

課題名 2RF-1401 気候変動の緩和策と適応策の統合的実施研究に関する検討

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26年度

累計予算額 11,883千円
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 気候変動、費用便益分析、メガシティ、統合モデル、生態系保全

研究体制

- (1) 防災と適応策の相乗効果やアジア諸国における実施に関する研究の検討（国立大学法人東京大学）
- (2) 緩和策と適応策の統合的なモデル解析研究の検討（独立行政法人国立環境研究所）
- (3) 生態系保全による緩和策と適応策の統合や地方自治体における実施に関する研究の検討（国立大学法人横浜国立大学）

研究概要

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)がその第5次評価報告書の承認、公開を始め、すでに第1作業部会の報告書が公表され、地球の気候システムの温暖化は疑う余地がなく、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。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、90%の可能性であった第4次報告書の記述からさらに一歩踏み込まれている。

日本が1993年に批准した気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)の第2条では「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととしない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極的な目的とする」とされ、締約国である日本は大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させるいわゆる緩和策を推進する必要がある。

気候変動のメカニズム解明や危険な人為的干渉としない温室効果ガスの濃度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。2013年になってようやく適応策に関する省庁横断的な取り組みがはじまったところであり、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を日本における今後の環境政策に反映させる研究開発が必要であり、そうした研究の新規戦略研究プロジェクトとしての実施可能性を検討し、研究開発体制を提案することが求められている。

2. 研究開発目的

本研究は、国内外における、緩和策と適応策との統合的実施による復元力に富み、持続可能な社会の構築に向けた施策に資する技術的、社会的、経済的研究開発に関して、技術的課題・ニーズの洗い出しや専門家の有無の把握などによる研究開発の実現可能性の検討を含め、効率的かつ効果的な研究体制の検討を平成26年度の1年間でを行い、新規の戦略研究プロジェクトの提案につながる調査研究の実施を最終目標とする。

3. 研究開発の方法

上記の最終目標を達成するため、図1のような実施体制で本研究を推進した。

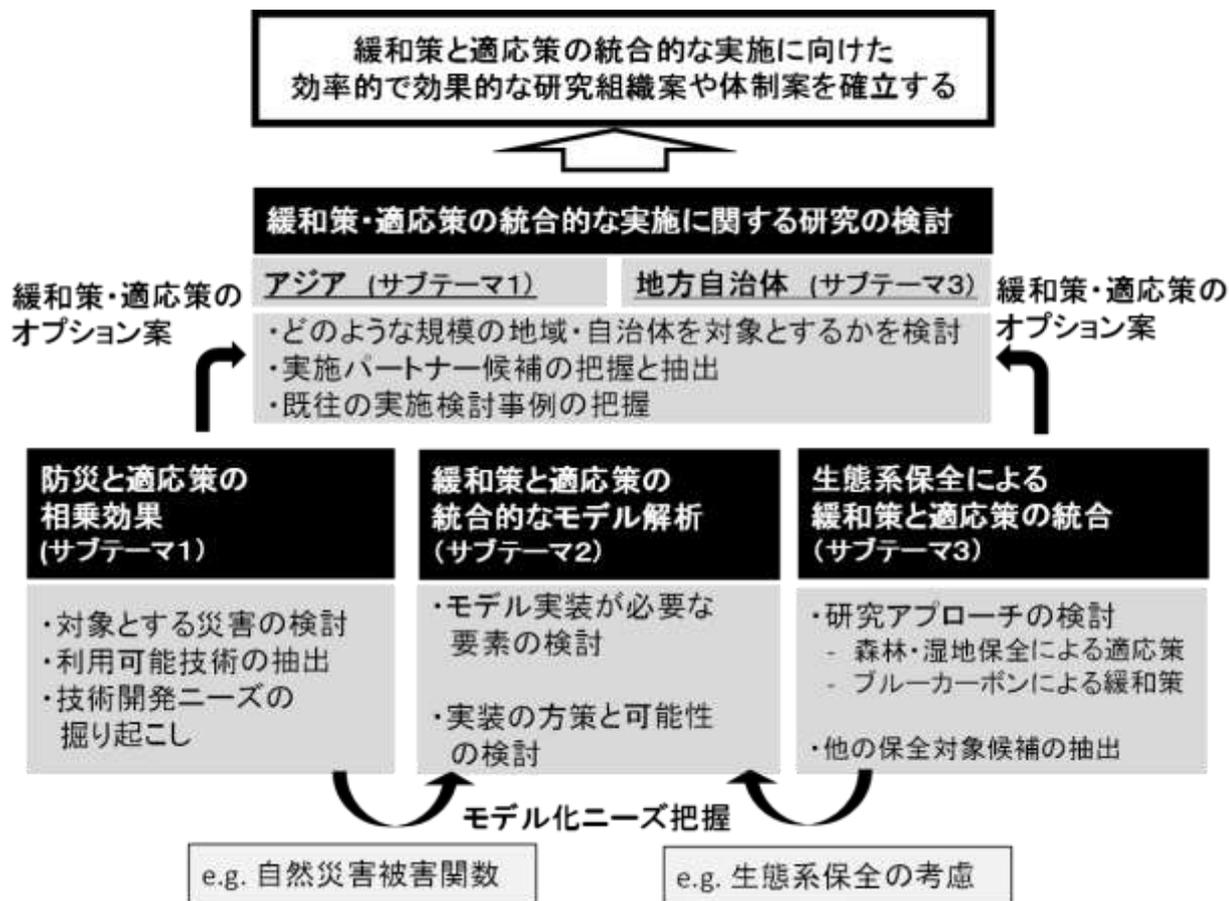


図1:本研究の実施体制。

(1) 防災と適応策の相乗効果やアジア諸国における実施に関する研究の検討

本サブテーマは大きく2つの検討事項からなる。ひとつには、防災と適応策との相乗効果や、緩和策と適応策との統合的実施のための政策骨子の作成と、そのコスト評価および課題の抽出に関わる研究開発の予備調査である。

もうひとつは、アジアを中心とする国々での緩和策と適応策との統合的実施のあり方、手法の選択肢の抽出に関わる研究開発の予備調査である。

本研究提案は課題調査型研究であることから、本調査の過程でこれら2つの研究項目を将来的に担っていただけそうな方をみつけ、実質的にメンバーとして加わっていただく目論見である。

(2) 緩和策と適応策の統合的なモデル解析研究の検討

本研究では、国内やアジアを中心とする途上国において、レジリエントかつ持続可能な社会の構築に向けた気候変動の緩和策と適応策を統合して実施するために必要な施策や制度等を検討し、その実施に向けたロードマップを提案するためのモデル開発の検討を行う。具体的には、緩和策と適応策を統合して評価するために、これまで開発してきたアジア太平洋統合評価モデル(AIM)をどのように改良・統合していくことで、政策の効果や緩和策および適応策に係るコストと避けられない影響を定量的に評価することができるかについて、モデルの在り方や構造を検討する。

(3) 生態系保全による緩和策と適応策の統合や地方自治体における実施に関する研究の検討

沿岸生態系による炭素貯留(ブルーカーボン)に注目し、その緩和効果がどれほど大きいのか、緩和適応統合策のよい事例があるか、ブルーカーボン研究の日本における重要性、海外との研究連携の可能性について調査した。第二に気候変動の生物適応への影響に関する事例を収集し、文献のレビューを行った。その際、生物種の適応度が増加した場合を「適応の成功」とみなし、適応度の減少を「適応の失敗」とした。なお、本研究における適応は小進化以外に表現型可塑性も含むことにした。そして第三に、生態系サービスの緩和適応策に関する経済評価の先行研究を整理した。

具体的には、①気候変動の影響・適応策の費用に関する解析事例及び気候変動の経済影響に関する分析事例の収集、②海外研究者(アメリカのIllinois大学やPrinceton大学、IAMCやISI-MIPに参画している研究者)との連携、③関連分野の研究者との議論を通して、レジリエントかつ持続可能な社会の構築に向けた気候変動の

緩和策と適応策を統合して実施するために必要な施策や制度等を検討し、世界全体の温室効果ガス排出量と整合的な緩和策、影響被害（以降、影響被害はプラスの影響も含むものとする）、適応策費用の推計のために必要な手法の選定を行うことにより、その実施に向けたロードマップを提案するための検討を行った。

4. 結果及び考察

(1) 防災と適応策の相乗効果やアジア諸国における実施に関する研究の検討

本研究では、(a)防災と適応策との相乗効果や、緩和策と適応策との統合的実施のための政策骨子の作成と、そのコスト評価および課題の抽出に関わる研究開発の予備調査と、(b)アジアを中心とする国々での緩和策と適応策との統合的実施のあり方、手法の選択肢の抽出に関わる研究開発の予備調査を行い、(c)調査の過程でこれら2つの研究項目を将来的に担っていただけそうな方をみつけ、実現性の高い研究計画を策定した。

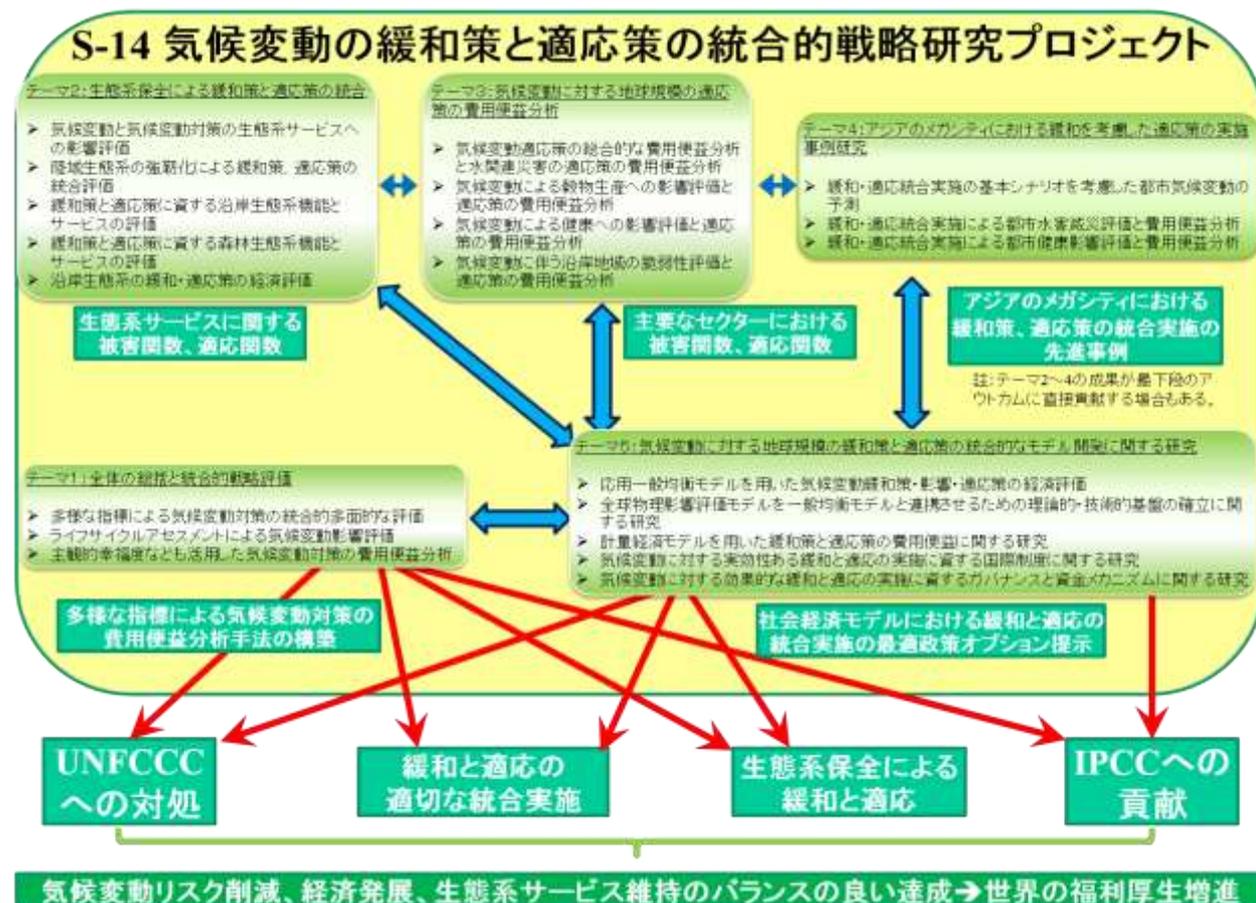


図2: 予備調査を通じて策定した研究計画。

防災と適応策との相乗効果や緩和策と適応策との統合的実施のための政策骨子作成において、国内外における緩和策と適応策との統合的実施による復元力に富み、持続可能な社会の構築に向けた施策に資する科学的、技術的、社会的、経済的研究開発に関して、取り組むべき課題・ニーズの洗い出しや専門家の有無の把握などによる研究推進の実現可能性を検討するため、2014年6月3日に「気候変動のリスクマネジメントに関するワークショップ」を開催した。当日は、コストに比べてまだまだ研究が少ない適応策のコストや定量的な気候変動の影響評価、緩和策としてのブルーカーボンの効果と費用、生態系保全による緩和や適応、国内外における緩和と適応の統合的実施などに関する研究開発の現状や今後の研究構想に関する19件の発表を行った。また、議論の材料としてIPCC第5次評価報告書の概要紹介を国立環境研究所の江守氏、脇岡氏、甲斐沼氏からいただき、それらを踏まえて、(a)適応費用便益に必ず入れるべきセクター（食料生産、健康、水供給など）は何か？(b)適応限界についてどのようにすれば知見が得られるのか？(c)温度が何度上昇するとどれくらいの被害が生じるのかをどうやって研究すればいいか？(d)ケーススタディ（緩和と適応との統合実施）として対象地域を一つに絞るとするとどこがふさわしいのか？目星があるか？これまでの準備状況はどうか？(e)影響評価の非伝統的な指標として何があるか？(f)生態系サービスへの気候変動影響経路は？生態系サービスとたとえば防災とのトレードオフはあるのか？生態系サービスと気候変動に関して、今後優先的に研究すべき課題は何か？(g)生態系サービスの保全・強化による適応策の研究課題として、どういものが考えられるのか？(h)気候変動の影響

や被害、対策のコストを経済指標以外で評価する研究として何が考えられるのか？について、テーマを絞って、少人数での議論、さらに全体の場で報告・議論を行った。さらに、特に重要分野と位置付けられる健康、水、衛生、ブルーカーボン、生態系、LCIAについて、専門家から意見を伺った。

さらに、アジアを中心とする国々での緩和策と適応策との統合的実施のあり方や手法の選択肢の抽出に係わる研究開発について、タイ国を訪問した。事前ヒアリングを実施し、それを受けて、関連行政機関、研究機関の方々に一堂に会していただき、2014年8月にカセサート大学にて意見交換会を行った。気候変動の緩和策や適応策を所掌する天然資源環境省、実際に気候変動の適応策を実施する王立灌漑局、土地開発局といった現業機関、気候変動の緩和策や適応策の研究を推進する、カセサート大学、チュラロンコン大学、キングモンクット工科大学、ナレスワン大学などの活発な議論を通じ、実際のアジア域での統合的実施のあり方として、多様なステークホルダーとの適応策の検討、協働が欠かせず、また緩和策とのバランスを考えるためにも、適応策やそのオプションに係る費用の推定が求められていることが判明した。

これらの予備調査とサブテーマ(2)、(3)との定期的に行った会合(年16回)を通じて、図2のような研究計画を策定した。

(2) 緩和策と適応策の統合的なモデル解析研究の検討

本研究では、①気候変動の影響・適応策の費用に関する解析事例及び気候変動の経済影響に関する分析事例の収集、②海外研究者との連携、③関連分野の研究者との議論を通して、レジリエントかつ持続可能な社会の構築に向けた気候変動の緩和策と適応策を統合して実施するために必要な施策や制度等を検討し、世界全体の温室効果ガス排出量と統合的な緩和策、影響被害(以降、影響被害はプラスの影響も含むものとする)、適応策費用の推計のために必要な手法の検討を行った。そして、世界全体の気候変動の緩和策、影響被害および適応策に関する費用を推計し、今後、気候変動に対してどのような対策を講じていくべきかに関する政策オプション、とりわけ世界全体の温室効果ガスの長期的安定化目標の検討に資する情報を示すことを目標として、以下の5つのサブテーマから構成される5年間の研究計画を立案した。

- ・サブテーマ(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、
- ・サブテーマ(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
- ・サブテーマ(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
- ・サブテーマ(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
- ・サブテーマ(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

