

課題名 S-8-1(9) 温暖化適応政策による地域別・部門別の受益と負担の構造に関する研究

課題代表者名 大野 栄治 (名城大学都市情報学部教授)

研究実施期間 平成22～26年度

累計予算額 51,468千円 (うち26年度9,355千円)
 予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 水害、砂浜侵食、ブナ林、熱中症、利用価値、非利用価値、統計的生命価値、仮想市場評価法、旅行費用法、空間的応用一般均衡モデル

研究体制

- (1) 温暖化被害評価の精緻化 (名城大学)
- (2) 温暖化被害関数の開発 (学校法人東北文化学園大学)
- (3) 空間的応用一般均衡モデルの開発 (公立大学法人兵庫県立大学)
- (4) 温暖化適応政策に関する代替案の設定 (財団法人日本総合研究所)

研究協力機関

東北文化学園大学、兵庫県立大学、日本総合研究所、山形大学、東京都市大学

研究概要

1. はじめに (研究背景等)

IPCC第四次評価報告書において予測されているように温暖化が進行すると、その影響は長期に亘り、気候安定化政策の効果が現れるまでに長い時間を要する。温暖化による将来の被害を可能な限り小さくし、後世に対策の負担を回さないようにするためには、長期的な視点での適応政策の検討・実施が必要である。そして、複数の異なる温室効果ガスの安定化レベルに応じた分野別影響の全体像 (物理的・経済的影響) の変化を把握し、様々な適応政策の効果を検討するための高度な影響評価・政策評価モデルを開発することが重要である。

一方、政策的・制度的・技術的・社会的な適応政策の代替案が論じられ、それらの効率性を比較評価するプロセスも肝要である。また、世界的に温室効果ガス排出量が大幅に削減され、温室効果ガス濃度を450ppmに安定化した場合であっても、一定の被害が生じることは避けられないことが既に明らかとなっている。さらに、温暖化という長期的な予測を伴う現象については不確実性が不可分である。したがって、ある程度の被害が生じることに備えて長期的な視点で適応政策を検討・実施すること、また予期しない気候変動による被害を評価・吟味して対策を図ることは急務である。

2. 研究開発目的

本研究では、温暖化自体および温暖化対策に関するトップダウン型の全国影響評価を動学的・空間的応用一般均衡DSCGEモデルで展開することを目的とする。まず、これまで自然資源価値や統計的生命価値に関する既存研究の知見や本研究の遂行期間に実施する調査結果を踏まえ、これらを実評価モデルのコンポーネントとなる各種パラメータおよび原単位として抽出する。この作業過程においては、特に個人主体や産業主体の温暖化に関わる自然環境や健康被害に関する嗜好 (効用関数) や生産性 (生産関数) などの記述が要件となる。また、評価モデル内においてファーストインパクト (発生ベース評価) として与えられる自然環境への影響 (渇水、洪水、高潮、土砂崩れなど)、生態系への影響 (植生破壊、農・林・水産物被害など)、人体への影響 (熱ストレス等の健康被害、死亡リスクなど) は、企業生産性の低下、温暖化対策コストの増加、自然資源価値の低下、労働量並びに質の低下などをもたらす。そして、DSCGEモデルによる市場均衡計算を経ることにより、個人の効用変化を等価変分EVとして貨幣換算したものが帰着便益 (被害の純便益) として計算される。また、適応政策はこれらの被害の軽減分として便益が計算され、政策費用と対比の上、投資効率が見積もられる。

本研究で開発するDSCGEモデルの特色は、①長期的な動向が予測可能である動学的構造を内包すること、②47都道府県を基礎地域区分とする交易内生型であること、③居住人口移動や産業構造の変遷も記述可能となるように本源的生産要素の移動も加味していること、④対象期間が長期であるため不確実性に対する評価基盤も合わせて整備すること、などが挙げられる。そして、予め与えられる緩和

政策の実施条件の下、各適応政策シナリオによる年代別・地域別・部門別の最終帰着純便益を求めることにより、適応政策の効率性・公平性を比較・検討することが最終目的となる。

3. 研究開発の方法

(1) 温暖化被害評価の精緻化

温暖化被害評価については、ボトムアップ型と類される多様な分野における既存研究の知見、および大野（本研究代表者）らによる自然資源価値や統計的生命価値の計測によって、有用な基礎資料が整備されつつある。しかし、まだ既存研究の成果では十分に対応できない温暖化影響分野が残されているため、本研究では旅行費用法TCMや仮想市場評価法GVMなどに基づく調査・分析で補完して、温暖化被害評価を精緻化した。

(2) 温暖化被害関数の開発

本研究では、TCMにおけるレクリエーション需要関数の推定式を応用一般均衡モデルに接合することを目的として、積分可能性問題を解くことにより、レクリエーション需要関数の推定式から合成財、レクリエーション・サイトへの訪問回数、自然環境の質などを独立変数とする効用関数を誘導した。さらに、ここで開発した同需要関数を元にSCGEモデルを構築し、既存研究より得た将来の砂浜面積の予測値より、レクリエーション価値としての砂浜侵食の経済被害額を算定した。

(3) 空間的応用一般均衡モデルの開発

本研究では、サブサブテーマ(1)(2)(4)と連携して、世帯・企業・行政の行動を定式化し、静学的なSCGEモデルを構築するとともに、DSCGEモデルへの展開（準動学型SCGEモデルの構築）を図った。そして、日本における気候変動による水害被害を計測するために、本研究で構築した準動学型SCGEモデルを用いてシミュレーション分析に基づく経済評価を行った。さらに、これまでの経済評価の結果を多くの人たちに分かり易く伝えるために、結果の公表の仕方やアピール方法について検討した。

(4) 温暖化適応政策に関する代替案の設定

温暖化適応政策については、技術的対策（防災関連の社会資本整備など）と制度的対策（災害保険の適用など）の両面から種々の代替案が検討されているが、必ずしも公共事業評価の組みの中で評価されているわけではない。本研究では、サブサブテーマ(1)(2)(3)と連携して、温暖化影響として砂浜侵食・熱中症死亡・ブナ林衰退を取り上げ、これらに対する適応政策による地域別の受益を計測するとともに、適応政策の費用便益分析を試みた。

4. 結果及び考察

(1) 温暖化被害評価の精緻化

環境経済評価における利用価値と非利用価値の計測について、これまで計測された利用価値と非利用価値の整合性は保証されなかったが、本研究によりそれらを統合的に計測することが可能になった。白神山地（ブナの原生的自然林の存在およびそれに付随する公益的機能により世界自然遺産として登録されている地域）の環境質を評価した結果、非利用価値は訪問者一人あたり年間1,028円となり、これに利用価値が加わる形で全体の価値が推計された。また、統計的生命価値VSLの計測について、これまでは特定の死亡リスクの下でのVSLが推計されるだけであったが、本研究によりVSLを死亡リスクの関数で推計することが可能になった。その結果、死亡リスクを1.0/100,000から0.3/100,000に低減することに対するVSLは2億2,742万円と推計された。

(2) 温暖化被害関数の開発

現在の砂浜の総面積は277.6km²であり、砂浜が生産するレクリエーション価値は1031.9億円/年と推計された。2081-2100年における砂浜侵食による被害総額について、RCP2.6では約299.8億円/年、RCP4.5では約321.7億円/年、RCP8.5では約483.4億円/年と算出された。また、都道府県別の砂浜被害額について、RCP2.6では鳥取県約2.8億円/年(-5.0%)～沖縄県約88.2億円/年(-100.0%)、RCP4.5では鳥取県約0.3億円/年(-5.4%)～沖縄県約88.2億円/年(-100.0%)、RCP8.5では鳥取県約0.4億円/年(-7.3%)～沖縄県約88.2億円/年(-100.0%)と推計された。

(3) 空間的応用一般均衡モデルの開発

4つの気候モデル（CSRIO、GFDL、MIROC、MRI）で計算された水害シナリオによる水害の経済評価に関

するシミュレーション分析を行った。その結果、気候変動による水害被害の増大に伴い、2081-2100年における水害による被害総額は約1,348億円/年～約9,886億円/年となることが推計された。また、時間の経過に伴い、全てのシナリオにおいて、北海道、東海地方、近畿地方から瀬戸内海沿岸の地域、および九州は水害被害が増大することが示された。さらに、水害の増大により、多くの地域において農業、漁業、食料品、その他製造業、化学製品、建築・土木、電力、ガス、水道および第3次産業は生産額減少の影響を受けることが示された。一方、鉱業および電子機器は生産額が増加する地域が相対的に多いことが示された。

(4) 温暖化適応政策に関する代替案の設定

砂浜侵食に対する適応政策について、2081～2100年において仮想的な養浜事業の費用便益比が1を超える都道府県は、RCP2.6とRCP4.5では神奈川県、大阪府、広島県、佐賀県、熊本県が該当し、RCP8.5ではさらに富山県、和歌山県、岡山県が加わることが示された。熱中症死亡に対する適応政策について、救急搬送時間を33分（2008年時点の全国平均値）から23分に10分短縮させる政策を想定し、都道府県別・RCPシナリオ別に年便益を算定した結果、年便益は都道府県別に数千万円～数億円程度であることが示された。ブナ林衰退に対する適応政策について、ブナ林の植生保護区を拡大する政策を想定し、都道府県別・RCPシナリオ別にブナ林の非利用価値の年便益を算定した結果、全国合計の年便益はRCP8.5シナリオで1,433億円、RCP2.6シナリオで4,017億円と推計された。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

適応政策の効果分析及び評価は、従来から国土交通省などによる個別関連公共事業に関する費用便益分析を通じて行われてきたが、近年における財政状況の悪化や全世界規模での緩和政策の実施が難しくなった情勢においては、マクロ的かつトップダウン的なアプローチの下で緩和政策と適応政策を総合的に比較する枠組みが必要となってきた。本研究の成果は、その評価手法の構築に資するものである。具体的には、SCGEモデルを評価のプラットフォームとして位置づけ、温暖化による主な被害項目について発生ベースの被害の算定、被害関数の同定、そして被害関数とDSCGEモデルとの統合化を図り、被害の帰着ベース評価と政策シミュレーションを実行することである。

(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>

本研究では、温暖化被害評価の精緻化、温暖化被害関数の開発、空間的応用一般均衡モデルの構築を経て、温暖化による被害の一次評価（発生ベースの評価）及び二次評価（波及と帰着ベースの評価）、また温暖化適応政策による便益の一次評価及び二次評価を行った。その結果として、温暖化による地域別・部門別の被害の帰着構造、また温暖化適応政策による地域別・部門別の便益の帰着構造が明らかとなり、政策オプションの効率性・公平性の評価が可能になる。今後、政策オプションの効率性・公平性の評価結果を紹介することにより、国や自治体の政策検討に貢献することが期待される。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) 中嶋一憲：環境システム研究論文集、38、239-246（2010）
「気候安定化政策の社会的便益の計測」
- 2) K. NAKAJIMA: Economics Bulletin, 30, 3066-3076（2010）
“Measurement of Social Net Benefit of Climate Stabilization Policy”
- 3) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：都市情報学研究、16、25-32（2011）
「松林の環境経済価値の計測」
- 4) 陳玲、佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：都市情報学研究、16、33-38（2011）
「死亡リスク削減のための支払意思額に基づく統計的生命価値の計測」
- 5) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：土木学会論文集G(環境)、19、263-271（2011）
「CV調査によるSPデータに基づく白神山地のレクリエーション価値の計測」

- 6) E. OHNO, M. MORISUGI, P. KYOPHILAVONG and H. SAO: Proceedings of the 52nd European Congress of the Regional Science Association International, Refereed Session, 52 (USB Memory), 1-15 (2012)
 “Measurement of Value of Statistical Life by Evaluating Diarrhea Mortality Risk due to Water Pollution in Laos and Vietnam”
- 7) 坂本直樹、中畠一憲：土木学会論文集G(環境)、68, 6, II_217-II_228 (2012)
 「旅行費用法と統合的な応用一般均衡モデルの開発」
- 8) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史、森龍太：都市情報学研究、18, 13-19 (2013)
 「白神山地の広域的な環境経済価値の計測」
- 9) M. MORISUGI, H. SAO and E. OHNO: Proceedings of the 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Refereed Session, 53 (USB Memory), 1-19 (2013)
 “Willingness to Pay for Mortality Risk Reduction and Environmental Kuznets Curve Hypothesis”
- 10) 佐尾博志、森杉雅史、大野栄治、坂本直樹、中畠一憲、森杉壽芳：土木学会論文集G(環境)、69, 5, I_249-I_257, (2013)
 「気候変動による砂浜侵食の地域別被害計測並びに適応政策の検討」
- 11) 森龍太、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：土木学会論文集D3(土木計画学)、69, 5, I_137-I_144 (2013)
 「TCMと整合したCVMによる環境経済評価－白神山地の利用価値と非利用価値の計測－」
- 12) 佐尾博志、佐藤正幸、森杉雅史、大野栄治：都市情報学研究、19, 105-115 (2014)
 「ラオスにおける上下水道整備に関する事業評価とオプション価値の導出」
- 13) 森龍太、今井海里、大野栄治、森杉雅史：都市情報学研究、19, 131-140 (2014)
 「環境変化による白川郷観光訪問への影響分析」
- 14) 森龍太、今井海里、大野栄治、森杉雅史：土木学会論文集G(環境)、70, 5, I_31-I_41 (2014)
 「温暖化による世界自然遺産への影響分析－仮想行動法によるレクリエーション価値の変化の推計－」
- 15) 佐藤正幸、佐尾博志、森杉雅史、大野栄治：土木学会論文集G(環境)、70, 6, II_319-II_330 (2014)
 「途上国における上下水道事業の便益指標に関する考察」

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) H. MORISUGI and M. MORISUGI: Proceedings of the 52nd European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 52 (USB Memory), 1-13 (2012)
 “Definition and Measurement of Natural Disaster Damage Cost by Ramsey Growth Model”
- 2) K. NAKAJIMA and N. SAKAMOTO: Proceedings of the 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 53 (USB Memory), 1-22 (2013)
 “General Equilibrium Approach consistent with Travel Cost Method for Economic Evaluation of Beach Erosion by Climate Change”
- 3) E. OHNO, R. MORI, M. MORISUGI and H. SAO: Proceedings of the 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 53 (USB Memory), 1-12 (2013)
 “Measurement of Use and Non-use Values of Shirakami Mountain Range by using CVM consistent with TCM”
- 4) H. MORISUGI and N. SAKAMOTO: Proceedings of the 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 53 (USB Memory), 1-26 (2013)
 “Mortality Risk Reduction Benefit Measurement by Overlapping Generations Model”
- 5) E. OHNO, R. MORI, M. MORISUGI and H. SAO: Proceedings of the 54th European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 54 (USB Memory), 1-20 (2014)
 “Economic Evaluation of Small Hydroelectric Generation Project which aims to both Global Warming Adaptation and Regional Economic Revitalization”
- 6) N. SAKAMOTO and K. NAKAJIMA: Proceedings of the 54th European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 54 (USB Memory), 1-15 (2014)

