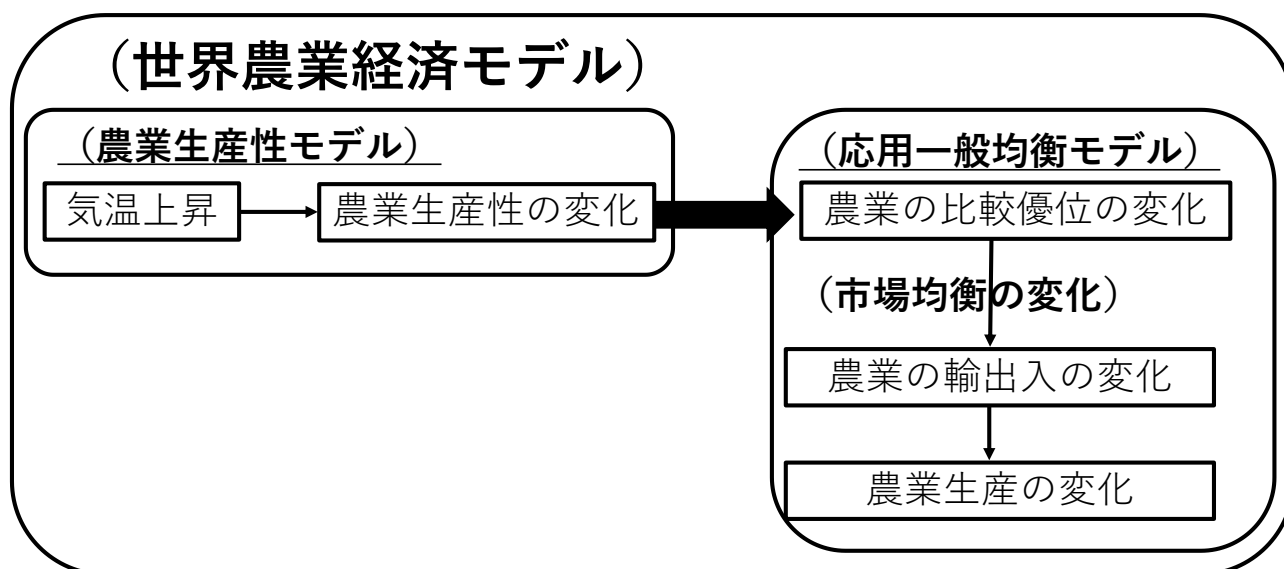


図3. 3. 2：世界農業経済モデルの構造

(2) 季節による気温上昇の影響の違いを考慮した健康被害モデルの開発

本研究は、プロトタイプモデルとして、中国を対象に、気温が死亡率に与える影響を分析するモデルを開発する。このため、中国気象科学データ共有サービスシステム(CMDSSS)のオフィシャルサイトにおける「中国地面国際交換ステーション日値データセット3.0」を利用し、2002年1月1日から2012年12月31日までの気象データを収集し、それらを用いて、新しい気温指数、湿度指数を独自に作成した。また、開発モデルで利用予定のデータとして、死亡率、人口密度、年間実質可処分所得、年間SO₂排出量、万人当たりの医療技術者数、平均教育年数に関するデータを、中国統計年鑑、中国人口年鑑と各省

の統計年鑑、2000年第五次中国人口普查、第六次中国人口普查から収集し、その情報を入力してデータベース化した。

本研究では、次式のモデル式を設定した。先行研究と比較して、このモデルの大きな特徴は、①気温が死亡率に与える影響は、所得水準などの社会的、経済的な要因によっても影響を受けることから、このような要因を考慮したモデルを設定していること、②冬期の気温上昇と夏季の気温上昇が与える死亡率に与える影響は、逆であると想定されるため（冬季の気温上昇は死亡率を引き下げ、夏季の気温上昇は死亡率を引き上げる）、これを同時に考慮できるモデル式を検討したこと、③これによって、気温上昇が死亡率に与える影響を総合的に分析できること、にある。

$$Mort_{py} = \alpha_0 + \sum_b \beta_0^b Temp_{py}^b + \beta_1 Income_{it} + \beta_2 SO2_{py} + \beta_3 Humid_{py} + \beta_4 Doctor_{py} + \beta_5 Popdensity_{py} + \beta_6 Education_{py} + \beta_7 (\text{その他変数}) + \varphi_p + \varepsilon_{py} \quad (3)$$

ここで、Mortは各省の1000人当りの死亡率、Temp^bは温度変数で、各年における、日平均気温がある特定の温度カテゴリ b（例えば、5℃～10℃）に属する日数を表す変数、Incomeは各省の一人当たりの年間実質可処分所得、SO2は各年の年間SO2排出量である。Humidは各省年平均相対湿度を、Doctorは各省の1万人当りの医療技術者数（医師、看護師など）であり、その地域で受けられる医療サービスの水準を表している。Popdensityは各省の人口密度を、Educationは各省の一人当たりの平均教育年数であり、教育水準を表す変数である。 φ は各省の時間を通じて不変な個別効果、 ε は誤差項を表し、p、yはそれぞれ、省および年を表している。なお、気温の影響を受けて健康状態が悪化した人は、発病後2～6ヶ月間に死亡するケースが多いため、y年の気温が死亡率に与える影響は同年であると考えている。

(3) 緩和策の有効性の評価

2012年都道府県レベルのクロスセクションデータを用いて、下記の再生可能エネルギーモデル（太陽光発電設備容量に対する需要関数）のパラメータを推計した。

$$D_j = \alpha_0 + \alpha_1 EPS_j + \alpha_2 PD_j + \alpha_3 HA_j + \alpha_4 d_j + \varepsilon_j \quad (4)$$

ただし、D_jは都道府県 j において2012年7月から2013年6月末までに認定を受けた太陽光発電設備容量（以下では、認定容量と呼ぶ）あるいは運転開始した発電設備容量（以下では、運転容量と呼ぶ）、EPS_jは都道府県 j における発電設備1kWあたりの買取期間における売電収入の現在価値合計（円/kW）、PD_jは都道府県 j における人口密度（人数/km²）、HA_jは都道府県 j における可住面積（km²）、d_jは都道府県 j が政令指定都市を含む都道府県であれば1、そうでなければ0をとる政令指定都市ダミーであり、 ε_j は誤差項である。

1kWあたりの売電収入現在価値合計（ESP_j）は、(5)式に示すように、kWあたりの毎年の発電量に、買取価格をかけ、割引率で現在価値に換算したものを合計したものとして計算した。

$$ESP_j = P \cdot E_j \cdot \left(1 + \frac{1}{1+r} + \frac{1}{(1+r)^2} + \dots + \frac{1}{(1+r)^{19}} \right) \quad (5)$$

ただし、 P は買取価格（都道府県共通）、 E_j は都道府県 j の1kWの設備当りの毎年の発電量（予想量）、 r は利子率である。また、太陽光パネルの寿命の法定耐用年数は17年であるが、実際の耐用年数は20～30年とされている。したがって、本稿では、買取期間の間発電でき、それ以降は発電できないものと想定する。また、10kW以上の規模の設備を対象にして分析するため、買取期間は20年として計算している。

なお、以下では、2012年7月1日から2013年6月30日までの1年間に認定を受けた設備容量あるいは運転を開始した設備容量を対象に分析する。この場合、2012年度に認定を受けた設備と2013年度に認定を受けた設備とでは買取価格が異なる。2012年度の買取価格（税抜き）は40円/kWhであり、2013年度のそれは36円/kWhであった。したがって、以下では、その平均値（39円/kWh）を買取価格として計算した。利子率は、2012年末の20年の国債の利子率を用いた（0.15%）。

年間の発電量予想量 E_j の計算方法についてはNEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）の太陽光発電ガイドラインを参考にした。（6）式に示すように、kwあたりの1日当たり毎年の発電量は設置面の1日あたりの年平均日射量（kWh/m²/日）と損失係数の積を標準状態における日射強度（kW/m²）で割ることにより求められる。

$$E_j = H_j * K * 365 \div 1 \quad (6)$$

ここで、 H_j は、都道府県 j における設置面の1日あたりの年平均日射量、 K は損失係数である。設置面の1日あたりの年平均日射量（kWh/m²/日）については、NEDOが提供している日射量閲覧データベースより確認することができ、それを利用した。損失係数はモジュールの種類、受光面の汚れ等で多少変わるが、本稿では平均的な損失係数を73%と設定した。なお、この内訳は、年平均セルの温度上昇による損失約15%、パワーコンディショナによる損失約8%、配線、受光面の汚れ等の損失約7%である。

4. 結果及び考察

(1) 計量経済学的手法と応用一般均衡モデルの手法を統合した世界農業経済モデルの開発

【生産性モデルの開発と気温上昇の農業生産性への影響】

(1) 式の推計結果と(2)式を用いて、気温上昇シナリオ（RCP26、RCP40、RCP60、RCP85）における各国別の農業生産性への影響をシミュレーションした結果をまとめると、表4.3.1及び4.3.2になる。

この結果から次のような結論が得られる。

- ① アジア地域においては、南アジア、東南アジア諸国で、生産性低下の影響が大きい（－1.8～－2.8%）。それ以外の国（韓国、台湾を除く）では、－0.5～－1.5%となる。
- ② 一方、韓国と台湾では、気温上昇によって、農業生産性が上昇する。
- ③ 北米、中南米、ヨーロッパにおいては、気温が低い国では、気温上昇によって生産性が上昇する（カナダ、USA、ウクライナ、ロシア）。
- ④ ヨーロッパ（ロシア、ウクライナ以外）では、気温上昇の程度が他の国に比べて、大きいいため、気温上昇による生産性低下の影響は比較的大きい（－1.3～2.1%）
- ⑤ 気温の高い南米、カリブ諸国（カリブ諸国、ブラジル、コロンビア、ベネズエラ）では、気温上昇による生産性へのマイナスの影響が大きい。
- ⑥ アフリカ地域においては、気温が高い国（コートジボアール、ガーナ、ナイジェリア、ケニア）で

は、気温上昇による生産性低下の影響が大きい（－2.6～－4.0％）。

- ⑦ 気温が相対的に低い国（エジプト、モロッコ、エチオピア、南アフリカ）では、気温上昇による生産性低下の影響は小さい（－0.5～－1.2％）

表4.3.1：2050年における気温上昇と農業生産性への影響（対2010年、冷帯及び温帯）

国・地域	気候帯	農業生産性への影響			
		RPC26	RPC40	RPC60	RPC85
Canada	冷帯	3.83%	4.43%	3.38%	6.07%
Russian Federation	冷帯	3.03%	3.40%	1.76%	4.22%
USA	冷帯	3.08%	3.82%	2.85%	4.51%
Ukraine	冷帯	2.69%	3.47%	2.04%	4.12%
Romania	冷帯	3.08%	3.33%	1.93%	4.57%
Republic of Korea	冷帯	2.92%	3.20%	1.83%	3.87%
China	温帯	-1.92%	-2.13%	-1.41%	-2.65%
Poland	温帯	-1.36%	-1.55%	-0.99%	-2.10%
United Kingdom	温帯	-0.56%	-0.66%	-0.25%	-1.10%
Germany	温帯	-1.04%	-1.16%	-0.72%	-1.74%
Netherlands	温帯	-0.70%	-0.85%	-0.42%	-1.21%
Belgium	温帯	-0.83%	-0.95%	-0.53%	-1.32%
Japan	温帯	-1.12%	-1.33%	-0.75%	-1.46%
Turkey	温帯	-1.03%	-1.39%	-0.96%	-1.69%
France	温帯	-0.87%	-0.93%	-0.60%	-1.32%
Italy	温帯	-1.03%	-1.18%	-0.81%	-1.51%
Uzbekistan	温帯	-1.18%	-1.15%	-0.87%	-1.51%
Spain	温帯	-0.73%	-0.86%	-0.63%	-1.20%
Argentina	温帯	-0.40%	-0.53%	-0.46%	-0.73%
Greece	温帯	-0.88%	-1.04%	-0.67%	-1.28%
Iran	温帯	-0.76%	-0.92%	-0.75%	-1.16%
Morocco	温帯	-0.58%	-0.76%	-0.61%	-0.97%
South Africa	温帯	-0.55%	-0.56%	-0.53%	-0.72%
Pakistan	温帯	-0.60%	-0.70%	-0.51%	-0.86%
Australia	温帯	-0.22%	-0.23%	-0.22%	-0.31%
Egypt	温帯	-0.32%	-0.40%	-0.31%	-0.52%
Saudi Arabia	温帯	-0.12%	-0.14%	-0.12%	-0.15%

表4.3.2：2050年における気温上昇と農業生産性への影響（対2010年、熱帯）

国・地域	農業生産性への影響			
	RPC26	RPC40	RPC60	RPC85
Peru	1.22%	1.26%	1.05%	1.54%
Mexico	0.32%	0.31%	0.32%	0.26%
Ethiopia	-0.82%	-0.88%	-0.67%	-1.20%
Tanzania	-0.81%	-0.88%	-0.60%	-1.14%
Myanmar	-0.98%	-0.87%	-0.48%	-1.04%
Viet Nam	-1.49%	-1.57%	-0.86%	-1.81%
Colombia	-1.25%	-1.29%	-0.99%	-1.85%
India	-1.39%	-1.71%	-1.15%	-2.06%
Kenya	-2.00%	-2.14%	-1.66%	-2.63%
Bangladesh	-2.02%	-2.11%	-1.12%	-2.43%
Venezuela	-2.05%	-2.24%	-1.72%	-3.04%
Brazil	-1.94%	-2.01%	-1.88%	-3.03%
Malaysia	-1.30%	-1.58%	-1.11%	-2.18%
Philippines	-1.50%	-1.89%	-1.38%	-2.30%
Indonesia	-1.57%	-1.99%	-1.42%	-2.40%
Thailand	-2.05%	-2.09%	-1.44%	-2.39%
Cote d'Ivoire	-2.68%	-2.54%	-2.19%	-3.26%
Sri Lanka	-2.07%	-2.25%	-1.67%	-2.77%
Nigeria	-3.03%	-3.09%	-2.54%	-3.90%
Ghana	-3.31%	-3.25%	-2.75%	-4.04%

【世界農業経済モデルの開発と気温上昇の農業部門や経済への影響】

農業生産性モデルを使って得られた生産性への影響を、世界農業経済モデルにリンクさせることで、気温上昇による各国別の農業部門への影響をシミュレーション分析した結果は、表4.3.3～4.3.5に示す通りである（RCP85シナリオのケースについてのみ掲載）。直接効果は、生産性モデルのシミュレーション結果（生産性への影響）に対応しており、全効果は、世界農業経済モデルを使って得られた農業部門全体への影響（生産性への影響と貿易を通じた間接影響の合計の効果）を表しており、実質GDP変化率は、実質GDPへの影響すなわち一国経済全体への影響を表している。

表4.3.3：気温上昇と経済影響（アジア）

	2050年気温上昇（RCP85）	直接効果（％）	全効果（％）	実質GDP変化率（％）
オーストラリア	1.1	-0.31	0.48	-0.009
ニュージーランド	1.2	-1.19	-1.36	-0.034
その他オセアニア	0.9	-1.61	-1.81	-0.065
中国	2.1	-2.65	-1.56	-0.209
日本	1.7	-1.46	-1.51	-0.018
韓国	1.8	3.87	3.81	0.067
台湾	1.5	1.01	0.63	0.018
その他東アジア	1.8	3.69	5.11	0.055
ミャンマー、ティモール	1.1	-1.04	-0.50	-0.308
その他東南アジア	1.1	-2.42	-2.05	-0.042
インドネシア	1.0	-2.40	-1.86	-0.284
マレーシア	1.1	-2.18	-1.97	-0.172
フィリピン	1.1	-2.30	-2.06	-0.223
タイ	0.9	-2.39	-2.12	-0.212
ベトナム	1.2	-1.81	-1.77	-0.311
その他南アジア	2.0	-1.77	-0.99	-0.526
バングラデシュ	1.2	-2.43	-1.60	-0.530
インド	1.3	-2.06	-1.19	-0.337
パキスタン	2.0	-0.86	-0.45	-0.140
スリランカ	1.0	-2.77	-2.57	-0.530
中央アジア	1.9	1.96	2.24	0.102
ウズベキスタン	1.7	-1.51	-1.43	-0.178
その他西アジア	2.0	-0.64	-0.57	-0.031
イラン	2.0	-1.16	-0.55	-0.084
サウジアラビア	2.1	-0.15	-0.37	-0.002
トルコ	1.9	-1.69	-1.61	-0.109

表4.3.4：気温上昇と経済影響（北米、中米、ヨーロッパ）

	2050年気温上昇（RCP85）	直接効果（％）	全効果（％）	実質GDP変化率（％）
カナダ	2.6	6.07	13.10	0.112
USA	2.0	4.51	6.34	0.069
メキシコ	1.6	0.26	-0.68	0.007
アルゼンチン	1.0	-0.73	-0.26	-0.066
その他南米	1.0	-0.37	-0.32	-0.024
ブラジル	1.4	-3.03	-2.51	-0.197
コロンビア	1.2	-1.85	-2.49	-0.109
ペルー	1.4	1.54	1.51	0.166
ベネズエラ	1.4	-3.04	-1.94	-0.117
その他中米	1.2	-1.66	-2.67	-0.224
カリブ諸国	1.1	-1.94	-2.23	-0.088
ベルギー	1.4	-1.32	-1.47	-0.019
北ヨーロッパ	1.6	1.96	4.08	0.013
フランス	1.7	-1.32	-1.11	-0.026
ドイツ	1.8	-1.74	-1.81	-0.019

ギリシャ	1.8	-1.28	-1.12	-0.045
イタリア	1.9	-1.51	-1.36	-0.023
オランダ	1.3	-1.21	-1.58	-0.024
その他西ヨーロッパ	2.0	-2.27	-2.94	-0.016
ポーランド	1.9	-2.10	-1.98	-0.069
スペイン	1.6	-1.20	-0.92	-0.034
イギリス	1.0	-1.10	-0.56	-0.009
南ヨーロッパ	1.9	-1.62	-1.45	-0.056
東ヨーロッパ	2.1	-0.01	0.57	-0.006
ルーマニア	2.1	4.57	4.71	0.473
ロシア	1.9	4.22	4.97	0.096
ウクライナ	1.9	4.12	5.44	0.547

表4.3.5：気温上昇と経済影響（アフリカ）

	2050年気温上昇（RCP85）	直接効果（％）	全効果（％）	実質GDP変化率（％）
エジプト	1.9	-0.52	-0.76	-0.070
モロッコ	1.7	-0.97	-0.55	-0.138
北アフリカ	1.9	-0.55	-0.12	-0.049
その他西アフリカ	1.4	-4.81	-4.55	-1.191
コートジボアール	1.2	-3.26	-3.54	-1.435
ガーナ	1.3	-4.04	-4.01	-1.424
ナイジェリア	1.3	-3.90	-2.52	-1.367
中央アフリカ	1.4	-2.21	-1.03	-0.177
エチオピア	1.4	-1.20	-1.01	-0.458
ケニア	1.3	-2.63	-2.44	-1.039
タンザニア	1.3	-1.14	-0.89	-0.291
東アフリカ	1.3	-1.05	-0.69	-0.178
南アフリカ	1.3	-0.72	-0.48	-0.024
その他南アフリカ	1.3	-0.66	-0.02	-0.034

分析の結果得られた結論は以下のとおりである。

- ① 北米では、気温上昇によって、貿易を通じた間接効果も含めた農業部門への影響はプラスの効果であった。一方、気温上昇によるマイナスの効果が最も大きいのはアフリカ、次いで、中南米諸国であった。
- ② GDPへの影響（実質GDP変化率）で見ると、北米では、気温上昇による農業部門へのプラスの効果によって、実質GDPが増加する一方、実質GDPへのマイナス効果が最も大きいのはアフリカ、次いで、アジアであった。
- ③ いくつか特徴的な国についてみると、オーストラリアは、生産性が低下するものの、主要な貿易相手国（日本、中国、インドネシアなど）の生産性の低下よりはるかにその程度が小さいため、輸出増加の効果によって、農業部門への全効果はプラスであった。
- ④ アメリカは、生産性が上昇することに加え、主要な貿易相手国のうち、生産性が低下する中国や日本への輸出が増加するため、全効果は、生産性上昇効果より大きくなる。
- ⑤ カナダも生産性が上昇するだけでなく、貿易相手国（アメリカ、メキシコ、日本、中国など）は、

気温上昇によって生産性が低下したり、上昇したとしてもカナダよりも上昇幅が小さいため、貿易相手国に比べて相対的に農業生産の比較優位が強くなる。この結果、これらの国への輸出が増加するため、全効果は生産性上昇効果を上回った。

⑥ 日本では、気温上昇によって農業部門の生産性が低下するが、アメリカなどの主要な貿易相手国において生産性が上昇するため、農業生産に関して相対的に比較優位を失う。このため、農作物の輸出が減少し、輸入が増加する結果、貿易を通じた間接効果を含んだ全効果では、さらにマイナスの影響が大きくなり、全体のマイナスの効果は、生産性へのマイナスの効果を上回る。