効率的な研究推進のため、サブテーマ(1)がサブテーマ(2)～(4)の研究を統括し、また各サブテーマ間で以下のような連携体制を構築することを考えた。

サブテーマ(1)では、新たなシナリオを利用して、世界全体の温室効果ガス排出量と統合的な緩和策、影響被害(以降、影響被害はプラスの影響も含むものとする)、適応策費用を推計する。具体的には、地球規模の気候変動による影響被害および適応策の効果と費用便益に関する情報を利用して、世界全体における温室効果ガスの削減・影響被害・適応策の費用を統合的に推計するための応用一般均衡モデルを開発する。サブテーマ(2)では、他の研究チームで開発される全球物理影響評価モデルを応用一般均衡モデルとどのように連携させるかについての理論的・技術的基盤の確立に関する研究を実施する。サブテーマ(3)では、開発される計量経済モデルを用いて、応用一般均衡モデルに組み込まれている理論やパラメータの妥当性を検討・支援する。サブテーマ(4)では、国際制度の視点から応用一般均衡モデルを用いた緩和策と適応策の統合評価実施に用いるシナリオ設定(政策仮定)の妥当性について検討を行う。サブテーマ(5)では、ガバナンスと資金メカニズムの視点から応用一般均衡モデルを用いた緩和策と適応策の統合評価実施に用いるシナリオ設定(政策仮定)の妥当性について検討を行う。これらの研究を行うことによって、世界全体および各国の気候変動緩和策の推進と、結果として残る影響を軽減するための適応策を総合的に比較・評価することが可能となり、我が国だけではなく世界の環境政策を科学的に支援できると考えられる。

(3) 生態系保全による緩和策と適応策の統合や地方自治体における実施に関する研究の検討

11月30日横浜国立大学において、豪州からCarlos Duarte教授(西豪州大学)とCatherine Lovelock教授(クイーンズランド大学)、日本から桑江朝比呂博士(港湾空港技術研究所)、大塚耕司博士(大阪府立大学)、井上智美博士(国立環境研究所)を招き、そのほかに琉球大学馬場繁幸名誉教授、広島大学上真一教授、北海道大学仲岡雅裕教授、国立環境研究所山野博哉博士らを含め全部で約30名の参加者により、国際ワークショップ

ップを開催した。その場で以下のことが認識された。①ブルーカーボンの緩和効果がどれほど大きいかについては、単位面積当たりでは高いものの、沿岸生態系の面積が陸域森林全面積より少ない。緩和効果だけでなく適応効果も含めてその重要性を検討すべきと議論された。②緩和適応統合策のよい事例があるかという問いに対しては、否定的な意見が多かったが、横浜市のブルーカーボン事業はクレジット制度を含めて統合策の事例になりえるかもしれない。災害対策など適応策のほうが緩和策より重要と指摘された。③ブルーカーボン研究の日本における重要性については、日本は広い藻場があり、中国とともに養殖漁業が盛んであり、かつ暴風災害の懸念が大きいという特徴が指摘された。

本サブテーマで調査した気候変動に対する生物の進化的応答については、生理的变化、分布の変化、フェノロジー(生物暦)の変化、適応などさまざまな生物で研究されている。特にフェノロジーや分布が変化した事例が多く、研究されている種の中で半分以上がそのような変化が起こっている。気候変動に対し生物が適応的に応答できた事例とともに、気候変動の影響で適応度が減少した事例も報告されている。新しい局所個体群による地理的境界の拡大、低緯度や標高の低い境界沿いの局所個体群の絶滅、移動性の種による既存の個体群の減少したサイトへの侵入の増加、フェノロジーの不一致による種間相互作用の解消などが生じると言われている。また、ある種が適応的に変化することで、他種との相互作用にも影響が生じることに注意すべきである。

さらに、「適応策、緩和策、生態系サービスに関する先行研究のレビュー」を英文でまとめた。生態系サービスの経済価値の近年の減少に関してはCostanza et al. (2014)が1997年の先行研究において世界の生態系サービスの経済価値を年間33兆ドルとみなしていたのに対し、まずその値を145兆ドルに修正したうえで、サンゴ礁などの生態系の面積の近年の減少により、2011年には125兆ドルに減少したと評価した。すなわち、過去14年間に20兆ドルの価値が失われたことになる。また、自然資本に関して割引率を低く設定する根拠が議論され、人工資本は無限に開発できるが自然資本は有限であり、同じ割引率を適用すべきではないとしている(Gowdy et al. 2010)。また、米国生態学会の雑誌では適応(Adaptation)という用語についても議論され、上述の生物の適応的变化と区別して政府の操作(manipulation)という用語が提案されている(Thomsen et al. 2012)。ただし、Costanza et al. (2014)が用いたサンゴ礁の消失面積について精査したところ、サンゴ礁の面積及び消失面積が過大評価されていると考えられた。そのため、最も経済価値が減少している生態系はサンゴ礁でなく干潟と湿地であるという結果になった。このように、生態学者と経済学者の綿密な連携の下で分析する必要があることが改めて認識された。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

サブテーマ(1)では、気候変動の緩和策と適応策の統合的実施を検討する際に、主要セクターの費用便益分析や生態系保全の利活用だけでなく、多様なステークホルダーとの協働が必要であることが予備調査を通じて明らかになった。この場合、緩和コストや適応コスト、残余被害などの指標では不十分であり、主観的幸福度などの多様な指標を取り入れた評価が必要であることが判明し、その研究を開始した。まだ、論文化されていないが、このような研究はこれまでなく、得られる成果は国際的にも意義が大きく、今後の更なる発展が期待される。

サブテーマ(2)では、物理プロセスモデルの結果を応用一般均衡モデルに取り入れる手法を開発した。全球を対象として包括的な緩和、影響被害、適応策の定量化は世界的にも非常に知見が少ないため、本提案で示すような影響分野を明確な形で取り込めるモデルはまだ限られており、IPCCのWG2, 3を横断する新しい分野を創造・牽引できる可能性がある。

サブテーマ(3)では、復元力に富む社会を構築する上で、生態系自身が持つ復元力は重要な要素である。気候変動及びその他の人為的影響の複合作用として生態系の復元力が損なわれつつある現在、その復元力(生態系機能)を気候変動の文脈で評価することは、S-14全体ならびにIPCCへの重要な貢献と考えられる。多様な生態系サービスの中でも、本テーマで重視する災害リスクへの韌性、炭素貯留の緩和効果は特にこの文脈で重要である。日本の環境政策においては、特に再生可能エネルギーを含めた気候変動対策と自然保護政策の統合を進めることに貢献する。

(2) 環境政策への貢献

サブテーマ(1)では、緩和・適応策の効果的効率的な統合実施における課題のひとつであるアジアを中心とする国々への展開可能性や、適応策と自然災害リスクマネジメントの統合における課題のひとつである気候変動適応策(CCA)と自然災害リスクマネジメントとの親和性や枠組みについて、実現可能な研究計画を策定したことで、行政ニーズとして掲げられている、緩和と適応の統合的実施による気候変動対策に関する研究に応える研究となっている。

サブテーマ(2)では、国際政治や現実的な資金メカニズムを検討することで、日本および国際的な政策決定に

直接有用な科学的知見の提供が可能になると考えられる。

サブテーマ(3)では、ブルーカーボンについて先進的に取り組んでいる横浜市と連携し、上記の認識を共有することが期待できる。ブルーカーボンの緩和効果についてより正確な認識を持った上で、適応策と併用した両得効果を期待する政策に活用することが期待できる。

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

この課題調査型研究(FS)により計画立案された本プロジェクト(図2を参照)は、テーマ2や3が開発する主要セクターならびに生態系サービスにおける被害関数や適応関数を、テーマ4が実施するアジアのメガシティにおける事例研究で検証し、それらをテーマ5が応用一般均衡モデルや計量経済モデルに投入して経済評価や緩和と適応の統合実施の最適政策オプション提示などを行う一方、テーマ1で行われる多様な指標による気候変動対策の統合的多面的戦略評価も考慮しつつ、緩和と適応の適切な統合実施へ貢献する。そればかりではなく、IPCCやUNFCCCへの貢献や生態系保全による緩和と適応も見込まれ、気候変動リスク削減、経済発展、生態系サービス維持のバランスの良い達成を通じて世界の福利厚生が増進が期待されており、提出される全体の研究成果が有効な行政施策に活用されるはずである。

6. 研究成果の主な発表状況(別添.報告書作成要領参照)

(1)主な誌上発表

<査読付き論文>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

(2)主な口頭発表(学会等)

- 1) 福田紫瑞紀、乃田啓吾、村上道夫、沖大幹:水文水資源学会2014年度研究発表会(2014)
「安全な飲み水へのアクセス改善などのMDGsの達成が主観的幸福度の向上にもたらす影響」
- 2) 脇岡靖明:日本生態学会第62回全国大会(2015)
企画集会「地球温暖化が生態系へ与える影響:その検出、予測、そして適応策へ向けて」において、コメントータとして話題提供。
- 3) 松田裕之:日本生態学会第62回全国大会(2015)
企画集会「地球温暖化が生態系へ与える影響:その検出、予測、そして適応策へ向けて」において、コメントータとして話題提供。

7. 研究者略歴

課題代表者:沖 大幹

東京大学工学部土木工学科卒、博士(工学)、現在、東京大学生産技術研究所教授

研究分担者

1) 脇岡 靖明

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、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環境都市システム研究室室長

2) 松田 裕之

京都大学大学院生物物理学専攻博士課程卒業、理学博士、日本医科大学助手、水産庁中央水産研究所主任研究官、九州大学理学部助教授、東京大学海洋研究所助教授、現在、横浜国立大学大学院教授

2RF-1401 気候変動の緩和策と適応策の統合的実施研究に関する検討**(1) 防災と適応策の相乗効果やアジア諸国における実施に関する研究の検討**

国立大学法人東京大学
生産技術研究所

沖 大幹
木口 雅司・内海 信幸

平成26年度累計予算額：4,285千円

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究では、a)防災と適応策との相乗効果や、緩和策と適応策との統合的実施のための政策骨子の作成と、そのコスト評価および課題の抽出に関わる研究開発の予備調査と、b)アジアを中心とする国々での緩和策と適応策との統合的実施のあり方、手法の選択肢の抽出に関わる研究開発の予備調査を行い、c)調査の過程でこれら2つの研究項目を将来的に担っていただけそうな方を見つけ、実現性の高い研究計画を策定した。a)防災と適応策との相乗効果や緩和策と適応策との統合的実施のための政策骨子作成において、国内外における緩和策と適応策との統合的実施による復元力に富み、持続可能な社会の構築に向けた施策に資する科学的、技術的、社会的、経済的研究開発に関して、取り組むべき課題・ニーズの洗い出しや専門家の有無の把握などによる研究推進の実現可能性を検討するため、2014年6月3日に「気候変動のリスクマネジメントに関するワークショップ」を開催し、まだまだ研究が少ない適応策のコストや定量的な気候変動の影響評価、緩和策としてのブルーカーボンの効果と費用、生態系保全による緩和や適応、国内外における緩和と適応の統合的実施などに関する研究開発の現状や今後の研究構想について議論した。さらに、特に重要分野と位置付けられる健康、水、衛生、ブルーカーボン、生態系、LCIAについて、専門家から意見を伺う機会を設け、実施体制について検討した。b)アジアを中心とする国々での緩和策と適応策との統合的実施のあり方や手法の選択肢の抽出に係わる研究開発について、タイにおいて事前ヒアリングを実施し、それを受けて、関連行政機関、研究機関の方々との意見交換会を行った。実際のアジア域での統合的実施のあり方として、多様なステークホルダーとの適応策の検討、協働が欠かせず、また緩和策とのバランスを考えるためにも、適応策やそのオプションに係る費用の推定が求められていることが判明した。c)これらの予備調査とサブテーマ(2)、(3)との定期的に行った会合(年16回)を通じて、研究計画を策定した。

[キーワード]

気候変動、アジアのメガシティ、適応策の費用便益分析、主観的幸福度、ライフサイクルアセスメント

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）がその第5次評価報告書の承認、公開を始め、すでに第1作業部会の報告書が公表され、地球の気候システムの温暖化は疑う余地がなく、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。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、90%の可能性であった第4次報告書の記述からさらに一步踏み込まれている。

日本が1993年に批准した気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）の第2条では「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極的な目的とする」とされ、締約国である日本は大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させるいわゆる緩和策を推進する必要がある。

気候変動のメカニズム解明や危険な人為的干渉とならない温室効果ガスの濃度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。2013年になってようやく適応策に関する省庁横断的な取り組みがはじまったところであり、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を日本における今後の環境政策に反映させる研究開発が必要であり、そうした研究の新規戦略研究プロジェクトとしての実施可能性を検討し、研究開発体制を提案することが求められている。

2. 研究開発目的

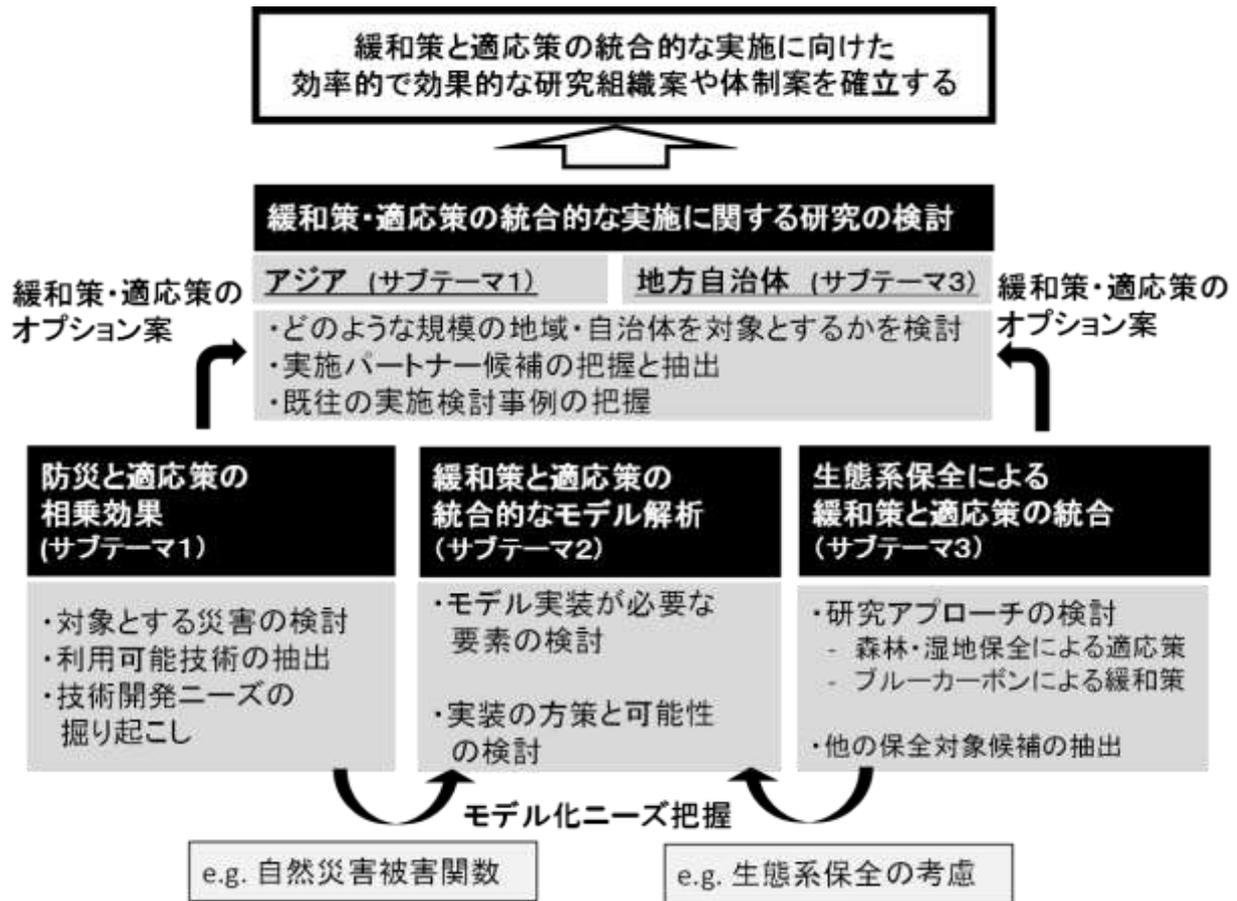
本研究は、国内外における、緩和策と適応策との統合的な実施による復元力に富み、持続可能な社会の構築に向けた施策に資する技術的、社会的、経済的研究開発に関して、技術的課題・ニーズの洗い出しや専門家の有無の把握などによる研究開発の実現可能性の検討を含め、効果的かつ効率的な研究体制の検討を平成26年度の1年間で行い、新規の戦略研究プロジェクトの提案につながる調査研究の実施を最終目標とする。その最終目標を達成するため、図(1)-1のような実施体制で本研究を推進した。