“Measurement of Use Value and Non-Use Value of Environmental Quality Consistent with General Equilibrium Approach”

- 7) K. NAKAJIMA, H. MORISUGI, M. MORISUGI and N. SAKAMOTO: Proceedings of the 54th European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 54 (USB Memory), 1-27 (2014)

“Measurement of Flood Damage due to Climate Change by Dynamic Spatial Computable General Equilibrium Model”

(2) 主な口頭発表 (学会等)

- 1) 陳玲、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：第39回環境システム研究論文発表会 (2011)
「CVMによる実践VSLと理論VSLの計測」
- 2) 佐尾博志、森杉雅史、大野栄治：第44回土木計画学研究発表会 (2011)
「白神山地の旅行費用の把握およびTCM法によるCVの導出」
- 3) 中嶋一憲、坂本直樹：環境経済・政策学会2012年大会 (2012)
「気候変動による砂浜浸食の一般均衡論的影響の計測」
- 4) 中嶋一憲、坂本直樹：応用地域学会2012年度第26回研究発表会 (2012)
「旅行費用法と統合的な応用一般均衡モデルの開発：二酸化炭素排出量の導入」
- 5) 森龍太、今井海里、大野栄治、森杉雅史：第41回環境システム研究論文発表会 (2013)
「温暖化および世界遺産登録抹消による観光訪問への影響分析」
- 6) 中嶋一憲：岐阜聖徳学園大学経済情報学会セミナー (2013)
「動学的多地域応用一般均衡モデルを用いた気候変動に伴う水害被害の計測」
- 7) H. MORISUGI and N. SAKAMOTO: 2013年度日本応用経済学会秋季大会 (2013)
“Mortality Risk Reduction Benefit Measurement by Overlapping Generations Model”
- 8) K. NAKAJIMA, H. MORISUGI, M. MORISUGI and N. SAKAMOTO: The 4th International Symposium of Environmental Policy and Regional Sustainable Development, Guangdong, China (2014)
“Measurement of Flood Damage due to Climate Change by Dynamic Multi-Regional Computable General Equilibrium Model”
- 9) 中嶋一憲、森杉壽芳、森杉雅史、坂本直樹：第49回土木計画学研究発表会 (2014)
「動学的多地域応用一般均衡モデルによる気候変動に伴う水害被害の計測」
- 10) K. NAKAJIMA, H. SAO, M. MORISUGI, E. OHNO, N. SAKAMOTO, H. MORISUGI and R. MORI: Toyooka Conference on Environmental Economy, Hyogo, Japan (2015)
“Economic Assessment of Adaptation Policy for Coastal Erosion in Japan”
- 11) M. MORISUGI, E. OHNO, K. NAKAJIMA, H. MORISUGI and N. SAKAMOTO: Japan - Korea International Workshop for Climate Impact and Economic Assessment Consider Uncertainty, Seoul, Republic of Korea (2015)
“Two Economic Evaluation Methods of Flood Damage Induced by Global Warming”

7. 研究者略歴

課題代表者：大野 栄治

岐阜大学大学院工学研究科修士課程修了、博士(工学)、現在、名城大学都市情報学部教授

研究分担者：

- 1) 森杉 雅史
名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)、現在、名城大学都市情報学部教授
- 2) 坂本 直樹 (平成22年4月～平成26年9月)
東北大学大学院経済学研究科博士後期課程修了、博士(経済学)、現在、山形大学人文学部准教授
- 3) 三木 賢治 (平成26年10月～平成27年3月)
早稲田大学第一政治経済学部卒業、現在、東北文化学園大学総合政策学部教授
- 4) 中嶋 一憲
東北大学大学院環境科学研究科博士後期課程修了、博士(経済学)、現在、兵庫県立大学人間環境学部准教授
- 5) 森杉 壽芳
ペンシルバニア大学大学院文理研究科修士課程修了、工学博士、現在、日本総合研究所顧問

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(9) 温暖化適応政策による地域別・部門別の受益と負担の構造に関する研究

① 温暖化被害評価の精緻化

名城大学都市情報学部

大野 栄治・森杉 雅史

平成22～26年度累計予算額：22,875千円

(うち、平成26年度予算額：4,159千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

環境経済評価の代表的な手法として、旅行費用法(TCM: Travel Cost Method)や仮想市場評価法(CVM: Contingent Valuation Method)がある。TCMは環境財の直接的利用価値の計測に限定されるが、CVMは加えて非利用価値の計測も可能である。実務面では、TCMで利用価値、CVMで非利用価値を分けて計測する方法がしばしば選択されるが、両者が独立にモデリングされ理論的な整合性を有しておらず、計測された利用価値と非利用価値の違いは統計的有意性が保証されていない。本研究では、環境財の利用価値と非利用価値を統合的に計測する方法を提案するため、TCMと理論的に整合したCVMの評価モデルを構築した。そして、本モデルを用いて白神山地の利用価値と非利用価値を計測し、モデルの実用性を確認した。その結果、白神山地の全体の価値は利用価値と非利用価値の合計で与えられるため、従来のCVMモデルで分析した場合の不整合(利用価値の方が全体の価値よりも大きくなるという現象)は発生しないことが確認できた。

また、環境変化によって脅かされる生命の価値は、しばしば「生きている個人が死亡リスクを回避するために支払ってもよいと考える金額」で評価される。このような支払意思額(WTP: Willingness to Pay)に基づく評価値が統計的生命価値(VSL: Value of Statistical Life)である。しかし、このVSLは死亡リスクの大きさに左右されるはずであるが、この点に関する既存研究の知見は見当たらない。本研究では、死亡リスクの大きさを説明変数とするVSL関数を構築した。そして、熱中症死亡リスクの低減に対するWTPの推計を通じてVSLを計測した。その結果、近い将来の熱中症死亡リスク(1.0/100,000)を近年の熱中症死亡リスク(0.3/100,000)に低減することに対するWTPは1,592円/年/人となり、VSLは2億2,742万円となった。

[キーワード]

ブナ林、熱中症、旅行費用法TCM、仮想市場評価法CVM、統計的生命価値VSL

1. はじめに

温暖化被害評価については、ボトムアップ型と類される多様な分野における既存研究の知見、および大野(本研究代表者)らによる自然資源価値や統計的生命価値の計測によって、有用な基礎資料が整備されつつある。しかし、まだ既存研究の成果では十分に対応できない温暖化影響分野が残されているため、本研究ではTCMやCVMなどに基づく調査・分析で補完して、温暖化被害評価を精緻化する。

2. 研究開発目的

環境経済評価の代表的な手法として、TCMやCVMなどがある。TCMは環境財の直接的利用価値の計測に限定されるが、CVMは加えて非利用価値の計測も可能である。実務面では、TCMで利用価値、CVMで非利用価値を分けて計測する方法がしばしば選択されるが、両者が独立にモデリングされ理論的な整合性を有しておらず、計測された利用価値と非利用価値の違いは統計的有意性が保障されていない。本研究では、環境財の利用価値と非利用価値を整合的に計測する方法を提案するため、TCMと理論的に整合したCVMの評価モデルを構築する。

また、環境変化によって脅かされる生命の価値は、しばしば「生きている個人が死亡リスクを回避するために支払ってもよいと考える金額」で評価される。このようなWTPに基づく評価値がVSLである。しかし、このVSLは死亡リスクの大きさに左右されるはずであるが、この点に関する既存研究の知見は見当たらない。本研究では、死亡リスクの大きさを説明変数とするVSL関数を構築する。

3. 研究開発方法

(1) ブナ林衰退の直接被害評価モデル¹⁾

1) 効用関数の特定化

TCMと理論的に整合したCVMに基づく経済評価モデルを構築するにあたり、白神山地（ブナの原生的自然林の存在およびそれに付随する公益的機能により世界自然遺産として登録されている地域）の環境質の評価を取り上げることとする。

まず、個人の効用 U は、合成財需要量 m 、余暇需要量 n 、居住地から白神山地への観光訪問需要量 x による関数で表されるものと仮定する。ここで、労働供給量 l は効用関数に含まないこととする。そして、個人は所得制約および時間制約のもとで m 、 n 、 x をコントロールして U を最大とするものと仮定し、その行動を次のように定式化する。

$$\max_{m,n,x} U = \alpha \cdot m + \beta \cdot n + \gamma \cdot x (\ln[x] - f[q] - 1) + \delta \cdot q \quad (1-1)$$

$$s.t. \quad c_0 \cdot m + c \cdot x = w \cdot l \quad (1-2) \quad t_0 \cdot n + t \cdot x + l = T \quad (1-3) \quad f[q] = \gamma_1 + \gamma_2 \cdot \ln[q] \quad (1-4)$$

ただし、 m ：合成財需要量、 n ：余暇需要量、 x ：白神山地への観光訪問需要量、 l ：労働供給量、 q ：白神山地の環境水準、 c_0 ：合成財1単位の価格（ $c_0 = 1$ ）、 t_0 ：余暇1単位の時間（ $t_0 = 1$ ）、 c ：白神山地への観光訪問1回あたりの交通費用、 t ：白神山地への観光訪問1回あたりの交通時間、 w ：賃金率、 T ：総時間、 α 、 β 、 γ 、 γ_1 、 γ_2 、 δ ：未知のパラメータ。

式(1-1)の効用関数の形は、観光訪問需要関数が後述するような指数関数で導出されることを想定したものである²⁾。また、式(1-2)および式(1-3)は、それぞれ所得制約式および時間制約式であるが、両式から労働供給量を消去すると、次式のように制約式を一本化することができる。

$$s.t. \quad m + w \cdot n + (c + w \cdot t)x = I \quad (1-5)$$

ただし、 $I = w \cdot T$

次に、式(1-5)の制約下における式(1)の効用最大化行動を解くと、以下の需要関数を得る。

$$x = \exp[f[q] + \gamma_3(c + w \cdot t)] \quad (1-6)$$

$$m + w \cdot n = I - (c + w \cdot t) \exp[f[q] + \gamma_3(c + w \cdot t)] \quad (1-7)$$

ただし、 $\gamma_3 = \alpha/\gamma$

そして、式(1-6)および式(1-7)を式(1-1)に代入すると、最大効用レベルを示す間接効用関数 V が次式のように導出される。

$$V = \alpha \cdot I - \frac{\alpha}{\gamma_3} \exp[f[q] + \gamma_3(c + w \cdot t)] + \delta \cdot q \quad (1-8)$$

式(1-8)の右辺第2項は、以下のように式(1-6)で与えられる観光訪問需要の消費者余剰 CS を意味する。

$$CS = \int_{c+w \cdot t}^{\infty} \exp[f[q] + \gamma_3 \cdot p] dp = -\frac{1}{\gamma_3} \exp[f[q] + \gamma_3(c + w \cdot t)] \quad (1-9)$$

したがって、式(1-8)は次式のように書き換えられる。

$$V = \alpha(I + CS) + \delta \cdot q \quad (1-10)$$

式(1-7)は、効用水準が所得 I 、消費者余剰 CS 、環境水準 q の関数で与えられることを意味する。

2) 環境質の価値の定義

等価余剰の概念を用いて環境質の価値を定義する。式(1-10)の間接効用関数より、環境質の変化に対する等価余剰 ES は次式のように導出される。

$$ES = (I^1 - I^0) + (CS^1 - CS^0) + \frac{\delta}{\alpha} (q^1 - q^0) \quad (1-11)$$

ただし、右上添字 0：環境保全なしの場合、右上添字 1：環境保全ありの場合。

式(1-11)において、第1項は所得の変化、第2項は環境質の利用価値（レクリエーション価値）の変化、第3項は環境質の非利用価値の変化と解釈することができる。ここで、環境保全なしの場合の環境水準をゼロ、環境保全ありの場合の環境水準を現状水準と仮定すると、式(1-11)の ES は現状の環境質の価値を意味する。

(2) 熱中症死亡の直接被害評価モデル³⁾

1) 効用関数の特定化

熱中症死亡リスクの変化を経済評価するために、個人の効用関数を式(1-12)で定義する。式(1-12)は、熱中症死亡リスクを低減するために新薬を購入する場合の効用と、購入しない場合の効用の差を個人の「新薬の購入代金」の関数で表現しようとしたものである。

$$\Delta V = a + c \cdot \ln(p) \quad (1-12)$$

ただし、 ΔV ：新薬を購入する場合の効用 V_{yes} と、購入しない場合の効用 V_{no} の差 ($V_{yes} - V_{no}$)、 p ：新薬の購入代金 [円/年]、 a, c ：未知のパラメータ。

式(1-12)のパラメータは、熱中症死亡リスクを低減するための新薬を「購入する」または「購入しない」の選択行動より推定される。この選択行動をランダム効用理論の枠組みで捉えると、各選択肢の理論的選択確率が与えられる。このとき与えられる種々の確率モデルのうち、もっとも操作性の高いロジットモデルを以下に示す。

$$P_{yes} = \frac{\exp(w \cdot V_{yes})}{\exp(w \cdot V_{yes}) + \exp(w \cdot V_{no})} = \frac{1}{1 + \exp(-w \cdot \Delta V)} \quad (1-13)$$

$$P_{no} = 1 - P_{yes} \quad (1-14)$$

ただし、 P_{yes} 、 P_{no} ：新薬を「購入する」または「購入しない」の理論的選択確率、 w ：ランダム効用の分散パラメータ（一般的に $w=1$ と仮定する）。

ここで、熱中症死亡リスク減少の経済価値は、リスク減少量に対するWTPで評価されるので、本研究では $P_{yes} = 0.5$ となる新薬の購入代金（WTPの中央値）で評価する。すなわち、WTPの中央値は次式で与えられる。

$$WTP_{median} = \exp\left(-\frac{a}{c}\right) \quad (1-15)$$

ただし、 WTP_{median} ：WTPの中央値。

2) 統計的生命価値の定義

「生命の価値」の評価は、死亡した個人が死亡しなければ得たであろう賃金の評価から始まり、生きている個人が死亡リスクを回避するために支払ってもよいと考える金額の評価へと拡張されてきた。このようなWTPに基づく評価値がVSLであり、次式で定義される。

$$VSL = \frac{WTP(\Delta Risk)}{\Delta Risk} \quad (1-16)$$

ただし、 VSL ：統計的生命価値、 $WTP(\Delta Risk)$ ：リスクの減少量に対する支払意思額、 $\Delta Risk$ ：リスク減少量。

4. 結果及び考察

(1) ブナ林衰退の直接被害評価モデルの推定結果¹⁾

本研究では、環境財の利用価値と非利用価値を統合的に計測するため、TCMと理論的に整合したCVMの評価モデルを構築した。そして、このモデルを用いて白神山地の利用価値と非利用価値を計測した結果を図1(9)①-1および図1(9)①-2に示す。