⑦ 上記の議論からわかるように、気温上昇が農業部門へ与える経路は、生産性への直接影響（直接効果）だけでなく、比較優位の変化を通じた間接効果（貿易を通じた効果）も重要な役割を果たす。

⑧ 気温上昇によって生産性が低下したとしても、貿易相手国の生産性の低下がより大きければ、輸出が増加する結果、農業部門への影響が小さくなるが、貿易相手国の生産性の低下が小さければ、あるいは、貿易相手国の生産性が上昇するなら、輸出が減少し、輸入が増加する結果、農業部門へのマイナスの影響がより大きくなる。

⑨ 特に、相対的にアフリカ諸国のマイナス影響が大きいため、適応策の実施により、気温上昇による生産性の低下を緩和させることが重要な政策課題となる。

(2) 季節による気温上昇の影響の違いを考慮した健康被害モデルの開発

(3) 式の推計結果は、表4.3.6に示す通りである。ハウスマン検定の結果により固定効果モデルを選択された。推計された各温度カテゴリーのパラメータは、それぞれの温度カテゴリーが一年間に1日増えた場合、人口千人当り新たに出了死亡者数を表している。

モデル1（ベースモデル）は表4.3.6が示す通り、9個の気温カテゴリー変数のパラメータの推計値はすべて5%の水準で有意に正になっている。図4.3.1は気温カテゴリー変数の推計値を表している。

この図からわかるように、各気温カテゴリーのパラメータの数値を比較すると、低気温カテゴリー変数および高気温カテゴリー変数のパラメータは、中程度の気温カテゴリー変数と比較して、大きな値になっている。このことから、気温上昇によって、低気温カテゴリーに属する日数が減少し、中程度の気温カテゴリーが増加することで、死亡率は減少することがわかる。

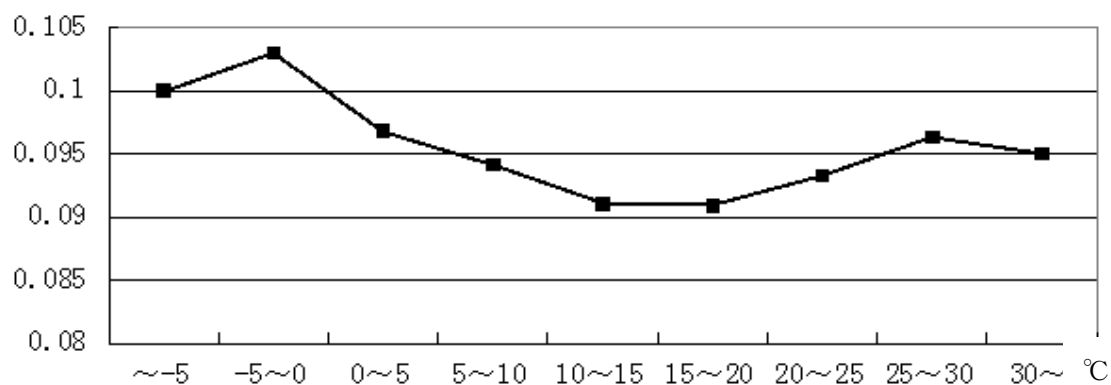


図4.3.1：モデル1の温度カテゴリーパラメータの推計値

一方、気温上昇によって、高気温カテゴリーに属する日数が増加すると、死亡率は増加する。このことから、気温上昇によって、年間の死亡率が増加するか減少するかは、年間の低気温カテゴリーや高気温カテゴリーの日数に依存して決まることがわかる。すなわち、年間を通じて、低気温カテゴリーの日数が相対的に多い省では、気温上昇は死亡率を減少させ、高気温カテゴリーの日数が相対的に多い省では、気温上昇は死亡率を増加させることわかる。

温度カテゴリー以外に経済的要因を代表する年間実質可処分所得は5%の有意水準でマイナスであり、大気汚染要因を代表する年間So2排出量は5%の有意水準でプラスに有意であった。すなわち、年間実質可処分所得が一万元上昇すると、0.319/千人 (-0.0000319×10000) の死亡者数が減少する。これは、経済的に豊かな人は、健康に望ましい環境を比較的に容易に手に入れられ、病気になってもレベルの高い治療を受けられるからだと推察される。年間So2排出量が一万吨上昇すると、0.00405/千人の死亡者数が減少する。これは、大気汚染が深刻化するほど人間は室外の行動を控える傾向があるので、極端な温度環境や大気汚染からの影響も事故に遭う確率も下がるからだと考えられる。

表4.3.6：推計結果

	モデル1 (ベースモデル)	モデル2	モデル3
TEMP ^{~-5}	0.1000433***	0.0928477**	0.1082464**
TEMP ^{-5~0}	0.1030152***	0.0931817**	0.1158285***
TEMP ^{0~5}	0.0968393**	0.0901286**	0.1084889***
TEMP ^{5~10}	0.0941914**	0.0879582**	0.1071134***
TEMP ^{10~15}	0.0911016**	0.084822**	0.1045794***
TEMP ^{15~20}	0.0909256**	0.0849969**	0.1064245***
TEMP ^{20~25}	0.0933251**	0.087507**	0.1097399***
TEMP ^{25~30}	0.0963504**	0.0898962**	0.1137661***
TEMP ^{30~}	0.0950523**	0.0889576**	0.1074198*
Humidity	0.0000489	0.0000558	-0.0015186
RealIncome	-0.0000319**	-2.04E-06	4.72E-06
So2	-4.05E-07**	-5.18E-07***	-7.32E-07***
DoctorPer10000		-0.0061356	-0.0091481
EducationYear		-0.0958896	-0.0486539
PopulationDensity		-0.001138***	-0.0011746***
Humidity*TEMP ^{~-5}			0.0004691***
Humidity*TEMP ^{-5~0}			-0.0000151
Humidity*TEMP ^{30~}			0.0000857**
So2*TEMP ^{~-5}			-1.40E-09
So2*TEMP ^{-5~0}			4.52E-10
So2*TEMP ^{30~}			9.22E-09
RealIncome*TEMP ^{30~}			2.97E-07
RealIncome*TEMP ^{~-5}			2.39E-07
RealIncome*TEMP ^{-5~0}			-4.79E-07

＊、＊＊、***はそれぞれ、10%、5%、1%の有意水準で優位であることを示している。

次に、温度、湿度、可処分所得とSO₂排出量のほか、平均教育年数、万人当医療技術者数と人口密度をコントロール変数としてモデルに入れて推計したモデル2では、モデル1の推計結果と同じように、9個の温度カテゴリー係数とSo₂排出量の係数は全部5%の水準で有意となっている。係数値とその変化のトレンドを見ると、各カテゴリーの係数もそれほど変動せず、モデル1の推計結果と同じように非対称のU字形をしている。人口密度はマイナスで1%の有意水準で有意となっている。これは、人口が集中するほど都市化が進んでおり、より良い生活環境と医療サービスを利用できるためである。実質可処分所得と平均教育年数の係数は有意でなかった。実質可処分所得と平均教育年数をそれぞれ一方だけを入れて推計した結果を見ると、実質可処分所得あるいは平均教育年数がマイナスで有意になっている。このことから、所得と教育水準の間に相関関係するために、多重共線性の問題が生じている可能性が高い。

モデル3は、低温環境を表す $\sim -5^{\circ}\text{C}$ 、 $-5^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ と高温環境を表す $30^{\circ}\text{C} \sim$ の温度カテゴリーと湿度、実質可処分所得及びSO₂排出量との交差項を加えたモデルになっている。推計結果から、9個の温度カテゴリー係数は全部10%の有意水準で有意となった。係数値の変化トレンドを見ると、モデル1の推計結果と同じように非対称のU字形となっている。

また、温度カテゴリーと湿度、実質可処分所得、SO₂排出量との交差項の係数を見ると、 $\sim -5^{\circ}\text{C} * \text{Humidity}$ と $30^{\circ}\text{C} \sim * \text{Humidity}$ の交差項は5%の有意水準で有意であったが、それ以外の交差項の係数はすべて有意ではなかった。すなわち、極端の低温環境と極端の高温環境の下で、相対湿度が上昇すると気温が死亡率に与える影響は大きくなるが、実質可処分所得とSo₂排出量の変動は、低温環境と高温環境における温度の死亡率への影響を与えないことになる。

モデル1の推計結果を用いて、中国において、気温が2.5度上昇した場合、年間1000人当たりの死亡者数の増加を省別にシミュレーションすると図4.3.2のような結果が得られた。この結果から、気温上昇は、中国南部地方で死亡者数を増加させる一方、中国北部地方においてはむしろ死亡者数を減らすことがわかる（白抜きの省は、データが入手できなかったため分析対象外となった省である。）。これは、北部では、気温上昇による冬の死亡者数の減少が、夏の死亡者数の増加を上回るからである。このように、気温上昇が死亡者数に与える影響は、地域間で大きな差があることがわかった。

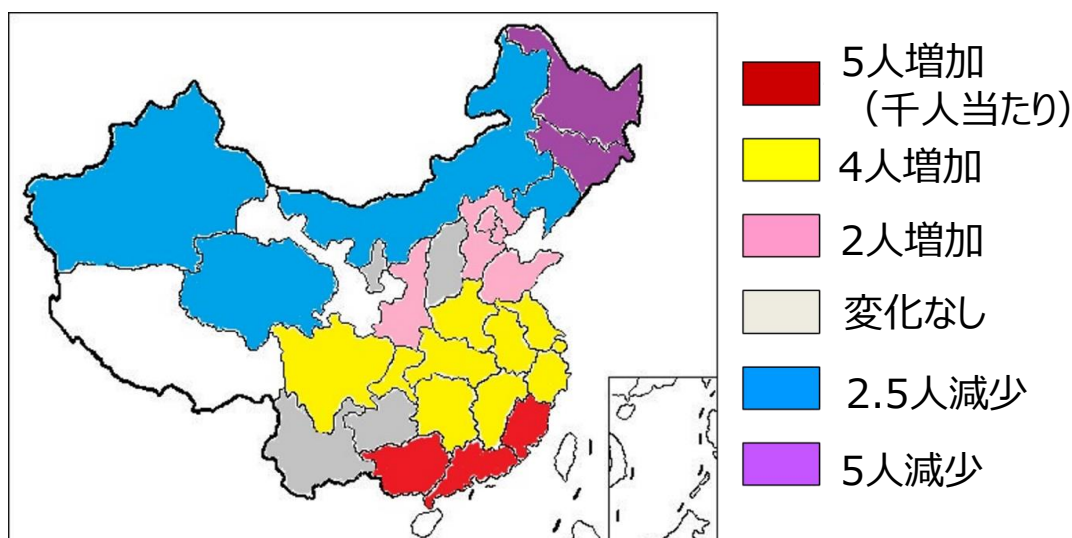


図4.3.2：気温上昇（2.5℃）による省別死亡率への影響

(4) 緩和策の有効性の評価

(4) 式の推計結果は、表4.3.7、4.3.8に示す通りである。なお、モデル1は、(4)式を意味している。モデル2は、容量の対数をとったものを被説明変数とした場合のモデルであり、モデル3は、説明変数のダミー変数以外の変数について対数をとったものを説明変数とした場合のモデルである。モデル4は、被説明変数、説明変数ともに対数をとった場合のモデルである。また、表4.3.7は、分析期間において運転を開始した設備の容量（運転容量）を被説明変数にした場合の推計結果を、表4.3.8は、分析期間に認定を受けた設備の容量（認定容量）を被説明変数にした場合の推計結果を表している。

表からわかるように、1kWあたりの売電収入現在価値合計のパラメータは、いずれのモデルでも正であり、1%の有意水準で有意であった。このことは、買取価格を高く設定することで、運転容量を増加できることを意味している。

次に、運転容量と認定容量のそれぞれのモデルにおける1kWあたりの売電収入の現在価値合計のパラメータの推計結果を使って、1%の売電収入の増加（すなわち、1%の買取価格の上昇）が運転容量及び認定容量に与える影響を計算すると、表4.3.9のようになる。ただし、計算に当たって、モデル3以外のモデルについては、平均値を使って評価した。

表4.3.9からわかるように、買取価格が認定容量に与える効果は、運転容量のそれと比べて3倍（モデル4）～14倍程度（モデル3）大きい。制度導入当初は、認定を受け、電力会社に接続申し込みをした時点の買取価格が適用された。加えて、必ずしもすぐに接続契約を締結する必要はなかったため、契約締結に至らないままの状態を維持することが可能であった。このため、認定容量の場合、運転容量に比べて、より価格の効果が大きくなるものと考えられる。表4.3.9は、より高い買取価格を求めて、早期に認定だけを受けるインセンティブが強く働いていたことを示唆しているものと考えられる。

表4.3.7:推計結果(被説明変数が運転容量のケース)

運転容量10kw以上	モデル1			モデル2			モデル3			モデル4		
	推計値	標準偏差	P値	推計値	標準偏差	P値	推計値	標準偏差	P値	推計値	標準偏差	P値
売電収入	0.3166243	0.096	***	0.0000154	0.000003	***	230119	69707.21	***	11.41856	2.301	***
人口密度	-1.796843	2.347		-0.0000717	0.000074		10034.35	6040.187		0.224802	0.199	
可住面積	0.8160399	1.233		0.0000306	0.000039		22443.13	6944.719	***	0.573166	0.229	**
政令指定都市ダミー	18736.69	8425.346	**	0.6891931	0.267089	**	2576.753	8897.042		0.282539	0.294	
定数	-210158.8	72735.35	***	-1.725946	2.305758		-3321086	934595.6	***	-150.465	30.857	***

***、**はそれぞれ1%の有意水準、5%の有意水準で有意であることを示している。

表4.3.8:推計結果(被説明変数が認定容量のケース)

認定容量10kw以上	モデル1			モデル2			モデル3			モデル4		
	推計値	標準偏差	P値	推計値	標準偏差	P値	推計値	標準偏差	P値	推計値	標準偏差	P値
売電収入	3.204132	1.04	***	0.0000129	0.000003	***	3141700	815238.6	***	11.35079	2.249	***
人口密度	-45.60464	25.44	*	-0.0002089	0.000077	**	-83291.22	70641.09		-0.24827	0.195	
可住面積	92.48389	13.37	***	0.0001214	0.000040	***	503789.6	81219.75	***	0.996514	0.224	***
政令指定都市ダミー	79965.21	91344.16		0.5771781	0.276334	**	34949.04	104052.5		0.292307	0.287	
定数	-2221823	788566.90	***	2.477675	2.385569		-45400000	10900000	***	-147.172	30.151	***

***、**、*はそれぞれ1%の有意水準、5%の有意水準、10%の有意水準で有意であることを示している。

表4.3.9:1%の買取価格上昇による容量の増加

	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
運転容量(kW)の増加	240	3,104	230,119	303,001
認定容量(kW)の増加	2,432	34,697	3,141,700	402,155

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- ① 世界農業経済モデルの開発による、貿易を通じた農業部門への影響を考慮した分析が可能となった点について

農業生産への負の影響が大きい国では、貿易を通じて海外から農作物の供給が可能になることで経済への影響を抑制することができるため、貿易自由化は適応策としての側面を持つ。しかし、気温上昇が農業部門に与える影響の分析は、従来、生産性への影響を対象にした直接影響に関する研究が中心であった。生産性への影響は、貿易相手国との比較優位（相対的な生産性の変化）の変化を通じて、農作物の輸出入に影響を及ぼすため、貿易を通じた間接効果までも考慮した全効果を分析することは容易ではなかった。貿易を通じた効果を分析するツールに応用一般均衡モデルがあるが、これを用いるためには、計量経済学的手法を用いて、気温上昇による農業生産性への影響を国別に推計した上で、応用一般均衡モデルとリンクさせたモデルを開発し、シミュレーションする必要がある。気温上昇による生産性への影響は国によって異なるため、その違いを考慮したモデル開発が必要であるがそのようなモデル開発は行われてこなかった。本研究では、計量経済学的手法と過去のデータを用いて、国別の気温上昇の影響を推計するために、生産性モデルを開発し、応用一般均衡モデルとリンクさせることで、従来の課題の解決を図った点に大きな科学的意義がある。

また、貿易を通じた農業部門への影響を分析する際に、生産性に及ぼす直接影響だけでなく、貿易相手国との相対的な生産性への影響（比較優位の変化）が重要な役割を果たす点については、経済学分野において、これまで十分に明らかにされてこなかった点である。たとえば、農業生産性が下落する場合でも、貿易相手国のマイナスの影響が自国より大きければ、相手国に対して、農業生産の比較優位が高まるため、農作物の輸出が増加（あるいは、輸入が減少）する要因となり（影響の大きい国にとっては、輸出減少、あるいは、輸入増加の要因となり）、生産性低下のマイナス効果を相殺してくれる。逆に、貿易相手国のマイナスの影響が自国より小さければ、農作物の輸出が減少（あるいは、輸入が増加）するため、生産性のマイナスの効果をさらに強めてしまう。このように、本モデルの開発によって、これまでわからなかったメカニズムの存在を定量的に明らかにし、気温上昇によってマイナスの直接影響があるにもかかわらず、貿易によってその影響が縮小する国と増幅する国があること、また、途上国の中でも特にアフリカ諸国への負の影響が大きく、国際的な経済支援の仕組みの検討が必要なことを明らかにした科学的意義は大きい。

- ② 季節の違いによる気温の死亡率への影響を考慮したモデル開発により、年間を通じた総合的な評価が可能となった。

夏の気温が上昇することで、熱中症などにより死亡率が上昇するが、冬の気温の上昇は、凍死などのリスクを減らすため、冬の死亡率を低下させる。従来の先行研究では、熱中症に焦点を当てて分析してきたため、一年を通じた気温上昇の効果を総合的に評価おらず、従来の推計結果は、温暖化の影響を過大評価している。本モデルの開発によって、季節の違いによる気温上昇の効果の違いと、社会経済的要因が健康被害に及ぼす要因を考慮した健康被害モデルを開発することで、年間を通じた気温上昇の影響を総合的に評価するモデル化の手法を開発し、地域によってむしろ気温上昇による健康影響が改善する地域があることを明らかにした科学的意義は大きい。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

<行政が活用することが見込まれる成果>

世界農業経済モデルを用いた気温上昇による各国・地域の農業部門への影響（特に、貿易を通じた総合的な評価）の分析結果において、貿易を考慮しても、気温上昇は、カナダ、アメリカ、ロシア、北ヨ

ヨーロッパなど一部の国に大きな利益をもたらす一方で、アフリカなどの発展途上国に及ぼすマイナスの影響は大きいことを明らかにしている。特に、生産性の直接影響と、貿易を通じた間接効果も考慮した影響を総合影響は必ずしも一致しないことが明らかにされた。このような知見は、気候変動による途上国経済への影響をどのように緩和していくべきかを議論する上で貢献できるものと期待される。

6. 国際共同研究等の状況

- ① 「気候変動の経済発展に関する共同研究」 Vu Hoang Nam准教授（ベトナム・貿易大学）、Huey-lin Lee准教授（台湾・国立政治大学）、研究協力者

上記のNam准教授との共同研究をベースに、2019年9月30日に東北大学経済学研究科と貿易大学（ベトナム）、国立気象水文研究所（ベトナム）、ラオス国立大学経済学部（ラオス）との間で「気候変動と経済発展に関する共同研究・教育協定」を締結した。MOA締結については、現地、ベトナム新聞（ベトナムの代表的な英字新聞）2019年9月30日）で報道された。（下記の通り）

<https://vietnamnews.vn/economy/536177/workshop-discusses-impacts-of-climate-change-on-economic-development.html#vPGu6pTrVWY0xoU0.97>

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表【謝辞なし】

<論文（査読あり）>

- 1) 岡川 梓・堀江哲也・須賀伸介・日引 聡：環境科学会誌，Vol. 28、No. 6、pp. 432-437（2015），久米島農家の赤土流出対策実施・サトウキビ作型選択の要因

<査読付論文に準ずる成果発表>【謝辞なし】

- 1) Y. Kurakawa and A. Hibiki：Economically Enabled Energy Management (edited by T. Hatanaka, Y. Wasa and K. Uchida), Springer (2020年6月予定) “Effectiveness of feed-in tariff and renewable portfolio standard under strategic pricing in network access”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 馬奈木俊介編：原発事故後のエネルギー需給の変化と日本経済への影響、ミネルバ書房（2016）
「第9章日本の固定価格買取制度と太陽光発電普及の効果（執筆担当：日引 聡）」
- 2) K. Nohara, A. Okagawa, A. Hibiki and H. Yamano：ERSA conference papers ersa16p211, European Regional Science Association (2016)
Valuation of coral reefs using site choice model
- 3) K. Nohara M. Narukawa and A. Hibiki：DSSR Discussion Papers No.103, Graduate School of Economics and Management, Tohoku University (2019)
Estimating the value of coral reefs in Kume Island, Japan, using a contingent behavior method: A Poisson-Inverse Gaussian approach with on-site correction
- 4) M. Kurata, K. Takahashi and A. Hibiki: DSSR Discussion Papers 95, Graduate School of Economics and Management, Tohoku University (2019)
Gendered Impacts of Household and Ambient Air Pollution on Child Health: Evidence from Household and Satellite-based Data in Bangladesh