3. 研究開発方法

本サブテーマは大きく2つの検討事項からなる。ひとつには、防災と適応策との相乗効果や、緩和策と適応策との統合的な実施のための政策骨子の作成と、そのコスト評価および課題の抽出に関わる研究開発の予備調査である。

もうひとつは、アジアを中心とする国々での緩和策と適応策との統合的な実施のあり方、手法の選択肢の抽出に関わる研究開発の予備調査である。

本研究提案は課題調査型研究であることから、本調査の過程でこれら2つの研究項目を将来的に担っていただけそうな方をみつけ、実質的にメンバーとして加わっていただく目論見である。



図(1)-1 本研究の実施体制。

4. 結果及び考察

本研究では、(a)防災と適応策との相乗効果や、緩和策と適応策との統合的実施のための政策骨子の作成と、そのコスト評価および課題の抽出に関わる研究開発の予備調査と、(b)アジアを中心とする国々での緩和策と適応策との統合的実施のあり方、手法の選択肢の抽出に関わる研究開発の予備調査を行い、(c)調査の過程でこれら2つの研究項目を将来的に担っていただけそうな方を見つけ、実現性の高い研究計画を策定した。

防災と適応策との相乗効果や緩和策と適応策との統合的実施のための政策骨子作成において、国内外における緩和策と適応策との統合的実施による復元力に富み、持続可能な社会の構築に向けた施策に資する科学的、技術的、社会的、経済的研究開発に関して、取り組むべき課題・ニーズの洗い出しや専門家の有無の把握などによる研究推進の実現可能性を検討するため、2014年6月3日に「気候変動のリスクマネジメントに関するワークショップ」を開催した。当日は、コストに比べてまだまだ研究が少ない適応策のコストや定量的な気候変動の影響評価、緩和策としてのブルーカーボンの効果と費用、生態系保全による緩和や適応、国内外における緩和と適応の統合的実施などに関する研究開発の現状や今後の研究構想に関する19件の発表（下記参照）を行った。

1. 古田尚也（国際自然保護連合日本プロジェクトオフィス）
「災害リスク削減（DRR）をめぐる国際的動向」
2. 松井哲哉（森林総合研究所）

- 「陸域自然生態系の気候変動リスクマネジメントにおける課題」
3. 松本光朗（森林総合研究所）
「森林分野の地球温暖化緩和・適応策」
 4. 松原英治（国際農林水産業研究センター）
「メコンデルタ農村部におけるJIRCASの緩和策」
 5. 森章（横浜国立大学大学院環境情報研究院）
「Reframing ecosystem management in the era of climate change : Issues and knowledge from forests」
 6. 西森基貴（農業環境技術研究所）
「農業分野における気候変動緩和策、影響評価、および適応策」
 7. 金元植（農業環境技術研究所）
「次世代農業気象予報システム（AgroMeteorological Nowcaster AMEN）の開発」
 8. 中山幹康（東京大学大学院新領域創成科学研究科）
「国際河川の流域機構（River Basin Organization）は、気候変動の影響を如何に流域国に伝え、新たな流域管理計画への合意を形成し得るか」
 9. 遠藤功（地球環境戦略研究機関）
「低炭素かつ気候変動の影響に配慮した社会を目指して途上国自治体における緩和・適応策の統合的実施に向けた研究」
 10. 神田学（東京工業大学国際開発工学専攻）
「気候変動におけるメガシティの緩和策・適応策」
 11. 大楽浩司（防災科学技術研究所）
「東京都市圏の風水害脆弱性評価に基づく適応に関する研究の現状と今後の課題」
 12. 白井信雄（法政大学地域研究センター）
「地域における気候変動政策としての緩和・適応統合の現場的課題と留意点」
 13. 馬場健司（法政大学地域研究センター）
「適応策・緩和策・レジリエントシティをめぐる政策分析の枠組みと成果・今後の展望」
 14. 乃田啓吾（東京大学生産技術研究所）
「東南アジアにおける流域スケールでの適応・緩和策」
 15. 風間聡（東北大学土木工学専攻）
「洪水・土砂災害被害額と適応費用の推定」
 16. 本田靖（筑波大学体育系）
「健康セクタにおける適応策とコベネフィットの現状と今後の研究」
 17. 小松利光（九州大学工学研究院）
「流域における水・土砂災害適応策の研究開発と実装のための国際的展開」
 18. 平林由希子（東京大学大学院工学系研究科）
「地球温暖化時の世界の洪水リスク」
 19. 花崎直太（国立環境研究所地球環境研究センター）
「新シナリオを利用した温暖化影響評価および適応コスト研究のこれまでとこれから ～全球規模の水資源への影響を例に～」

また、議論の材料としてIPCC第5次評価報告書の概要紹介を国立環境研究所の江守氏、脇岡氏、甲斐沼氏からしていただき、それらを踏まえて、(a)適応費用便益に必ず入れるべきセクター(食料生産、健康、水供給など)は何か？(b)適応限界についてどのようにすれば知見が得られるのか？(c)温度が何度上昇するとどれくらいの被害が生じるのかをどうやって研究すればいいか？(d)ケーススタディ(緩和と適応との統合実施)として対象地域を一つに絞るとするとどこがふさわしいのか？目星があるか？これまでの準備状況はどうか？(e)影響評価の非伝統的な指標として何があるか？(f)生態系サービスへの気候変動影響経路は？生態系サービスとたとえば防災とのトレードオフはあるのか？生態系サービスと気候変動に関して、今後優先的に研究すべき課題は何か？(g)生態系サービスの保全・強化による適応策の研究課題として、どのようなものが考えられるのか？(h)気候変動の影響や被害、対策のコストを経済指標以外で評価する研究として何が考えられるのか？について、テーマを絞って、少人数での議論、さらに全体場で報告・議論を行った。さらに、特に重要分野と位置付けられる健康、水、衛生、ブルーカーボン、生態系、LCIAについて、専門家から意見を伺った。

さらに、アジアを中心とする国々での緩和策と適応策との統合的実施のあり方や手法の選択肢の抽出に係わる研究開発について、タイ国を訪問した。事前ヒアリングを実施し、それを受けて、関連行政機関、研究機関の方々に一堂に会していただき、2014年8月にカセサート大学にて意見交換会を行った。気候変動の緩和策や適応策を所掌する天然資源環境省、実際に気候変動の適応策を実施する王立灌漑局、土地開発局といった現業機関、気候変動の緩和策や適応策の研究を推進する、カセサート大学、チュラロンコン大学、キングモンクット工科大学、ナレスワン大学などとの活発な議論を通じ、実際のアジア域での統合的実施のあり方として、多様なステークホルダーとの適応策の検討、協働が欠かせず、また緩和策とのバランスを考えるためにも、適応策やそのオプションに係る費用の推定が求められていることが判明した。(参加者は下記の通り)

1. Dr. Kollawat Sakakorn, ONEP, MONRE.
2. Mr. Phonchai Klinkhachorn, RID.
3. Dr. Naruekamon Janjirawuttikul, Office of Soil Survey, LDD.
4. Mr. Phanlob Hongcharoenthai, Office of Soil Survey, LDD.
5. Mr. Boonlert Archevarahuprok, TMD.
6. Ms. Kalyanee Suwanprasert, Department of Water Resources, MONRE.
7. Aj. Sarintip Tantanee, Faculty of Engineering, Naresuan Univ..
8. Aj. Saisunee Budhakooncharoen, Mahanakorn Univ..
9. Aj. Thanya Kiatiwat, Dean of Faculty of Engineering, Kasetsart Univ..
10. Aj. Nontawat Junjareon, IMPAC-T Project Manager, F. of Engineering, Kasetsart Univ..
11. Aj. Varakorn Maireng, Faculty of Engineering, Kasetsart Univ..
12. Aj. Suttisak Loralump, Faculty of Engineering, Kasetsart Univ..
13. Aj. Buncha Kwagyeen, Faculty of Engineering, Kasetsart Univ..
14. Aj. Sompratana Ritphring, Faculty of Engineering, Kasetsart Univ..
15. Aj. Napaporn Piamsa-nga, Faculty of Engineering, Kasetsart Univ..
16. Prof. Taikan Oki, Institute of Industrial Science, the Univ. of Tokyo.
17. Prof. Kazuo Oki, Institute of Industrial Science, the Univ. of Tokyo.

18. Prof. Koshi Yoshida, Faculty of Agriculture, Ibaraki Univ..

19. Dr. Masashi Kiguchi, Institute of Industrial Science, the Univ. of Tokyo.

20. Dr. Keigo Noda, Institute of Industrial Science, the Univ. of Tokyo.

※略称は以下の通り。

ONEP: Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning

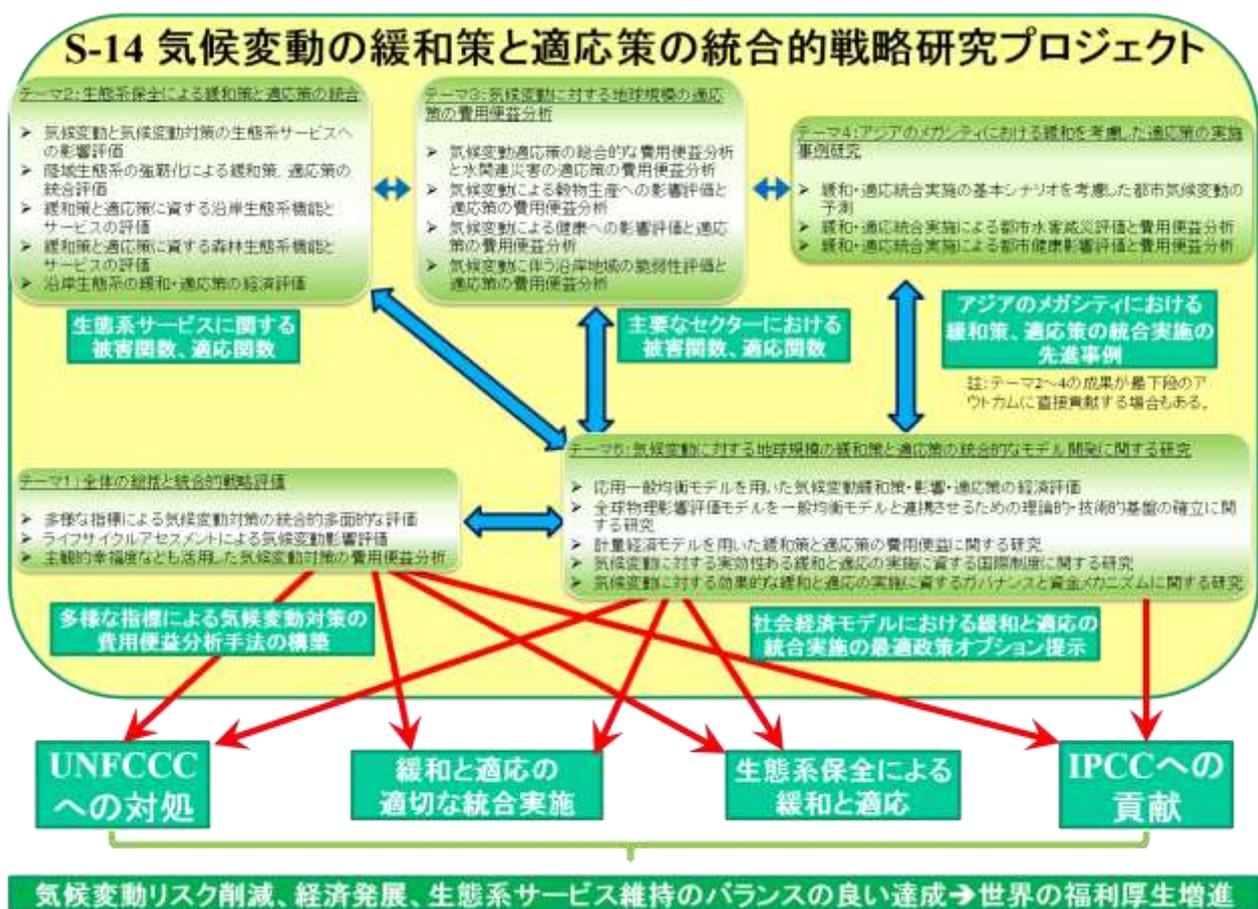
MONRE: Ministry of Natural Resources and Environment

RID: Royal Irrigation Department

LDD: Land Development Department

TMD: Thai Meteorological Department

これらの予備調査とサブテーマ(2)、(3)との定期的に行った会合(年16回)を通じて、図(1)-2のような研究計画を策定した。



図(1)-2 予備調査を通じて策定した研究計画。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

サブテーマ(1)では、気候変動の緩和策と適応策の統合的実施を検討する際に、主要セクターの費用便益分析や生態系保全の利活用だけでなく、多様なステークホルダーとの協働が必要で

あることが予備調査を通じて明らかになった。この場合、緩和コストや適応コスト、残余被害などの指標では不十分であり、主観的幸福度などの多様な指標を取り入れた評価が必要であることが判明し、その研究を開始した。まだ、論文化されていないが、このような研究はこれまでなく、得られる成果は国際的にも意義が大きく、今後の更なる発展が期待される。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

サブテーマ（1）では、緩和・適応策の効果的効率的な統合実施における課題のひとつであるアジアを中心とする国々への展開可能性や、適応策と自然災害リスクマネジメントの統合における課題のひとつである気候変動適応策（CCA）と自然災害リスクマネジメントとの親和性や枠組みについて、実現可能な研究計画を策定したことで、行政ニーズとして掲げられている、緩和と適応の統合的実施による気候変動対策に関する研究に応える研究となっている。

6. 国際共同研究等の状況

研究代表者の沖は、IPCC AR4の第1作業部会の執筆貢献者（CA）と第2作業部会の主要執筆者（LA）、水に関する技術報告書のLA、SREXのLA、AR5の統括執筆責任者（CLA）を務めるなど、特に水分野の適応策に関してこれまで国際的に活躍しており、今後予定されているAR6でもリードする立場となる予定である。

また、我々の研究グループは、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS；JICAとJSTによる支援）の第1期プロジェクトとして「気候変動に対する水分野の適応策立案・実施支援システムの構築」（2008～2013年度）を実施した。そのFollow-upプロジェクトとして2014年度より2年間の共同研究に関する議論等を行っている。2014年8月にタイ国で実施した意見交換会のメンバーは、このFollow-upプロジェクトの主要メンバーであり、気候変動対策に関するアジア域での共同研究を継続して行っている。また、同じくSATREPSの枠組みで条件付きながら今年度より「タイ国における統合的な気候変動適応戦略の共創推進に関する研究」が採択され、引き続きさらに5年間にわたって、より政策決定者に貢献できるプロジェクトを実施予定である。主要なカウンターパートは、下記の通りである。

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Mr. Nontawat Junjareon | F. Engineering, Kasetsart Univ. |
| 2. Dr. Thanya Kiatiwat | F. Engineering, Kasetsart Univ. |
| 3. Dr. Sompratana Ritphring | F. Engineering, Kasetsart Univ. |
| 4. Dr. Varakorn Mairaing | F. Engineering, Kasetsart Univ. |
| 5. Dr. Suttisak Soralump | F. Engineering, Kasetsart Univ. |
| 6. Dr. Napaporn Piamsa-nga | F. Engineering, Kasetsart Univ. |
| 7. Dr. Mongkol Raksapatcharawong | F. Engineering, Kasetsart Univ. |
| 8. Dr. Sarintip Tantane | F. Engineering, Naresuan Univ. |
| 9. Dr. Aksara Putthividhya | F. Engineering, Chulalongkorn Univ. |
| 10. Dr. Piyatida Hoisungwan | F. Engineering, Chulalongkorn Univ. |
| 11. Dr. Kollawat Sakhakara | ONEP, MONRE |
| 12. Dr. Naruekamon Janjirawuttikul | Land Development Department |
| 13. Mr. Phanlob Hongcharoenthai | Land Development Department |
| 14. Dr. Songkran Agsorn | Thai Meteorological Department |
| 15. Mr. Boonlert Archevarahuprok | Thai Meteorological Department |
| 16. Mr. Thada Sukhapunaphan | Royal Irrigation Department |
| 17. Mr. Phonchai Klinkhachorn | Royal Irrigation Department |

18. Mr. Adisorn Champhathong	Royal Irrigation Department
19. Ms. Kalayanee Suwanprasert	Department of Water Resources
20. Dr. Chaiwat Ekkawatpanit	King Mongkut's Univ. of Technology, Thonburi
21. Dr. Chaiporn Jaikaew	F. Engineering, Kasetsart Univ.
22. Dr. Jitti Niramitranon	F. Engineering, Kasetsart Univ.
23. Mr. Kasom Koht Arsa	F. Engineering, Kasetsart Univ.

