Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費　終了研究成果報告書

気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究
(S-14)

平成27年度～令和元年度
(2015年度～2019年度)

Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change (MiLAi)

〈研究代表機関〉
国立大学法人東京大学生産技術研究所

令和2年5月

目次

Ⅰ．成果の概要 ・・・・・・・・ 1
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．英文Abstract ・・・・・・・・ 90

Ⅰ．成果の概要

課題名　　S-14　気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究
課題代表者名　沖 大幹　（国立大学法人東京大学 生産技術研究所 教授）
研究実施期間　平成27年度～令和元年度（2015～2019年度）
研究経費（累計額）　1,385,130千円
（平成27年度：291,041千円、平成28年度：277,872千円、
平成29年度：277,874千円、平成30年度：263,651千円、
令和元年度：274,692千円）

本研究のキーワード　気候変動とその適応策と緩和策、ライフサイクルアセスメント、主観的幸福度、生態系、適応費用、費用便益分析、メガシティ特有の影響、応用一般均衡モデル、統合評価モデル、持続可能な開発目標

研究体制
テーマ１：全体の総括と統合的戦略評価（国立大学法人東京大学生産技術研究所）
(1)　多様な指標による気候変動対策の統合的多面的な評価
（国立大学法人東京大学生産技術研究所）
(2)　ライフサイクルアセスメントによる気候変動影響評価（学校法人東京都市大学）
(3)　主観的幸福度なども活用した気候変動対策の費用便益分析（国立大学法人九州大学）
テーマ２：生態系保全による緩和策と適応策の統合（国立大学法人横浜国立大学）
(1)　気候変動と気候変動対策の生態系サービスへの影響評価（国立大学法人横浜国立大学）
(2)　陸域生態系の強靭化による緩和策、適応策の統合評価（国立大学法人横浜国立大学）
(3)　緩和策と適応策に資する沿岸生態系機能とサービスの評価
（国立研究開発法人国立環境研究所）
(4)　緩和策と適応策に資する森林生態系機能とサービスの評価
（国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所）
(5)　沿岸生態系の緩和・適応策の経済評価
（国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所）
テーマ３：気候変動に対する地球規模の適応策の費用便益分析（学校法人芝浦工業大学）
(1)　気候変動適応策の総合的な費用便益分析と水関連災害の適応策の費用便益分析
（学校法人芝浦工業大学）
(2)　気候変動による穀物生産への影響評価と適応策の費用便益分析
（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合開発機構農業環境変動研究センター）
(3)　気候変動による健康への影響評価と適応策の費用便益分析（国立大学法人筑波大学）
(4)　気候変動に伴う沿岸地域の脆弱性評価と適応策の費用便益分析（国立大学法人茨城大学）
テーマ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
（国立大学法人東京工業大学）
(1)　緩和・適応統合実施の基本シナリオを考慮した都市気候変動の予測
（国立大学法人東京工業大学）
(2)　緩和・適応統合実施による都市水害減災評価と費用便益分析（国立大学法人東北大学）
(3)　緩和・適応統合実施による都市健康影響評価と費用便益分析（国立大学法人東京大学）
テーマ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
（国立研究開発法人国立環境研究所）
(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（国立大学法人東北大学）

(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
（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

テーマ１：国立大学法人東京大学大学院工学系研究科、公立大学法人福島県立医科大学、みずほ情報総研株式会社、TCO2株式会社

テーマ２：学校法人東京農業大学、特定非営利活動法人国際マングローブ生態系協会、公立大学法人大阪市立大学

テーマ３：国立大学法人東京大学、国立大学法人愛媛大学

テーマ４：学校法人早稲田大学理工学術院、公立大学法人富山県立大学、学校法人明星学苑明星大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、東京電力ホールディングス株式会社

テーマ５：国立大学法人京都大学、学校法人立命館大学、学校法人関西学院、公立大学法人兵庫県立大学、学校法人関西大学、国立政治大学（台湾）、Stony Brook University, State University of New York（アメリカ）、国立大学法人長崎大学、学校法人慶応義塾

１．はじめに（研究背景等）

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書が公開され、第1作業部会の報告書では地球の気候システムの温暖化は疑う余地がなく、人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主な要因であった可能性が極めて高い(95%以上の可能性)とされ、地表面気温だけではなくむしろ主に海洋の水温上昇としてその影響が現れていることが述べられている。気候変動のメカニズム解明や、気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)の第2条に書かれた「危険な人為的干渉とならない温室効果ガスの濃度水準」がどのくらいであるのか、さらには気候変動によってどのような影響が生じるかに関する研究が鋭意進められているが、人類はそうした気候変動に対して常に無策であるわけではなく、気候変動が生じても持続可能な開発が担保されるような対策、いわゆる適応策の効果についても研究が進められている。IPCCでも第4次報告書以来、第2作業部会の評価報告書では緩和策と適応策とは気候変動対策における車の両輪である、と位置づけられているが、つい最近まで両者は別の文脈で取り扱われることが多く、日本では適応策への取り組みが遅れていた。ようやく日本政府全体の適応計画が取りまとめられ、両者の統合的な実施による効果的で効率的な気候変動対策の計画立案支援、ならびにカンクン合意に基づく発展途上国向けの気候変動適応計画の策定に関わる国際交渉に資する研究開発が期待されている。

２．研究開発目的

本研究では、緩和策と適応策との統合的実施によって復元力に富み、持続可能な社会を構築しようとする施策を国内外で実施するにあたり、投入可能な経済的、人的、制度的資源が限られている条件下で、緩和策、適応策にどのように取り組むことがもっとも効果的かつ効率的であるかに関する定量的基礎資料を整備し、リスクマネジメントとしての気候変動対策の適切な計画立案への貢献を目指す。

定量的基礎資料として、水関連災害、穀物生産、健康分野、沿岸地域という4つの主要な領域を対象に、地球規模の気候変動影響と、実施可能と想定される適応策の費用便益の検討を行う。また、生態系が持つ炭素蓄積や気候調整などの機能と気候変動がもたらす気温上昇、海面上昇、高波、山火事等の自然災害リスクの削減効果は、気候変動問題に対する緩和策と適応策に有効である一方、人間活動による現世代の経済利益と、生物多様性および生態系サービスの喪失がもたらす将来世代も含めた生態リスク増大との間にはトレードオフが存在する。そこで、複数の政策シナリオによる今後の生態系サービス変化の将来予測、全球的及び局所的な緩和策と適応策の両得及び得失相反の関係を明らかにする。さらに、気候変動の多くの世界的リスクが都市域に集中しているため、発展著しくマルチストレスに曝されるアジアのメガシティにおいて緩和を考慮した適応策の事例研究を実施し、プロジェクト全体の中のグローバルな評価における地域検証研究を行う。これらの最先端研究を緩和策と適応策の統合的かつ定量的な評価に組み込み、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。それと同時に、世界、各国、日本、地方自治体、個人としてどのように緩和策と適応策のバランスをとりつつ気候変動対策に取り組むのが効果的であり効率的であるかを様々な指標に照らして多面的に評価し、緩和策と適応策のバランスを国や地域のまとまりごとに評価する。

上述した研究を推進することで、4つの主要な領域における気候変動対策の費用便益、生態系サービスの将来予測情報や全球的及び局所的な緩和策と適応策の両得及び得失相反関係、さらに都市における緩和を考慮した適応策の事例検証、そして統合的かつ定量的な評価を用いた緩和策、影響・適応策費用推計と多面的な評価を、行政が気候変動対策の適切な計画立案に際して参照することで、貢献することを目的とする。

３．研究開発の方法

（１）全体の総括と統合的戦略評価

(a)　多様な指標による気候変動対策の統合的多面的評価

①　SSPシナリオを用いた日本の将来における環境負荷原単位の開発

将来起こりうる気候変動による被害を経験するため、緩和策と適応策両方の取り組みが有用であるが、それらによる負荷を含めた将来の被害推計が必要である。そこで、多様な指標による気候変動対策の統合的多面的評価のための基礎研究として、SSPシナリオを用いた日本の将来における環境負荷原単位の開発を行う。

緩和策と適応策に伴う、人間健康の被害や生態系の劣化といった温暖化による被害について、検討する。最後にそれぞれの被害を比較または統一可能にするために統合化を行う。

人間健康及び生態系の劣化による被害係数及び統合化係数はサブテーマ2によって開発/改良されるため、サブテーマ1では将来のCO_2排出原単位について検討する。既存の環境負荷原単位は大きく分けて積み上げ法と産業連関法によるものがあるが、評価範囲の広さやサプライチェーン全てを含めた評価が可能となるなどの利点から本研究では産業連関法を用いる。フローチャートは詳細版を参考にされたい。

②　費用便益分析及び地域間産業連関表の調査

気候変動の費用便益分析の評価方法の確認や既存研究の把握のために文献調査を行った。また、本プロジェクトは全球を対象としているため、一国産業連関表ではなく、多地域間産業連関表を用いることが望ましい。そこで国際産業連関表の調査を行った。

③　日本を対象とした主観的幸福度調査の実施と指標開発

これまで緩和策と適応策による効果を経済や環境負荷、健康被害や生物多様性といった複数の指標で評価されてきたが、対策と幸福度の関係が分析されてこなかった。そこで、本研究では、日本を対象に主観的幸福度調査の実施と指標開発を行った。

ここでは主観的幸福度指標開発について記載する。本研究が提案する指標は生存曲線(S(t))とSWB(subjective well-being)を組みあせたものであり、リスクによる影響の度合いや対策の効果を統合的に評価する(式(1)-3)。

$$\sum S_c(t) \times SWB_c(t) - \sum S(t) \times SWB(t) \qquad (1)\text{-}3$$

アンケートは日本の47都道府県、20代から60代の男女を対象に5,734名からサンプルを得た。これらの得られたデータは年齢階級、性別、居住都道府県を実際の構成に近くなるように調整している。今回はアンケート回答者が実感可能な対策として、堤防及びエアコンに関する質問をしている。さらに調査観察研究では単純に2群の平均を比較しても様々な背景要因から比較しても意味がないという批判を受ける可能性が高いため、傾向スコアマッチングを用いて主観的幸福度の差を推計した。さらにエアコン使用量の削減による緩和効果と主観的幸福度への影響を定量的に評価した。

④　2011年タイ洪水による全球被害の算定

気候変動の影響により、将来的にも災害が増加すると予測されている。日本は輸入大国であり、自国が被災せずとも輸出相手国が被災すれば、間接的に被害を受ける。実際、2011年のタイ洪水では日本をはじめとした多くの国々がサプライチェーンの寸断による被害を受けた。しかし、それら全球的な被害総額や影響国・産業部門割合がどの程度なのかは分かっていない。そこで、本研究では2011年タイ洪水による全球被害の算定を行った。

ここでは2011年タイ洪水による影響が全球的にどう波及していくかを分析した。本研究において、影響は2つからなる。1つ目は洪水によって破壊された工場や機械、部品及び製品の被害である。2つ目は洪水によってストップし、本来は得られるはずだった機会損失である。シナリオとして、被害はその後、100%再建されると想定し、再建による環境負荷影響までを対象に推計を行った。実際、高いリスクマネジメントを有する企業ではサプライチェーンの寸断による影響を受けない事例もあるが、今回は被害の潜在性を含めるため、最大値を示した。推計手法は産業連関分析であり、サプライチェーンの上流と下流の双方を推計するため、前方連関モデルと後方連関モデルを用いた。また、産業連関表は世界

最大の多地域間産業連関表Eoraを基にしている。被害と機会損失は国連よりデータを得た。環境負荷による被害額はLIME2を用いており、単位あたりのCO_2排出量から発生する健康被害と社会資産の損失が統合化され、価値(円)が示される。

⑤　SSPシナリオ別将来予測型産業連関表の開発

将来の緩和策及び適応策の評価が求められている。しかし、LCAの分野では過去の統計値やヒアリングデータを基にした環境負荷データベースが整備されているのみであり、将来予測型環境負荷データベースは存在しない。そこでSSPシナリオを基に将来予測型環境負荷データベースを開発した。

S-14では将来の緩和策及び適応策の評価を検討している。上述した通り、従来のLCA分野における環境負荷データベースは過去の統計値やヒアリングデータを基に開発されているため、各国の数値は過去の経済構造や技術を反映した結果となる。これらの値を固定化し、将来の対策を評価するのは一つのシナリオとしてありうるが、それだけでは現実的ではない。一方、動的モデルであるCGEの分野ではSSPシナリオ別に将来の経済構造や環境負荷、労働に関するデータを作成している。そこで、本研究ではテーマ5が研究を進めているAIM/CGEのSSPシナリオ別年次別データ(GDPやCO_2等)をEora及びAIM/CGE部門対応表を介して、多地域間産業連関表Eoraに外装し、将来の産業連関表を開発した。多地域間国際産業連関表Eoraは180か国、約15000の産業部門を有する世界最大の産業連関表である。Eoraを使用することで各国間の輸出入を介した生産効率や技術影響等を加味することができる。EoraとAIM/CGEの部門対応表はこれまで存在しなかったため、開発した。将来の産業連関表に関しては2010年版EoraとAIM/CGEからの外装データを基にGRAS法を用いてSSP別に開発した。

⑥　LCA手法を用いた生物多様性評価

多様な指標の一側面として、生物多様性が挙げられる。気候変動に加え、人口増加や生活水準の上昇に伴う土地改変が進むことにより、生物多様性が劣化している。これらは一国のみだけでなく、他国への輸出や輸入が深く関わっている。そこで本研究ではLCA手法を用いた生物多様性評価を行った。

土地改変による生物多様性の劣化を測るため、世界各国の年あたりの土地改変量及び最終消費を得ることが出来れば輸出入をも含めた世界各国の土地改変量が把握でき、さらに被害係数(LIME係数)を乗じることにより、世界各国の土地改変による被害推計が可能となる(式(1)-4)。

$$B_{ij} = d_{ij} \times (I - A)^{-1} \times F \times LIME2_{ij} \qquad (1)\text{-}4$$

ただし、B は生物多様性の被害、d は 1000 US$ あたりの土地改変量、I は単位行列、A は投入係数行列、F は最終需要、LIME2 は土地改変による被害係数である。I 及び j はそれぞれ多地域間国際産業連関表 Eora の 14,839 部門に対応し、d、F、LIME2 は対角行列となる。なお、データの年次は 2011 年を採用した。上記の方法により、世界各国の輸出入を加味した生物多様性の劣化損失を推計した。なお、Eora が網羅する地域は広大である。結果を分かりやすくするため、本研究では 180 か国を 13 地域に集約した。

⑦　気候変動の総コストの統合評価

これまでの気候変動による影響評価は、セクターによって被害額や影響人口で推計されており、これらを単一指標でそれなりの解像度で示されたものはなかった。S-14の中で、ライフサイクルアセスメント（サブテーマ(2)）や一般均衡モデル（テーマ5）を用いた研究グループや、生態系における影響評価（テーマ2）や主要なセクターにおける費用便益分析（テーマ3）を実施する研究グループから出てくる成果を取り纏め、統合評価した。

本統合評価で利用した項目は、ここで統合した部門は、**表3.1.1**、**表3.1.2**を参照されたい。ここで統合するにあたり、いくつか注意すべき点があるので、その点は成果の詳細に記載した。

まず、総費用であるが、利用可能なデータ期間などの制約があるため、2001年から2100年までの総額である。そのうち、経済被害については、AIMから農業、冷暖房需要、熱関連超過死亡、労働生産性、低栄養、沿岸浸水、河川洪水、水力発電、火力発電の推計値が提供される。続いて、人間健康と生物多様性、社会資産のうちサンゴ礁と土地損失については、LIME3（Murakami et al., 2018）から推計した値を用いており、これらはWTP係数によって金銭換算されている。

このような定量評価で重要なのが、不確実性をしっかり示すことである。本研究では、AIMによる経済被害推定では取り扱ったGCMの数（5個）を不確実性の幅として表現している。LIMEによる経済被害（社会資産のうちサンゴ礁と土地損失）推定ではWTP係数に幅を持たせている。生態系影響については、RCPのみ（将来の土地利用を想定）に依存し、5つのGCM間のばらつきで不確実性が示される。健康影響（DALY）と生物多様性損失（EINES）では、その金銭換算に用いるLIME3のWTP係数の範囲をさらに考慮することで、不確実性を示している。

(b)　ライフサイクルアセスメントによる気候変動影響評価

①　気候変動を対象としたライフサイクル影響評価手法の開発と SCC（社会的炭素費用）の算定

「人間健康」「生物多様性」「社会資産」を対象として温室効果ガス単位量排出による潜在的な被害量増分を表す被害係数の開発を行った。健康影響では、社会経済シナリオによって被害が大きく異なることから SSP シナリオごとに算定した。CO2 単位量排出による追加的世界平均気温上昇量の推計は、簡易型気候モデル MAGICC5.3（Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change）v5.3 model（Wigley, 2008）を用いた。世界平均気温 1 ℃あたりの地域別疾病別の相対リスクについては、WHO（2014）の結果を基に疾病ごとに算出した。ここではなるべく包括的に評価することを目的として WHO（2014）において定量化されたすべての疾病（低栄養、マラリア、熱ストレス、洪水、下痢、デング）を対象にした。人口については SSP シナリオ別の人口データを参照した。死亡一件あたりの損失余命（DALY）については、WHO“Global Health Estimates（GHE）”から抽出したデータを基に算定を行った。

生物多様性の影響評価手法開発では、維管束植物 2,507 種を対象に気候変動による絶滅リスクの増分を算定し、これらを代表する被害係数を得た。気温上昇量の計算では健康影響と同様、MAGICC を用いた。気温と絶滅リスクの関係の推計については、気温 1 ℃あたりの絶滅割合を算出した。生物種ごとに現在と将来の潜在的種分布面積を種分布モデル MaxEnt を用いて算定し、その差分から減少速度を得た。さらにその結果の逆数を取ることで一年あたりの絶滅リスクを求めた。MaxEnt モデルへのインプットデータについて、現在の分布データは GBIF より収集した 2,507 種を収集し、現在と将来の環境データ（土地利用変数 4 種、気候変数 7 種）は History Database of the Global Environment より得た。次に、潜在的絶滅リスクの合計を取った後に全評価種数で割って平均値を得て、評価対象種に乗じることで被害係数を得た。絶滅危惧種と非危惧種により、気候変化による影響の感度が異なるため、IUCN データを基にこれらを区別して算定した。

気候変動は人間社会、社会インフラ、各産業にも甚大な被害をもたらす。本研究では社会資産への影響の開発を他のテーマからの成果を活用しつつ実施した。従来より LCAにおいて評価に含めていた農作物、エネルギー資源、土地水没に加えて、新規にサンゴ礁、内陸洪水、海岸洪水、労働生産性を加えた計7項目を本研究の評価対象とした。社会資産被害係数は、単位量の温室効果ガスが追加排出されたことによって生じる社会資産の被害額と定義し、各項目の影響を経済指標で表した後、これらの結果の総和を取ることで係数を SSP シナリオごとに得た。

これらの過程を経て開発された被害係数はエンドポイントごとに異なる指標が採用されている（健康：損失余命、生物多様性：絶滅リスク、社会資産：経済指標）。本研究では、これらの異なる被害を SCC（Social Cost of Carbon：社会的炭素費用）の算定に利用した。経済価値化は LCA の影響評価手法 LIME を利用して被害量から経済指標に換算した。

②　影響領域間のトレードオフ、コベネフィットを考慮した気候変動対策の LCA

有力な気候変動緩和策と適応策についてボトムアップ的な観点から分析するため、複数の対策を抽出して LCA を行うとともに、対策間の比較を行うためライフサイクルの視点に基づく費用対便益分析を行った。緩和策の評価においては、自動車、発電とプラスチックを取り上げて、LCA のメタ分析を通して、代表性を向上した気候変動の緩和策としての定量的評価を行った。国内外で行われている LCA の査読付きの論文を Google scholar、Science Direct に加え、LCA データベースを用いて収集した。収集した論文には LCA 結果が表形式やグラフ形式で記載されており、そこから標本値を抽出した。メ

タ分析に用いた論文数、標本数の情報は、S-14-1の終了研究成果報告書を参照されたい。

自動車の種類は、ガソリン車、ディーゼル車、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車及び電気自動車（電力源別に、化石燃料由来、電力ミックス、非化石エネルギー）、燃料電池自動車、その他、の 11 種類に分類した。発電は、石炭及び天然ガス（それぞれ CCS あり、CCS なし）、石油、地熱、風力、原子力、水力、太陽熱、バイオマス、太陽光（シリコン系、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコン、テルル化カドミウム、ガリウムセレン、パネルの詳細不明）の 18 種類に分類した。プラスチックは、PE、PET（それぞれ石油由来、バイオマス由来）、PLA（キャッサバ由来、サトウキビ由来、トウモロコシ由来、ミックス由来）の 8 種類に分類した。ライフサイクル全体の評価を行うため、不足している段階は他の文献等より補う補正を行った。このようにして補正されたライフサイクル全体の GHG 排出量を用いて自動車、発電の分類別に箱ひげ図を作成した。プラスチックでは樹脂の製造段階の GHG 排出量を用いて箱ひげ図を作成した。

浄水器、海水淡水化プラント、空調機を対象に適応策の LCA を実施した。適応策の導入による便益は評価対象ごとに算定する必要がある。空調機導入による睡眠障害と疲労軽減についてはジャカルタを対象に調査したテーマ 4 の研究成果を活用した。海水淡水化プラントの導入による便益は淡水消費による被害係数（感染症、栄養失調）（Motoshita et al., 2014）を生産された淡水量に乗じることで算定した。浄水器の利用による便益は WHO の水質ガイドラインより各地域の感染症リスクの軽減効果を損失余命に換算することで評価した。これらの結果と LCA の結果を統合することで、適応策ごとに費用対便益分析を行った。

それぞれのケーススタディを通じて得られた結果は導入可能量を考慮して限界費用曲線を緩和策と適応策についてそれぞれ作成した。これにより、優先的に導入すべき対策とその導入による効果の関係について得ることができる。

(c)　主観的幸福度なども活用した気候変動対策の費用便益分析

①　本研究ではまず、主観的幸福度アプローチを用いて日本国内の都道府県または地域間で緩和策及び適応策の価値がどれくらい異なるかという研究を行う際の基礎研究として、どのような個人属性を持つ人がどの程度の緩和策及び適応策をとるかという研究を行った。まず、都道府県レベルでの人工資本、人的資本、自然資本、社会関連資本のデータを収集した。次に、九州大学馬奈木俊介研究室が 2015 年に行った国内大規模調査のデータを用いて、個人レベルの気候変動対策行動の価値を推計した。大規模アンケート調査は 2015 年 12 月に九州大学馬奈木研究室が行った。アンケートはインターネットで回答する形式で行い、日本国内に居住する人を対象者とした。収数は 246,642 人となった。この調査結果を用いて、主観的幸福度アプローチにより各気候変動対策の価値を推計した。この文脈での主観的幸福度アプローチとは、ある特定の対策の実施価値を主観的幸福度単位で推計し、さらにその価値をちょうど補償する収入金額を推計することで金銭価値化する手法である。

②　まず、緩和策・適応策への最適資源配分問題を定式化する。意思決定者は使用可能な資源量を賦与され、それを緩和策・適応策に配分し投入する。緩和策への投入量が増えるほど気候変動によって引き起こされる災害確率が低下し、適応策への投入量が増えるほど災害が起こった際に受ける被害が小さくなると仮定する。またそれぞれの策への追加的な投入によって得られる便益は逓減する、すなわち投入量が増えるにつれ追加の便益は小さくなる、と仮定する。このような状況において、使用可能な資源量の変化が最適な配分に与える影響が、異なる被害削減の関数型のもとでどのように変化するか調べる。

③　本研究では生態系による蓄積・排出作用を既存の炭素循環モデルに加えることで、生態系の変化が炭素貯留に与える影響をモデルに組み入れた。さらに、経済活動から得られる我々の効用に生態系が存在することによる付加価値が与えられた場合の推計を可能とし、最適行動の変化傾向について分析を行った。分析対象となる行動変化については技術の選択も含まれており、短期的な CO2 削減効果が大きいものの長期的には生態系への悪影響をもたらしうる技術が、いかなる状況下で選択されるかについても検討した。

④　最後に沿岸生態系が CO2 を吸収する役割を果たすことに着目し、沿岸生態系の面積を保全した場合の CO2 排出量と経済活動への影響を評価する。従来の DICE モデルに沿岸生態系が CO2 を吸収する

働きをするというメカニズムを組み込んだうえで、異なる気候変動目標と異なる沿岸生態系保全シナリオの下で、CO2 排出量と経済活動がどのような影響を受けるかについて分析する。

（２）生態系保全による緩和策と適応策の統合

(a)　気候変動と気候変動対策の生態系サービスへの影響評価

生態系サービスは人間の福利をもたらす。本テーマでは、生態系保全を目的とするのではなく、人間の福利のための手段として、ほかの気候変動対策と同列に扱うことで、より包括的な環境政策の立案を目指した。

① 気候変動が森林の生態系サービスに及ぼす影響として、気候変動シナリオに基づく将来の生息地面積減少から、現存個体数が推定されている鳥類種の絶滅リスク評価を試みた。

② 生態系は撹乱に対して復元力（Resilience）をもつが、撹乱が大きすぎるとその撹乱を止めても元に戻らず、別の定常状態に移行する双安定性があり得る。種間相互作用を考慮した群集動態モデルにより、攪乱の大きさとある安定状態から別の安定状態に急激に移行するレジームシフトの際の予兆を理論的に検討した。

③ 反応性窒素は酸性雨や土壌劣化などをもたらし、気候変動、生物多様性喪失と並ぶ大きな環境負荷と言われる。窒素フットプリント（NF）は、消費される商品の生産、消費、輸送中に排出される反応性窒素の量として定義される。ここでは、食料などの生産から流通、消費、廃棄などの過程ごとにNFを評価するボトムアップ解析と、窒素負荷の種類別に産業連関表によってその国別や産業別のやり取りを評価するトップダウン解析（N-Multi-region法）の両方を用い、全球排出量データベース、IPCCによる排出係数および国内および国際貿易の国際産業連関表から各国のNFをアンモニア、窒素酸化物、亜酸化窒素等の排出量の合計として計算し、どこの国の消費がどこの国のNFを高めているかを定量的に分析した。また、日本人の平均的食生活の変化からNFの時代変化を推定し、菜食主義など他の食事と比較した。

④ 生物自身の気候変動に対する「適応の失敗」の理論的可能性を虫媒植物―訪花昆虫モデルにより分析した。

(b)　陸域生態系の強靭化による緩和策、適応策の統合評価

① 野外試験地において、降水量を人為的に操作する実験を、北海道大学および中国科学院の草地生態系で実施した。2015年より世界中の野外試験地において統一プロトコルにて実施した干ばつ実験（Drought-Net）を両所にて実施した。今回の研究においては、干ばつ操作だけでなく増雨操作も行い、生態系の多機能性（一次生産や有機物分解など）を5年間にわたり測定した。

② 樹種多様性が一次生産を介して炭素隔離と温暖化緩和に関わる可能性を検証するために、環境省モニタリング1000の森林サイトデータを用いて解析を行った。有機物分解については、環境省モニタリング1000のうち北海道から沖縄までの4サイトを選び、Global Wood Decomposition Experimentの一環として標準基質（ラジアータパイン）を用いて、2年間野外培養試験を行った。当試験では、分解者としての生物多様性を操作することで、気候要因だけでなく生物要因の相対寄与率も求めた。さらに、植物リターの多様性の消失が有機物分解プロセスに与える影響評価のために、世界中の報告論文を統合したメタ解析を行い、リター多様性の効果と気候要因とを比較した。

③ 生態系改変に起因する災害リスク（自然撹乱が災害になるリスク）として、干ばつや豪雨、極端気象の原因となり得るエルニーニョによる遠隔相関（テレコネクション）に着目した。土地利用データを用いて、生態系改変速度指標を開発した。また、土地利用の進展によりどれだけ生態系が脆弱化したのかを評価するために、生物多様性ホットスポット内外での生態系改変速度指標の時系列変動パターンを全球規模で解析した。そして、エルニーニョ発生時の災害リスクと生態系改変の関係性について、時系列的な因果関係を明示する解析を行った。テレコネクション影響される地域を対象に、1980-2015年に発生した自然災害を対象とした時系列同調性解析を行い、エルニーニョに駆動される自然災害報告数の増加率を求めた。さらに、生態系の健全性がある程度担

保されていると期待されている世界50か所の自然保護区とその近隣地域を対比させ、気候条件と関連した撹乱体制が人為影響でどのように変化しているのかを衛星画像を用いて全球規模で解析した。最後に、日本の森林生態系の防災・減災機能における生物多様性の寄与を検証するため、林野庁による森林生態系多様性基礎調査と国土交通省・国土数値情報の土砂災害・雪崩メッシュデータを用いて、樹木種多様性と表層崩壊に伴う土砂流出量の関係性を解析した。

(c)　緩和策と適応策に資する沿岸生態系機能とサービスの評価

①　海岸線・地形データ整備と生態系分布データの成型、類型化　入手可能な地形データを精査し、ESRI標高データ（空間解像度90m）を選定した。同データを基に、標高0mを海岸線として全球海岸線ポリゴンデータを作成した。重点地域として解析を進めた熱帯亜熱帯地域(40°S-40°N)については、より詳細な解像度を持つSRTM Water Body Dataset（空間解像度30m）を基に海岸線ポリゴンデータを作成した。全球マングローブ・藻場・サンゴ礁生態系分布GISデータを収集整理し、上記で作成した海岸線に合わせて成型した。また、マングローブが存在する111の国とテリトリ別に、それぞれの国・テリトリに存在する主要74樹種を、文献（学術論文・報告書・書籍）・ウェブサイト情報・調査データから網羅的に収集整理した。作成したデータを基に、標高と沿岸傾斜角・生態系の組み合わせ・構成生物類似度指数（Jaccard）による生態系の類型化を行った。

②　緩和機能と適応機能評価　　沿岸生態系の炭素貯留機能と沿岸保護機能を統合評価するためのデータフォームを作成し、既存文献の整理を行った。既存文献から抽出したマングローブ生態系炭素貯留データに位置情報（緯度経度）を付与し、全球マングローブ炭素貯留機能の実測データマップを作成した。さらに、マングローブ炭素貯留量の推定モデルを地上部バイオマス・地下部ネクロマス別に検証した。各パラメータ値は、全球マングローブ分布GISデータを10kmメッシュで区切り、各メッシュの中心点における値を抽出した。なお、気象データにはWorldCLIMを用い、地形データには本課題で作成したデータを用いた。また、推定の不確実性を評価するため、実測データ集から7割のデータをランダムに選択して推定を行うプロセスを100回繰り返し、説明変数の選択頻度、推定値の変動、各変数の外挿の程度を算出した。適応機能（沿岸保護機能）の評価のため、琉球列島のサンゴ礁の造礁速度に関する情報収集と整理を行った。

③　現地調査　沖縄県西表島の全沿岸を踏査し、マングローブ・藻場・干潟・サンゴ礁の一連生態系のトランセクト調査が可能なサイトとしてユツン川流域と沿岸を選定した。調査サイトにおいて、マングローブ―藻場―サンゴ礁をつなぐ約1kmのトランセクトを設置し、トランセクト上のコア採掘調査を行った。採取したコアのプロファイルを記載するとともに各層の化石サンゴまたはマングローブ遺体の放射性安定同位体炭素を計測した。また、マングローブ生態系については各層の土壌炭素含有量を計測した。

(d)　緩和策と適応策に資する森林生態系機能とサービスの評価

緩和策と適応策に資する森林生態系機能とサービスの評価を目指し、大きくは以下の4つの研究関連業務をおこなった。①ニホンジカの潜在生息域の将来予測、②マツ枯れ危険域の世界規模の気候変動影響評価、③絶滅危惧種ニホンライチョウの潜在生息域の気候変動影響評価、④生物多様性と気候変動緩和策との間のトレードオフやコベネフィットに関する影響評価等である。

①　シカについては、ニホンジカ（シカ）の過去の分布変化の情報（1978～2003年）と土地利用・積雪等の環境情報から潜在生息域を予測するモデルを構築し、そのモデルに将来の気候シナリオを当てはめることで、今世紀末のシカの分布域の変化を予測した。

②　マツ枯れについては、現在および将来の気候条件下におけるマツ材線虫病（マツ枯れ）の危険域およびマツ材線虫病に感受性の高い世界のマツ属樹木種の潜在生育域を１km2メッシュ精度で推定し、両者のマップを重ね合わせることで、将来マツ枯れ被害に対して脆弱な地域を推定した。

③　ニホンライチョウ（ライチョウ）の生息に不可欠な植生である高山帯のハイマツ群落、雪田草原、荒廃地草原それぞれについて、300mスケールの高解像度メッシュで気候と地形条件から各植生の分布を予測するサブモデルを構築し、それら各植生の分布推定情報からライチョウのなわばりを予測する統計モデルを構築した。そのモデルに将来の気候値をあてはめることで、ライチョ

ウの潜在生息域の将来変化を予測し、気候変動に脆弱な生息域や安定した生息域を特定した。

④ 生物多様性については、世界規模で生物の分布の情報を収集・公開しているGBIF（地球規模生物多様性情報機構）からデータを収集入手・整理し、世界の陸域生物8,428種類について、統計学的な手法を用いて気温、降水量、土地利用などをもとに潜在生息域予測モデルを構築した。このモデルを用いて、２℃目標を達成するために対策を推進するケースと、何もせずに気候変動が進行するケースで世界の陸域生物の潜在生息域の変化を予測した。さらに、持続可能な社会構築、化石燃料依存など、５種類の社会経済状況を想定し、それに見合った土地利用変化を予測して、想定別に2070年代の生物多様性の変化を比較した。

(e) 沿岸生態系の緩和・適応策の経済評価

① 浅海生態系によるCO2吸収速度をはじめとした気候変動の緩和効果を定量的に予測するために、沿岸浅海域における5つの生態系（サンゴ，海草，海藻，マングローブ，塩性湿地）に着目し、プロセスベースの海草・海藻・塩性湿地の内湾生態系の既往モデルに新たに熱帯域の浅海生態系（サンゴ・マングローブ）を導入し、沿岸浅海域における主要な生態系を全て考慮した新たな生態系モデルを開発した．生態系分布面積変化の推定手法については、生態系の将来的な分布面積変化によってそのCO2吸収速度は変化しうるため、浅海生態系の面積変化も予測した．生態系分布・面積データについては、サンゴ，海草藻場，塩性湿地およびマングローブは既往情報を用い，海藻藻場については全球総面積を採用した．

② 本研究で開発した生態系モデルを用いて全球沿岸域の大気-生態系間のCO2フラックスを推定する際に，日本沿岸域における生態系と地形を基に，三つの仮想的な計算領域を作成し，RCP2.6と8.5のシナリオにおけるGCMの計算を大気と外洋境界値に適用し、全球展開のための仮想計算領域を設定した．

③ 地形や生態系分布は全球の浅海域ごとに異なるため，その特徴を考慮したうえで沿岸浅海域を全球の海岸域をデルタ地帯やフィヨルドなどのような海岸地形タイプに基づき類型化した既往研究に基づき，全球浅海域を198のエリアに区分した計算領域を設定し，全球推計を実施した．全球沿岸浅海域の地形データにおいては，海陸の地形情報を空間解像度約450m、陸側の標高50mまで、海側の水深100mまでを対象範囲とした。気候変動影響の外力値については、大気や外洋との境界における物理的外力値と，クロロフィルa濃度や栄養塩などの生物化学的外力値について、現況計算および将来予測計算の2つの期間の計算を実施した．大気境界の外力値としては198のそれぞれの計算エリアに該当するデータ，外洋との境界の外力値としては，計算エリアに隣接するデータを抽出し，それらを平均することで生態系モデルおよび波浪減衰・地形変化モデルの予測計算に適用した．

④ 浅海生態系による波浪減衰・浸食抑制効果を波浪減衰・地形変化モデルを用いて、自然生態系による砕波，底面摩擦，浅海生態系による減衰効果を考慮して予測した。波浪減衰モデルの外洋境界値となる沖合波高については，波高データの出現確率から50%確率の平均波高と0.137%の極大波高を採用した．海上風速はGCMを採用した。

テーマ5におけるAIM/CGEモデルによって推定された炭素価格（≒限界削減費用）を用いて，浅海生態系によるCO2吸収速度を金銭換算した．将来的な浅海生態系分布の消失面積を0とすることで生態系保全を仮定し，保全による追加的なCO2吸収速度を金銭換算し、社会経済シナリオ（SSP1～5）も考慮して社会経済モデルとの結合を図った。

（３）気候変動に対する地球規模の適応策の費用便益分析

(a) 気候変動適応策の総合的な費用便益分析と水関連災害の適応策の費用便益分析

研究開始当初、水関連災害に関する適応費用に関する全球規模のデータベースがなかったため、独自に適応単価費用と防護レベルに関する情報を文献や報告書から収集し、適応単価費用を推計するためのデータベースの構築を行った。経済的に最適な適応レベルを決定するために、全球河川氾濫モデルによるシミュレーションを実施し、適応の有無にとる洪水被害額を求めた。全球河川氾濫シミュレーショ

ンは、サブテーマ２で開発されたS14 databaseによる5 GCMs×4 RCPsの気象外力データを陸面過程モデルに入力し、出力された日々の流出量を用いて計算を行った。得られた河川貯水量を高解像度のDEMに分配し、全球1km×1kmの高解像度の氾濫マップを作成した。この氾濫マップに、全球規模の財分布（人口分布に１人あたりのGDPを重ねたもの）と全球浸水深―被害関数を適用し、現在の洪水防護レベルデータが得られるサブ国レベルの自治体区分ごとに過去と将来における洪水被害額を算定した。想定する適応オプション（防護シナリオ）ごとに、適応レベルごとの将来の洪水被害額も算定することで、適応をした場合としなかった場合における洪水被害額の差が求まり、適応によって将来生じる洪水の被害期待軽減額（便益）を算定した。最後に適応による便益と適応レベルに応じた適応費用との差が最大となる適応レベルを自治体区分ごとに決定し、経済的に合理性のある将来の防護レベルを決定した。以上の適応費用と便益および残余被害の推計は、得られるすべての気候シナリオ（RCP)および社会経済シナリオ（SSP）について実施した。