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 中 嶋一憲、日引 聡：環境経済政策学会 2016 年大会、（2016）
「気候変動が世界の農業生産性に及ぼす影響に関する実証分析」
- 2) 岡川 梓、堀江哲也、日引 聡：環境経済政策学会 2016 年大会、（2016）

「サトウキビ農家の赤土流出対策実施の決定要因の分析」

- 3) 新熊隆嘉、日引聡、澤田英司：環境経済政策学会 2016 年大会、(2016)
“A Collective Responsibility and Judgment-proof Problem”
- 4) K. Nohara, A. Okagawa, A. Hibiki and H. Yamano: European Regional Science Association Congress 2016, Vienna, U.S.A. (2016)
“Valuation of coral reefs using site choice model”
- 5) Y. Kurakawa and A. Hibiki: EAAERE Annual conference, Fukuoka, Japan (2016)
“Effectiveness of feed-in tariff and renewable portfolio standard under strategic pricing in network access”
- 6) Y. Kurakawa and A. Hibiki: 35th USAEE/IAEE North American Conference, Houston, USA (2017)
“Effectiveness of Feed-in Tariff and Renewable Portfolio Standard under strategic Pricing in Network Access”
- 7) 庫川幸秀、日引聡：日本経済学会 2017 年度秋期大会 (2017)
「送電部門の垂直的形態と可能エネルギー普及政策の効果」
- 8) 日引聡：環境経済政策学会2018年大会（基調講演）(2018)
「気候変動と農業部門への影響」
- 9) 野村魁、佐藤宇樹、松田安昌、日引聡：環境経済・政策学会2018年大会 (2018)
「インドの大気汚染による呼吸器疾患への影響」
- 10) A. Hibiki: Annual meeting of Korean Environmental Economics Association (基調講演) (2018) Climate Change and its Impact on the Agricultural Sector (Seocheon-gun)
- 11) A. Hibiki: Annual meeting of Taiwanese Association of Environmental Resource Economics (基調講演) (2018) Impacts of Indoor and Outdoor Air Pollution on Child Health in Bangladesh (Taipei)
- 12) L. Ding and A. Hibiki: 2018 Annual meeting of Korea Environmental Economic Association, Seocheon-gun, Korea (2018)
“Empirical Study on the Impact of PM10 on Mortality Rate in China” ,
- 13) Y. Kurakawa and A. Hibiki: 14th International Conference of West Economic Association International, Newcastle, Australia (2018)
“Effectiveness of Feed-in Tariff and Renewable Portfolio Standard under strategic Pricing in Network Access” ,
- 14) M. Kurata, K. Takahashi and A. Hibiki: 2018 Annual meeting of Korean Environmental Economics Association, Seocheon-gun, Korea (2018)
“Impacts of Indoor and Outdoor Air Pollution on Child Health in Bangladesh”
- 15) K. Nohara, A. Okagawa, A. Hibiki and H. Yamano: 2018 Annual meeting of Korean Environmental Economics Association, Seocheon-gun, Korea (2018)
“The Recreational Value of Coral Reefs in Okinawa Prefecture: A Site Choice Model”
- 16) L. Ding and A. Hibiki: 2018 Annual meeting of Taiwanese Association of Environmental and Resource Economics, Taipei, Taiwan (2018)
“Empirical Study on the Impact on Mortality in China”
- 17) L. Ding Lin and A. Hibiki: 2018 Annual meeting of Korean Environmental Economics Association, Seocheon-gun, Korea (2018)
“Empirical Study on the Impact of PM10 on Mortality Rate in China”
- 18) Y. Kurakawa and A. Hibiki: 14th International Conference of West Economic Association International, Newcastle, Australia (2018)
“Effectiveness of Feed-in Tariff and Renewable Portfolio Standard under strategic Pricing

in Network Access”,

- 19) L. Ding and A. Hibiki: 15th International Conference of Western Economic Association, Tokyo, Japan (2019)
“Empirical Study on the Impact on Mortality in China”
- 20) A. Hibiki, H. Lee and Y. Hijioka: Global : 15th International Conference of Western Economic Association, Tokyo, Japan (2019)
“Global Warming and its Impact on the Agricultural Sector”
- 21) M. Kurata, K. Takahashi and A. Hibiki: 15th International Conference of Western Economic Association, Tokyo, Japan (2019)
“Gendered Impacts of Household and Ambient Air Pollution on Child Health: Evidence from Household and Satellite-based Data in Bangladesh”
- 22) K. Nohara, A. Okagawa, A. Hibiki and H. Yamano: 15th International Conference of Western Economic Association, Tokyo, Japan (2019)
“The Recreational Value of Coral Reefs in Okinawa Prefecture: A Site Choice Model”
- 23) A. Hibiki: Workshop on Climate Change and Economic Development, Hanoi, Viet Nam, (2019)
“A CGE Approach (2019) “The Impact of Temperature Rise on the Agricultural Sector at the Country Level”

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 日引聡、滋賀大学リスク研究センター・環境経済セミナー、「地球温暖化と農業部門への経済影響」(2018年10月18日、聴講者約40名)
- 2) 日引聡、宮城県立仙台第三高等学校における特別授業「経済学ってなんだろう」(2019年5月24日、聴講者約80名)
- 3) 日引聡、福島大学経済経営学類学術講演会、2019年、「気候変動が日本のコメ生産に与える影響に関する経済分析」(2019年12月12日、聴講者約100名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) ベトナム新聞 (Vietnam News) (2019年9月30日、オンライン) 「Workshop discusses impacts of climate change on economic development」(本研究成果の一部(ベトナム・貿易大学との共同研究)がベトナムで開催されたワークショップで発表されたこと、また、貿易大学との共同研究をベースに、東北大学経済学研究科、貿易大学、ベトナム・国立気象水文研究所、国立ラオス大学と気候変動に関する研究協力のためのMOA締結に至った様子を報道)。記事は下記の通り
<https://vietnamnews.vn/economy/536177/workshop-discusses-impacts-of-climate-change-on-economic-development.html>

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない

Ⅱ－４ 気候変動に対する実効性ある緩和と適応の実施に資する国際制度に関する研究

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター 環境政策研究室

久保田 泉

社会環境システム研究センター 副センター長

亀山 康子

平成27年度（開始年度）～令和元年度研究経費（累計額）：25,639千円（研究経費は間接経費を含む）

（平成29年度：5,125千円、平成30年度：4,869千円、令和元年度：5,125千円）

【要旨】

パリ協定と、京都議定書（1997年）やカンクン合意（2010年）との大きな違いは、途上国の気候変動対策の位置づけが大きくなり、さらに、その評価も詳細化され、途上国間の差異化等も必要とされることであり、それに伴い、国際ルールがより詳細化・複雑化することにある。また、途上国は、新合意の中で、緩和策と適応策とをバランスのとれた扱いにするように求めている。途上国は、先進国と比べると、緩和策や適応策を実施する能力・資金・技術に乏しい国が多く、また、気候変動影響が大きく発現する。このため、途上国は、先進国に資金及び技術支援を強く求めており、国際制度に寄せる期待は非常に大きい。

既存研究では、国際制度の分析と国内実施の分析とが分断されて実施されているが、これは現実と乖離している。国際制度の実効性を評価し、新しい国際制度の実効性を高めるための現実的な政策オプションを提示するためには、主要国の国内実施を分析し、国際制度の分析と連結させる必要がある。

S-14-5(4)では、以下の5項目の研究・研究関連業務を実施した。

- 1）パリ協定とその合意形成過程の分析
- 2）適応基金理事会において承認されたプロジェクトにみられる気候変動影響への脆弱性と適応便益の分析
- 3）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の分析
- 4）緑の気候基金（GCF）の近年の動向に関する調査
- 5）日本における気候変動対策（緩和策）における規制的手法の役割

【キーワード】

気候変動、国際制度、緩和、適応、実効性

1. はじめに

本研究課題の構想時期の頃、2020年以降、国際社会がどのように気候変動問題に取り組んでいくかについての合意を、気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）（2015年、於パリ）で採択すべく、交渉が行われていた。

2020年以降の気候変動対処のための国際制度（現在のパリ協定）と、京都議定書（1997年）やカンクン合意（2010年）との大きな違いは、途上国の気候変動対策の位置づけが大きくなり、さらに、その評価も詳細化され、途上国間の差異化等も必要とされることであり、それに伴い、国際ルールがより詳細化・複雑化することにある。また、途上国は、新合意の中で、緩和策と適応策とをバランスのとれた扱いにするように求めている。途上国は、先進国と比べると、緩和策や適応策を実施する能力・資金・技術に乏しい国が多く、また、気候変動影響が大きく発現する。このため、途上国は、先進国に資金及び技術支援を強く求めており、国際制度に寄せる期待は非常に大きい。

既存研究では、国際制度の分析と国内実施の分析とが分断されて実施されているが、これは現実と乖離している。国際制度の実効性を評価し、新しい国際制度の実効性を高めるための現実的な政策オプ

ションを提示するためには、主要国の国内実施を分析し、国際制度の分析と連結させる必要がある。

テーマ5では、世界全体の温室効果ガス排出量と整合的な緩和策、影響・適応策費用推計を実施することになっている。この推計結果の信頼性を高めるためには、シナリオ設定の妥当性の検討が必須である。2020年以降の気候変動対処のための国際制度は、過去のもの比べると、相当に複雑化・詳細化することが予期されていることから、国際制度に関する情報の収集・分析を国際法及び国際関係論の専門性を持つ研究者が実施し、統合評価モデル研究者に提供することの重要性は高い。

2. 研究開発目的

本課題では、応用一般均衡モデルを用いた緩和策と適応策の統合評価実施に用いるシナリオ設定（政策仮定）の背景となる国際制度に関する情報を収集・分析し、統合評価モデルに成果を提供し、シナリオ設定の妥当性の検討を行う。そして、気候変動に関する国際交渉の状況や国内実施状況を踏まえた、実効性ある国際制度のオプションを提示することを目的とする。以下が本研究課題で実施した主要な研究テーマである。

1) パリ協定とその合意形成過程の分析

応用一般均衡モデルを用いた緩和策と適応策の統合評価実施に用いるシナリオ設定（政策仮定）の背景が現実の国際動向を踏まえた妥当性の高いものとなることを目的とした。

2) 適応基金理事会において承認されたプロジェクトにみられる気候変動影響への脆弱性と適応便益の分析

途上国の関心が高く、かつ、定量的な指標がないために優先順位づけが困難な、適応関連資金メカニズムの制度設計への示唆を導出することを目的として、分析を行った。

3) 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の分析

国際、国内、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を概観し、それらの課題を示して、将来の国際制度設計への示唆を得ることを目的として、分析を行った。

4) 緑の気候基金（GCF）の近年の動向に関する調査

パリ協定下の特に資金支援の観点から、今後の国際制度における緩和策と適応策への支援のあり方を検討することを目的とし、GCFの近年の動向につき、詳細な情報収集を行い、統合モデル研究者と共有した。

5) 日本における気候変動対策（緩和策）における規制的手法の役割

日本を対象として、気候変動対策、特に緩和策における規制的手法が果たしてきた役割を明らかにすることを目的とした。

3. 研究開発方法

S-14-5(4)では、以下の5項目の研究・研究関連業務を実施した。

1) パリ協定とその合意形成過程の分析

COP等の交渉会議を傍聴し、国際機関文書や関連研究等を踏まえ、パリ協定及びその詳細ルール交渉過程に関する情報を収集・分析し、その結果をテーマ5サブテーマ1（統合評価モデル研究）に提供し、統合評価モデル研究者と協働して、シナリオ設定の妥当性を検討する。

2) 適応基金理事会において承認されたプロジェクトにみられる気候変動影響への脆弱性と適応便益の分析

途上国の関心が高く、かつ、定量的な指標がないために優先順位づけが困難な、適応関連資金メカニズムの制度設計への示唆を導出することを目的として、過去の実績及び関連研究を基に、適応基金理事会から承認された提案書において、①提案書提出国の地理的配分、②脆弱性に関する記述、③適応策の類型、④適応便益の4点がどのように記述されているかを分析した。

3) 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の分析

過去の実績及び関連研究を基に、国際、国内、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を概観し、それらの課題を示した。

4) 緑の気候基金（GCF）の近年の動向に関する調査

緑の気候基金（Green Climate Fund: GCF）は、気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）の下、途上国における気候変動緩和策と適応策の実施に必要な資金を供給するために、2010年に設立された基金である。政府からの公的支援のみならず民間からの投資も対象としていることや、緩和策と適応策とのバランスの重視が求められていることなど、過去の基金とは異なる特徴を有する。

2020年には設立10周年を迎え、UNFCCCの下での交渉では2025年以降の資金目標の議論も本格化することから、本業務では今までの同基金の活動の実態を把握することを目的に調査を行った。GCFのwebサイトに掲載されている情報、特に2018年から2019年にかけて公表されたものを中心に、以下の9点についてとりまとめた。

- ①国・地域ごとの公表・署名済み拠出誓約額
- ②GCF資金の受け取り手に関する調査
- ③GCFプロジェクトの承認額の推移
- ④GCFプロジェクトの地域・国別の整理
- ⑤資金の供与方法
- ⑥GCFプロジェクトのタイプ・規模に関する調査
- ⑦GCFプロジェクトによる温室効果ガス排出削減に関する調査
- ⑧GCFプロジェクトによる適応能力の増強に関する調査
- ⑨GCFの課題に関する調査

5) 日本における気候変動対策（緩和策）における規制的手法の役割

日本における気候変動対策（緩和策）における規制的手法の役割を明らかにするため、関連研究等を基に、気候変動問題における規制的手法の特徴と具体例とを概観したうえで、日本の気候変動対策における規制的手法にまつわる状況の変化と、国内外の石炭火力発電所をめぐる状況について論じた。

4. 結果及び考察

1) パリ協定とその合意形成過程の分析

パリ協定採択までの交渉経緯をフォローし、各交渉グループのポジションを把握し、採択後はパリ協定の構造を把握し、合意を促した要因とパリ協定の評価に関するレビューを行った。パリ協定の概要を図4.4.1に示す。

パリ協定の合意を促したのは、以下5つの要因であることを示した。①気候変動の科学的知見が進展・詳細化したこと、②世界中で起こった異常な気象現象の頻発により、気候変動問題に対する人々の危機感が高まったこと、③各国の今回合意しようという意思の高まり。特に、COP21前にほとんどの条約締約国が約束草案を提出したこと、米国及び中国が合意に前向きな姿勢を示していたこと、そして、会期終盤に、島嶼国、EU、米国などが名を連ねた「高い野心連合」が結成されたことは、合意形成に特に大きな影響をもたらした。④議長国フランスの采配のうまさ、そして、⑤欧米を中心として、各国、都市レベル、産業界、市民社会での気候変動問題への意欲的な取り組みが現実のものとなっていること。

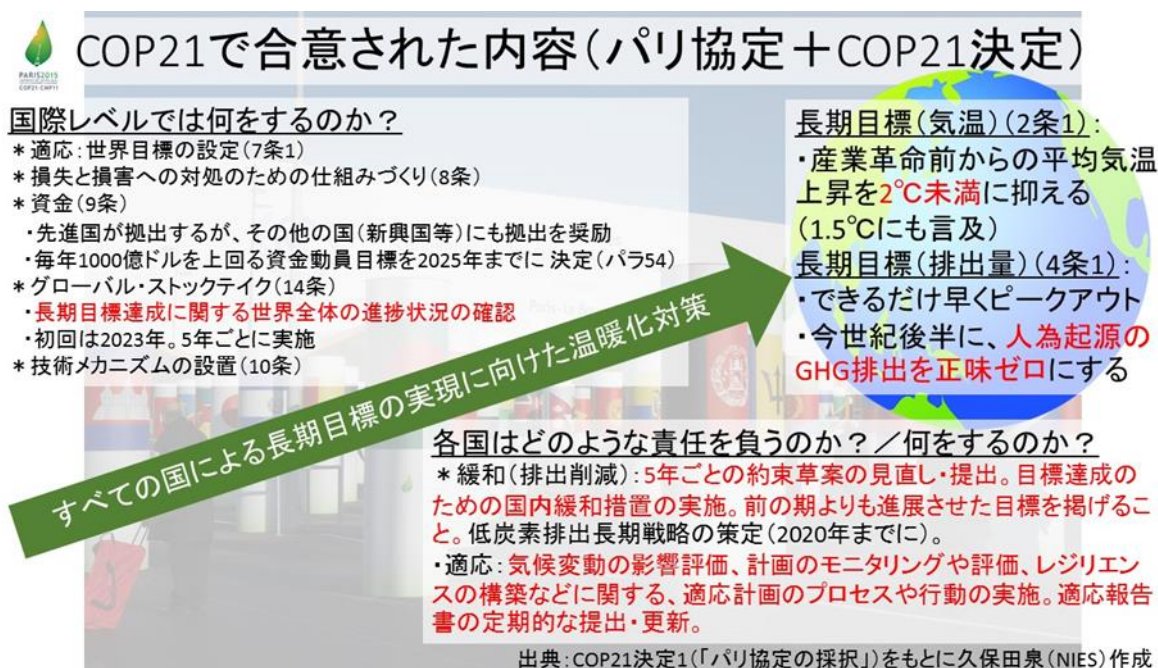


図4.4.1：COP21決定1の内容

また、パリ協定が「歴史的合意」として高く評価される理由として、以下3点が挙げられることを示した。

第1に、国際条約の中で、長期目標を設定したことである。同協定は、世界中で気候変動影響の懸念が高まっているため、気候変動の脅威への対応を強化するとし、そのために、産業革命前と比べて、世界全体の平均気温の上昇幅を、2℃を十分に下回る水準に抑制することを目的としている(2℃目標)。さらに、気候リスク及び影響を著しく減少させることにつながることから、上昇幅を1.5℃未満に抑えるように努力することも記されている。

そして、緩和策については、今世紀後半に、人為起源の温室効果ガス排出を正味でゼロにすることを、適応策については、適応能力を拡充し、レジリエンス(気候変動した世界に合わせられるしなやかさ)を強化し、脆弱性を低減させることを、それぞれ長期目標として設定した。パリ協定は、実質的には、世界が化石燃料への依存から脱却していく、という方向性を示しており、これは、各国、産業界、そして、市民社会に対する重要なメッセージとなっている。

第2に、包括的かつ持続的な国際制度を実現したことである。すべての国が長期目標の達成のために気候変動対策を前進させ続けることになった。緩和策だけでなく、適応策、資金支援、技術開発・移転、能力構築、行動と支援の透明性といった要素をバランスよく取り扱っていることである。加えて、先進国以外の国に対しても、途上国に対して、気候変動対策に必要な資金や技術などの支援を行うよう奨励している。

第3に、条約の共通だが差異ある責任原則を一部修正したことである。すべてのパリ協定締約国は、各国の気候変動対策に関する目標を5年ごとに設定・提出し、その達成に向けて努力することが義務づけられている。そして、各国は、前の期よりも進展させた目標を提出することになっている。ただし、京都議定書とは異なり、目標の達成そのものは義務とはされていない。

先進国と途上国との差異化については、パリ協定では、先進国と途上国の二分論を回避しつつ、排出削減や、各国が行った気候変動対策に関する情報のモニタリング・報告・検証については、それぞれの国の事情に違いがあることを認め、すべての国が共通の枠組みの下で実施することが原則とされている。条約採択時から現在までのみならず、今後の各国の事情の変化にも対応できるよう、配慮がなされている。

パリ協定の採択・発効は、国際レベルの気候変動対策の転換点となる大きな成果といえるが、現在、各国が提出している2025年／2030年の気候変動対策の目標がすべて達成されたとしても、2℃目標の達

成にはほど遠い。同協定が真に実効性あるものになるかは、①詳細ルール（COP24（カトヴィツェ（ポーランド）、2018 年）において採択。市場メカニズムに関する詳細ルールについては、合意に至らず、持ち越されている）と、②2020 年まで、そして、2020 年以降、各国がとる気候変動対策のレベルの引き上げを実現させられるかにかかっている。

上述のような課題はあるものの、国際社会は、パリ協定の目的、すなわち、脱化石燃料の実現に向けて、着実に歩みを進めている。たとえば、世界の主要機関投資家の間では、石炭等の化石燃料を、座礁資産（利益を回収できないリスクの高い資産）ととらえる見方が広がっており、ダイベストメント（化石燃料関連への投資の引き揚げ）等の動きが拡大している。

さらに、パリ協定の発効や、米国大統領選の結果を受けて、米国のトランプ大統領政権下の気候変動政策が、パリ協定等の気候変動対処のための国際枠組みにどのように影響するかについての関心が高まったことから、とりわけ、国際条約脱退に関する米国内の手続きと事例についての調査・分析を行った。

パリ協定については、大統領権限で脱退できるが、気候変動枠組条約を脱退するためには、上院の同意を得る手続きにかかる時間に加えて、気候変動枠組条約が規定する 1 年が必要となること、そして、上院の同意を得て締結した条約を、大統領が上院の同意を得ずに破棄することが憲法上許容されるのかどうかについては、1979 年に民主党のカーター大統領が行った米台相互防衛条約を破棄した例と、2001 年にジョージ・ブッシュ大統領が弾道弾迎撃ミサイル制限条約（ABM 条約）を破棄した例とがあり、後者の例（ABM 条約）については、民主党の下院議員が、合衆国憲法に違反するとして、裁判を提起したが、裁判所は、下院議員には原告適格がないとして、訴えを却下した。したがって、上院の同意を得て締結した条約を、大統領が上院の同意を得ずに破棄することが憲法上許容されるのかどうかに関する司法判断はない。