まず、従来型のモデルと本研究のモデルによる評価値を比較してみる。従来型のモデルでは、TCMとCVMを独立にモデリングしているので、CVMによる評価値は利用価値と非利用価値を合計したものを意味する。このとき、CVMによる評価値は6,679円/人/年と推計された。一方、TCMによる評価値は、本研究のモデルと同様に、図1(9)①-1に示される利用価値となった。これより、一般化交通費用がおよそ25,000円以内の場合、不合理な状況（利用価値がその合計値より高いという状況）が発生していることがわかる。しかし、本研究のモデルでは、非利用価値は訪問者一人あたり年間1,028円となり、これに利用価値が加わる形で全体の価値が推計された。したがって、TCMとCVMが理論的な整合性を保持した状態で適用されていることが確認できた。

また、図1(9)①-2は、白神山地の環境経済価値（利用価値と非利用価値）を都道府県別に整理したものである。これより、白神山地の地元（青森県、秋田県）と関東地域では、評価値に5,000円程度の差が生じることがわかる。

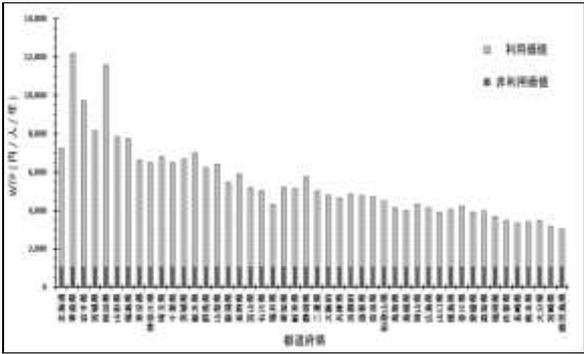
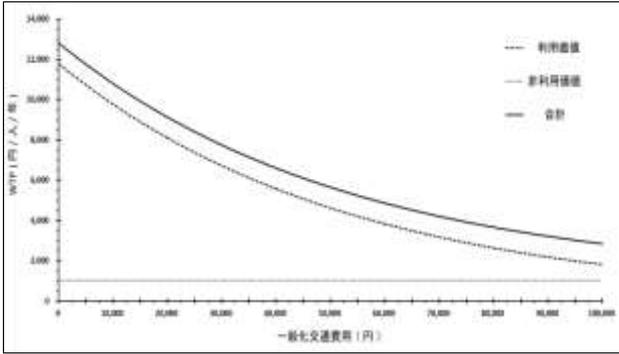


図 1(9)①-1 旅行費用帯別利用価値と非利用価値 図 1(9)①-2 都道府県別利用価値と非利用価値

(2) 熱中症死亡の直接被害評価モデルの推定結果³⁾

式(1-15)および式(1-16)より、WTPおよびVSLを推計した。その結果、新薬の購入（死亡リスクの低減）に対するWTPは993～2,014円/年/人、VSLは1億7,530万～6億9,453万円と計測された。これらの計測結果と死亡リスクの減少分との関係を明らかにするために、図1(9)①-3および図1(9)①-4を作成した。なお、図中には計測値の上に回帰曲線が示されている。図1(9)①-3より、WTPは死亡リスクの減少分に対して統計的に逓減増加関数で説明されることが読み取れる。ここで、各ケースのWTP計測値を個々に比較すると外部スコープテスト（ケース間の死亡リスク減少分の大小関係とWTPの大小関係が整合することを確かめるテスト）に厳密に合格するとは言えないが、統計的にはおおよそ合格すると言えよう。また、図1(9)①-4より、VSLは死亡リスクの減少分に対して統計的に逓減減少関数で説明されることが読み取れる。

近年の日本の熱中症死亡率が0.3/100,000であることから、死亡リスクを1.0/100,000から0.3/100,000に低減することに対するWTPは回帰式より1,592円/年/人となり、VSLは式(1-16)より2億2,742万円となる。この数値は国土交通省の公共事業評価に採用されているVSL推計値（2億2,607万円）⁴⁾とほぼ同額である。しかし、本研究のVSL推計値は死亡リスク減少分の関数で与えられるものであるため、特定の死亡リスク減少分に対する推計結果とは一律に比較できない。

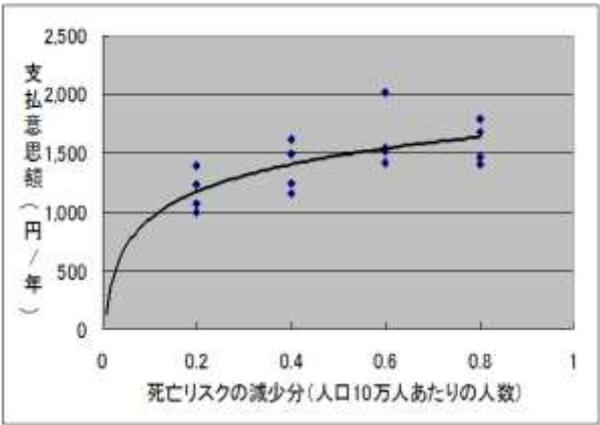


図1(9)①-3 WTPの推計結果

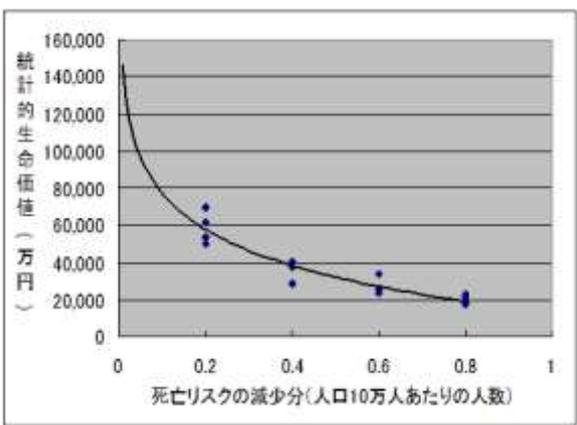


図1(9)①-4 VSLの推計結果

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

環境経済評価における利用価値と非利用価値の計測について、これまで計測された利用価値と非利用価値の整合性は保証されなかったが、本研究によりそれらを統合的に計測することが可能になった。また、VSLの計測について、これまでは特定の死亡リスクの下でのVSLが推計されるだけであったが、本研究によりVSLを死亡リスクの関数で推計することが可能になった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

公共事業評価における自然環境・社会環境への影響の経済評価について、本研究で開発された「利用価値と非利用価値の統合的に計測する手法」と「統計的生命価値を死亡リスクの大きさの関数で推計する手法」の活用が見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：都市情報学研究、16, 25-32 (2011)
「松林の環境経済価値の計測」
- 2) 陳玲、佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：都市情報学研究、16, 33-38 (2011)
「死亡リスク削減のための支払意思額に基づく統計的生命価値の計測」
- 3) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：土木学会論文集G(環境)、19, 263-271 (2011)
「CV調査によるSPデータに基づく白神山地のレクリエーション価値の計測」
- 4) E. OHNO, M. MORISUGI, P. KYOPHILAVONG and H. SAO: Proceedings of the 52nd European Congress of the Regional Science Association International, Refereed Session, 52 (USB Memory), 1-15 (2012)
“Measurement of Value of Statistical Life by Evaluating Diarrhea Mortality Risk due to Water Pollution in Laos and Vietnam”
- 5) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史、森龍太：都市情報学研究、18, 13-19 (2013)
「白神山地の広域的な環境経済価値の計測」
- 6) M. MORISUGI, H. SAO and E. OHNO: Proceedings of the 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Refereed Session, 53 (USB Memory), 1-19 (2013)
“Willingness to Pay for Mortality Risk Reduction and Environmental Kuznets Curve Hypothesis”
- 7) 森龍太、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：土木学会論文集D3(土木計画学)、69, 5, I_137-I_144 (2013)
「TCMと整合したCVMによる環境経済評価－白神山地の利用価値と非利用価値の計測－」

- 8) 佐尾博志、佐藤正幸、森杉雅史、大野栄治：都市情報学研究、19, 105-115 (2014)
「ラオスにおける上下水道整備に関する事業評価とオプション価値の導出」
- 9) 森龍太、今井海里、大野栄治、森杉雅史：都市情報学研究、19, 131-140 (2014)
「環境変化による白川郷観光訪問への影響分析」
- 10) 森龍太、今井海里、大野栄治、森杉雅史：土木学会論文集G(環境)、70, 5, I_31-I_41 (2014)
「温暖化による世界自然遺産への影響分析－仮想行動法によるレクリエーション価値の変化の推計－」
- 11) 佐藤正幸、佐尾博志、森杉雅史、大野栄治：土木学会論文集G(環境)、70, 6, II_319- II_330 (2014)
「途上国における上下水道事業の便益指標に関する考察」

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) E. OHNO, R. MORI, M. MORISUGI and H. SAO: Proceedings of the 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 53 (USB Memory), 1-12 (2013)
“Measurement of Use and Non-use Values of Shirakami Mountain Range by using CVM consistent with TCM”
- 2) E. OHNO, R. MORI, M. MORISUGI and H. SAO: Proceedings of the 54th European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 54 (USB Memory), 1-20 (2014)
“Economic Evaluation of Small Hydroelectric Generation Project which aims to both Global Warming Adaptation and Regional Economic Revitalization”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：環境システム研究論文発表会講演集、38, 265-270 (2010)
「CVMによる松林の経済価値の計測」
- 2) 陳玲、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：土木計画学研究・講演集、42(CD-ROM), 1-6 (2010)
「CVMによる統計的生命価値の計測」
- 3) 陳玲、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：環境システム研究論文発表会講演集、39, 87-92 (2011)
「CVMによる実践VSLと理論VSLの計測」
- 4) 佐尾博志、森杉雅史、大野栄治：土木計画学研究・講演集、44(CD-ROM), 1-6(2011)
「白神山地の旅行費用の把握およびTCM法によるCVの導出」
- 5) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史、森龍太：日本環境共生学会第15回学術大会発表論文集、15, 354-362 (2012)
「白神山地の広域的な環境経済価値の評価」
- 6) 森龍太、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：土木計画学研究・講演集、46 (CD-ROM), 1-6 (2012)
「TCMと整合したCVMによる環境経済評価－白神山地の利用価値と非利用価値の計測－」
- 7) M. MORISUGI, M. SATO, H. SAO and E. OHNO: 土木計画学研究・講演集、47 (CD-ROM), 1-10 (2013)
“Aging, Economic Development, and Preference for Life-Saving Social Overhead Capital”
- 8) 佐藤正幸、佐尾博志、森杉雅史、大野栄治：環境システム研究論文発表会講演集、41, 7-17

(2013)

「途上国における生活関連社会資本の事業評価とオプション価値」

- 9) 森龍太、今井海里、大野栄治、森杉雅史：環境システム研究論文発表会講演集、41, 19-26 (2013)
「温暖化および世界遺産登録抹消による観光訪問への影響分析」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：第38回環境システム研究論文発表会 (2010)
「CVMによる松林の経済価値の計測」
- 2) 陳玲、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：第42回土木計画学研究発表会 (2010)
「CVMによる統計的生命価値の計測」
- 3) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：第19回地球環境シンポジウム (2011)
「CV調査によるSPデータに基づく白神山地のレクリエーション価値の計測」
- 4) 陳玲、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：第39回環境システム研究論文発表会 (2011)
「CVMによる実践VSLと理論VSLの計測」
- 5) 佐尾博志、森杉雅史、大野栄治：第44回土木計画学研究発表会 (2011)
「白神山地の旅行費用の把握およびTCM法によるCVの導出」
- 6) E. OHNO, M. MORISUGI, P. KYOPHILAVONG and H. SAO: 名城大学・韓京大学共同セミナー Seeking Regional Development in East Asia, Anseong, Republic of Korea (2012)
“Economic Evaluation of Diarrhea Mortality Risk due to Water Pollution –Measurement of VSL by CVM in Laos and Vietnam –”
- 7) E. OHNO, M. MORISUGI, P. KYOPHILAVONG and H. SAO: The 52nd European Congress of the Regional Science Association International, Bratislava, Slovakia (2012)
“Measurement of Value of Statistical Life by Evaluating Diarrhea Mortality Risk due to Water Pollution in Laos and Vietnam”
- 8) 佐尾博志、大野栄治、森杉雅史、森龍太：日本環境共生学会第15回学術大会 (2012)
「白神山地の広域的な環境経済価値の評価」
- 9) 森龍太、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：第46回土木計画学研究発表会 (2012)
「TCMと整合したCVMによる環境経済評価－白神山地の利用価値と非利用価値の計測－」
- 10) M. MORISUGI, M. SATO, H. SAO and E. OHNO：第47回土木計画学研究発表会 (2013)
“Aging, Economic Development, and Preference for Life-Saving Social Overhead Capital”
- 11) M. MORISUGI, H. SAO and E. OHNO: The 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Palermo, Italy (2013)
“Willingness to Pay for Mortality Risk Reduction and Environmental Kuznets Curve Hypothesis”
- 12) E. OHNO, R. MORI, M. MORISUGI and H. SAO: The 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Palermo, Italy (2013)
“Measurement of Use and Non-use Values of Shirakami Mountain Range by using CVM consistent with TCM”
- 13) 森龍太、今井海里、大野栄治、森杉雅史：第41回環境システム研究論文発表会 (2013)
「温暖化および世界遺産登録抹消による観光訪問への影響分析」

- 14) 佐藤正幸、佐尾博志、森杉雅史、大野栄治：第41回環境システム研究論文発表会（2013）
「途上国における生活関連社会資本の事業評価とオプション価値」
- 15) E. OHNO, R. MORI, M. MORISUGI and H. SAO: The 54th European Congress of the Regional Science Association International, St. Petersburg, Russia (2014)
“Economic Evaluation of Small Hydroelectric Generation Project which aims to both Global Warming Adaptation and Regional Economic Revitalization”
- 16) 森龍太、今井海里、大野栄治、森杉雅史：第22回地球環境シンポジウム（2014）
「温暖化による世界自然遺産への影響分析－仮想行動法によるレクリエーション価値の変化の推計－」
- 17) 佐藤正幸、佐尾博志、森杉雅史、大野栄治：第42回環境システム研究論文発表会（2014）
「途上国における上下水道事業の便益指標に関する考察」

（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) オープンカレッジ in 飛騨 2013
日程：平成25年9月7日、平成25年9月14日、平成25年9月21日～22日
対象者：中学生以上（定員30名）
- 2) オープンカレッジ in 飛騨 2014
日程：平成26年9月20日～21日、平成26年9月27日～28日
対象者：中学生以上（定員30名）