(b)　気候変動による穀物生産への影響評価と適応策の費用便益分析

気候変動の影響を検出・評価するために専用に設計された気候データベースd4PDFと作物の生理・生態的な生育過程を数式で表現した収量モデルとを用いて、過去の（温暖化が起こっている）実際の気候条件と、温暖化がなかったと仮定した気候条件のそれぞれについて、世界各地域の穀物収量を50kmメッシュで推定した。

また、現在と同じ水準の費用便益比を満たす範囲内で、気候変動影響がない水準まで穀物収量を回復するために生産者が追加支出する生産コストを適応コストとした。すなわち、各国の農業統計資料による生産コストと平年収量、先行研究による各国一人あたり国内総生産およびIMF（国際通貨基金）による消費者物価指数・為替レートを用いた適応コスト関数を作成した。ここでの適応コストは、生産者が肥料や水、薬剤、燃料、労働力、機器の追加といった漸進的な適応策（incremental adaptation）を採る際にかかる生産費用の増分を表す。播種日や品種の変更は生産コストがかからない適応策であるため、本研究で適応コストを推計する際には常に考慮した。そして、生産者が適応コストを支出した場合でも収量が気候変動のない水準まで回復しない場合、両者の差を金銭換算したものを残余被害とした。適応コストと残余被害の和を、気候変動の総コストと呼ぶ。

(c)　気候変動による健康への影響評価と適応策の費用便益分析

大きな影響をもつ熱関連超過死亡に関しては、政策によって適応を目指したことはこれまでほとんどなく、知見もほとんどない。一方で、寒冷な気候の地域と温暖な気候の地域を比較すると、自動的にその気候に適応していることが観察される。これらの状況を踏まえると、緩和策による気温上昇抑制こそが影響を小さくできる手段と考えられるため、このサブテーマにおいては、緩和策を進めることを費用、気温上昇抑制による超過死亡数の減少を便益と考える。この考え方に立つため、このサブテーマ内では緩和策のレベルごとの影響評価を行い、テーマ5との共同研究として、費用便益分析が完成される。

気候変動による健康影響評価について、これまでにもっとも包括的かつ検証可能な形で検討してきたのが世界保健機関（WHO）であり、S-14開始時点での最新の成果は、そのWHOが2014年に出版した報告書であった。しかしながら、この報告書は、RCPsとSSPsを用いた将来予測ではなかったので、S-14-3の健康影響サブテーマとしては、この報告書と同様の方法で影響評価を行った。さらに、マラリアに関しては、上記報告書で感染地域の拡大・縮小を評価していたのみであったので、このサブテーマ内で国別の死亡数を指標にした影響評価を行った。

(d)　気候変動に伴う沿岸地域の脆弱性評価と適応策の費用便益分析

気候変動リスクに対処するためには、緩和策と適応策それぞれの長短を的確に捉え、限られた資源でリスクを最小限に抑え込んでいく総合的な戦略が必要である。しかし、2014年に発行されたIPCC第5次報告書でも適応策の費用便益に関する確信度の高い研究の記述は少なかった。

沿岸域において気候変動は、海面上昇や高潮偏差の増大、降雨変化等による浸水影響を及ぼす。世界の平均海面水位は、1901-2010年に約19cm上昇した(IPCC, 2014)。今後の温室効果ガス濃度経路(RCPシナリオ)によって異なるが、21世紀末には1986-2005年と比較して海面水位が26-82cm上昇すると予想され

ている(IPCC, 2014)。

こうした状況から、本研究は世界の沿岸域を対象とした気候変動による複合影響の把握と適応策にかかる費用便益の提示を目指す。そこで、世界の沿岸域を対象とした気候変動による複合影響の把握と適応策にかかる費用便益の提示を目指した。この5年間で沿岸地域に関しては、1)海面上昇と潮汐を考慮した将来の浸水影響評価、2)防護費用データベースの構築と適応効果評価、3)堤防データ抽出プロセスの開発、などを実施し、一連の分析枠組が確立された。

（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

(a)　緩和・適応総合実施の基本シナリオを考慮した都市気候変動の予測に関する研究

①　人工衛星データのみを使用した、高時空間解像度の全球都市GISデータベースの構築

人工衛星データのみを使用して作成した都市GISデータベースは、人工排熱・３次元建物データ（平均建物高さ・建物高さ分散・建蔽率・建物投影面積率・天空率など）・土地利用（含む都市スプロール）であり、現状版および、社会経済シナリオ別の将来シナリオ版、である。中間評価時は、ジャカルタ版だけであったが、プロジェクト終了時点で、上記すべての項目のデータベースの全球版が完備された。

人工的に排出されるエネルギーは、EIA(Energy Information Administration)が公開している国別の1次エネルギー年間消費量を基本データとして、それを１kmグリッドに配分する。まず、人口密度データを空間配分の基本とする。さらに、人工衛星から得られる夜間光強度のデータを用いて人口密度を補正し、人工排熱量は「夜間光で補正された人口密度データ」に比例すると仮定してデータベースを構築した。次に、年間の１km人工排熱量を、月別に分配する。エネルギー消費量はその時の気温に大きく依存し、エネルギー消費量の気候感応度と呼ばれる。本プロジェクトでは、日本、アメリカなどの膨大な気候感応度のデータを基に、インドネシアだけでなく全球に適応することを前提とした年平均気温と気候感応度のチャートを提案した。

現状の全球人工排熱の推定手法を拡張・改良し、SSPシナリオに基づいた、国別の将来人口・将来GDP・将来エネルギー消費量および将来気候変動から、1km・1時間の全球人工排熱データを推定し、データベース化した。この推定プロセスにおいて、将来の都市域の変貌（スプロール化）の予測が必要となる。ここでは、都市計画の分野におけるSLEUTHモデルを基本アルゴリズムとして使用し、独自にGDPおよび人口の時間変化率を外制条件として与えることにより、社会経済シナリオによって都市化の速度が変化するように修正を行った。このアプローチは、物理モデルを用いて全球にわたって高空間解像度の都市領域の変化予測を行った最初の研究事例となる。３次元建物データ（平均建物高さ・建物高さ分散・建蔽率・建物投影面積率・天空率など）については、それぞれの都市において、あらかじめ現状の３次元建物パラメータと人工排熱・人口分布との間の相関関係を回帰した上で、上記で説明した将来の人工排熱・人口分布をもとに、予測を行った。

②　2050年における全球・都市２つの社会・経済シナリオに基づくジャカルタの都市気候予測

グローバルな社会経済共通シナリオ（温暖化シナリオ）と都市計画シナリオ（都市化シナリオ）の両者を考慮し、将来シナリオを設定し、2050年の都市気候予測計算を行った。2050年の予測計算とは、2046-2055年の10年間の結果のアンサンブル平均である。2050年のGCM出力としてCMIP5を使用した。暑熱環境の影響評価や適応策の詳細な検討は、サブテーマ3で実施されたが、サブテーマ１では、熱関連死亡リスクに着目し、平林チームのテーマ３の本田先生と協力して、評価を行い、グローバル解析との比較、サブテーマ間の結果の整合性を図った。

建物やインフラが複雑に存在する都市の屋外空間における温熱環境は、メソスケールの気象場だけでなく、建築的なミクロな街区構造にも大きく依存する。そこで、中心市街地において、建物構造や緑被率の異なるシナリオを相互比較することにより、影響を評価した。6つのシナリオでは、街区構造の違い・植生(街路樹)の影響なども検討した。

基本的な社会経済シナリオでの将来予測・影響評価に加え、ジャカルタ独自の特色ある適応策を検討するよう、採択時・中間評価時にアドバイスがあった。ここでは、ガルーダプロジェクトを取り上げ

た。アジアの大都市では近年大規模な都市開発が進んでおり、巨大な建造物が年々増築されている。一般論として大規模構造物は風速の低減効果を生み出し、風が淀むことで、風下域の気温上昇や汚染物質の高濃度化につながる。その定量評価のため、インドネシアの国策であったガルーダプロジェクトにおける大規模防潮堤を例に、都市中心部を包含する計算領域（水平20km×5km）を、個々の建物を2mの格子間隔で解像した都市の大規模乱流計算を実施した。この解析には、従来のほとんどの気象予測計算や環境解析に用いられてきた数値流体力学的手法(CFD)とは全く異なる新しい、「格子ボルツマン法（LBM）」というアルゴリズムを世界に先駆けて採用し、従来の期初予測計算よりも１０数倍以上の計算負荷を軽減した。これにより、現状のコンピューター性能でも、マイクロスケールの高解像度（2m）を維持しながら、都市全体(数10km四方)を丸ごと解析することが可能となった。

③　都市温暖化予測技術のグローバル展開に向けた枠組み構築

気候変動研究では、都市温暖化は局所的なノイズとして注意深く除去されてきた。本研究では、それを逆に利用し、都市温暖化影響を除去したグローバルな気温変動量データベースをバックグランド気温と定義し、都市の観測点の気温から、バックグランド気温を差し引くことにより、都市温暖化だけを定量化することにした。グローバルなバックグランド気温として、Berkeley Earth Surface Temperature dataset（BEST）を利用し、1960～2009の半世紀にわたる世界中の大都市における気温観測データの精度や測定条件を詳細に検討した上で、286の都市気温データを抽出し、一世紀換算のヒートアイランド強度（UHI強度）を定義した。UHI強度を、地理的要因（気候区分・緯度など）、気象的要因（風速・土壌乾燥度など）、文明的要因（人工排熱・緑化率など）、との相関関係を調べ、グローバルな視点からの都市温暖化の実態解明・要因分析を初めて行った。

次に、上記で得られたグローバルな都市温暖化の実測値を、チームが開発した気象予測モデルで再現することを試みた。まず、人工衛星から推定される過去から現在までの土地利用データを基に、都市域が存在しない＝都市以前の土地利用を、独自のアルゴリズムで推定し、「都市化以前土地利用」の全球データベースを作成した。現在都市域である領域は、周辺の支配的な土地利用などに置き換えられる。その上で、世界の286都市において、「現在土地利用」での１０年気候と、「都市化以前土地利用」での１０年気候の２つの比較再現計算を行い、両者の気温差をヒートアイランド強度と定義することによって、グローバルな都市温暖化の実態が再現可能かを検討した。

次に、上記の都市温暖化の再現計算を行った大都市について、SSP3およびRCP8.5の最悪シナリオのみについて、2050年の将来気候予測計算を行った。この際、入力データとして、本プロジェクトで開発した、全球都市データベース（人工排熱・都市領域・３次元建物データベース）を使用した。

(b)　緩和・適応総合実施による都市水害減災評価と費用便益分析に関する研究

①　洪水氾濫モデルおよび洪水被害額の算定手法の開発

地球温暖化の影響のみならず、深刻と懸念されている流域の市街化と地盤沈下が洪水氾濫に与える影響を定量的に評価するために、洪水氾濫モデルの構築を行った。洪水氾濫モデルは、サブ分布型の降雨流出計算過程、1次元不定流計算に基づく河道部の洪水追跡および2次元不定流計算に基づく氾濫計算で構成される。入力降雨としてレーダ雨量データを用いてモデルパラメータのキャリブレーションを実施した（Moe et al., 2016a）。標高データはJAXAの30 mメッシュを使用し空間的に高解像度での計算を実施した。本モデルを用い2013年洪水を対象とした計算を実施し、ジャカルタ政府が公表した実測の浸水範囲との比較を通じ、構築したモデルの検証を行った。

洪水氾濫計算の実施後に洪水被害額の算定も行っている。これにより、各種適応策の費用対効果などの算定が可能となる。日本の国土交通省が発表している治水経済調査マニュアル（案）をジャカルタで利用できるように各資産単価を市場調査ならびに住民ヒアリングから求め、さらにGDPをもとに経済価値を他国に変換できる関数を提案し、ジャカルタの被害単価を求めた。上で得られた洪水氾濫計算による浸水深と浸水期間から洪水被害額を異なる再現期間の降雨を入力として求めた。これらの計算から洪水氾濫被害額の分布を求めた。

上記の洪水氾濫モデルと氾濫被害額の算定手法は、高解像度かつローカル地域の情報を組み込んだ強みがある。これら地域（ローカル）的なモデル・算定手法と全球（グローバル）での解析結果との比

較も行った。全球モデルで算出した洪水氾濫解析結果と被害額はテーマ3から提供されたものを使用する。これにより地域モデルの強みや全球モデルの注意すべき点などを明らかとすることが可能となる。

② 将来の地球温暖化および都市の拡張が洪水氾濫に与える影響

上記で構築した洪水氾濫モデルを用い、将来の地球温暖化の影響および都市の拡張によって生じる地盤沈下と流域の市街化が洪水氾濫に与える影響を評価した。土地利用に関しては、過去の状況はLandsat衛星画像より抽出したものを使用する（Moe et al., 2016b)。将来の土地利用はVarquez et al. (2017)が都市の成長を表現するSLEUTHモデルを用いて、最悪シナリオ（RCP8.5-BaU）と最善シナリオ（RCP2.6-SSP1）の土地利用を算出しており、それらの土地利用を用いた。過去の地盤沈下状況は複数の現地調査等より報告されている地盤沈下量を基に推定し、将来の地盤沈下は過去の地盤沈下速度がそのまま継続するという仮定のもと線形外挿で推定した。

温暖化時の雨に関しては最悪シナリオ（RCP8.5-BaU）と最善シナリオ（RCP2.6-SSP1）の土地利用、都市の熱環境などを考慮した領域気象モデルWRFの動的ダウンスケーリングより得られた豪雨を使用している。その他にも、シナリオ数の増加と不確実性評価のために、別途8つのGCMと3つのRCPシナリオの計24通りの入力降雨シナリオも使用している。被害額は、雨量強度の数年のデータを用いて年期待被害額としている。

③ 適応策の検討と費用対効果

これらの将来被害に対する適応策を検討するために、気候変動と土地利用、地盤変化を加えたシナリオをベースラインとして、複数の適応策の被害減少額を求めた。ここでは、建物の屋上・壁面を緑化するグリーンインフラ(GI)、沿岸域に長大な防潮堤を築くとしているガルーダプロジェクト(GP)、河川・運河に接する地域の住居を認めず遊水地にする居住制限(RC)、多くの洪水氾濫水を浸透させる浸透井戸(RW)、リスクの高い浸水地域の遊水地化（河道の拡大）(RRP)を適応策として評価を行った。GIについては、1降雨について2 mmの損失雨量を屋上と壁面の面積に乗じて与えた。GIの費用は既存資料（東邦レオ）より75 USD/m2と算定された。GPは、洪水氾濫計算の下流端境界条件である沿岸水位を1 m下げることで防潮堤建設を表現し、計算を行った。また、その費用は既存プロジェクト(Rayakonsult, 2013)より、1 mあたりの防潮堤建設費用99 Million IDRを用いた。RCは、河道両岸の30 mの範囲として、費用はその地域の建物費用とした。河道から拡幅した地域は、6 mの掘削をして遊水池としている。RWは、200井戸／1 km2を対象全域に設置するとして、1 m3の浸透について既往レポート(JICA, 2013)よりIDR 70,000の費用とした。RRPは、設置する地域の資産価値を費用とした。洪水氾濫の多い3か所の上流を対象とし、全体で14.5 km2の面積を遊水池として確保した。上記の適応策の評価として、被害軽減額と費用対効果について調べた。

(c) 緩和・適応総合実施による都市健康影響評価と費用便益分析に関する研究

① ジャカルタの都市健康影響評価

ライフサイクルアセスメントでは、人間健康の被害量は障害調整生存年(DALY)で評価する。そこで、各種文献から1死亡あたりのDALYを取得することによって、被害量をDALYで示した。また、インドネシアにおけるこれらの疾病に関する資料を整理した。

熱ストレスの代表格である熱中症の被害は、DALYで評価すると、死亡が非死亡を圧倒する。そのため死亡のみの評価で社会的な被害量は評価可能である。熱中症に関しては、日最高気温の84パーセンタイル値（至適気温）の日に死亡率が最も低くなることが世界各地で見られるとした本田・高橋(2009)の研究に基づき、ジャカルタと東京の至適気温の違いを考慮して、東京の関数を水平移動させることによって、ジャカルタの関数を開発した。

WHOが0.5度単位で実施した被害評価からジャカルタを抜き出し、それと本テーマが0.5分単位で実施している被害評価を比較した。対象カテゴリーポイントは両者が対等に比較できる暑熱ストレス（暑熱時のすべての死亡。日本の場合、熱中症は暑熱ストレスのうちの1割程度）とした。地域スケールで必要となる人口密度には、サブテーマ(1)がLandscanのデータを加工して整備したデータを利用した。

ジャカルタの暑熱影響を把握するために、ジャカルタで疫学調査を、2016年2月（雨季）および10-11月（乾季）のそれぞれ連続3週間の火・水・木曜日に実施した。対象者は、ジャカルタに居住する20

歳以上の男女であり、性別・年代・社会階級の各構成が均等になるように抽出した。サンプル数は約250人とした。日本と異なり、インターネットにアクセスできない居住者が多いため、訪問留め置きにて調査を実施した。調査項目としては、対象者の属性（性別・年代など）を質問するほか、暑熱に伴う軽度健康影響を計測するため、睡眠と疲労に関する自記式質問を盛り込んだ。睡眠困難は住居や空調に大きく依存するため、住居や空調に関する質問も含めて、東京と同様の疫学調査を、ジャカルタ在住の約200名を対象に3週間かけて実施した。室内の温湿度は貸し出した温湿度計で計測した。

睡眠に関しては、過去1か月の睡眠の質を問うピッツバーグ睡眠質問票(PSQI)のほか、前夜の睡眠の質を問う毎日の睡眠を評価するための質問票(SQIDS2)を用いた（いずれもインドネシア語版）。

疲労に関しては、過去1週間の疲労を問うチャルダーの疲労尺度(CF)を、また、質問対象を前日1日の疲労に差し替えた毎日のチャルダーの疲労尺度(DCF)を用いた（いずれもインドネシア語版）。

ジャカルタにおける睡眠困難の損失余命分布（障害調整生存年(DALY)にて評価）の年間値も評価した。損失余命分布は、作成した睡眠困難の被害関数、および気温データとしてOGIMETの22時気温、人口密度としてLandscanを用いた。また、DALYを計算するため必要な重篤度は、Fukuda et al (2013)による睡眠困難の重篤度データを参照した。

② 都市健康影響評価のための数値シミュレーションの開発

都市気象-ビルエネルギー連成モデルCM-BEMの入力条件として建物構造データ（建物構造およびエネルギー使用スケジュール）、交通排熱データを整備した。

③ ジャカルタの都市健康に対する適応策の導入効果の評価

ジャカルタ市の事務所街区を対象に、適応策としてのインテンシブ屋上緑化、エクステンシブ屋上緑化、または高反射率塗料の導入効果を評価した。まず、CM-BEMを用い、2014年8月におけるジャカルタの気候・エネルギー消費量を再現した。そして、屋上緑化や高反射率塗料を導入した場合の気候とエネルギー消費量を評価した。入力データとして、サブテーマ(1)およびサブテーマ(3)で整備された都市構造（建物構造、交通排熱）および地域気象条件を用いた。

次に、費用便益分析を実施した。社会的には、緑化は気温低下を通じて冷房需要の削減や暑熱ストレスの緩和など、環境面においてさまざまな便益をもたらす。一方、その製造や運用のためにエネルギーを必要としたり暖房需要を増加させたり負の便益ももたらす。同時に、導入にはコストもかかる。ただし、堤防の建設と異なり、建物への屋上緑化や高反射率塗料の導入は私的に実施されると考えられる。そこで、私的な項目に限定し、40年間にわたる費用便益分析を実施した。具体的には、導入コスト、運用に伴う潅水の上水コスト・揚水動力のエネルギーコスト、および空調（冷房・暖房）のエネルギーコストの変化量を、聞き取り調査や関連文献から評価した。そして、これらのコストを合算し、ライフサイクルコストを評価した。

エアコンは暑熱影響への最も代表的な適応策と考えられる。しかし、エアコンを導入すると、室外機からの排熱により気温が上昇し、さらにエアコンが必要となる悪循環が予想される。CM-BEMはキャノピー気象モデルとビルエネルギーモデルが連成されているため、悪循環を評価できる。ジャカルタにおけるエアコンの導入効果を評価するべく、まず、2016年2月および10-11月の疫学調査の結果を再解析し、エアコン導入時とエアコン非導入時における睡眠困難と疲労の被害関数を開発した。次に、サブテーマ(1)による現在気候、RCP 8.5シナリオの2050年代の気候、および緩和策が反映されたRCP 2.6シナリオの2050年代の気候におけるメソ気象モデルWRFを上端境界として、CM-BEMを用い、各シナリオにおける気温と空調エネルギー消費量を計算した。なお、エアコンは外気条件や負荷によって電力消費が変化するが、エアコンの部分負荷特性式として利用可能なのは、山崎ほか(2002)のみであり、インバータ採用機種の性能特性を再現できない。そこで、エアコンメーカー各社のカタログをレビューして成績係数(COP)の年別推移を収集するとともに、かつメーカーに部分負荷特性についてヒアリングした。その結果、インバータ機種を含むエアコンのCOPを部分負荷率および外気条件で表現できる式を作成した。エアコン使用率の上昇値は自律的に導入できる水準に設定した（現在では日本を参照した90%、RCP 8.5シナリオでは60%、RCP 2.6シナリオでは90%）。開発した被害関数に基づき、各シナリオにおける睡眠困難罹患数と疲労罹患数をDALYで評価した。さらに、テーマ1サブテーマ(3)によるエアコンの製造段階

の影響評価結果、CM-BEMによる空調エネルギー消費量をLCAソフトウェアMiLCAと影響評価手法LIME2を用いて環境影響に評価した結果、および睡眠困難・疲労のDALY値を、影響評価手法LIME3を用いて金銭換算することで、エアコンの導入の費用便益を考慮した統合評価をおこなった。エアコンは私的財であり、便益を享受するのが導入者自らに限定されるため、公共財のような費用便益分析は実施できない。しかし、社会における健康影響を改善することは社会にとっても便益につながる。そこで、政府の立場からエアコンの導入に対しいくらまでならば補助しても、社会的便益が政府支出を上回るかを評価することで、費用便益分析とした。評価シナリオとしては、使用率の向上（未導入世帯へのエアコン導入）と高効率化（導入世帯における高効率エアコンへの買い換え）の2種類を設定した。また、便益は睡眠困難・疲労、および他の環境影響の増減の金銭換算値の差分（純便益）とし、費用は政府の補助金とした。補助金はエアコン代と使用電気代の合計に対して補助率を乗じて支出されるものとした。

電気自動車は、ガソリン自動車に比べて、燃料効率と車両効率を合算した総合効率が向上するため、一般には緩和策と見なされている。しかし、車両効率が80%とガソリン自動車の16%から飛躍的に向上するため、人工排熱を大幅に削減し、適応策としての効果も期待される。そこで、ジャカルタにおける交通排熱の空間分布および時間変動のデータを整備し、気温低下効果を評価した。また、ヒートポンプ型給湯機は、定格COPが4超に達し、既存の給湯器に比べて高効率であることから、省エネルギー技術であり、一般的には緩和策と見なされている。しかし、大気から吸熱してお湯を作るため、多大な負の人工排熱を発生させ、適応策と視点効果も期待される。そこで、ジャカルタにおける給湯使用量の空間分布やタイムスケジュールのデータを整備し、ヒートポンプ型給湯機が2050年代のジャカルタ都市圏全域に普及した場合を評価した。

（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

(a)　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

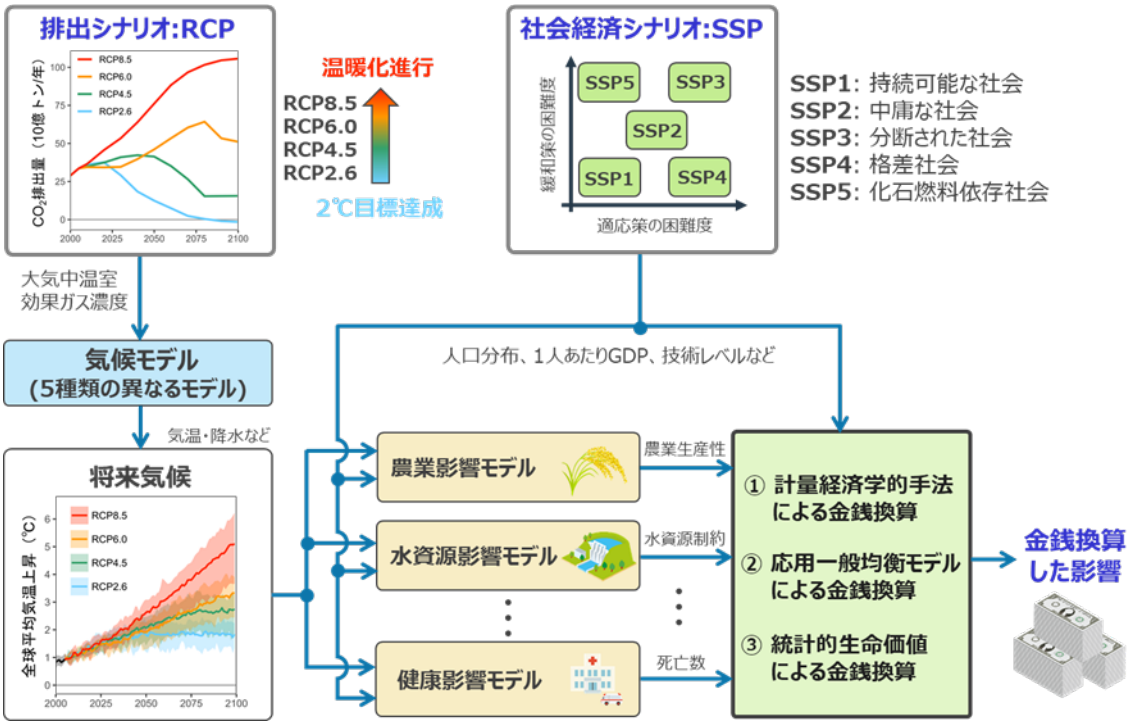

図3.5.1：気候変動による影響の統合的な評価の枠組み

Ｓ－１４－５（１）では、応用一般均衡モデルである、ＡＩＭ／ＣＧＥ（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。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。

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ＡＩＭ／ＣＧＥモデルと結合することにより、ＧＤＰ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、計量経済学的な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3.5.1）。

緩和策に関連する研究としては、パリ協定におけるＮＤＣ（Nationally Determined Contribution）実施に対する国際排出権取引の影響の評価をＡＩＭ／ＣＧＥ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。

(b)　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。

(c)　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。

(d) 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。

(e) 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実施す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（Morita and Matsumoto, 2018）

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（Matsumoto et al. 2019）

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（Morita et al. 2020）

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（Morita and Matsumoto, 2018）

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）全体の総括と統合的戦略評価

(a)　多様な指標による気候変動対策の統合的多面的評価

①　SSPシナリオを用いた日本の将来における環境負荷原単位の開発

SSPシナリオ3における2020年GDP値を基にCO2排出原単位(ton-CO2/百万円)及びCH4排出原単位(ton-CO2eq/百万円)を推計した(**図(1)-1**)。部門数は2011年の基本分類396部門からエネルギー部門等を拡張し、408部門である。CO2排出原単位に関しては都市ガス、ガス火力、石油火力、石炭火力などのエネルギー部門が最も高い傾向を示したほか、二次産業の生コンクリートや塗装材料、三次産業の沿海・内水面輸送や自家輸送(貨物自動車)などの運送部門が高い傾向を示した。次にメタン排出原単位では米や肉牛、豚などの一次産業で高い傾向を示した。その影響により学校給食などの二次産業でもその波及効果を受けて値が大きくなっている。排出源として、米はそれ自体からのメタン排出ではなく、水田の土壌中に存在する嫌気性微生物のメタン生成古細菌により生成されるものがほとんどである。野菜などからも肥料の由来のメタンは排出されるが、米由来のものよりは小さい。牛や豚、鶏由来のメタン排出も多いものの、牛の反芻由来のメタン排出が特に大きい。原単位の精度に関しては将来予測の値であるため、厳密な比較は難しいが、既存研究(Nansai et al., 2012)と全体の傾向は近いことが明らかになった。二酸化炭素やメタン以外の対象物質への適用や各部門別環境負荷の低下率を加味した検討及びサブテーマ3による生態系の付加価値の導入を行う。これにより、サブテーマ2が開発する影響評価係数への接続が可能となり網羅的な評価へと繋がる。また生態系の付加価値導入はこれまで評価されていなかったものが経済価値を持ってくるため、経済の構造が変異した結果、政策的な判断が異なってくると予想されることから検討を行うことが求められる。

②　費用便益分析及び地域間産業連関表の調査

文献調査により、セクターによって、気候変動を起こす原因の考慮範囲や評価対象とする範囲、気候変動の影響領域に差異があることが分かった。そして、不確実性を扱う上で、仮定や評価結果を一つに絞ってしまうのではなく、起こりうる将来を複数想定して複数の評価結果を提示する”Agree-on-decisions” approachesの重要性を認識した。

次に前項1)で説明した将来の産業連関分析手法をグローバルに展開するには対象地域を多く含む網羅的な産業連関表が必要である。主要な多地域間産業連関表として、アジア国際産業連関表、 GTAPデータベース、 EXIOBASE、 WIODデータベース、 Eora多地域間産業連関表が挙げられ、それらを対象に調査を行った。詳細は、成果の詳細に譲るが、当然のことながら目的や開発する拠点によって対象地域の網羅範囲や産業部門の詳細度、環境負荷情報の有無、使用用途が大きく異なることが分かる。アジア国際産業連関表やGTAPデータベース、EXIOBASE、WIODデータベースは部門数が全ての国で共通しているため、比較する際に容易であるという優位性を持つ一方、Eora多地域間産業連関表は圧倒的な対象国と対象部門の網羅性、詳細性を有していることが分かった。

③　日本を対象とした主観的幸福度調査の実施と指標開発

主観的幸福度係数を単純比較するため、生存年数は全て100年として、推計を行った。傾向として、全体的に男性よりも女性の方が幸福を感じる割合が高いものの、対策の有無の差(効用)は男性の方が大きい結果となった。河川堤防と海岸堤防に着目すると、これらは同じ傾向を示しており、男性の幸福度がより大きく反応している。次にエアコンに着目すると、男性はエアコンを適用した方が幸福度が高くなる一方、女性は適用しない方が幸福度が高い結果を示した。さらに会社よりも自宅のエアコンの方が効用が高く/低くなるなど、場所によって幸福度の効用に違いがでることが示された。

さらにエアコン使用量の削減による、熱中症や洪水による死亡リスク低下といった緩和効果と主観的幸福度の変化への影響に着目した。その結果、現在気候においても、洪水や熱中症による死亡リスクの大きさはエアコン使用を約2日程度控えた程度であり、気候変動が進んでもRCP2.6で約4.5日程度、RCP6.0で約6日程度にしか相当しない。このように、well beingの低下による影響は、思った以上に大きく、well beingを無視あるいは度外視した緩和策は合理的でない可能性を無視できない。

④　2011年タイ洪水による全球被害の算定

2011年タイ洪水による全球被害の算定を行った。全球を含めた被害(Damage)は約660億US$、機会損失(loss)は約1600億US$であった。被害は全て復興させると仮定しても約920億US$のマイナスである。全体に占めるタイの被害及び機会損失割合はそれぞれ、全体の70%、60%である。その他が30%、40%を占めるが、大半はアジア及び欧州に集中しており、それ以外の地域では3%以下である。

操業停止による間接的機会損失は直接機会損失額が大きかった部門と基本的に一致する傾向を示した。また、機会損失が出た部門の関連部門(Rice millingやCanning Preserving of fish)はその部門に直接の機会損失が少なくても、波及効果によって影響を受けていることが確認された。一次産業は相対的にタイの自国比率が高い特徴を持つ一方で、二次産業(特に電子製品、部品、自動車関連)は海外比率が高い特徴を持つ。これら二次産業の影響は海外では中国で約32億US$、日本で約19億US$などの先進国が多くみられた。また、娯楽や銀行でも機会損失の影響が一定割合見られる他、自国の生産比率が高い日本の米は影響が少ないなど特徴が示された。最後に建設によるCO2由来の被害額を推計した。排出されるCO2量は合計で1.3E+07t-CO2であり、これを金額に換算すると約3億US$である。内訳として人間健康による被害が86%、社会資産が14%となり、排出国はタイが70%、他国が30%である。

⑤　SSPシナリオ別将来予測型産業連関表の開発

Eora及びAIM/CGEの部門対応表を用いてSSP1及び3シナリオの2020年から2100年までのCO_2量を各国別に推計した。シナリオ1の2020年では2.9E+10t- CO_2、2030年では3.2E+10t- CO_2、2040年では3.3E+10t- CO_2、2050年では3.3E+10t- CO_2、2060年では3.1E+10t- CO_2、2070年では2.9E+10t- CO_2、2080年では2.8E+10t- CO_2、2090年では2.6E+10t- CO_2、2100年では2.5E+10t- CO_2であった。それに対してシナリオ3の2020年では3.4E+10t- CO_2、2030年では4.1E+10t- CO_2、2040年では4.6E+10t- CO_2、2050年では5.2E+10t- CO_2、2060年では5.6E+10t- CO_2、2070年では6.0E+10t- CO_2、2080年では6.5E+10t- CO_2、2090年では7.0E+10t- CO_2、2100年では7.5E+10t- CO_2であった。

シナリオ1が2040年から2050年でCO_2がピークに達し、以降減少傾向に向かうのに対して、シナリオ3では、2100年まで排出量が増加し続ける傾向を示した。これは元々の外装データと一致する傾向である。国別に着目すると、SSP1ではアメリカ、中国、インド、ロシア及び日本で特に顕著な数値が見られた。SSP3では上記に加え、南アフリカを始めとしたアフリカ大陸の国々やアジア数か国も数値の増加が見られた。

⑥　LCA手法を用いた生物多様性評価

土地改変による生物多様性の劣化とそれに伴う被害額を消費ベースと生産ベースで推計した。生産ベースは実際に生産した国であり、消費ベースは輸出入を加味した最終的な結果である。まず、2011年における世界の土地改変量は5.5億haであった。生産者ベースでみるとアフリカが59%、東アジアが20%、北アメリカが7%、オセアニアが6%、ラテンアメリカが5%、それ以外の国は1～0%となっている。消費者ベースでみると、アフリカや東アジアなどの発展途上国を多く有する地域は生産者ベースに比べて1～2%程度低い一方、日本やヨーロッパの先進国は1～2%程度高くなったことが分かる。これは発展途上国の輸出品目が広大な土地が必要な作物や家畜、林業などの一次産業が多い一方、先進国で輸出が多い品目は集約化可能かつ技術発展によって生産効率が上昇可能な二次産業であることが多いからである。これらによる絶滅種数は71種であり、4400億US$となる。消費者ベースと生産者ベースの傾向は土地改変と同じく、先進国と途上国の輸出入関係を示すものになったが、土地改変面積と異なり生産ベースでは東アジアが26%、東南アジアが25%、ラテンアメリカが21%、アフリカが13%、オセアニアが7%、南アジアが5%となるなど地域の傾向が異なった。これは特にアジアやラテンアメリカにおける単位当たりの影響が大きいことに由来する。

⑦　気候変動の総コストの統合評価

まず経済被害を推計した。単位は、兆ドルである。経済被害とは、AIMが推計する農業生産性、飢餓、熱関連超過死亡、冷暖房需要、労働生産性、水力・火力発電、河川洪水、海面上昇による土地損失と、LIMEが推計する社会資産のうちサンゴ礁と土地水没になる。ここで海面上昇の影響が重複しているように見えるが、AIMでは沿岸浸水としてのGDPへの影響、LIMEでは人命損失（DALY）と土地損失（社会

資本棄損）をそれぞれ計上している。いずれのシナリオ（SSPとRCPの組み合わせ）においても、熱関連超過死亡と労働生産性が多く、この2つで半数を占めていることがわかる。それに続いて、サンゴ礁、土地損失（社会資本棄損）、冷暖房需要が続いている。またどのSSP（1、2、3）でも、二酸化炭素の排出量が多いほど経済被害の総額は大きい。一方で、二酸化炭素の排出量を固定させると、社会シナリオの選択による差が見える。地域分断といわれるSSP3が一番小さく、持続可能といわれるSSP1が一番多くなる。そのため、緩和策や適応策の実施が最も困難といわれるSSP3でもRCP8.5を避ければSSP1の社会よりも経済被害が小さくなる。

次に健康被害をDALYで集計した。単位は百万年である。健康被害は、沿岸洪水、デング熱、下痢、マラリアを評価対象とした。デング熱はほかの3つと比べてとても小さく、どのシナリオでもマラリア、沿岸洪水、下痢の順に多い。また、多く二酸化炭素を排出するほど、社会が地域分断になればなるほど、健康被害は増加することが示された。LIMEによる生物多様性損失（EINES）を示す。ここでは維管束植物28万種のみを対象としている。二酸化炭素の排出量が増えれば、その分EINES、絶滅余命の逆数は不確実性が大きいものの増加することがわかる。

AIMで推計された緩和費用を合わせ、総計したものが、**図4.1.1（非公開）**と**図4.1.2（非公開）**である。単位は、兆ドルとGDP比（%）である。総計する際、健康被害は2.3E+4 US$/DALY（±7,900）、生物多様性は1.1E+10 US$/EINES（±1.1E+9）として経済換算した。また、社会資本（サンゴ礁、土地損失）は、WTP係数を2.5 US$/US$（±0.88）で換算した。基本的に二酸化炭素の排出量が増えれば、総費用の多くを占める、経済被害が増加し、緩和コストが減少するため、緩和費用がそもそも小さいSSP1では、二酸化炭素の排出量が増えると総費用も増加する。一方、SSP2とSSP3では、RCP2.6（SSP3には無い）からRCP4.5、RCP6.0と緩和費用が大きく減少するために総費用が減少し、RCP8.5では一転増加するパターンとなっている。

S-14によって世界で初めて全球における適応コストを出せるようになった。AIMやLCAにおいてもこれまで考慮されていなかった部門の計算が実施されるなど、まさに最先端の結果を取りまとめられた。のような情報は、世界がどの世界を選択するかを議論するにあたり、貴重な知見である。