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 福田紫瑞紀、乃田啓吾、村上道夫、沖大幹：水文水資源学会2014年度研究発表会(2014)
「安全な飲み水へのアクセス改善などのMDGsの達成が主観的幸福度の向上にもたらす影響」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 讀賣新聞(2014年4月1日、全国版、「IPCC横浜総会」)
- 2) 日刊工業新聞(2014年7月16日、全国版「「気候変動」リスク対応急げ ～長期視野で対策を～」)
- 3) 日経エコロジー(2014年9月号、「IPCC第5次評価報告書」)

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

(2) 緩和策と適応策の統合的なモデル解析研究の検討に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター

肱岡 靖明

高橋 潔・藤森 真一郎

花崎 直太

平成26年度予算額：3,801千円

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

IPCCの第1、第2、第3作業部会（WGI、WGII、WGIII）第5次評価報告書（AR5）が公表され、人間による影響が20世紀半ば以降に観測された気候変動の最も有力な要因であった可能性が極めて高く、気候変動による影響は既に現れていることが明らかとなった。将来の悪影響を回避するためには、リスクマネジメントの考え方にに基づき、長期的および分野横断的視点から、緩和策と適応策の双方が不可欠であると述べられている。しかしながら、両者の総合的な比較検討を支援する研究知見は限定的である。近年、国際的なプロジェクトにおいて、緩和策と適応策の総合的な検討が進められつつあるが、その場合、両者を同一の指標で比べるために金銭換算した情報が必要となる。AR5のWGIIIによると、いくつかの安定化目標に応じた緩和策費用に関して知見が集積されつつある。依然として幅はあるものの大規模な温室効果ガス削減にはGDP比で数パーセント

（4-5%）といったオーダーの費用がかかることが明らかとなった。一方、影響・適応策の費用に関してはAR5のWGIIに記載されている情報は非常に限られている。この主たる理由は、影響・適応策が多分野に及ぶため分野横断的な解析事例が非常に限られていること、気候変動の経済影響に関してほとんど知見がないためである。後者を解決するには物理的プロセスの解析モデル結果と経済換算する手法あるいは経済モデルを使う必要があるが、そのような研究はいまだ確立されていない。そこで、本研究では、①気候変動の影響・適応策の費用に関する解析事例及び気候変動の経済影響に関する分析事例の収集、②海外研究者との連携、③関連分野の研究者との議論を行い、世界全体の温室効果ガス排出量と統合的な緩和策、影響被害（以降、影響被害はプラスの影響も含むものとする）、適応策費用の推計のために必要な統合的実施研究に関する検討を行った。

[キーワード]

緩和、適応、応用一般均衡モデル、計量経済モデル、国際制度

1. はじめに

将来の気候変動による悪影響を回避するためには、リスクマネジメントの考え方にに基づき、長期的および分野横断的視点から、緩和策と適応策の双方が不可欠であると述べられているが、両者の総合的な比較検討を支援する研究知見は限定的である。近年、国際的なプロジェクトにおい

て、緩和策と適応策の総合的な検討が進められつつあり、AR5のWGIIIでは、いくつかの安定化目標に応じた緩和策費用に関する知見が集積されつつある一方で、影響・適応策の費用に関する情報は非常に限られている。この主たる理由は、影響・適応策が多分野に及ぶため分野横断的な解析事例が非常に限られていること、気候変動の経済影響に関してほとんど知見がないためである。後者を解決するには物理的プロセスの解析モデル結果と経済換算する手法あるいは経済モデルを使う必要があるが、そのような研究はいまだ確立されていない。

2. 研究開発目的

本研究では、国内やアジアを中心とする途上国において、レジリエントかつ持続可能な社会の構築に向けた気候変動の緩和策と適応策を統合して実施するために必要な施策や制度等を検討し、その実施に向けたロードマップを提案するためのモデル開発の検討を行う。具体的には、緩和策と適応策を統合して評価するために、これまで開発してきたアジア太平洋統合評価モデル（AIM）をどのように改良・統合していくことで、政策の効果や緩和策および適応策に係るコストと避けられない影響を定量的に評価することができるかについて、モデルの在り方や構造を検討する。

3. 研究開発方法

本研究では、①気候変動の影響・適応策の費用に関する解析事例及び気候変動の経済影響に関する分析事例の収集、②海外研究者（アメリカのIllinois大学やPrinceton大学、IAMCやISI-MIPに参画している研究者）との連携、③関連分野の研究者との議論を通して、レジリエントかつ持続可能な社会の構築に向けた気候変動の緩和策と適応策を統合して実施するために必要な施策や制度等を検討し、世界全体の温室効果ガス排出量と統合的な緩和策、影響被害（以降、影響被害はプラスの影響も含むものとする）、適応策費用の推計のために必要な手法の選定を行うことにより、その実施に向けたロードマップを提案するための検討を行った。

4. 結果及び考察

本研究では、①気候変動の影響・適応策の費用に関する解析事例及び気候変動の経済影響に関する分析事例の収集、②海外研究者との連携、③関連分野の研究者との議論を通して、レジリエントかつ持続可能な社会の構築に向けた気候変動の緩和策と適応策を統合して実施するために必要な施策や制度等を検討し、世界全体の温室効果ガス排出量と統合的な緩和策、影響被害（以降、影響被害はプラスの影響も含むものとする）、適応策費用の推計のために必要な手法の検討を行った。そして、世界全体の気候変動の緩和策、影響被害および適応策に関する費用を推計し、今後、気候変動に対してどのような対策を講じていくべきかに関する政策オプション、とりわけ世界全体の温室効果ガスの長期的安定化目標の検討に資する情報を示すことを目標として、以下の5つのサブテーマから構成される5年間の研究計画を立案した。

- ・サブテーマ（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、
- ・サブテーマ（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
- ・サブテーマ（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

- ・サブテーマ（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
- ・サブテーマ（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

効率的な研究推進のため、サブテーマ（１）がサブテーマ（２）～（４）の研究を統括し、また各サブテーマ間で以下のような連携体制を構築することを考えた。

サブテーマ（１）では、新たなシナリオを利用して、世界全体の温室効果ガス排出量と統合的な緩和策、影響被害（以降、影響被害はプラスの影響も含むものとする）、適応策費用を推計する。具体的には、地球規模の気候変動による影響被害および適応策の効果と費用便益に関する情報を利用して、世界全体における温室効果ガスの削減・影響被害・適応策の費用を統合的に推計するための応用一般均衡モデルを開発する。サブテーマ（２）では、他の研究チームで開発される全球物理影響評価モデルを応用一般均衡モデルとどのように連携させるかについての理論的・技術的基盤の確立に関する研究を実施する。サブテーマ（３）では、開発される計量経済モデルを用いて、応用一般均衡モデルに組み込まれている理論やパラメータの妥当性を検討・支援する。サブテーマ（４）では、国際制度の視点から応用一般均衡モデルを用いた緩和策と適応策の統合評価実施に用いるシナリオ設定（政策仮定）の妥当性について検討を行う。サブテーマ（５）では、ガバナンスと資金メカニズムの視点から応用一般均衡モデルを用いた緩和策と適応策の統合評価実施に用いるシナリオ設定（政策仮定）の妥当性について検討を行う。これらの研究を行うことによって、世界全体および各国の気候変動緩和策の推進と、結果として残る影響を軽減するための適応策を総合的に比較・評価することが可能となり、我が国だけではなく世界の環境政策を科学的に支援できると考えられる。

以下に、各テーマの研究内容の詳細（達成目標・手法）を記載する。

（１）サブテーマ（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

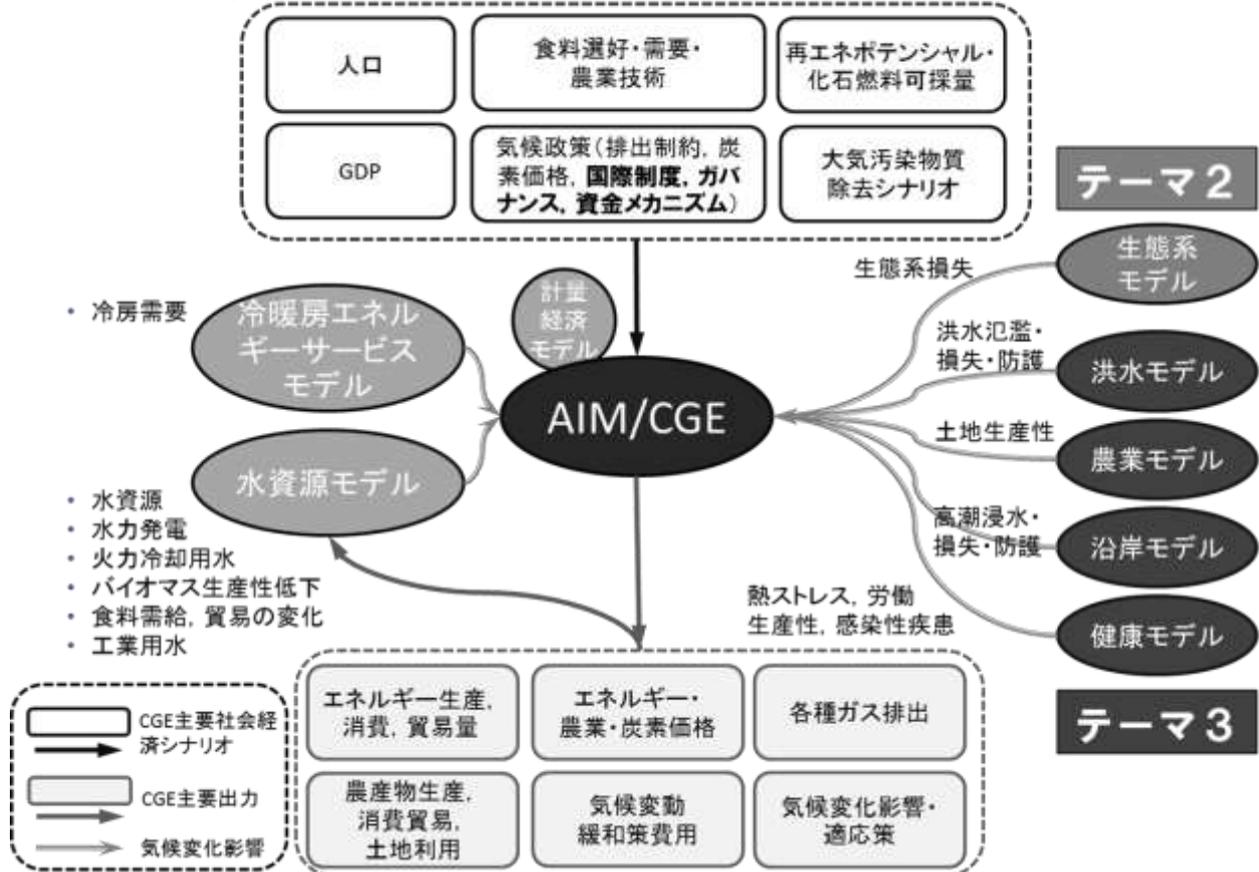
１）達成目標

応用一般均衡モデルを用いて、影響被害・適応策を簡易的に統合評価する手法の開発を試みる。影響被害・適応策は他研究テーマの知見を用いるが、得られない分野・指標に関しては既存研究を参照して、手法の開発に取り組む。複数の気候安定化シナリオで緩和策と適応策の総合的な分析を行う。応用一般均衡モデルを用いた分析の限界と今後の課題を整理する。他研究テーマのモデル結果を応用一般均衡モデルに入力するためにモデルを拡張する。一部の分野に関してはプレ分析を試みる。前年度の解析結果を受け、追加計算を実施し、プロジェクト全体の最終成果を公表する。

２）具体的な研究内容・手法

応用一般均衡モデルは様々な外的ショックを財、サービスの価格に応じて生産者が技術や投入物、消費者が消費行動を変化させ、数量、金額バランスを取るモデルである。これまで筆者らが開発してきた応用一般均衡モデル（AIM/CGE：Asia-Pacific Integrated Model/Computable General Equilibrium）をベースにする。このモデルは主として緩和策の分析用に開発されてきたものであるが、本研究では影響被害・適応策の評価に拡張する。対象領域・期間は世界全域および2010年-2100年であり、地域を20地域、財・部門は20程度の分類を用いる予定である。下図にその全体像を示す（図(2)-1）。

地球規模の緩和策と適応策の統合的なモデル開発



図(2)-1 テーマ2・3およびサブテーマ(1)～(5)の研究連携案。

初年度は、①他の研究チームから提供される被害関数および適応策費用を応用一般均衡モデルにどのように組み込むかについて検討を行い、②知見を補間するための既存知見の収集を実施する。2年目では1年目の検討準備をもとに、代表的な気候安定化目標を達成するための必要な緩和策と影響被害、適応策費用に関して、応用一般均衡モデルを用いて総合的に解析する。シナリオに関しては、研究プロジェクトのシナリオ設定、対象などに合わせて計算を実施する。ただし、社会経済シナリオに関しては単一のシナリオを用いる。

3年目では、4年目に実施予定の総合評価に向けて、一部の分野（例えば、水資源、農業、健康、洪水、沿岸、生態系（森林管理を含む）など、他研究チームの進捗状況に応じて対応）のモデル結果を応用一般均衡モデルに入力する。例えば、健康影響（熱ストレス）は3つの経路を通じて経済に影響を及ぼし、それをモデル内で取り扱う予定である。第一に労働投入量、第二に労働生産性の低下、第三に医療費の増大である。前者2つは物理的指標（例えば、労働人口）として入力し、後者は金銭換算された量を家計消費関数に生じさせる。社会経済シナリオに関しては単一のシナリオを用いる。4年目は、他テーマの成果を最大限に取り込んで、研究成果の取り纏め計算を実施する。さらに、これまで単一の社会経済シナリオ下で行ってきた計算を複数の社会経済シナリオ下で実施し、社会経済の不確実性を扱う。社会経済シナリオには現在の国際研究で使われるよう

になってきたSSP (Shared Socioeconomic Pathways) を用いる。これに伴って緩和策、適応策ともにモデル内変数のパラメータを社会経済シナリオのストーリーラインにあわせて変化させる。最終年では前年の結果を精査し、最新の気候モデル情報やそれを基にした各種影響評価、適応策・緩和策の情報が利用可能な場合には追加の解析を行い、緩和策、影響・適応策すべての情報を統合して成果をとりまとめる。