（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) 森龍太、大野栄治、森杉雅史、佐尾博志：土木学会論文集G(土木計画学)、69, 5, I_137-I_144 (2013)
「TCMと整合したCVMによる環境経済評価－白神山地の利用価値と非利用価値の計測－」
- 2) 坂本直樹、中畠一憲：土木学会論文集G(環境)、68, 6, II_217-II_228 (2012)
「旅行費用法と整合的な応用一般均衡モデルの開発」
- 3) 陳玲、佐尾博志、大野栄治、森杉雅史：都市情報学研究、16, 33-38 (2011)
「死亡リスク削減のための支払意思額に基づく統計的生命価値の計測」
- 4) 内閣府：交通事故の被害・損失の経済分析に関する調査研究報告書（2007）

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(9) 温暖化適応政策による地域別・部門別の受益と負担の構造に関する研究

② 温暖化被害関数の開発

学校法人東北文化学園大学総合政策学部

坂本 直樹（平成22年4月～平成26年9月）

三木 賢治（平成26年10月～平成27年3月）

平成22～26年度累計予算額：9,226千円

（うち、平成26年度予算額：1,558千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

地球温暖化の影響は経済学的には経済活動全般の満足度を表す効用を低下させる。この効用の低下を金銭的に評価する方法として、旅行費用法（TCM: Travel Cost Method）や仮想市場評価法（CVM: Contingent Valuation Method）を適用するのが一般的である。しかしながら、この手法はあくまでも個別の事例を対象とした部分均衡論的アプローチであり、この方法だけで地球温暖化による経済全体への波及効果を計測することは困難である。そこで、本研究では、TCMにおけるレクリエーション需要関数の推定式を応用一般均衡（CGE: Computable General Equilibrium）モデルに接合することを目的として、積分可能性問題を解くことにより、レクリエーション需要関数の推定式から合成財とレクリエーション・サイトへの訪問回数、さらには、自然環境等の質を独立変数とする効用関数を誘導することを試みる。さらに開発した同需要関数を元に空間的応用一般均衡（SCGE: Spatial Computable General Equilibrium）モデルを構築し、既存研究より得た将来の砂浜面積の予測値より、レクリエーション価値としての砂浜侵食の経済被害額を算定する。

[キーワード]

砂浜、レクリエーション需要関数、旅行費用法TCM、応用一般均衡CGE、空間的応用一般均衡SCGE

1. はじめに

地球温暖化は、砂浜、干潟、ブナ、松林等の消失のように、自然環境や生態系に対する影響を及ぼすとともに、風水害による死傷、熱中症のように、人体に対する影響も及ぼす。この影響は経済主体（消費者や企業）の効用や利潤の低下となって現れ、さらには経済主体の行動の変化を通じて経済全体に広がる。このような地球温暖化の経済的影響を定量的に把握する方法の1つとして、CGEモデルを適用した分析が考えられる。CGEモデルでは、経済主体の目的関数が明示的に定式化されることから、地球温暖化が経済主体に与える直接的影響を把握することが可能である。さらに、経済で取引されるあらゆる財（農業部門、工業部門、エネルギー部門等が生み出す多様な財）の市場の均衡が同時に扱われることから、地球温暖化が経済主体の行動の変化を介して経済全体に与える間接的影響（例えば、地球温暖化によって消費財需要量が増加することによる国内総生産（GDP: Gross Domestic Product）の変化）を把握することも可能である。特に後者がCGE

モデルの強みであるといえる。しかしながら、CGEモデルを用いて、地球温暖化による自然環境や生態系、人体などに及ぼす影響を定量的に把握するためには、その影響をモデルで表現した上で、そのモデルのパラメータを特定しなければならないという問題がともなう。

自然環境・生態系の経済的価値や統計的生命価値（VSL: Value of Statistical Life）を計測する場合、TCMやCVMを適用する手法が一般的であるが、この手法はあくまでも個別の事例、例えば、砂浜や干潟といったある特定の自然環境の価値を計測することを目的とした部分均衡論的アプローチである。したがって、この手法に基づく地球温暖化の経済的影響の評価を即座にCGEモデルに適用することができるわけではない。これは、当然のことながら、温暖化適応政策の評価についても同様である。

2. 研究開発目的

TCMやCVMを用いて自然環境・生態系の経済的価値やVSLを計測する場合、TCMではレクリエーション・サイトへの訪問回数に関する需要関数（以下では、レクリエーション需要関数）が推定され、CVMでは経済活動全般の満足度を表す効用を財の価格や所得水準の関数として表した間接効用関数が推定される。経済学における消費者行動理論によれば、効用最大化問題における最適解（効用の最大値を与える財の量）と最適値（効用の最大値）がそれぞれ需要関数と間接効用関数として定義される。したがって、この関係性を用いれば、推定された需要関数と間接効用関数から、それらと整合的な効用関数を誘導することが理論的に可能である。需要関数が既知である場合は、偏微分方程式を解くことにより、需要関数と整合的な効用関数を誘導することができる。この問題は積分可能性問題として知られる。

本研究では、TCMにおけるレクリエーション需要関数の推定式をCGEモデルに接合することを目的として、積分可能性問題を解くことにより、レクリエーション需要関数の推定式から合成財（農業部門、工業部門、エネルギー部門が生み出す多様な財を1つの財に合成したもの）とレクリエーション・サイトへの訪問回数、さらには自然環境等の質を独立変数とする効用関数を誘導することを試みる。さらに開発した同需要関数を元にSCGEモデルを構築し、既存研究より得た将来の砂浜面積の予測値より、レクリエーション価値としての砂浜侵食の経済被害額を算定する。

3. 研究開発方法

本研究では、砂浜を保有する生産部門（ここでは各都道府県）が砂浜サービス（ここでは海水浴）を生産し、家計部門がそのサービスを消費するというモデルを仮定する。SCGEモデルの経済主体は、家計部門と3つの生産部門（合成財、ガソリン財、有料道路財を生産）で構成されている。また、財・サービスの生産時に投入する本源的生産要素は労働と資本とする。なお、各生産構造を図1(9)②-1に家計部門の構造、図1(9)②-2に生産部門の構造を示す。

まず、家計部門の行動を説明する。家計部門は初期保有する労働及び資本を各生産部門に提供する。その対価として得た所得を予算制約として、砂浜サービス、つまり砂浜への訪問需要回数（ここでは部分効用）と合成家計消費財によって効用を得る。砂浜に関するレクリエーション需要関数は旅行費用（合成財価格、ガソリン財価格、有料道路財価格、時間価値）及び砂浜面積によって決まる。また、家計部門による砂浜の利用を目的とするガソリン財及び有料道路財の消費量はある砂浜に関するレクリエーション需要関数に依存する。以上より、ここで想定している家

計消費は砂浜の利用を目的とする家計消費と砂浜の利用を目的としない家計消費の2つの仮想的な最終需要部門から成るものとする。

次に、生産部門の行動を説明する。生産部門は多段階入れ子型CES（Constant Elasticity of Substitution）関数を想定し、各要素間の代替性を考慮する。各生産部門は合成財及びガソリン財、有料道路財、そして、家計部門が保有する合成生産要素（労働及び資本）を中間投入として生産を行う。なお、生産された各生産財は生産部門の中間投入または家計部門で消費される。

最後に、市場均衡条件を説明する。市場均衡条件は財市場、労働市場及び資本市場において、需要量と供給量が一致する。

このように、本研究では家計部門（最終需要部門）が2つ、生産部門が3つ、生産要素が2つを想定した。なお、家計部門及び生産部門の行動の詳細、各種パラメータの設定、他の市場均衡条件については、中嶋・坂本(2012)¹⁾と同様である。

CGEモデルを用いて数値計算を行う際、基準均衡データとなる社会会計表（SAM: Social Accounting Matrix）を作成する必要がある。そこで、総務省(2009)の2005年産業連関表を利用してSAMを作成した。ここで、この産業連関表の統合大分類(34部門)では、ガソリン財は「石油・石炭製品」部門、有料道路財は「運輸」部門に含まれている。しかし、本研究で着目している砂浜の利用訪問の際に発生する石油・石炭製品財と運輸財の生産・消費区分では整備されていない。そこで、後述するTCMのレクリエーション需要関数の推計時に用いたデータを利用し、それを「砂浜利用目的の家計消費」として新たに設けることとした。

その結果、旅行費用のガソリン代及び有料道路料金はそれぞれ1国全体で10,189百万円/年、2,376百万円/年と算出された。これらの数値は砂浜の利用目的の石油・石炭製品財と運輸財に関する家計部門の消費とし、全体の家計消費から上記の数値を差し引いた残りの家計消費財を「砂浜利用以外の家計消費」とした。

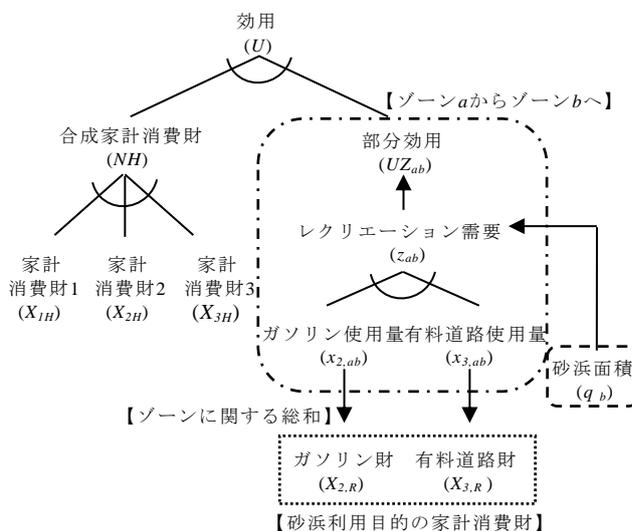


図1(9)②-1 家計部門の構造

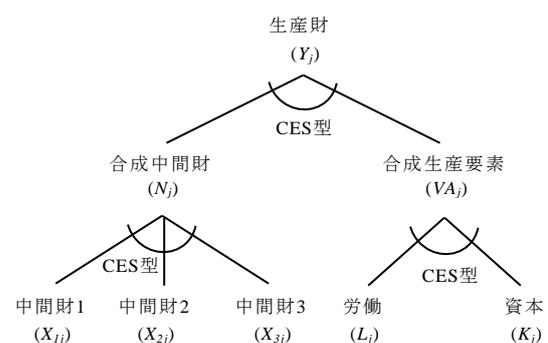


図1(9)②-2 生産部門の構造

本研究では、ゾーン別TCMによって推定した需要関数から効用関数を誘導し、それをSCGEモデルに適用する。

まず、TCMによるレクリエーション需要関数について説明する。分析対象の範囲を n ゾーンに分

割し、各ゾーンにはレクリエーション・サイトである砂浜が存在するものとする。今、ゾーン*a*からゾーン*b*へのレクリエーション需要関数を以下のように定式化する。関数形としては、訪問率の推定値が負となることを排除し、また、各ゾーンの人口の差から生じる分散不均一性に対処するため、片側対数型需要関数を採用している。なお、各パラメータについては、回帰分析を用いて推定する。

$$\ln\left(\frac{z_{ab}}{n_a}\right) = \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab} + \hat{\gamma}_2 \cdot q_b + \hat{\varepsilon}_{ab} \quad \forall a, b \quad (2-1)$$

$$p_{ab} = \frac{p_2^Y \cdot g_{ab} + p_3^Y \cdot c_{ab} + w t_{ab}}{p^{NH}} \quad \forall a, b \quad (2-2)$$

ただし、 z_{ab} ：ゾーン*a*からゾーン*b*への訪問回数、 n_a ：ゾーン*a*の人口、 p_{ab} ：ゾーン*a*からゾーン*b*を往復するために必要な訪問1回当たりの旅行費用、 q_b ：ゾーン*b*の砂浜の面積、 ε_{ab} ：誤差、 p_2^Y ：石油・石炭製品財（ガソリン財）の価格、 g_{ab} ：ゾーン*a*からゾーン*b*を往復するために必要な訪問1回当たりの運輸財（有料道路財）の利用量、 p_3^Y ：運輸財（有料道路財）の価格、 c_{ab} ：ゾーン*a*からゾーン*b*を往復するために必要な訪問1回当たりの運輸財（有料道路財）の利用量、 w ：時間価値、 t_{ab} ：ゾーン*a*からゾーン*b*を往復するために必要な訪問1回当たりの所要時間、 p^{NH} ：合成消費財の価格、 $\hat{\gamma}_0$ 、 $\hat{\gamma}_1$ 、 $\hat{\gamma}_2$ ：未知のパラメータ。

このように、説明変数に環境質を明示的に含めることにより、SCGEモデルで一般市場均衡の計算を図ることで、環境質の変化による帰着ベース評価が可能となる。なお、データ入手性など便宜上の理由から、環境質変数は各ゾーンの砂浜の面積に限定する。

ここで、レクリエーション・サイトの需要量を定式化する場合、本来は訪問地における滞在時間や訪問に伴う消費を考慮する必要がある。しかし、本研究ではモデルの簡素化のため、訪問地における滞在時間は一定とし、訪問に必要なガソリンと有料道路以外の財は既に所有していて、訪問地では何も消費しないものと仮定する。

需要関数は家計の効用最大化行動から導かれることから、理論的には本研究のTCMで設定した需要関数に対応する効用関数が必ず存在する。ちなみに、需要関数から効用関数を導かれる問題は積分可能性問題として知られている。そこで、式(2-1)のように定式化したレクリエーション需要関数から積分可能性問題を解き、式(2-1)を効用最大化問題の解となる効用関数を誘導する。

まず、ゾーン*a*における代表的家計が直面する予算制約式を以下のように設定する。

$$x_a + \sum_b p_{ab} \cdot z_{ab} = m_a \quad (2-3) \quad m_a \equiv \frac{M_a}{p^{NH}} \quad (2-4)$$

ただし、 x_a ：ゾーン*a*の家計の合成財消費量、 M_a ：ゾーン*a*の家計の要素所得。

次に、式(2-3)を予算制約式とする効用最大化問題の解として、式(2-1)が得られるような効用関数を誘導する。そこで、簡素化のために式(2-1)を以下のようにする。

$$z_{ab} = \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab}) \quad \forall b \quad (2-5) \quad \hat{\gamma}_{ab} \equiv \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_2 \cdot q_b + \hat{\varepsilon}_{ab} + \ln n_b \quad \forall b \quad (2-6)$$

式(2-5)は所得と独立であることから、需要関数であると同時に補償需要関数でもある。また、

支出関数の価格に関する偏微分が補償需要関数になることから、以下の偏微分方程式が成立する。なお、式(2-8)は境界条件である。

$$\frac{\partial e(p_a, v(\bar{p}_a, \bar{m}_a))}{\partial p_{ab}} = \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab}) \quad \forall b \quad (2-7) \quad e(\bar{p}_a, v(\bar{p}_a, \bar{m}_a)) = \bar{m}_a \quad (2-8)$$