図4.1.1：気候変動対策の総費用評価。単位は、兆ドル。（非公開）

図4.1.2：気候変動対策の総費用評価。単位は、GDP比（%）。（非公開）

(b)　ライフサイクルアセスメントによる気候変動影響評価

①　気候変動を対象としたライフサイクル影響評価手法の開発とSCC（社会的炭素費用）の算定

健康影響の被害係数、すなわち、単位量の温室効果ガス排出による損失余命増分の合計値は1.3～2.0×10^{-6} 年/1kgCO2 であった。疾患の中では低栄養の影響が最大であり、これについでマラリアが大きく、下痢と沿岸洪水による影響が同等程度であった。上位三種の疾患はいずれもアジア、アフリカ地域で発生するものであり、気候変動による健康影響は地域差が極めて大きいことがわかった。一方、熱ストレスによる影響はこれらに比べると小さかった。先進国では熱ストレスによる影響は大きいが損失余命で表す場合、高齢者が主に影響を受けるため一件当たりの損失余命は他の疾患に比べて小さい。一方、低栄養やマラリアによる死亡被害の多くは 5 歳以下であることが多く、1 件当たりの損失余命が非常に大きい。これらの影響を受ける年齢層の違いが結果に表れた。

生物多様性の被害係数、すなわち、単位量の温室効果ガス排出による生物種の絶滅リスク増分の合計値は 1.6～4.6×10^{-9} （Extinction species/ton）と算定された。移動不能（NM）は移動可能（FM）より約 2 倍高かった。気候モデル間の差は相対的に小さかった。また、いずれの気候モデルも、危惧種（T）の影響が非危惧種（NT）より大きかった。1 ℃上昇あたりの絶滅割合は、移動能力と気候モデルの違いを考慮すると約 1 ～ 3 %と算定された。これは Urban（2015）の結果と整合した。本研究では 1 ℃上昇あたりの絶滅割合を地域ごとに算定できること特徴がある。各地域の固有種を抽出して、

地域別の 1 ℃あたりの絶滅割合を算定した（**図4.1.3**）。その結果、オセアニア、欧州、アメリカ中部が高く、東アジアと北米は相対的に小さいことが示唆された。オセアニアやアメリカ中部は島嶼国が多く、特に移動による適応が他地域よりも困難であることが大きくなった要因として挙げられる。また、本研究では世界平均気温 1 ℃あたりの各地域の絶滅割合を算定しており、ロシアを含む欧州地域では他地域よりも気温上昇量が高いことが結果に影響した。

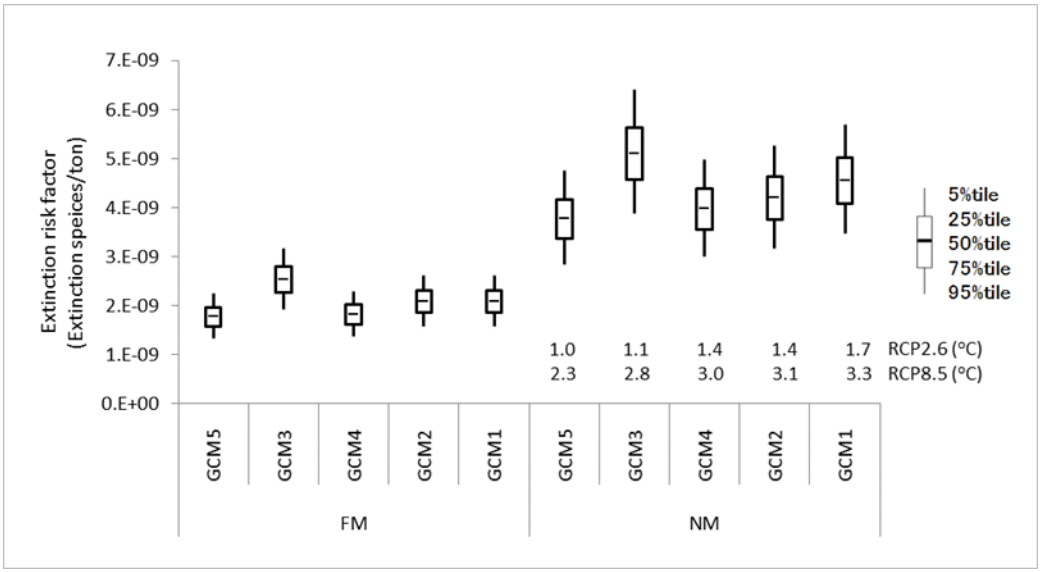

図 4.1.3：気候変動による生物多様性を対象とした被害評価係数（CO2 単位量排出による生物種の絶滅リスクの増分）の算定結果。

社会資産の被害係数、すなわち、単位量温室効果ガスを排出したときの社会資産の損失額は、0.06 ～ 0.11（US$/kg）であった。SSP 別では、将来経済成長が高いと想定される SSP 1 の被害係数が最も大きかった。項目別では、労働生産性の低下による損失が最も大きく、次いで内陸洪水、サンゴ礁、穀物、土地水没による影響が大きかった。一方、エネルギー消費と海岸洪水はこれらに比べて相対的に影響は小さかった。労働生産性への影響が最大であることは、統合評価モデルを用いた研究結果とほぼ同様な傾向を示した。全項目を積み上げた社会資産の被害係数では、Dong et al.（2019）が整理した CO2 の健康被害コスト（0.1 ～ 0.15 US$/kg-CO2）と生物多様性被害コスト（0.04 US$/kg-CO2）と同程度である。今回の研究を通して得られた新しい被害係数は、既存の社会資産を対象とした被害係数と比較して、10 倍以上大きかった（**図4.1.4**）。従来のLCAにおける社会資産の影響は評価範囲が狭く、主要な影響を考慮していなかったことから、今後当該項目に関する評価を算入することが強く求められる結果となった。

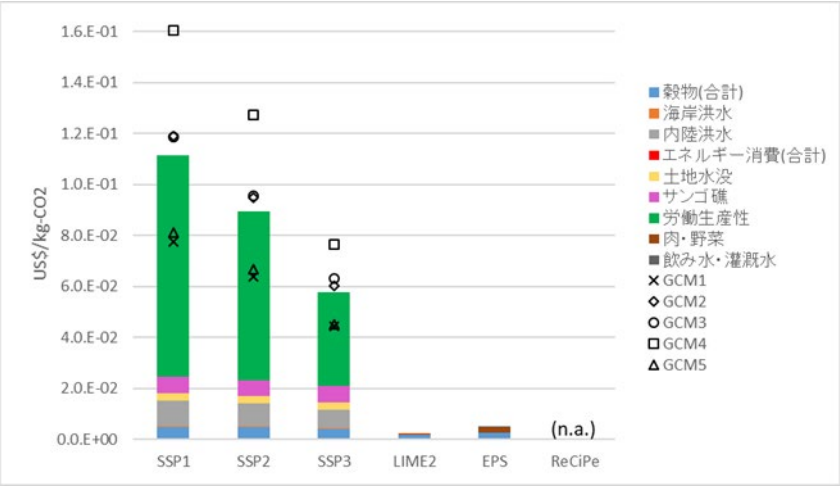

図4.1.4：SSP 別の社会資産被害係数（5GCM の平均値）と既存研究の比較。

被害係数の算定結果を集計することで社会的炭素費用（SCC）の算定を行った。その結果を**図4.1.5**に示す。合計は130US$となった。これは米国歴代政権が実施する SCC に比べて 3 ～ 20 倍程度大きい値となった。これは、本研究における評価範囲が広がったことと割引率を採用しなかったことによる影響が大きい。SCC の内訳で見ると、最も「社会資産」への影響が大きく、全体のほぼ半分を占め、残りの半分については「人間健康」と「生物多様性」への影響はほぼ同等であった。10 億トンの CO2 を排出した場合、およそ 13 兆円の影響であり、日本の GDP のおよそ 3 %程度に相当する。

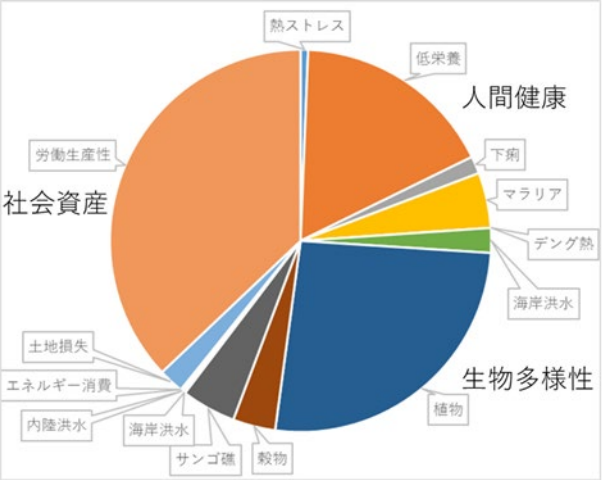

図 4.1.5：SCC の算定結果（SSP2）。

② 影響領域間のトレードオフ、コベネフィットを考慮した気候変動対策の LCA

自動車ライフサイクルのメタ分析を行った結果によればガソリン車、プラグインハイブリッド車（電力源が化石燃料由来）が最も GHG 排出量が大きく、0.23 kgCO2-eq/km であった。最も小さい GHG 排出量となったのは電気自動車の非化石エネルギーを使用した場合の 0.05 kgCO2-eq/km であり、最大で 1/5 程度まで削減することができることが分かった。使用段階で電気を使用するプラグインハイブリッド車、電気自動車では発電時の GHG 原単位によってライフサイクル排出量が大きく変化し、プラグインハイブリッド車では化石燃料由来の電力から非化石エネルギー由来の電力に変更することで約 50 %、電気自動車では約 75 %の GHG 削減効果があることがわかった。一般的に使用されている電力ミックスを用いた場合、ガソリン車と比較するとプラグインハイブリッド車では約 20 %、電気自動車では約 40 %の GHG 排出量の削減となった。

発電に関してライフサイクルのメタ分析を行った結果によれば、石炭（CCS なし）が最も GHG 排出量が大きく、およそ 1.00 kgCO2-eq/kWh であった。最も小さい GHG 排出量となったのは水力発電の場合で 0.01 kgCO2-eq/kWh であり、9 割以上の削減効果が確認された。CCS の効果としては、石炭の場合は 1/3 まで（1.00 kgCO_2-eq/kWh → 0.37 kgCO_2-eq/kWh）、天然ガスはおよそ半減（0.63 kgCO_2-eq/kWh → 0.30 kgCO_2-eq/kWh）となった。再生エネルギーに関する LCA 評価事例は多く、種類ごとに評価結果を得ることができた。再生エネルギー間の比較によれば、太陽熱と太陽光発電、バイオマスが相対的に大きく（中央値が 0.05 ～ 0.10 kgCO2-eq/kWh）、風力、原子力、水力が相対的に小さかった（中央値が 0.01 ～ 0.03 kgCO2-eq/kWh）。また特に太陽光発電の評価事例は多く、パネルの種類ごとに考察することが可能であった。

プラスチックに対するライフサイクルメタ分析を行った結果によれば、燃焼による直接排出を含まない場合は、PE はバイオマス由来と石油由来はほぼ同等（2.0 ～ 2.3 kgCO2-eq/kg）であったが、直接排出を含むと、石油由来はおよそ倍の 5 kgCO2-eq/kg-樹脂となった。従って、いずれが良いかは再生されるか否かにより結論が異なることが分かった。また、PLA を始めとした生分解性プラスチックは、原材料とする植物によってその結果が異なる（キャッサバで 1.29 kgCO2-eq/kg-樹脂、トウモロコ

シで 1.91 kgCO2-eq/kg-樹脂、サトウキビで 2.03kgCO2-eq/kg-樹脂）が、いずれも PE や PET よりも概ね小さかった。ただし、PLA ではトウモロコシ由来の環境負荷の幅が大きかった。トウモロコシは米国での生産が盛んであり 2004 年、2007 年、2010 年と複数年にわたって改善結果が公開されている。特に小さい値については将来目標とするエネルギー効率で計算を行った結果が含まれることが全体の結果に影響した。

適応策の LCA では、空調機、浄水器、海水淡水化を対象に実施した。ライフサイクルを通じた環境影響の評価に加えてこれらの製品システムを導入することによる気候変動被害の低減量を合わせて計算した。例として空調機の評価結果を図4.1.6に示した。

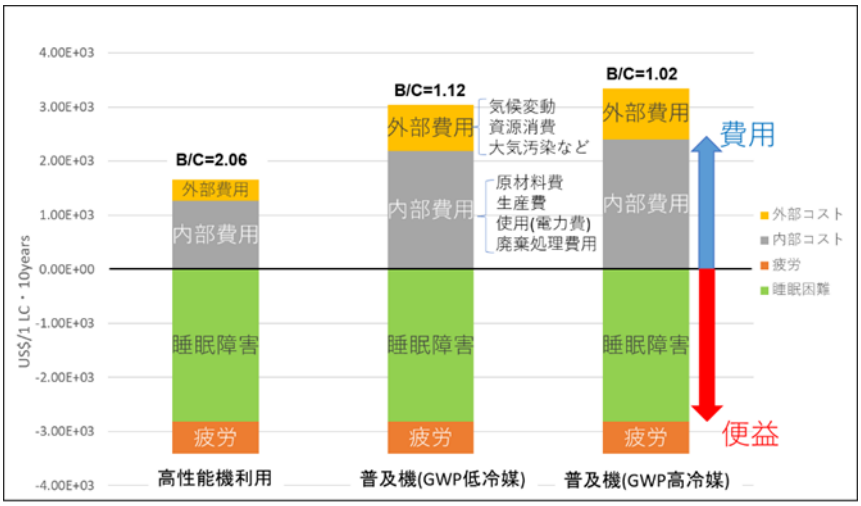

図 4.1.6：空調機を対象とした LCA、LCC 算定結果（機能単位はジャカルタで 10 年間使用）。

インドネシアの空調機普及の割合は低く、かつ、インバータが実装されておらず、GWP が高い冷媒が利用されている。負の値は空調機利用による便益（健康リスク低減）であり値が大きいほど効果は高く、正の値は空調機利用による費用であり値が小さいほうが望ましい。費用は LCC（ライフサイクルを通じて関係者が支払う費用の総計）と LCA（ライフサイクルを通じて発生する環境影響を費用換算したものの総計）で構成される。LCA の結果には気候変動、大気汚染、資源消費による影響が含まれる。普及機（GWP 高冷媒）のものを GWP が低い冷媒に変えた場合、気候変動への影響が低減されるとともに、使用時の電力消費量を若干抑えることができる。これにインバータを利用する高性能機を利用することで、大きな電力消費量低減効果が得られ、LCC、LCA いずれも普及機に比べて半減することができる。

一方、便益はテーマ 4 における研究成果を受けることで睡眠障害と疲労の軽減効果を損失余命の回避効果として表現した。GWP 高冷媒を利用した従来機の場合は費用と便益がほぼ同等であったが、高性能機の費用に対してはおよそ倍の便益を得ることができた（B/C= 2）。よって、緩和策と適応策を組み合わせることで空調機による気候変動対策効果は 2 倍に向上することが確認された。

(c)　主観的幸福度なども活用した気候変動対策の費用便益分析

①　どのような個人属性を持つ人がどの程度の緩和策及び適応策をとるかというプロビット推計の結果、先行研究と同様に持ち家のある人は緩和策や適応策をとる確率が高くなることが分かった。さらに緩和策及び適応策が重要だと考えている人、女性、結婚している人、学歴の高い人は緩和策及び適応策をとる確率が高くなることが分かった。

主観的幸福度アプローチによる分析の結果、最も価値のある対策行動は政府に依頼することとなり、回答者が所得の 21 %までは対策費用を負担してもよいと感じていることが推定された。政府が行う気候変動対策行動には堤防の設置や河川整備などが含まれる。次に価値が高いのは、省エネ電化製品の購入で、所得の 12 %に相当する。価値が有意に推計された結果の内、最も価値が低いのがごみ削減で、所得の 3 %に相当することが分かった。気候変動による災害に関する情報収集、居住地の変更、

気候変動による災害に関する防災教育の受講は非常に低い価値が推計された。
② 緩和策と適応策による被害削減の一般的な関数型の元では必ずしも資源量が限られているならば緩和策に集中すべきという結果が得られないことを明らかにした。特に、少額の適応策への投資が緩和策への投資に比してより効果的であるような場合が当然考えられ、そのような場合には資源量が少ない場合でも適応策に集中すべきであるという結果が得られる。
少ない仮定の下で最適な適応策・緩和策への資源配分を特徴づけることは可能であるが、そのような組み合わせは無数に存在することが示された。そのため、モデルに実証的な結果をもとにした追加的な制約を置かない限りは、特定の特徴を持った最適配分の性質を示すことはできない。
③ 検証の結果、CO2 の漏洩率，大気への漏洩率，海洋酸性化による効用の低下の程度（ω）の違いによって，バックストップ技術の利用状況や，最適な排出量コントロール率に変化が見られることがわかった．具体的には、パラメータ ω が 0 から 100 まで変わると CO2 の排出量は大きく低下しており、海洋酸性化による効用の減少が大きいと CO2 をより抑制することが望ましくなることが分かった。次に、気温上昇目標のシナリオ別に分析したところ、厳しい目標を設定したときにリスクのあるバックストップ技術（BS2）が採用され、気候変動に伴う社会的なコストは長期的に急増することが分かった。さらに、バックストップ技術の選択について注目したところ、BS2 の選択により生態系が破壊された影響が我々の効用を大きく低下させる場合（ω が大きい場合），達成すべき目標がきつくなるにつれて，BS2 が用いられるようになるということがわかる．BS2 は将来の CO2 漏洩リスクを認めつつ、現在の CO2 を大きく削減する技術である。達成目標が厳しく設定されると結果として海洋酸性化のレベルは大きくならないので、ω が大きくなることによる効用の減少よりも CO2 削減目標達成が重視され、リスクのある技術が採用されることとなる。一見すると生態系を重視して厳しい目標を設定したにもかかわらず、緩やかな目標の際には利用されなかった環境負荷の大きい技術が用いられる可能性があるということになる。
④ 沿岸生態系の保全を行わなかった場合、自然による CO2 吸収量が低下するため、人為的努力によって CO2 を削減する割合が高くなる。そのため、厳しい気候変動目標が設定されると、沿岸生態系を保全しない場合は経済活動を大きく抑制して CO2 の排出を抑える必要に迫られることが示された。さらに、気候変動目標のシナリオ別の分析から、沿岸生態系の保全による経済活動へのインパクトが大きくなるのは、厳しい目標設定の下であることが分かった。

（2）生態系保全による緩和策と適応策の統合

(a) 気候変動と気候変動対策の生態系サービスへの影響評価

① 気候変動シナリオに基づき、レッドリストのデータベースを用いて鳥類の絶滅リスクの将来予測を試みた。過去の森林面積減少が今後も続くと仮定して絶滅リスクを予測した先行研究（Nishijima et al. 2016）と気候変動シナリオに基づいて生息適地を予測したサブテーマ(4)の成果（Ohashi et al. 2020）を応用した結果、現在までの予備的知見として、鳥類の準絶滅リスクは全体としてNishijima et al.（2016）に比べてかなり低いことがわかりつつある。気候変動シナリオでは気候変動と土地利用変化の影響を明示的に考慮し、種分布モデルを用いて将来の各生物種の生息適地の位置と面積を定量的に予測することができる。生物多様性喪失の主たる要因は土地利用変化、気候変動、乱獲、汚染、外来種、(人間活動により自然攪乱を過剰に抑制したことなどによる)自然遷移と言われるが、そのうち最大の要因であった土地利用変化に加えて気候変動影響を定量的に予測することができるようになったことで、IPCCの議論と生物多様性条約のIPBESの議論を有機的に関連付けることができる。従来の絶滅危惧種の判定方法は、過去の個体数や生息地等の減少傾向が今後も続くと仮定した予測であった。しかし、気候変動シナリオに基づく土地利用変化は、上記で仮定した過去と同じ減少傾向が続くという前提とは異なる。このことは、今後の気候変動枠組み条約及びIPCCと生物多様性条約及びIPBESの基本認識のすり合わせが必要なことを示唆している。

② 生態系はしばしば双安定状態をもち、撹乱が大きすぎると途中から急激に別の定常状態に移行す

る（レジームシフト）がおきることが指摘されている。生物群集の現存量全体が急激に変化する場合でも、種ごとにみるとそれ以前から変化の予兆がわかる場合が理論的にあり得ることを示し、生物個体数のわずかな変化から生態系崩壊の兆しを予測する理論を提案した（Kadowaki et al. 2019）。これは気候変動におけるティッピングポイントの概念にも当てはまる可能性がある。

③ 窒素フットプリント（NF）の国際収支を評価したところ、人口の多い中国、インド、米国とブラジルが世界の反応性窒素排出量の47％を占め、世界の反応性窒素排出量の約4分の1は国際取引によるものであった。反応性窒素排出量の物質別では、水を介した窒素（Nwp）が25％、NH3が26％、NOxが28％、そして温室効果ガスのN20が27％という内訳だった。また、食生活を通じた窒素フットプリントを評価したところ、1961年から2011年までの日本食の変化の影響と、代替食（推奨タンパク質食、菜食主義食、低NF食、バランスの取れた日本食）の食物NFへの影響を比較した結果、1人あたりの年間の日本食のNFは1961年から2011年にかけて55％増加した。

④ 気候変動に生物が適応的に反応することで、かえって種の共存が損なわれる可能性があることを理論的に示した。

(b) 陸域生態系の強靭化による緩和策、適応策の統合評価

① 気候変動に応じて頻度・強度が増加すると考えられている極端気象（干ばつや豪雨など）に対して、一次生産性を主とする生態系機能がどのように担保されるのか、とくに生物多様性による効果を定量化した。まず、大規模なデータ統合から、極端気象時の生態系安定化に対する生物多様性の寄与が示された（Isbell et al.2015）。北海道の草原で実施した降水量操作試験では、植物種多様性と生態系の多機能性の間に有意な正の相関が見られた。この多様性－機能性に対する極端気象の影響を、降雨量操作実施後のデータをもとに解析したところ、降雨量操作前に見られた生物多様性と生態系機能の正の関係性が検出されなくなった。このことから、緩和策により極端気象が減少することが、植物群集構造の保全を介した生態系機能の維持に肝要であることが示唆された。中国内モンゴルの試験区では、降水量減少下では、多様な植物群集が形成する局所の不均一性が、群集全体の分解機能の安定性に寄与しうる可能性が示唆された。さらに、草本群集を構成する各種が非同調的に年変動することが、生態系の多機能性の安定性に寄与していることを明らかにした。これら草地試験における一連の解析から、生物多様性が気候変動に対して生態系の多機能性を安定化させることで、強靭化に寄与し得る知見を提供した。

② 日本の森林生態系の樹種数と一次生産速度に正の関係性を見出した。このことから、樹木多様性が森林の炭素隔離に貢献しうること、その効果が将来的な温暖化により変化する可能性が示唆された（Mori 2018）。有機物分解については、リター多様性が上がるほどに分解速度が向上することが分かった。そして、その効果は将来的に生じる気温上昇の効果に相当することも分かった。これらのことから、単一種人工林の造成や農地造成といった植生を単調化するような土地利用は、植物種多様性を低下させることで一次生産性を低下させ、ひいては落葉リターを単調化させることで生物圏の炭素循環を著しく変え得る可能性が示唆された。

③ 開発した生態系改変速度指標の時系列データを解析した結果、生物多様性ホットスポットと同等のポテンシャルを持つ未認識の地域が抽出された（Kobayashi et al. 2019）。この未認識スポットと生物多様性ホットスポットにおける過去500年間の土地利用の歴史を検証したところ、生物多様性ホットスポットでは、土地利用改変が比較的ゆっくりと行われてきたことが分かった。このことから、将来的な環境変動シナリオに適応する生物多様性保全策の必要性を示した。次に、生態系改変速度指標が高い地域では、エルニーニョに関連した災害の被影響者数や被害額の増加率が高い傾向が見られ、土地改変を制御することで、生態系をベースにした防災・減災の策を講じる必要性を見出した。そして、世界中の50保護区を対象に、その内外で森林の自然撹乱パターンをランドサットデータで比較した結果、人為影響下にある保護区外で撹乱パターンが単純化されていることが分かった（Sommerfeld et al. 2018）。さらに、気候と撹乱の結びつきがみられるので、今後の温暖化で干ばつや山火事などの大規模撹乱が増える可能性が示された(5)。最後に、

日本の森林生態系を対象に、集水域ごとの樹種数と表層崩壊との関係性を解析したところ、表層崩壊予測モデルの予測精度が、樹種が高いほどに高まることを見出した。このことから、樹木多様性を高く維持する土地利用が、災害予測に係る不確実性を削減し得ることが示唆された（Kobayashi et al. 2017）。

(c) 緩和策と適応策に資する沿岸生態系機能とサービスの評価

① 海岸線・地形データ整備と生態系分布データの成型、類型化については、生態系分布と沿岸地形データ解析により、台風や高潮・高波の襲来といった災害時に被害を受けやすい低標高・低傾斜地形を抽出し、沿岸生態系を活用したグリーンインフラが効率的に行える地域を示すことが出来た。また、マングローブ生態系の構成樹種データを基に類似度解析を行い、全球のマングローブ生態系を３つに類型化した。これにより、緩和機能（炭素貯留）や適応機能（沿岸保護機能）をカテゴリごとに評価できるようになった。台風や高潮・高波の襲来といった災害時に被害を受けやすい地形にはマングローブ林が分布していること、マングローブ植物74種の分布は2つに類型化でき、樹種の重なりが全く見られないことがわかった。以上により、全球の沿岸生態系を統一データで扱うことが可能となり、生態系の特徴を加味したカテゴリごとに生態系機能を評価し、将来影響予測が可能となった。整備したデータはサブテーマ５に提供するとともに、多くの活用が可能なように国立環境研究所配信のwebsite（Tropical Coastal Ecosystems Portal http://www.nies.go.jp/TroCEP/index.html）に掲載した。

② マングローブ生態系の炭素貯留量について既報データの整理を行い、実測値データベースを作成したところ、計測値の地域が東南アジアと中南米に偏り、中東地域やオセアニア地域での計測値が少ないことが明らかとなった。マングローブ生態系のバイオマスとネクロマスを含む全炭素貯留量平均値は887.2 MgC ha-1であった。また、マングローブ生態系の貯留炭素の大部分は地下部にあり、その量は地上部のバイオマスや地下部表層の炭素貯留量からは推定できないことが明らかとなった。本実測データを基に、計測値のない地域を含む全球の炭素貯留量を推定するためのパラメータ解析を行ったところ、気温・降水・日照・風・潮位差・低標高地域の拡がり指数が規定因子となっていることが明らかとなり、得られたモデルを用いて全球推定マップを描いた。地上部バイオマスの推定モデルの変数では、年平均気温が高頻度で選択された。気候変動適応機能としては、サンゴ礁のコア分析に関する既報データの整理を行い、サンゴ礁は、およそ10,000年前から形成されており、6,000年以降に防波機能を持つ礁嶺部分が形成されていることが明らかとなった。化石サンゴの年代から推定される礁嶺の堆積速度は6-83cm/100年となり、IPCCによって予測されている海面上昇速度の43cm/100年（RCP2.6シナリオ）、84cm/100年（RCP8.5シナリオ）と比較すると、今後の温暖化の推移によっては、温暖化に伴う海面上昇に追随できる場合があることが明らかとなった。

③ 野外調査地西表島ユツン川流域で計測したマングローブの土壌炭素貯留量はおよそ100-200MgC/haで、全球の実測データ平均値744.9 MgC ha-1と比べると少なめであった。西表島はマングローブ分布域の中では北限に近く、平均気温が比較的低いことなどが反映されていると考えられる。また、陸側から海側になるにつれて炭素貯留量が少なくなっていた。炭素含有量の深度プロファイルを見ると、内陸部では表層部分に高い炭素貯留量が見られるのに対し、海側では表層部分の炭素貯留量が少ない。これらのことから、潮汐変動による有機物流出が土壌炭素含有量を規定する重要な因子であることが明らかとなった。沿岸保護機能については、コア各層の放射性炭素同位体値と層深から算出された堆積速度は、マングローブ域で26-76cm/100年、サンゴ礁で62-69cm/100年となった。一方で、マングローブは場所によってはRCP2.6シナリオでも追随できない可能性があることが明らかとなった。

(d) 緩和策と適応策に資する森林生態系機能とサービスの評価

① シカについては、現状維持シナリオにおいてもシカが2103年には東北地方の日本海側を除く本州・九州および四国で広く分布拡大することが予測された。将来、人口減少で居住地域が縮小するシナリオでは、居住地域の辺縁部でシカが分布拡大する傾向がみられた。一方、気候変動で積

雪期間が短縮するシナリオでは、東北地方の日本海側にもシカが分布拡大する傾向がみられた。人口減少と積雪期間の短縮がどちらも起きた場合には、国土の9割以上がシカの潜在生息域になると予測された。このことは、積雪減少地域のみではなく、人口減少地域におけるシカの管理も必要であることを示唆しており、今後の野生鳥獣管理政策の策定に貢献できる。

② マツ枯れについては、将来の気候変動にともなって、マツ枯れ被害発生危険域は東ヨーロッパ、中央アジア、極東ロシアにまで拡大することが予測された。例えばRCP8.5シナリオの2070年代には、マツ枯れ被害危険域は現在の約2倍の面積に拡大し、マツ枯れに罹患しやすい世界のマツ21種の分布域のうち約50%を占めることが判明した。そのようなリスクを抑制するためには、マツ材の検疫体制の充実など、国際的な取り組みの必要性が示唆された。

③ ライチョウについて潜在生息域を推定する統計モデルを北アルプス地域において構築した結果、ライチョウは尾根線に近く、ハイマツ群落や雪田草原群落、風衝地群落といった高山植物群落がバランスよく成立する場所で生息する確率が高いことが判明した。また潜在生息域の将来変化を予測評価した結果、経済成長を重視した将来の気候シナリオ下では、今世紀末（2081～2100年）の潜在生息域面積は、最悪の場合、現在の0.4%にまで減少すると予測された。

④ 生物多様性については、世界の維管束植物1,605種、鳥類4,796種、哺乳類1,137種、両生類509種、爬虫類381種の合計8,428種を対象に、気候変動対策にともなう土地利用改変と気候変動そのものが生物多様性にどの程度の影響を及ぼすのかについて、潜在生息域を推定する統計モデルを種ごとに構築して評価した。その結果、気候変動が進む今世紀後半には、気候変動対策として行うエネルギー作物の栽培や植林の拡大は、一部地域では生物多様性の損失をもたらすものの、気温上昇の抑制作用の恩恵が上回り、世界全体としては生物多様性の保全に強く貢献することが明らかとなった。つまり、エネルギー作物に依存した気候変動対策による自然生態系への副次的な悪影響が懸念されてきたが、本研究の結果は「土地改変による影響を考慮しても、気温上昇を2℃以内に抑えることで、生物多様性の損失を抑えられる」ということを明らかにした。

(e) 沿岸生態系の緩和・適応策の経済評価

① 浅海生態系の面積変化については，サンゴ生息域が大幅に消失するものの，海藻藻場をはじめ他の生態系の面積は大きく変化せず気候変動に適応する可能性が示された．

サンゴ生息域においては，現況から2030sにかけて，RCP2.6と8.5ともにおよそ80%まで面積は縮小するが，RCP2.6では2090年代には現況の75%まで縮小する可能性が示された．一方でRCP8.5においては2030年代以降も縮小し続け，2090年代に現況の約25%の面積となると予測された．海草藻場については，RCP2.6と8.5ともに，現況から2030年代にかけて分布面積が拡大し，RCP2.6においてはそれ以降に伸縮を繰り返して2090年代には現況とほぼ同じ、RCP8.5は2030年代以降も拡大を続け，2090年代では現況よりも10%以上拡大する結果となった．海藻藻場の全球面積は現況から2090年代までRCP2.6と8.5共にほぼ横ばいで、2090年代にはRCP8.5ではおよそ1%拡大、RCP2.6では1%程度縮小する予測結果となった．塩性湿地の全球総面積では，RCP2.6とRCP8.5ともに2090年代にかけて，海面水位の変化により現況よりも面積が拡大する結果となった．両シナリオとも2030年代にかけての面積拡大率はおよそ4%で同等であったが，RCP2.6では2090年代まで横ばい，RCP8.5では少しずつ拡大し続けて2090年代では現況に比べておよそ6%拡大する可能性が示された．マングローブ分布域の将来変化においては，RCP2.6とRCP8.5いずれでも、現況から2090年代までおよそ1%以内で現況と大きく面積が変わらない可能性が示された

② 大気-生態系間のCO2フラックスの全球推計は，全てのシナリオにおいて2100年までに生態系による吸収速度が顕著に低下した．全ての生態系において，水温上昇と共にCO2吸収速度が小さくなる傾向が示された．特に，主に熱帯域を中心に分布する浅海生態系（サンゴ，マングローブ）においてその減少勾配が大きかった．

大気-生態系間のCO2フラックスと水温との関係から，198の各エリアにおける水温および生態系面積を掛け合わせることで，全球浅海域におけるCO2フラックスを推定した．東南アジア、オーストラリア東岸、アメリカ大陸東岸、中央アジアではそれぞれ1億トン[CO2/年]程度の吸収速度となっ

ていた。日本を含むその他のエリアは吸収と放出がほぼ等しくなったが、全球的には吸収傾向が強い結果となった。将来予測においては，RCP2.6では現況と大きく変わらない結果となったが，RCP8.5では温暖化の影響によって東南アジアや中央アジアは吸収速度が低下した．前述のとおり，浅海生態系の分布面積は大きく変化しなかったが，CO2吸収速度は顕著に低下した。その理由として、水温上昇にもたらされるCO2の吸収速度への影響が大きい可能性がある．

③　生態系による波浪減衰および地形変化抑制効果　八重山諸島を想定した岸沖断面地形によると、(a)複合型：リーフ・植生有り，(b)無植生型：リーフ有り・植生無し，(c)無リーフ型：リーフ無し・植生有り，(d)無環境型：リーフ・植生無しの四つのいずれの条件においても，汀線付近が大きく侵食されており，現在の汀線位置がxo = 1622 mであるのに対し，将来の汀線位置は1126-28mと約500m陸側に後退すると予測された．つまり、リーフの有無によって汀線後退量はほとんど変化しなかった．

④　浅海生態系によるCO2吸収速度の経済評価　浅海生態系のCO2吸収については、RCP2.6からRCP8.5へと緩和策が弱くなるにつれて，水温上昇により浅海生態系におけるCO2吸収速度が顕著に減少し，2100年にはRCP8.5において10億トン(CO2/年)減少する予測となった．よって，浅海生態系によるCO2吸収速度を維持するためには，生態系の分布面積の消失を抑えるだけではなく，厳しい緩和策によって温度上昇を抑えることも重要となる可能性がある．波浪減衰・地形変化においては，主要な生態系が全て存在する複合型のエリアでは，リーフの存在によって沖合から伝播する波高は大幅に減少するが，海岸浸食と海面上昇の影響によって汀線が数百メートル以上後退する可能性が示された．最後に，浅海生態系の緩和策の経済評価において、社会経済モデルとの結合でCO2吸収速度を金銭換算した結果，RCP2.6における炭素削減費用が最も高騰する場合に，吸収された炭素に大きな価値（1,000億[USD/年]以上）が生じる可能性が示された．

（３）気候変動に対する地球規模の適応策の費用便益分析

(a)　気候変動適応策の総合的な費用便益分析と水関連災害の適応策の費用便益分析

全球規模で経済的に最適な適応費用と便益を算定した結果、毎年87～153億ドルを適応策に投資することで、年間463～1463億ドルの洪水被害額を減少させることができることが明らかとなった。どの気候変動・社会経済シナリオでも地理的な分布や傾向に大きな違いは見られず、特に中国、インド、中央アフリカ、ラテンアメリカで適応策を実施することで将来の洪水被害額を大きく減らせる可能性があることがわかった。これらの地域で大きな便益が見込まれるのは、将来大きく経済発展する可能性があるだけでなく、現在の防護レベルが25年未満と低く適応をする余地が十分にあるためである。ただし、これらの地域では、適応を実施しても将来の洪水被害額を現在と同レベルまでに減少させることが難しく（**図4.3.1**）、特にハードな防護対策が完了するまでの間（ハードインフラの建設中）に発生する被害が大きいためである。したがって、そのような地域では、より早く対策を実施したり、ソフトな対策の導入を検討したりする必要があることが示唆された。

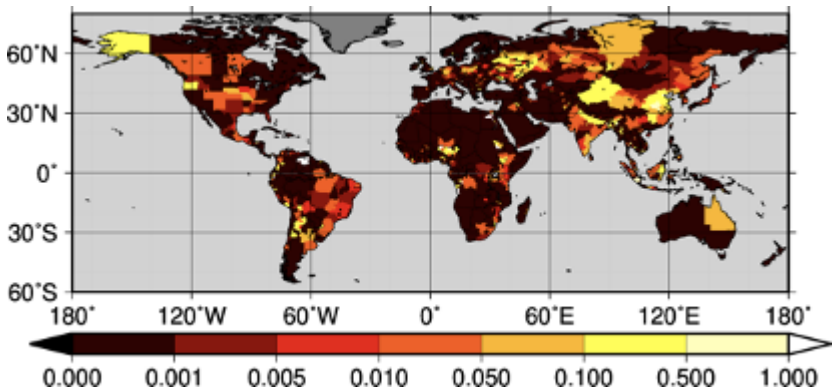

図4.3.1：極端なシナリオ（RCP8.5/SSP5）におけるGDPに対する残余被害（適応策を実施しても、現在よりも増加する被害額）の割合。

各サブテーマによる主要セクターに関する適応費用分析と、テーマ2による生態系影響を統合的に解析した結果、最も温暖化が進むシナリオ（RCP8.5/SSP3）では、適切に適応策が実施された場合でも、解析した７地域のいずれにおいても2から4のセクターにおいて気候変動の被害がある程度以上に増加することが判明した（**図4.3.2**）。