これらの分析を COP21 終了後いち早く行い、結果を S-14-5 のモデル研究者等と情報共有したほか、市民向けの解説記事を執筆し、講演を多数行った。

2) 適応基金理事会において承認されたプロジェクトにみられる気候変動影響への脆弱性と適応便益の分析

適応基金理事会から承認された提案書において、①提案書提出国の地理的配分、②脆弱性に関する記述、③適応策の類型、④適応便益の 4 点がどのように記述されているかを分析した結果、①地域ごとの提案書数に対する承認率については同等であるものの、適格国の数が地域ごとに大幅に異なるため、バランスがとれているとは評しがたいこと、②適応基金による支援を受ける資格があるとされるためには、適格性クライテリアを満たさなければならず、同クライテリアには、「特に脆弱な」という文言が使われているが、かかる文言は、11 の提案書に合計 18 回登場したのみであった。各国が「特に脆弱である」ことを明確に正当化することは、提案書が採択されるか否かに影響しなかったと言える。「脆弱性」については、承認された提案書に頻出するが、回数は、ひとつの提案書あたり、9 から 200 近くと相当の幅が認められ、文脈も様々である。国レベルの脆弱性については、ほぼすべての提案書に、なぜその国が気候変動影響に脆弱であるといえるのか、複数の理由付けが記載されていたが、それら相互の関係性は必ずしも明確なかたちでは示されていなかった。したがって、それぞれの国の「脆弱性の程度」を評価し比較することは困難である。③過半数のプロジェクトは、気候リスクの管理に主眼を置いたものであり、能力構築に関するプロジェクトがそれに続いていること、④ほとんどの提案書が 3 つのタイプの便益（経済、社会、環境）のすべてに言及しており、経済的便益については、すべての提案書で示されていること、また、生態系を基盤とした適応アプローチを採用した国は、環境上の便益を強調した書きぶりになっていること、を示した。

3) 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の分析

適応に関する国際制度構築に関する議論は、国家適応行動計画の策定等、一部の進展を除き難航してきた。その理由として、適応は、基本的に地方又は地域レベルでの対応であるため、国際制度の中で国家の権利義務関係として構成することが困難であること、適応策策定に必要な脆弱性評価・影響評

価・経済評価が十分でない、あるいは偏在していたことが挙げられる。

適応関連資金供与制度の最大の課題は、適応に必要とされる額に比べて、資金規模が圧倒的に小さいことである。加えて、先進国からの資金拠出の劇的な増大が見込めない現在、いかに資金を得るだけでなく、効果的・効率的な資金供与方法についても、十分に検討する必要がある。資金配分に関する設計にあたっては、既に存在する適応オプションを効率的に実現すべく資金支援を行っていくことと、気候変動影響に脆弱な国に対する支援を確保することの両方の視点が必要である。

サブナショナルレベルの政府は、適応策の実施に関して、中心的な役割を果たしてきているが、国レベルとサブナショナルレベルとの間で調整を行うための体系だった取り組みはほとんど見られない。こういった調整のためのメカニズムを国が持つことが今後ますます重要となる。

ほとんどの都市の適応計画は、ビジョンを示すものとなっている。現在、適応計画を策定している都市のうち、本稿では、先進的な事例を取り上げたが、これらの適応計画の根底に共通していたのは、「気候変動影響への消極的な対応としての適応策」の段階を超えて、より魅力的な街づくり実現の機会と積極的にとらえていたことである。

海外の先進事例を踏まえ、日本において、地方自治体における適応策を進めていくために、以下3点を指摘しておく。

第1に、地方自治体は、その自治体により合ったかたちで、気象・気候関連被害への適応戦略を立案することが可能であることを地方自治体自身が認識する必要がある。都市のインフラに対する投資は、適応を加味すべきであること、また、ハードな対策だけではなく、グリーンインフラやソフトな対策も重要である。

第2に、適応策は、防災等の既存の上位開発政策との一貫性を有していない場合、適切に実施されない。そのため、適応策を開発政策のなかに取り込んで推し進めていく必要がある。

第3に、地方自治体は、限られた財源のなかで、短期的な政策課題に対して、重点的に投資を行うため、長期的リスクの評価に目が向くような仕組みを作り出す必要があり、そのための国等からの支援（法的枠組みの整備、資金、情報の一元化など）が必要である。中でも、情報の一元化は重要である。現在のところ、各地方自治体が適応計画を策定するうえで必要な情報は分散しており、参照するのが非常に困難な状況にある。

4）緑の気候基金（GCF）の近年の動向に関する調査

① 国・地域ごとの公表・署名済み拠出誓約額

2015年から2018年までのGCFからCOPへの報告書と2019年1月のGCFの発表から、国・地域ごとの公表・署名済み拠出誓約額を整理した（表4.4.1）。

2019年1月時点で、48の国・地域から合計102億USD相当の拠出が公表・署名されている。17GCFへの資金の拠出は、先進国だけでなく途上国、公的機関や民間団体等から誓約することも可能であるが、国・都市・地域以外からの拠出は見られない。

表4.4.1 国・地域ごとの公表・署名済み抛出誓約額

単位：百万USDeq

No.	国	2015	2016	2017	2018	2019
1	オーストラリア	187.0	187.1	187.2	187.2	187.3
2	オーストリア	25.0	34.8	34.8	34.8	34.8
3	ベルギー	54.3	66.9	66.9	66.9	66.9
4	ブルガリア	-	0.1	0.1	0.1	0.1
5	カナダ（無償）		155.1	155.1	155.1	155.1
	カナダ（有償）		101.6	101.6	101.6	101.6
	カナダ（クッション）		20.3	20.3	20.3	20.3
6	チリ	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
7	コロンビア		0.3	0.3	0.3	0.3
8	キプロス	-		0.5	0.5	0.5
9	チェコ共和国	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
10	デンマーク	71.8	71.8	71.8	71.8	71.8
11	エストニア		1.3	1.3	1.3	1.3
12	フィンランド		46.4	46.4	107.0	107.0
13	フランス（無償）	577.9	577.9	577.9	577.9	577.9
	フランス（有償）		381.3	381.3	381.3	381.3
	フランス（クッション）		76.3	76.3	76.3	76.3
14	ドイツ	1,003.3	1,003.3	1,003.3	1,003.3	1,003.3
15	ハンガリー		4.3	4.3	4.3	4.3
16	アイスランド	0.2	0.3	0.7	0.9	0.9
17	インドネシア	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
18	アイルランド			2.7	5.4	8.0
19	イタリア		66.9	267.5	267.5	267.5
20	日本	1,500.0	1,500.0	1,500.0	1,500.0	1,500.0
21	ラトビア	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
22	リヒテンシュタイン	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
23	リトアニア		0.1	0.1	0.1	0.1
24	ルクセンブルク	6.7	33.4	33.4	33.4	46.8
25	マルタ	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5
26	メキシコ	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
27	モンゴル				0.0	0.0
28	モナコ	0.3	0.3	1.3	1.3	2.3
29	オランダ	133.8	133.8	133.8	133.8	133.8
30	ニュージーランド	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
31	ノルウェー	257.9	257.9	257.9	272.2	272.2
32	パナマ	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0
33	ポーランド	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
34	ポルトガル		2.7	2.7	2.7	2.7
35	大韓民国	100.0	100	100	100	100
36	ルーマニア		0.1	0.1	0.1	0.1
37	ロシア連邦					3.0
38	スペイン		160.5	160.5	160.5	160.5
39	スウェーデン	581.2				
40	スイス	30.0	100.0	100.0	100.0	100.0
41	イギリス	1,211.0	1,211.0	1,211.0	1,211.0	1,211.0
42	米国		3,000.0	3,000.0	3,000.0	3,000.0
	合計	5,759.9	9,879.4	10,102.6	10,198.4	10,200.8

②GCF資金の受け取り手に関する調査

GCFの資金は、認証機関がGCFにファンディングプロポーザルを提出し、GCF理事会が承認した後に、提供される。GCFプロジェクトは、規模別に、マイクロ（総事業費10百万USD以下）、小規模（同10～50百万USD）、中規模（同50～250百万USD）、大規模（同250百万USD以上）に区分され、マイクロまたは小規模かつ環境・社会リスクが低い事業は、簡易案件採択プロセスを適用することが可能である。

2019年9月時点で、ファンディングプロポーザルは合計111件（うち、簡易案件採択プロセス7件）が採択されている。111件のうち、国際認証機関が86件、直接認証機関が25件を実施している（図4.4.1）。

国際認証機関は、国際連合開発計画（UNDP）が24件と突出して多くの案件を実施している。UNDPに次いで、世界銀行とアジア開発銀行がそれぞれ9件、米州開発銀行と欧州復興開発銀行が6件、アフリカ開発銀行が5件と多い。なお、日本は、国際協力開発機構と三菱UFJ銀行が国際認証機関であるが、三菱UFJ銀行による1件のみである。

直接認証機関では、地域認証機関が10件、国家認証機関が15件を実施している。地域認証機関が実施する10件では、Acumen Fund（アメリカ）、Banque Ouest Africaine de Développement（トーゴ）及びDevelopment Bank of Southern Africa（南アフリカ）がそれぞれ2件と最も多い。国家認証機関が実施する15件では、Environmental Investment Fund（ナミビア）が4件、XacBank（モンゴル）が3件と最も多い。

③GCFプロジェクトの承認額の推移

2015年11月の第11回GCF委員会でFP001（ペルー）に対して6.2百万USDの拠出が決定されてから2019年9月時点までの合計111件に合計5,232.9百万USDの拠出が承認されており（失効した4件を除く）（図4.4.2）、プロジェクトへの協調融資等を含むプロジェクト総事業費は18,737.6百万USDに上る。

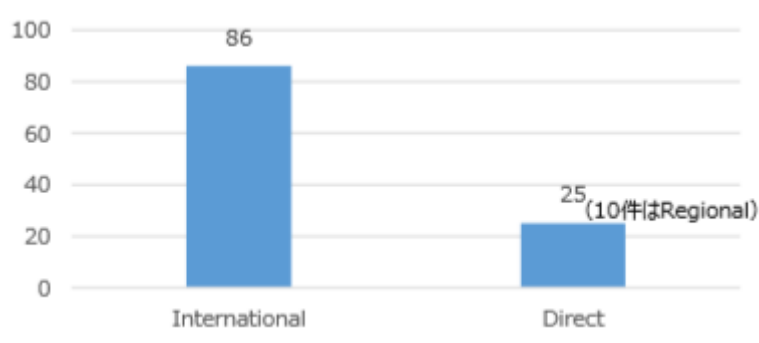


図4.4.1 GCFへのアクセスに関するAEの件数

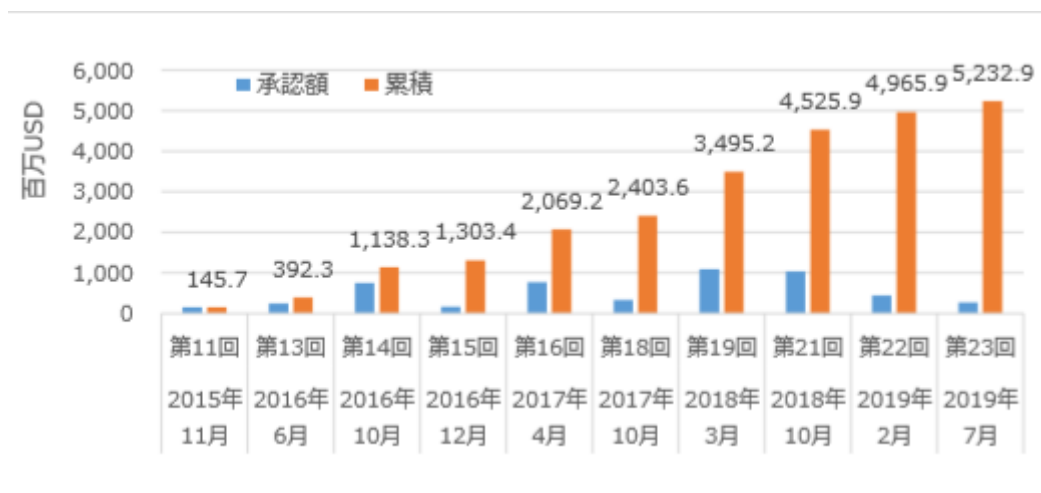


図4.4.2 GCF理事会による承認額の推移

GCFがプロジェクトを承認した後は、GCFと認証機関は、活動合意書（Funded Activity Agreement：FAA）を締結し、GCFはFAAの内容に従って資金を拠出する（実際にはGCF資金の管理機関（2019年時点では世界銀行）が拠出する）。GCFウェブサイトによると、2019年9月時点で、FAAが締結されたプロジェクトの承認額は2,400百万USDとしている。

GCFウェブサイトの情報から算定した、実際に各プロジェクトに拠出された金額の合計は約595.9百万USD（承認額の約11%、FAA締結プロジェクトの24.8%）である。実際の拠出額が小さい要因としては、2019年時点では、開始されたばかりのプロジェクトが多いため（2017年に開始している事業が多い）であることが要因の一つと考えられる。

④GCFプロジェクトの地域・国別の整理

111件のプロジェクトのホスト国による地域別の件数を見ると、アフリカ地域が46件、アジア太平洋地域が44件、中南米・カリブ地域が24件、東欧地域が6件である。

2019年9月時点で、99か国でプロジェクトを実施しており、最もプロジェクトの件数が多い国はケニア、ナミビア及びモンゴルの7件、次いで、ナイジェリア、モロッコの6件、ウガンダ、セネガル、タジキスタン、ブルキナファソ、ベナンの5件が続く（図4.4.3）。

一方、GCFの承認額でみると、ブラジル（3件、300.6百万USD）、モンゴル（7件、241.6百万USD）、エジプト（4件、239.9百万USD）が大きい。GCF資金の分配を地域別で見ると、図4.4.3に示す件数の分布割合と同程度である（図4.4.4）。なお、GCFのウェブサイトによると、後発開発途上国では40件、小島嶼開発途上国では23件を実施している。

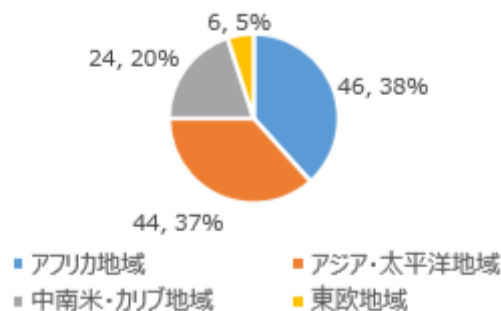


図4.4.3 地域別GCFプロジェクト実施件数

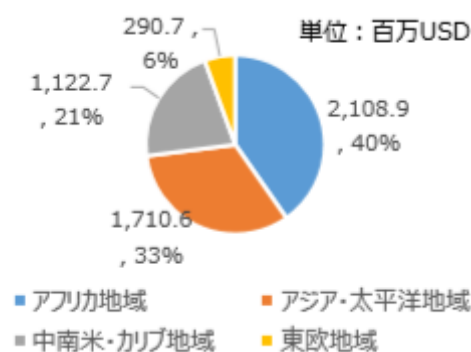


図4.4.4 地域別GCFプロジェクト承認額

⑤資金の供与方法

GCF資金は、無償（Grant）、有償（Loan）、保証（Guarantee）及び出資（Equity）、成果払い（Result based payment）並びにこれらの組合せで供与される。2019年9月時点での111件を供与方法別に分類した（表4.4.2）。有償及び出資のみのプロジェクトは、それぞれ5件、1件と限定的であり、保証のみのプロジェクトはない。有償のみのプロジェクトは、いずれも太陽光や風力といった発電プロジェクトである。出資のみのプロジェクトはFP115チリでの海洋揚水ダムプロジェクト（三菱UFJ銀行が認証機関）である。また、成果払いは、途上国における森林減少・森林劣化に由来する排出の抑制、並びに森林保全、持続可能な森林経営、森林炭素蓄積の増強（REDD+）プロジェクトにのみ適用されている。資金の供与方法を無償、有償、保証、出資、成果払いで整理すると、無償45%、有償42.2%、保証1.5%、出資9.1%および成果払い2.2%である。

⑥GCFプロジェクトのタイプ・規模に関する調査

111件のGCFプロジェクトを公共セクターと民間セクターで分類すると、公共セクターが86件（約77.5%）、民間セクターが25件（約22.5%）と、公共セクターが多数を占めている。一方、GCFからの資金規模で見ると、公共セクターが3,076.4百万USD（58.8%、1件あたり平均35.8百万USD）、民間セクターが2,156.5百万USD（41.2%、1件あたり平均86.3百万USD）であり、民間セクターでのプロジェクト1件あたりの平均的な資金供与額の規模は、公共セクターの約2.4倍である（図4.4.5）。公共セクターのプロジェクトは、国際認証機関が72件、直接認証機関が14件を実施している。国際認証機関ではUNDPが24件と最も多く、直接認証機関では、Environmental Investment Fundが4件と最も多い。民間セクターのプロジェクトは、国際認証機関が14件、直接認証機関が11件を実施している。国際認証機関では、アフリカ開発銀行、欧州開発銀行、米州開発銀行の各3件が最も多く、直接認証機関では南アフリカ開発銀行、XacBankの各3件が最も多い。

2019年9月時点で承認されているGCFプロジェクトを、「緩和」、「緩和+適応」、「適応」に分類すると（表4.4.3）、緩和33件、緩和+適応28件、適応50件である。

表4.4.2 供与方法別の資金額

単位：百万USD

プロジェクト	件数	無償	有償	保証	出資	成果払い
無償	67	1,815.4	—	—	—	—
有償	5	—	347.7	—	—	—
保証	0	—	—	—	—	—
出資	1	—	—	—	60.0	—
成果払い	2	—	—	—	—	115.1
無償+有償	28	467.5	1,843.7	—	—	—
無償+保証	1	11.3	—	75.0	—	—
無償+出資	5	43.1	—	—	406.4	—
無償+有償+保証	1	14.7	9.8	3.2	—	—
無償+有償+保証+出資	1	2.1	5.4	1.5	11.0	—
合計	111	2,354.1	2,206.6	79.7	477.4	115.1
		45.0%	42.2%	1.5%	9.1%	2.2%

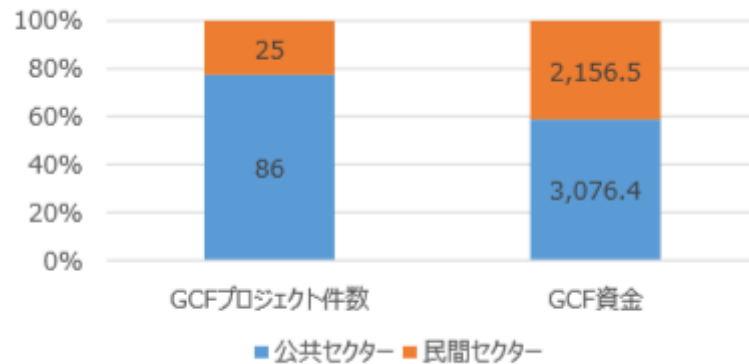


図4.4.5 セクター別プロジェクト件数と資金の比較

表4.4.3 GCFプロジェクトのタイプ別分類

		緩和		緩和+適応		適応	
公共セクター	マイクロ（10 百万 USD 以下）	0	18	1	20	11	48
	小規模（10～50 百万 USD）	5		5		20	
	中規模（50～250 百万 USD）	9		12		16	
	大規模（250 百万 USD 以上）	4		2		1	
民間セクター	マイクロ（10 百万 USD 以下）	0	15	1	8	1	2
	小規模（10～50 百万 USD）	2		2		1	
	中規模（50～250 百万 USD）	6		2		0	
	大規模（250 百万 USD 以上）	7		3		0	
合計		33		28		50	

これらプロジェクトを公共・民間セクターで分類すると、緩和は、公共18件と民間15件、緩和+適応は公共20件と民間8件、適応は公共48件と民間2件である。規模でみると、公共セクターは中規模プロジェクトが最も多いが、適応では小規模が最も多い。一方、民間セクターは大規模プロジェクトが最も多いが、適応ではマイクロ、小規模の各1件のみである。表4.4.4に資金規模別とAE別の実施件数を割合と共に示す。表4.4.5から、プロジェクトの規模が大きくなるにつれて、International AEの割合が高くなるのがわかる。特に中規模、大規模プロジェクトは、85%以上がInternational AEによる。

プロジェクトタイプ別の資金分配割合で見てみると、緩和42%、緩和・適応33%、適応25%となり、緩和+適応プロジェクトの資金分配を各50%と仮定すると、緩和：適応が58.5：41.5となり、緩和への資金分配が多い傾向が見られる（表4.4.5）。