ただし、 $e(\cdot)$ ：支出関数、 $v(\cdot)$ ：間接効用関数、 $p_a = (1, p_{a1}, \dots, p_{aN})$ 、 $\bar{p}_a = (1, \bar{p}_{a1}, \dots, \bar{p}_{aN})$ 。
上記の偏微分方程式の解は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} e(p_a, v(\bar{p}_a, \bar{m}_a)) &= \sum_b \int_{p_{ab}}^{\bar{p}_{ab}} \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot t) dt + C \\ &= \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_b \{ \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot \bar{p}_{ab}) - \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab}) \} + C \end{aligned} \quad (2-9)$$

ただし、 C ：積分定数（これは境界条件により、 $C = m_a$ のように定まる）。したがって、間接効用関数は次式のように表される。

$$v(p_a, m_a) = \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_b \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab}) + m_a \quad (2-10)$$

ここで、間接効用関数から効用関数を誘導するためには、予算制約式を制約条件として、全ての財の価格で間接効用関数を最小化すればよいことが知られている。したがって、この最小化により得られた最適値関数が効用関数となる。

$$\min_{p_1, p_{a1}, \dots, p_{aN}} \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_b \exp \left\{ \hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \left(\frac{p_{ab}}{p^{NH}} \right) \right\} + \frac{M_a}{p^{NH}} \quad (2-11)$$

$$p_{ab} = p_2 \cdot g_{ab} + p_3 \cdot c_{ab} + w \cdot t_{ab} \quad (2-12)$$

上記の問題を解くことにより、効用関数は以下のようになる。

$$u_a = x_a + \sum_b \left\{ \frac{z_{ab} \cdot \ln z_{ab} - (1 + \hat{\gamma}_{ab}) \cdot z_{ab}}{\hat{\gamma}_1} \right\} \quad (2-13)$$

ただし、 u_a ：ゾーンaの家計の効用。

以上のように、式(2-1)のレクリエーション需要関数は、式(2-3)を制約条件として、式(2-13)を最大化することによって得られる。しかし、予算制約式である式(2-3)は、金銭的な支払いが無い時間価値が含まれている。そこで、本研究では、式(2-3)が準線形であることに着目し、レクリエーション・サイトまでの移動にかかる時間は以下のように不効用として効用関数に組み込むこととした。

$$u_a = x_a + \sum_b \left\{ \frac{z_{ab} \cdot \ln z_{ab} - (1 + \hat{\gamma}_{ab}) \cdot z_{ab} - \frac{w \cdot t_{ab} \cdot z_{ab}}{p^{NH}}}{\hat{\gamma}_1} \right\} \quad (2-14)$$

この効用関数を式(2-6)に注意して整理することにより、式(2-15)のような効用関数が得られる。また、レクリエーション・サイトまでにかかる移動時間を効用関数に組み込んだことに伴い、書

き改めた予算制約式が式(2-16)である。

$$u_a = x_a + \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_b z_{ab} \cdot (\ln z_{ab} - \ln \Gamma_{ab} - 1) \quad \forall a \quad (2-15)$$

$$p^{NH} \cdot x_a + \sum_b (p_2^y \cdot g_{ab} + p_3^y \cdot c_{ab}) \cdot z_{ab} = M_a \quad \forall a \quad (2-16)$$

$$\Gamma_{ab} \equiv n_a \cdot \exp \left\{ \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 \cdot \left(\frac{w \cdot t_{ab}}{p^{NH}} \right) + \hat{\gamma}_2 \cdot q_b + \varepsilon_{ab} \right\} \quad \forall a, b \quad (2-17)$$

ただし、 Γ_{ab} ：ゾーンaとゾーンbの間の有料道路料及びガソリン代がゼロ（ $p_2^y = p_3^y = 0$ ）である場合）のゾーンaからゾーンbへの訪問者数。もし、 $\hat{\gamma}_1 < 0$ であれば、消費者の主体的均衡において $z_{ab} \leq \Gamma_{ab}$ となり、式(2-15)の第2項は非負の値をとる。

本来、CGEでは一国を複数の地域に分割し、地域ごとの家計の行動を明示的に定式化することが可能であるが、本研究では簡素化したものを構築するため、1国全体で1主体を想定する。すなわち、式(2-15)及び式(2-16)を各ゾーンに関して集計することにより、以下のような効用関数と予算制約式を定式化する。

$$U = NH + \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_a \sum_b z_{ab} \cdot (\ln z_{ab} - \ln \Gamma_{ab} - 1) \quad (2-18)$$

$$p^{NH} \cdot NH + \sum_a \sum_b (p_2^y \cdot g_{ab} + p_3^y \cdot c_{ab}) \cdot z_{ab} = M \quad (2-19)$$

ただし、 U ：家計の効用関数 = $\sum_a U_a$ 、 NH ：家計の合成消費財 = $\sum_a X_a$ 、 M ：家計の所得 = $\sum_a M_a$ 。

前述のとおり、生産部門の行動や他の一般市場均衡条件の細部については中畠・坂本(2012)¹⁾に譲り、上式における各変数並びに価格は計算された一般市場均衡解であることに留意されたい。

厚生分析における便益は等価変分 (EV: Equivalent Variation) により計測することとする。EVは、価格と環境質を事前状態に固定した支出関数を使って単調変換した効用水準の差分として定義される。したがって、補償変分 (CV: Compensating Variation) とは異なり、複数の状態比較を図った際でも推移律を満たす。

今、砂浜侵食により各ゾーンの砂浜面積ベクトルが q^0 （現状）から q^1 へ変化したとする。一般均衡分析の観点からは、こうした外生変数の変化は均衡価格や要素所得も変化させることになる。以降で詳述するように、各ゾーンの砂浜面積ベクトルは海面上昇による長期的な影響、あるいは仮想的な適応政策の実行によって変化する。これらに伴い、価格体系は p^{Y0} から p^{Y1} へ、要素所得は M^0 から M^1 へ変化し、 E を支出関数、 V を間接効用関数と定義すると、EVは次のように定式化される。

$$EV_{0 \rightarrow 1} = E(p^{Y0}, V(p^{Y1}, M^1, q^1), q^0) - E(p^{Y0}, V(p^{Y0}, M^0, q^0), q^0) \quad (2-20)$$

すなわち、EVでは、事前・事後の間接効用水準を達成するために必要な事前価格体系で評価し

た支出の差分として、外生変数の変化の帰着ベース評価がなされる。状態1から更なる変化をもたらす状態2を想定したとしても、支出関数を評価する価格体系は現状の状態0であることに留意されたい。

$$EV_{0 \rightarrow 2} = E(p^{Y0}, V(p^{Y2}, M^2, q^2), q^0) - E(p^{Y0}, V(p^{Y0}, M^0, q^0), q^0) \quad (2-21)$$

ここで、式(2-21)と式(2-20)の差分である $EV_{1 \rightarrow 2}$ を計算すると、各々の右辺第二項は相殺され、各状態における間接効用水準を状態1の価格体系で評価した支出関数の差分として表現される。この算定式を用い、本研究におけるゾーン毎の被害の計測及び適応政策の評価を図っていく。

本研究における数値実験の目的は、各ゾーンに位置する砂浜が被る温暖化進展による海面上昇に伴う被害の算定である。本研究の砂浜侵食の被害シナリオは、以下の2つのケースを比較し、総被害額の差額を各都道府県の被害額とする。ケース①：全ての都道府県において、気候変動による砂浜侵食の予測値のもと、日本全体の総被害額。ケース②：任意の一つの都道府県で砂浜侵食が発生せず（現状維持）、それ以外の都道府県では上記のシナリオの砂浜侵食が発生した場合の日本全体の総被害額。

ケース①については、前章で述べたように、現状である状態0 (q^0) と、何も対策を施さない場合の将来予測値状態1 (q^1) を比較した式(2-19)によって計算される。ケース②については、状態1から対象地のみを状態0の砂浜面積値に戻すとして q^2 を定義し、式(2-20)を計算、さらに式(2-20)と式(2-19)の差分である $EV_{1 \rightarrow 2}$ を計算することで、砂浜侵食による各都道府県の被害額を算定する。

気候変動による砂浜侵食の参考値としては、本プロジェクトのサブテーマS-8-1(4)から提供された砂浜侵食の予測値（RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5シナリオ）を都道府県別の砂浜侵食率として設定する。すなわち、レクリエーション需要関数における q_j を都道府県毎に砂浜侵食分だけ変化させる。以上より、図1(9)②-3及び図1(9)②-4に示すシナリオで都道府県毎に砂浜侵食の被害額を算定する。

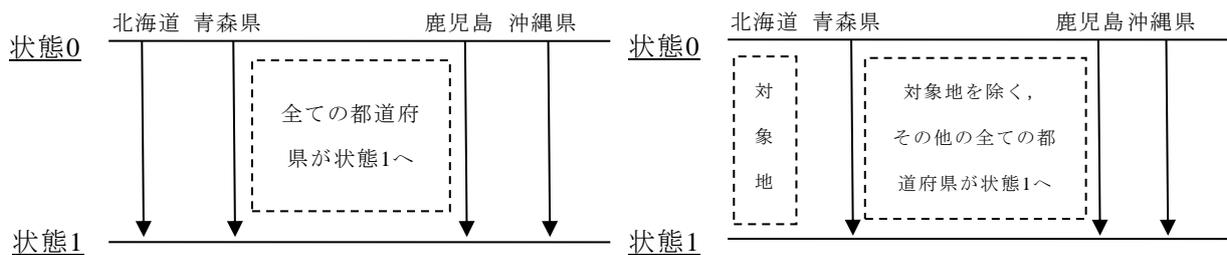


図1(9)②-3 ケース①の状況時の総被害

図1(9)②-4 ケース②の状況時の総被害

4. 結果及び考察

現在の砂浜の総面積は277.6km²であり、砂浜が生産するレクリエーション価値は1031.9億円/年と推計された。そして、気候変動による砂浜侵食の被害額の推計結果は図1(9)②-5及び図1(9)②-6に示すとおりである。2031～2050年における砂浜侵食による日本全体の被害額については、RCP2.6では約69.9億円/年、RCP4.5では約67.1億円/年、RCP8.5では約86.4億円/年と算出された。また、都道府県別の砂浜被害額はRCP2.6では鳥取県約0.1億円/年(-1.9%)から沖縄県約16.0億円/年(-18.2%)、RCP4.5では鳥取県約0.1億円/年(-1.82%)から沖縄県約14.0億円/年(-15.9%)、RCP8.5では鳥取県約0.1

億円/年(-2.2%)から沖縄県約20.7億円/年(-23.4%)と推計された。2081～2100年における砂浜侵食による日本全体の被害額については、RCP2.6で約299.8億円/年、RCP4.5で約321.7億円/年、RCP8.5で約483.4億円/年と算出され、砂浜侵食率が大きくなるにつれて、砂浜の被害額も高くなることがわかる。また、都道府県別の砂浜被害額はRCP2.6では鳥取県約2.8億円/年(-5.0%)から沖縄県約88.2億円/年(-100.0%)、RCP4.5では鳥取県約0.3億円/年(-5.4%)から沖縄県約88.2億円/年(-100.0%)、RCP8.5では鳥取県約0.4億円/年(-7.3%)から沖縄県約88.2億円/年(-100.0%)と推計された。

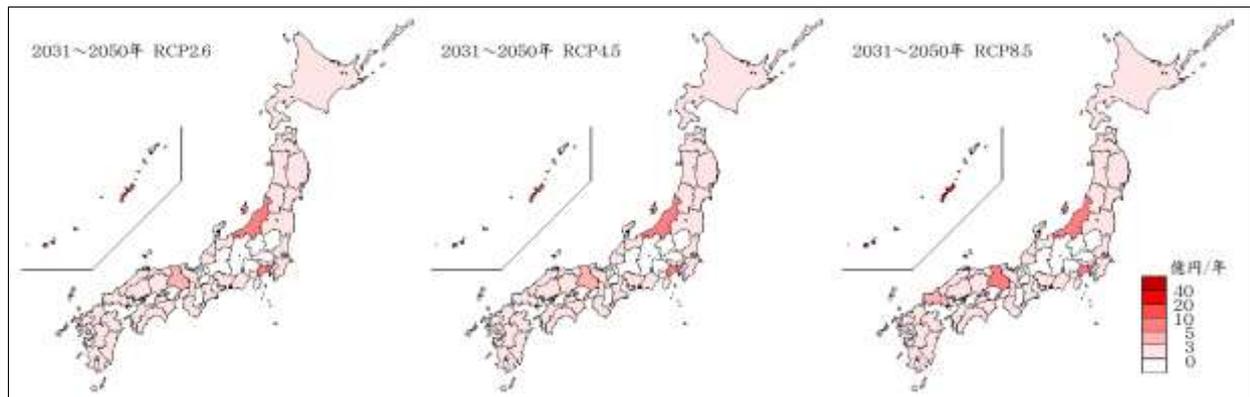


図 1(9)②-5 2031-2050 年における砂浜侵食の被害額



図 1(9)②-6 2081-2100 年における砂浜侵食の被害額

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

レクリエーション需要関数をCGEモデルに接合することを試みた既存研究は幾つか存在するが、レクリエーション需要関数に交通費用が考慮されていないなど、利用目的が限定された定式化であった。一方、本研究は、積分可能性問題を解くことによりレクリエーション需要関数から効用関数を誘導し、それをCGEモデルに接合していることから、消費者行動理論との整合性が保たれている。

(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>

本研究による都道府県別砂浜侵食の被害額の推計は、気候変動による砂浜侵食に対する施策の立案・計画時の費用便益分析に活用される可能性が高い。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 坂本直樹、中畠一憲：土木学会論文集G(環境)、68, 6, II_217-II_228 (2012)
「旅行費用法と整合的な応用一般均衡モデルの開発」
- 2) 佐尾博志、森杉雅史、大野栄治、坂本直樹、中畠一憲、森杉壽芳：土木学会論文集G(環境)、69, 5, I_249-I_257, (2013)
「気候変動による砂浜侵食の地域別被害計測並びに適応政策の検討」

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) K. NAKAJIMA and N. SAKAMOTO: Proceedings of the 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 53 (USB Memory), 1-22 (2013)
“General Equilibrium Approach consistent with Travel Cost Method for Economic Evaluation of Beach Erosion by Climate Change”
- 2) N. SAKAMOTO and K. NAKAJIMA: Proceedings of the 54th European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 54 (USB Memory), 1-15 (2014)
“Measurement of Use Value and Non-Use Value of Environmental Quality Consistent with General Equilibrium Approach”

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 坂本直樹、中畠一憲：Discussion Paper, Institute for Policy Analysis and Social Innovation, University of Hyogo, 41, 1-12(2011)
「レクリエーション需要関数の推定式から誘導した効用関数の応用一般均衡モデルへの適用」
- 2) 中畠一憲、坂本直樹：土木計画学研究・講演集、45 (CD-ROM), 1-10 (2012)
「旅行費用法と整合的な応用一般均衡モデルの開発：気候変動による砂浜侵食の経済評価」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 坂本直樹、稲垣雅一：日本計画行政学会第33回全国大会 (2010)
「コブ＝ダグラス型2地域経済における業績投票と人口移動：非対称な地域を考慮した数値解析」