(2) サブテーマ (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

1) 達成目標

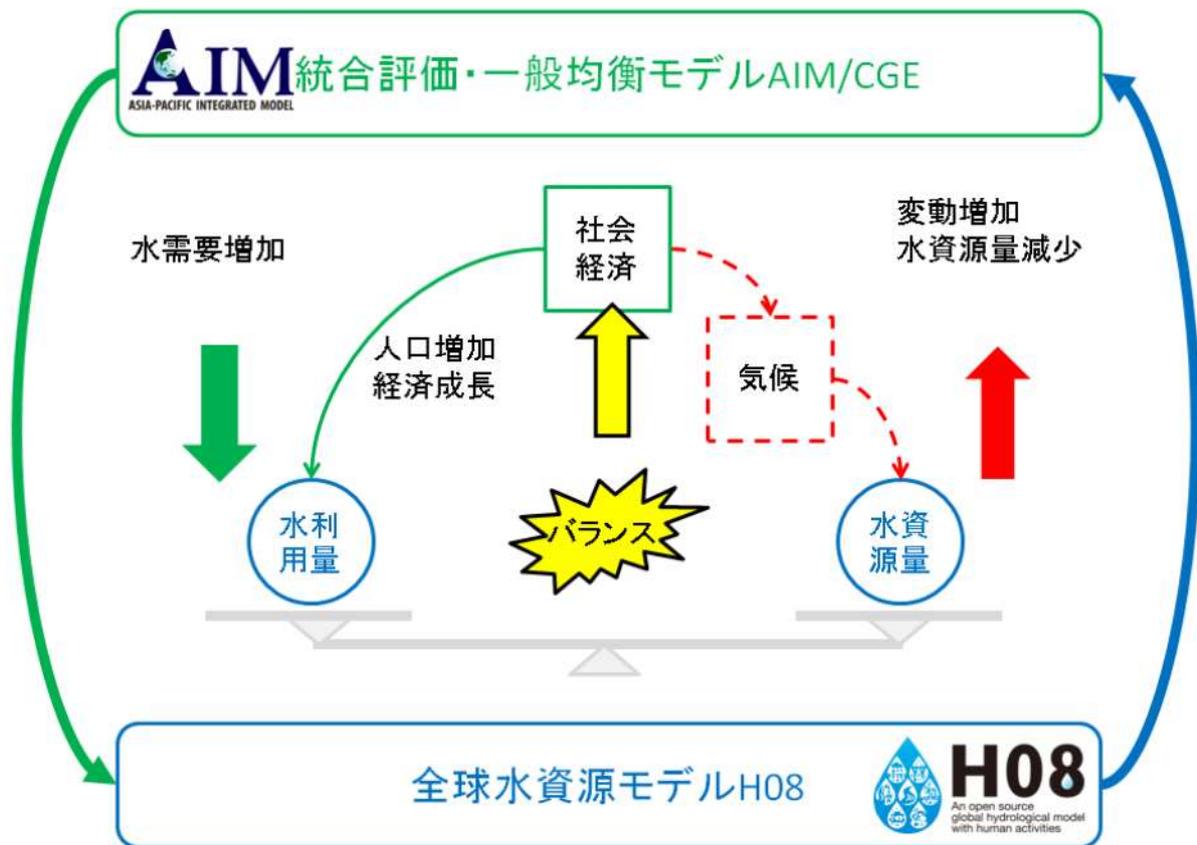
本研究は将来の社会・経済・温室効果ガス排出の変化および水資源・水利用の変化を統合的にシミュレーションするため、応用一般均衡モデルと全球水資源モデルを連動させる理論的・技術的基盤を確立する。これにより、水不足問題を回避した統合的な緩和策と適応策を評価・分析し、気候政策と持続可能社会への転換政策の検討に貢献する。

本研究では将来の社会・経済の変化と密接に関わる、発電用水、製造・生活用水、農業用水、環境用水の4つの水利用に着目する。発電用水については、温暖化により水循環が変化し、水力発電の水量が減少すること、また早魃や低水時に火力発電の冷却用水が不足することが懸念されている。そこで、発電用水需要量推計モデルを開発し、全球水資源モデルH08による将来の河川流量の変化の推計と組み合わせることで、いつ、どこで水不足が起きやすいかを推定する。また、水不足が起きた時の社会・経済への影響を応用一般均衡モデルAIM/CGEを利用して推計する。次に、製造・生活用水については、世界的な人口増加と経済成長に伴って水需要量が増大し、水不足の発生が懸念されている。そこで、AIM/CGEによる将来の産業別の活動量に基づき、水需要量を推計するモデルを開発し、分析を行う。農業用水については、人口増加やバイオマス燃料の生産増加によって農業生産の増加が見込まれることや、気温の上昇や降水量の変動することにより、灌漑用水の需要が増大することが懸念されている。そこで、AIM/CGEとH08を連動させることにより、農業生産と水資源の統合的なシナリオ分析を行い、緩和策と適応策の効果や実現可能性を明らかにする。社会の環境意識が高まりより多くの環境用水（自然生態系のために河川に維持すべき流量）を設定すれば、間接的に人間の水資源量は減少することになる。AIM/CGEによる社会・経済シナリオに統合的な環境用水量を推定し、水資源への影響について分析する。

2) 具体的な研究手法

全球水資源モデルH08と応用一般均衡モデルAIM/CGEを連動させるための基盤整備をするとともに、発電に関する水利用に着目し、緩和策と適応策の総合的分析を実施する。

1年目は、基盤整備として、H08とAIM/CGEの境界条件を揃える。両モデルは人口やGDPなどを境界条件にするが、現時点ではデータの基準年や出典が異なる。そこで基本的にH08の境界条件をAIM/CGEのそれに合わせることで、両者の整合性を高める。また、将来計算における食料・農業・土地利用に関する設定も異なるので、H08の境界条件をAIM/CGEに合わせてるように改良する。次に、AIM/CGEにおける地域や産業区分について水循環と水利用の特性を把握する。具体的には各地域に含まれる気候帯や降水の季節パターンを分析したり、各産業の水利用データを収集したりする。



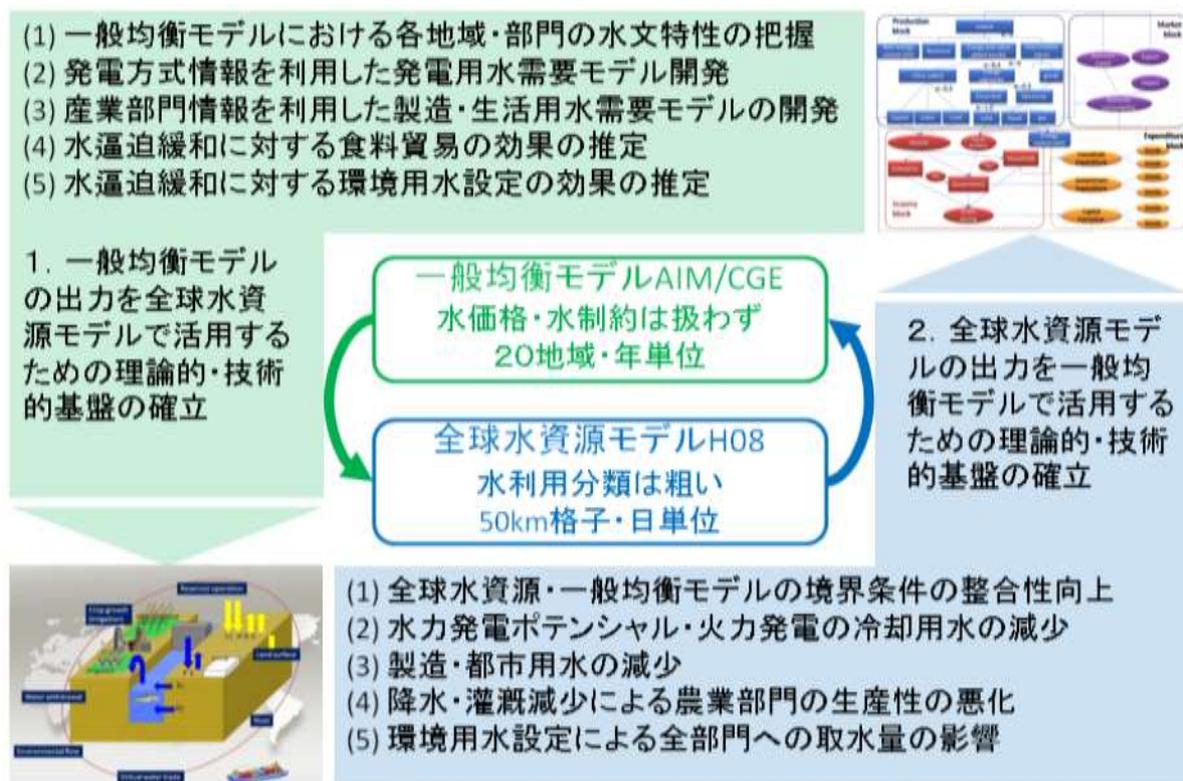
図(2)-2 サブテーマ (1) と (2) の研究連携の考え方

発電に関する研究としては、水力発電ポテンシャルと火力発電所の冷却用水に関する検討を行う。まず、H08を利用して温暖化による河川流量変化を推計し、主要な水力発電所（ダム）の地理情報と組み合わせることにより、水力発電ポテンシャルの変化を推定する。次に、H08を利用して将来の旱魃・低水時の河川流量を推計し、主要な火力発電所の地理情報を組み合わせることにより、冷却水の不足が起こる頻度と強度を推定する。後者については、この分野で最初期の論文の一つである van Vliet et al. (2012)¹⁾等を参考にする。最後にH08の結果を影響関数化することにより、AIM/CGEの世界約20地域の情報に変換する。ここで影響関数化とは、H08を利用して多数回の計算をあらかじめ行い、温暖化と水力発電ポテンシャルの増減、冷却水不足の強度等の関係をAIM/CGEの地域区分ごとに作成する方法であり、花崎ら(2007, 2009)^{2), 3)}などで基礎が開発されている。これにより、最も連携が難しい、物理影響モデルから応用一般均衡モデルへの情報伝達を実現する。

2年目は、製造・生活用水に関する水利用に着目し、緩和策と適応策の総合的分析を実施する。現在、H08には発電量のみを説明変数とする工業用水需要推計モデルと人口のみを説明変数とする生活用水需要推計モデルが搭載されている。しかし、これでは産業や技術に応じた水利用強度の違いが表現できず、緩和策と水利用の総合的分析ができないため、製造・生活用水需要推計モデルの高度化を実施する。まず、製造用水については、AIM/CGEの出力する産業部門別の活動量情報を利用した新たな製造用水需要推計モデルを他研究チームと共同で開発する。

3年目は、生活用水については、都市と農村別に、水道アクセス率と水利用機器（水洗トイレやシャワー等）のシナリオに基づいて需要量を推計するモデルを開発する。最後に、これらの水利用情報をH08の境界条件として与えることにより、製造・都市用水が不足する地域や時期を推定する。この結果を影響関数化することにより、AIM/CGEに導入する。この新たに加わった水資源制約により、当初AIM/CGEが想定したエネルギー生産や産業活動が成り立たなくなるシナリオがあった場合は、水資源制約に沿った再計算（影響受容ケース）と節水を仮定して水需要量を落とした再計算（適応ケース）を実施し、その違いについて分析を行う。

4年目は農業に関する水利用に着目し、緩和策と適応策の総合的分析を実施する。将来農業用水（灌漑用水）が増大する原因としては、人口と収入の増加による食料需要の高まりと、緩和策の一環としてのバイオマス燃料生産の増加が考えられる。両者については、すでにAIM/CGEによる将来の推計が行われているものの、水資源制約は明示的に考慮されていない。そこで、AIM/CGEの推計した将来の食料・バイオマス燃料生産シナリオをH08の境界条件としてシミュレーションを実施することにより、必要な農業用水需要を推定し、河川流量等の持続的な再生可能水資源から取水が可能かの判定を行う。これにより、AIM/CGEの想定した食料・バイオマス燃料生産シナリオの水資源面からの実現可能性を評価し、不足する場合は、影響需要ケースと適応ケースによる再計算と分析を行う。なお、この研究は他の研究チームと連携しつつ実施する。



図(2)-3 H08とAIM/CGEの連携案。

5年目は農業に関する水利用と食料貿易の関係を分析する。世界の総取水量のうち、農業用水が占める割合は7割に及ぶ。その多くは、乾燥地での灌漑によるものであり、水逼迫の大きな原因になる。ここで、貿易を行うことで乾燥地から湿潤地へと農業生産を移すことができれば、農業用

水量を大幅に抑えることが可能である。そこで、AIM/CGEの出力する貿易に関する指標を利用して、水逼迫緩和に対する食料貿易の効果を推定する。こうした温暖化による食料貿易量の変化が水資源の再配分に及ぼす影響は既にアメリカのIllinois大学やPrinceton大学の研究者と一部開始しており、得られた知見を最大限に活用する（Konar et al., 2013; Dalin et al., 2014）^{4),5)}。なお、この研究は他テーマと連携しつつ実施する。最終年は、環境用水に着目して、緩和策と適応策の総合的分析を実施する。

自然流量に対して環境用水をどれくらいに設定すべきかについては広範な議論があるが、既存の全球規模の研究では最低限の目標として約30-40%程度を設定しているものが多い。社会の環境意識が高まり、より多くの環境用水を設定すれば、間接的に人間が利用可能な水資源量は減少することになる。AIM/CGEによる社会・経済シナリオに整合的な環境用水量を推定し、水資源への影響について分析する。なお、この研究は他の研究チームと連携しつつ実施する。

（3）サブテーマ（3）：計量経済モデルを用いた緩和策と適応策の費用便益に関する研究

1）達成目標

緩和策と適応策を総合的に評価するためには、より信頼性の高い統合評価モデルの開発が必要となる。そのために、従来使われてきたエキスパートジャッジに代わり、実際に観測されたデータ（経済データや環境データなど）を利用し、計量経済学的手法を用いて、信頼性の高いモデルのパラメータを推計する必要がある。

経済モデルの一部のモジュールについて、過去の現実のデータを用い、計量経済学的手法を用いて、より詳細なモデルを構築し、その結果を用いて、統合評価モデルに必要とされるパラメータを抽出・提供することで、モデル開発を支援することを目的として、以下の研究を実施する。

a. 農業経済モデル（作物別の農作物生産モデル、作物別農作物貿易モデル）の構築

構築した農業経済モデルからテーマ5で開発予定の応用一般均衡モデル（特に、農業部門の生産モジュールや農作物貿易モジュール）に必要なパラメータ情報を抽出・提供する。

b. 健康被害モデルの構築と、気候変動の被害費用の推計

構築した健康被害モデルから応用一般均衡（特に、労働供給に関連するモジュール）に必要なパラメータ情報を抽出・提供する。

c. 再生可能エネルギーモデルの構築と、固定価格買取制度の有効性の分析

再生可能エネルギーモデルから応用一般均衡モデル（特に、再生可能エネルギー部門に関するモジュール）に必要なパラメータ情報を抽出・提供する。

2）具体的な研究手法

本研究を通して、①健康被害モデルの構築のためのデータベース構築、②農業経済モデルの構築のためのデータベース構築、③パラメータのレビューと検討の3つを行う。具体的には以下の研究を予定している。1年目は主に基礎的なデータの収集を行う。

a. 健康被害モデルの構築のためのデータベース構築

気候変動が健康（特に、死亡率）に与える影響を考慮するための健康被害モデルを構築するために、中国を対象に、プロトタイプモデルを構築する。そのために、省レベルのパネルデータ（20年程度の年データと省レベルのデータ）を収集する。具体的には、以下のようなモデル構造を考

えているため、これに対応するデータを収集する予定である。

i. 気候変数（気温、湿度、降水量など）

夏の気温上昇は死亡率を引き上げ、冬の気温上昇は死亡率を引き下げる可能性がある。このため、夏の気温上昇の効果が冬の気温上昇の効果を上回れば、気温上昇は1年間の死亡率を引き上げるが、逆であれば、むしろ1年間の死亡率を引き下げる。この効果の違いを分析するために、季節によって異なる気温データ（夏気温と冬気温）を用いて、季節別の気温変化が死亡率に与える影響を分析するモデルを検討する。

ii. 所得水準

所得水準が高いほど、気温変動に対する適応が可能になる（たとえば、エアコンが購入できたり、暖房が利用できる）。逆に、所得水準が低いと、エアコンなどの機器の購入が困難になるだけでなく、冷房や暖房のためのエネルギー費用の負担ができなくなるため、気温上昇が死亡率に与える影響は、所得階層によって異なる。健康被害モデルでは、この現象を取り入れたモデル化を行う。

iii. 大気汚染の指標（SO_x、NO_x、PMなど）

環境汚染の深刻な地域ほど、複合的な影響により、気温上昇が死亡率に与える影響が大きくなるかもしれない。健康被害モデルでは、この現象を取り入れたモデル化を行う。

b. 農業経済モデルの構築のためのデータベース構築

本研究では、気候変動が農業生産（生産性や土地利用）や農作物貿易に及ぼす影響を考慮するための農作物別農業生産モデル及び貿易モデルを構築する。具体的には、農業生産モデルに関しては、プロトタイプモデルとして、日本を対象に、市町村レベルのパネルデータ（20年程度の1727市町村レベルのデータを収集予定）を用いて、作物別の土地利用を明らかにする農業生産モデルを構築する予定である。農作物貿易モデルについては、世界の2国間貿易に関するパネルデータ（国レベルのデータ。20年程度）を用いて、作物別の2国間貿易モデルを構築する予定である。そのために必要なデータを収集し、データベースを構築する。なお、農業生産モデルについては、主要な分析対象作物として、19作物（米、野菜、果実など）を検討している。貿易モデルについても、同様の作物を分析対象とする予定である。