⑦GCFプロジェクトによる温室効果ガス排出削減に関する調査

GCFでは、各ファンディングプロポーザルにおいて、事業実施期間における温室効果ガス排出削減総量が推計されている。2019年9月時点で、緩和および緩和+適応プロジェクトは、各33件、28件の合計61件実施されており、それらプロジェクトによる事業期間中のGHG排出削減総量は、約1,544.4百万トンCO₂eである（表4.4.6）。その内訳は、緩和プロジェクトで約1,282百万トンCO₂e、緩和+適応プロジェクトで約262.4百万トンCO₂eである。緩和プロジェクトに対して承認された資金は約2,215.9百万USDであることから、単純に算定すると、緩和プロジェクトのGHG削減費用は、約1.7USD/tCO₂e（1USD=107JPYとすると181.9円/tCO₂e）、緩和+適応プロジェクトでは約6.7USD/tCO₂e（同716.9円/tCO₂e）となり、緩和+適応プロジェクトのGHG削減費用は緩和プロジェクトと比較して約3.9倍高い。これは緩和+適応プロジェクトにおいては適応の効用が重視されている可能性を示唆している。

⑧GCFプロジェクトによる適応能力の増強に関する調査

GCFでは、各ファンディングプロポーザルにおいて、事業実施期間において適応プロジェクトによる受益者数が推計されている。2019年9月において、適応プロジェクトおよび緩和+適応プロジェクト

は、各50件、28件の合計78件実施されており、それらプロジェクトによる事業期間中の受益者総数は、約309.8百万人である（表4.4.7）。その内訳は、適応プロジェクトが約157.3百万人、緩和+適応プロジェクトは約148.7百万人である。適応プロジェクトに対して承認された資金は約1,250.7百万USDであることから、単純に算定すると、適応プロジェクトによる費用対効果は、約8.0USD/受益者（1USD=107JPYとすると856.0円/受益者）、緩和+適応プロジェクトでは約11.9USD/受益者（同1,273.3円/受益者）となり、緩和+適応プロジェクトの費用対効果は適応プロジェクトと比較して約1.5倍高い。第6章で示したように、GHG排出削減の費用対効果では、緩和+適応プロジェクトは緩和プロジェクトの約3.9倍であったが、適応の観点から見ると約1.5倍まで縮小していることから、緩和+適応プロジェクトにおいては、適応の効用が重視されていることを示唆している。ただし、緩和+適応プロジェクトは、緩和又は適応プロジェクトと比較して、いずれにしても費用対効果が低くなっている

表4.4.4 GCFプロジェクトの資金規模及びAE別の実施件数

総事業費の規模	件数	International AE	Direct AE
マイクロ（10 百万 USD 以下）	14 (12.6%)	6 (42.9%)	8 (57.1%)
小規模（10～50 百万 USD）	35 (31.5%)	25 (71.4%)	10 (28.6%)
中規模（50～250 百万 USD）	45 (40.5%)	39 (86.7%)	6 (13.3%)
大規模（250 百万 USD 以上）	17 (15.3%)	16 (94.1%)	1 (5.9%)
合計	111	86 (77.5%)	25 (22.5%)

表4.4.5 GCFプロジェクトタイプおよび規模別の資金

	緩和	緩和+適応	適応
マイクロ（10 百万 USD 以下）	0	31.2	122.1
小規模（10～50 百万 USD）	131.5	219.7	497.1
中規模（50～250 百万 USD）	744.4	560.8	600.5
大規模（250 百万 USD 以上）	1,340	954.6	31
合計(百万 USD)	2,215.9	1766.3	1,250.7
	42%	33%	25%

表4.4.6 GCFプロジェクトタイプおよび規模別のGHG排出削減総量

単位：百万トン CO₂e

	緩和	緩和+適応	GHG 排出削減量
マイクロ（10 百万 USD 以下）	0	4.1	4.1
小規模（10～50 百万 USD）	11.1	19.0	30.1
中規模（50～250 百万 USD）	79.7	121.0	200.7
大規模（250 百万 USD 以上）	1191.2	118.3	1,309.5
合計	1,282	262.4	1,544.4

単位：百万人

	適応	緩和+適応	緩和*	受益者数
マイクロ（10 百万 USD 以下）	21,869,189	15,020,413	0	36,889,602
小規模（10～50 百万 USD）	71,334,909	33,093,185	458,558	104,886,652
中規模（50～250 百万 USD）	63,823,234	58,287,790	3,418,652	125,529,676
大規模（250 百万 USD 以上）	290,854	42,254,390	0	42,545,244
合計	157,318,186	148,655,778	3,877,210	309,851,174

*緩和プロジェクトでも受益者数を示しているプロジェクトが複数ある。

⑨GCFの課題に関する調査

⑨.1 アクセス機関の偏り

GCF理事会は、GCF事務局に対して途上国のダイレクトアクセス機関による申請の促進を要請しているが、現在承認されている111件のプロジェクトの77.5%は、規模が大きく資金も豊富な国際機関である国際認証機関が進めている。GCF事務局は、ダイレクトアクセス機関に対するキャパシティビルディング等を実施しているものの、ダイレクトアクセス機関によるプロジェクトは、2018年に承認された43件のプロジェクトのうち9件、2019年度は同19件のうち4件に留まっていることから、引き続きダイレクトアクセス機関に対するキャパシティビルディングが必要である。

⑨.2 資金補充

GCFへの資金拠出は、2019年9月時点において、約7,923.2百万USDが実際に拠出されており、そのうち4.2章で述べたように既に111件のプロジェクトに対して、5,232.9百万USDが承認されている。すなわち、承認額は既に拠出額の66%に達しており、1,600百万USD相当のプロジェクトをパイプラインに抱えているなかで、GCF資金の補充が喫緊の課題となっている。

この課題を受け、GCFでは、2018年10月の第21回GCF委員会から資金補充のための検討を開始しており、2019年4月にノルウェー、8月にカナダで資金補充に関する会合を開催している。既にドイツ、ノルウェー、英国、カナダ、フランスは、同国が第1期に公表した額の2倍の資金（それぞれ15億ユーロ、32億ノルウェークローネ、14.4億ポンド、3億カナダドル、15.48億ユーロ。後者3カ国は8月のG7で表明。）の拠出を公表しているが、パリ協定の目標を達成するために、追加でどれだけの資金がGCFに必要となるのかが明確でないため、今後各国が公表する補充額や合計拠出額が十分であるのかどうかを検証・評価していく必要がある。

GCF事務局は、2019年6月に、「GCF資金補充に関する戦略プログラム」（“Strategic Programming for the Green Climate Fund First Replenishment”）を作成し、GCFの活動について、「これまでと同程度の活動による貢献」、「パリ協定の目標に向けた積極的な貢献」、「各国ニーズに応じた影響の最大化への貢献」の3つのシナリオを分析しているが、理事会による結論は出ていない。資金補充については、シンクタンクやNGO等も分析しており、単純な各国の倍増或いはドイツやノルウェーのGCFへの資金貢献度に他国の貢献レベルを合わせるシナリオにより225億USD～665億USDと推計する報告³⁷（現行の約7,923.2百万USDの2.8～8.4倍程度）や、GCFの活動の拡大の程度により今後4年間で150億USD～220億USD程度（現行の約7,923.2百万USDの1.9～2.8倍程度）が必要になるとしている。

⑨.3 GCFのパフォーマンスの促進

独立評価ユニットは、2019年6月に、GCFのパフォーマンスレビューである”Forward-Looking Performance Review”を公表した。同レビューでは、以下の4点に対する改善が推奨されている。

- ・ダイレクトアクセス機関による途上国のニーズにより合致したプロジェクトの実施促進
- ・GCFが気候変動政策分野での影響力を強化できるような戦略的な計画の立案・適応の重視性の再認識および民間セクターの役割の強化
- ・GCF資金へのアクセス等の迅速化のための、GCFにおける管理と監督の役割の明確化と再検討

5) 日本における気候変動対策（緩和策）における規制的手法の役割

①気候変動対策における規制的手法

環境政策の手法は、i)総合的手法、ii)規制的手法、iii)誘導的手法および合意的手法、iv)事後的措置、の4つに分けられる。かつては、どの国においても、行政機関が排出基準の遵守を排出者に求め、その遵守を強制するという直接的な規制的手法が主として用いられてきた。今日でも、これが中心的手法であることに変わりはないが、これのみでは十分でない。

IPCC第4次評価報告書（2007年）以降、複数の政策目標を統合し、共同便益を増大させ、負の副次的効果を減少させるように設計された政策への注目度が増大している。

規制的手法は、部門を超えて広く採用され、多くの場合、他の施策と併せて用いられている。たとえば、再生可能エネルギー利用割合基準（以下、RPSという）や省エネルギー基準は、エネルギー部門

における燃料補助金の削減と共に用いられる。運輸部門では、公共交通につき、車両効率および燃料品質基準が設定されている。建築部門では、エネルギー高効率建築物への投資に対する税の免除と共に、家電機器規格、ラベリング、建築基準等、多くの補完的な施策が採用されている。産業部門では、エネルギー集約型の工場に対するエネルギー効率診断と、自主協定および協定が用いられている。

一部の規制的手法は、市場に似た特性を有している。たとえば、RPSプログラムは、固定価格買取制度（FIT）は、再生可能エネルギーに対する規制と補助金の両方の側面を有しているが、電気事業者に対して、他の発電事業者から、再生可能エネルギークレジットを購入することにより、目標を達成することを認めている。低炭素燃料基準も、供給者間の取引等、市場に類する特徴を有する。

規制的手法は、緩和策において、以下の4つの役割を有する。第1に、技術やそのパフォーマンスを特定することによって、GHGの排出を直接制限する。第2に、農業、林業及びその他土地利用

（Agriculture, Forestry and Other Land Use : AFOLU）や都市計画等、多くの活動が政府の計画等によって強く影響を受ける部門では、気候政策を考慮に入れた規制にすることが重要である。第3に、RPSのような規制は、最先端技術の普及および革新を促進する可能性がある。第4に、規制は、エネルギー効率改善の障壁を除去する可能性がある。

規制的手法の限界としては、以下3点が挙げられる。第1に、費用効果性に乏しいことである。規制的手法は一律規制であり、政府は限られた情報しか持っていないため、各企業によって汚染削減のコストが異なることが無視され、社会的費用（遵守費用）が浪費される結果となる点である。第2に、排出基準による規制では、汚染削減の継続的インセンティブは与えられず、また、汚染物質の排出を抑制するような技術開発に対しても、適切なインセンティブが与えられない点である。第3に、人の監視能力の限界、行政リソースの限界、監視手法の限界があるため、規制的手法のみで確保できる環境保全効果が限定されている点である。

②日本の気候変動対策における規制的手法

2016年5月、日本は、前年のパリ協定の採択を受け、気候変動対策の基本的方向や2030年度までの日本の温室効果ガス削減目標等を定める地球温暖化対策計画を閣議決定した。

日本の気候変動対策の最大の特徴は、自主的取組みの重視、自主性の尊重にある。これは、自主行動計画から現行の低炭素社会実行計画に引き継がれている。

このような自主的取組みについては、かねて、①目標設定がばらばらで、またアウトサイダーとの関係で公平とはいえず、②履行確保が困難であり、③策定過程、実施過程の透明性が十分でなく、企業からのデータ検証が困難であり、信頼性確保の仕組みが十分でないなど、種々の問題点が指摘されてきた。最大の問題点は、インセンティブに伴う自らの経営判断による行動が進まず、温室効果ガスの大幅な削減にはつながらないことである。

2016年、省エネ法と供給高度化法の判断基準等が改正され、発電所の効率基準および小売の非化石電源比率の目標が導入された。これらは、一種の規制的手法である。石炭火力発電所の新增設が多く計画される中で、環境省が、環境影響評価法の下、環境大臣意見により、事実上、その新增設にストップをかけたことの結果として、2016年の経済産業省とのいわゆる2月合意により、資源エネルギー庁から打ち出されたものである。

この判断基準の改定は画期的であったが、以下の理由により、判断基準の目標の達成が困難である可能性がある。さらに、省エネ法の判断基準の目標が達成されたとしても、CO2排出削減目標を達成できない可能性があることも留意する必要がある。

③ 石炭火力発電所の新增設に関する日本と諸外国の対応

パリ協定の目標を達成するには、世界全体では、遅くとも2050年までに石炭火力発電所からの排出をなくす必要がある。日本では石炭火力からの排出を今後数年で急速に減少させ、2030年までにはほぼゼロにしなければならない。石炭火力の段階的廃止を効果的に進めるための政策については、日本以外の国々の経験から学ぶことができる。

本節では、国内外の石炭火力発電所をめぐる状況について述べる。

③. 1 日本の対応

日本の2030年度までの削減目標およびより長期の削減目標を達成するには、徹底した電源の低炭素化が必要不可欠である。

電力システム改革（電力自由化）により、ますますコストの安い石炭火力への推進力が働く中、環境省は、環境影響評価手続における環境大臣意見を用いて石炭火力の新設にブレーキをかけてきたが、2016年2月9日の経済産業省との合意（いわゆる2月合意）により、①電力業界の自主的枠組みについて引き続き実効性の向上を促し、②省エネ法と高度化法の基準の設定・運用を強化し、③毎年度進捗をレビューし、目標が達成できないと判断される場合には、施策の見直し等について検討することとした。

③. 2 諸外国の対応

パリ協定採択後、国際社会は化石燃料からの脱却の実現に向けて、大きく舵を切った。特に、石炭については、その動きが顕著である。

気候変動枠組条約第23回締約国会議（COP23）（2017年11月、ボン（ドイツ））において、英国とカナダが呼びかけ、脱石炭連盟（Powering Past Coal Alliance: PPCA）が発足した。26の政府が団結し、世界的な石炭火力発電の段階的廃止の加速を支援することを約束した。政府や民間団体からなる政府主導の自主的な連盟であり、現在、64の加盟組織（28か国、8地域の政府および28の企業・団体）から成る。

欧州の国々や、脱石炭連盟の加盟国は、既に石炭火力の段階的廃止のスケジュールを定めている（表4.4.8）。段階的廃止のために取られている政策は、厳格な排出基準の設定による規制的アプローチや、経済的手法としてカーボンプライシング等がある。

イギリスやカナダでは、規制的手法が採用されている。まず、新設石炭火力に対して厳格な排出基準を設けたため、建設が費用に見合わないものとなった。そのうえで、既設の発電所についても新設と同様の基準を期限付きで設定することで、石炭火力の段階的廃止を確実にしようとしている。

規制的手法は、緩和策およびこれをねらった技術革新において、重要な役割を果たしてきた。

規制のすべてのレベルにおいて、気候変動対策（緩和策）に対する法的対応は、エネルギー需要管理政策や持続可能な代替手段に関する研究の促進政策など、気候変動の特定の側面に関する個別の措置およびイニシアチブの集合体から、規制的手法、市場メカニズムや他の革新的なアプローチのネットワークへとシフトしてきた。

日本では、2015年より前は、省エネ法の下、枠組み規制が行われてきたが、実質的には、自主的取り組みであった。2015年以後、パリ協定の採択および発効、ならびに、地球温暖化対策計画の閣議決定を受けて、建築物省エネ法の制定や、2016年、省エネ法と供給高度化法の判断基準等が改正され、発電所の効率基準および小売の非化石電源比率の目標等、規制的手法が導入された。

規制によって石炭火力問題に対処する際には、新設・既設を問わず①CO₂排出原単位基準によって規制し、基準を超過する場合には、CCS Ready（大規模排出源の設計・建設の段階から、CO₂回収設備等を設置するための用地確保等の準備を予め行っておくこと）を義務づけること、②石炭火力発電所の設備容量の総量枠を設けて入札制を導入すること等が考えられる。

表4.4.8：欧州の石炭火力フェーズアウト計画

国	廃止年	脱石炭連盟	石炭火力の段階的廃止に関する状況
オーストリア	2025 年	加盟国	石炭火力を運営する事業者は、最後の 2 か所の発電所をそれぞれ 2018 年と 2025 年までに廃止する予定。
フィンランド	2030 年	加盟国	2030 年までの廃止を決定しており、これが法制化されれば、石炭を法的に禁止する世界初の国となる。政府は 2017 年 8 月に、石炭段階的廃止法案を 2018 年に提出すると表明した。
フランス	2021 年	加盟国	前政権が 2023 年までの廃止を約束。マクロン大統領がこの約束を確認し、期限を 2021 年に繰り上げ。
イタリア	2025 年	加盟国	2017 年 10 月に、2025 年までの廃止を「国家エネルギー戦略」の一環として政府が発表（「戦略」は 11 月成立）。
オランダ	2030 年	加盟国	2017 年 10 月、2030 年までの完全閉鎖を発表。現存する発電所のうち 3 か所は近年完成したばかりであり、稼働期間は予定の耐用年数の半分以下になる。
英国	2025 年	設立提唱国 （カナダと 共同）	2015 年に世界で初めて石炭火力の段階的廃止政策を発表。電源構成の 40%以上あった石炭火力は 2017 年までの 5 年間で 7%まで減った。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

本研究課題は、研究開始時点では交渉段階にあった、2020年以降の気候変動に関する国際枠組みについて、時宜を得た研究を実施し、気候変動の緩和策、適応策の今後の国際制度運用にかかわる示唆を導出し、国際制度研究の発展に大きく貢献した。また、研究実施過程で得た国際制度にかかわる情報を本課題研究参画者と共有し、シナリオの妥当性を高めることができたのは、本研究の大きな成果である。

パリ協定の発効を受けて、途上国への適応策支援に対する注目がますます高まる中、資金支援における重要な機能のひとつである、気候変動影響にとりわけ脆弱な国への支援が、プロジェクト審査の段階で、どのように考慮されているかを、これまでの資金供与実績を踏まえて分析し、運用ルールの決定に際して制度設計上留意すべき課題を抽出したことは、社会科学的観点から意義深い。

（2）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

パリ協定とその交渉経緯の分析をCOP21終了後いち早く行い、気候変動分野の研究者や市民に共有したことにより、今後の気候変動対策強化に向けた合意形成の基礎固めに貢献した。

サブテーマ代表の久保田は、本課題で実施した研究成果等も評価され、日本政府の推薦を受け、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次評価報告書第3作業部会第14章国際協力の主執筆者（LA）に選出された。報告書の執筆や議論においても、本課題の研究成果が活かされている。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) S. Fujimori, I. Kubota, H. Dai, K. Takahashi, T. Hasegawa, J. Liu, Y. Hijioka, T. Masui and M. Takimi: Environmental Research Letters 11 (2016), 104001.
“Will international emissions trading help achieve the objectives of the Paris Agreement?”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 古沢広祐、足立治郎、小野田真二編著：ギガトンギャップ - 気候変動と国際交渉、オルタナ、44-57（2015）
「気候変動影響への適応及び気候変動による損失と損害に関する国際交渉・制度の動向（執筆担当：久保田泉）」
- 2) 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. Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspective, 65-75
- 3) 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（商事法務）, (21):50-61
- 4) 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、赤渕芳宏、久保田泉編著『環境規制の現代的課題』（大塚直先生還暦記念論文集）』（法律文化社）234-246

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 亀山康子、森晶寿編：グローバル社会は持続可能か、岩波書店、1-10（2015）
「序章 グローバル社会と持続可能な発展（執筆担当：森晶寿、亀山康子）」
- 2) 亀山康子：日立総研、10, 3, 12-17（2015）「COP21までの地球温暖化問題に関する歴史と今後の行方一米中の動向を中心に」
- 3) 国立天文台編：環境年表、丸善出版、479-487（2015）環境保全に関する国際条約・国際会議（執筆担当：亀山康子）」
- 4) 久保田泉：L&T71号、35-42（2016）「パリ協定と今後の気候変動対策」
- 5) 久保田泉：日本医師会雑誌特別号生涯教育シリーズ 93. 環境による健康リスク, 63-66（2017）「パリ協定」
- 6) 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』Vol.52, Nov. Dec. 2018, 114-119.
- 7) 亀山康子（2019）「パリ協定の課題と日本の対応」『国際問題』No.678, 1,2 月合併号, 24-33.
- 8) 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学会 編『リスク学辞典』（丸善出版株式会社）404-405

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 久保田泉：環境科学会2015年会、大阪 日本、2015
「気候変動影響適応のための資金メカニズムにおける衡平性」
- 2) 亀山康子：日本国際政治学会 2015 年度研究大会（2015）
「気候変動レジームにおけるグローバル・ガバナンスの現状と課題」
- 3) 久保田泉：第20回環境法政策学会2016年大会、津 日本、2016
「適応基金理事会において承認されたプロジェクトにみられる気候変動影響への脆弱性と適応便

益の分析」

- 4) 久保田泉（2017）温暖化への適応．第21回環境法政策学会2017年度学術大会シンポジウム「転機を迎える温暖化対策と環境法」，同論文報告要旨集，226-233，横浜（及び、同シンポジウムのパネルディスカッションでのパネリスト）