- 2) 中畠一憲、坂本直樹：第45回土木計画学研究発表会（2012）
「旅行費用法と統合的な応用一般均衡モデルの開発：気候変動による砂浜侵食の経済評価」
- 3) 中畠一憲、坂本直樹：環境経済・政策学会2012年大会（2012）
「気候変動による砂浜侵食の一般均衡論的影響の計測」
- 4) 坂本直樹、中畠一憲：第40回環境システム研究論文発表会（2012）
「旅行費用法と統合的な応用一般均衡モデルの開発」
- 5) 中畠一憲、坂本直樹：応用地域学会2012年度第26回研究発表会（2012）
「旅行費用法と統合的な応用一般均衡モデルの開発：二酸化炭素排出量の導入」
- 6) K. NAKAJIMA and N. SAKAMOTO: The 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Palermo, Italy (2013)
“General Equilibrium Approach consistent with Travel Cost Method for Economic Evaluation of Beach Erosion by Climate Change”
- 7) 佐尾博志、森杉雅史、大野栄治、坂本直樹、中畠一憲、森杉壽芳：第21回地球環境シンポジウム（2013）
「気候変動による砂浜侵食の地域別被害計測並びに適応政策の検討」
- 8) N. SAKAMOTO and K. NAKAJIMA: The 54th European Congress of the Regional Science Association International, St. Petersburg, Russia (2014)
“Measurement of Use Value and Non-Use Value of Environmental Quality Consistent with General Equilibrium Approach”
- 9) K. NAKAJIMA, H. SAO, M. MORISUGI, E. OHNO, N. SAKAMOTO, H. MORISUGI and R. MORI: Toyooka Conference on Environmental Economy, Hyogo, Japan (2015)
“Economic Assessment of Adaptation Policy for Coastal Erosion in Japan”

(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) 坂本直樹、中畠一憲：土木学会論文集G(環境)、68, 6, II_217-II_228 (2012)
「旅行費用法と統合的な応用一般均衡モデルの開発」

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(9) 温暖化適応政策による地域別・部門別の受益と負担の構造に関する研究

③ 空間的応用一般均衡モデルの開発

公立大学法人兵庫県立大学人間環境学部

中 崙 一 憲

平成22～26年度累計予算額：9,227千円

(うち、平成26年度予算額：1,558千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究は、気候変動対策（緩和策・適応策）に関する全国影響評価について、動学的空間的応用一般均衡（DSCGE: Dynamic and Spatial Computable General Equilibrium）モデルを用いて行うことを最終的な目的としている。まず、空間的応用一般均衡（SCGE: Spatial Computable General Equilibrium）モデルの基準均衡データベースを作成するために、2005年の47都道府県間産業連関表を作成する。本研究で作成する地域間産業連関表は、①非競争移入型・競争輸入型地域間産業連関表、②2005年基準、③47都道府県対象、④48産業部門分類である。

次に、計算可能なSCGEモデルを構築するために理論モデルを構築する。企業の生産構造および家計の効用構造については、多段入れ子型CES（Constant Elasticity of Substitution）関数を用いて各要素の代替性を考慮したモデルを想定するが、現段階においてはエネルギー部門および非エネルギー部門の生産構造の違いは考慮していない。また、気候変動による影響を明示的に表現する。企業に対する気候変動の影響は公共および民間における物的資本や人的資本の減少等として想定されるのに対して、家計へのそれは、過去のブナ林や砂浜・干潟の非市場的価値の計測手法および結果と整合するように、これらの評価結果を効用関数に組み込むことを想定している。

最後に、マクロ経済モデルによる気候安定化政策の社会的便益の計測手法を費用便益分析の観点から検討する。結果として、費用便益分析における社会的純便益と等価的偏差の関係から等価的偏差を、政策実施により気温上昇に伴う被害が軽減されたことによる国民福祉向上を消費水準（貨幣ターム）で評価した福祉効果、生産及び排出権収入の変化による所得変化効果、そして社会的費用を表す投資の変化分に分割できることを提示する。また、本研究の枠組みが、伝統的な費用便益分析の理論的枠組みと整合的であり、また効用関数への被害を考慮した場合にも対応できることが示される。

[キーワード]

水害、47都道府県地域間産業連関表、社会的便益、空間的応用一般均衡SCGE、動学的空間的応用一般均衡DSCGE

1. はじめに

本研究は、気候変動対策（緩和策・適応策）に関する全国影響評価について、DSCGEモデルを用いて行うことを最終目的としている。これまで、わが国においても気候変動対策を論じるため

の評価モデルが数多く開発され、様々な政策手段の検討が図られてきたが、本研究では年代別・地域別・部門別に精緻化を一層進めた評価モデルを開発することによって、気候変動の長期的な影響、緩和策だけでなく適応策を含めた対策による長期的および横断的な波及効果の帰着先などの詳細な分析を行う。

2. 研究開発目的

本研究は、DSCGEモデルの開発を行うことを最終目的とする。これまでに構築したSCGEモデルを用いて、日本における気候変動による水害被害を計測するために、サブサブテーマ(1)(2)(4)と連携してシミュレーション分析に基づく経済評価を行った。そして、これまでの経済評価の結果を多くの人たちに分かり易く伝えるために、結果の公表の仕方やアピール方法について検討した。

3. 研究開発方法

水害統計や治水経済調査の“経済被害”とは、民間資産損害、公共資産損害、営業損失に区分され、特に前者2つは社会に存在する私的資本や社会資本などストックの減少として表現される。一方、費用便益分析などの経済分析では、被害費用や便益は、等価変分（EV: Equivalent Variation）、あるいは、消費水準の変化で定義の上、計測される。ここでもし両者が等しくない場合、本来の便益や不便益、被害費用の定義である消費水準の変化は、資本ストック（資産額：K）の減少分といかなる関係にあるであろうか。

わが国の水害は、過去10年間の年平均で5,000億円程の資産損壊額をもたらしている。仮に、現在の私的資本及び社会資本ストックの資産評価総計を1,800兆円とした場合、年当たりの資産損壊率は0.0278%となる。対して100年後には温暖化の進展により、追加4,000億円の年被害の増加があるものとする。この場合の資産損壊率は総じて0.05%、増加分は0.0222%となる。また、原因によらず恒常的に失われる資本ストックの価値分は、経済計算では固定資本減耗と呼ばれる。通常わが国では資本減耗率として5%（ δ_0 ）の値を用いているので、将来の水害被害増加分を加え、これを5.0222%（ δ_1 ）と置く。温暖化の進展によって促される新たな水害被害の増加分は（ $\delta_1 - \delta_0$ ）Kであり、これを「直接的被害額」と称する。なお小文字表記は、当時点における人口（L）で除し、一人当たりの表示になっていることを注記しておく。さらに、 $\hat{\cdot}$ では技術係数を加味した効率的労働量A・Lの単位当たり、を表現する

一方、マクロ経済計算では、以下の基本式が成立する。

$$\text{総生産} = \text{消費} + \text{純投資} + \text{資本減耗}$$

$$\text{粗投資} = \text{純投資} + \text{資本減耗}$$

ここで、成長がない定常状態にある経済（あらゆる経済諸変数が通時で変化がない状態）を想定すると、純投資はゼロであり、粗投資は資本減耗分に等しい。総生産に変化がないものと考えれば、資本減耗の増加は消費の減少と相殺するので、この場合において水害被害は、資本減耗の増加（直接被害額）、消費水準の減少（短期静学被害）、いずれで測ったとしても同値となる。

反面、資本減耗の増加というショックが資本ストック、あるいは、投資や消費、総生産に与える影響が無視できない場合には、動学モデルが必要となる。実際に、これらの経済変数は各主体の経済活動によって内生的に定まる。本研究が計算モデルの理論基盤構造として用いているRamseyモデルとは、動学モデルでも最も単純な構造を持ち、主体は代表的家計と企業からなり、1

種類の生産物（Y）、労働と資本という生産要素のみ取り扱っている。

家計主体は無限視野を持ち、時間を通じて自己の消費（c）及び効用（U）を最大化すべく毎時の貯蓄総計（a=k）を決定するものとする。

$$U = \int_0^{\infty} u(c(t))e^{nt} \cdot e^{-\rho t} dt \quad (3-1)$$

$$u(c(t)) = (c(t)^{1-\theta} - 1)/(1-\theta) \text{ の CIES、CRRA 型} \quad (3-2)$$

$$\dot{a}(t) = w(t) + r(t)a(t) - c(t) - na(t) \quad (3-3)$$

ただし、n：人口成長率、ρ：効用割引率、θ：消費の異時点間の代替弾力性、w：一人当たり賃金、r：利率、x：外生的技術進歩率。以降、時間tは省略する。小文字アルファベット表記の変数はいずれも労働一当たりを表し、さらに $\hat{\cdot}$ がつくものは効率的労働（AL）1単位当たりを表す。

企業主体は $Y = F(K, AL)$ となる生産関数を持ち、下記のように利潤を最大化すべく行動する。

$$\max_{K,L} \pi = F(K, \hat{L}) - (r + \delta)K - wL = \hat{L} [f(\hat{k}) - (r + \delta)\hat{k} - we^{-\alpha}] \quad (3-4)$$

ここで、この生産関数は各生産要素に対して逓増関数、その二回微分は負、K及びLに対して一次同次である。係数αは毎時xの成長率で実質的に労働量を増加させるような、Harrod中立型技術進歩を考える。

各主体が制約条件下において目的関数を最大化した解を、主体的均衡条件と呼ぶ。また、資本、労働、生産物の市場均衡条件を加味すると、この経済の一般均衡条件は下記の2式に集約される。

$$\dot{\hat{k}} = f(\hat{k}) - \hat{c} - (n + x + \delta)\hat{k} \quad (3-5) \quad \frac{\dot{\hat{c}}}{\hat{c}} = \frac{1}{\theta}(r - \rho - \theta x) = \frac{1}{\theta}(f'(\hat{k}) - \delta - \rho - \theta x) \quad (3-6)$$

定常成長均衡は、これらの左辺=0と置くことで導かれる。

$$f(\hat{k}^*) - (n + x + \delta)\hat{k}^* = \hat{c}^* \quad (3-7)$$

$$f'(\hat{k}^*) - \delta = r^* = \rho + \theta x \quad (3-8)$$

議論を簡易化するため、以降、x=0、n=0とし、0成長である定常成長均衡を単に定常均衡と言及する。式(3-8)では、企業の主体的均衡条件の下で、資本ストック水準は資本の限界生産性と市場利率+資本減耗率とが等しくなるよう選ばれることが分かる。また、定常均衡時では、資本の純収益である利率は効用割引率に等しくなる。先述のように、温暖化は資本減耗率δの上昇を促すが、効用割引率は所与のパラメータであるので、利率は不変である。その一方で、資本ストック水準は変化させることになる。

位相図（図1(9)③-1）では、式(3-8)を満たすようなcとkの組み合わせを垂直線で、式(3-7)については曲線で描かれている。定常均衡における \hat{c}^* 、 \hat{k}^* の水準とは、それらの交点で定まる。資本減耗率δの上昇は曲線を下方部へ、直線を左方へシフトさせるため、新しい定常成長均衡値は元のそれと比べ、消費や資本ストック、いずれも低下させることになる。この変化を見るために、式(3-7)(3-8)をδとkやcに関して比較静学を図ると、次のようになる。

$$d\hat{c}^* = \left\{ \frac{\rho}{-f''(\hat{k}^*)\hat{k}^*} + 1 \right\} \hat{k}^* d\delta = (1 + \alpha)\hat{k}^* d\delta \quad (3-9)$$

式(3-9)の { } 内を特に乗数、動学的拡大乗数（比較静学）あるいは長期静学便益乗数と呼ぶ。直接的被害額にこの乗数をかけたものを、図1(9)③-1においては「動学的拡大効果（比較静学）」と称している。理論上、 $\alpha > 0$ であるので、乗数は1を上回る。

資本減耗率 δ の上昇に対し、利子率=効用割引率のため一定であり、よって式(3-8)を満たすためには、現時点に比して資本ストック水準を削減する必要がある。結果、定常均衡における生産額 Y は減少する。従って、先のマクロ等式で議論したように、消費は生産額の減少と相まって資本減耗の増加分、直接被害額以上に減少を余儀なくされる。

さらに、この考え方を発展させよう。図1(9)③-2において、当初の定常均衡は SS_0 とする。温暖化の影響として資本減耗率を δ_0 から δ_1 にシフトさせる。新しい定常均衡は(3-4)(3-5)式の下で計算することができ、 SS_1 となる。また簡易な計算の下で SS_0 と F 点との垂直差分は $c_0^* - c_0^* = (\delta_1 - \delta_0) k_0^*$ となり、直接被害額を示すことが分かる。よって、動学的拡大効果（比較静学）は $(c_1^* - c_0^*) / (c_0^* - c_0^*)$ として計算される。図の上からもこれは1を超えることを確認されたい。この値は式(3-9)にあるように解析的に解けるという特徴を持つ。

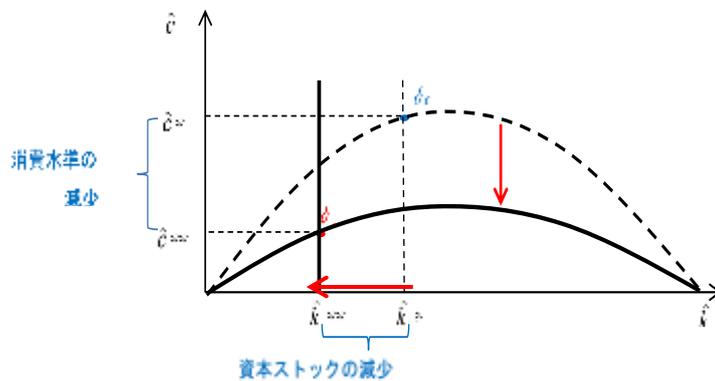


図1(9)③-1 定常成長均衡のシフト

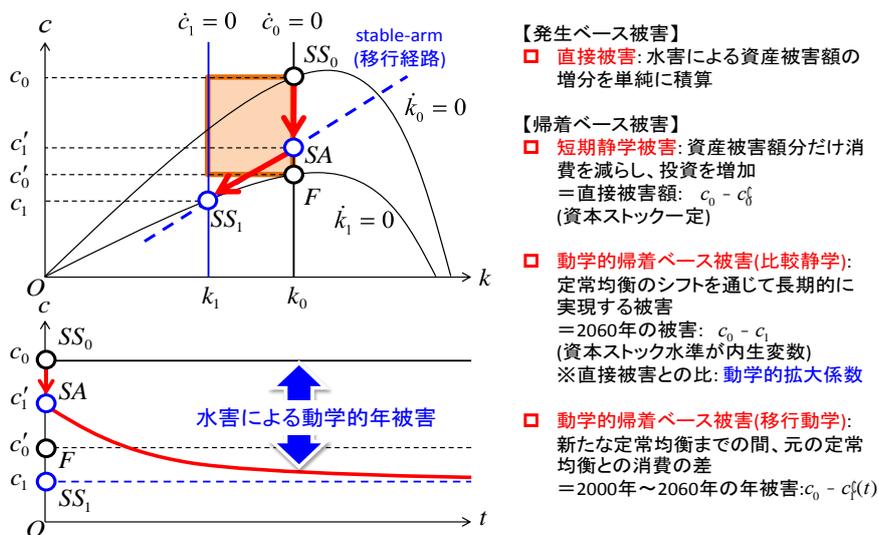


図1(9)③-2 水害被害の定義

ところで、モデル上の経済は即座にこの新しい定常成長均衡 SS_1 に到達するわけではない。**Ramsey**モデル上における定常成長均衡は、主体の完全予見と合理性の仮定の下で、大域的な解経路の安定性を持つ。すなわち、収束過程における移行経路が存在する。現時点で資本減耗率の変更を与えると、主体は先ず消費を効率的な動学経路に乗せるべく即座に変更し、経済は瞬時に**SA**に移行する。この時点での消費の減少分は直接被害額（図1(9)③-2では $SS_0 \sim F$ ）を下回る。ここから SS_1 に向かって、長い時間を要して資本ストックを調整していくが、年月を経るに従い消費も減少していき、現時点消費との差分はいずれ直接被害額を上回る。新しい定常成長均衡 SS_1 に到達するまで、 SS_0 と移行経路上における差分の年平均をとったもの「**動学的拡大効果（移行動学）**」と称する。同様に、これに直接被害額との比をとったものを、移行動学上での乗数と定義する。この値は図からも明らかのように、動学的拡大効果（比較静学）よりは小さい。また、解の性質が経路依存性を持つために、明示的な数理解を導くことは一般に困難である。