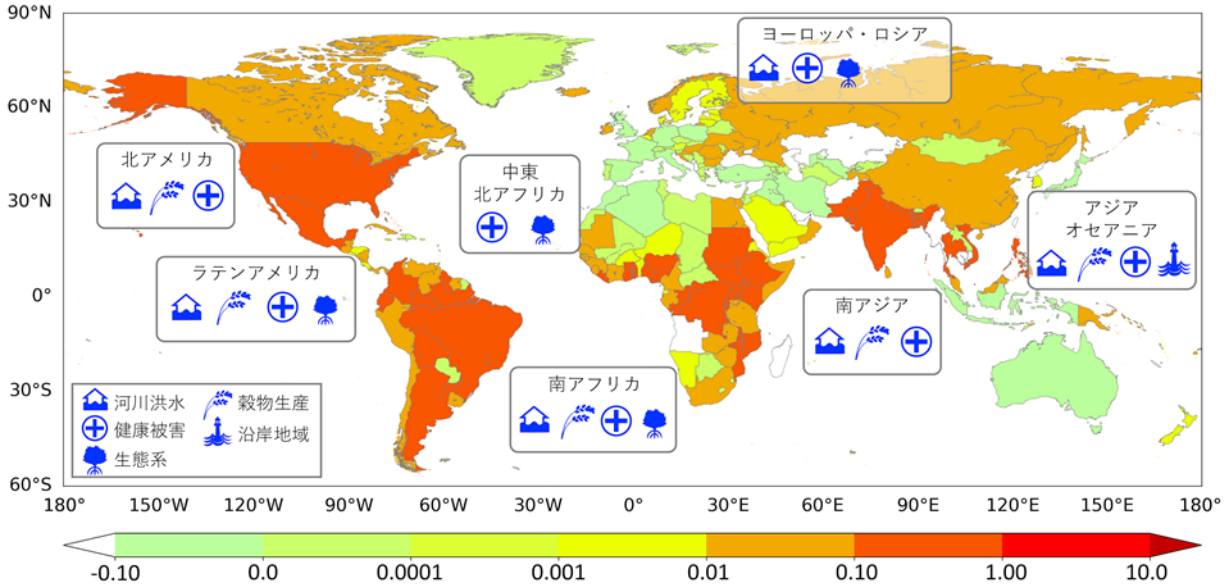

図4.3.2：適応しても気候変動による被害が増加するセクター（アイコン）と極端シナリオ（RCP8.5/SSP3）下における河川洪水、穀物生産、及び沿岸地域分野の総費用（適応費用＋残余被害）の合計（GDPに対する割合[%]）。

(b)　気候変動による穀物生産への影響評価と適応策の費用便益分析

気候変動の影響を検出・評価するために専用に設計された気候データベースd4PDFと収量モデルを利用し、過去30年間（1981-2010年）の気候変動による収量影響を推計した。その結果、世界の平均収量に対する過去の気候変動の影響は、トウモロコシでは－4.1%、コムギでは－1.8%、ダイズでは－4.5%と見積もられた。コメについては世界平均収量に有意な収量影響は検出されなかった。有意な収量影響が見られた3穀物を生産被害額に換算すると、世界全体で年間424億ドルに上ると推定された。次に、3.(3)(b)の方法で計算した適応コストについて示す。異なる気候モデルや社会経済シナリオ、生産コストモデルからなる複数のシナリオの平均では、気温上昇を2℃で安定化するシナリオ（RCP2.6）と気候変動が著しく進行するシナリオ（RCP8.5）のいずれでも適応コストの額はほぼ同じで、4穀物を合計した年間の適応コストは世界全体で今世紀半ば（2041－2050年）には680－700億ドル、今世紀末（2091－2100年）には910－940億ドルと推計された（**図4.3.3a**）。一方で残余被害はRCP8.5の方がRCP2.6よりも大きいと見積もられた。4穀物を合計した世界全体での年間の残余被害の推計結果は、RCP8.5では今世紀半ばには180億ドル、今世紀末には1770億ドルだが、RCP2.6シナリオでは今世紀半ばから末にかけて残余被害はほぼゼロに抑えられるとの結果だった（**図4.3.3b**）。適応コストについてはRCP2.6とRCP8.5の間の差が小さいが、残余被害はRCP8.5の方がRCP2.6よりも大きいため、気候変動の総コストの将来変化は残余被害と似た傾向を示した。すなわち、気候変動の総コストは、RCP2.6では今世紀半ばには650億ドル、今世紀末には900億ドルに増加するが、RCP8.5ではそれよりも今世紀半ばでは約1.4倍（880億ドル）、今世紀末では約3倍（2680億ドル）大きいと見積もられた（**図4.3.3c**）。

穀物生産では、気候変動（主に気温上昇）の悪影響が大きいと作物の生理的な限界により、生産者が資材などを追加投入して適応しようとしても収量低下を防ぐことが困難になる。このため、費用便益比の観点から適応コストの支出が見合わなくなり、気候変動の進行が著しい場合には適応コストに代わって残余被害が増加する。年間の適応コストは気温上昇に伴い徐々に増加し、4穀物を合計すると世界全体では+1.5℃で530億ドル、+2℃で610億ドル、+3℃で780億ドルと推定された。一方、穀物生産にお

ける年間の残余被害は気温上昇に伴い急速に増加し、4穀物を合計すると世界全体では+1.5℃で100億ドル、+2℃で190億ドル、+3℃で500億ドルに達すると推計された。

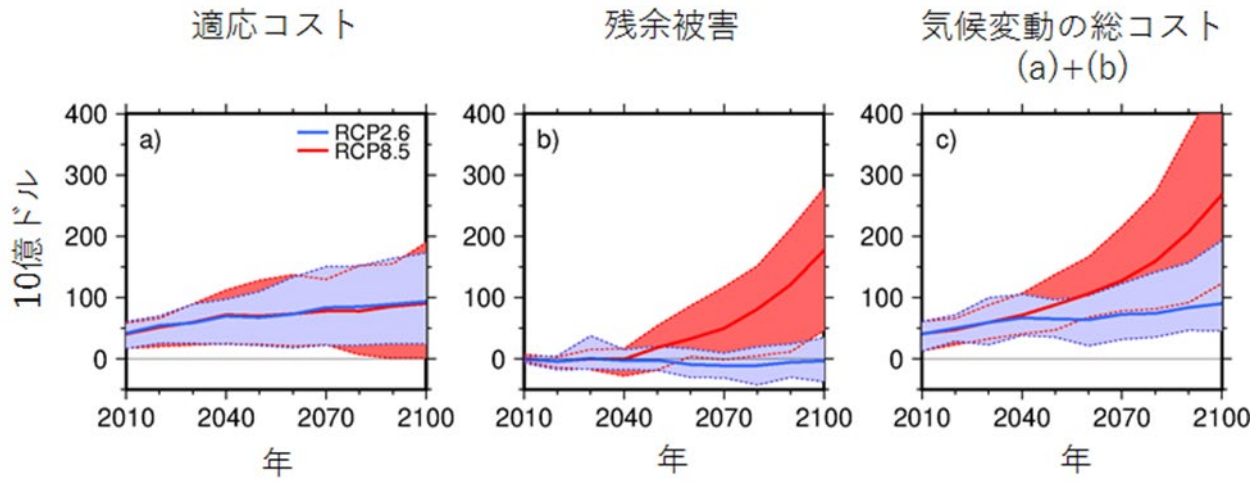

図4.3.3：RCP2.6とRCP8.5排出シナリオにおける世界全体での４穀物合計の適応コスト（a）、残余被害(b)、気候変動の総コスト（c）。それぞれの排出シナリオについて、異なる50のシナリオ（気候モデル5種類×社会経済シナリオ5種類×生産コストモデル2種類）を考慮した。太線は50シナリオの平均値、陰影と破線は90%信頼区間を示す。

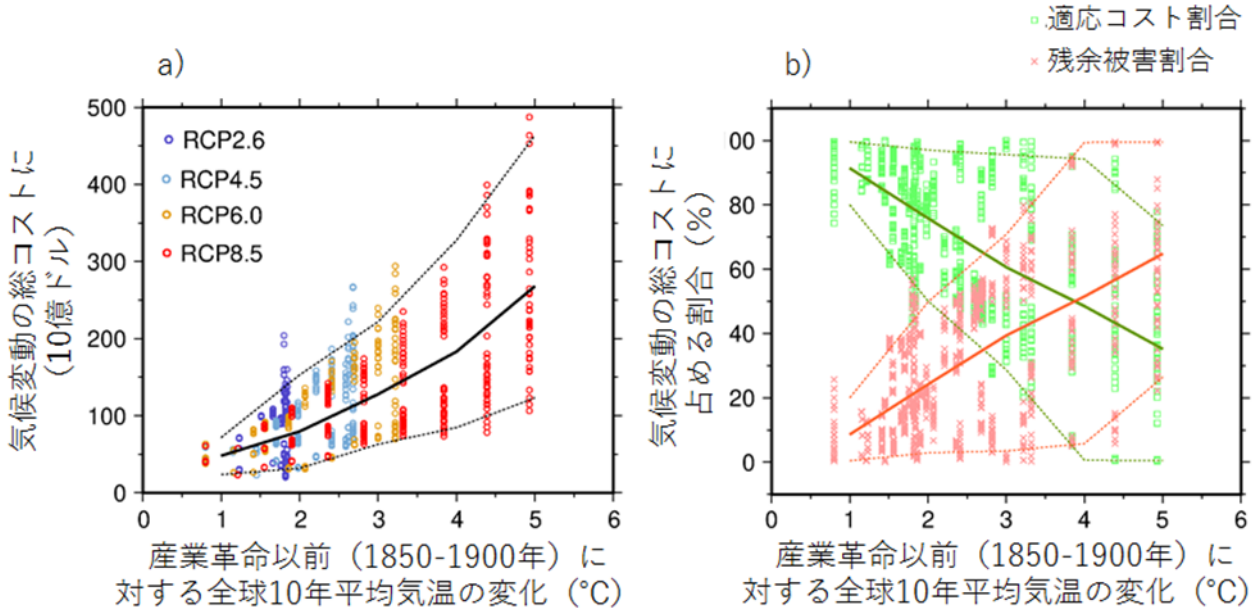

図4.3.4：（a）気温上昇に伴う気候変動の総コスト（適応コスト＋残余被害）、および（b）気候変動の総コストに占める適応コストと残余被害のそれぞれの割合。200シナリオから得られた結果を示す（排出シナリオ4種類×気候モデル5種類×社会経済シナリオ5種類×生産コストモデル2種類×10期間）。左右のそれぞれのパネルにおいて、太線はシナリオの平均、破線は90%信頼区間を表す。

気候変動の総コストに占める適応コストの割合は、+1.5℃では84%だが、+2℃では76%、+3℃では61%に低下する（**図4.3.4b**の緑色の線）。一方で、残余被害の割合は+1.5℃では16%だが、+2℃では24%、+3℃では39%に上昇する（**図4.3.4b**のピンク色の線）。これらの結果から、気候変動を安定化した場合、気候変動の悪影響の大部分は生産者の漸進的な適応により吸収することが可能と示唆される。一方、気候変動が著しく進行した場合、生産者の適応コストも増加するうえ、それのみでは気候変動の悪影響を吸収することはできず、大きな残余被害が生じると示唆される。

上記の残余被害を相対化するために、現在気候の極端気象による穀物生産被害と比較する。世界全体で

見ると、最も生産被害が大きい農業気象災害は干ばつであることが知られている。４穀物の干ばつ被害は世界全体では過去27年間（1983－2009年）の累積値で1660億ドルと報告されている。これは非干ばつ年も含めて期間平均すると年間60億ドルの生産被害に相当する。また、簡略化のため、干ばつの頻度を10年に1回と仮定すると、干ばつ年の平均被害額は600億ドルである。気候変動の残余被害は+1.5℃（100億ドル）と+2℃（190億ドル）ではそれよりも小さいが、+3℃（500億ドル）では現在の干ばつ年の平均被害額に匹敵する大きさになる可能性がある。

(c)　気候変動による健康への影響評価と適応策の費用便益分析

RCPsとSSPsごとの影響評価に関しては、**図4.3.5**のようになる。ここでは、CO2排出1kgごとの各死因によるDALY（= Disability Adjusted Life Years、障害調整生存年数)を示している。DALYでは死亡年齢が大きく影響するため、熱関連超過死亡のように、主に高齢者が死亡する場合には、この図のように影響は小さく表される。低栄養、下痢性疾患、マラリアは、小児が影響を受けるので、ここでの影響も大きくなっている。また、SSPによる相違も認められ、SSP1がもっとも小さな影響を受けることが予測された。

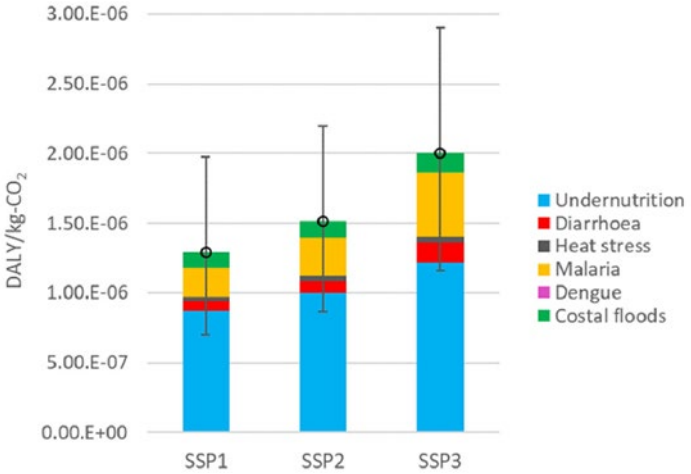

図4.3.5：CO2排出1kgごとのdisability-adjusted life years。

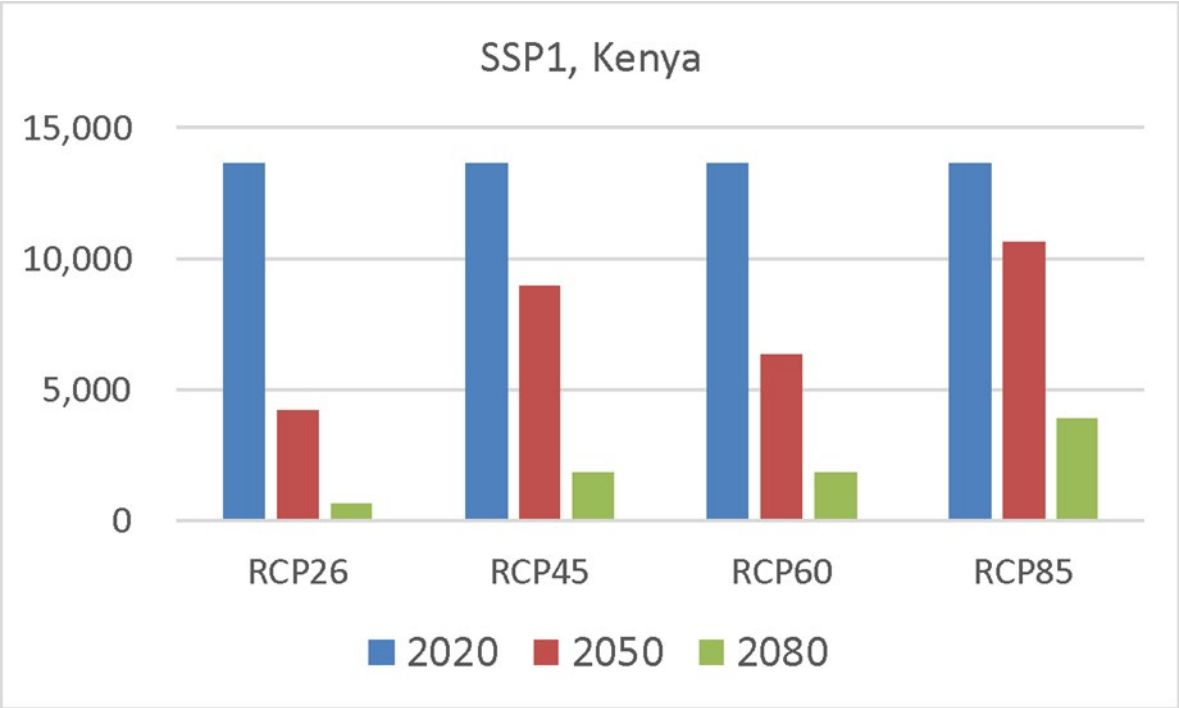

図4.3.6：RCP、SSPごとのマラリア死亡数予測（Kenyaの例）。

マラリアの死亡数に関しては**図4.3.6**のようになる。ここではKenyaを一例としてあげている。2050年には、RCP6.0を除くと、やはり温暖化が進むほど死亡数も増加することが認められる。年次が進むにつれて死亡数が減少傾向にあるのは、GDP上昇による死亡率減少の影響が、気温上昇など、気候変動の影響を凌駕するためである。その意味からは、経済発展によって最終的にはマラリア死亡数を減らすことができるものの、やはり気候変動を小さく抑えることで更に死亡数を減少させることができるし、公衆衛生の観点からは、当然現在できるマラリア予防策の推進によって将来まで減少を待たずに死亡数を減少させる努力をする必要がある。

上記以外に、本サブテーマの研究によって明らかになった、全球の将来予測を行うにあたって考慮すべき点については、S-14-3の終了研究成果報告書の「II. 成果の詳細」で述べるが、中でも緩和策をとることによる化石燃料燃焼の減少による大気汚染の改善がもたらす便益が大きいことが明らかになったこと、個別の適応策のみでは複合災害の場合に対処できないことを明らかにできたことは重要な知見であると考えられる。

(d) 気候変動に伴う沿岸地域の脆弱性評価と適応策の費用便益分析

沿岸地域に関しては、1)海面上昇と潮汐を考慮した将来の浸水影響評価、2)防護費用データベースの構築と適応効果評価、3)堤防データ抽出プロセスの開発、などを実施し、一連の分析枠組みが確立された。これらの成果は13本の査読付き論文(英文3、和文10)などへ発表され、IPCC(2019)SROCC報告書にも引用された。

① 海面上昇と潮汐を考慮した将来の浸水影響評価

海面水位は、満潮・干潮、また大潮・小潮といった天文潮でも変動しており、これらに将来の気候変動に伴う海面上昇が加わると予想されている。気候モデル(MIROC-ESM等)を用いて、放射強制力、社会経済シナリオ(RCP/SSP)に基づく将来の浸水影響を評価した。海面上昇と大潮時の満潮の両方を考慮した場合、21 世紀末には世界全体で、RCP4.5 で約39 万km2、RCP8.5 で約42 万km2 が潜在的浸水域になると推計された(MIROC-ESM)。地域別には中国の長江デルタ、メコンデルタ、カナダ、バングラデシュの低地、アマゾン河口等に潜在的に大きな浸水リスクがあると推計された。これらの潜在的浸水域は海面上昇と潮汐を含めた場合で陸地面積の約0.3%だが、沿岸域の人口密度が内陸域よりも高いことは問題をいっそう複雑にしている。RCP8.5 での2100 年の浸水影響人口は約6,300 万人(SSP1)～1.06 億人(SSP3)と推計された。これは2100 年の総推計人口の約1%に上る。

さらに8GCMによる不確実性評価からは2100年の最大値がMIROC-ESM-CHEM_SSP3で約97百万人であり、最小値はNorESM1-M_SSP1の約50百万人であった。平均値は、RCP8.5では約22%、RCP2.6では約15%の幅があった。

② 防護費用データベースの構築と適応効果評価

図4.3.7、**図4.3.8**、**図4.3.9**は堤防嵩上げの有無による浸水域、浸水面積、影響人口、被害額の違いを示している。ここでは、浸水可能性のある海岸線に対して、一律50cm、ないしは1m の堤防の嵩上げを行った場合の浸水影響を試算した。浸水域は、2100 年において適応策がない場合と比べて50cm 嵩上げで約2 割、1m 嵩上げで約4 割軽減される。被害額は3つの経済水準別の推計式では2100 年に約1,700～4,800 億$となった。影響人口、被害額はRCP シナリオの違いよりもSSP シナリオの一人当たりGDP の違いによる影響が大きい。

次に、これらに掛かる追加的適応費用を算出した。世界各国の堤防に掛かる費用データベースを構築し、防護費用の将来推計を行った。アメリカ合衆国ではアメリカ軍・各州の報告書、日本では港湾空港技術研究所、ヨーロッパ各国ではEU 報告書、新興国においてはJICA報告書などから費用データを収集した。堤防費用(1km あたりの建設費用)を、20 カ国455 個のデータと各国の施工終了年次の一人当たり実質GDP とを比較し、推計近似式を提案した。同一国内でも立地や建設形式によって多様であるが、総じて国の経済水準が高くなると防護基準も上がり、防護費用も高くなる傾向にある。追加的適応費用は、国別の浸水可能性がある海岸線長に防護費用データベースより求めた国毎の堤防単価を乗じ、耐用年数30 年として管理費用を加えたものである。世界の堤防分布情報が未整備なため、浸水可能性がある海岸線の全てに1m の堤防を新設する場合と、同様の海岸線に既に堤防が存在するとしてそれら

の全てを1m まで嵩上げする場合、という2つの極端なシナリオを仮定した。

図4.3.10は、世界の沿岸域における追加的適応費用である。全て新設と仮定した場合は全て嵩上げと仮定した場合よりも費用が 4 倍弱高くなる。地球温暖化に伴う海面上昇で河口域や低地などが浸水した場合の被害額は、今世紀末に世界全体で約4,820億ドルになるが、高さ1mの堤防を整備すると費用は最大2,030億ドルかかるが、被害額は6～7割に抑えられるという試算を得た。後述の通り、堤防分布情報は整備中であるが、真値はこれらの範囲内にあると推察される。それでもなお、追加的適応費用は浸水被害額よりは概ね低くなった。すなわち、全球規模で評価する場合には適応策を講じる経済合理性が確認された。

③　堤防データ抽出プロセスの開発

沿岸域における気候変動に対する防護策を検討する上で、本来は世界の既存堤防の設置場所を把握する必要がある。しかしながら、安全保障等の理由から我々がアクセス可能かつ一律の基準を満たす世界の堤防データベースは存在しない。そこで、リモセンデータ(ALOS World 3D やGoogle Earth 等)から全球の堤防を抽出するプロセスを開発した。上記の分析に今後は堤防情報を組み合わせることで、より現実的な推計を得ることが期待される。

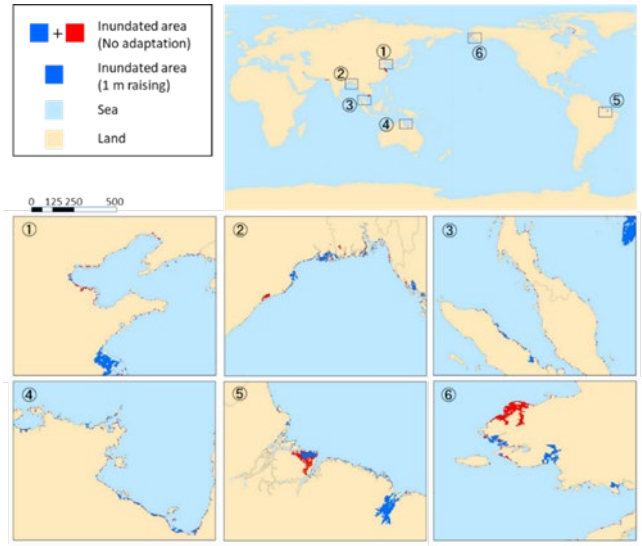

図4.3.7：適応策の有無による浸水域の相違(Tamura et al., 2019)

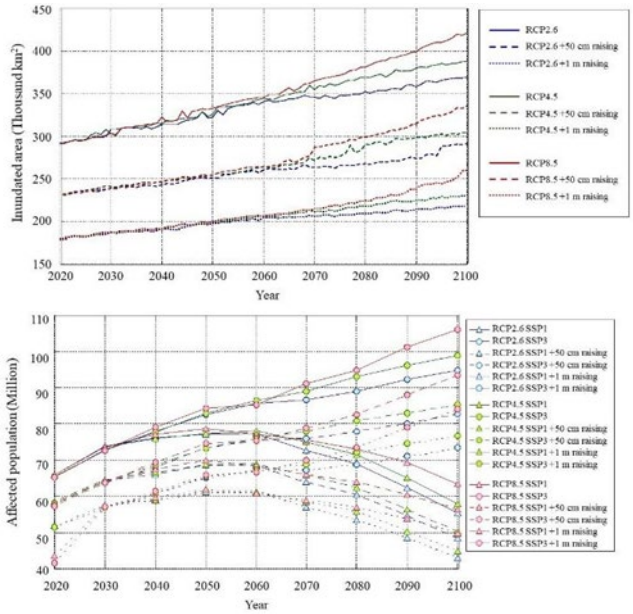

図4.3.8：堤防嵩上げの有無による浸水面積、影響人口の比較(Tamura et al., 2019)

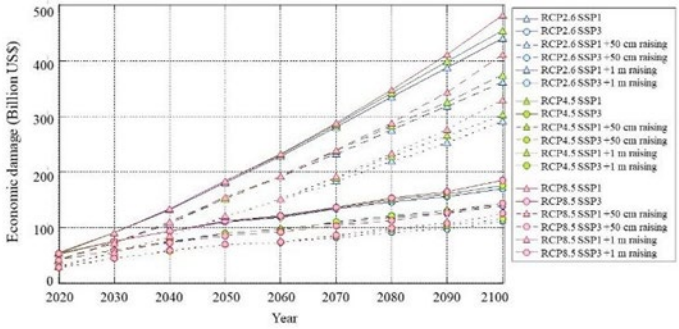

図4.3.9：堤防嵩上げの有無による被害額の比較(経済水準別の推計; Tamura et al., 2019)

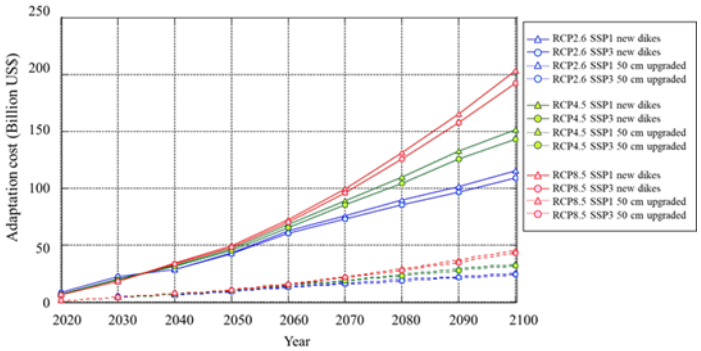

図4.3.10：世界の沿岸域における追加的適応費用

（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

(a)　緩和・適応総合実施の基本シナリオを考慮した都市気候変動の予測に関する研究

①　人工衛星データのみを使用した、高時空間解像度の全球都市GISデータベースの構築

本プロジェクトで作成・公開した高空間解像度（1km）の全球都市GISデータベースは、いずれも世界で類を見ないものである（**図4.4.1**）。都市温暖化解析は、気象モデルそのものではなく、途上国などにおける入力データの未整備が、解析実行上の大きなボトルネックとなってきた。本プロジェクトチームだけでなく、気象予測モデルを有する世界的な研究者チームは、これらの全球都市GISデータベースを入力データとして用いることにより、本プロジェクトで行ったような現状分析・将来予測が、世界の任意の都市で実行できることになる。現状の全球人工排熱データは国際誌に出版・公開済みである。シナリオ別2050年将来の人工排熱データは、投稿中である。将来の都市領域の全球推定データ（2050年まで10年間隔；解像度1km）は、国際誌に出版・公開済みである。現状および将来の全球３次元建物データは、投稿中である。人工排熱・都市領域・３次元建物GIS、いずれの全球データベースも、先進国の特定の都市を抽出し、現地で計測・推定された精度の高いデータと比較しても、気候予測計算の入力値としての使用に耐えうる十分な精度を有することが確認された。

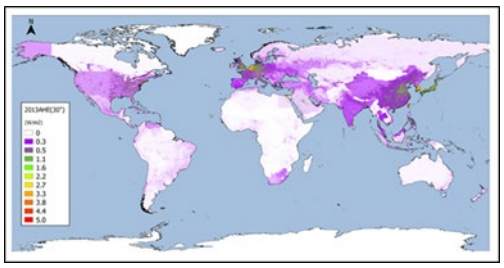

図4.4.1：全球人工排熱データベース(現状値)の構築と公開（Dong et al., 2017より修正引用）

②　2050年における全球・都市２つの社会・経済シナリオに基づくジャカルタの都市気候予測

最も重要な部分をハイライトして以下に記す。（1）ジャカルタにおけるグローバルな温暖化シナリオによる影響は0.5～1.5℃程度である。(2)　都市化シナリオ影響は、都市周辺に局所的に強く表れており、1.5～2.5℃に達する。(3) すなわち、都市化影響は局所的には温暖化影響と同等かそれ以上になり得る。(4)　ジャカルタ中心部のスプロール化に伴い、気温上昇域はその周辺に移動する。2m気温について現況(2015)と将来(2050)の差をジャカルタ域の空間統計量としてBox plotで示した図からは、以下の知見が得られる。(1) グローバルな温暖化シナリオによって空間平均的に1.0℃程度の差が生じている。(2) 都市シナリオの影響はジャカルタ全体平均でみると0.2～0.3℃とグローバルな温暖化寄与と比べて小さい。(3) しかしながらBox plotのバー（空間分散）の大きさからわかるように、都市シナリオを考慮した計算（Urbanization）は、局所的には空間平均値としての気温変動幅(0.6～1.6℃)より大きな気温変動が付加される。気温上昇域は、おもにスプロール化による人口増加域に対応しているので、熱中症や睡眠障害などの健康影響を、どのような空間解像度において評価するかによって結果に大きな違いが生じる。シナリオ別気温予測結果に基づき、2050年における６０歳以上高齢者の熱関連死亡リスクを**図4.4.2**に示した。

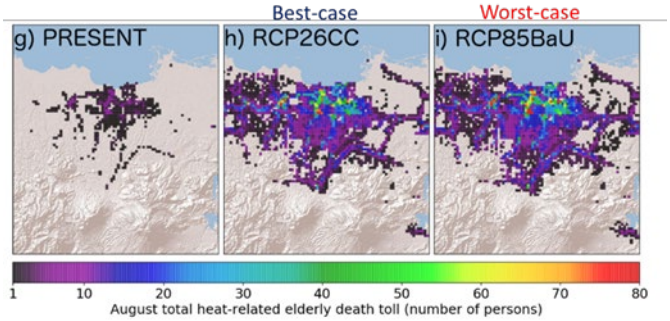

図4.4.2：シナリオ別気温予測結果に基づく2050年における６０歳以上高齢者の熱関連死亡リスク
左：現状、中央：最善シナリオ（SSP1およびRCP2.6）、右：最悪シナリオ（SSP3およびRCP8.5）
（Varquez et al., 2020より修正引用）

影響関数は、平林チーム（テーマ３）の本田先生の提案されている式を用いた。SSP1およびRCP2.6の最善シナリオ、SSP3およびRCP8.5の最悪シナリオ、いずれも熱関連死亡者は、現状よりも大幅に増加することが予想される。最悪シナリオでは、気温上昇の顕著な中心市街区で、１平方キロメートルあたり、８月の１月で、８０名を超える死亡者に達する街区も存在する。これは、高齢者人口が相対的に増加するという人口構成の影響と、２つの温暖化による影響の両者が考慮されている。高齢者人口の増加の影響のほうが２つの温暖化影響よりも相対的に大きいが、それでも、気候変動による気温上昇の寄与だけで１２５％、ヒートアイランドによる寄与分だけで１４４％、都市全体での熱関連死亡者を増加させている。なお、この暑熱環境の適応策については、サブテーマ３で掘り下げられる。

③　都市温暖化予測技術のグローバル展開に向けた枠組み構築

全球286都市の観測点における過去1世紀換算の気温上昇量を統計的に分析した。**図4.4.3**には、日最低気温上昇量の発生頻度ヒストグラムを示した。全球平均的に見ても、都市温暖化による気温上昇寄与は、気候変動による気温上昇寄与の2～2.5倍に達しており、都市の立地条件に関わらず、都市における気候変動適応策を考える上で、都市温暖化の影響を適切に考慮しなければならないことを強く示唆している。全球平均のヒートアイランド強度であるが、日最低気温上昇量が2.36±0.69（℃/century)、日最高気温上昇量が1.60±1.50（℃/century）となった。平均値に対して分散値が大きいのは、それぞれの都市における温暖化要因の違いによるためである。

世界の286都市において、「現在土地利用」における10年気候と、「都市化以前土地利用」における10年気候の２つの比較再現計算を行い、両者の気温差をヒートアイランド強度と定義することによって、グローバルな都市温暖化の実態が再現可能かどうか検討した結果、実測値（緑色）と計算値（青色）はよく一致した。

都市温暖化の再現計算を行った大都市について、SSP3およびRCP8.5の最悪シナリオのみを用いて、2050年の将来気候予測計算を行った結果を**図4.4.4**に示す。2050年における2010年からの年平均気温の上昇量は、２つの温暖化を考慮すると、１℃～５℃程度と大きい。時に北京、天津など、これから更なる都市開発の進展が予測される中国の大都市は、過去一世紀のデータ解析に示したと同様に、気候変動影響をはるかに凌駕する都市温暖化影響により、４℃前後の大幅な気温上昇が懸念される。

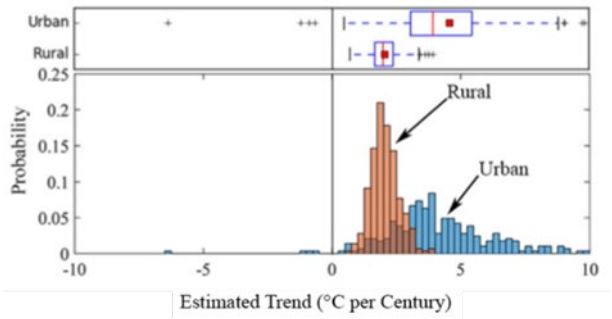

図4.4.3：全球286都市の観測点における過去1世紀換算の日最低気温上昇量の発生頻度ヒストグラム。Rural（気候変動分）とUrban(ヒートアイランド寄与分)（Varquez and Kanda, 2018 より引用）

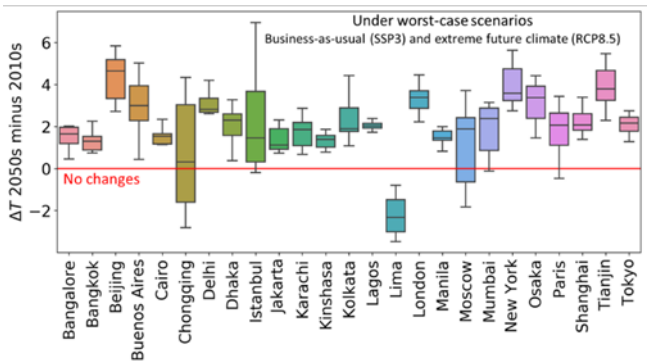

図4.4.4：主要な大都市における年平均気温の2050年と2010年の差（当該年の前後10年間のアンサンブル平均）。SSP3およびRCP8.5の最悪シナリオが想定されている。

(b)　緩和・適応総合実施による都市水害減災評価と費用便益分析に関する研究

①　洪水氾濫モデルと洪水被害額の算定手法

2013年1月の洪水を対象とした洪水氾濫計算結果とジャカルタ政府が公表した実測の浸水範囲を比較した。計算より算定された氾濫箇所は実測の浸水範囲と極めて良好に一致しており、レーダ雨量情報、高解像度の地形データ等の利用によって精度の高い洪水氾濫計算を実施することが出来た。また、他の既往研究やインドネシア、オランダなどの研究チームの洪水再現計算よりも格段と精度のよい計算となっており、日本の水工学や洪水氾濫計算の技術力の高さを示すものとなっている。

次に、日本の治水経済マニュアル（案）に基づいた2013年の洪水によるジャカルタ市の被害額の分布を**図4.4.5**に示す。同時に全球モデルでテーマ3によって算定されたジャカルタの洪水被害額も同時に示している。なお、2013年の洪水被害額はトータルで、全球モデル：3百万ドル、地域モデル：63億ドル、インドネシアのレポート・報告書などの実測：10～33億ドルと、全球モデルのみ大きな差が生じた。これは国平均原単位のダウンスケール計算（グローバル）と土地利用データ積み上げ計算（ローカル）の差によるものと考えられている。よって、グローバルの計算結果を地域レベルに落として推定する場合は極めて注意が必要であり、特にアジアのメガシティなどでは独自の地域スケールでの計算が必要不可欠であることが示された。

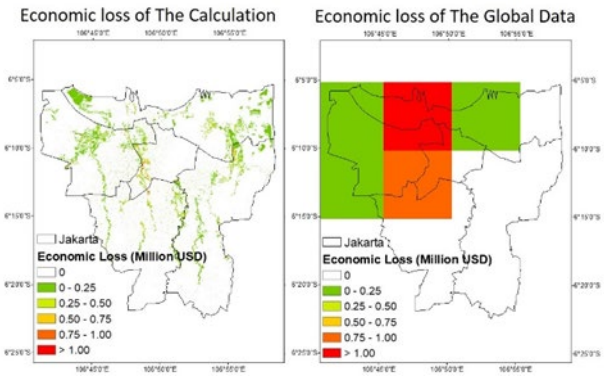

図4.4.5：地域モデル(左)と全球モデル(右)による洪水氾濫被害額の比較

② 将来の地球温暖化および都市の拡張が洪水氾濫に与える影響

上記でキャリブレーション・検証された洪水氾濫モデルを用い、土地利用の変化および地盤沈下の影響を考慮し、1983年から2050年までの洪水氾濫計算を行った。ここで土地利用の変化は最悪シナリオ(RCP8.5-BaU)に基づいている。過去の土地利用・地盤沈下状況では洪水氾濫面積・浸水量が現在(2013年)と比較して少ない。また将来の土地利用の変化と地盤沈下の影響で年々徐々に氾濫面積・浸水量が増加し、2050年では1983年の2倍以上に増加していることがわかる。両者の影響を比較すると、土地利用の変化の影響が地盤沈下の影響よりも大きい。しかしながら本洪水氾濫計算は豪雨起源のものであり、海域からの高波や異常潮位等に伴い海岸堤防の決壊が生じ海水の浸入が発生した場合等は、地盤沈下が浸水域や浸水深に大きく影響するものと考えられる。

しかしながら、上記の極端豪雨はWRFを用いて動的にダウンスケーリングを行っており、多くのシナリオを100年規模で計算するためには、計算負荷が極めて高く、長い計算時間を要する。よって、以下では統計的ダウンスケーリングを行い、複数シナリオを長期間にわたり検討している。24通り(8 GCM, 3 RCPシナリオ)の将来100年間の計算の結果を**図4.4.6**に示す。気候変動のみの影響で、2050年期、2100年期において77%、99%ほどの年期待被害額が上昇することが示された。なお、本報告書で示す被害額は全て年期待洪水被害額である。次に、土地利用の変化と地盤沈下を加えたシナリオを加えると、2050年期と2100年期ともに360%以上も被害額が上昇することが示された。つまり、気候変動よりも地盤沈下・土地利用変化による被害額の増加が深刻である。