なお、気候の変化は農作物の生産性に影響を与えるため、生産性の高まった農作物の土地利用は増加し、生産性の低下した農作物の土地利用は減少すると考えられる。このため、作物別の農業生産性モデルを構築し、気候変数と農業生産性との関係を分析する必要がある。ここで開発したモデルを利用し、それを土地利用モデルに取り込むことで、気候変動が、作物別の農業生産性に与える影響を通じた土地利用の変化を明らかにする総合的な農業生産モデルを構築する予定である。

c. パラメータのレビューと検討

応用一般均衡モデルのサブモジュールのうち重要なモジュールに、業種別生産モデル、品目別消費モデルがある。生産モデルに関しては、多くの先行研究によって生産関数が推計されており、消費モデルにおいては、消費関数が推計されている。そこで、先行研究をレビューし、応用一般均衡モデルに適切なパラメータ設定について検討し、パラメータ情報をテーマ1へ提供する。

2年目は、収集したデータを用いて、計量経済学的手法を用いて健康被害モデルのパラメータを推計し、健康被害モデルを構築する。特に、所得階層（所得水準に違い）や大気汚染の深刻度に

よって、気候変動が死亡率に与える影響の違いを明らかにする。この知見から、所得格差（特に、貧困部門の解消）の解消あるいは所得の成長、また、大気汚染の低減が、どのように気候変動による死亡率に影響を与えるかが明らかにされる。その結果から、富裕層から貧困層への所得再分配政策や大気汚染の改善策が、気候変動による健康被害の緩和にどのように貢献できるかが明らかにされる。

3年目は、前年に収集したデータを用いて、計量経済学的手法を用いて農業経済モデルのパラメータを推計し、農業経済モデルを構築する（再生可能エネルギーモデル構築のためのデータ収集）。日照時間の違い、風力の違い、再生可能エネルギー買取り価格などが、再生可能エネルギー発電に投資した場合の収益に影響を与え、その普及に影響を与える。このため、地域別（日本を対象としたプロトタイプモデル）を構築する予定である。また、市町村レベルのデータを想定）で収益に与える変数についてデータを収集し、データベースを構築する。

4年目は、前年に収集したデータを利用し、計量経済学的手法を用いて再生可能エネルギーモデルのパラメータを推計し、再生可能エネルギーモデルを構築する。さまざまな買取り価格シナリオを設定し、開発したモデルを用いて、再生可能エネルギーの普及に与える影響をシミュレーションする。

5年目は、これまで開発したモデルを用いて、さまざまな気候シナリオの下で、シミュレーション分析を行う。また、テーマ1と協力し、テーマ1で開発した統合モデルの問題点を精査し、改良が必要な場合には、その対応策を検討する。

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

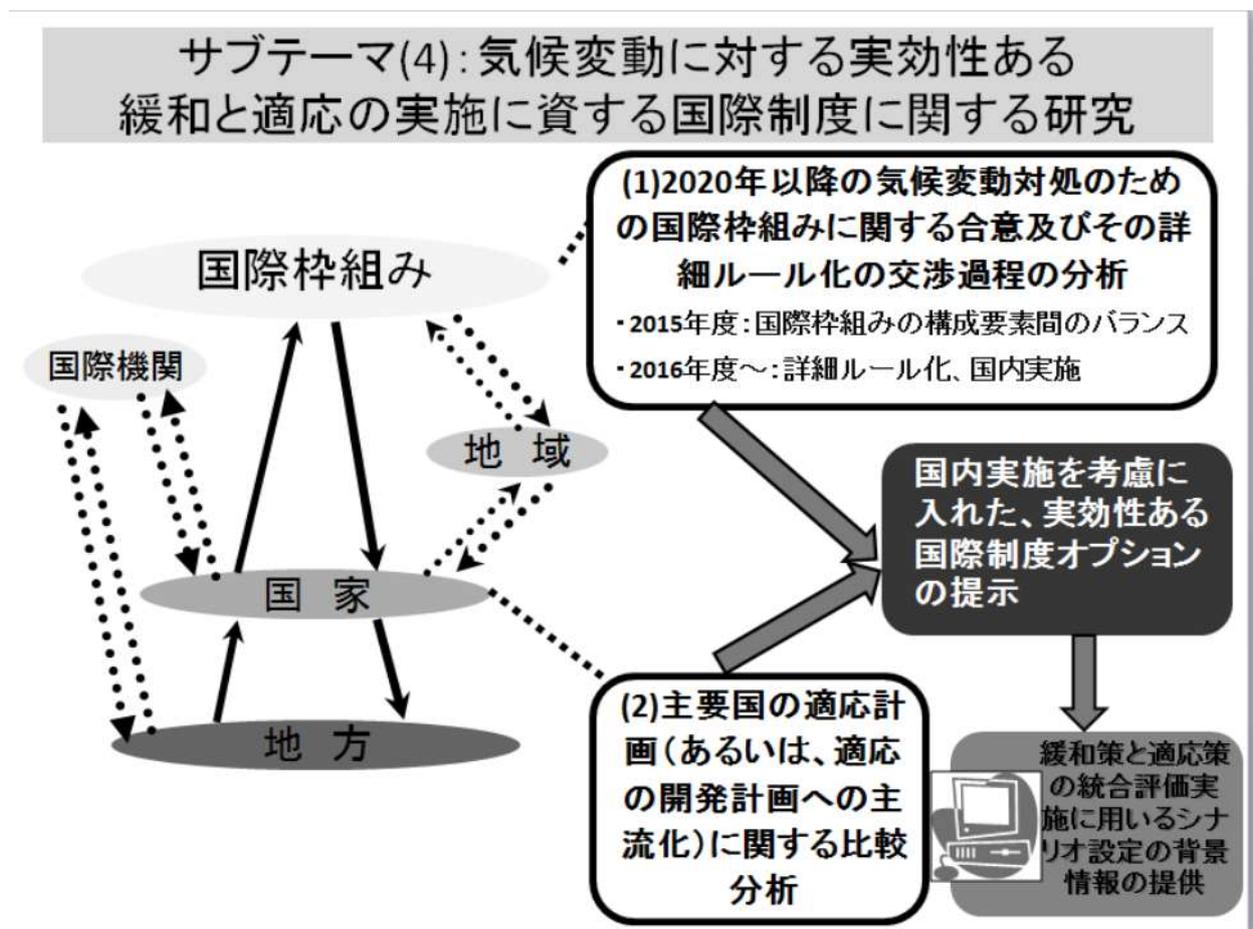
1）達成目標

本研究では、①過去の実績及び関連研究を踏まえ、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（例：適応関連基金の配分の決定方法等）を導出し、②関連研究や政府関係者等のインタビュー結果を踏まえて、主要国（先進国、途上国双方）における適応計画の比較分析を行い、策定・実施プロセスにおける課題を抽出する。そして、③COP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、新合意及びその詳細ルール化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1に提供し、統合評価モデル研究者と協働して、シナリオ設定の妥当性を検討する。

2）具体的な研究手法

1年目はCOP等の交渉会議を傍聴して、各交渉グループ／各国のポジションを把握するほか、気候変動枠組条約事務局等の国際機関文書や各種文献を基にして、国別目標（その前提条件や背景情報も含む）や適応支援策を中心に、2020年以降の気候変動対処のための国際制度の交渉過程を分析する。また、2年目は2015年合意に関する情報を収集・分析し、2020年以降の気候変動対処のための国際制度の詳細ルール化交渉のうち、資金支援に関する側面を中心に、国際機関文書、過去の資金支援実績等の文献を踏まえて分析する。3年目も引き続き2020年以降の気候変動対処のための国際制度に関する情報の収集・分析を行い、国際機関文書、各国内法令・計画等政策文書等各種文献等を基に、主要国の適応計画を比較分析し、主に適応計画の策定段階に関する障壁を抽

出する。4年目は、COP及び補助機関諸会合等を傍聴し、2020年以降の気候変動対処のための国際制度の詳細ルール化交渉過程を分析する。また、国際機関文書、各国内法令・計画等の政策文書、及び各種文献を基に、主要国の適応計画を比較分析し、適応の開発計画への主流化がどのようにはかかれているかを明らかにし、国際制度による支援のオプションを示す。5年目は、過去4年間の研究成果を踏まえ、さらに、国際機関等文書、国内法令・計画等の政策文書、他機関の研究成果等を基に、2015年合意の詳細ルールの実施上の課題、資金メカニズムの制度設計に活かされるべき教訓、及び適応策に関する国内制度の実施上の課題を抽出し、国際制度の実効性を高める方策のオプションを提示する。



図(2)-4 サブテーマ(4)の研究構成図。

(5) サブテーマ(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

1) 達成目標

本研究では、気候変動の緩和・適応・生態系保全のコベネフィットの最大化に資する、国際・国内制度、資金メカニズムを、森林分野、アジア地域の国を対象事例とし、効果的な環境関連制度間の相互作用、そのための効果的なアクターの参画に注目する国際政治学の「相互作用の管理」の手法を用いて明らかにする。また、テーマ1の応用一般均衡モデルを用いた緩和・影響・適応の経済評価チーム、及び生態系保全による緩和・適応の統合研究チームと密に連携して研究を実施

する。

a. 三つの対策（緩和策、適応策、生態系保全策）の統合可能性の評価

森林分野を事例に、三つの対策の統合可能性や統合による三つの対策への正負の効果を、環境対策の評価研究を基に新たな評価軸を構築し、定性的に評価する。

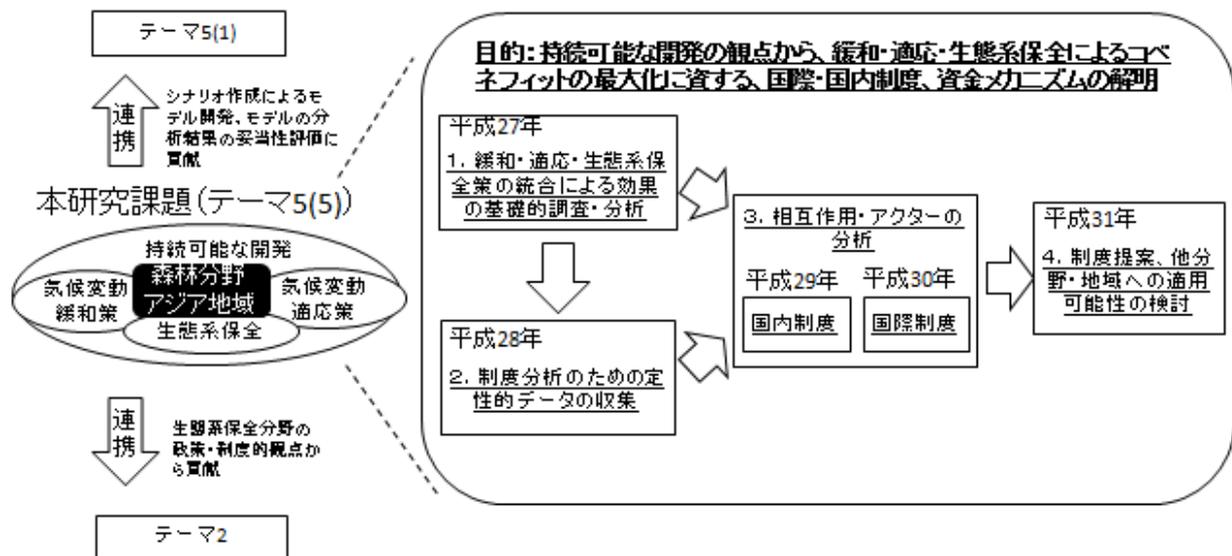
b. コベネフィットを高める制度・資金メカニズム分析

aの森林分野の三つの対策の統合による正の効果を最大化する、国際・国内制度、資金メカニズム設計の課題やその改善方法を探るため、「相互作用の管理」の手法、及びアジア地域の事例を用いて、三つの対策の関連制度間の相互作用・ギャップ、効果的な相互作用を生むアクターを分析する。森林分野、アジアの事例から、三つの対策のコベネフィットを生む条件、それを推進する制度・資金メカニズムの課題・改善手法を提示する。以下の項目を分析対象とする。

- ・制度：気候変動枠組条約、生物多様性条約、国家森林マスタープラン他
- ・資金メカニズム：森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減（REDD+）、適応関連基金、生態系サービスへの支払い他
- ・アクター：国連機関、国家政府機関他

c. 他分野、アジア以外の国への適用可能性の検証

bの達成後、bで得られた条件や課題・改善手法の他分野（例：水分野）・アジア以外の国への適用可能性を文献やヒアリングを基に検証する。



図(2)-4 サブテーマ(5)の研究の進め方。

2) 具体的な研究手法

1年目は、気候変動の緩和と適応のコベネフィット、さらに気候変動対策と生態系保全策、持続可能な開発との関係性に関する文献をレビューする。そして、アジアの国々（タイ、カンボジア他）で実施されている既存の森林分野の緩和、適応、生態系保全対策・プロジェクトに関する情報を現地調査により収集し、これらの緩和、適応、及び生態系保全への効果、ならびに三つの対策の統合可能性を、環境対策の評価研究を基に構築する新たな評価軸を用いて、定性的に評価する。まずは、緩和、適応、生態系保全いずれの観点においても正の効果が生まれるケース（例：

マングローブ林の保全)と、いずれかに負の影響が生じるケース(例:緩和策にとっては正の効果があるが、生態系保全においては負の効果のあるバイオ燃料作物栽培)を明らかにし、リスト化する。三つの対策の統合に対する効果の評価軸策定やデータ収集においては、森林分野の緩和・適応・生態系保全策に関する研究者、及び現場でこれらの対策の実施に携わる実務者にヒアリングを行う。

2年目は、森林分野の緩和・適応・生態系保全に関する国際・国内制度(国内はアジア地域の国々)、資金メカニズム、及び実施に関わるアクターに関する定性的データを収集し、これらの制度間の相互作用やアクターの役割について分析するための下準備をする。文献だけでなくアクターへのヒアリング等を通じてデータ収集する。以下は本研究の分析対象である。

- a. 制度：気候変動枠組条約、生物多様性条約、国家森林マスタープラン他
- b. 資金メカニズム：REDD+、適応関連基金(特別気候変動基金、適応基金、後発開発途上国基金)、生態系サービスへの支払い他
- c. アクター：国連機関(国連開発計画他)、国家政府機関他

3年目はアジア各国国内の制度・アクターに着目する。平成28年度に収集したデータに、国際政治学における「相互作用の管理」の手法を適用し、森林分野の緩和、適応、及び生態系保全のコベネフィットを高める上での国内制度間の相互作用、及び相互作用を改善する上でのアクターの役割について分析する。4年目は、国内制度の研究を踏まえ、国際的な制度、資金メカニズム及び関連するアクターに着目する。前年に収集したデータに、国際政治学における「相互作用の管理」の手法を適用し、森林分野の緩和・適応・生態系保全のコベネフィットを高める上での国際制度間、資金メカニズム間の相互作用、及び相互作用を改善する上でのアクターの役割について分析する。

5年目は、森林分野を対象としたアジアの事例分析から、緩和・適応・生態系保全のコベネフィットを生む条件、コベネフィットを推進する上での国際・国内制度、資金メカニズムの課題を基に、効果的な制度の在り方を提示する。またこれらの条件や課題・改善方法が他の分野(例:水分野)の緩和・適応、ならびに生態系保全にも適用可能かを文献・ヒアリング調査を基に検証する。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

物理プロセスモデルの結果を応用一般均衡モデルに取り入れる手法を開発し、全球を対象として包括的な緩和、影響被害、適応策の定量化は世界的にも非常に知見が少ない。また、気候変動研究の緩和策に関わる統合評価モデルグループと影響・適応策に関わる影響モデルグループという異なる研究コミュニティの統合や協力関係を構築できる可能性がある。さらに、統合評価モデル内でも、本提案で示すような影響分野を明確な形で取り込めるモデルはまだ限られており、IPCCのWG2、3を横断する新しい分野を創造・牽引できる可能性がある。

世界で最も詳細に人間の水利用が扱える全球水資源モデルの一つであるH08と、同じく最も包括的に世界の社会・経済変化と気候政策を扱える応用一般均衡モデルの一つであるAIM/CGEを連動させるための理論的・技術的基盤を確立し、社会・経済・温室効果ガス排出の変化および水資源・水利用の変化を、相互作用させつつ整合的にシミュレーションすることにより、水不足問題を回

避した統合的な緩和策と適応策を評価・分析することが可能になる。

固定価格買取制度を実施している国（日本でも実施）のデータを用いて、買取価格が再生可能エネルギーの普及にどのような効果を有していたかを検証し、その有効性を検討することの意義は大きい。

気候変動対処のための国際制度に関する情報収集及び分析については、統合評価モデル研究者自身が情報を収集しているケースは見られるものの、国際法・国際関係論分野の研究者と直接連携している研究事例は、ほとんど見られない。そのため、本研究で国際法・国際関係論分野の研究者が情報収集及び分析を実施し、定量評価の裏付けとしての定性的なシナリオと直接連携させることは意義深い。