本研究では、日本における水害被害の長期的な経済的影響を評価するために、**Ramsey**モデルを基本とした長期定常状態下での水害被害の定義を用い、幾つかのタイプの異なる**SCGE**モデルを開発した。そして、4つの気候モデルから計算された水害シナリオを用い、**Recursive型（準動学型）SCGE**モデルによって水害被害を計測した。なお、本研究の**SCGE**モデルにおいては、家計、企業および政府を経済主体とし、各都道府県にこれらの経済主体が存在するものとした。また、効用関数および生産関数は多段入れ子型**CES**(Constant Elasticity of Substitution)関数を想定し、各要素間の代替性を考慮した。地域区分は日本における47都道府県（表1(9)③-1参照）とし、産業部門区分は20産業部門（表1(9)③-2参照）とした。計算期間は2000年から2100年とした。

表1(9)③-1 地域区分

#	都道府県	Code	#	都道府県	Code	#	都道府県	Code
1	北海道	HKD	17	石川	ISK	33	岡山	OKY
2	青森	AMR	18	福井	FKI	34	広島	HRS
3	岩手	IWT	19	山梨	YMN	35	山口	YGC
4	宮城	MYG	20	長野	NGN	36	徳島	TKS
5	秋田	AKT	21	岐阜	GIF	37	香川	KGW
6	山形	YGT	22	静岡	SZK	38	愛媛	EHM
7	福島	FKS	23	愛知	ACH	39	高知	KOC
8	茨城	IBR	24	三重	MIE	40	福岡	FKO
9	栃木	TCG	25	滋賀	SIG	41	佐賀	SAG
10	群馬	GMM	26	京都	KYT	42	長崎	NGS
11	埼玉	STM	27	大阪	OSK	43	熊本	KMT
12	千葉	CHB	28	兵庫	HYG	44	大分	OIT
13	東京	TKY	29	奈良	NAR	45	宮崎	MYZ
14	神奈川	KNG	30	和歌山	WKY	46	鹿児島	KGS
15	新潟	NGT	31	鳥取	TTR	47	沖縄	OKW
16	富山	TYM	32	島根	SMN			

表1(9)③-2 産業部門区分

#	財・部門	Code	47都道府県0対応
A	農業	AGR	農業
B	林業	FRS	林業
C	漁業	FSH	漁業
D	鉱業	MIN	鉱業
E	食料品	FOD	食料品・たばこ
F	その他製造業	OMF	繊維製品、製材・木製品、家具・装備品、パルプ・紙・紙加工品、印刷・出版、皮革・同製品、窯業・土石製品、その他製造業
G	化学製品	CPR	化学製品、プラスチック製品、ゴム製品
H	石油・石炭製品	P_C	石油・石炭製品
I	鉄鋼	I_S	鉄鋼製品
J	金属製品	MTL	非鉄金属製品、金属製品
K	機械	MCH	一般機械、事務用・サービス用機器、自動車、その他輸送用機械
L	電子機器	ELM	民生用電気機械、電子・通信機械、その他電気機械、精密機械
M	建築・土木	CNS	建築・建設補修、土木
N	電力	ELY	電力
O	ガス・熱供給	GDT	ガス・熱供給
P	水道・廃棄物処理	WTR	水道・廃棄物処理
Q	商業	COM	商業、金融・保険、不動産
R	運輸	TRS	運輸
S	医療・保険・社会保障	MED	医療・保険・社会保障
T	その他サービス	ANC	通信・放送、公務、教育・研究、その他公共サービス、対事業所サービス、対個人サービス、その他

4. 結果及び考察

本研究では、日本の47都道府県を対象としたRecursive型（準動学型）SCGEモデルを用いて、4つの気候モデルから計算された水害シナリオによる水害の経済評価に関するシミュレーション分析を行った（図1(9)③-3参照）。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- ① 日本において気候変動による水害被害の増大に伴い、2031年から2050年の水害被害総額は約927億円/年から約6,837億円/年、2081年から2100年の水害被害総額は約1,348億円/年から約9,886億円/年となることが推定された。（図1(9)③-4および図1(9)③-5参照）
- ② 時間の経過に伴い、全てのシナリオにおいて、北海道、東海地方、近畿地方から瀬戸内海沿岸の地域、および九州は水害被害が増大することが示された。（図1(9)③-4および図1(9)③-5参照）
- ③ 水害被害の増大に伴い、全てのシナリオにおいて、多くの地域の域内総生産は減少する一方で、域内総生産が増加する地域も存在することが示された。また、域内総生産の変化の分布に関しては、シナリオ毎にそのパターンは異なるものの、北海道、東京、および愛知は全てのシナリオにおいて相対的に域内総生産の減少が大きいことが示された。（図1(9)③-4および図1(9)③-5参照）
- ④ 水害の増大により、多くの地域において農業、漁業、食料品、その他製造業、化学製品、建築・土木、電力、ガス、水道および第3次産業は生産額減少の影響を受けることが示された。一方で、鉱業および電子機器は生産額が増加する地域が相対的に多いことが示された。（図1(9)③-6および図1(9)③-7参照）
- ⑤ 各シナリオにおける地域別・産業部門別生産額の変化分布は、水害の増大によって、その分布パターンは変化しないものの、時間の経過に伴って、生産額減少の影響は大きくなること示された。（図1(9)③-6および図1(9)③-7参照）

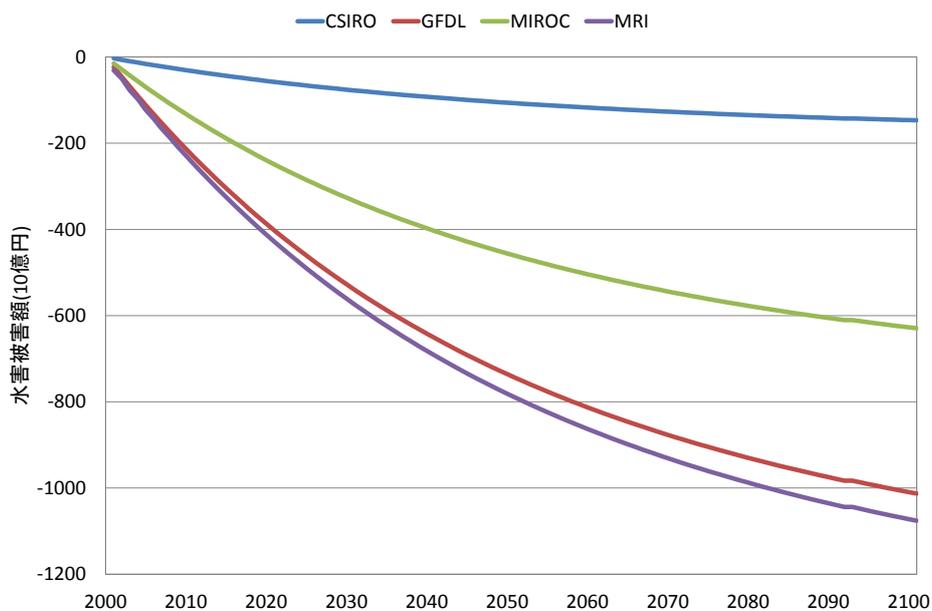


図1(9)③-3 日本における水害被害（単位：10億円/年）

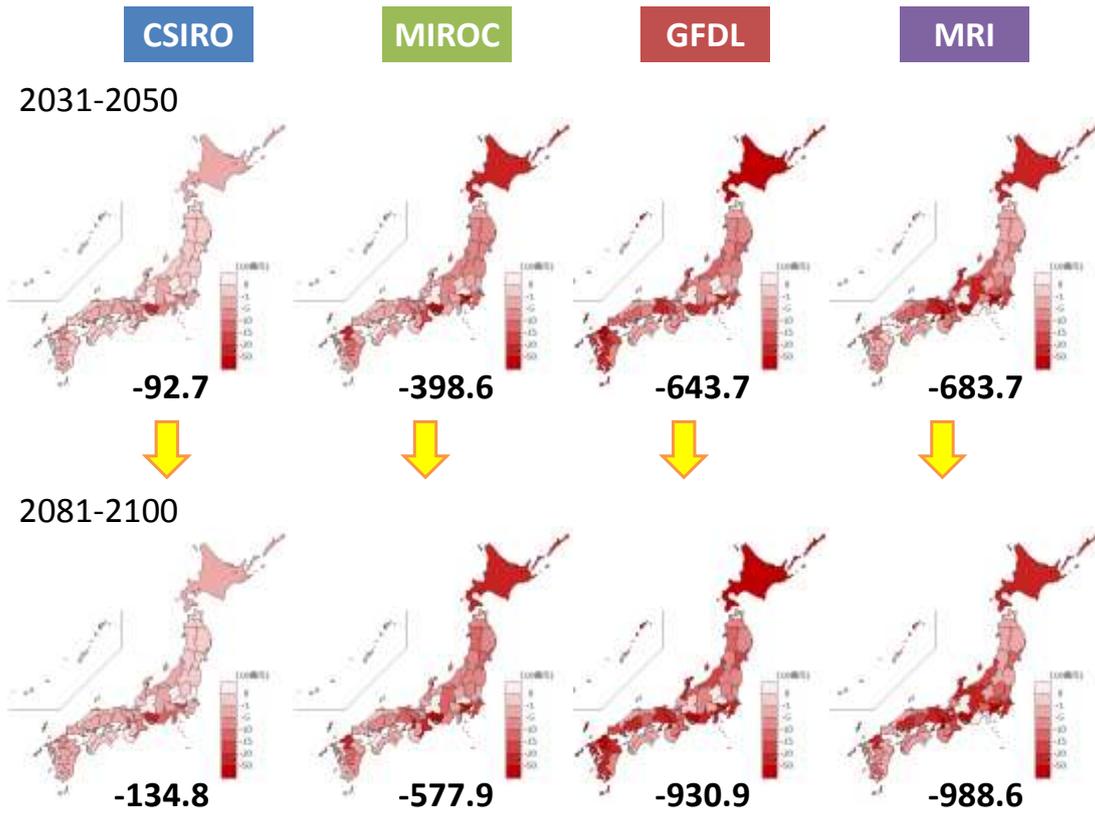


図1(9)③-4 4つの水害シナリオにおける地域別水害被害（単位：10億円/年）

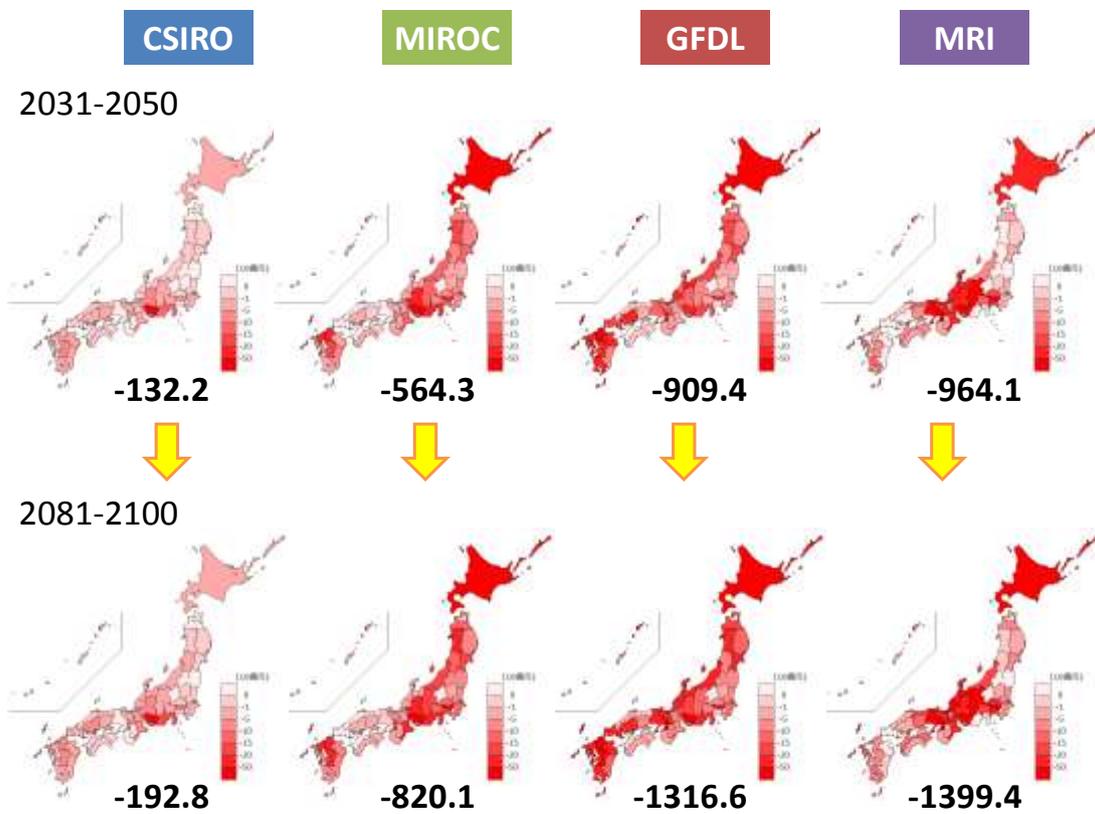


図1(9)③-5 4つの水害シナリオにおける域内総生産（単位：10億円/年）

CSIRO

2031-2050

MIROC

Table with 19 rows (1-19) and 20 columns (A-S). Values range from -0.01 to 0.05.