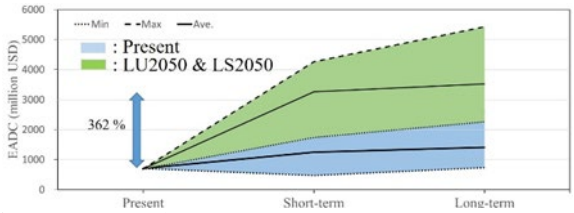

図4.4.6：現在および将来の洪水被害額の変化

③ 適応策の検討と費用対効果

上述した5つの適応策（グリーンインフラ(GI)、ガルーダプロジェクト(GP)、居住制限(RC)、浸透井戸(RW)、遊水地化（RRP)）に加えて、浸透井戸(RW)と遊水地(RRP)の組み合わせを加えた、6つの適応策の効果について、現在の気候・土地利用・地盤沈下の状態と、2050年の気候・土地利用・地盤沈下の状態に対する、被害軽減額の割合を算出した。求めた結果のまとめを**表4.4.1**に示す。もっとも軽減割合の大きい適応策は、遊水地(RRP)と浸透井戸(RW)の組み合わせであり、将来で36%の軽減となる。また、現在気候については住居制限(RC)の軽減率が大きい(33%)が、2050年期では遊水地(RRP)の効果が大きい(31.5%)。一方、グリーンインフラ(GI)の効果は低い（将来で2.6%）。大型プロジェクトとされるガルーダ防潮堤(GP)の効果もそれほど大きくはない（将来で11%）。

表4.4.1：各種適応策の現在と将来(2050年)の洪水被害軽減率[%]

	洪水被害軽減率 [%]	
適応策	Present	Future (Short-term)
GI 壁面屋上緑化	−2.1	−2.6
RW 浸透井戸	−8.6	−5.6
GP ガルーダプロジェクト	−16.4	−11.1
RRP 遊水池	−31.5	−33.2
RC 住居制限	−33.0	−29.0
RRP + RW	−34.1	−36.0

次に、それぞれの適応策の費用を考慮した費用便益比を図4.4.7に示す。グリーンインフラ(GI)、浸透井戸(RW)、ガルーダプロジェクト(Garuda)、遊水地(RRP)、居住制限(RC)それぞれの費用便益比は、0.004, 9.7, 0.006, 2.3, 1.4となり、浸透井戸の費用対効果がもっとも良いことが明らかになった。ガルーダ防潮堤(GP)は費用が膨大であるため、洪水対策のみの便益が低いことが原因であり、防潮堤域に建設されるリゾートや港湾の便益はここでは考慮されていない。また、グリーンインフラ(GI)についても気候緩和機能や景観などの便益は含まれていない。一方、他の大型なインフラに対して安価な浸透井戸の設置は大きな費用便益比を示した。浸透井戸は地盤沈下を止める効果もあり、さらに大きな費用便益比が期待できる。

以上、本研究では構築した洪水氾濫モデル、洪水被害額算定手法を用い、将来の地球温暖化、都市の拡張が洪水被害額に与える影響を定量的に評価した。更に6つの適応策を検討することで、どの適応策の費用便益比が高いかなどを評価することができた。

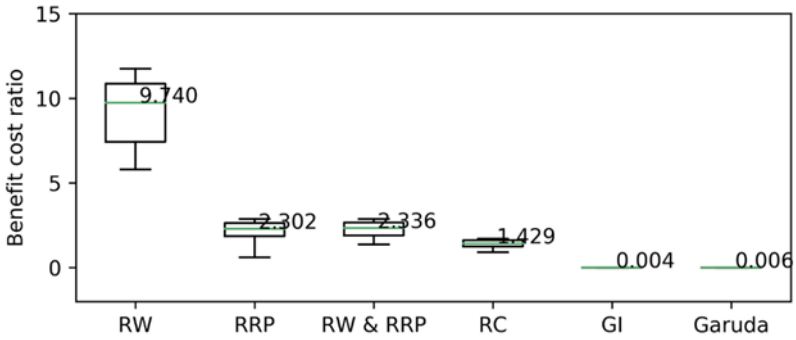

図4.4.7：各種適応策の費用便益比。

(c) 緩和・適応総合実施による都市健康影響評価と費用便益分析に関する研究

① ジャカルタの都市健康影響評価

LIME2やGlobal Burden of Diseaseなどを参照し、1死亡あたりのDALYを整理した。東南アジアの予測死亡数に、その値を乗算することで、気候変動（SRESシナリオA1b）に伴う2030年・2050年のDALYを算出した。死亡数で評価した場合（WHO報告書）、直接暑熱が最も大きく、続いて低栄養、そしてマラリア・デング熱・下痢症はさほど大きくなかった。しかし、DALYで被害量を評価すると、低栄養が圧倒的に大きい。一方、直接暑熱はマラリアより小さい。これは、低栄養のDALY値が106.1年と大きいのに対し、直接暑熱は2年と小さいためである。低栄養のDALYが大きいのは、低栄養が年少者に多く発生し生命を奪うこと、さらに1件の死亡の背後に複数の死亡に至らない症例があると考え、それを見込んだDALY値となっているためである（LIME2の値）。一方、同じくLIME2にある直接暑熱は、もともと心疾患や呼吸器系疾患を患っている人々に発生し、彼らの余命は長くないと考えられているためである。ただし、直接暑熱のDALY値は、主に先進国を対象とした疫学研究から求められているため、途上国では年少者にも多く発生し、DALY値は大きくなると考えられる。また、死亡に至らない症例数を考慮していないことを単純に解釈すると、低栄養が重要な疾病に見えるが、上記のDALY値の設定に関する問題、およ

び、直接暑熱影響以外は公衆衛生に大きく依存し、緩和策・適応策が導入されずとも経済発展とともに公衆衛生が改善されれば減少が見込まれるため（実際、直接暑熱影響以外のすべての疾病において2050年の方が2030年より値が小さい）、本サブテーマでは、直接暑熱影響に着目する。他方、より詳細な統計が存在する個別疾病も存在した。たとえばマラリアである。WHOのWorld Malaria Report 2014によると、インドネシアでは毎年数百人程度の死者が発生している。しかし、隔年の数値に大きな変動が見られ、数値そのものの信憑性が高くないこと、また都市部のジャカルタの公衆衛生を踏まえるとマラリアの発生は見込まれにくいことから、詳細な解析は実施しないこととした。

死亡率を縦軸として、被害関数を開発した。至適気温(OT)の違いが暑熱障害に影響すると考えると、東京に比べてジャカルタは熱中症になりにくいといえる。熱ストレス死亡に関する全球スケールの結果と地域スケールの結果を並べて示す(**図4.4.8**)。全球スケールの結果は0.5度単位であるが、その格子は、ジャカルタ市どころかジャカルタ都市圏よりもさらに大きくなっていることがわかる。そのため、都心も郊外も同じだけの被害が発生している。一方で、地域スケールの結果は、人口密度に応じて被害量の濃淡がはっきり出ている。全体の影響を把握するだけであれば全球スケールで評価される概ねの数値で十分であるかもしれないが（ただし都市効果は含まれない）、適応策を立案するにあたっては、具体的にどこで被害が発生しているのかを明確にする必要があり、地域スケールでの評価は、それに叶っていると考えられる。

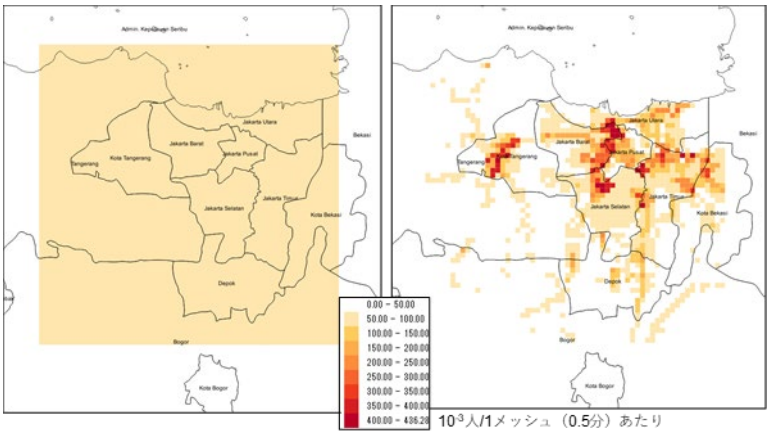

図4.4.8：全球スケールおよび地域スケールでの暑熱ストレス分布

PSQIの構成要素の平均得点とPSQIから算出される睡眠困難罹患率は、東京に比べて格段に睡眠困難罹患率が小さい。ここで示す睡眠困難罹患率は気温の上昇に関係なく睡眠困難である人の割合であるため、もともとの睡眠困難罹患率が小さいジャカルタの方が、東京よりも気温の上昇を受けやすい可能性があることがわかった。毎日の、疫学調査から得られたSQIDSの睡眠困難罹患率を被説明変数に、OGIMETから取得した22時の気温を説明変数として、3次の平滑化スプライン回帰により、被害関数を求めた。また、疲労に関しても、DCFの睡眠困難率を被説明変数に、OGIMETから取得した日最高気温を説明変数として、3次の平滑化スプライン回帰により、被害関数を求めた。上述の被害関数と人口分布に基づいた、現状のジャカルタにおける睡眠困難の損失余命の分布は人口密度に大きく依存するため、夜間人口が大きくなる地域で多く発生する一方、昼間人口は大きいが夜間人口はそれほどではない都心での発生量は少ない。費用便益分析の観点からは、被害が集中する格子で適応策を導入した方が大きな健康影響改善効果が見られると考えられる。

② 都市健康影響評価のための数値シミュレーションの開発

ジャカルタにおける5種類の用途の建物を対象に、標準的な建物構造（天井高、窓面積率、壁体構造など）、内部発熱（居住スケジュール、空調スケジュールなど）のデータを整備した。壁体構造が特徴的であり、日本の標準的建物（オフィス用標準問題や住宅用標準問題）と異なり、断熱材が挿入されていないことがわかった。そのため、日本に比べて適応策の導入効果が大きくなる可能性がある。

③ ジャカルタの都市健康に対する適応策の導入効果の評価

インテンシブ屋上緑化は1日を通して0.05℃以上の気温低下が見込める一方、エクステンシブ屋上緑化による気温低下は見込めなかった。高反射率塗料は夜間の気温低下はないものの、日中はインテンシブ屋上緑化に準ずる気温低下が見込めた。エクステンシブ屋上緑化は植生の蒸発散が見込めないためと考えられる。空調エネルギー消費量に関しても、インテンシブ屋上緑化・高反射率塗料の導入効果は認められる一方、エクステンシブ屋上緑化の導入効果は小さいことがわかる。私的項目（導入者視点のみ）に限定したライフサイクルコスト(LCC)の結果を**図4.4.9**に示す。屋上緑化は、便益 < 費用となる一方、高反射率塗料は、便益 > 費用となった。これは、屋上緑化は形態にかかわらず、導入にも運用・維持にも多額の費用を要するためである。高反射率塗料は（相対的に）更新費用の占める割合が大きいが、導入、運用・維持、更新ともに低コストであるため、私的にも便益が正となることがわかった。

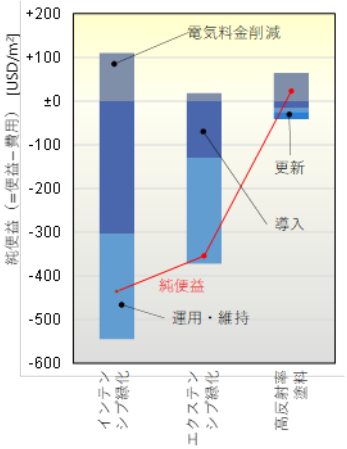

図4.4.9：40年間のライフサイクルコスト（私的項目のみ）

疫学調査の結果を再解析し、エアコンを使用していないグループとエアコンを使用したグループの22時気温と睡眠困難罹患率の関係を求めた。エアコンを使用すると、気温が上昇しても、睡眠困難罹患率の上昇が大きく抑制される。同様に、エアコン有り無し別の日最高気温と疲労罹患率の関係では、疲労に関してはエアコン導入の効果はやや小さいが、一部の気温区間を除き、エアコンの仕様は疲労を抑制しているという結果が得られた。エアコン使用率の上昇に伴い、室外機からの排熱が増大するため、どのシナリオにおいても気温が上昇してしまう。エアコンの使用率が向上すると、睡眠困難は削減される。いずれのシナリオでも4割程度削減された。その効果は大きく、たとえば人口が増加し気温も上昇し2050年のRCP2.6+SSP1の社会でも、エアコン使用率を増加させると、現在の社会よりも、ジャカルタ都市圏の睡眠困難に伴う健康影響を削減できることがわかった。疲労（図省略）も削減されたが、ここでは疲労罹患率は昼間の気温（日最高気温）に影響されるとして評価しており、昼間のエアコン使用率の上昇幅は限定的に設定したため（現時点：4%→現在気候・RCP2.6+SSP1：23%、RCP8.5+SSP3：15%）、DALYの削減は最も大きいRCP2.6+SSP1シナリオでも800年にとどまった。最後に、統合評価結果を**図4.4.10**に示す。現在気候・2050年代のRCP8.5+SSP3シナリオ・2050年代のRCP2.6+SSP1のどのシナリオにおいても、被害額の観点からは、睡眠困難・疲労の軽減効果は、電力消費に伴う環境影響を上回ることがわかった。また、日本で一般的であるインバータエアコンを普及させると、電力消費増はやや抑えられた。一方、エアコン使用率を上昇させた住宅街区に限定し、現在気候シナリオにおいて、エアコン使用率の上昇に伴う悪影響を緩和策で軽減する方法についても検討した。その結果、エアコン使用率向上による健康被害軽減効果は、製造～使用～廃棄によって発生する環境影響と比べて大きいことがわかった。また、断熱材や屋上緑化よりもインバータ化が悪影響の軽減には効果的であり、インバータ化をおこなった場合、ネットでの被害軽減効果を約1.3倍に拡大できる。政府の適応策としての観点からのエアコンを位置づけて分析した結果を**表4.4.2**に示す。まず、高効率化（インバータ化+COPの向上）は、私的範囲で健康影響を含まない便益が費用を上回るため、政府が補助金を支出せずとも自律的に導

入が進むと評価された。一方、使用率の向上については、私的範囲では便益が費用を下回り、政府の補助金が期待された。しかし、社会的純便益のみに着目して政府が補助率を設定した場合、補助率は最大でも0.021%にとどまることわかった。なお、ここでは健康影響の削減という便益のみではなく環境影響の増大を含んだ純便益を対象とし、補助金もエアコンではなく電気代に対しても設定しているため、直接的な便益や導入しか着目しない費用便益分析と比較すると厳しい設定での結果であることに留意する必要がある。

電気自動車が2050年代のジャカルタ都市圏全域に普及した場合をCM-BEMで評価したところ、11時頃と20時頃の気温を低下させた。2050年代のRCP8.5+SSP3シナリオにおける14時と20時の月平均低下効果は、特に20時のピークは大きく、最大0.95℃にも達した。電気自動車の気温低下効果は被覆対策の導入面積が限られる都心街区、被覆対策の気温低下効果が望みにくい20時の気温を低下させることから、都市圏の中で、電気自動車は被覆対策と相補的な関係にあることも分かった。また、ヒートポンプ型給湯機の結果では、住宅街区において5時の気温を著しく低下させ、その低下量は最大1.2℃にも達した。さらに地上緑化と組み合わせると、地上緑化が大気を安定させるため、双方の線形和以上の効果を発揮することがわかった。

被覆対策による気温低下量は限定的で、都市部では導入量も限られるため、エアコン、電気自動車、ヒートポンプ型給湯機といった適応策との併用が重要であることがわかった。これらは都市型適応策と名付けることができる。

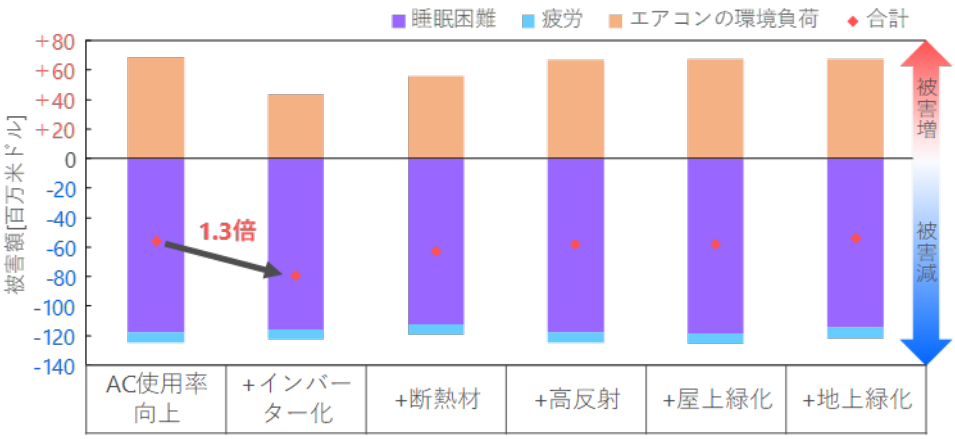

図4.4.10：住宅街区における統合評価結果（現在気候の基準シナリオからの差分値）

表4.4.2：エアコン導入補助金の費用便益分析

		被害軽減額 [USD]	1台あたりエアコン代 [USD]	1台あたり使用電気代 [USD]	対象台数	総支出額 [USD]	B/C=1となる政府の補助率
現在	(1)使用率向上	17,000,000	200	4,320	54,435,448	246,048,223,152	0.007%
	(2)高効率化	3,500,000	600	-1,507	9,072,575	-8,228,825,162	（自律的）
RCP8.5 +SSP3	(1)使用率向上	36,500,000	200	4,473	54,435,448	254,376,846,635	0.014%
	(2)高効率化	3,666,667	600	-1,454	9,072,575	-7,747,978,708	（自律的）
RCP2.6 +SSP1	(1)使用率向上	56,000,000	200	4,626	54,435,448	262,705,470,118	0.021%
	(2)高効率化	3,833,333	600	-1,620	9,072,575	-9,254,026,092	（自律的）

（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

(a)　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4.5.1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。

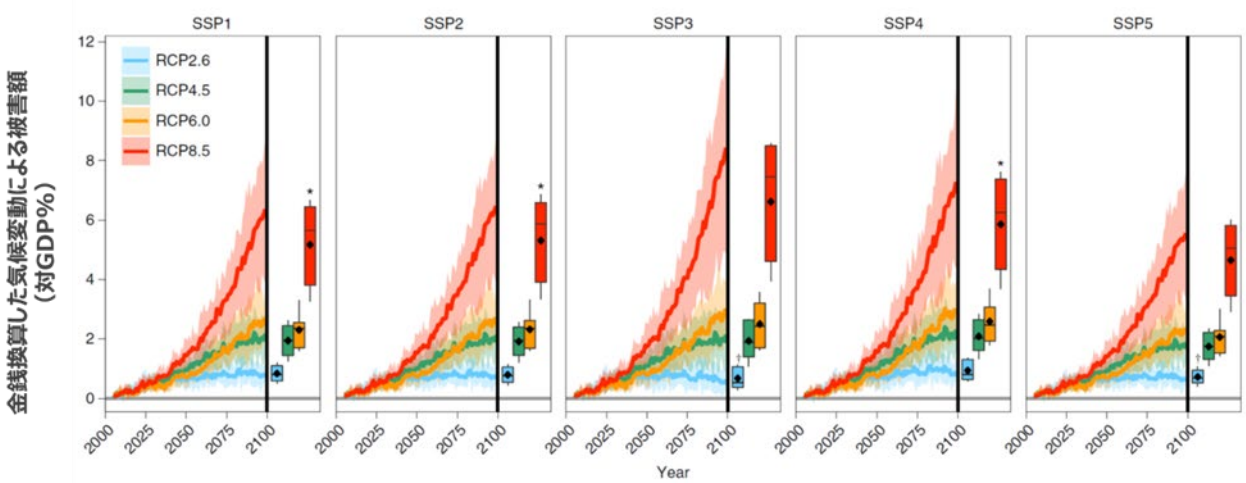

図4.5.1：気候変動による被害額（９分野の合計）

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。

(b)　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℃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。

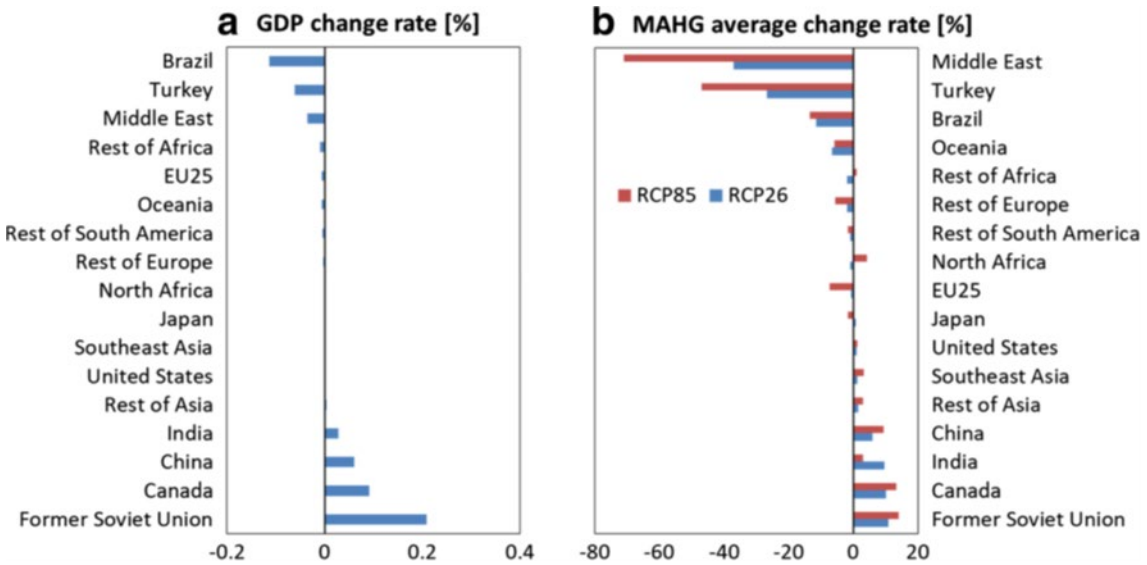

図4.5.2：aは水力発電賦存量の変動を考慮したことによる各地域のGDP変化率(%)を示したもの。正の地域では変動を考慮することにより、GDPが増加する。bは水力発電賦存量の現状からの変化率(%)を示したもの。正の地域では気候変動による降水量の増加により、賦存量が増加する

(c)　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）で見てみると、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。
(d)　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、4)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、5)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、が指摘された。

(e)　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。

<u>国際・国内ガバナンス</u>

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ことが示された。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、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。

<u>資金メカニズム</u>

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

定量的基礎資料として、水関連災害、穀物生産、健康分野、沿岸地域という4つの主要な領域を対象に、地球規模の気候変動影響と、実施可能と想定される適応策の費用便益の検討を実施した。気候変動に適応することが難しいホットスポットとなる地域を同定し、極端シナリオ下において特に適応の限界が危惧される地域を世界で初めて示すことに成功した。また、今後の生態系サービス変化の将来予測、全球的及び局所的な緩和策と適応策の両得及び得失相反の関係を明らかにした。特に、全球の浅海生態系が年間約50億トンのCO2を吸収することや、サンゴの造礁能力が海面上昇に追随し得る点が推定され、土地改変による影響を考慮しても、気温上昇を 2 ℃以内に抑えることが生物多様性の損失を食い止める上で有効であることが明らかにされた点は、書籍やトップクラスの論文による発表につながった。さらに発展著しくマルチストレスに曝されるアジアのメガシティにおいて緩和を考慮した適応策の事例研究を実施し、プロジェクト全体の中のグローバルな評価における地域検証研究を行った。メガシティの地域検証研究を通じて、世界の大都市における気候変動とヒートアイランドの2つの温暖化を適切に反映した都市気候変動予測を世界で初めて確立し、都市特有の適応策を定量的に評価する費用便益分析の枠組みを開発した。特に、これまでほとんど無視されてきた都市健康分野における具体的かつ導入しやすい適応策をLCAも結び付けた評価を公表し、今後の合理的な適応策設計研究に繋がる道筋を示した。これらの最先端研究を緩和策と適応策の統合的かつ定量的な評価に組み込み、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した。複数の異なる課題に、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不確実性への寄与も定量化した科学的知見がNature系論文を通じて発表された。さらに世界、各国、日本、地方自治体、個人としてどのように緩和策と適応策のバランスをとりつつ気候変動対策に取り組むのが効果的であり効率的であるかを様々な指標に照らして多面的に評価し、各テーマの成果を統合して世界で初めて全球における適応コストを出せるようになった。AIMやLCAにおいてもこれまで考慮されていなかった部門の計算が実施されるなど、まさに最先端の結果を最終的に取りまとめられたことが科学的に意義深い。

（２）環境政策への貢献

気候変動による被害の増加分を現在気候のレベルまで低減するためには、最も温暖化が進むシナリオでは世界全体でGDPの0.15％に相当する費用を適応策に毎年投資する必要があるが、地域によっては適応によって被害が大幅に減らせるものの、適応の限界があるために気候変動による被害の増加をゼロにはできず、適応には可能性と限界がある。気候変動の緩和策や他国の適応策推進支援、複数のSDGs達成に資する環境政策や複合災害を防ぐ政策に貢献する貴重な情報である。さらに生態系サービスの一つである浅海生態系の炭素収支の定量化は今後のIPCC等でのブルーカーボンの評価基準作りへの反映に貢献し、国際基準が確立すれば、例えば既に本研究成果に基づく横浜市のブルーカーボン事業をパリ協定の緩和策として評価できるようになる。一方、都市域の気候変動に伴う健康影響のうち直接暑熱影響は経済発展にかかわらず増大すると予測されているが、LCA評価では、睡眠困難の軽減などの環境影響の削減が製造や使用に伴う環境影響の増大を上回り、エアコンは社会で純便益をもたらす可能性が高く、適応策としてのエアコンの評価が環境政策策定に貢献する。最先端の研究を組み込んだ主要9分野について推計された21世紀末の世界全体での温暖化による経済的影響は、将来の温室効果ガス排出量や社会的な状況の違いによって、世界全体のGDPの0.8％～6.6％と大きな幅を持ち、温室効果ガスの排出削減や社会経済状況の改善といった我々人類が選択しうる要因が将来の温暖化によって生じる被害の大きさに対して、大きな影響力を持つことを意味し、温暖化による被害を最小限に抑えるには、温室効果ガス排出削減を目標とした取り組みだけでなく、包括的な社会変革が重要である。日本が年間排出している約10億tの二酸化炭素の削減で、地球全体での平均気温の上昇を約0.0005℃分抑制し、100年間で130～200万人・年分の健康需要の損失と、全世界の30万種の維管束植物のうち1～3種の絶滅を回避できる。それを金銭換算すると、100年間で約5～9兆円、年間500～900億円相当の損失を回避でき、このような統合的かつ定量的な評価を用いた緩和策、影響・適応策費用推計と多面的な評価は、行政が気候変動対

策の適切な計画立案に際して参照することに貢献する。

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＞

（テーマ1）

1) Kiguchi, M., J. Matsumoto, S. Kanae, and T. Oki: Front. Earth Sci., 4:42 (2016) doi:10.3389/feart.2016.00042.
Pre-monsoon rain and its relationship with monsoon onset over the Indochina Peninsula.
2) Shin, K.J., R. Nakakido, S. Horie, and S. Managi: PLOS ONE 11(3): e0151928 (2016)
The Effects of Community Attachment and Information Seeking on Displaced Disaster Victims' Decision Making.
3) Matsuki, Y. and S. Managi: Singapore Economic Review 61 (1): 196-217 (2016)
The Impact of Natural Disasters on Manufacturing: Plant-level Analysis for the Great Hanshin-Awaji Earthquake.
4) Onuma, H., K.J. Shin and S. Managi: International Journal of Disaster Risk Reduction 21: 148-158 (2017)
Household Preparedness for Natural Disasters: Impact of disaster experience and implication for future disaster risks in Japan.
5) Kumar, S. and S. Managi: Environment and Development Economics 21 (1): 109-133 (2016)
Carbon Sensitive Productivity, Climate and Institutions.
6) Sakamoto, T., K. Takase, R. Matsuhashi, and S. Managi: Energy Policy 98: 274-289 (2016)
Baseline of the Projection under a Structural Change in Energy Demand.
7) Fujii, H., and S. Managi: Ecosystem Health and Sustainability 2(10) (2016)
An Evaluation of Inclusive Capital Stock for Urban Planning.
8) Fujii, H. and S. Managi: Technological Forecasting & Social Change 112: 293-302 (2016)
Research and Development Strategy for Environmental Technology in Japan: A Comparative Study of the Private and Public Sectors.
9) Islam, M., K. Kotani, and S. Managi: Economic Analysis and Policy 49: 117-133 (2016)
Climate Perception and Flood Mitigation Cooperation: A Bangladesh Case Study.
10) Ono, Y., Y.-D. Kim, and N. Itsubo: Sustainability, 9(8), 1351 (2017) doi:10.3390/su9081351.
A Country-Specific Water Consumption Inventory Considering International Trade in Asian Countries Using a Multi-Regional Input-Output Table.
11) 野村実広、村上道夫、小野雄也：生産研究、l69(3)、171-175 (2017)
東京都における気温上昇と犯罪件数増加の関係.
12) 八坂慶仁、正畠宏一、伊坪徳宏：日本 LCA 学会誌、13(2)、164-171 (2017)
自動車のライフサイクル温室効果ガスのメタ分析.
13) Tang, L., M. Higa, N. Tanaka, and N. Itsubo: Int J Life Cycle Assess doi: 10.1007/s11367-017-1319-6 (2017)
Assessment of global warming impact on biodiversity using the extinction risk index in LCIA: A case study of Japanese plant species.
14) Kurniawan, R., and S. Managi: Sustainable Development 25 (6): 639-654 (2017)
Sustainable Development and Performance Measurement: Global Productivity Decomposition.
15) Ikeda, S., T. Tamaki, H. Nakamura, and S. Managi: Sustainability Science 12(6): 991-1006 (2017)
Inclusive Wealth of Regions: The Case of Japan.
16) Jayarathna1, L., R. Rajapaksa, S. Managi, W. Athukorala, B. Torgler, M.A. Garcia-Valiñas, and C. Wilson : Sustainable Cities and Society 32: 67-77 (2017)

A GIS based Spatial Decision Support System for Analyzing Residential Water Demand: A Case Study in Australia.

17) Rajapaksa, D., M. Zhu, B. Lee, V. Hoang, C. Wilson, and S. Managi: Land Use Policy 69: 317-325 (2017)
The Impacts of Flood Dynamics on Property Values?

18) Horie, S., and S. Managi: Journal of Regional Science 5(7): 840-857 (2017)
Why Do People Stay in or Leave Fukushima?

19) Tsurumi, T. and S. Managi: Journal of Happiness Studies 18(5):1275-1303 (2017)
Monetary Valuations of Life Conditions in a Consistent Framework: the Life Satisfaction Approach.

20) Halkos, G., and S. Managi: Environmental and Resource Economics 68(3): 753-775 (2017)
Measuring the Effect of Economic Growth on Countries' Environmental Efficiency: A Conditional Directional Distance Function Approach.

21) Kimura, M., K. Noda, T. Makino, H. Yamagata, S. Douangsavanh, K. Keokhamphui, H. Hamada, M. Kiguchi, T. Iida, and K. Oki: Paddy and Water Environment, 16, 519-531 (2018) doi:10.1007/s10333-018-0645-z
Seasonal characteristics of surface water quality in a wastewater catchment system of an urbanizing basin.

22) Tang, L., Y. Furushima, Y. Honda, T. Hasegawa, and N. Itsubo: Int J Life Cycle Assess doi: 10.1007/s11367-018-1561-6 (2018)
Estimating human health damage factors related to CO2 emissions by considering updated climate-related relative risks.

23) Urata, T., T. Yamada, N. Itsubo, and M. Inoue: Computers & Industrial Engineering 113, 779-792 (2018)
Supply chain network design and Asian analysis with material-based carbon emissions and tax.

24) Khanal, U., C. Wilson, S. Managi, B. Lee, V. Hoang, and R. Gifford: Environmental Economics and Policy Studies 20,2 (2018)
Psychological Influence on Survey Incentives: Valuing Climate Change Adaptation Benefits in Agriculture.

25) Rajapaksa, D., M. Islam, and S. Managi: Sustainability, 10, 4 (2018)
Pro-Environmental Behavior The Role of Public Perception in Infrastructure and the Social Factors for Sustainable Development.

26) Kurniawan, R., Y. Sugiawan, and S. Managi: Journal of Cleaner Production, 201 (2018)
Cleaner Energy Conversion and Household Emission Decomposition Analysis in Indonesia.

27) Kurniawan, R., and S. Managi: Sustainable Development 26: 596-605 (2018)
Measuring Long-Term Sustainability with Shared Socioeconomic Pathways using an Inclusive Wealth Framework.

28) Nozawa, W., T. Tamaki, and S. Managi: Journal of Cleaner Production, 186 (2018)
On Analytical Models of Optimal Mixture of Mitigation and Adaptation Investmentst.

29) Tamaki, T., W. Nozawa, S. Managi: Applied Energy, 205, 428-439 (2018)
Evaluation of the Ocean Ecosystem: Climate Change Modelling with Backstop Technologies.

30) Du, G., L. Yuan, K.J. Shin, and S. Managi: International Journal of Geographical Information Science 32 (4): 757-782 (2018)
A Comparative Approach to Modeling Multiple Urban Land Use Changes using Tree-based Methods and Cellular Automata: The Case of Greater Tokyo Area.

31) Yuan, L., K. Shin, and S. Managi: Ecological Economics, 153 (2018)

Subjective Well-being and Environmental Quality: The Impact of Air Pollution and Green Coverage in China.
32) 玉置哲也、野澤亘、馬奈木俊介：土木学会論文集、74.2 (2018)
地球温暖化による海洋環境への影響と新技術の導入.
33) Yokohata, T., K. Tanaka, K. Nishina, K. Takahashi, S. Emori, M. Kiguchi, Y. Iseri, Y. Honda, M. Okada, Y. Masaki, A. Yamamoto, M. Shigemitsu, M. Yoshimori, T. Sueyoshi, K. Iwase, N. Hanasaki, A. Ito, G. Sakurai, T. Iizumi, M. Nishimori, W.-H. Lim, C. Miyazaki, A. Okamoto, S. Kanae, and T. Oki: Earth's Future, 7, 2 (2019)
Visualizing the interconnections among climate risks.
34) Karkour, S., Y. Ichisugi, A. Abeynayaka, and N. Itsubo: Sustainability 12 (5), 2002 (2019)
External-Cost Estimation of Electricity Generation in G20 Countries: Case Study Using a Global Life-Cycle Impact-Assessment Method.
35) Nakamura, K., and N. Itsubo: Water Resources and Industry 21, 100108 (2019)
Carbon and water footprints of pig feed in France: Environmental contributions of pig feed with industrial amino acid supplements.
36) Ichisugi, Y., T. Masui, S. Karkour, and N. Itsubo: Sustainability 11 (23), 6875 (2019)
Projection of National Carbon Footprint in Japan with Integration of LCA and IAMs.
37) Kondo, R., Y. Kinoshita, T. Yamada, N. Itsubo, and M. Inoue: Technologies and Eco-innovation towards Sustainability II, 301-313 (2019)
Effects of Carbon Tax on Low-Carbon and Economic Supplier Selection for Asian Assembly Product.
38) Ito, N., K. Takeuchi, and S. Managi: Economic Analysis and Policy, 61 (2019)
Do Battery-Switching Systems Accelerate the Adoption of Electric Vehicles? A Stated Preference Study.
39) Hein, W., C. Wilson, B. Lee, D. Rajapaksa, H. Moel, W. Athukorala, and S. Managi: Land Use Policy, 82 (2019)
Climate Change and Natural Disasters: Government Mitigation Activities and Public Property Demand Response.
40) Tsurumi, T., A. Imauji, and S. Managi: Kyklos, 72 (2019)
Relative Income, Community Attachment and Subjective Well-being: Evidence from Japan.
41) Roxburgh, N., D. Guan, K. Shin, W. Rand, S. Managi, R. Lovelace, and J. Meng: Global Environmental Change, 54(2019)
Characterising Climate Change Discourse on Social Media During Extreme Weather Events.
42) 堀江進也、馬奈木俊介：経済セミナー、706 (2019)
災害リスクとリスク管理.
43) Goeschl, T., and S. Managi: Economics of Disasters and Climate Change 3 (1): 3-21 (2019)
Public in-kind Relief and Private Self-insurance.
44) Rajapaksa, D., R. Gifford, B. Torgler, M. Garcia-Valiñas, W. Athukorala, S. Managi, and C. Wilson: Resources, Conservation & Recycling 149: 168-176 (2019)
Do Monetary and Non-monetary Incentives Influence Environmental Attitudes and Behavior? Evidence from an Experimental Analysis.
45) Tamaki, T., T. Okada, and S. Managi: Transportation Research Part D: Transport and Environment 67: 503-513 (2019)
Effect of Environmental Awareness on Purchase Intention and Satisfaction Pertaining to Electric Vehicles in Japan.
46) Fujii, H., and S. Managi: Technological Forecasting & Social Change 139:10-16 (2019)
Decomposition Analysis of Sustainable Green Technology Inventions in China.

47) Tamaki, T., W. Nozawa, and S. Managi: Carbon Balance and Management 14 (2019)
Controlling CO2 emissions for each area in a region: the case of Japan.
48) Supasri, T., N. Itsubo, S.H. Gheewala, and S. Sampattagul: Scientific Reports 10 (1), 1-13 (2020)
Life cycle assessment of maize cultivation and biomass utilization in northern Thailand.
49) Arai, R., M. Kiguchi, and M. Murakami: J. Happy Studies (forthcoming)
A quantitative estimation of the effects of measures to climate change on well-being: focus on non-use of air conditioners as a mitigation measure.
50) 八坂慶仁、正畠宏一、伊坪徳宏:日本 LCA 学会誌、(投稿中)
発電のライフサイクル温室効果ガスのメタ分析.
51) Maruta, S., A. Kitsuki, and S. Managi: Economics of Disasters and Climate Change (forthcoming)
Information Recognition Matters for Household Preparedness for Natural Disasters.
52) Nakamura, H., and S. Managi: Journal of Cleaner Production 256 (forthcoming)
Effects of subjective and objective city evaluation on life satisfaction in Japan.
53) Kumar, S., S. Managi, R. K. Jain: Energy Economics 86 (forthcoming)
CO2 Mitigation Policy for Indian Thermal Power Sector: Potential Gains from Emission Trading.