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 久保田泉：（2015）福井県地球温暖化防止活動推進センター主催講演会「地球温暖化に関する国際交渉と福井県の今後の取り組みについて」
- 2) 久保田泉：（2015）平成27年度環境カウンセラー研修（九州地区）「気候変動に関する最新の科学的知見と国際交渉の現状」
- 3) 亀山康子：公益財団法人損害保険事業総合研究所主催「2015年度環境問題講演会」（2015）「地球温暖化問題の最前線-国際社会の動向から身近なくらしまで-」
- 4) 久保田泉：うつくしま地球温暖化防止活動推進員ステップアップ研修会（2015）「地球温暖化対策－国際的な枠組みと取り組みの現状－」
- 5) 亀山康子：「環境・持続社会」研究センター（JACES）主催「COP21カウントダウンセミナー：気候変動に対処する新枠組みと政府・民間の役割」（2015）「COP21で想定される合意と残される課題」
- 6) COP21現地レポート COP21期間中、全国地球温暖化防止活動推進センター(JCCCA)ウェブサイトに7回にわたって解説記事を連載 http://www.jccca.org/trend_world/conference_report/cop21/
- 7) 久保田泉：ひょうご地球温暖化防止活動推進研修会（2015）「パリ協定の歴史的意義と今後の課題」
- 8) 亀山康子：全国地球温暖化防止活動推進センター(JCCCA)主催「地球温暖化フォーラム～COP21パリ合意を受けて日本国民の果たす責任は～」（2015）「COP21パリ合意の最新情報」
- 9) 久保田泉：いばらきスマートムーブプロジェクト2講演会（2016）「パリ協定採択！COP21後の世界と温暖化対策における地域の役割」
- 10) 亀山康子：浜松市地球温暖化防止活動推進センター主催講演会（2016）「COP21の結果および今後の課題」
- 11) 亀山康子：茨城県平成27年度家庭の省エネ対策セミナー（2016）「パリ協定の概要、及び今後の国の温暖化対策」
- 12) 久保田泉：うらやす市民大学環境特別講座（2016）「パリ協定の意義と今後の温暖化対策」
- 13) 久保田泉：金沢で聞く世界の地球温暖化の最新情報「地球温暖化と気候変動」講演会（2016）「パリ協定の意義と今後の課題－日本国民の果たすべき責任とは－」
- 14) 久保田泉：環境首都とくしま創造センター主催地域・地球環境活動セミナー「どう変わる気候変動への対応、どう取り組む地域からの環境活動～パリ合意を受けて～」（2016）「パリ合意の意義・課題と今後の温暖化対策～パリ協定の内容と企業および市民の取り組みを知る～」
- 15) 久保田泉：宮城県地球温暖化防止活動推進員委嘱状交付式・研修会（2016）「パリ協定の意義と今後の温暖化対策」
- 16) 久保田泉：パリ協定の発効と今後の温暖化対策（2016）国際法学会エキスパート・コメント No.2016-8 (<http://www.jsil.jp/expert/20161109.html>)
- 17) COP22 現地レポート COP21 期間中、全国地球温暖化防止活動推進センター(JCCCA)ウェブサイ

トに 12 回にわたって解説記事を連載 http://www.jccca.org/trend_world/conference_report/cop22/

- 18) 久保田泉：環境科学会市民公開講演会「これからの地球温暖化問題を考える」（2017）
「パリ協定の意義と適応策の位置づけ」
- 19) 久保田泉：パリクラブ21埼玉設立記念セミナー「温暖化対策のこれからを考える」（2017）
「パリ協定をめぐる世界の動向と日本の進むべき道」
- 20) 久保田泉（2017）パリ協定と主要国の気候変動対策．自動車技術会2017年度第1回講演会「気候変動と持続あるモビリティに向けた取組み」，横浜
- 21) 久保田泉（2017）パリ協定はなぜ重要なのか？今後の課題とは？東京大学生産技術研究所一般公開シンポジウム「パリ協定後の世界」，東京
- 22) 久保田泉（2018）COP23（ボン会議）報告会in仙台 ～地球温暖化に関する世界・日本の動きと個人が取り組めること～．なっ得！発見！みやぎ環境フォーラム，仙台
- 23) 久保田泉（2018）パリ協定の課題と今後の展望．第6回2050年の自動車社会検討特設委員会，東京
- 24) 久保田泉（2018）パリ協定の目標達成に向けて動き出した国際社会．埼玉県環境アドバイザー、埼玉県環境教育アシスタント及び埼玉県地球温暖化防止活動推進員委嘱式 記念講演，さいたま
- 25) 久保田泉（2018）パリ協定の目的の実現に向けて動き出した国際社会．平成30年度環境月間記念講演会，山形

（５）マスコミ等への公表・報道等

- 1) NHK ラジオ第一「夕方ホットトーク」にて、地球温暖化の現状と COP21 について説明。（2015 年 7 月 6 日 17 時 30 分～45 分）
- 2) 「温暖化被害軽減に一步」毎日新聞朝刊（2015 年 10 月 24 日）
- 3) TOKYO FM「中西哲生のクロノス」に出演し、COP21 について説明（2015 年 11 月 30 日 7 時 20 分～7 時 28 分）
- 4) 「（教えて！パリ協定：6）途上国への 1.3 兆円支援、何するの？」朝日新聞（2016 年 2 月 24 日；web 版：<http://www.asahi.com/articles/DA3S12224195.html>）
- 5) 「神戸で COP21 研修会 専門家がパリ協定報告」神戸新聞（2015 年 12 月 23 日；web 版：<http://www.kobe-np.co.jp/news/shakai/201512/0008668204.shtml>）
- 6) 「FOCUS 地球温暖化対策の新たな枠組みに合意」Newton 誌（2016 年 3 月号 8-9 頁）

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

Ⅱ－５ 気候変動に対する効果的な緩和と適応の実施に資するガバナンスと資金メカニズムに関する研究

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

国際連携・気候変動研究拠点

森田香菜子

<研究分担者（研究代表者の産休・育休中及びその後の支援）>

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

国際連携・気候変動研究拠点 川元スミレ（平成27年度～29年度）

<研究協力者>

長崎大学 総合生産科学域 松本健一

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 蟹江憲史

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 鳥山淳平（平成27年度～28年度）

平成27～令和元年度研究経費（累計額）：24,983千円（研究経費は間接経費を含む）

（平成29年度：4,994千円、平成30年度：4,744千円、令和元年度：4,994千円）

[要旨]

本研究課題では、個別に実施されることが多いが本来シナジーが見込まれる、気候変動の緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果の最大化に資する国際・国内ガバナンス、資金メカニズムの課題と制度的要件が明らかにした。

上記の国際・国内ガバナンス、資金メカニズムの課題と制度的要件について、特に緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果を生みやすい森林セクターの事例、アジア地域の国々の事例、持続可能な開発目標（SDGs）達成のためのガバナンスの事例を対象に分析し、重要な研究成果を出すことができた。

国際・国内ガバナンスに関しては、（１）東南アジアの国々の事例分析を基に、森林セクターの気候変動の緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に実施する上では、政策・戦略、制度枠組み、資金供給、プログラム・プロジェクト全てのレベルでの国内制度改革の必要性を提示した（Morita and Matsumoto, 2018a）。また、（２）インドネシアの森林セクターの緩和、森林保全策の同時に実施による効果を定量的に評価し、緩和コストの軽減の可能性を示したり（Matsumoto et al. 2019）、（３）日本とインドネシアの事例分析から、SDGs達成に向けた各国のガバナンス構造やそのパフォーマンス改善のための課題の違いやその違いが起きる要因を明らかにしたりした（Morita et al. 2020）。

資金メカニズムについては、（４）森林セクターの気候変動の緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に取り組む上での地球環境ファシリティーの資金供給の課題を特定した（Morita and Matsumoto, 2018b）。

[キーワード]

気候変動の緩和・適応策、ガバナンス、資金メカニズム、持続可能な開発目標、アジア

１．はじめに

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書に記されている通り、気候変動の緩和策と適応策を統合的に導入すると、シナジー効果が生まれる可能性がある。気候変動対策のシナジー効果を生む条件の解明に加え、持続可能な開発の概念の下で気候変動対策と関連する生態系保全策等の対策間のシナジーの可能性について研究ニーズが高まっている。

一方、政策面では、国連気候変動枠組条約下で、気候変動の緩和策と適応策は個別に議論されてきた。2015年12月には同条約の締約国会議で、産業革命前と比べて平均気温上昇を2度未満に抑え、1.5度未満に抑えるよう努力すること、今世紀後半までに人為的な温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡を達成することなどの世界共通の長期目標を示したパリ協定が合意された。緩和策と適応策の統合的な実施も含めて、効果的に対策を実施することが求められている。

また、2015年9月には国連持続可能な開発サミットで持続可能な開発目標（SDGs）を含む持続可能な開発のための2030アジェンダが採択された。SDGsは、2030年までの環境・経済・社会的側面を含む17の目標であり、気候変動への対処（目標13）、生物多様性損失の阻止や森林の持続的な管理などの土地に関する問題への対処（目標15）等も含まれる。気候変動対策と生態系保全策の対策間のシナジーも含め、SDGsの下での対策間のシナジー効果を高める必要性も高まっている。

本研究課題では、持続可能な開発の観点から、気候変動の緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果の最大化に資する、国際・国内制度、資金メカニズムを明らかにした。

2. 研究開発目的

本研究課題の目的は、持続可能な開発の観点から、気候変動の緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果の最大化に資する、国際・国内制度、資金メカニズムを明らかにすることである。そのために、特に緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果を生みやすい森林セクターの事例、アジア地域の国々の事例、SDGs達成のためのガバナンスの事例を対象に、定性手法（国際政治学の分析枠組等）、定量手法（モデル等）両方の手法を活用して分析した。以下が本研究課題で実施した主要な研究テーマである（（1）～（4））。

国際・国内ガバナンス

（1）対策を統合的に実施する上での国内制度設計の要件の分析

研究目的：森林セクターの気候変動の緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に実施する上での国内制度設計の要件を、東南アジアの国々の事例分析から明らかにする（Morita and Matsumoto, 2018a）。

（2）モデルを活用した対策間のシナジー効果を評価した制度研究

研究目的：森林セクターの緩和、森林保全策の同時に実施による効果をインドネシアの事例を用いて定量的に評価する。SDG 13（気候変動の緩和）やSDG 15（森林保護）の持続可能な開発における対策・政策間の効果的なシナジーを探ることも目指す（Matsumoto et al. 2019）。

（3）SDGs達成のための国内ガバナンス分析

研究目的：気候変動の緩和策、適応策、生態系保全策のシナジーを考える上で重要なSDGs達成に向けた各国のガバナンス構造やそのパフォーマンス改善のための課題を日本とインドネシアの事例分析から明らかにする（Morita et al. 2020）。

資金メカニズム

（4）地球環境ファシリティー（GEF）を事例にした資金メカニズム分析

研究目的：森林セクターの緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に取り組む上での資金供給の課題をGEFの資金供給の事例分析から明らかにする（Morita and Matsumoto, 2018b）。

3. 研究開発方法

気候変動の緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果の最大化に資する、国際・国内制度、資金メカニズムの分析は、アジア地域の国々の事例、森林セクターの事例、SDGs達成のためのガバナンスの事例に、国際政治学の分析枠組やモデルなどを活用して実施した。

国際・国内ガバナンス

(1) 対策を統合的に実施する上での国内制度設計の要件の分析

途上国の国内の制度や活動に焦点を置き、森林セクターで重要な3つの対策（気候変動の緩和策、適応策、生物多様性保全/生態系保全策[生物多様性保全策と記す]）を統合的に実施できるかどうかを、制度に関する4つの区分（政策・戦略、制度枠組、資金供給、プログラム・プロジェクト）の評価指標を設定し、国において森林セクターの対策が重要であり、経済の発展度合いの異なる東南アジアの5か国（タイ、インドネシア、ベトナム、ラオス、カンボジア）について評価・分析を行った。

表3.5.1が本研究で用いた評価指標である。各評価指標に対して、「該当する（Yes）：全ての森林セクターの緩和策、適応策、生物多様性保全策すべてに対して該当する場合」、「部分的に該当する（Partially）：緩和策と適応策、あるいは緩和策と生物多様性保全策、あるいは適応策と生物多様性保全策に対して該当する場合」、「該当しない（No）：Yes、Partially以外の場合」で各国の状況を分析した。

(2) モデルを活用した対策間のシナジー効果を評価した制度研究

インドネシアを対象として、気候変動、森林政策オプションの異なる4つのシナリオを基に、2030年までの森林セクターの気候変動の緩和と森林保全政策の同時実施の効果（SDG 13とSDG 15の同時達成）を定量的に評価し、その実現に向けた政策的課題を把握した。経済モデルである「応用一般均衡 (CGE) モデル」と農業・森林・土地利用セクターの緩和策の技術情報を活用して緩和コストを評価する「AFOLUモデル」を用いて、インドネシアの森林セクターにおける気候変動の緩和政策と森林保全政策間の同時実施の効果を初めて定量的に評価した。

表3.5.2で示した通り、4つのシナリオを基に分析した。

表3.5.1：3つの対策のシナジーを促進する条件の評価指標（Morita and Matsumoto, 2018a）

区分	評価指標
1. 政策・戦略	1-1 Does the country have a policy that addresses mitigation (M), adaptation (A), and biodiversity/ecosystem conservation (BE) in the forest sector? 1-2 Is there a common strategy/action plan for M, A, and BE in the forest sector? 1-3 Has the country submitted Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs)/Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries etc. (REDD+), a Readiness Preparation Proposal (R-PP), and National Adaptation Programmes of Action (NAPAs) to the UNFCCC and National Biodiversity Strategies and Action Plans (NBSAPs) to the CBD?
2. 制度枠組	2-1 Is there a national-level committee addressing M, A, and BE in the forest sector? 2-2 Is there an implementing body (e.g., institution, agency, department, and/or unit) addressing M, A, and BE in the forest sector?
3. 資金供給	3-1 Is there a common fund for M, A, and BE in the forest sector?
4. プログラム・プロジェクト	4-1 Is there a joint program addressing M, A, and BE in the forest sector? 4-2 Are there subnational projects addressing M, A, and BE in the forest sector?

(3) SDGs達成のための国内ガバナンス分析

SDGs達成に向けた日本とインドネシアのガバナンス構造やそのパフォーマンス改善のための課題を分析するため、既存研究を基に構築したSDGsに関わる国家・地方レベルのガバナンスシステムを分析するためのマトリックスツールを分析に用いた。

日本とインドネシアの国内ガバナンスシステムを、5つのガバナンスの構造（ビジョン目標設定、研究・評価、戦略策定、実施、モニタリング・評価・レビュー）、3つの機能（意思決定能力、接続性、知識活用）を評価する46指標を用いて分析した。表3.5.3の46指標に対して、各国の国家レベル、地方レベルのガバナンスの実態がどうなっているかを、「該当する（Yes）」、「部分的に該当する（Partially）」、「該当しない（No）」、「情報なし（Unknown）」という項目で回答した。

表3.5.2：活用したシナリオ (Matsumoto et al. 2019)

森林保護政策		
	森林保護無し	森林保護あり (Forest Policy: FP)
気候政策 (Climate Policy: CP) ^a		
気候政策無し	BaU	BaU-FP
気候政策（森林セクターの気候変動の緩和策実施ケース）	CP	CP-FP

^a 気候政策は、コペンハーゲン合意とパリ協定に基づく排出削減目標を指す。

^b 森林保護政策は森林林減少を無くす目標を指す。

表3.5.3 SDGsに関する国家・地方レベルガバナンスシステムを分析する枠組 (Morita et al. 2020)

	意思決定能力	接続性	知識活用
1. ビジョン・目標設定	- Do capacities exist to set higher aspirational or conditional targets to achieve the SDGs? - Do the relevant stakeholders have the knowledge, financial, human, and infrastructure resources required for vision and objective setting to achieve the SDGs?	- Are relevant stakeholders actively connected to decision making on the SDGs? - Are visions and objectives aligned to the visions and objectives of the SDGs?	- Are relevant forms of information available for vision and objective setting in relation to the SDGs? - Are relevant forms of information available for vision and objective setting in relation to the SDGs?
2. 研究・評価			
3. 戦略策定			
4. 実施			
5. モニタリング・評価・レビュー			

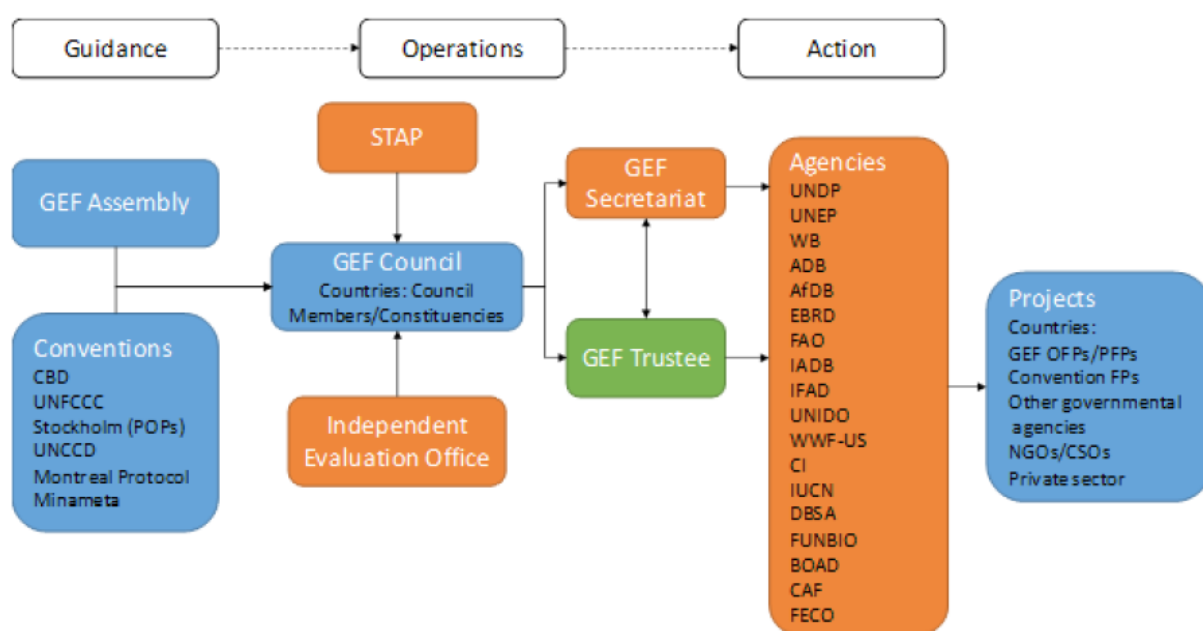
全46指標を設定

（４） GEFを事例にした資金メカニズム分析

GEFは、気候変動の緩和策と適応策の実施に関わる国連気候変動枠組条約、生物多様性保全に対処する生物多様性条約の両条約の下に位置付けられている唯一の資金メカニズムである。図3.5.1に示されている通り、GEFは様々な国連の環境条約の資金メカニズムの役割を果たし、途上国での対策実施においては、国連開発計画（UNDP）、国連環境計画（UNEP）、世界銀行（WB）等の様々な実施機関が関わっている。また途上国でのプロジェクト実施においては各国の政府等の様々な執行機関が関わる。

GEFの森林セクターへの支援の特徴や課題（多面的便益を生み出すマルチフォーカルエリアプロジェクトの実施・執行機関や共同出資の傾向他）をGEFのプロジェクトデータベースのデータ（178のプロジェクト：149の承認された国家レベルの森林関連プロジェクト、29の承認されたグローバル・リージョナルレベルの森林関連プロジェクト）を分析し、森林セクターの多様な便益を高める支援制度について議論した。

表3.5.4は本研究で用いた森林関連プロジェクトの例である。



Remarks: UNCCD = United Nations Convention to Combat Desertification; WB = World Bank; IFAD = International Fund for Agricultural Development; UNIDO = United Nations Industrial Development Organization; WWF-US = World Wildlife Fund; CI = Conservation International; IUCN = International Union for Conservation of Nature; DBSA = Development Bank of Southern Africa; FUNBIO = Brazilian Biodiversity Fund; BOAD = West African Development Bank; CAF = Development Bank of Latin America; FECO = Foreign Economic Cooperation Office; China Ministry of Environmental Protection; OFP = Operational Focal Point; PFP = Political Focal Point; NGO = Non-Governmental Organization; FP = Focal Point; CSO = Civil Society Organization

図3.5.1：GEFの制度枠組

（Morita and Matsumoto, 2018b: GEFの2017年にアクセスしたウェブサイトに基づく）

表3. 5. 4 : GEFプロジェクトデータベースの森林関連プロジェクト例 (Morita and Matsumoto, 2018b)