緩和・適応・生態系保全のコベネフィットを生み出す条件、それを推進する国際・国内制度、資金メカニズムを明らかにし、シナリオを作成することで、応用一般均衡モデルを用いた緩和・影響・適応の経済評価等のモデル開発、及びモデルの分析結果の妥当性の評価にも貢献できる。

（２）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

国際政治や現実的な資金メカニズムを検討することで、日本および国際的な政策決定に直接有用な科学的知見の提供が可能になると考えられる。

将来の社会・経済・温室効果ガス排出の変化および水資源・水利用の変化を統合的にシミュレーションすることによって、応用一般均衡モデルと全球水資源モデルを連動させる理論的・技術的基盤を確立する。これにより、水不足問題を回避した統合的な緩和策と適応策を評価・分析し、気候政策と持続可能社会への転換政策の検討に貢献する。

本研究課題で開発される再生可能エネルギーモデルを用いることで、導入目標を達成するために必要な固定価格を推計できるため、再生可能エネルギー普及策に関する有効性を検証できるだけでなく、より望ましい制度設計のあり方を検討でき、日本の環境政策への貢献も期待できる。

気候変動に関する交渉の状況や国内実施状況を踏まえて、実効性ある国際制度のオプションを提示することによって、国際法、国際関係論、環境法、法政策学、の各研究分野への学術的貢献となると共に、主要国における適応計画の策定・実施プロセスに関する比較分析結果や、主要国が適応の開発計画への主流化等をどのように行っているか等の比較分析結果は、気候変動交渉担当者への支援材料となり得る。

国際政治学の学術的な観点、及び森林分野、アジア地域の事例研究から、気候変動の緩和策・適応策・生態系保全策のコベネフィットの最大化に資する国際・国内制度、資金メカニズムを提示することで、気候変動枠組条約、生物多様性条約、ならびに持続可能な開発目標に関連する交渉における日本政府への積極的なインプット、及び関連する気候変動や生物多様性に関する我国の国際交渉の議論に活かすことが可能である。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

1) 肱岡靖明：日本生態学会第62回全国大会(2015)

企画集会「地球温暖化が生態系へ与える影響：その検出、予測、そして適応策へ向けて」
において、コメンテータとして話題提供。

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) M.T.H. van Vliet, J. R. Yearsley, F. Ludwig, S. Vögele, Dennis P. Lettenmaier and P. Kabat1, Nature Climate Change, 2, 676-681 (2012)

“Vulnerability of US and European electricity supply to climate change”

- 2) 花崎直太、増富祐司、高橋潔、肱岡靖明、原沢英夫、松岡譲：環境システム研究論文集、35, 367-374 (2007)

「温暖化政策支援モデルのための全球水資源影響関数の開発」

- 3) 花崎直太、増富祐司、肱岡靖明、高橋潔：水工学論文集、53, 271-276 (2009)

「温暖化政策支援モデルにおける全球水ストレス人口推定モデルの開発と適用」

- 4) M. Konar, Z. Hussein, N. Hanasaki, D.L. Mauzerall, and I. Rodriguez-Iturbe, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 3219-3234 (2013)
“Virtual water trade flows and savings under climate change”
- 5) C. Dalin, S. Suweis, M. Konar, N. Hanasaki, and I. Rodriguez-Iturbe, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L24402 (2012)
“Modeling past and future structure of the global virtual water trade network”

(3) 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

環境情報研究院

統合的海洋教育・研究センター

〈研究協力者〉環境情報研究院

松田 裕之、持田 幸良

水井 涼太、古川 恵太

太田海香、Rejaul Islam

平成26年度累計予算額：3,797千円

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

気候変動（CC）の生態系サービス（ES）への影響は土地利用変化など他の要因と複合的に作用するため、適応策として他の要因を低減することも重要である（IPCCのAR5）。同時に、陸域、沿岸域などのバイオマスそのものが炭素を貯留し、生態系保全は緩和効果を持つ。同時に、生態系を維持することで高波や山火事などの災害リスクを減らす減災効果も指摘されている。その反面、ダムや巨大防潮堤のように人間活動を守るための防災対策が生態系を損ねているという指摘も数多い。逆に鳥衝突を理由に風力発電建設に反対運動がおこるように、生物多様性保全がCC対策と相反するとみられる事例もある。生物多様性保全を目的とするのではなく、ES保全を緩和と減災の手段として評価しつつ、人間の福利への影響を統合的に評価することを目指す。特に沿岸域・海域の炭素貯留効果は「ブルーカーボン」と呼ばれ、注目されている。その効果は高等生物体だけでなく土壌も含めて評価すべきであり、かつ本来のES（調整サービス）の経済効果も含めて総合的に評価すべきである。特に陸域からの栄養供給などを考慮した流域生態学の視点とともに、ESと他の人工物の価値を同列に経済評価することが重要である。気候変動の生態系サービスに及ぼす影響を評価するには、生物自身が分布や繁殖季節を変化させることで気候変動の影響を緩和できる場合があることを考慮する必要がある。また、生態系サービスの経済評価の際には、生態学と経済学の専門家が密に連携する必要がある。経済学者が単に生態学の文献を引用するだけでは、たとえばサンゴ礁の面積が適切に参照されない場合がある。

[キーワード]

気候変動、生態系サービス、適応策、緩和策、生態系保全

1. はじめに

本サブテーマは大きく3つの検討事項からなる。第一に、ブルーカーボン（沿岸域・海域生態系の炭素貯留効果）を含む吸収源の2020年以降の枠組みにおいて果たすべき役割とその有効活用方法の研究や海域などの吸収源の効果把握インベントリー作成手法の検討など、生態系保全による緩和策に関する先端的な研究の予備調査である。第二に、生態系保全による適応策実施の技術的・経済的検討と課題等の整理に関する研究の予備調査である。これには、生態系保全によって二酸

化炭素やメタンなどの温室効果ガスの排出を抑制したり生態系の回復力を活用し気候変動の生態系サービスへの影響を軽減させたりすることや自然災害リスクを軽減させることなどが含まれる。第三に、地方自治体における緩和策と適応策の統合実施のあり方、手法の選択肢の抽出などに関わる研究の予備調査である。本研究提案は課題調査型研究であることを反映し、本調査の過程でこれら3つの研究項目を将来的に担う人材を探し、本研究への協力を依頼し、国際的な研究推進体制を構築する。

2. 研究開発目的

気候変動（CC）統合策を生態系保全や生態系サービス（ES）保全の保全効果として評価するためには、CCの生態系への影響を明らかにすることが必須である。そこで本年度はCCに対する生物自身の適応的变化について、CCが各生物種の個体群にどのような影響を及ぼすのかを明らかにする。

3. 研究開発方法

本研究では第一に沿岸生態系による炭素貯留（ブルーカーボン）に注目し、その緩和効果がどれほど大きいのか、緩和適応統合策のよい事例があるか、ブルーカーボン研究の日本における重要性、海外との研究連携の可能性について調査した。第二にCCの生物適応への影響に関する事例を収集し、文献のレビューを行った。その際、生物種の適応度が増加した場合を「適応の成功」とみなし、適応度の減少を「適応の失敗」とした。なお、本研究における適応は小進化以外に表現型可塑性も含むことにした。そして第三に、生態系サービスの緩和適応策に関する経済評価の先行研究を整理した。

4. 結果及び考察

（1）ブルーカーボン国際ワークショップ

2014年11月30日、横浜国立大学において、豪州からカルロス・ドアルテ教授（西豪州大学）とキャサリン・ラブロック教授（クィーンズランド大学）、日本から桑江朝比呂博士（港湾空港技術研究所）、大塚耕司博士（大阪府立大学）、井上智美博士（国立環境研究所）を招き、そのほかに琉球大学馬場繁幸名誉教授、広島大学上真一教授、北海道大学仲岡雅裕教授、国立環境研究所山野博哉博士らを含め全部で約30名の参加者により、国際ワークショップを開催した。

はじめに、沖教授が上記の環境省総合推進費の研究計画をIPCC第5次報告書に沿って紹介し、ドアルテ教授が沿岸植物群集の気候変動緩和・適応策に果たす役割を紹介した。続いて桑江博士が富栄養化と沿岸生態系の炭素収支の研究を紹介し、大塚博士が藻場再生を例に生物多様性を含めた新たな環境負荷指標を提案した。ついで井上博士がマングローブの生理学的機能について紹介し、最後にラブロック教授が炭素貯留機能を含むマングローブ林の生態系サービスについて紹介した。総合討論では、仲岡教授が2013年までの水産庁研究事業を紹介し、松田が事前に用意した4つの質問について議論した。その場で以下のことが認識された。①ブルーカーボンの緩和効果がどれほど大きいかについては、単位面積当たりでは高いものの、沿岸生態系の面積が陸域森林全面積より少ない。緩和効果だけでなく適応効果も含めてその重要性を検討すべきと議論された。②緩和適応統合策のよい事例があるかという問いに対しては、否定的な意見が多かったが、横浜

市のブルーカーボン事業はクレジット制度を含めて統合策の事例になりえるかもしれない。災害対策など適応策のほうが緩和策より重要と指摘された。③ブルーカーボン研究の日本における重要性については、日本は広い藻場があり、中国とともに養殖漁業が盛んであり、かつ暴風災害の懸念が大きいという特徴が指摘された（図(3)-1）。



図(3)-1 11月30日の国際ワークショップ（壇上左が松田、右がドゥアルテ教授、向かって右手最前列が沖代表）。

（2）気候変動に対する生物の進化的応答に関する文献調査

CCに対する生物の進化的応答については、生理的变化、分布の変化、フェノロジーの変化、適応などさまざまな生物で研究されている（Hughes 2000）¹⁾。特にフェノロジーや分布が変化した事例が多く、研究されている種の中で半分以上がそのような変化が起こっている（Parmesan 2006）²⁾。また、節足動物や鳥類の研究が多くされており、CCに対して表現型可塑性や小進化を行うことで応答している。たとえば、Bradshaw and Holzapfel（2001）³⁾は、1972、1988、1993、1996年に蚊の一種（*Wyeomyia smithii*）の幼虫をサンプリングし、光周期を調査した。その結果、温暖化の影響で成長期間が長くなり、その応答として光周期が短く進化していた。特に北部の個体群では、近年、秋になるのが遅くなったため、休眠への合図である日長時間が短くなっていた。このような応答は哺乳類でもみられる。哺乳類のアカリス（*Tamiasciurus hudsonicus*）では、春の気温の上昇と餌である針葉樹のカナダトウヒ（*Picea glauca*）種子の豊作により、10年間で出産日が18日早まっており、急激な環境の変化に表現型可塑性と小進化することにより対応していた（Reale et al. 2003）⁴⁾。また、キバラマーモット（*Marmota flaviventris*）では、環境の変化により、成長期間が延び、体重の増加につながった。この体重の増加は、繁殖率や生存率を増加させ、個体数が急激に増加した（Ozgul et al. 2010）⁵⁾。

以上は、CCに対し生物が適応的に応答できた事例を挙げてきたが、CCの影響で適応度が減少した事例も報告されている（Post & Forchhammer. 2008）⁶⁾。たとえば、カナダのコロンビアジリス（*Urocitellus columbianus*）では、吹雪の増加に伴い雪解けが遅くなり、冬眠後の出現日が遅れたことによる適応度の減少が見られた（Lane et al. 2012）⁷⁾。また、Tafari et al.（2013）⁸⁾は1990-2011年の20年間のアルプスマーモット（*Marmota marmota*）の出産に関するデータと生息地域の気候データを解析した。その結果、気候データではCCによる積雪量の減少が起こっていた。

一方、出産データからはメスの体重が年々減少傾向にあり、それに伴い、出産数も減少していることが明らかとなった。これらの結果は、積雪量が少ないことで、マーモットの冬眠穴の温度が保たれず、冬眠中の母親の脂肪を燃焼により体重が減少し、出産数に影響したと考えられる。このような形質の変化は適応度の減少に関係している (Bountin and Lane 2014)⁹⁾。アルプスマーモットと近い種であるキバラマーモット (Ozgul et al. 2010) ではうまく応答していることから、近縁種であっても、CCへの応答の程度や方向性は種によってさまざまであることが分かる (Tafani et al. 2013)。この適応の成功と失敗を決めるのは、CCに対する応答の持続性とその方向性である。上手く応答できた事例であっても、環境の変化の速さに応答がついていけるとは限らず、気候の変化に対する進化は個体群の存続を保証するものではない (Bradshaw and Holzapfel 2006)¹⁰⁾。

Hughes (2000)は温暖化の生物への影響をレビューした上で、以下の4つ状況が短期間に生じるだろうと述べている。新しい局所個体群による地理的境界の拡大、低緯度や標高の低い境界沿いの局所個体群の絶滅、移動性の種による既存の個体群の減少したサイトへの侵入の増加、フェノロジーの不一致による種間相互作用の解消。特に短寿命種は長寿命よりもCCに対して敏感であることから (Tafani et al. 2013)、上記の4つの状況は短寿命種に大きく影響するだろう。以上のことから、適応が上手くいっている事例であっても他種への影響が否めず、CCの対策が生態系やES保全として評価できるだろうと考えられる。

表(3)-1 Costanzaら(2014)による世界の生態系サービスの経済価値とその減少。赤地に白字のサンゴ礁の部分は山野博哉(私信)によるサンゴ礁面積の修正を反映したものの。

Biome	Area (e6 ha)		Unit values 2007\$/ha/yr			Aggregate Global Flow Value e12 2007\$/yr			2011-1997 Change in Value e12 2007\$/yr					
	1997	2011	1997	2011	2011-1997	1997	2011	2011	1997 unit values	2011 unit values				
	Change	2011-1997	Change	2011-1997	Change	2011-1997	2011-1997	2011-1997	2011-1997	2011-1997				
Marine	36,302	36,302	0	796	1,368	572	28.9	60.5	29.5	49.7	0.6	(10.9)		
Open Ocean	33,200	33,200	0	348	660	312	11.6	<	21.9	11.6	-	-		
Coastal	3,102	3,102	0	5,592	8,944	3,352	17.3		38.6	18.0	27.7	0.6	(10.9)	
Estuaries	180	180	0	31,509	28,916	-2,593	5.7		5.2	5.7	5.2	-	-	
Seagrass/Algae Beds	200	234	34	26,226	28,916	2,690	5.2		5.8	6.1	<	6.8	0.9	1.0
Coral Reefs	28	13	-15	8,384	352,249	-343,865	0.2	<<<	9.9	0.1	>>>	6.2	(0.1)	(3.6)
Shelf	2,660	2,660	0	2,222	2,222	0	5.9		5.9	5.9	-	-	-	-
Terrestrial	15,323	15,323	0	1,109	4,901	3,792	17.0	84.5	12.1	75.1	(4.9)	(9.4)		
Forest	4,855	4,261	-594	1,338	3,800	2,462	6.5		19.5	4.7	16.2	(1.8)	(3.3)	
Tropical	1,900	1,256	-642	2,769	5,382	2,613	5.3	<	10.2	3.5	>	6.8	(1.8)	(3.5)
Temperate/Boreal	2,955	3,003	48	417	3,137	2,720	1.2	<<	9.3	1.3	9.4	0.0	0.2	
Grass/Rangelands	3,898	4,418	520	321	4,166	3,845	1.2	<<	16.2	1.4	18.4	0.2	2.2	
Wetlands	330	188	-142	20,404	140,174	119,770	6.7		36.2	3.4	26.4	(3.3)	(9.9)	
Tidal Marsh/Mangroves	165	128	-37	13,786	193,843	180,057	2.3	<<	32.0	1.8	>>	24.8	(0.5)	(7.2)
Swamps/Floodplains	165	60	-105	27,021	25,681	-1,340	4.5		4.2	1.6	>>>	1.5	(2.8)	(2.7)
Lakes/Rivers	200	200	0	11,727	12,512	785	2.3		2.5	2.3	2.5	-	-	
Desert	1,925	2,159	234	-	-	0	-		-	-	-	-	-	
Tundra	743	433	-310	-	-	0	-		-	-	-	-	-	
Ice/Rock	1,640	1,640	0	-	-	0	-		-	-	-	-	-	
Cropland	1,400	1,672	272	126	5,567	5,441	0.2	<<<	7.8	0.2	<	9.3	0.0	1.5
Urban	332	352	20	-	6,661	6,661	-		2.2	-	2.3	-	0.1	
Total	51,625	51,625	0				45.9	133.9	41.6	121.1	(4.2)	(11.9)		