(テーマ 2)

1) A.S. Mori, Environmental controls on the causes and functional consequences of tree species diversity. J Ecol 106, 113-125 (2018).
2) Y. Kobayashi, K.-i. Okada, A. S. Mori, Reconsidering biodiversity hotspots based on the rate of historical land-use change. Biol Conserv 233, 268-275 (2019).
3) Sommerfeld, A et al., Patterns and drivers of recent disturbances across the temperate forest biome. Nat Commun 9, 4355 (2018).
4) Y. Kobayashi, A. S. Mori, The Potential Role of Tree Diversity in Reducing Shallow Landslide Risk. Environmental management 59, 807-815 (2017).
5) T. INOUE, A. KHOZU, and A. SHIMONO: Tree Physiol., DOI: 10.1093/treephys/tpz088 (2020), Tracking the route of atmospheric nitrogen to diazotrophs colonizing buried mangrove roots.
6) H. Ohashi, T. Hasegawa, A. Hirata, S. Fujimori, K. Takahashi, I. Tsuyama, K. Nakao, Y. Kominami, N. Tanaka, Y. Hijioka and T. Matsui: Nature Communications, 10, 5240 (2019) Biodiversity can benefit from climate stabilization despite adverse side effects of land-based mitigation.
7) M. Hotta, I. Tsuyama, K. Nakao, M. Ozeki, M. Higa, Y. Kominami, T. Hamada, T. Matsui, M. Yasuda and N. Tanaka: BMC Ecology, 19, 23 (2019) Modeling future wildlife habitat suitability: serious climate change impacts on the potential distribution of the Rock Ptarmigan Lagopus muta japonica in Japan's northern Alps.
8) Y. AKAJI, T. INOUE, H. TOMIMATU, A. KAWANISHI: Trees, DOI 10.1007/s00468-019-01840-7 (2019), Photosynthesis, respiration, and growth patterns of Rhizophora stylosa seedlings in relation to growth temperature.
9) H. YAMANO, T. INOUE, H. ADACHI, K. TSUKAYA, R. ADACHI and S. BABA: Estuar. Coast.and Shelf. Sci., 220(vol), 166-175 (2019), Holocene sea-level change and evolution of a mixed coral reef and mangrove system at Iriomote Island, southwest Japan.
10) T. INOUE, A. SHIMONO, Y. AKAJI, S. BABA, A. TAKENAKA amd H.T. Chan: Annal. Bot., DOI: 10.1093/aob/mcz164J, (2019), Mangrove-diazotroph relation on root, tree and forest scales-Mangrove plants create high soil nitrogenase activity with unique diazotrophic communities.
11) Saderne, V., N. R. Geraldi, P. I. Macreadie, D. T. Maher, J. J. Middelburg, O. Serrano,

H. Almahasheer, A. Arias-Ortiz, M. Cusack, B. D. Eyre, J. Fourqurean, H. Kennedy, D. Krause-Jensen, T. Kuwae, P. Lavery, C. E. Lovelock, N. Marba, P. Masqué, M. A. Mateo, I. Mazarrasa, K. J. McGlathery, M. P. J. Oreska, C. J. Sanders, I. R. Santos, J. M. Smoak, T. Tanaya, K. Watanabe and C. M. Duarte: Nature Communications, 10.1038_s41467-019-08842-6 (2019) Role of carbonate burial in “Blue Carbon” ecosystems budgets.

12) Watanabe, W., Seike, K, Kajihara, R., Montani, S., Kuwae, T: Global Change Biology, v25, 1063-1077 (2019) Relative sea-level change regulates organic carbon accumulation in coastal habitats.

13) Okada, T., Y. Mito, E. Iseri, T. Takahashi, T. Sugano, Y. Akiyama, K. Watanabe, T. Tanaya, H. Sugino, K. Tokunaga, T.Kubo and T. Kuwae: PeerJ, 6:e6234 (2019) Method for the quantitative evaluation of ecosystem services in coastal regions.

14) Macreadie, P. I., , A. Anton, J. A. Raven, N. Beaumont, R. M. Connolly, D. A. Friess, J. J. Kelleway, H. Kennedy, T. Kuwae, P. S. Lavery, C. E. Lovelock, D. A. Smale, E. T. Apostolaki, T. B. Atwood, J. Baldock, T. S. Bianchi, G. L. Chmura, B. D. Eyre, J. W. Fourqurean, J. M. Hall-Spencer, M. Huxham, I. E. Hendriks, D. Krause-Jensen, D. Laffoley, T. Luisetti, N. Marbà, P. Masque, K. J. McGlathery, J. P. Megonigal, D. Murdiyarso, B. D. Russell, R. Santos, O. Serrano, B. R. Silliman, K. Watanabe, and C. M. Duarte: Nature Communications, 10(1), 1-13, (2019) The future of Blue Carbon science.

15) 桑江朝比呂・吉田吾郎・堀正和・渡辺謙太・棚谷灯子・岡田知也・梅澤有・佐々木淳: 土木学会論文集B2（海岸工学）, 75, 10-20 (2019). 浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計

16) Kadowaki K, Nishijima S, Kéfid S, Kameda KO, Sasaki T; Ecological Indicators 85:991-998 (2018) Merging community assembly into the regime-shift approach for informing ecological restoration. Ecological Indicators 85:991-998. DOI:10.1016/j.ecolind.2017.11.035

17) Oita A, Nagano I, Matsuda H: Ambio (Springer) 47:318-326 (2018/3) Nitrogen footprint of food consumption reduced by balanced Japanese diet. Ambio (Springer) DOI:10.1007/s13280-017-0944-4

18) T.INOUE T: T.KUWAE and M.HORI eds. Blue carbon in Shallow Coastal Ecosystems: Carbon Dynamics, Policy, and Implementation, Springer, pp.373(2018), Carbon Sequestration in Mangroves.

19) 熊野直子、田村誠、井上智美、横木裕宗：土木学会論文集G（環境）、 74, 5（巻, 号）, I_395-I_404(2018), フィリピン・ベトナムにおけるグリーンインフラの海面上昇への適応評価と費用効果

20) 田多一史・中山恵介・桑江朝比呂: 土木学会論文集B2-74（海岸工学）, I_1237―I_1242 (2018) アマモ場におけるCO_2分圧モデルの開発.

21) Tokoro, T and T. Kuwae: Frontiers in Marine Science, 5:286 (2018) A new procedure for post-processing eddy-covariance data to better quantification of atmosphere-aquatic ecosystem CO_2 exchange.

22) Tanaya, T., K. Watanabe, S. Yamamoto, C. Hongo, H. Kayanne and T. Kuwae: Biogeosciences,15, 4033-4045 (2018) Contributions of the direct supply of belowground seagrass detritus and trapping of suspended organic matter to the sedimentary organic carbon stock in seagrass meadows.

23) 田多一史・中山恵介・駒井克昭・Jeng-Wei TSAI・佐藤之信・桑江朝比呂: 土木学会論文集B3-74（海洋開発）, I_144-I_149 (2018) 成層を考慮したアマモ場における溶存無機炭素の変動解析.

24) A. Hirata, K. Nakamura, K. Nakao, Y. Kominami, N. Tanaka, H. Ohashi, T.K. Takano, W. Takeuchi and T. Matsui: PLOS ONE, 12, e0182837 (2017) Potential distributions of pine wilt disease under future climate change scenarios.
25) H. YAMANO, H.KAYANE, T.YAMAGUCHI, T.INOUE, Y. MOCHIDA, S. BABA: Quaternary Research, 88(3), 400-408, (2017), Revisiting late Holocene sea-level change from the Gilbert Islands, Kiribati, west-central Pacific Ocean.
26) 田多一史，所立樹，渡辺謙太，中山恵介，桑江朝比呂：土木学会論文集B2-73（海岸工学），I_1297- I_1301（2017）都市型浅海域における海水中CO2分圧の日周変化.
27) 中山恵介，駒井克昭，R. W. Elner，桑江朝比呂：土木学会論文集B3-73（海洋開発），I_618-I_623（2017） Roberts Bank tidal flatにおける干潟内流動と塩分濃度.
28) 岡田知也，三戸勇吾，高橋俊之，高濱繁盛，秋山吉寛，黒岩寛，渡辺謙太，棚谷灯子，杉野弘明，徳永佳奈恵，久保雄広，桑江朝比呂：土木学会論文集B2-73（海岸工学），I_1561- I_1565（2017） 干潟健全度指数と経済的価値による干潟のサービスの統合的評価手法.
29) 中山恵介，中西佑太郎，中川康之，茂木博匡，田多一史，桑江朝比呂：土木学会論文集B3-73（海洋開発），I_821-I_826（2017） 波・流れ場とアマモの連成モデルの構築.
30) Oita A, Malik A, Kanemoto K, Geschke K, Nishijima S, Lenzen M: Nature Geoscience. 9:111-115 (2016/2) Substantial nitrogen pollution embedded in international trade. Nature Geoscience. 9:111-115 10.1038/ngeo2635
31) H. Ohashi, Y. Kominami, M. Higa, D. Koide, K. Nakao, I. Tsuyama, T. Matsui and N. Tanaka: Ecology and Evolution, 6, 7763-7775 (2016) Land abandonment and changes in snow cover period accelerate range expansions of sika deer.
32) AKHAND, A., A. CHANDA, S. MANNA, S. DAS, S. HAZRA, R. ROY, S. B. CHOUDHURY, K. H. RAO, V. K. DADHWAL, K. CHAKRABORTY, K. M. G. MOSTOFA, T. TOKORO, T. KUWAE, and R. WANNINKHOF: Geophysical Research Letters, 43, 11726-11735 (2016) A comparison of CO2 dynamics and air-water fluxes in a river-dominated estuary and a mangrove-dominated marine estuary
33) 田多一史，中山恵介，所立樹，渡辺謙太，桑江朝比呂：土木学会論文集B2-72（海岸工学），I_1363- I_1368（2016）. 湧水に着目したコムケ湖の水質変動特性の把握
34) 田多一史，中山恵介，所立樹，渡辺謙太，桑江朝比呂：土木学会論文集B3-72（海岸開発），I_982-I_987（2016）. 春季出水期におけるコムケ湖の水質変動解析と大気－海水間CO2フラックスの推定

（テーマ3）

1) M. Tanoue, R. Taguchi, S. Nakata, S. Watanabe, S. Fujimori and Y. Hirabayashi: Water Resource Research, 56, e2019WR026092. https://doi.org/10.1029/2019WR026092 (2019) Estimation of direct and indirect economic losses caused by a flood with long-lasting inundation: a case study of the 2011 Thailand flood
2) T. Iizumi and T. Sakai: Scientific Data, 7, 97, https://doi.org/10.1038/s41597-020-0433-7 (2020) The global dataset of historical yields for major crops 1981-2016
3) T. Iizumi and R. Wagai: Scientific Reports, 9, doi:10.1038/s41598-019-55835-y (2019) Leveraging drought risk reduction for sustainable food, soil and climate via soil organic carbon sequestration.
4) W. Kim, T. Iizumi, and M. Nishimori: Journal of Applied Meteorology and Climatology, 58, 1233-1244. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0174.1 (2019) Global patterns of crop production losses associated with droughts from 1983 to 2009.
5) B. Sultan, D. Defrance, and T. Iizumi: Scientific Reports, 9, 12834,

https://doi.org/10.1038/s41598-019-49167-0 (2019)
Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models.
6) S. Fujimori, T. Iizumi, T. Hasegawa, J. Takakura, K. Takahashi, and Y. Hijioka: Sustainability, 10, 3673, https://doi.org/10.3390/su10103673 (2018)
Macroeconomic impacts of climate change driven by changes in crop yields.
7) J.Y. Lee, H. Kim, A. Gasparrini, B. Armstrong, M.L. Bell, F. Sera, E. Lavigne, R. Abrutzky, S. Tong, M.D.S.Z.S. Coelho, P.H.N. Saldiva, P.M. Correa, N.V. Ortega, H. Kan, S.O. Garcia, J. Kysely, A. Urban, H. Orru, E. Indermitte, J.J.K. Jaakkola, N.R.I. Ryti, M. Pascal, P.G. Gooman, A. Zeka, P. Michelozzim, M. Scortichini, M. Hashizume, Y. Honda, M. Hurtado, J. Cruz, X. Sepso, B. Nunes, J.P. Texeira, A. Tobias, C. Íñiguezaf, B. Forsbergag, C. Åströmag, A.M. Vicedo-Cabrerab, M.S. Ragettliah, Y.L. Guo, B. Chen, A. Zanobetti, J. Schwartz, T.N. Dang, D.D. Van, F. Mayvaneh, A. Overcenco, S. Li and Y. Guo: Environment International, 131, https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105027 (2019)
Predicted temperature-increase-induced global health burden and its regional variability.
8) Y. Kim, H. Kim, A. Gasparrini, B. Armstrong, Y. Honda, Y. Chung, C.F.S. Ng, A. Tobias, C. Íñiguez, E. Lavigne, F. Sera, A.M. Vicedo-Cabrera, M.S. Ragettli, N. Scovronick, F. Acquaotta, B. Chen, Y.L. Guo, X. Seposo, T.N. Dang, M.D.S.Z.S. Coelho, P.H.N. Saldiva, A. Kosheleva, A. Zanobetti, J. Schwartz, M.L. Bell and M. Hashizumeet: Environmental Health Perspect, 127, 11, 117007, https://doi.org/10.1289/EHP4898 (2019)
Suicide and Ambient Temperature: A Multi-Country Multi-City Study.
9) B. Armstrong, F. Sera, A.M. Vicedo-Cabrera, R. Abrutzky, D.O. Åström, M.L. Bell, B. Chen, M.D.S.Z.S. Coelho, P.M. Correa, T.N. Dang, M.H. Diaz, D.V. Dung, B. Forsberg, P. Goodman, Y.L. Guo, Y. Guo, M. Hashizume, Y. Honda, E. Indermitte, C. Íñiguez, H. Kan, H. Kim, J. Kyselý, E. Lavigne, P. Michelozzi, H. Orru, N.V. Ortega, M. Pascal, M.S. Ragettli, P.H.N. Saldiva, J. Schwartz, M. Scortichini, X, Seposo, A. Tobias, S. Tong, A. Urban, C.D.L.C. Valencia, A. Zanobetti, A. Zeka and A. Gasparrini: Environmental health perspectives, 127, 9, 97007, https://doi.org/10.1289/EHP5430 (2019)
The Role of Humidity in Associations of High Temperature with Mortality: A Multicountry, Multicity Study.
10) W. Lee, Y. Chung, C.H. Michelle, D. Kim, Y. Honda, Y.L. Guo and H. Kim: Epidemiology, 30, S99-S106, doi:10.1097/EDE.0000000000000997 (2019)
Interactive Effect of Diurnal Temperature Range and Temperature on Mortality, Northeast Asia.
11) C. Ma, J. Yang, S.F. Nakayama and Y. Honda: Environment International, 127, 125-133, https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.025 (2019)
The association between temperature variability and cause-specific mortality: Evidence from 47 Japanese prefectures during 1972-2015.
12) J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Hijioka and Y. Honda: International Journal of Biometeorology, 63, 6, 787-800, https://doi.org/10.1007/s00484-019-01692-3 (2019)
Site-specific hourly resolution wet bulb globe temperature reconstruction from gridded daily resolution climate variables for planning climate change adaptation measures
13) L. Tang, Y. Furushima, Y. Honda, T. Hasegawa and N. Itsubo: The International Journal of Life Cycle Assessment, 24, 6, 1118-1128, https://doi.org/10.1007/s11367-018-1561-6 (2019)
Estimating human health damage factors related to CO2 emissions by considering updated climate-related relative risks.

14)　熊野直子、田村誠、横木裕宗：土木学会論文集G（環境），75(5), pp.I_339-I_350, (2019)
海面上昇に対するグリーンインフラによる適応効果と費用の検討
15)　土田晃次郎、田村誠、熊野直子、横木裕宗：土木学会論文集G（環境），75(5), pp.I_331-I_337, (2019)
海面上昇による浸水影響及び防護策による適応効果評価
16)　箭内春樹、熊野直子、田村誠、桑原祐史：土木学会論文集G（環境），75(5), pp.I_323-I_330, (2019)
全球堤防データを用いた浸水被害額推計に関する基礎的検討-東京湾および伊勢湾を対象として-
17)　西浦理、藤森真一郎、田村誠：土木学会論文集G（環境），75(5), pp.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
18)　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 and Y. Hijioka: Nature Climate Change, 9, 737-741, https://doi.org/10.1038/s41558-019-0578-6 (2019)
Dependence of economic impacts of climate change on anthropogenically directed pathways.
19)　M. Tamura, M. Yotsukuri, N.Kumano, H.Yokoki: Climatic Change, 152, 3-4, 363-377, https://doi.org/10.1007/s10584-018-2356-2 (2019)
Global assessment of the effectiveness of adaptation in coastal areas based on RCP/SSP scenarios.
20)　T. Yokohata, K. Tanaka, K. Nishina, K. Takahashi, S. Emori, M. Kiguchi, Y. Iseri, Y. Honda, M. Okada, Y. Masaki, A. Yamamoto, M. Shigemitsu, M. Yoshimori, T. Sueyoshi, K. Iwase, N. Hanasaki, A. Ito, G. Sakurai, T. Iizumi, M. Nishimori, W. -H. Lim, C. Miyazaki, A. Okamoto, S. Kanae and T. Oki: Earth's Future, DOI:10.1029/2018EF000945 (2019)
Visualizing the interconnections among climate risks.
21)　S. Koirala, H. Kim, Y. Hirabayashi, S. Kanae and T. Oki: Water Resources Research, published online, doi:10.1029/2018WR023434 (2018)
Sensitivity of global hydrological simulations to groundwater capillary flux parameteriztions.
22)　T. Iizumi, W.-S. Kim and M. Nishimori: Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 11, 99-112, https://doi.org/10.1029/2018MS001477 (2019)
Modeling the global sowing and harvesting windows of major crops around the year 2000.
23)　X. Zhou, J. Polcher, T. Yang, Y. Hirabayashi and T. N-Quang: Hydrology and Earth System Sciences, 22, 6987-6108, doi:10.5194/hess-22-6087-2018 (2018)
Understanding the water cycle over the upper Tarim basin: retrospect the estimated discharge bias to atmospheric variables and model structure.
24)　C. Mora, D. Spirandelli, E.C. Franklin, J. Lynham, M.B. Kantar, W. Miles, C.Z. Smith, K. Freel, J. Moy, L.V. Louis, E.W. Barba, K. Bettinger, A.G. Frazier, J.F. Colburn IX, N. Hanasaki, E. Hawkins, Y. Hirabayashi, W. Knorr, C.M. Little, K. Emanuel, J. Sheffield, J.A. Patz and C.L. Hunhter: Nature Climate Change, 8, 1062, doi:10.1038/s41558-018-0315-6 (2018)
Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by GHG emissions.
25)　T. Iizumi, M. Kotoku, W. Kim, P.C. West, J.S. Gerber, M.E. Brown: PLoS ONE, 13, 9, e0203809, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203809 (2018)
Uncertainties of potentials and recent changes in global yields of major crops resulting from census- and satellite-based yield datasets at multiple resolutions.
26)　V.-C. A.M., Y. Guo, F. Sera, V. Huber, C.-F. Schleussner, D. Mitchell, S. Tong, M.D.S.Z.S. Coelho, P. Hilario, N. Saldiva, E. Lavigne, P.M. Correa, N.V. Ortega, H. Kan, S.

Osorio, J. Kyselý, A. Urban, J.J.K. Jaakkola, N.R.I. Ryti, M. Pascal, P.G. Goodman, A. Zeka, P. Michelozzi, M. Scortichini, M. Hashizume, Y. Honda, M. Hurtado-Diaz, J. Cruz, X. Seposo, H. Kim, A. Tobias, C. Íñiguez, B. Forsberg, D.O. Åström, M.S. Ragettli, M. Röösli, Y.L. Guo, C. Wu, A. Zanobetti, J. Schwartz, M.L. Bell, T.N. Dang, D.D. Van, C. Heaviside, S. Vardoulakis, S. Hajat, A. Haines, B. Armstrong, K.L. Ebi and A. Gasparrini: Climatic Change, 150, 391, https://doi.org/10.1007/s10584-018-2274-3 (2018)
Temperature-related mortality impacts under and beyond Paris Agreement climate change scenarios.
27) M. Tamura, K.Yasuhara, K. Ajima, V.C. Trinh and S.V. Pham: International Journal of Global Warming, 16, 1, 102-117, https://doi.org/10.1504/IJGW.2018.094312 (2018)
Vulnerability to climate change and residents' adaptations in coastal areas of Soc Trang province, Vietnam.
28) F. Dottori, W. Szewczyk, J-C. Ciscar, F. Zhao, L. Alfieri, Y. Hirabayashi, A. Bianchi, I. Mongelli, K. Frieler, R. Betts and L. Feyen: Nature Climate Change, 8, 781, doi:10.1038/s41558-018-0257-z. (2018)
Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming.
29) T. Iizumi, H. Shiogama, Y. Imada, N. Hanasaki, H. Takikawa and M. Nishimori: International Journal of Climatology, 38, 5405-5417, https://doi.org/10.1002/joc.5818 (2018)
Crop production losses associated with anthropogenic climate change for 1981-2010 compared with preindustrial levels.
30) M. Okada, T. Iizumi, T. Sakamoto, M. Kotoku, G. Sakurai, Y. Hijioka and M. Nishimori: Earth's Future, 6, 1207-1220, https://doi.org/10.1029/2017EF000763 (2018)
Varying benefits of irrigation expansion for crop production under a changing climate and competitive water use among crops.
31) A. Haireti, Y. Hirabayashi, B. Johnson, J-F. Vuillaume, A. Kondoh and M. Urai: 1970-2014, Remote Sensing, 10, 18, 1166, doi:10.3390/rs10081166 (2018)
Inventory of glaciers in the Shaksgam Valley of the Chinese Karakoram Mountains.
32) A. Haireti, Y. Hirabayashi, B. Johnson, J-F. Vuillaume, A. Kondoh and M. Urai: 1970-2014, Remote Sensing, 10, 18, 1166, doi:10.3390/rs10081166 (2018)
Inventory of glaciers in the Shaksgam Valley of the Chinese Karakoram Mountains.
33) W.H. Lim, D. Yamazaki, S. Koirala, Y. Hirabayashi, S. Kanae, S.J. Dadson, J.W. Hall and F. Sun:Earth's Future, 6, doi:10.1002/2017EF000671 (2018)
Long-term changes in global socioeconomic benefits of flood defenses and residual risk based on CMIP5 climate models.
34) J.A. Iguchi, X.T. Seposo and Y. Honda: BMC Public Health, 18, 1, 629, doi:10.1186/s12889-018-5532-4 (2018)
Meteorological factors affecting dengue incidence in Davao, Philippines.
35) Y. Chung, D. Yang, A. Gasparrini, AM Vicedo-Cabrera, CFS Ng, Y. Kim, Y. Honda and M. Hashizume: Environ Health Perspective, 126, 5, 057002, https://doi.org/10.1289/EHP2546 (2018)
Changing Susceptibility to Non-Optimum Temperatures in Japan, 1972-2012: The Role of Climate, Demographic and Socioeconomic Factors.
36) 熊野直子、川嶋良純、箭内春樹、田村誠、横木裕宗、桑原祐史：沿岸域学会誌, 30(4), 89-100 (2018)
衛星画像と数値表層モデルを用いた海岸堤防抽出手法の提案.
37) 土田晃次郎、田村誠、熊野直子、増永英治、横木裕宗：土木学会論文集G（環境）, 74(5),

I_167-I_174 (2018)
複数気候モデルによる海面上昇に伴う浸水影響の不確実性評価
38)　熊野直子、田村誠、井上智美、横木裕宗：土木学会論文集G（環境），74(5), I_395-I_404 (2018)
フィリピン・ベトナムにおけるグリーンインフラの海面上昇への適応評価と費用効果
39)　Y. Kinoshita, M. TANOUE, S. Watanabe and Y. Hirabayashi: Environmental Research Letters, 13, 014006, https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9401 (2018)
Quantifying the effect of autonomous adaptation to global river flood projections.
40)　渡部哲史、内海信幸：土木学会論文集B1（水工学），Vol.62, Ⅰ_169-174 (2018)
大規模気候予測情報類型化に向けたd4PDF日本域降水量の特徴の把握
41)　森下慧、田上雅浩、岡田将誌、肱岡靖明、平林由希子：土木学会論文集B1(水工学), 62, Ⅰ_1225-1230 (2018)
灌漑による干ばつ時の穀物生産損失の 低減効果とその費用に関する推計.
42)　H. Ikeuchi, Y. Hirabayashi, D. Yamazaki, S. Muis, P. J. Ward, H. C. Winsemius, M. Verlaan and S. Kanae: Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 9, 1847-1862, https://doi.org/10.1002/2017MS000943 (2017)
Compound simulation of fluvial floods and storm surges in a global coupled river-coast flood model: Model development and its application to 2007 Cyclone Sidr in Bangladesh.
43)　J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Hasegawa, Y. Honda and T. Masui: Environmental Research Letters, 12, 6, 064010, https://doi.org/10.1088%2F1748-9326%2Faa72cc (2017)
Cost of preventing workplace heat-related illness through worker breaks and the benefit of climate-change mitigation.
44)　Y. Guo, A. Gasparrini, B.G. Armstrong, B. Tawatsupa, A. Tobias, E. Lavigne, M.D.S.Z.S. Coelho, X. Pan, H. Kim, M. Hashizume, Y. Honda, Y.L. Guo, C.F. Wu, A. Zanobetti, J.D. Schwartz, M.L. Bell, M. Scortichini, P. Michelozzi, K. Punnasiri, S. Li, L. Tian, S.D.O. Garcia, X. Seposo, A. Overcenco, A. Zeka, P. Goodman, T.N. Dang, D.V. Dung, F. Mayvaneh, P.H.N. Saldiva, G. Williams and S. Tong: Environmental Health Perspectives, 125, 8, 087006, https://doi.org/10.1289/EHP1026 (2017)
Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study.
45)　B. Armstrong, M.L. Bell, M.D.S.Z.S. Coelho, Y.L. Leon Guo, Y. Guo, P. Goodman, M. Hashizume, Y. Honda, H. Kim, E. Lavigne, P. Michelozzi, P. Hilario Nascimento Saldiva, J. Schwartz, M. Scortichini, F. Sera, A. Tobias, S. Tong, C.F. Wu, A. Zanobetti, A. Zeka, A. Gasparrini: Environmental Health Perspectives, 125, 10, 107009, https://doi.org/10.1289/EHP1756 (2017)
Longer-Term Impact of High and Low Temperature on Mortality: An International Study to Clarify Length of Mortality Displacement.
46)　T.N. Dang, D.Q. Van, H. Kusaka, X.T. Seposo and Y. Honda: American Journal of Public Health, 108, 2, S137-S143, doi: 10.2105/AJPH.2017.304123 (2017)
Green Space and Deaths Attributable to the Urban Heat Island Effect in Ho Chi Minh City.
47)　X.T. Seposo, T.N. Dang and Y. Honda: Global Health Action, 10, 1, 1368969, https://doi.org/10.1080/16549716.2017.1368969 (2017)
Exploring the effects of high temperature on mortality in four cities in the Philippines using various heat wave definitions in different mortality subgroups.
48)　A. Gasparrini, Y. Guo, F. Sera, A. M. Vicedo-Cabrera, V. Huber, S. Tong, M.D.S.Z.S. Coelho, P.H. Nascimento Saldiva, E. Lavigne, P.M. Correa, N.V. Ortega, H. Kan, S. Osorio, J.

Kyselý, A. Urban, J.J.K. Jaakkola, N.R.I. Ryti, M. Pascal, P.G. Goodman, A. Zeka, P. Michelozzi, M. Scortichini, M. Hashizume, Y. Honda, M. Hurtado-Diaz, J.C. Cruz, X. Seposo, H. Kim, A. Tobias, C. Iñiguez, B. Forsberg, D.O. Åström, M.S. Ragettli, Y.L. Guo, C.F. Wu, A. Zanobetti, J. Schwartz, M.L. Bell, T.N. Dang, D.D. Van, C. Heaviside, S. Vardoulakis, S. Hajat, A. Haines and B. Armstrong: The Lancet Planetary Health, 1, 9, E360-E367, https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0 (2017)
Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios.
49) S.E. Kim, M.L. Bell, M. Hashizume, Y. Honda, H. Kan and H. Kim: Environment International, 110, 88-94, https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.010 (2018)
Associations between mortality and prolonged exposure to elevated particulate matter concentrations in East Asia.
50) Y. Kim, C.F.S. Ng, Y. Chung, H. Kim, Y. Honda, Y.L. Guo, Y.H. Lim, B.Y. Chen, L.A. Page and M. Hashizume: Environmental Health Perspectives, 126, 3, 037002, https://doi.org/10.1289/EHP2223 (2018)
Air Pollution and Suicide in 10 Cities in Northeast Asia: A Time-Stratified Case-Crossover Analysis.
51) J.A. Iguchi, X.T. Seposo and Y. Honda: BMC Public Health, 18, 1, 629, doi: 10.1186/s12889-018-5532-4 (2018)
Meteorological factors affecting dengue incidence in Davao, Philippines.
52) Y. Chung, D. Yang, A. Gasparrini, A.M. Vicedo-Cabrera, C.F.S. Ng, Y. Kim, Y. Honda and M. Hashizume: Environmental Health Perspectives, 126, 5, 057002, doi: 10.1289/EHP2546 (2018)
Changing Susceptibility to Non-Optimum Temperatures in Japan, 1972-2012: The Role of Climate, Demographic, and Socioeconomic Factors.
53) 箭内春樹、熊野直子、田村誠、横木裕宗、桑原祐史：土木学会論文集G(環境), 73(5), I_361-I_367, (2017)
伊勢湾台風を事例とする高潮浸水被害額推計手法の検証
54) 四栗瑞樹・田村誠・熊野直子・増永英治・横木裕宗：土木学会論文集G（環境）, 73(5), I_369-I.376, (2017)
RCP・SSPシナリオに基づく全球沿岸域での海面上昇による浸水影響評価
55) 熊野直子・土田晃次郎・田村誠・増永英治・桑原祐史・横木裕宗：土木学会論文集B3（海洋開発）, 73(2), I_1007-I_1012, (2017)
日本における海面上昇への適応を目的とした防護費用の将来推計
56) T. Iizumi, J. Furuya, Z.-H. Shen, W.-S. Kim, M. Okada, S. Fujimori, T. Hasegawa and M. Nishimori: Scientific Reports, 7, (2017)
Responses of crop yield growth to global temperature and socioeconomic changes.
57) T. Iizumi, H. Takikawa, Y. Hirabayashi, N. Hanasaki, M. Nishimori: Journal of Geophysical Research (Atmospheres), 122, (2017)
Contributions of different bias‐correction methods and reference meteorological forcing data sets to uncertainty in projected temperature and precipitation extremes
58) 熊野直子、土田晃次郎、田村誠、増永英治、桑原祐史、横木裕宗：土木学会論文集B3（海洋開発）、 73、2、6p、(2017)
日本における海面上昇への適応を目的とした防護費用の将来推計
59) Y. CHUNG, H. NOH, Y. HONDA, M. HASHIZUME, M. L. BELL, Y. L. GUO and H. KIM: Am Journal of Epidemiology. 1-7 (2017)
Temporal Changes in Mortality Related to Extreme Temperatures for 15 Cities in Northeast

Asia: Adaptation to Heat and Maladaptation to Cold.
60) X.T. SEPOSO, T.N. DANG and Y. HONDA: International Journal of Environmental Research and Public Health, 14, 4, 385 (2017)
How Does Ambient Air Temperature Affect Diabetes Mortality in Tropical Cities?.
61) 渡部哲史，鼎信次郎，平林由希子：土木学会論文集B1(水工学) 、73、4、I_121-I_126 (2017)
クオンタイルマッピング型補正を用いた気候変化影響評価に関する考察.
62) Y. KIM, A. GASPARRINI, M. HASHIZUME, Y. HONDA, C.F.S. Ng, B. ARMSTRONG: Environ Health Perspectives, accepted 14th Mar, (2017)
Heat-related mortality in Japan after the 2011 Fukushima disaster: An analysis of 2 potential influence of reduced electricity consumption
63) Y. GUO, A. GASPARRINI, B. ARMSTRONG, B. TAWATSUPA, A. TOBIAS, E. LAVIGNE, M.S. COELHO, X. PAN, H. KIM, M. HASHIZUME, Y. HONDA, YL. GUO, CF. WU, A. ZANOBETTI, JD. SCHWARTZ, ML. BELL, A. OVERCENCO, K. PUNNASIRI, S. LI, L. TIAN, P. SALDIVA, G. WILLIAMS, and S. TONG: Environmental Health Perspectives Temperature, 124, 10, 1554-1559 (2016)
Variability and Mortality: A Multi-Country Study
64) M. TANOUE, Y. HIRABAYASHI and H. IKEUCHI: Scientific Reports, 6, 36201 (2016)
Global-scale river flood vulnerability in the last 50 years.
65) Y. HIRABAYASHI, K. NAKANO, Y. ZHANG, S. WATANABE, M. TANOUE and S. KANAE: Scientific Reports, 6, 29723 (2016)
Contributions of natural and anthropogenic radiative forcing to mass loss of Northern Hemisphere mountain glaciers and quantifying their uncertainties.
66) X. T. SEPOSO, T. N. DANG and Y. HONDA: Glob Health Action 2016, 9: 31500 (2016)
Effect modification in the temperature extremes by mortality subgroups among the tropical cities of the Philippines
67) M. A. TRIGG, C. E. BIRCH, J. C. NEAL, P. D. BATES, A. SMITH, C. C. SAMPSON, D. YAMAZAKI, Y. HIRABAYASHI, F. PAPPENBERGER and E. DUTRA: Environ. Res. Lett., 11, 094012 (2016)
The credibility challenge for global fluvial flood risk analysis.
68) 木村雄貴、田上雅浩、今田由紀子、平林由希子：土木学会論文集G(環境) , 72, 5, 1-6 (2016)
Event Attribution実験を用いた2012年アマゾン川洪水の要因分析.
69) T. N. DANG, X. T. SEPOSO, N. H. DUC, T. B. THANG, D. AN DO, L. T. HANG, T. T. LONG, B. T. LOAN, Y. HONDA: Global Health Action, 9, doi:10.3402/gha.v9.28738, (2016)
Characterizing the relationship between temperature and mortality in tropical and subtropical cities: a distributed lag non-linear model analysis in Hue, Viet Nam.
70) T. IIZUMI and N. RAMANKUTTY: Environ. Res. Lett., 11, 034003 (2016)
Changes in yield variability of major crops for 1981-2010 explained by climate change.
71) H. IKEUTHI, Y. HIRABAYASHI, D. YAMAZAKI, M. KIGUCHI, S. KOIRALA, T. NAGANO, A. KOTERA AND S. KANAE: Environmental Research Letters, 10, 124011, (2015)
Modeling complex flow dynamics of fluvial floods exacerbated by sea level rise in the Ganges-Brahmaputra-Meghna delta.
72) Y. ZHANG, Y. HIRABAYASHI, Q. LIU and S. LIU: Journal of Glaciology, 61, doi:10.3189/2015JoG14J188 (2015)
Glacier runoff and its impact in a highly glacierized catchment in the southeastern Tibetan Plateau: past and future trends.
73) T. SAKAI, T. IIZUMI, M. OKADA, M. NISHIMORI, T. GRÜNWALDB, J. PRUEGERC, A. CESCATTID, W. KORRESE, M. SCHMIDTF, A. CARRARAG, B. LOUBETH, E. CESCHIAI: Int. J. Appl. Earth Observ.

Geoinf, doi:10.1016/j.jag.2015.09.011 (2015)
Varying applicability of four different satellite-derived soil moisture products to global gridded crop model evaluation.
（テーマ4）
1) M.Esteban, H.Takagi, L.Jamero, C.Chadwick, J.E.Avelino, T.Milami, D.Fatma, L.Yamamoto, N.D.Thao, M.Onuki, J.Woodbury, V.P.B.Valenzuela, and R.N.Crichton : Ocean & Coastal Management, 189, Adaptation to Sea Level Rise: Learning from Present Examples of Land Subsidence, (in press) 1,May 2020
2) A.C.G. Varquez, N.S. Darmanto, Y. Honda, T. Ihara and M. Kanda: Future increase in elderly heat-related mortality of a rapidly growing Asian megacity. N. Scientific Reports (final review), 2020
3) Y. Narita, A.C.G. Varquez, M. Nakayoshi and M. Kanda: Construction of land use database before urbanization for global urban climate analyses. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1(Hydraulic Engineering), Vol.75, No.2, I_1039-I_1044, 2019
4) M.Asami, M. Nakayoshi, A.C.G. Varquez, and M. Kanda: Mechanism of the urban heat island considering geography and background climate. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1(Hydraulic Engineering), Vol.75, No.2, I_37-I_42, 2019
5) N.S.Darmanto, A.C.G. Varquez, and M.Kanda : Future Urban Climate in A Tropical Megacity Based on Global Climate Change and Local Urbanization Scenario, Urban Climate, (accepted), (2019)
6) Y. Zhou, A.C.G. Varquez, and M. Kanda: High-resolution global urban growth projection based on multiple applications of the SLEUTH urban growth model. Scientific Data Volume 6, Article number: 34 (2019)
7) M.Esteban, H.Takagi, R.J.Nicholls, D.Fatma, M.B.Pratama, S.Kurobe, X.Yi, I.Ikeda, T.Mikami, P.Valenzuela and E.Avelino: Maritime Policy & Management, Adapting Ports to Sea-level Rise: Empirical Lessons based on Land Subsidence in Indonesia and Japan (in press) , Published online: 18 July 2019
8) Y. Hashimoto, Y. Ohashi, M. Nabeshima, Y. Shigeta, Y. Kikegawa, T. Ihara: Sustainable Cities and Society, 45, 38-47 (2019), Sensitivity of electricity consumption to air temperature, air humidity and solar radiation at the city-block scale in Osaka, Japan
9) 桑山忠弘，山口和貴，岡田和樹，亀卦川幸浩，神田学，Alvin Christopher Galangc Varquez, Nisrina Setyo Darmanto, Prihadi Setyo Darmanto, 井原智彦. 日本LCA学会誌，15，1，2-9 (2019), エアコンによる睡眠困難および疲労の障害調整生存年（DALY）の軽減効果 ーインドネシア・ジャカルタにおける評価ー
10) 居石貴史，M. Yucel，足永靖信，稲垣厚至，仲吉信人，A.C.G. Varquez，N.S.Darmanto，神田学：土木学会論文集B1(水工学) vol.74, 4, I_259-I_264, (2018)“全球・都市の将来シナリオを考慮した都市街区の温熱環境予測
11) S. Kiyomoto, A.C.G. Varquez, and M. Kanda: Anthropogenic Heat Flux Distribution with Point Sources for Global Urban Climatology, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 74, No. 5, I_1171-I_1176, 2018
12) H. Takagi: Sustainability, 10, 1045, (2018) “Long-Term Design of Mangrove Landfills as an Effective Tide Attenuator under Relative Sea-Level Rise”
13) A.C.G. Varquez, S. Takakuwa, M. Kanda and Z. Xin: Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), (accepted) (2018) “Future population distribution of an urban agglomeration given climate change scenarios”
14) T. Sueishi, M. Yucel, Y. Ashie, A. Inagaki, M. Nakayoshi, A.C.G. Varquez, N.S.