GEF_ID	Country	Project Name	Focal Area	Agency	Project Type	GEF Grant (USD)	Co-financing	Status
2	Philippines	Samar Island Biodiversity Project: Conservation and Sustainable Use of the Biodiversity of a Forested Protected Area	Biodiversity	UNDP	FP	5,759,470	7,198,420	Project Completion
218	Central Figure Republic	A Highly Decentralized Approach to Biodiversity Protection and Use: The Bangassou Dense Forest.	Biodiversity	UNDP	FP	2,500,000	1,000,000	Project Closure
356	Mauritius	Restoration of Highly Degraded and Threatened Native Forests in Mauritius	Biodiversity	UNDP	FP	200,000	0	Project Completion
368	Guyana	Programme for Sustainable Forestry (Iwokrama Rain Forest Programme)	Biodiversity	UNDP	FP	3,000,000	780,000	Project Completion
490	Uganda	Kibale Forest Wild Coffee Project	Biodiversity	World Bank	MSP	750,000	3,400,000	Project Closure
539	Poland	Forest Biodiversity Protection	Biodiversity	World Bank	FP	4,500,000	1,700,000	Project Closure
642	Malaysia	Conservation and Sustainable Use of Tropical Peat Swamp Forests and Associated Wetland Ecosystems	Biodiversity	UNDP	FP	5,990,000	6,670,000	Project Completion
661	Suriname	Conservation of Globally Significant Forest Ecosystems in Suriname's Guayana Shield	Biodiversity	UNDP	FP	9,240,000	8,800,000	Project Closure
793	Benin	Program for the Management of Forests and Adjacent Lands	Multi Focal Area	World Bank	FP	6,000,000	22,000,000	Project Completion
815	Grenada	Dry Forest Biodiversity Conservation	Biodiversity	World Bank	MSP	723,000	404,580	Project Closure
818	Sri Lanka	Conservation of Globally Threatened Species in the Rainforests of Southwest Sri Lanka	Biodiversity	UNDP	MSP	724,713	226,000	Under Implementation

Remarks: GEF project database <http://www.thegef.org/projects> (Accessed July 11, 2016); FP = Full-Sized Project; MSP = Medium-Sized Project

4. 結果及び考察

国際・国内ガバナンス

(1) 対策を統合的に実施する上での国内制度設計の要件の分析

途上国の国内の制度や活動に焦点を置き、森林セクターで重要な3つの対策（気候変動の緩和策、適応策、生物多様性保全策）を統合的に実施できるかどうかを、東南アジアの5か国（タイ、インドネシア、ベトナム、ラオス、カンボジア）について評価・分析を行い、制度的条件を示した。

その結果、東南アジアの5か国すべてで、森林セクターで3つの対策間のシナジーを高めるには、3つの対策を扱う国家委員会の設立や省間連携の促進、分野横断的な基金やプログラム・プロジェクトの設立等、それぞれの区分で改革が必要なが示された。表4. 5. 1はタイとベトナムの分析結果の例を示している。

制度的条件は、次の4つに集約することができた。

- 1) 3つの対策を扱う法制度の整備
- 2) 3つの対策を扱う国家委員会の設立および環境と森林を扱う省間連携の促進
- 3) 3つの対策を扱う共通基金の設立
- 4) 3つの対策を扱うプログラム・プロジェクトの設立

本研究の成果は、3つの対策間のシナジー創出を目指す議論や各国での対策立案に役立てることができるといったものである。

表4.5.1: タイとベトナムの分析結果 (Morita and Matsumoto, 2018aの分析結果を基に作成)

区分	タイ	ベトナム
政策・戦略	3つの対策を扱う法制度の整備が必要	3つの対策を扱う法制度の整備が必要
制度枠組	<u>3つの対策を扱う国家委員会および一 つの省（自然資源環境省）あり</u>	環境と森林を扱う省間の連携が必要
資金供給	3つの対策を扱う共通基金が必要	<u>3つの対策を扱う共通基金あり</u>
プログラム・プロジェクト	3つの対策を扱うプログラム・プロジェクトが必要	<u>3つの対策を扱うプログラム・プロジェクトあり</u>

※下線は、タイが制度枠組の観点で、ベトナムが資金供給やプログラム・プロジェクトの観点で、3対策のシナジーを生み出すポテンシャルが他の国に比べて高いことを示している。

(2) モデルを活用した対策間のシナジー効果を評価した制度研究

インドネシアを対象として、気候変動、森林政策オプションの異なる4つのシナリオを基に、2030年までの森林セクターの気候変動の緩和と森林保全政策の同時実施の効果を「CGEモデル」と「AFOLUモデル」を用いて定量的に評価した。

インドネシアの森林セクターにおいて緩和政策と森林保全政策を同時に2030年まで実施した場合、森林保全政策の効果により緩和目標の達成に必要な二酸化炭素削減量が低減し、緩和策として導入される（AFOLU部門の）技術のうち、再植林、森林保護、森林火災防止、アグロフォレストリーなどの導入量が特に低減することで全体的な緩和コストが削減された。緩和策の年間コストでみると、緩和政策のみの実施と比べ年間最大22.2%軽減されることが示された。

こうした森林セクターの気候変動の緩和政策と森林保全政策間のシナジーを実現するには、それぞれの政策面、戦略面での制度的な分断を無くし、SDG13と15を含むSDGs達成を目指す政策を強化することが不可欠であることも明らかになった。

図4.5.1は、どちらのケースも全体的には緩和策の選択は似ているが、2020年前後までの早い段階でいくつか違いがみられた。どちらのケースでも泥炭地の水管理が主要な排出削減策であり、特に分析期間の半ば以降でその傾向が強い。その理由として泥炭地の水管理が最も低コストの対策であること等が挙げられる。一方、2020年前後までの早い時期では、CP（森林セクターの気候変動の緩和策実施）のケースでは、森林保護が主要な緩和策となっているが、CP-FP（森林セクターの緩和策と森林保護実施）のケースではその傾向が見られなかった。それは、このCP-FPのケースではすでに森林減少が軽減していることになっていたからである。また、どちらのケースも再植林（成長の遅い種）やアグロフォレストリーが2030年までの累積排出量に対して大きく寄与していた。森林火災の抑制に関しては、緩和策に導入したが、その寄与は小さかった。それは森林火災が、森林地の農地転換等の時に起こり得ると考えられ、そのような転換は農業セクターの効率性改善や緩和策としての森林保護によって起こらなかったためと考えられる。

図4.5.1ではケースにより排出削減量が異なることを示したが、図4.5.2では、土地面積に関しては、2024年以外はわずかな違いしかないことが明らかとなった。2024年までは、どの緩和策が実施された場合も対策が実施される土地面積も増えていく。しかし、そのような傾向は2024年以降に無くなる。それは、早い時期に排出削減目標が達成され、2024年以降は新たな緩和策があまり導入されなくなるからである。

図4.5.3では、例えばCPとCP-FPのケースでは、新規植林も再植林も2017年から拡大して、2024年から

はほぼ一定になることが示された。そして、この新規植林と再植林の土地面積の拡大により、他の対策の面積が軽減する。図4.5.4は、上記の通り、CPとCP-FPのケースでは、CP-FPのケースの方がわずかだが緩和策の年間コストでみると軽減されることを示している。

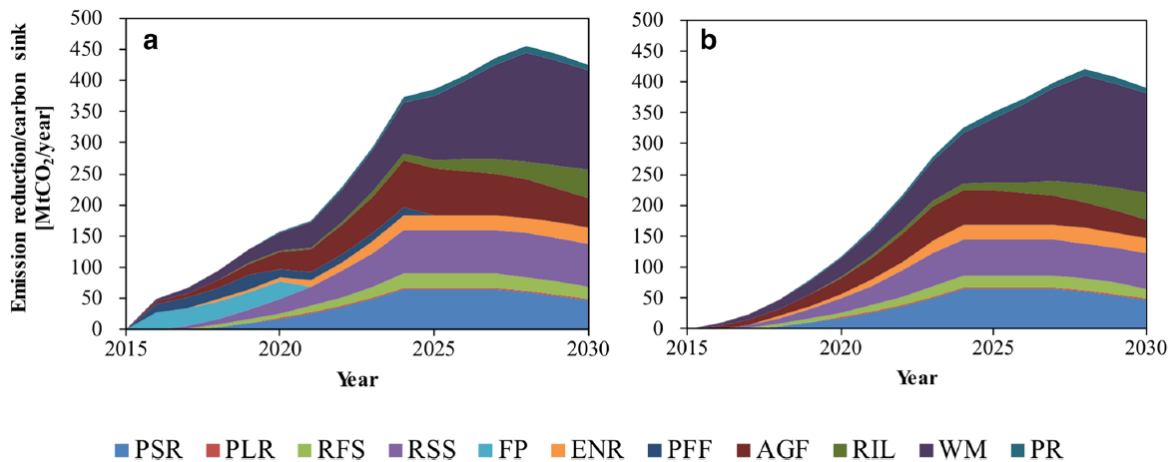


図4.5.1：森林セクターの緩和策ごとの排出削減

- a. 森林セクターの気候変動の緩和策実施ケース（CP）、b. 森林セクターの緩和策と森林保護実施ケース（CP-FP）、土地セクターの緩和策：Plantation-short rotation（PSR）、Plantation-long rotation（PLR）、Reforestation-fast growing species（RFS）、Reforestation-slow-growing species（RSS）、Forest Protection、Reduced impact logging（RIL）、Enhanced natural generation（ENR）、Prevention of forest fires（PFF）、Water management in peatland（WM）、Peatland rehabilitation（PR）、Agroforestry（AGF）（Matsumoto et al. 2019）

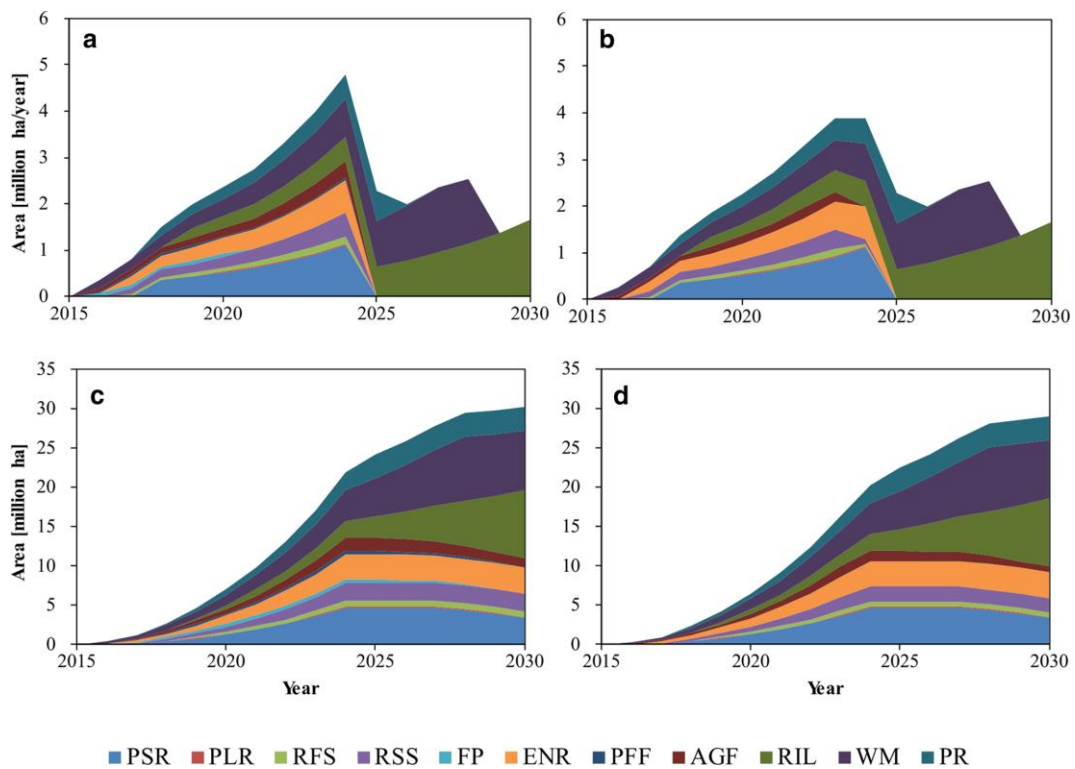


図4.5.2：森林セクターの緩和策ごとの年次及び累積の土地面積

- a. 森林セクターの気候変動の緩和策実施ケース（CP）の年次土地面積、b. 森林セクターの緩和策と森林保護実施ケース（CP-FP）の年次土地面積、c. CPの累積土地面積、d. CP-FPの累積土地面積（Matsumoto et al. 2019）

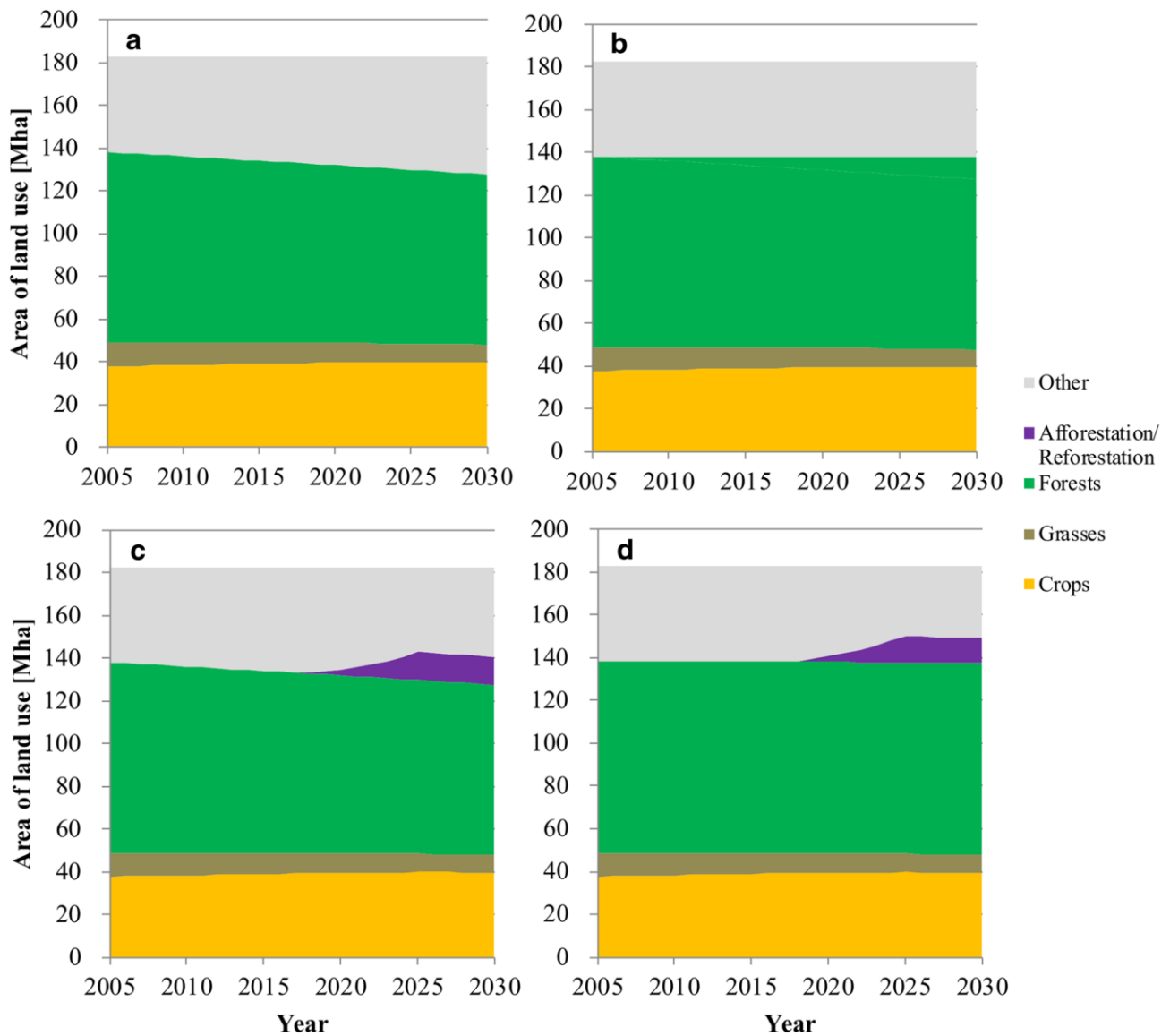


図4.5.3：シナリオごとの土地利用変化

- a. BaUのケース、b. 森林保護実施ケース（FP）、c. 森林セクターの気候変動の緩和策実施ケース（CP）、d. 森林セクターの緩和策と森林保護実施ケース（CP-FP）（Matsumoto et al. 2019）

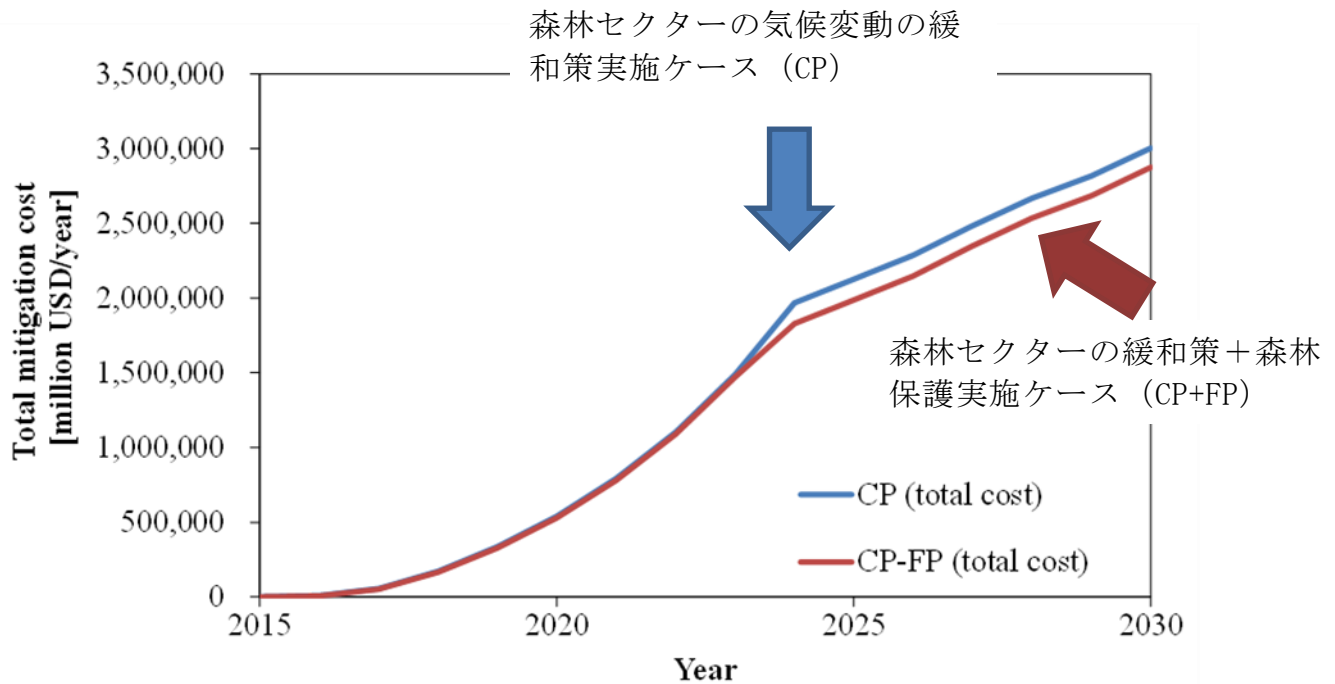


図4.5.4：CPとCP+FPのケースの緩和コストの違い（Matsumoto et al. 2019を基に作成）

（3）SDGs達成のための国内ガバナンス分析

SDGs達成に向けた日本とインドネシアの国家・地方ガバナンス構造やそのパフォーマンス改善のための課題を、SDGsに関わる国家・地方レベルのガバナンスシステムを分析するためのマトリックスツールを活用して分析した。5つのガバナンス構造（ビジョン目標設定、研究・評価、戦略策定、実施、モニタリング・評価・レビュー）、3つの機能（意思決定能力、接続性、知識活用）を46指標で分析した。

その結果、各国でSDGs達成に向けたガバナンスシステム構造や課題が異なることが明らかになった。両国とも分野横断的なSDGsの達成に向け様々な省間調整メカニズムを構築しているが、特に地方レベルでは知識・能力構築等に課題が残ることが示された。

日本：ビジョン目標設定、研究・評価、戦略策定の観点でよりパフォーマンスが高いガバナンス構造を有する（例：多様なアクターが参画）が、モニタリング評価や実施に関する課題が示された（図4.5.5、図4.5.6）。

インドネシア：研究、戦略策定、モニタリング・評価・レビューの観点でよりパフォーマンスが高いガバナンス構造を有するが（例：大統領令等SDGs実施の法的枠組あり）、ビジョン目標設定・実施に関する課題が示された（図4.5.7、図4.5.8）。

各国の違いの要因は、SDGs達成のためのガバナンスシステム策定方法の違い、それをリードする省庁の違い、SDGsを支援する法制度枠組の有無が影響していることが示された。

Japan's National Governance System for SDGs

Decision-making capacity National Connectivity National
Knowledge use National

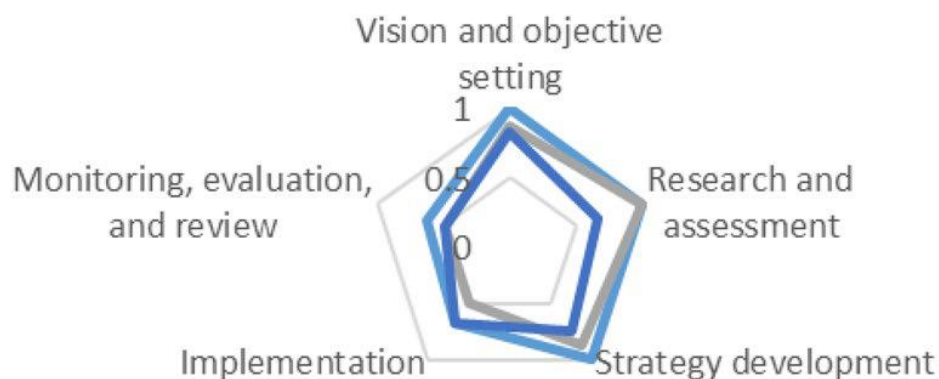


図4.5.5 : SDGsのための日本の国家ガバナンスシステムの構造と機能 (Morita et al. 2020)