(3) 気候変動に係る生態系サービスの経済評価に関する文献調査

最後に、「適応策、緩和策、生態系サービスに関する先行研究のレビュー」を英文でまとめた。ブルーカーボンに関するレビューとしては上述のDuarte教授らの研究が極めて重要であり

(Duarte et al. 2013)¹¹⁾、生態系サービスの経済価値の近年の減少に関してはCostanza et al. (2014)¹²⁾が1997年の先行研究において世界の生態系サービスの経済価値を年間33兆ドルとみなしていたのに対し、まずその値を145兆ドルに修正したうえで、サンゴ礁などの生態系の面積の近年の減少により、2011年には125兆ドルに減少したと評価した。すなわち、過去14年間に20兆ドルの価値が失われたことになる。また、自然資本に関して割引率を低く設定する根拠が議論され、人工資本は無限に開発できるが自然資本は有限であり、同じ割引率を適用すべきではないとしている(Gowdy et al. 2010)¹³⁾。また、米国生態学会の雑誌では適応(Adaptation)という用語についても議論され、上述の生物の適応的变化と区別して政府の操作(manipulation)という用語が提案されている(Thomsen et al. 2012)¹⁴⁾。ただし、Costanza et al. (2014)が用いたサンゴ礁の焼失面積について精査したところ、サンゴ礁の面積及び消失面積が過大評価されていると考えられた(表(3)-1)。そのため、最も経済価値が減少している生態系はサンゴ礁でなく干潟と湿地であるという結果になった。

(4) 今後の研究計画の立案

以上の成果より、以下の5つのサブテーマから構成される5年間の研究計画を立案した。

サブテーマ(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

サブテーマ(2)：陸域生態系の強靱化による緩和策、適応策の統合評価

サブテーマ(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

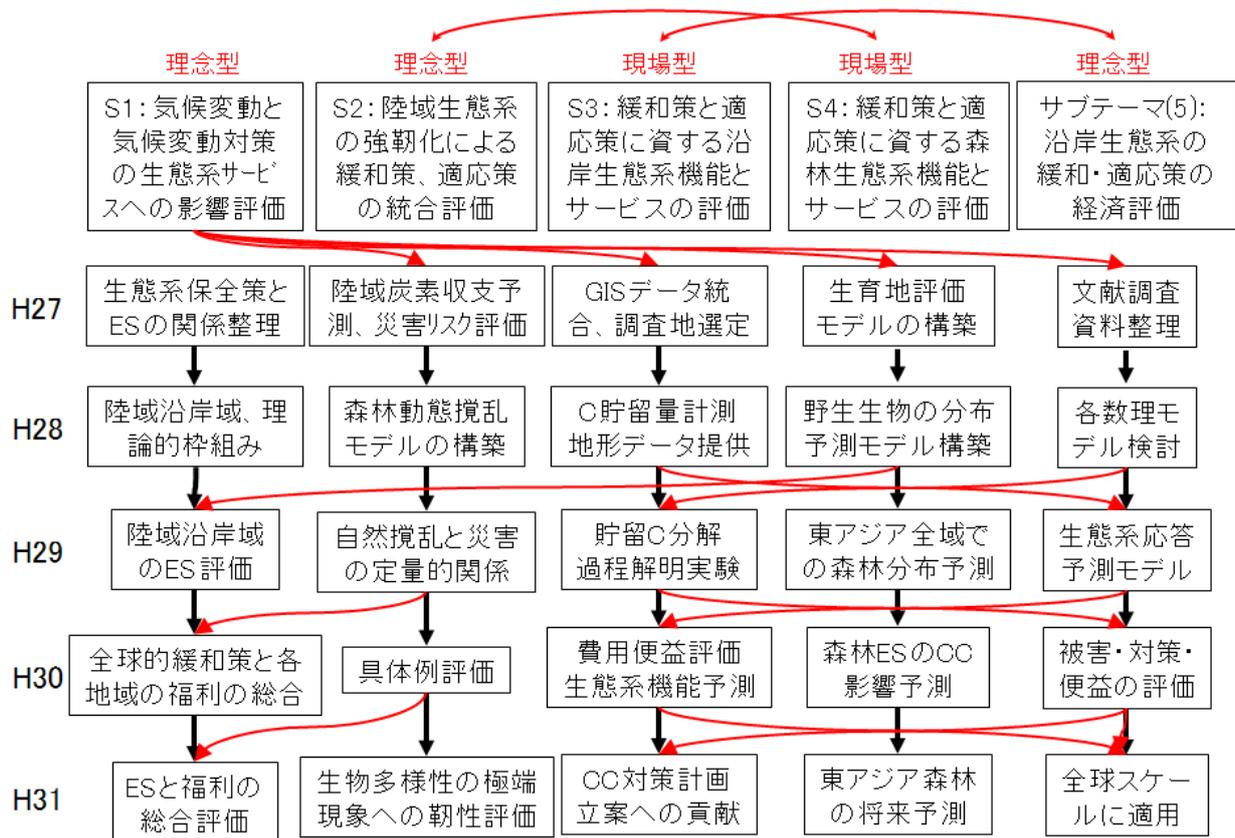
サブテーマ(4)：緩和策と適応策に資する森林生態系機能とサービスの評価

サブテーマ(5)：沿岸生態系の緩和・適応策の経済評価

サブテーマ(1)では、気候変動、気候変動対策、その他の人為活動を通じて生態系サービスへの影響を評価しつつ、人間の福利に及ぼす影響を目的関数とした生物多様性保全策の評価手法を開発し、個々の緩和・適応統合策の人間の福利に対する効果を生態系サービスからの貢献を含めて評価し、政策間の比較検討を行う。サブテーマ(2)では、森林動態-攪乱モデルを開発したうえで気候変動に伴う攪乱体制の変化を加味した陸域生態系モデルを構築し、土地利用シナリオを合わせることで、炭素収支への影響を計算する。また、多様性が極端現象(旱魃・山火事)時にも生態系の多機能性を保障するのかを分析し、生物多様性が極端現象の発生時に生態系の機能性を維持するためのバッファとなり得るのかを考察する。サブテーマ(3)では、陸域の生態系および生物多様性の保全による極端現象時の影響緩和と適応可能性について考察する。この結果をテーマ全体に還元し、生態系保全による気候変動への緩和策と適応策の提示について定量的に評価するための主たる知見とする。沿岸生態系分布情報を整備し、現地調査で計測した炭素貯留量データを属性データとして付与する。また、気候変動に伴う沿岸生態系機能の将来予測、環境政策としての費用便益効果評価を行い、プロジェクト全体の最終目標である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に必要な情報を提示する。サブテーマ(4)では、温暖化と人為影響等を考慮した東アジアの森林の将来予測を行う。東アジアにおける森林と人為影響の関係は、一般に新興国でオーバーユース、先進国でアンダーユースの傾向が見られる。オーバーユースの事例として、熱帯林の違法伐採による森林面積の減少、中国内陸部での過放牧による森林更新阻害などがある。一方、アンダーユースの事例として、人間による利用で維持されてきた二次的な森林の管理放棄に伴う生物多様性や炭素蓄積の減少、狩猟者減少による野生動物の増加など

がある。これらの関係は、今後の社会経済や人口動態の変化によって大きく変化する。そこで、各国の経済状況と森林資源利用との関係についてモデル化し、森林タイプごとの分布予測モデルと組み合わせて将来予測を行う。サブテーマ(5)では、全球スケールで被害損失金額、緩和・適応策の費用と便益を推定し、無策の場合と比較する。

図(3)-2に、各サブテーマのおよその年次計画とサブテーマ間の連携の案を示す。



図(3)-2 サブテーマごとの年次計画と連携(案)。

テーマ全体としての年次計画は、以下のように考えられる。

1年目：生態系保全の適応策への貢献は生態系サービスを通じて達成される。気候変動対策としての生態系保全がどのような生態系サービスに貢献し得るかを整理する。マングローブなどの生態系保全は、炭素貯留の緩和効果、高潮災害対策などの適応効果や沿岸生態系の一次生産力向上などの生態系サービス向上効果をもつ。その半面、ダムや巨大防潮堤のように人間活動を守るための防災対策が生態系を損ねているという指摘も数多い。気候変動と現在の気候変動対策が生態系機能に及ぼす影響を評価する。

2年目：課題達成に必要な各数理モデルを構築する。気候変動対策が生態系サービスを損なうような(利益相反の)事例を整理する。生態系保全が緩和策に貢献する(両得)事例とそれが成立する条件を検討する。生物の進化的応答が、気候変動に対する生物種自身の存続可能性を増進するとは限らない。このような「生物自身の適応の失敗」の可能性を整理する。

3年目：生態系保全は、炭素貯留の緩和効果、高潮災害対策などの適応効果や沿岸生態系の一次生

産力向上などの生態系サービス向上効果をもつ。このような緩和効果をさまざまな生態系の間で比較検討する。そのために、生態系サービス保全を緩和と減災の手段として評価する手法を提案する。前年に地域的に評価された研究成果の広域適用を試みる。

4年目：生態系サービス保全の経済評価手法を広く内外の事例に適用する。これにより、IPCCだけでなくIPBES関係者など国際諸機関との連携を強化する。生態系サービスと他の人工物の価値を同列に総合評価することを試みる。

5年目：生態系保全を通じた気候変動対策が人間の福利への影響を統合的に評価する手法を検討する。生物多様性保全による極端現象への韌性を評価する。各政策シナリオでの生態系保全の緩和・適応効果の将来予測を行う。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

気候変動（CC）の生態系サービス（ES）への影響は土地利用変化など他の要因と複合的に作用するため、適応策として他の要因を低減することも重要である（AR5）。同時に、陸域、沿岸域などのバイオマスそのものが炭素を貯留し、生態系保全は緩和効果を持つ。同時に、生態系を維持することで高波や山火事などの災害リスクを減らす減災効果も指摘されている。その半面、ダムや巨大防潮堤のように人間活動を守るための防災対策が生態系を損ねているという指摘も数多い。逆に鳥衝突を理由に風力発電建設に反対運動がおこるように、生物多様性保全がCC対策と相反するとみられる事例もある。自然保護団体のように生物多様性保全を目的とするのではなく、ES保全を緩和と減災の手段として評価しつつ、人間の福利への影響を統合的に評価することを目指す。特に沿岸域・海域の炭素貯留効果（ブルーカーボン）の効果は、高等生物体だけでなく土壌も含めて評価すべきであり、かつ本来のES（調整サービス）の経済効果も含めて総合的に評価すべきである。特に陸域からの栄養供給などを考慮した流域生態学の視点とともに、ESと他の人工物の価値を同列に経済評価することが重要である。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

ブルーカーボンについて先進的に取り組んでいる横浜市と連携し、上記の認識を共有することが期待できる。ブルーカーボンの緩和効果についてより正確な認識を持った上で、適応策と併用した両得効果を期待する政策に活用することが期待できる。

6. 国際共同研究等の状況

上記のように豪州のDuarte教授、Lovelock教授らを招いて国際ワークショップを開催し、その後の研究推進体制を築いている。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

特に記載すべき事項はない。

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 松田裕之：日本生態学会第62回全国大会(2015)
企画集会「地球温暖化が生態系へ与える影響：その検出、予測、そして適応策へ向けて」
において、コメンテータとして話題提供。

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境連続セミナー「生物多様性と生態系サービス」（京都府、京と地球の共生府民会議主催，TKPガーデンシティー京都、2015年3月15日）において、「自然の恵みを子孫に遺す3つの考え方」と題して基調講演を行い、研究目的、研究内容、研究成果の講演・説明や研究の意義・課題についての対話を行った。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Hughes L., Trends in Ecology and Evolution. 15, 56-61 (2000)
“Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent?”
- 2) Parmesan, C., Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 37, 637-669 (2006)
“Ecological and evolutionary responses to recent climate change”
- 3) W.E. Bradshaw, and C.M. Holzapfel, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 98(25), (2001)

“Genetic shift in photoperiodic response correlated with global warming”

- 4) D. Réale, A.G. McAdam, S. Boutin, D. Berteaux, *Proceeding of the Royal Society of London-B Biological Sciences*, 270, 591–596 (2003)

“Genetic and plastic responses of a northern mammal to climate change”

- 5) A. Ozgul, D.Z. Childs, M.K. Oli, K.B. Armitage, D.T. Blumstein, L.E. Olson, S. Tuljapurker, and T. Coulson, *Nature*, 466, 482–485 (2010)

“Coupled dynamics of body mass and population growth in response to environmental change”

- 6) E. Post, and M.C. Forchhammer, *Philosophical Transactions of the Royal Society-B Biological Sciences*, 363, 2369–2375 (2008)

“Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch”

- 7) J.E. Lane, L.E.B. Kruuk, A. Charmantier, J.O. Murie, and F. S. Dobson, *Nature*, 489, 554–557 (2012)

“Delayed phenology and reduced fitness associated with climate change in a wild hibernator”

- 8) M. Tafani, A. Cohas, C. Bonenfant, J. Gaillard, and D. Allainé. (2013)

“Decreasing litter size of marmots over time: a life history response to climate change?”

- 9) S. Boutin, and J.E. Lane, *Evolutionary Applications*, 7, 29–41 (2014)

“Climate change and mammals: evolutionary versus plastic responses”

- 10) W.E. Bradshaw, and C.M. Holzapfel, *Science*, 312(5779), 1477–1478 (2006)

“Evolutionary Response to Rapid Climate Change”

- 11) C.M. Duarte, I.J. Losada, I.E. Hendriks, I. Mazarrasa, and N. Marba, *Nature Climate Change*, 3, 961–968 (2013)

“The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation”

- 12) R. Costanza, R. de Groot, P. Sutton, S. van der Ploeg, S.J. Anderson, and I. Kubiszewski, *Global Environmental Change*, 26, 152–158 (2014)

“Changes in the global value of ecosystem services”

- 13) J. Gowdy, R.B. Howarth, and C. Tisdell, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Pushpam Kumar (Ed.), Ecological and Economic Foundations*. London, UK and Washington DC, USA: Earthscan. Pp.258–283 (2010)

“Discounting, ethics and options for maintaining biodiversity and ecosystem integrity”

- 14) D.C. Thomsen, T.F. Smith, and N. Keys, *Ecology and Society*, 17(3), 20 (2012)

“Adaptation or manipulation? unpacking climate change response strategies”

Feasibility study on the integrated implementation of mitigation and adaptation for climate change

Principal Investigator: Taikan OKI
Institution: Institute of Industrial Science, the University of Tokyo
Cooperated by: National Institute for Environmental Studies, Yokohama National University

[Abstract]

Key Words: Climate change, Cost-benefit analysis, Mega-city, Integrated model, Conservation of ecosystem

IPCC's Fifth Assessment Report (AR5) said "Warming of the climate system is unequivocal, and since the 1950s, many of the observed changes are unprecedented over decades to millennia. The atmosphere and ocean have warmed, the amounts of snow and ice have diminished, and sea level has risen.". Article 2 of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) specifies the ultimate objective of states as "stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system", and Japan as contracting state have to promote mitigation to make the greenhouse gas concentrations stable. On the other hand, working group 2 (WG2) of IPCC mentioned that mitigation and adaptation are inseparable. Initiative of adaptation in Japan is, however, dragging, so research and development to reflect effective and efficient measure by the integrated implementation of mitigation and adaptation for climate change on Japanese environmental policy in future formulation of the structure is necessary. This project evaluated feasibility as newly strategic R&D area project and propose the formulation of the structure.

We found that it is necessary that not only cost-benefit of mitigation and adaptation, and rest damage but various indices (e.g., subjective well-being) should be included the evaluation of the integrated implementation of mitigation and adaptation for climate change. Moreover, we developed method how to take results of physical process model into applied general equilibrium model (e.g., Computable General Equilibrium model). Knowledge of comprehensive quantitative evaluation of mitigation, damage, and adaptation in globe is still limited, the proposed formulation of structure will be on the cutting edge of this field. Additionally, we emphasized that resilience of ecosystem itself is one of important elements to construct the resilient-rich society. Even in various ecosystem, functions of resilience to disaster risk and mitigation effect of carbon storage

is important to climate change. Proposed project should contribute to promote the integration of nature conservation policy and climate change measure within renewable energy.

As above, the proposed project should contribute for integrated implementation of mitigation and adaptation. Not only that, contribution to IPCC and UNFCCC, and mitigation and adaptation by ecosystem conservation are also prospective. Through well balanced achievements of reduction of risk by climate change, economic development, ecosystem conservation, promotion of welfare in globe is expected, so R&D results of whole proposed project will be used effectively for environmental policy of Japanese Government.