Darmanto and M. Kanda: Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering) (accepted) (2018) "Influence of Climate Change and Urbanization to Future Thermal Environment within A Megacity" (Japanese)
15) Priyambodoho A.B., S. Kure, I.R. Moe, and S. Kazama, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environment), Vol.74, No.5, I_265-I_271 (2018) "Numerical Experiments of Future Land Use Change for Flood Inundation in Jakarta, Indonesia"
16) 菅原雄太，風間聡，峠嘉哉，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.74, No.4, pp. I_343-I_348(2018) "レーダー・アメダス解析雨量を用いた豪雨の空間分布特性の分析"
17) N.F. Januriyadi, S. Kazama, Moe I.R., and S. Kure, Hydrological Research Letters, Vol.12, No.3, pp.14-22 (2018) "Evaluation of future flood risk in Asian megacities: a case study of Jakarta"
18) A.C.G. Varquez and M. Kanda: Global urban climatology: a meta-analysis of air temperature trends (1960-2009), npj Climate and Atmospheric Science volume 1, Article number: 32 (2018)
19) H. Takagi: Long-Term Design of Mangrove Landfills as an Effective Tide Attenuator under Relative Sea-Level Rise. Sustainability, 10, 1045 (2018)
20) Y.Dong, A.C.G. Varquez and M.Kanda: Atmospheric Environment, 150, pp.276-294, 2017 "Global anthropogenic heat flux database with high spatial resolution"
21) A.C.G. Varquez, N.S. Darmanto, N. Kawano, S. Takakuwa, M. Kanda and Z. Xin: Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 73, No. 4, I_103-I_108, 2017, "Representative urban growing scenarios for future climate models"
22) N.S. Darmanto, A.C.G. Varquez and M. Kanda: Urban Climate Vol. 21, 243-261, 2017, "High-resolution Satellite-derived Urban Roughness Parameters for Mesoscale Modeling in Megacities"
23) A.C.G. Varquez and M. Kanda: Global urban Climatology, "Analyses of urban heat island trends derived from global surface temperature datasets and meteorological stations" (For Submission)
24) N.S. Darmanto, A.C.G. Varquez and M. Kanda: International Journal of Urban Climate No.21, 243-261, DOI: 10.1016/j.uclim.2017.07.001 (2017) "Urban roughness parameters estimation from globally available datasets for mesoscale modeling in megacities"
25) A.C.G. Varquez, N.S. Darmanto, N. Kawano, S. Takakuwa, M. Kanda and Z. Xin: Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 73, No. 4, I_103-I_108 (2017) "Representative Urban Growing Scenarios For Future Climate Models"
26) N.S.Darmanto, A.C.G. Varquez, and M.Kanda : Urban Climate, 21, 243-261,(2017) "Urban roughness parameters estimation from globally available datasets for mesoscale modeling in megacities"
27) Y. Dong, A.C.G. Varquez, and M. Kanda: Atmospheric Environment, 150, 276-294, (2017) "Global anthropogenic heat flux database with high spatial resolution"
28) H.Takagi, D.Fujii, M.Esteban and X.Yi: Sustainability, DOI: 10.3390/su9040619 (2017) "Effectiveness and Limitation of Coastal Dykes in Jakarta: The Need for Prioritizing Actions against Land Subsidence"
29) H. Takagi, D. Fujii, M. Esteban and X. Yi: Sustainability, 9, 619, (2017) "Effectiveness and Limitation of Coastal Dykes in Jakarta: The Need for Prioritizing Actions against Land Subsidence"
30) M.Esteban, H. Takagi, T. Mikami, A. Aprilla, D. Fujii, S. Kurobe and N.G. Utama: International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 23, 70-79, (2017) "Awareness of

coastal floods in impoverished subsiding coastal communities in Jakarta: Tsunamis, typhoon storm surges and dyke-induced tsunamis”
31) Nurul F. Januriyadi, Sotephen G. So Kazama, Idham R. Moe, Shuichi Kure, Proceedings of the 37th IAHR World Congress, Theme 2, 2D, pp.2343-2349(2017) “Estimation of spatial flood damage costs in Jakarta, Indonesia”
32) Golam Salem Ahmed Salem, So Kazama, Shawsuddin Shahid, Proceedings of the 37th IAHR World Congress, Theme 6, 6A, pp.4346-4353(2017) “Estimation of direct and indirect impacts of climate change on groundwater level in a groundwater dependent irrigation region”
33) I. Moe, S. Kure, N.F. Januriyadi, M. Farid, K. Udo, S. Kazama, and S. Koshimura, Hydrological Research Letters, Vol.11, No.2, pp.99-105 (2017) “Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia”
34) Y. Takane, Y. Kikegawa, M. Hara, T. Ihara, Y. Ohashi, S. A. Adachi, H. Kondo, K. Yamaguchi, N. Kaneyasu. International Journal of Climatology, 37, S1, 1035-1052 (2017), A climatological validation of urban air temperature and electricity demand simulated by a regional climate model coupled with an urban canopy model and a building energy model in an Asian megacity
35) 河野なつ美,董 玥,M. Yucel,A.C.G. Varquez,神田学:土木学会論文集B1（水工学）Vol.72, 4, I_97-I_102, (2016) “グローバル都市気象学-都市温暖化の汎用解析手法の提案”
36) M. Yucel, A.C.G. Varquez, N.S. Darmanto and M. Kanda: Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), 72, 4, I_91-I_96(2016) “Improvements of Urban Representation in Weather Models Using Global Datasets”
37) A.C.G. Varquez: Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources, 29(5), pp.313-325 (2016) “Global urban Climatology”
38) H. Takagi, M. Esteban, T. Mikami and D. Fujii: Urban Climate, Elsevier, 17, 135-145, DOI: 10.1016/j.uclim. 2016.05.03, “Projection of coastal floods in 2050 Jakarta”
39) H. Takagi, T. Mikami, D. Fujii, M. Esteban and S. Kurobe: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., EGU, 16, 1629-1638, DOI:10.5194/nhess-16-1629-2016, “Mangrove forest against dyke-break-induced tsunami on rapidly subsiding coasts”
40) I. Moe, S. Kure, M. Farid, K. Udo, S. Kazama, and S. Koshimura, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), 72, 4, I_1243-I_1248 (2016a) “Evaluation of Flood Inundation in Jakarta Using Flood Inundation Model Calibrated by Radar Rainfall”
41) I. Moe, S. Kure, N.F. Januriyadi, M. Farid, K. Udo, S. Kazama, and S. Koshimura, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environment), 72, 5, I_247-I_252 (2016b) “Effect of Land Subsidence on Flood Inundation in Jakarta, Indonesia”
42) 秋間将宏，風間聡，小森大輔，土木学会論文集B1(水工学) Vol.72, No.4, pp.I_1267-I_1272(2016) “再現確率にもとづく洪水氾濫・高潮複合災害潜在被害額推定”
43) I. Moe, S. Kure, M. Farid, K. Udo, S. Kazama, and S. Koshimura, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environment), 71, 5, I_29-I_36 (2015) “Numerical Simulation of Flooding in Jakarta and Evaluation of a Countermeasure to Mitigate Flood Damage”
（テーマ5）
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

（２）主な口頭発表（学会等）

(テーマ1)

1) 小野雄也、伊坪徳宏、沖大幹：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
産業連関分析を用いた自動車の緩和策評価.
2) 沖大幹：日本生態学会第63回全国大会（2016）
Future Earth に向けた地球環境基盤情報の構築.
3) Ono, Y., M. Kiguchi, N. Itsubo, and T. Oki: Eco Balance conference (2016)
Vehicle’s mitigation assessment by using Input-Output analysis.
4) Takiuchi, T., Y. Ono, A. Oita, K. Noda, K. Oki, and T. Oki: Eco Balance conference (2016)
Projection of global nitrogen footprints under the future condition of food production and consumption.
5) 伊坪徳宏、湯龍龍、小野雄也、小関康雄、正畠宏一：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
気候変動の緩和策と適応策を対象としたライフサイクル評価.
6) 枝廣あかり、小関康雄、湯龍龍、伊坪徳宏：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
二酸化炭素回収貯留を対象としたLCAと費用対便益分析.
7) 小野雄也、伊坪徳宏、沖大幹：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
産業連関分析を用いた自動車の緩和策評価.
8) 小関康雄、伊坪徳宏：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
LCAを活用した気候変動緩和策の限界削減費用分析評価の一試行.
9) 八坂慶仁、伊坪徳宏、正畠宏一: 第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
自動車を対象としたLCAのメタ分析.
10) 湯龍龍、伊坪徳宏：第11回日本LCA学会研究発表会（2016）
気候変動適応策の評価を志向した影響評価手法の開発.
11) 野澤亘、玉置哲也、馬奈木俊介：環境経済・政策学会2016年大会（2016）
Development level and optimal mixture of adaptation and mitigation investments.
12) 玉置哲也、野澤亘、馬奈木俊介：経営学会主催WS『オペレーションズ・リサーチの最近の展開』(2016)
自然環境変化を考慮した気候変動経済モデルの構築.
13) 湯龍龍、古島康、伊坪徳宏：第12回日本LCA学会研究発表会（2017）
共通社会経済シナリオSSPを用いたCO2の健康被害係数の開発.
14) 湯龍龍、大橋春香、松井哲哉、田中信行、伊坪徳宏：第12回日本LCA学会研究発表会（2017）
植物を対象としたCO2の生物種絶滅リスク係数の開発.
15) 小関康雄、森孝、伊坪徳宏：第12回日本LCA学会研究発表会（2017）

気候変動適応策としての浄水器を対象とした費用便益分析.
16) 小関康雄、伊坪徳宏：第51回日本水環境学会年会（2017）
気候変動適応策としての海水淡水化プラントの環境影響評価.
17) 伊坪徳宏、湯龍龍、小野雄也、小関康雄、正畠宏一、沖大幹：第12回日本LCA学会研究発表会（2017）
気候変動の緩和策と適応策を対象としたライフサイクル影響評価.
18) 八坂慶仁、伊坪徳宏、正畠宏一：第12回日本LCA学会研究発表会（2017）
メタ分析を駆使した電力のライフサイクル評価.
19) 小関康雄、伊坪徳宏：第51回日本水環境学会年会（2017）
気候変動適応策としての海水淡水化プラントの環境影響評価.
20) 野澤亘、玉置哲也、馬奈木俊介：日本経済学会2017年度春季大会（2017）
Development level and optimal mixture of adaptation and mitigation investments.
21) Matsumoto, J., T. Inoue, M. Kiguchi, N. Okami, F. Murata, M. Tanoue, A. Fukushima, Y. Yamane, T. Terao, T. Hayashi, T. Oki, and T. Kamahori, The 11th Annual ACRE Meeting, Tokyo Metropolitan University (2018)
Recent Japanese data rescue activities in monsoon Asia.
22) Kiguchi, M., and T. Oki, Symposium of Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change (2018)
Comprehensive and Strategic Assessment.
23) 乃田啓吾、木村匡臣、牧野達哉、山縣聖、木口雅司、飯田俊彰、沖一雄、S. Douangsavanh、K. Keokhamphui、濱田浩正、水文・水資源学会2018年度研究発表会（2018）
ラオス・ビエンチャンの表流水水質の季節変動.
24) 八坂慶仁、伊坪徳宏、正畠宏一：第13回日本LCA学会研究発表会（2018）
バイオマスを対象としたLCA のメタ分析.
25) 湯龍龍、大橋春香、松井哲哉、田中信行、伊坪徳宏：第13回日本LCA学会（2018）
世界植物を対象としたCO2の種絶滅リスク係数の推計.
26) 古島康、湯龍龍、伊坪徳宏：第13回日本LCA学会研究発表会（2018）
共通社会経済シナリオSSPに基づいたCO2の健康被害係数の推計.
27) 深井大幹：Beijing Energy Conference (2018)
R&D Investment and Liberalization in a Clean Technology Market.
28) Kiguchi, M., N. Okami, F. Murata, M. Tanoue, A. Fukushima, Y. Yamane, T. Terao, T. Hayashi, T. Oki, T. Inoue, and J. Matsumoto, Inter-Institutional Symposium on Meteorological Research for Improved Water Resources Management (2019)
Change of rainfall characteristics in Bangladesh using 126-years record.
29) Matsumoto, J., H. Kubota, T. Inoue, M. Zaiki, T. Mikami, J. Hirano, T. Terao, F. Murata, M. Kiguchi, T. Hayashi, I. Akasaka, H. Fujinami, H. Kanamori, H. Kamahori, and N. Endo, ACRE-China, (2019)
Data rescue activities in Asian monsoon region under the ACRE-Japan.
30) Selim Karkour、湯龍龍、伊坪徳宏：第14回日本LCA学会研究発表会（2019）
Development of regionalized Life Cycle Impact Assessment method for African Countries.

（テーマ2）

1) A. SHIMONO and T. INOUE: The 67th Annual Meeting of the Ecological Society of Japan, Nagoya 2020 (ESJ67), 2020 “Rhizophore diazitrophic communities developing with mangrove forest formation.”

2) 津山幾太郎、松井哲哉：日本生態学会名古屋大会（2020）「ニホンライチョウの潜在生息域から見た分布変遷と脆弱性評価」

3) Banno, M., T. Tomii, T. Tanaya, and T. Kuwae: Ocean Sciences Meeting 2020 (2020) Novel Observation of Bathymetry in the Surf Zone using a UAV-mounted Green LiDAR
4) Furuta, N. Ecosystem Approaches as Nature-based Solutions for Climate Change Adaptation, G20 Climate Sustainability Working Group (CSWG): 2nd Meeting 2019 / Nagano, Japan, 16 April 2019
5) Furuta, N. The Role of Wetlands for Disaster Risk Reduction, International Symposium on the Conservation of the Coastal Areas of the Bay of Bengal, 7 March 2019 Dhaka, Bangladesh
6) 宮城豊彦、馬場繁幸、井上智美、赤路康朗、趙学群：第25回日本マングローブ学会大会（2019）「全球規模ダイレクトセンシングによるマングローブ林分分布状況把握の可能性と意義」
7) N. KUMANO, M.TAMURA, T.INOUE, H.YOKOKI: 2019 AGU Fall Meeting, Moscone west, San Francisco, 2019 “Estimating the cost of coastal protection using mangrove forests against sea level rise in the Philippines and Vietnam.”
8) 米倉佑亮、大橋春香、西嶋翔太、平田晶子、夏川遼生、松井哲哉、松田裕之：日本生態学会神戸大会(2019)「全球スケールでの気候変動による鳥類の絶滅リスク」
9) 茂木博匡，柳田圭悟，近藤桂一，森佑貴，井上智美，山野博哉，桑江朝比呂：2019年度日本海洋学会秋季大会（2019）．気候変動に伴う浅海生態系分布変化の予測
10) 古川恵太：沿岸域総合管理を用いたブルーエコノミーの展開について、日本沿岸域学会研究討論会、2018年7月17日
11) 米倉佑亮：21世紀のダム建設ブームと、生物多様性保全に向けた取り組み。日本生態学会第65回大会企画集会　2018年3月18日 9:00-11:00
12) Furuta, N. Advancing ecosystem-based solutions for disaster risk reduction - perspectives and lessons from Japan, 2018 International Symposium on Resilience of SEPL, Taipei, Taiwan on 26 February 2018.
13) H. MOKI, A. SOHMA, H. SHIBUKI, K. TOYODA, A. AKHAND, K. WATANABE, T. TOKORO, T. INOUE, H. YAMANO, M. MANNNO, Y. NAKAYAMA, H. MATSUDA and T. KUWAE: JpGU-AGU Joint Meeting 2018, Chiba, Japan, 2018 “The Estimation of CO2 Flux in Subtropical Coastal Ecosystems Using a Numerical Model.”
14) M. TAMURA, N. KUMANO, T. INOUE, H. YOKOKI: Hanoi Forum 2018, Hanoi, Vietnam, 2018 “ Impact and cost assessment of coastal protection mixing green infrastructure against sea level rise in Vietnam.”
15) Shoji, A., K. H. Elliott, S. Aris-Brosou, H. Mizukawa, S. Nakayama, Y. Ikenaka, M. Ishizaka, T. Kuwae, K. Watanabe and Y. Watanuki: The 45th Pacific Seabird Group Annual Meeting (2018) Migratory seabirds are responsible for mercury biotransport from marine to terrestrial ecosystems.
16) Akhand, A., K. Watanabe, T. Tokoro, A. Chanda and T. Kuwae: Japan Geoscience Union 2018 (JpGU2018) (2018) Air-water CO2 flux in a subtropical mangrove-seagrass-coral continuum: A comparative study.
17) Moki, H., A. Sohma, T. Shimuki, T. Toyoda, A. Akhand, K. Watanabe, T. Tokoro, T. Inoue, H. Yamano, M. Bannno, Y. Nakagawa, H. Matsuda and T. Kuwae: Japan Geoscience Union 2018 (JpGU2018) (2018) The estimation of CO2 flux in subtropical coastal ecosystems using a numerical model.
18) Moki, H., K. Taguchi, Y. Nakagawa, S. Montani and T. Kuwae: Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting (2018), A new 3-D physical model for the drag force of submerged aquatic vegetation (SAV) in a shallow coastal waters.
19) Tada, T., K. Nakayama, K. Komai, J. W. Tsai, Y. Sato and T. Kuwae: ECSA, 57 (2018)

Numerical modelling of the spatial variation of CO2 fugacity in water at Komuke lagoon in Hokkaido, Japan
20) Furuta N. Advancing Eco-DRR for Urban Resilience, Sharing output of Asian Wetland Symposium 2017: focusing on functions and roles of urban wetlands for disaster risk reduction. 13th Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Wetlands Side Event, 26th October 2018
21) T. INOUE: JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, Japan, 2017 “Function of mangrove plants-Roots and soil chemicals.”
22) T. INOUE, S. BABA, F. ISHIHAMA, A. KAWANISHI, F. HAYASHI, N. OHSHIRO, M. KEZUKA, Y. MOCHIDA, H. T. CHAN, M. KAINUMA, N. KIMURA, H. YAMANO, T. KUWAE and H. MATSUDA: International Conference on Sustainable Mangrove Ecosystems, Bali, Indonesia, 2017 “Carbon storage of mangrove ecosystems: estimated models and global maps applied their models.”
23) T. INOUE: JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, Japan, 2017 “Function of mangrove plants-Roots and soil chemicals.”
24) H. YAMANO and T. INOUE: Environmental Scientists Network for Asia-Pacific Islands, Okinawa, Japan, 2017 “Conservation and evaluation of the functions of coastal ecosystems for ecosystem-based management of tropical and subtropical islands.”
25) 西嶋翔太：鳥類の絶滅リスクに基づく木材貿易の生物多様性フットプリント。日本生態学会第63回大会自由集会「生態学×国際貿易―国境を越える人間生活の生態影響」 2016年3月22日
26) 種田あずさ：窒素フットプリント指標を用いた国際貿易による窒素汚染の評価　日本生態学会第63回大会自由集会「生態学×国際貿易―国境を越える人間生活の生態影響」 2016年3月22日
27) Sakai A, Matsuda H: Japanese Coordinating Committee for MAB, a scientists network that connects local and governmental MAB activities. Scientific Networking Workshop. The 4th World Congress of Biosphere Reserve, 16 March 2016, Lima.
28) S. BABA, T. INOUE：The International Symposium on Mangroves, Pambala, Kakkapalliya, Sri Lanka, 2016 “More collaboration needed to protect Mangrove ecosystems.”
29) S. BABA, H.T. CHAN, M. KAINUMA, N. OSHIRO, M. KEZUKA, N. KIMURA, T. INOUE：International Conference on Climate Change, Biodiversity and Ecosystem Services for the Sustainable Development Goals (SDGs), Phetchaburi Province, Thailand, 2016 “Adaptation to climate change through mangrove rehabilitation involving local community participation.”
30) H. Yamano：13th International Coral Reef Symposium, Honolulu, Hawai’i, 2016 “Marginal coral reefs and coral communities in Japan.”
31) T. Matsui, A. Hirata, K. Nakao, H. Ohashi, N. Tanaka and K. Nakamura: 7th EAFES international congress, Daegue, Korea (2016)″Predicting pine wilt disease spreading under the climate change in East Asia″
32) TOKORO, T and T. KUWAE: Oceanflux Greenhouse Gases Evolution (2016) Characteristics of coastal CO2 flux estimated from comparison of eddy covariance method with conventional methods
33) T. INOUE: Association of Tropical Biology and Conservation Conference 2015, Honolulu, Hawaii, 2015 “Root functions of mangrove plants: Keys to the highly productive mangrove ecosystems.”
34) S. BABA, T. INOUE: XIV World Forestry Congress, Durban, South Africa, 2015 “Opportunities and Challenges for the Future of Mangrove Forests and their Ecosystems: An Overview of Actions by ITTO and Other Organizations.”
35) H. Ohashi, Y. Kominami, M. Higa, D. Koide, K. Nakao, I. Tsuyama, T. Matsui, N. Tanaka：The 5th International Wildlife Management Congress (2015) ″Combined effect of land

use and climate change may accelerate range expansion of sika deer in Japan”
36)　TOKORO, T and T. KUWAE：7th International Symposium on Gas Transfer at Water Surfaces (2015) Evaluation of the Eddy Covariance Method for the Assessment of the Blue Carbon
37)　MOKI, H., K. WATANABE, K. TAGUCHI, Y. TSUJI, T. TOKORO, S. MONTANI and T. KUWAE：Meeting of Asia Oceania Geophysical Society (AOGS), Singapore (2015) Estimation of carbon accumulation rate in shallow coastal waters using a numerical model
38)　BANNO, B., Y. KURIYAMA and N. HASHIMOTO：The Proceedings of the Coastal Sediments 2015 (2015) Equilibrium-based foreshore beach profile change model for long-term data
（テーマ3）
1)　M. OKADA, T. IIZUMI and Y. HIJIOKA (2019) AGU Fall Meeting 2019, Dec. 9-13, Moscone Convention Center, San Francisco, USA (2019)
Future climate change decreases benefits from irrigation for global food production,
2)　W. KIM, T. IIZUMI, Y. SHIN, J. CHOI, and K.-H. KIM: AGU Fall Meeting 2019, Dec. 9-13, 2019, Moscone Convention Center, San Francisco, USA (2019)
Toward forecast service of global crop yields using APCC MME
3)　N. KUMANO, M. TAMURA, T. INOUE and H. YOKOKI: 2019 AGU Fall Meeting, Moscone west, San Francisco, December 10 (2019)
Estimating the cost of coastal protection using mangrove forests against sea level rise in the Philippines and Vietnam,
4)　熊野直子、田村誠、横木裕宗：第27回地球環境シンポジウム，富山国際会議場，8月(2019)
海面上昇に対するグリーンインフラによる適応効果と費用の検討
5)　土田晃次郎、田村誠、熊野直子、横木裕宗：第27回地球環境シンポジウム，富山国際会議場，8月(2019)
海面上昇による浸水影響及び防護策による適応効果評価」
6)　箭内春樹、熊野直子、田村誠、桑原祐史：第27回地球環境シンポジウム，富山国際会議場，8月(2019)
全球堤防データを用いた浸水被害額推計に関する基礎的検討-東京湾および伊勢湾を対象として-
7)　西浦理、藤森真一郎、田村誠：第27回地球環境シンポジウム，富山国際会議場，8月(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
8)　M. TAMURA: 4th National Institute for Environmental Studies (NIES) Forum, Hanoi, Vietnam, January 23 (2019)
Coastal adaptation mixing gray and green infrastructures to climate change in Vietnam”
9)　M. TAMURA, N. KUMANO, T.INOUE and H.YOKOKI: Hanoi Forum 2018, Hanoi, Vietnam, November 10 (2018)
Impact and cost assessment of coastal protection mixing green infrastructure against sea level rise in Vietnam”
10)　熊野直子、田村誠、井上智美、横木裕宗：第26回地球環境シンポジウム，長崎大学，9月(2018)
フィリピン・ベトナムにおけるグリーンインフラの海面上昇への適応評価と費用効果
11)　土田晃次郎、田村誠、熊野直子、増永英治、横木裕宗、第26回地球環境シンポジウム，長崎大学，9月(2018)
複数気候モデルによる海面上昇に伴う浸水影響の不確実性評価
12)　M. TAMURA, N. KUMANO, M. YOTSUKURI, Y. KUWAHARA and H.YOKOKI: 2017 AGU Fall Meeting, Ernest N. Morial Convention Center, New Orleans, December 12 (2017)
Global cost analysis on adaptation to sea level rise based on RCP/SSP scenarios
13)　田村誠：第3回日本語の歴史的典籍国際研究集会，国文学研究資料館，立川，7月(2017)
気候変動適応学と歴史学、国文学との共働可能性

14)　M. TANOUE, R. TAGUCHI and Y. HIRABAYASHI: Symposium of Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 17-18 September (2018)
Estimating indirect losses due to river flooding: case study for Thailand flood in 2011.
15)　飯泉仁之直：日本農業気象学会2019年全国大会，3月 (2019)
収量予測を高度化するために開発された全球に適用可能な栽培暦推定モデル.
16)　Y. HONDA: Climate Change and Health Symposium, Miami, USA, April (2018) (Invited speech)
Heat-related excess mortality and its prevention system.
17)　T.N. DANG and Y. HONDA: The 5th International Climate Change Adaptation conference, Cape Town, South Africa, June (2018)
Chronological trend of autonomous adaptation to heat-related mortality in Japan.
18)　Y. HONDA: The 30th Annual Scientific Conference of the International Society of Environmental Epidemiology, Ottawa, Canada, August (2018)
Climate change impact on heat-related mortality - ISI-MIP context.
19)　F. SERA, A. VICEDO-CABRERA, M. HASHIZUME, Y. HONDA, J. SCHWARTZ, A. ZANOBETTI and A. GASPARRINI: A Longitudinal Analysis. The 30th Annual Scientific Conference of the International Society of Environmental Epidemiology, Ottawa, Canada, August (2018)
Air Conditioning and Heat-Related Mortality in U.S. and Japan:
20)　Y. HONDA and M. HASHIZUME: 第77回日本公衆衛生学会総会，郡山，10月 (2018)
Area difference in cold-related excess mortality is related to temperature distribution.
21)　本田靖:第83回日本健康学会総会，前橋，11月 (2018)
熱中症救急搬送と気温との関連
22)　Y. HONDA: The First Heat Health Forum of Global Heat Health Information Network, Hongkong, China, December (2018)
Prevention of heat-related excess mortality --- Intervention
23)　S. KANAE, O. SASAKI, K. FUJITA and Y. HIRABAYASHI: 16th annual meeting, Singapore, 28 July- 2 August (2019) (口頭)
Glacier Runoff Simulation Under Climate Change by an Energy Balance Model for Individual Glaciers on a Continental-scale, Asia Oceania Geosciences Society
24)　H. IKEUCHI, D. EILANDER, J. HOCK, F. BAART, D. YAMAZAKI, Y. HIRABAYASHI, H. WINSEMIUS and P. WARD: EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, 8-13 April (2018) (口頭)
Application of a nesting approach for improved flood inundation simulation for estuaries and deltas in the framework of global flood modelling,
25)　池内寛明、平林由希子、山崎大: 日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2018年大会，千葉,(2018年)
全球河川モデルによる沿岸域氾濫シミュレーションにネスティング手法の導入が及ぼす影響の評価
26)　Y. HIRABAYASHI: Seventh International Conference on Flood Management, Leeds, UK, 5-7 September, 2017. (口頭)
Global projection of river flood risk considering autonomous adaptation
27)　Y. HONDA, T.N. DANG and X.T. SEPOSO. The 21st International Congress of Biometeorology, Durham, UK, September (2017)
Short-term specific humidity effect on mortality in Japan.
28)　Y. CHUNG, D. YANG, A. GASPARRINI, A. VICEDO-CABRERA, CFS NG, Y. KIM, Y. HONDA and M. HASHIZUME: The 29th Annual Scientific Conference of the International Society of Environmental Epidemiology, Sydney, Australia, September (2017)
Changing susceptibility to temperature over time and the associated climate, demographic and

socio-economic factors in Japan for 1972 - 2012.
29)　Y. HONDA: The 29th Annual Scientific Conference of the International Society of Environmental Epidemiology, Sydney, Australia, September (2017) (Invited speech)
Six years after Fukushima disaster - lessons learned.
30)　T.N. DANG, D.Q. VAN, X.T. SEPOSO, H. KUSAKA and Y. HONDA: The 29th Annual Scientific Conference of the International Society of Environmental Epidemiology, Sydney, Australia, September (2017)
Comparing heat-mortality relation between central area and outer area within a mega city of Vietnam.
31)　Y. HONDA: ISI-MIP cross-sctoral Workshoop, Potsdam, Germany, October (2017)
Climate change impact on heat-related mortality.
32)　本田靖、橋爪真弘：第82回日本健康学会総会，沖縄，11月(2017)
救急搬送数と気象変数との関連について
33)　Y. HONDA: Climate Change Impact on Health - from S-14 Project. International Forum on Climate Change and Health under the Belt and Road Initiative, Guanzhou, China, December 2017. (Invited Spech)
34)　Y. HONDA: Heat-related excess mortality and its prevention system. Climate and Health Symposium, Miami, USA, April 2018.
35)　箭内春樹、熊野直子、田村誠、横木裕宗、桑原祐史：第25回地球環境シンポジウム，神戸大学，9月(2017)
伊勢湾台風を事例とする高潮浸水被害額推計手法の検証
36)　四栗瑞樹、田村誠、熊野直子、増永英治、横木裕宗：
第25回地球環境シンポジウム，神戸大学，9月(2017)
RCP・SSPシナリオに基づく全球沿岸域での海面上昇による浸水影響評価
37)　H. YOKOKI, M. TAMURA and Y. KUWAHARA: International WCRP/IOC Conference 2017 “Regional Sea Level Changes and Coastal Impacts”, Columbia University, USA, July 12 (2017)
Global distribution of projected sea level changes using multiple climate models and economic assessment of sea level rise
38)　熊野直子、土田晃次郎、田村誠、増永英治、桑原祐史、横木裕宗：第42回海洋開発シンポジウム，仙台国際センター，6月(2017)
日本における海面上昇への適応を目的とした防護費用の将来推計」
39)　T. IIZUMI, T. NAKAEGAWA, W.-S. KIM and M. NISHIMORI: Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 14th Annual Meeting (2017)
Climate extremes and global crop production
40)　飯泉仁之直、塩竈秀夫、今田由紀子、花崎直太、金元植、沈志宏、西森基貴：日本気象学会2017年度秋季大会 (2017)
気候モデルによる大規模アンサンブルデータを用いた作物収量への気候変動影響の検出
41)　西森基貴、第67回気候影響・利用研究会 (2017)
近年の気候変動・異常気象とその農業への影響.
42)　G. SAKURAI, M. OKADA, M. NISHIMORI and M. YOKOZAWA: American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting (2017)
Benefits of seasonal forecasts of crop yields.
43)　飯泉仁之直、日本農業気象学会75周年記念大会 (2018)
食料生産の広域でのモニタリングやモデリング，予測は今後，どこに向かうか？
44)　本田靖：日本地理学会2017年春季学術大会シンポジウムS16，つくば，2017年3月 (招待講演)
「暑熱分野における気候変動影響と適応技術の社会実装」(2017) 温暖化の健康影響 ー評価法の精緻化

と対応策の構築
45)　飯泉仁之直：日本農業気象学会2017年全国大会（2017）
主要穀物の栽培暦についての全球データセットの開発
46)　M. OKADA, T. IIZUMI, G. SAKURAI and M. NISHIMORI: AGU Fall Meeting, San Francisco, USA (2016)
Effectiveness of irrigation adaption depending on change in available water resources under changing climate and landuse
47)　W.-S. KIM, T. IIZUMI, and M. NISHIMORI: AGU Fall Meeting, San Francisco, USA (2016)
The relationship between standardized precipitation index and historical crop yield in the world
48)　T. IIZUMI, W.-S. KIM, S. ZHIHONG and M. NISHIMORI: AGU Fall Meeting, San Francisco, USA (2016)
Modeling global yield growth of major crops under multiple socioeconomic pathways
49)　本田靖: 第31回日本国際保健医療学会, 久留米　(2016)
熱関連死亡の将来予測と適応策
50)　Y. HONDA: Dasan Conference, Jeju, Korea (2016)
New aspect of climate change impact on heat-related mortality
51)　本田靖：第81回日本民族衛生学会総会　(2016)
気温と死亡の関連に関するシミュレーションー季節要因による影響の評価ー.
52)　Y. HONDA: Heat-related mortality: CWB-APCC Workshop on Climate Service for Health, Taipei, Taiwan (2016)
Impact of climate change and adaptation
53)　岡田将誌、飯泉仁之直、櫻井玄、西森基貴：日本気象学会2016年度秋季大会（2016）
気候・水資源制約下での農業適応策としての灌漑面積拡大の有効性
54)　飯泉仁之直、西森基貴：日本気象学会2015年度秋季大会（2016）
気象外力データセット間の気温・降水極端指標の再現性の差異
55)　A. GASPARRINI, Y. GUO, F. SERA, S. KHARE, C. HEAVISIDE, A. TOBIAS, M. HASHIZUME, E. LAVIGNE, A. ZANOBETTI, J. SCHWARTZ, DO. ASTROM, B. FORSBERG, P. MICHELOZZI, M. SCORTICHINI, XT. SEPOSO, YL. GUO, CF. WU, H. KAN, TN. DANG, DV. DUNG, MDSZS. COELHO, P. HILARIO N. SALDIVA, S. TONG, Y. HONDA, H. KIM, S. VARDOULAKIS, S. HAJAT and B. ARMSTRONG: Twenty-Eighth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Rome, Italy, September (2016)
Projections of temperature-attributed mortality under climate change scenarios: an analysis of 395 locations in 15 countries.
56)　Y. GUO, A. GASPARRINI, B. ARMSTRONG, B. TAWATSUPA, A. TOBIAS, E. LAVIGNE, MDSZS. COELHO, X. PAN, H. KIM, M. HASHIZUME, Y. HONDA, YL. GUO, CF. WU, A. ZANOBETTI, JD. SCHWARTZ, ML. BELL, AV. OVERCENCO, K. PUNNASIRI, S. LI, L. TIAN, P. SALDIVA, G. WILLIAMS, S. TONG: Twenty-Eighth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Rome, Italy (2016)
The association between temperature variability and mortality: an international collaborative study.
57)　Y. HONDA, XT. SEPOSO, TN. DANG, M. HASHIZUME, and H. KIM: Twenty-Eighth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Rome, Italy (2016) Negative risk of cold on lag 0 day in distributed lag pattern can be due to preceding mortality peak before the temperature trough”
58)　W.-S. KIM: ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) (2016)

Annual International Meeting, Orlando, Florida (2016)
Agro-Meteorological Nowcaster (AMEN) for the monitoring and forecasting of evapotranspiration
59) Y. HONDA: 10th ASIAHORCs General Meeting and 8th Joint Symposium, Muntinpula, the Philippines (2016)
Heat-related mortality: Impact and adaptation
60) Y. HONDA, X.T. SEPOSO and T.N. DANG: Conference of International Society for Environmental Epidemiology and International Society of Exposure Science Asia Chapter, Sapporo, Japan (2016)
Difference between the cold effect and the heat effect in evaluating the short-term weather-mortality relation
61) Z. SHEN, T. IIZUMI and M. NISHIMORI: 14th Pacific Regional Science Conference Organization (PRSCO 2016), Bangkok, Thailand (2016)
Cost benefit analysis of agricultural policy to improve food productivity and environmental efficiency: a model simulation study in Songyuan city, China
62) G. SAKURAI, M. NISHIMORI, M. OKADA, T. IIZUMI and M. YOKOZAWA: Adaptation Futures 2016, Rotterdam, The Netherlands (2016)
Future possible crop yield scenarios under multiple SSP and RCP scenarios
63) Y. HONDA: Adaptation Futures, Rotterdam, the Netherlands (2016)
Is adaptation to a warming world effective? - Difficulty in implementing heat-health warning system even in developed countries.
64) 川嶋良純、熊野直子、田村誠、桑原祐史：日本リモートセンシング学会 第60回（平成28年度春季）、101-102 (2016)
全球DSMを使用した堤防抽出方法の提案と氾濫シミュレーションへの展開
65) 櫻井玄、横沢正幸：日本農業気象学会2016年全国大会 (2016)
広域作物モデルにおける誤差の空間相関の取り扱いが予測に及ぼす影響
66) 飯泉仁之直：日本農業気象学会2016年全国大会 (2016)
過去30年間の気候変化が世界の主要穀物の収量変動に与えた影響
67) G. MADAKUMBURA, S. WATANABE, M. TANOUE and Y. HIRABAYASHI: 水文・水資源学会2016年度総会・研究発表会, 福島, 2016年9月15-17日
Analyzing a relation between Eurasian snow cover and Indian Monsoon rainfall using a large ensemble data set
68) 木村雄貴, 田上雅浩, 今田由紀子, 平林由希子: 第24回地球環境シンポジウム, 東京, 2015年8月31日-9月2日
Event Attribution実験を用いた2012年アマゾン川洪水の要因分析
69) Y. HIRABAYASHI: Global Flood Partnership 2016 Conference, Joint Research Center, Ispla, Italy, 29 June-1 July (2016)
Spatio-temporal characteristics of vulnerability of flood at the global scale
70) W.-S. KIM: AGU Fall Meeting, San Francisco, USA (2015)
Why we need to estimate the sampling uncertainty of eddy covariance flux measurement?
71) 本田靖：第80回日本民族衛生学会 (2015)
気温と死亡との関連を評価するモデルにおける交絡
72) 飯泉仁之直：日本気象学会2015年度秋季大会 (2015)
世界の主要穀物の収量変動変化に対する気候変化影響の同定と評価
73) 西森基貴：日本気象学会2015年度秋季大会 (2015)
経験的統計ダウンスケーリング手法（ESD）結果の不確実性について－南米および日本への適用と学習・