Japan's Local Governance System for SDGs

Decision-making capacity Local Connectivity Local Knowledge use Local



図4.5.6 : SDGsのための日本の地方ガバナンスシステムの構造と機能 (Morita et al. 2020)

Indonesia's National Governance System for SDGs

— Decision-making capacity National — Connectivity National
— Knowledge use National

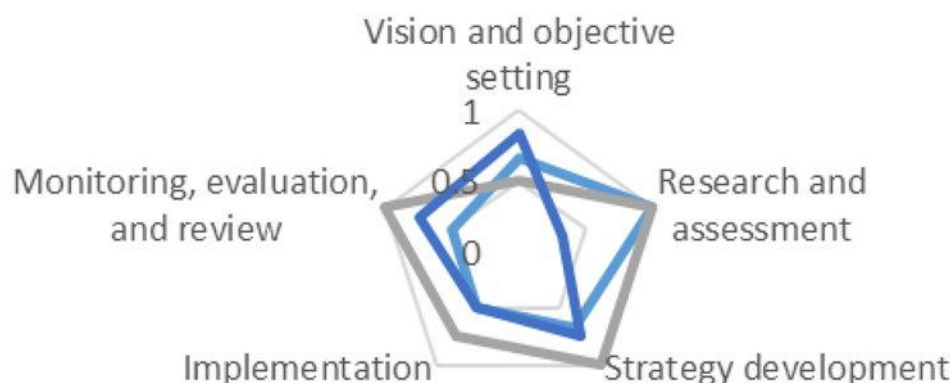


図4.5.7：SDGsのためのインドネシアの国家ガバナンスシステムの構造と機能（Morita et al. 2020）

Indonesia's Local Governance System for SDGs

— Decision-making capacity Local — Connectivity Local — Knowledge use Local

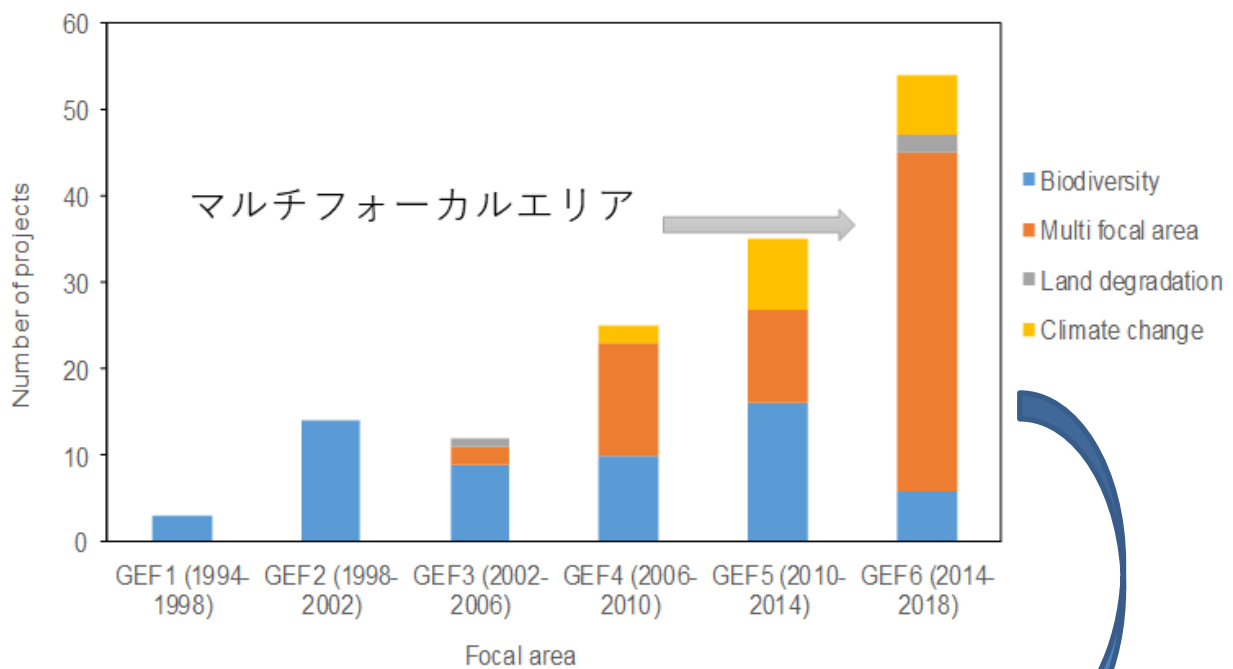


図4.5.8：SDGsのためのインドネシアの地方ガバナンスシステムの構造と機能（Morita et al. 2020）

（４） GEFを事例にした資金メカニズム分析

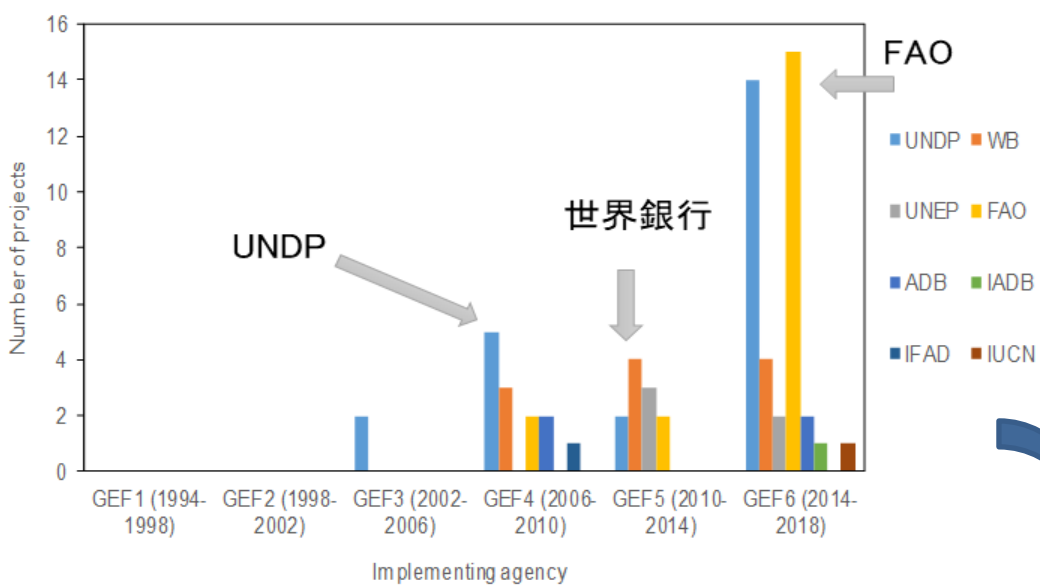
GEFの森林セクターへの支援の特徴や課題（マルチフォーカルエリアプロジェクトの実施・執行機関や共同出資の傾向他）をGEFのプロジェクトデータベースのデータ（178のプロジェクト）を分析し、森林セクターの多様な便益を高める支援制度について議論した。

その結果、GEFの森林の多様な便益を生み出す活動への支援が拡大していること、その活動実施・執行の鍵となる機関が、多国間・二国間援助機関（国連開発計画〔UNDP〕、国際連合食糧農業機関〔FAO〕、世界銀行、ドイツ、米国、欧州連合他）、途上国政府等であることが明らかになった。一方で、民間セクターへの参画は限定的であり民間資金の動員が必要であること等が示された（図4.5.9～図4.5.11、票4.5.2）。



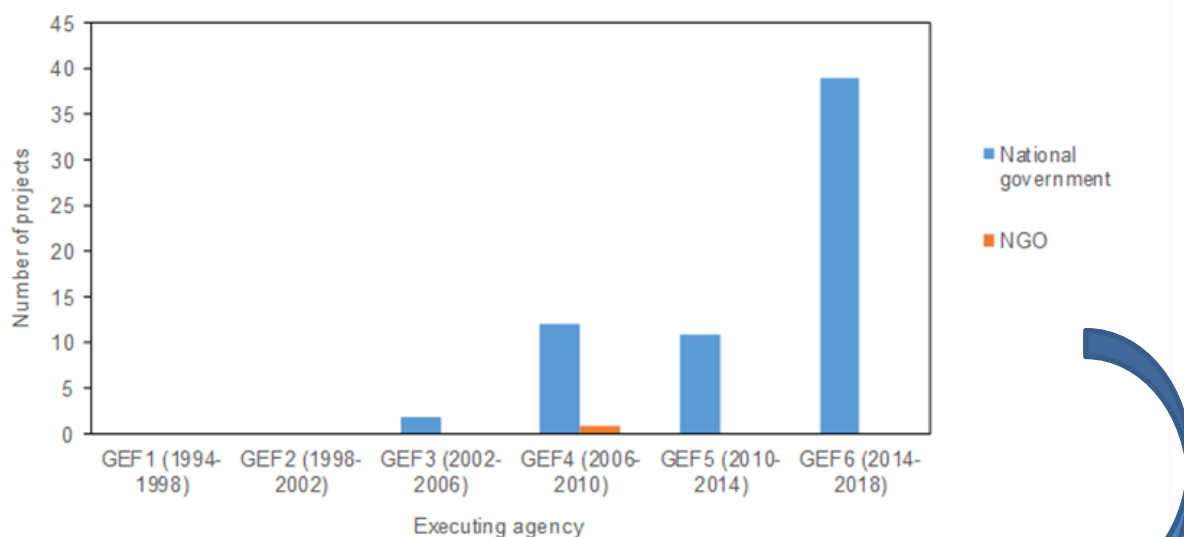
多様な便益を生み出す活動への支援が拡大している

図4.5.9：GEFの国レベルの森林関連プロジェクト数とフォーカルエリア (Morita and Matsumoto, 2018b)



森林関連のマルチフォーカルエリアプロジェクトの主要な実施機関は UNDP、FAO、世界銀行などである。

図 4.5.10：GEF の国レベルの森林関連マルチフォーカルエリアプロジェクトの実施機関 (Morita and Matsumoto, 2018b)



森林関連のマルチフォーカルエリアプロジェクトの受け入れ途上国での執行機関は、そのほとんどは途上国政府である。

図4.5.11：GEFの国レベルの森林関連マルチフォーカルエリアプロジェクトの執行機関（Morita and Matsumoto, 2018b）

表4.5.2：GEF国レベルの森林関連マルチフォーカルエリアプロジェクトの共同出資状況（Morita and Matsumoto, 2018b）

	Average amount of GEF funding for each project (USD)	Average amount of co-funding for each project (USD)	Average share of co-funding for each project
GEF1 (1994–1998)	-	-	-
GEF2 (1998–2002)	-	-	-
GEF3 (2002–2006)	3,322,673	6,756,400	67.7%
GEF4 (2006–2010)	3,668,226	27,780,306	72.9%
GEF5 (2010–2014)	6,511,468	32,671,945	79.7%
GEF6 (2014–2018)	7,530,084	44,789,038	81.4%

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

本研究課題は、これまで研究が乏しかった、持続可能な開発の観点から、気候変動の緩和策、適応策、生態系保全策のシナジー効果を最大化する国際・国内制度研究、資金メカニズム研究の発展に大きく貢献した。

以下の4つの研究成果をそれぞれ国際ジャーナルに発表することができた。

（1）東南アジアの国々の事例分析を基に、森林セクターの気候変動の緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に実施する上では、政策・戦略、制度枠組み、資金供給、プログラム・プロジェクト全てのレベルでの国内制度改革の必要性を提示した（Morita and Matsumoto, 2018a）。

（2）インドネシアの森林セクターの緩和、森林保全策の同時に実施による効果を定量的に評価し、緩和コストの軽減の可能性を示した（Matsumoto et al. 2019）。

（３）日本とインドネシアの事例分析から、SDGs達成に向けた各国のガバナンス構造やそのパフォーマンス改善のための課題の違いやその違いが起きる要因を明らかにした（Morita et al. 2020）。

（４）森林セクターの緩和策、適応策、生物多様性保全策を統合的に取り組む上でのGEFの資金供給の課題を特定した（Morita and Matsumoto, 2018b）。

（１）の成果はIPCCの土地関係特別報告書に引用された。（２）は、インドネシアの森林セクターにおける気候変動の緩和政策と森林保全政策間の同時実施の効果を初めて定量的に評価し、それを基に制度分析をするという、モデル活用をした制度分析の新たな研究分野の構築に貢献した。（３）は初めてアジアの国々を事例にSDGs達成に向けた各国のガバナンス構造・機能を評価した研究であり、SDGsに関するガバナンスの研究の発展に大きく貢献した。（４）も途上国が対策を統合的に実施する上で求められる資金メカニズムの要件を明らかにすることができた。

（２）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 本成果を基に、日本政府に政策的アドバイスをした。

林野庁や環境省からの依頼で日本政府代表団の一員として国連気候変動枠組条約、生物多様性条約交渉に参加し（令和元年6月、11月）、日本政府に政策的なアドバイスをした。また、生物多様性条約の資源動員ワークショップThematic workshop on resource mobilization for the Post-2020 Global Biodiversity Frameworkに、本研究成果も評価され専門家として選出され、ワークショップに参加し、ポスト2020の枠組みに対する資金制度の議論に貢献した。（令和2年1月）

また、本研究成果を活かし、IPCC国内連絡会、環境省温暖化対策研究の最新動向に関する情報交換会、環境省ポスト2020目標合同ヒアリング、環境省生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会委員などを通じて日本政府・環境省へ政策的なアドバイスをしただけでなく、林野庁や外務省に対してもアドバイスをを行った。

- 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）への貢献

IPCCの土地関係特別報告書に成果として発表した論文（Morita and Matsumoto, 2018b）が引用された。また、本課題で実施した研究成果も評価され、IPCCの第6次評価報告書第3作業部会第15章投資・資金のリードオーサーに選出され、報告書の執筆や議論においても、本研究成果が活かされている。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

7. 研究成果の発表状況

（１）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) K. MORITA, M. OKITASARI, and H. MASUDA: Sustainability Science, 15(1), 179-202 (2020), Analysis of National and Local Governance Systems to Achieve the Sustainable Development Goals: Case Studies of Japan and Indonesia.
- 2) K. MATSUMOTO, T. HASEGAWA, K. MORITA and S. FUJIMORI: Sustainability Science, 14(6), 1657-1672 (2019) Synergy Potential between Climate Change Mitigation and Forest Conservation Policies in the Indonesian Forest Sector: Implications for Achieving Multiple Sustainable Development Objectives.

- 3) K. MORITA and K. MATSUMOTO: Forest Policy and Economics, 87, 59-69 (2018), Synergies among Climate Change and Biodiversity Conservation Measures and Policies in the Forest Sector: A Case Study of Southeast Asian Countries.
- 4) K. MORITA and K. MATSUMOTO: AGRIVITA: Journal of Agricultural Science, 40(1), 118-130 (2018), REDD+ Financing to Enhance Climate Change Mitigation and Adaptation and Biodiversity Co-Benefits: Lessons from Global Environment Facility.

<査読付論文に準ずる成果発表>

なし

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 森田香菜子：人と国土21：42(1) 48-49 (2016) 「気候変動・生物多様性問題と森林保全」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) M. OKITASARI, K. MORITA, and H. MASUDA: 2019 Mexico Conference on Earth System Governance, Oaxaca, 2019
“Local governance transitions and the governing of the Sustainable Development Goals in Indonesia and Japan”
- 2) 森田香菜子、M. OKITASARI、増田大美：環境科学会2019年会、赤羽（2018）.
“National and Subnational Institutional Challenges and Opportunities to Achieve the Sustainable Development Goals: Comparing Japan and Indonesia”
- 3) 森田香菜子、松本健一：環境科学会2017年会、小倉（2017）
「途上国における持続可能な森林保全・管理のための効果的な資金供与:カンボジアを事例として」
- 4) K. MORITA and K. MATSUMOTO: 9th International Scientific Conference on Energy and Climate Change. Athens, 2016.
“Effective Forest Finance to Enhance Climate Change Mitigation, Adaptation and Biodiversity: Lessons from Global Environment Facility Finance”
- 5) K. MORITA and K. MATSUMOTO. The 2nd Asian Conference on Management and Sustainability. 広島, 2016.
“Institutions for Enhancing Co-benefits of Forest Conservation”
- 6) K. MORITA and K. MATSUMOTO: Journal of Environmental Indicators. Windsor, 2015.
“Synergy Potential among Climate Change Mitigation, Adaptation, and Biodiversity and Ecosystem Conservation in the Forest Sector”

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) Global Landscapes Forum Kyoto 2019で成果紹介。講演タイトル「Incorporating Forest-related Measures into Governance for SDGs」(主催:Center for International Forestry Research (CIFOR)、2019年5月13、国立京都国際会館、観客100程度に加えてオンライン配信)
- 2) 平成29年度ナレッジ分科会ナレッジセミナー：REDD+関連の国際動向について成果紹介。講演タイトル「パリ協定関連議論の進捗：資金支援の議論を中心に」（主催：森から世界を変えるREDD+プラットフォーム ナレッジ分科会、2017年6月2日、JICA市ヶ谷ビル、観客80名程度）
- 3) 一般公開シンポジウム「パリ協定後の世界」で成果紹介。講演タイトル「パリ協定と気候変動資金に関する動向」（主催：S-14、2017年6月3日、東京大学生産技術研究所、観客50名程度）

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

- 1) G20気候持続可能性作業部会2019年第2回会合の自国が決定する貢献、長期戦略実施に資する気候資金に関するセッションで成果紹介。講演タイトル「Opportunities and Challenges for Climate Finance」（主催：外務省、2019年4月17日、長野、メルパルク長野）

8. 引用文献

- 1) K. MORITA, M. OKITASARI, and H. MASUDA: Sustainability Science, 15(1), 179-202 (2020), Analysis of National and Local Governance Systems to Achieve the Sustainable Development Goals: Case Studies of Japan and Indonesia.
- 2) K. MATSUMOTO, T. HASEGAWA, K. MORITA and S. FUJIMORI: Sustainability Science, 14(6), 1657-1672 (2019) Synergy Potential Between Climate Change Mitigation and Forest Conservation Policies in the Indonesian Forest Sector: Implications for Achieving Multiple Sustainable Development Objectives.
- 3) K. MORITA and K. MATSUMOTO: Forest Policy and Economics, 87, 59-69 (2018a), Synergies among Climate Change and Biodiversity Conservation Measures and Policies in the Forest Sector: A Case Study of Southeast Asian Countries.
- 4) K. MORITA and K. MATSUMOTO: AGRIVITA: Journal of Agricultural Science, 40(1), 118-130 (2018b), REDD+ Financing to Enhance Climate Change Mitigation and Adaptation and Biodiversity Co-Benefits: Lessons from Global Environment Facility.

III. 英文Abstract

Research on Development of an Integrated Assessment Model Incorporating
Global-Scale Climate Change Mitigation and Adaptation

Principal Investigator: Yasuaki HIJIOKA

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)

16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN

Tel: +81-29-850-2961 / Fax: +81-29-850-2960

E-mail: hijioka@nies.go.jp

Cooperated by: Tohoku University, Forest Research and Management Organization

[Abstract]

Key Words: Climate change, General equilibrium model, Asia-Pacific Integrated Model, Global hydrological model, Irrigation of bio-fuel crops, Econometric analysis, Impacts on agriculture and health, International institution, sys, Financial mechanism, Sustainable development goal

Aiming at estimating costs of mitigation and adaptation as well as damages posed by impacts of climate change in accordance with global GHG emissions while using a new SSP (Shared Socioeconomic Pathways), a Computable General Equilibrium Model was developed to consistently estimate costs of reducing GHG and damages caused by the impacts of climate change as well as adaptation costs all over the world by using information, provided by Theme 2, 3 and 5, regarding damages from climate change impacts on a global scale along with the effects of adaptation measures and its costs.

The newly developed computable general equilibrium model calculated the costs of damages incurred by climate change in nine sectors (agricultural productivity, hunger, heat-related excess mortality, demand for heating and cooling, labor productivity, hydro- and thermal- power generations, river flooding, and coastal inundation) in monetary value, and the total amount of them indicated that the financial damage under the most pessimistic socioeconomic scenario without any mitigation measures was equivalent to between 3.9 and 8.6% of the entire GDP of the world. On the other hand, the model revealed that the financial damage can be suppressed between 0.4 and 1.2% of the total GDP of the world under a socioeconomic scenario in which regional economic disparities are theoretically improved with mitigation actions leading to limiting the warming to 2 degrees C set by the Paris Agreement. As the results showed, the model demonstrated that the scale of mitigation undertaken as well as socioeconomic conditions significantly affect the magnitude of climate change impacts even when uncertainties of climate projections are taken into consideration.