検証期間の影響－
74)　M. TAMURA: 2015 International Conference on Climate Change Adaptation for Energy and Industrial Sectors, GIS NTU Convention Center, Taipei, Taiwan (2015)
Impacts of climate change and mitigation/adaptation of renewable energy in Japan
75)　池内寛明、平林由希子、山崎大、木口雅司、Sujan Koirala、鼎信次郎：水文・水資源学会2015年度総会・研究発表会 (2015)
海水準上昇を伴う河川洪水氾濫解析における背水効果の分析
76)　木村雄貴、平林由希子、木下陽平：水文・水資源学会2015年度総会・研究発表会 (2015)
温暖化ハイエイタス期の洪水頻度の変化
77)　T. IIZUMI: MARCO Symposium 2015 “Next Challenges of Agro-Environmental Research in Monsoon Asia”, Tsukuba, Japan (2015)
Global risk assessment of climate-induced food production shocks: from Seasonal scale to the end of this century
78)　M. TANOUE, S. WATANABE, T. TSUNEKAWA, N. HANASAKI and Y. HIRABAYASHI: Asia Oceania Geosciences Society, 12th annual meeting, together with the 7th Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference, Singapore (2015)
Impact of terrestrial glacier meltwater on water availability
79)　S. WATANABE, H. KIM, Y. HIRABAYASHI and S. KANAE: IUGG, Prague, Czech, Jun 22-Jul 2, (2015)
A multi-model ensemble method preserving variability in various temporal scales for climate change impact assessment,
80)　M. WATANABE, S. KOIRALA, Y. HIRABAYASHI, A. YANAGAWA and S. KANAE: Asia Oceania Geosciences Society, 12th annual meeting, together with the 7th Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference, Singapore (2015)
A model estimate of glacier melts responses to climate change in high mountain Asia
81)　H. IKEUCHI, Y. HIRABAYASHI, D. YAMAZAKI, M. KIGUCHI, S. KOIRALA, and S. KANAE: Asia Oceania Geosciences Society, 12th annual meeting, together with the 7th Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference, Singapore (2015)
Future fluvial floods exacerbated by sea level rise in the Ganges-Brahmaputra-Meghna Delta
（テーマ4）
1)　B. A. Priyambodoho, S. Kure, N.F. Januriyadi and S. Kazama, 土木学会中部支部2019年度研究発表会, 長野高専, 長野市, 2020. “Climate change impact study for flood inundation in Jakarta, Indonesia based on dynamical downscaling of future scenarios”
2)　B. A. Priyambodoho and S. Kure, 土木学会中部支部2019年度研究発表会, 長野高専, 長野市, 2020. “Evaluation of GSMaP-NRT for Flood Inundation Modeling in Jakarta, Indonesia”
3)　Lorenz Ray Payonga、井原智彦：第15回日本LCA学会研究発表会 (2020)
「Application of endpoint modeling in quantifying the impacts of power interruptions on quality of life」
4)　姜怡達、井原智彦：第15回日本LCA学会研究発表会 (2020)
「An estimation of household activity emissions and the potential for emission mitigation through behavior change」
5)　周楚韵、井原智彦：第15回日本LCA学会研究発表会 (2020)
「Implementation of Bike-sharing System in Japan: The case study in Oita City」
6)　T. Ihara, D. Narumi, S. Fukuda, H. Kondo：The 5th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (2019)
“Evaluation of sleep disorder caused by urban heat island based on the Pittsburgh Sleep

Quality Index”
7) T. Ota, Y. Kikegawa, K. Yamaguchi, M. Kanda, A. C. G. Varquez, T. Ihara：The 5th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (2019)
“Evaluation of countermeasures for thermal environment in Delhi by urban canopy-building energy coupled simulation”
8) K. Yamaguchi, T. Kuwayama, T. Ihara, Y. Kikegawa, K. Okada, M. Kanda, A. C. G. Varquez, N. S. Darmanto, P. S. Darmanto：The 5th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (2019)
“Urban Climate Adaptation Strategy for Tropical Megacities Utilizing Energy Efficient Technologies”
9) S. Karkour, T. Ihara, T. Ota, N. Itsubo：The 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (2019)
“Life cycle assessment of residential air-conditioners: comparison between India, Indonesia and Japan”
10) 方儒玥、山口和貴、玄地裕、井原智彦：第14回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2019)
「東京都区部の各街区における鏡面反射・再帰反射を考慮した都市キャノピーモデルを用いた再帰反射フィルムによる屋外熱環境の改善効果及び省エネ効果の評価」
11) 大田宇春、亀卦川幸浩、山口和貴、高根雄也、神田学、Alvin Christopher Galangc Varquez、井原智彦：第14回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2019)
「都市気象-ビルエネルギー連成シミュレーションによるインド・デリーにおける高温熱環境の再現」
12) 張典、井原智彦：第14回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2019)
「2050年代のジャカルタにおける性別を考慮した睡眠障害の予測」
13) 梅野凌矢、カーコーセリム、伊坪徳宏、井原智彦：第14回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2019)
「ジャカルタにおける地球温暖化対策の費用便益分析」
14) A.C.G. Varquez: Global Urban Climatology (Invited) International Workshop on Urban Climate Projection, University of Tsukuba, Japan, Oct. 1, 2019
15) A.C.G. Varquez and M. Kanda: Global Urban Climatology Framework: New Perspective and Highlights, American Geophysical Union Fall Meeting 2019, San Francisco, CA, USA, Dec. 9 - 13, 2019
16) 劉宇、山口和貴、亀卦川幸浩、村山和義、井原智彦：2018年度日本建築学会関東支部研究発表会 (2019)
「インテンシブおよびエクステンシブ屋上緑化の熱収支の計測」
17) Selim Karkour、井原智彦、伊坪徳宏：第14回日本LCA学会研究発表会 (2019)
「Mitigation and Adaptation to Climate Change through Life Cycle Assessment of Air-Conditioners: comparison between Japan and developing countries with consideration of the future environmental impacts」
18) 姜怡達、井原智彦：第14回日本LCA学会研究発表会 (2019)
「家計支出と生活時間の統計を用いた家庭内の行動に伴うCO2排出量の評価」
19) 廣川達也、井原智彦、吉田好邦：第14回日本LCA学会研究発表会 (2019)
「ジェンダー・福利厚生・賃金など各種労働問題を考慮したS-LCAの実装」
20) B. A. Priyambodoho, S. Kure, N.F. Januriyadi and S. Kazama, 水文・水資源学会2019年度研究発表会, 千葉工業大学, 習志野市, 2019. “Effects of Regional Climate Change on Flood Inundation in Jakarta, Indonesia”
21) B. A. Priyambodoho and S. Kure：Evaluation of GSMaP Satellite Rainfall Dataset in Jakarta, Indonesia, 水文・水資源学会2019年度研究発表会, 千葉工業大学, 習志野市, 2019.

22) B.A. Priyambodho, S. Kure, I.R. Moe, N.F. Januriyadi, M. Farid and S. Kazama, 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2019) Hanoi, Vietnam, 2019. "Regional Climate Change Impacts on Flood Inundation in Jakarta, Indonesia"
23) A.C.G. Varquez, N.Kawano, M.Kanda, and M.Nakayoshi, 1st International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences (ICTMAS 2018), Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, Sept.19-20,2018 "The atmospheric effect of anthropogenic emissions to large Asian urban agglomerations." (oral; best presentation)
24) N.S. Darmanto, A.C.G. Varquez, and M. Kanda: 1st International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences (ICTMAS 2018), Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, Sept.19-20,2018 "Future urban climate projection in a tropical megacity based on global climate and local urbanization scenarios"
25) A.C.G. Varquez, N.Kawano, M.Kanda, and M.Nakayoshi : 10th International Conference on Urban Climate (ICUC), 6-10 August 2018, New York, USA. "Numerical Investigation of the World's Large Urban Agglomerations Using Distributed Roughness and Anthropogenic Emissions."
26) M.R. Ferdiansyah, A. Inagaki, M. Kanda, A.J.P. Calheiros, and D.A. Villa: 1st International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences (ICTMAS 2018), Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, Sept. 19 - 20, 2018 "Information of sea-breeze inland penetration in tropical-coastal urban region derived from Himawari-8 visible band images."
27) M.R. Ferdiansyah, A. Inagaki and M. Kanda: Jakarta, Indonesia October 8-10, 2018 "Atmospheric boundary-layer flow retrievals from Himawari-8 images using thermal image velocimetry Aomsuc9"
28) M.R.Ferdiansyah, A.Inagaki and M.Kanda : S-14 Symposium of Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change, Bandung, Indonesia, September 17-18, 2018 "Spatial-temporal Detection of Sea-breeze Penetration Over Megacities from Himawari-8."
29) A.C.G. Varquez, N.S.Darmanto, N.Kawano, S.Kiyomoto, Y.Zhou, S.Takakuwa and M.Kanda : S-14 Symposium of Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change, Bandung, Indonesia, September 17-18, 2018. " Linking Urbanization and Climate Change in Dynamical Downscaling Models."
30) N.S. Darmanto, A.C.G. Varquez, S. Takakuwa, N. Kawano, M. Kanda and Y. Zhou: S-14 Symposium of Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change, Bandung, Indonesia, September 17-18, 2018. "Future Urban Climate Projection in a Tropical Mega City Based on Global and Local Urbanization Scenarios."
31) M. Yucel, A. Inagaki and M. Kanda: 10th International Conference on Urban Climate (ICUC), 6-10 August 2018, New York, USA. "Effect of the Great Garuda Sea Wall on pedestrian-level wind and thermal comfort.
32) Nurul Fajar Januriyadi, So Kazama, Idham R. Moe, Shuichi Kure, Symposium of Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change, Bandung, Indonesia, 2018. "How will anthropogenic activities change the flood risk in Jakarta megacity?"
33) Qing Chang, Yoshiya Touge, So Kazama, The 6th International Symposium on Water Environment Systems --with Perspective of Global Safety, pp.38-40, 仙台, 2018. "The impact of spatial distribution scale on urban hydrological modeling perfoemance and prediction"
34) B. A. Priyambodoho, S. Kure and S. Kazama, 水文・水資源学会2018年度研究発表会, 三重大学, 津市, 2018. "Future Projections of Flood Inundation at Ciliwung River Basin in Jakarta,

Indonesia”
35)　B. A. Priyambodoho and S. Kure：Evaluation of GSMaP rainfall for flood inundation simulation in Jakarta, Indonesia, 水文・水資源学会2018年度研究発表会, 三重大学, 津市, 9月12日-14日, 2018.
36)　B.A. Priyambodoho, S. Kure, and S. Kazama, 15th Annual Meeting AOGS, Honolulu, USA, 2018. “Impacts of land-use/cover change at upstream region on flood inundation in Jakarta, Indonesia”
37)　B. A. Priyambodoho and S. Kure, 平成30年度土木学会中部支部技術研究発表会, 愛知工業大学, 豊田市, 2019. “Evaluation of a GSMaP NRT data for Flood Inundation Model in Jakarta, Indonesia”
38)　Nurul Fajar Januriyadi, So Kazama, Daisuke Komori, JSCE Tohoku Branch Conference, Kooriyama, 2018, II-18, “Comparison three interpolation methods for statistical downscaling of GCMs”
39)　橋本侑樹、桝元慶子、大橋唯太、亀卦川幸浩、井原智彦：第57回日本生気象学会大会 (2018)
「住宅内熱環境観測に基づく室温による熱中症搬送率の統計的予測」
40)　T. Kuwayama, S. Omune, N. Itsubo, K. Yamaguchi, K. Okada, Y. Kikegawa, M. Kanda, A. C. G. Varquez, N. S. Darmanto, P. S. Darmanto, T. Ihara：The 13th Biennial International Conference on EcoBalance (2018)
“Integrated assessment of the health damage reduction effect and the environmental impact of air conditioner usage”
41)　K. Yamaguchi, T. Kuwayama, T. Ihara, Y. Kikegawa, K. Okada, M. Kanda, A. C. G. Varquez, N. S. Darmanto, P. S. Darmanto：The 13th Biennial International Conference on EcoBalance (2018)
“Evaluation for Heat Island Mitigating Potential of Improving Energy Efficiency in Jakarta”
42)　T. Ihara, K. Yoshida, Y. Yoshida：The 13th Biennial International Conference on EcoBalance (2018)
“Impact of knowledge on purchase decision making of fair trade products”
43)　山口和貴、鈴木基、井原智彦、玄地裕、田中稔：平成30年度空気調和・衛生工学会大会
「東京都のオフィスビルにおける夏季空調使用実態調査」
44)　K. Yamaguchi, T. Kuwayama, T. Ihara, Y. Kikegawa, K. Okada, M. Kanda, A. C. G. Varquez, N. S. Darmanto, P. S. Darmanto：Symposium of Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change (2018)
“Evaluation for Heat Island Mitigating Potential of Improving Energy Efficiency in Jakarta”
45)　T. Ihara, T. Kuwayama, S. Omune, N. Itsubo, K. Yamaguchi, K. Okada, Y. Kikegawa, P. S. Darmanto, A. C. G. Varquez, N. S. Darmanto, M. Kanda：Symposium of Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change (2018)
“Role of air conditioner as mitigation and adaptation to climate change”
46)　T. Ota, Y. Kikegawa, K. Yamaguchi, T. Ihara：Symposium of Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change (2018)
“Current status of urban heat island and adapattions in Delhi, India”
47)　張典、井原智彦：第13回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2018)
「気温変化による睡眠障害への影響の地域別分析 ―名古屋とジャカルタのケーススタディ―」
48)　大田宇春、亀卦川幸浩、山口和貴、井原智彦：第13回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2018)

「都市キャノピー・ビルエネルギー連成シミュレーションによるデリーにおける高温熱環境の対策技術の評価」
49)　長沼康太、福田早苗、鳴海大典、近藤裕昭、井原智彦：第13回日本ヒートアイランド学会全国大会（2018）
「疲労に関する連続日数の疫学調査における問題点」
50)　西本隆、橋本侑樹、山口和貴、亀卦川幸浩、井原智彦：第13回日本ヒートアイランド学会全国大会（2018）
「都市気象－建物エネルギー連成サブグリッドモデルを用いた東京都の建物種類別エネルギー需要予測」
51)　小楠智子、関山牧子、橋本侑樹、井原智彦：第13回日本ヒートアイランド学会全国大会（2018）
「関東地方における熱中症の社会経済要因に関する調査」
52)　橋本侑樹、桝元慶子、大橋唯太、井原智彦：第13回日本ヒートアイランド学会全国大会（2018）
「都市における住宅内熱環境と熱中症リスクの評価」
53)　井原智彦、三木勝夫：第13回日本ヒートアイランド学会全国大会（2018）
「高反射率塗料が15年間の研究成果を経て乗用車で実用化される」
54)　Ｙ. Hashimoto, K. Masumoto, Y. Kikegawa, Y. Ohashi, T. Ihara：The 10th International Conference on Urban Climate（2018）
“Survey and prediction of summertime indoor temperature and humidity in urban areas, Japan”
55)　Y. LIU, K. Yamaguchi, Y. Kikegawa, K. Okada, M. Kanda, N. S. Darmanto, P. S. Darmanto, T. Ihara：The 10th International Conference on Urban Climate（2018）
“Simulated impact of green roofs on cooling energy and daily temperature in Jakarta, Indonesia”
56)　T. Nishimoto, T. Tashiro, Y. Hashimoto, K. Yamaguchi, Y. Kikegawa, Y. Ohashi, T. Ihara：The 10th International Conference on Urban Climate（2018）
“Development and verification of urban canopy - building energy coupled model considered multiple building types”
57)　K. Yamaguchi, T. Kuwayama, T. Ihara, Y. Kikegawa, K. Okada, M. Kanda, A. C. G. Varquez, N. S. Darmanto, P. S. Darmanto：The 10th International Conference on Urban Climate（2018）
“Evaluation for heat island mitigating potential of e-mobility in Jakarta”
58)　井原智彦、桑山忠弘、大棟俊、伊坪徳宏、山口和貴、岡田和樹、亀卦川幸浩、Prihadi Setyo Darmanto、Alvin Christopher Galangc Varquez、Nisrina Setyo Darmanto、神田学：第37回エネルギー・資源学会研究発表会（2018）
「ジャカルタにおけるエアコンの健康被害軽減効果と環境影響の統合評価」
59)　山口和貴、桑山忠弘、井原智彦、亀卦川幸浩、岡田和樹、神田学、Nisrina Setyo Darmanto、Alvin Christopher Galangc Varquez、Prihadi Setyo Darmanto：第37回エネルギー・資源学会研究発表会（2018）
「ジャカルタにおける電気自動車普及によるヒートアイランド緩和ポテンシャルの評価」
60)　桑山忠弘、伊坪徳宏、大棟俊、亀卦川幸浩、岡田和樹、山口和貴、神田学、Alvin Christopher Galangc Varquez、Nisrina Setyo Darmanto、Prihadi Setyo Darmanto、井原智彦：第13回日本LCA学会研究発表会（2018）
「2050年代のジャカルタにおけるエアコンの使用割合向上や高効率化による睡眠困難軽減効果のシナリオ分析」
61)　大棟俊、桑山忠弘、井原智彦、伊坪徳宏：第13回日本LCA学会研究発表会（2018）
「家庭用空調機の気候変動緩和策と新興国導入による適応効果の定量分析」

62) N.S. Darmanto, A.C.G. Varquez, and M. Kanda: 97th American Meteorological Society Annual Meeting and 13th Symposium of the Urban Environment, 22-26 Jan, 2017. “Satellite-derived Urban Parameters for Mesoscale Weather Modeling in A Megacity”
63) Y. Dong, A.C.G. Varquez, and M. Kanda: 97th American Meteorological Society Annual Meeting and 13th Symposium of the Urban Environment, 22-26 Jan,2017. “Global High-Resolution Anthropogenic Heat Flux Database”
64) N. Kawano, A.C.G. Varquez, Y. Dong, M. Kanda and M. Roth: 97th American Meteorological Society Annual Meeting and 13th Symposium of the Urban Environment, 22-26 Jan, 2017. “Weather Modelling of Urban Heat Island in Megacities Using Distributed Urban Parameters Derived from Global Datasets”
65) A.C.G. Varquez and M. Kanda: 97th American Meteorological Society Annual Meeting and 13th Symposium of the Urban Environment, 22-26 Jan, 2017. “Analyses of Multiple Urban Heat Islands from Global Surface Temperature Datasets”
66) M.Esteban, H. Takagi, T. Mikami, D. Fujii and S. Kurobe: 12th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structure (ICOPMAS 2016), 2p., Feb.2017 “Awareness about tsunamis and dyke-break induced tsunami in low-lying coastal communities in Jakarta”
67) T. Mikami, H. Takagi, M. Esteban, D. Fujii and S. Kurobe: 12th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structure (ICOPMAS 2016), 2p., Feb. 2017. “Evacuation Simulation for a Vulnerable Coastal Community in Jakarta”
68) H. Takagi, M. Esteban, T. Mikami, D. Fujii, and S. Kurobe: 12th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structure (ICOPMAS 2016), 2p., Feb.2017. “Mechanisms of coastal floods in Jakarta: the need for immediate action against land subsidence”
69) A.C.G. Varquez, N.S.Darmanto, M.Kanda, and S.Takakuwa: Cities and Climate Conference 2017, Potsdam, Germany,19-21,Sept.2017. “Global urban climatology: advance strategy for representing urban areas in global weather models”
70) A.C.G. Varquez, M. Kanda, N.S. Darmanto, T. Sueishi, and N. Kawano: American Geophysical Union Fall Meeting 2017, New Orleans, USA,11-15 Dec.2017. “Advance strategy for climate change adaptation and mitigation in cities”
71) Masafumi Kon, Daisuke Komori, Pimsri Suwannapat, AOGS, Singapore, AS18-D3-PM1-P-014(2017) “Dynamics Evapotranspiration Fluxes Over the Heterogeneous Land Covers”
72) Satoshi Anzai, So Kazama, AOGS, Singapore, HS14-D4-AM1-327-005(2017) “Tendencies of High-Risk People on Floods Using Social Media”
73) 中口幸太，小森大輔，風間聡，土木学会年次講演会，福岡，II-015，pp.29-30(2017) “内水氾濫頻発区域の地理的・人為的分布特性”
74) 岡田和樹、亀卦川幸浩、井原智彦、Alvin C.G. Varquez、稲垣厚至、神田学：日本気象学会2017年度秋季大会 (2017)
「ジャカルタを対象としたWRFの都市キャノピースキームに関する比較実験」
75) 橋本侑樹、井原智彦、大橋唯太、鍋島美奈子、重田祥範、亀卦川幸浩：日本気象学会2017年度秋季大会 (2017)
「熱中症リスク評価指標としての障害調整生存年(DALY)の検討」
76) 井原智彦、近藤裕昭：日本気象学会2017年度秋季大会 (2017)
「ピッツバーグ睡眠質問票を用いた気温上昇による睡眠悪化の評価」
77) Y. HASHIMOTO, T. IHARA：The 21th International Congress of Biometeorology (2017) “Calculating disability-adjusted life years (DALYs) for heat related illnesses due to urban heat island in Japan”
78) T. IHARA, R. KUSAMA：The 21th International Congress of Biometeorology (2017)

“Estimation of fatigue by air temperature increase and reduction by air conditioners in Jakarta, Indonesia”
79)　橋本侑樹、塩野大和、亀卦川幸浩、井原智彦：第12回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2017)
「住宅における空調室と非空調室の室内熱環境に関する実測調査 ―2016年千葉県・東京都の事例―」
80)　西本隆、田代太一、橋本侑樹、徳竹衿也、亀卦川幸浩、井原智彦：第12回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2017)
「複数の建物用途を考慮できる都市キャノピー-建物連成モデルの開発と検証」
81)　井原智彦、草間蓮：第12回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2017)
「ジャカルタにおけるエアコン導入による疲労軽減効果の評価」
82)　小楠智子、橋本侑樹、井原智彦：第12回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2017)
「熱中症による搬送の気象的・社会的要因分析」
83)　桑山忠弘、前田健太郎、亀卦川幸浩、岡田和樹、山口和貴、高根雄也、神田学、Nisrina Setyo Darmanto、Alvin Christopher Galangc Varquez、Prihadi Setyo Darmanto、井原智彦：第12回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2017)
「ジャカルタにおけるエアコンの使用率向上による睡眠困難の緩和効果の評価」
84)　劉宇、前田健太郎、山口和貴、亀卦川幸浩、岡田和樹、高根雄也、神田学、Nisrina Setyo Darmanto、Alvin Christopher Galangc Varquez、Prihadi Setyo Darmanto、井原智彦：第12回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2017)
「ジャカルタにおける屋上ヒートアイランド対策の気温低減および冷房需要削減効果」
85)　草間蓮、井原智彦：第12回日本LCA学会研究発表会 (2017)
「ジャカルタにおける睡眠困難の実態把握とエアコン導入効果定量化」
86)　A.C.G. Varquez and M.Kanda: The International Science Conference on MAHASRI, Tokyo Metropolitan University (Hachioji, Japan), 2-4 Mar 2016. “The roadmap to global urban climatology”
87)　M.Kanda: The International Science Conference on MAHASRI, Tokyo Metropolitan University (Hachioji, Japan), 2-4 Mar 2016. “Case study on mitigation and local adaptation to climate change in Jakarta” “Cost and benefit of rooftop energy saving technologies - case study in Jakarta -”
88)　N.S. Darmanto, A.C.G. Varquez, M. Kanda, and S. Takakuwa: American Geophysical Union Fall Meeting, 12-16 Dec, 2016. “Future Climate Prediction of Urban Atmosphere in A Tropical Megacity: Utilization of RCP/SSP Scenarios with an Urban Growth Model”
89)　Y. Dong, A.C.G. Varquez, and M. Kanda: American Geophysical Union Fall Meeting, 12-16 Dec, 2016 “1-km Global Anthropogenic Heat Flux Database for Urban Climate Studies”
90)　N. Kawano, A.C.G. Varquez, Y. Dong, and M. Kanda: American Geophysical Union Fall Meeting, 12-16 Dec, 2016. “Global distribution of urban parameters derived from high-resolution global datasets for weather modeling”
91)　A.C.G. Varquez, M. Kanda, N. Kawano, N.S. Darmanto, and Y. Dong: American Geophysical Union Fall Meeting, 12-16 Dec, 2016. “Introduction to Global Urban Climatology”
92)　I. R. Moe, S. Kure, N.F. Januriyadi, K. Udo, S. Kazama, S. Koshimura: 13th Annual Meeting AOGS, Beijing, 2016, HS27-D4-AM1-302B(L3S)-004, p205. “Flood Inundation Characteristic inJakarta and Its Evaluation Considering Land Use Change and Land Subsidence”
93)　呉修一, Idham Riyando Moe, Nurul Fajar Januriyadi, 風間聡：水文・水資源学会2016年度研究発表会要旨集, 土地利用の変化および地盤沈下がジャカルタ洪水氾濫に与えた影響.
94)　Kure, S., I. Moe, S. Kazama: The International Science Conference on MAHASRI, Tokyo,

2016. “Historical reconstruction of floods in Jakarta, Indonesia considering land use change and land subsidence”
95) 中口幸太，小森大輔，井上亮，風間聡，Ⅱ-111，pp.221-222，土木学会年次学術講演会，仙台，2016 “仙台．大都市における内水氾濫頻発区域の分布とその特性―大阪市を対象とした解析―”
96) 秋間将宏，風間聡，小森大輔，Ⅱ-124，pp.247-248，土木学会年次学術講演会，仙台，2016 “洪水氾濫と高潮複合災害の被害額と伊勢湾台風被害額との比較”
97) Kure, S., I. Moe, S. Kazama: The International Science Conference on MAHASRI, Tokyo, 2016 “Historical reconstruction of floods in Jakarta, Indonesia considering land use change and land subsidence”
98) Januriyadi, N., I. Moe, S. Kure and S. Kazama: 土木学会東北支部技術研究発表会，2016 “Estimation of 2013 Jakarta Flood Damage Costs”
99) Idham Moe, S. Kure, M. Farid, S. Kazama, K. Udo, S. Koshimura and A. Mano: AOGS 12th Annual Meeting, APHW02-A021, Singapore, 2015 “Flood Inundation Characteristic in Jakarta City, Indonesia and its Evaluation by Numerical Simulation”
100) K. Maeda, K. Yamaguchi, N. S. Darmanto, A. C. G. Varquez, Y. Kikegawa, M. Kanda, T. Ihara : The 12th Biennial International Conference on EcoBalance (2016)
“Cost and benefit of rooftop energy saving technologies - case study in Jakarta -”
101) R. Kusama, T. Ihara : The 12th Biennial International Conference on EcoBalance (2016)
“Quantitative evaluation of impact of climate change on human health in Jakarta”
102) T. Ihara : he 12th Biennial International Conference on EcoBalance (2016)
“Comparison of case studies on cost-benefit analysis of green roof”
103) 前田健太郎、山口和貴、亀卦川幸浩、井原智彦：第11回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2016)
「ジャカルタにおける、屋上緑化の冷房需要削減効果」
104) 橋本侑樹、井原智彦、亀卦川幸浩：日射を考慮した壁面緑化導入時の街区電力消費への影響評価．第11回日本ヒートアイランド学会全国大会，広島工業大学（広島），8-10 Jul 2016.
105) 井原智彦：第11回日本ヒートアイランド学会全国大会 (2016)
「緑化のメリットとデメリット」
106) Y. Hashimoto, T. Ihara, Y. Ohashi, M. Nabeshima, Y. Shigeta, Y. Kikegawa : The 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (2016)
“Simulations of summer energy consumption considering insolation by urban heat-island countermeasures and energy-saving measures in Osaka city, Japan”
107) R. Maeda, K. Yamaguchi, N. S. Darmanto, A. C. G. Varquez, Y. Kikegawa, M. Kanda, T. Ihara : The 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (2016)
“Evaluating the effectiveness of countermeasures against urban heat island in Jakarta”
108) T. Ihara, K. Yamaguchi, K. Oka, Y. Ohashi, Y. Kikegawa, Y. Takane, Y. Genchi. The International Science Conference on MAHASRI (2016)
“Cost-benefit analysis of green roof based on life cycle assessment”
109) 草間蓮、井原智彦：第11回日本LCA学会研究発表会 (2016)
「ジャカルタにおける気候変動に伴う健康影響の定量評価」
110) 井原智彦、山口和貴、岡和孝、大橋唯太、亀卦川幸浩、玄地裕：第11回日本LCA学会研究発表会 (2016)
「LCAに基づく屋上緑化の費用便益分析」
111) A.C.G. Varquez and M.Kanda: 9th International Conference on Urban Climate (ICUC9) jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, July 20-24, 2015 “Changing perspectives: Significance of long-term temperature observations in major cities”

112)　N.S. Darmanto, A.C.G. Varquez and M. Kanda: Proceeding of the 9th International Conference on Urban Climate, 20th-24th July 2015. “Detection of Urban Environment from Landsat 8 for Mesoscale Modeling Purposes”
113)　Y. Hashimoto, T. Ihara, Y. Ohashi, M. Nabeshima, Y. Shigeta, Y. Kikegawa : The 9th International Conference on Urban Climate (2015)
“Sensitivity of electricity consumption to air temperature, air humidity and solar radiation in city-block scale - Based on 2013 Osaka city observation -”
114)　T. Ihara, Y. Takane, Y. Genchi : The 9th International Conference on Urban Climate (2015)
“Estimation of DALY loss due to heat stroke and sleep disturbance caused by air temperature rise in Tokyo, Japan”
（テーマ5）
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)　中嶌一憲、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: 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

〈テーマ１〉

研究代表者

沖 大幹

東京大学工学士木工学科卒業、博士（工学）。現在、東京大学生産技術研究所教授

研究分担者

伊坪 徳宏

東京大学工学系研究科材料学専攻修了卒業、博士（工学）、現在、東京都市大学環境学部教授

馬奈木 俊介

九州大学大学院工学研究科修士卒、米国ロードアイランド大学大学院博士卒(経済学専攻)。
Ph.D(経済学)。現在、九州大学大学院工学研究院都市システム工学講座主幹教授

〈テーマ２〉

研究代表者

松田 裕之

京都大学理学研究科生物物理学専攻・博士後期課程修了、理学博士。
現在、横浜国立大学大学院教授

研究分担者

森 章

京都大学農学研究科地域環境科学専攻・博士後期課程修了、理学博士。
現在、横浜国立大学大学院　教授

井上 智美

千葉大学自然科学研究科 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　主任研究員

松井 哲哉

東京農工大学農学部環境保護学科卒、M.Sc.in Ecology（オタゴ大）、
博士（農学、東京農工大）。

現在、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　気候変動研究室長

桑江 朝比呂

京都大学大学院農学研究科修士課程修了、博士（農学、京都大学）。

現在、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所グループ長

〈テーマ３〉

研究代表者

平林 由希子

東京大学大学院工学系研究科修了、博士（工学）。

現在、芝浦工業大学大学院理工学研究科教授

研究分担者

西森 基喜

筑波大学地球科学研究科単位取得、博士（理学）。

現在、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター

気候変動対応研究領域影響予測ユニット長

飯泉 仁之直

筑波大学生命環境科学研究科修了、博士（理学）。

現在、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター

気候変動対応研究領域影響予測ユニット主任研究員

本田 靖

東京大学医学部保健学科および医学科卒業、東京大学より博士（医学）。

現在、国立大学法人筑波大学教授

横木 裕宗

東京大学大学院工学系研究科修了、博士(工学)。

現在、国立大学法人茨城大学大学院理工学研究科(工学野)教授

〈テーマ４〉

研究代表者

神田 学

国立大学法人東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻修士課程修了、博士(工学)。

現在、国立大学法人東京工業大学環境・社会理工学院教授

研究分担者

高木 泰士

横浜国立大学工学部卒業、博士（工学）。

五洋建設株式会社係長を経て、現在、国立大学法人東京工業大学環境・社会理工学院准教授

風間 聡

国立大学法人東北大学大学院工学研究科博士課程後期修了、博士（工学）。

現在、国立大学法人東北大学大学院工学研究科教授

呉 修一

学校法人中央大学理工学部卒業、東北大学災害科学国際研究所助教、博士（工学）。

現在、公立大学法人富山県立大学環境・社会基盤工学科准教授

井原 智彦

国立大学法人東京大学工学部卒業、同大学院工学系研究科博士課程修了、博士（工学）。

産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センター研究員、

同安全科学研究部門研究員を経て、

現在、国立大学法人東京大学大学院新領域創成科学研究科　准教授

〈テーマ５〉

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

高橋 潔

京都大学工学部衛生工学科卒業、博士（工学）。

現在、国立環境研究所社会環境システム研究センター

気候変動適応センター広域影響・対策モデル研究室室長

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）

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）

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主任研究員

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研究員

（2019.4.1～分担者）

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室長

日引 聡

東京大学大学院第2種博士課程満期退学、経済学博士。

現在、東北大学大学院経済学研究科教授

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主任研究員

亀山 康子

東京大学教養学部卒業、博士（学術）。

現在、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

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

８．結果及び考察（非公開）

９．本研究により得られた主な成果（非公開）

（１）科学的意義

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

Ⅱ. 英文Abstract

Strategic Research on Global Mitigation and Local Adaptation to Climate Change

Principal Investigator: Taikan OKI
Institution: Institute of Industrial Science,
The University of Tokyo
4-6-1 Komaba, Meguro, Tokyo 153-8505, JAPAN
Tel: +81-3-5452-6382 / Fax: +81-3-5452-6383
E-mail: s14-info@rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp
Cooperated by: Yokohama National University, Shibaura Tech, Tokyo Tech, and National Institute for Environmental Studies

[Abstract]

Key Words: Climate change and its adaptation and mitigation, Life cycle assessment, Subject wellbieng, ecosystem, Adaptation cost, Cost-benefit analysis, Climate change impact on Mega-city, Computable general equilibrium model, Integrated assessment model, SDGs

In order to construct sustainable society by integrated approach for mitigation and adaptation, how effectively and efficiently the climate change issues can be solved with delicate balances between mitigation and adaptation under limited economical and human resources were assessed quantitatively, and it was utilized for supporting climate change policy developments as risk management.

In this project, the integrated approach for ecosystem-based mitigation and adaptaoin of climate change are developed. Through this integrated approach, we found three newly and impoetand knowledge. Firstly, shallow coastal ecosystems is the carbon sink (anout 5 billion ton-CO2 in year) in global. Due to temperature increase and sea levelrise in future, the area and carbon balance of shallow coastal ecosystems will be changed. Based on this results, Yokohama City starts to utilize the cultivation of eelgrass bed as carbon credit. Secondly, we estimated that capacity of forming coral reef will follow the sea level rise. On the other hand, there is possible that the forming capacity can not follow the sea levl rise due to reduce of coral area by coral bleaching in sea temperature increase. Third, we found that efforts to climate stabilization blocks the damage of ecosystem. To keep the temperature increase by climate change to 2 degree C, it is necessary to implement the counter measures with land use change such as afforestation, and crop for biomass fuel. Land use change may prevent wildlife habitation and reduce the diversity. We made it clear that to keep the temperature

increase to 2 degree C is effective for stop of damage of ecosystem considering effects of land use change.

We challenged to estimate global cost-benefit analisis of climate change adaptation. Our target sectors are water-related disaster, food production, human health, and coastal region, occupying the most adaptaion cost to climate change. Cost-benefit analysis of adaptation to climate change in above sectors by global model and effects of ecosystem are integrated, and analyzed. To reduce the additional damage by climate change to the current level, it is necessary to invest cost equivalent to 1.5 % of GDP in global evey year under the warst scenario (RCP8.5/SSP3). However, we can not to make the additional damage by climate change zero due to the limits of adaptation, although it could be reduced the damage of climate change by adaptaion, in Africa and Asia where river flood increase, and the tropical and low latitude region where the crop production is badly affected by temperature increase because of high temperature naturally.

The most recent report of AR5 in IPCC suggested that the high risks due to global climate change are concentrated in urbanized areas. This theme conducts a case study on mitigation and local adaptation to climate change in an Asian megacity. The city of our focus is Jakarta, Indonesia, where rapid urban sprawl is expected to continue for the next several decades and multiple stresses involving water disaster, heat stress, and land subsidence exist. We firstly developed the urban geographic information database in high resolution in time and space in global. This causes to enable the prediction and analysis of future climate in urban area over the world. Using this database, we showed evaluation and cost-benefit analysis of policies to reduce the risk reduction of urban flooding based on mitigation and local adaptation, and the urban health impact assessment and cost-benefit analysis of mitigation and local adaptation. Although economy will develop, it is predicted that the effect of heat stress increase.Howevwe, increase of air-conditioner usage reduces heat stress by climate change. Using life cycle assessment, reduction of difficulty of sleep is rather than increase of production and usage of air-ocnditioner, that is, there is high possibility the air-conditioner provide the net benefit in society.

According to AR5 in IPCC, here is a need to implement the integrated and quantitative evaluation of climate change mitigation and adaptation policies. We estimate the costs of impact and adaptation policies consistent with global GHG emissions. Damage cost by climate change in the end of 21 century is 0.8 - 6.6 % with large uncertainty due to GHG emission and socio-economic situation in future. As a result, it means that the factor, which we, the human beings, select, has huge impacts on damage by climate change. Difficulty of climate change counter measures is strong dependence on future society (population, economy, advanced energy technic, human’s environmental awareness and life style). To keep damageof climate change

minimize it is necessary not only the activities to target of GHG reduce, but a comprehensive society changes.

Finally, the economic damage in currency, health damage in DALY, ecosystem damage in EINES, and mitigation cost in currency are integrated in terms of money. Total cost to climate change is estimated as about 450 - 800 trillion US$ (about 3 - 7 % of GDP). This is first estimation of global adaptation cost in the world. In case of AIM and LCA, we organized cutting-edge results including sectors which we never consider so far. These information are precious knowledge for discussion which world we choose.