Table with 19 rows (1-19) and 20 columns (A-S). Values range from -0.01 to 0.05.

GFDL

(-) % (+)

MRI

Table with 19 rows (1-19) and 20 columns (A-S). Values range from -0.01 to 0.05.

Table with 19 rows (1-19) and 20 columns (A-S). Values range from -0.01 to 0.05.

注) 図中の行コードは表1(9)③-1を、列コードは表1(9)③-2をそれぞれ参照されたい。

図1(9)③-6 2031-2050年における地域別・産業部門別生産額の変化分布(単位:%)

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究の目的でも述べたように、水災害の発生ベースと帰着ベースの評価値の違いに言及し、かつ、理論的にそれを証明したのは、当サブグループのメンバーの知る限り、初の試みである。また、そのことを裏付けるべくここで開発したDSCGEモデルは、温暖化の後続研究に大きく資するものと思われる。既に幾つかの学術雑誌ではその学術的価値は認められている。

(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>

水害に対する適応策には、今後とも従来型の治水事業が占める割合は大きいものと思われる。現在のシミュレーションモデルは現実描写性に難があり、そのまま政策評価に用いるわけにはいかない。しかし、今後の国家や都道府県レベルで防災関連型社会資本の整備を進める上で、財政事情を鑑みつつその効率性を問う際には、本研究の示した方向性は少なからず影響し、また、役立ちうるものとする。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 中畠一憲：環境システム研究論文集、38, 239-246 (2010)
「気候安定化政策の社会的便益の計測」
- 2) K. NAKAJIMA: Economics Bulletin, 30, 3066-3076 (2010)
“Measurement of Social Net Benefit of Climate Stabilization Policy”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) K. NAKAJIMA, H. MORISUGI, M. MORISUGI and N. SAKAMOTO: Proceedings of the 54th European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 54 (USB Memory), 1-27 (2014)
“Measurement of Flood Damage due to Climate Change by Dynamic Spatial Computable General Equilibrium Model”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 中畠一憲、森杉壽芳、森杉雅史、坂本直樹：土木計画学研究・講演集、49 (CD-ROM), 1-10 (2014)
「動学的多地域応用一般均衡モデルによる気候変動に伴う水害被害の計測」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 中畠一憲：第38回環境システム研究論文発表会(2010)
「気候安定化政策の社会的便益の計測」
- 2) 中畠一憲：第58回日本生態学会大会(2011)
「環境経済学から見た生物多様性：マクロ経済学によるアプローチ」
- 3) 中畠一憲：岐阜聖徳学園大学経済情報学会セミナー(2013)
「動学的多地域応用一般均衡モデルを用いた気候変動に伴う水害被害の計測」
- 4) K. NAKAJIMA, H. MORISUGI, M. MORISUGI and N. SAKAMOTO: The 4th International Symposium of Environmental Policy and Regional Sustainable Development, Guangdong, China (2014)
“Measurement of Flood Damage due to Climate Change by Dynamic Multi-Regional Computable General Equilibrium Model”
- 5) K. NAKAJIMA, H. MORISUGI, M. MORISUGI and N. SAKAMOTO: The 54th European Congress of the Regional Science Association International, St. Petersburg, Russia (2014)
“Measurement of Flood Damage due to Climate Change by Dynamic Spatial Computable General Equilibrium Model”
- 6) 中畠一憲、森杉壽芳、森杉雅史、坂本直樹：第49回土木計画学研究発表会(2014)
「動学的多地域応用一般均衡モデルによる気候変動に伴う水害被害の計測」
- 7) M. MORISUGI, E. OHNO, K. NAKAJIMA, H. MORISUGI and N. SAKAMOTO: Japan – Korea International Workshop for Climate Impact and Economic Assessment Consider Uncertainty, Seoul, Republic of Korea (2015)
“Two Economic Evaluation Methods of Flood Damage Induced by Global Warming”

(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

特に記載すべき事項はない。

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(9) 温暖化適応政策による地域別・部門別の受益と負担の構造に関する研究

④ 温暖化適応政策に関する代替案の設定

財団法人日本総合研究所技術顧問

森杉 壽芳

平成22～26年度累計予算額：10,140千円

(うち、平成26年度予算額：2,080千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究では、温暖化影響として砂浜侵食・熱中症死亡・ブナ林衰退を取り上げ、これらに対する適応政策による地域別の受益を計測するとともに、適応政策の費用便益分析を試みた。砂浜侵食に対する適応政策としては、仮想的な養浜事業を設定した。養浜事業の費用便益比が1を超える都道府県は年次や気候シナリオによって異なるが、神奈川県をはじめとする少数であることがわかった。熱中症死亡に対する適応政策としては、救急搬送時間の短縮を設定した。救急搬送時間を33分から23分に10分短縮させる政策の便益は、都道府県別に見ると、年間数千万円～数億円程度であることがわかった。ブナ林衰退に対する適応政策としては、植生保護区の拡大を設定した。適応政策による「ブナ林の非利用価値」の年便益は、全国合計で1,433.0億円/年～4,017.1億円/年であり、都道府県別に見ると、北海道、山形県などの順であることがわかった。

[キーワード]

養浜事業、熱中症、救急搬送時間、ブナ林、植生保護区

1. はじめに

温暖化適応政策については、技術的対策（防災関連の社会資本整備など）と制度的対策（災害保険の適用など）の両面から種々の代替案が検討されているが、必ずしも公共事業評価の組みの中で評価されているわけではない。本研究では、温暖化影響として砂浜侵食・熱中症死亡・ブナ林衰退を取り上げ、これらに対する適応政策による地域別の受益を計測するとともに、適応政策の費用便益分析を試みる。

2. 研究開発目的

温暖化適応政策は他の社会資本整備事業と同様に費用便益分析の対象となりうるが、その便益計測が必ずしも容易ではない。本研究では、効率性・公平性の観点から望ましい適応政策を評価できるようにするために、サブサブテーマ①②③と連携して、適応政策による地域別受益の計測モデルを構築する。そして、適応政策の設定と効果分析の事例を示す。

3. 研究開発方法

(1) 砂浜侵食に対する適応政策の設定と効果分析方法

砂浜侵食に対する適応政策として、仮想的な養浜事業を設定する。ここで、事業の実施に当たって物理的な政策効果の限界はなく、砂浜が侵食した後に事業を実施することで、砂浜を侵食前の状態（すなわち現在の状態）に戻すことができると仮定する。このような仮想的な養浜事業（砂浜造成事業）の費用については、東京湾野鳥公園、葛西海浜公園など、7箇所の事例の単位面積当たり平均事業費18,276円/m²を適用した。一方、適応政策による便益については、サブサブテーマ②で構築したSCGEモデル¹⁾を用いて算定する。

（２）熱中症死亡に対する適応政策の設定と効果分析方法

熱中症死亡に対する適応政策として、救急搬送時間の短縮を設定する。そして、期待効用理論に基づき死亡リスクの上昇という観点から、熱中症による救急搬送者数が温暖化に伴って増加することによる被害と、それに対する適応策として救急搬送時間を短縮することによる便益を計測するモデルを開発した。その理論的な枠組みは以下のとおりである。

任意の個人が救急搬送される事象を A 、熱中症にかかる事象を B 、心肺停止状態となる事象を C とすると、 $B \cap C$ の場合、この個人は明らかに死亡するリスクに直面する。カーラーの救命曲線（Golden Hour Principle）によれば、心臓停止の場合は発生からおよそ3分後に死亡率が50%を超え、呼吸停止の場合は発生からおよそ10分後に死亡率が50%を超えることが知られている。ただし、 $A \cap B \cap C$ の場合は、適応策として救急搬送時間を短縮することにより、このリスクを低減することができるだろう。しかしながら、 $A \cap B \cap C$ である熱中症の患者数は統計データの制約から直接的に知ることはできない。そこで、任意の個人が救急搬送されたときに心肺停止状態であるかはその個人が熱中症であるかと独立であると仮定し、次式が成り立つものとする。

$$P(C|A) = P(C|A \cap B) \quad (4-1)$$

条件付き確率の定義を用いて式(4-1)を変形すると、次式が得られる。

$$P(A \cap B \cap C) = \frac{P(A \cap B) \cdot P(A \cap C)}{P(A)} \equiv \lambda \quad (4-2)$$

式(4-2)の右辺の各項は、総務省消防庁による統計データから推定することができる。また、 $P(A \cap B)$ は温暖化によって上昇すると予想されるが、その将来予測値は本プロジェクトの他サブ課題の研究成果から推定することが可能である。以下、式(4-2)の値を λ とおく。当然のことながら、温暖化によって $P(A \cap B)$ が上昇するとすれば、 λ は大きな値をとる。

救急搬送された心肺停止傷病者（ $A \cap C$ の場合）の死亡確率 $p(t)$ は、総務省消防庁のウツタイン統計データから救急搬送時間 t の関数として推定することができる。また、熱中症にかかり心肺停止状態となって救急搬送される場合とは別に死亡する確率を δ によりまとめる。以上から、任意の個人が死亡する確率 $\nu(t, \lambda)$ は、次のように表すことができる。

$$\nu(t, \lambda) = \delta + \lambda p(t) \quad (4-3)$$

救急搬送時間は熱中症以外の症例により救急搬送される場合の死亡確率にも影響を与えるが、ここでは温暖化による熱中症の適応策として救急搬送時間の短縮を検討することから、救急搬送時間の短縮が熱中症で救急搬送される心肺停止傷病者に対してのみ影響があるものとする。したがって、 δ は定数であると仮定し、現時点における死亡確率 ν^0 、熱中症かつ心肺停止状態となり搬送時間される確率 λ^0 、搬送時間 t^0 を利用して、式(4-3)より以下のように定める。

$$\delta \equiv v^0 - \lambda^0 p(t^0) \quad (4-4)$$

式(4-4)を式(4-3)に代入すると、次式が得られる。

$$v(t, \lambda) = v^0 - \lambda^0 p(t^0) + \lambda p(t) \quad (4-5)$$

式(4-5)より、温暖化による λ の上昇は死亡確率を上昇させ、救急搬送時間の短縮による $p(t)$ の低下は死亡確率を低下させることが確かめられる。

次に、死亡確率の変化による被害を定義する。代表的個人について、死亡する場合の効用はゼロ、生存する場合の効用は相対的危険回避度一定の効用関数により表されるものとする。このとき、代表的個人の期待効用は次のように表すことができる。ただし、 c は一人当たりの消費額、 θ は相対的危険回避度を表す。

$$Eu = (1 - v(t, \lambda)) \frac{c^{1-\theta} - 1}{1-\theta} \quad (4-6)$$

等価変分概念に基づき、 (t^0, λ^0) が任意の (t, λ) に変化することによる被害（負の等価変分）を $D(t, \lambda)$ とし、以下のように定義する。これは、代表的個人の期待効用レベルで、ある死亡確率の上昇と等価となる所得の減少分を意味している。

$$(1 - v(t^0, \lambda^0)) \frac{(c - D(t, \lambda))^{1-\theta} - 1}{1-\theta} = (1 - v(t, \lambda)) \frac{c^{1-\theta} - 1}{1-\theta} \quad (4-7)$$

これを整理すると、次式が得られる。

$$D(t, \lambda) = c - [1 - f(t, \lambda)] c^{1-\theta} + f(t, \lambda) \quad (4-8)$$

$$f(t, \lambda) = \frac{\lambda p(t) - \lambda^0 p(t^0)}{1 - v^0} \quad (4-9)$$

式(4-8)から温暖化による被害や適応策による便益を計測することができる。適応策を行わない場合の被害額は、温暖化が発現した状態を上付き文字の「1」で表すと、 $D(t^0, \lambda^1)$ となる。一方、温暖化の発現とあわせて適応策がとられた場合の被害額は $D(t^1, \lambda^1)$ となり、適応策の便益は、被害の減少分を表現した $B = D(t^0, \lambda^1) - D(t^1, \lambda^1)$ となる。

(3) ブナ林衰退に対する適応政策の設定と効果分析方法

ブナ林衰退に対する適応政策として、S-8プロジェクトのサブテーマS-8-1(5)によって設定された「植生保護区の拡大」を想定する²⁾。温暖化によりブナ林の潜在生育域が変化するため、現在の保護区が将来の潜在生育域をどの程度カバーするかが重要である。温暖化による潜在生育域と保護区との「ズレ」を保護区の拡大・追加でできるだけ小さくしようという対策、すなわち将来条件下で保護区外となる潜在生育域を保護区に加える方策を適応政策とした。新たな地域を保護区に加える場合が適応あり、従来の保護区を変更しない場合が適応なしである。

そして、サブサブテーマ①で精緻化した温暖化影響経済評価モデル³⁾を用いて本プロジェクトのサブテーマS-8-1(1)(5)から提供された温暖化影響（温暖化または適応策）によるブナ潜在生育域の物理的な変化量を経済的に評価する。ここで、提供されたブナ潜在生育域の物理量は、都道府県

別「2000年現在面積」および都道府県別・代表濃度経路RCPシナリオ別（2.6、4.5、8.5）・気候モデル別（MIROC、MRI、GFDL、HadGEM2-ES）「2081-2100年将来推計面積」であるが、他の温暖化影響項目の経済評価に合わせ、気候モデルについてはMIROCを選択する。

4. 結果及び考察

（1）砂浜侵食に対する適応政策の効果分析結果

図1(9)④-1および図1(9)④-2は、それぞれ2031-2050年および2081-2100年における仮想的な養浜事業の費用便益比を都道府県別に計測したものである。なお、赤色で示されている都道府県は、養浜事業の費用便益比が1を超えることを意味する。2031～2050年における仮想的な養浜事業の費用便益比が1を超える都道府県は、RCP2.6とRCP4.5では見当たらず、RCP8.5では神奈川県が該当する。2081～2100年では、RCP2.6とRCP4.5では神奈川県、大阪府、広島県、佐賀県、熊本県が該当し、RCP8.5ではさらに富山県、和歌山県、岡山県が加わる。

しかし、サブサブテーマ②で述べたように、本研究における事業効果とはレクリエーション利用価値に限定しているため、利用価値と非利用価値を含んだ便益または被害の算定には至っていない。また、砂浜の侵食が進行することで、波浪等による二次被害が多発するといわれており、今回の算定にはその被害を考慮していない。以上より、本研究は砂浜の限定した価値に基づく簡易的なシミュレーションであるため、非利用価値や二次被害等を考慮すると、上記の県以外にも費用対効果が1を超える地域が存在する可能性は十分あることを指摘しておきたい。



図1(9)④-1 2031-2050年における仮想的な養浜事業の費用便益比

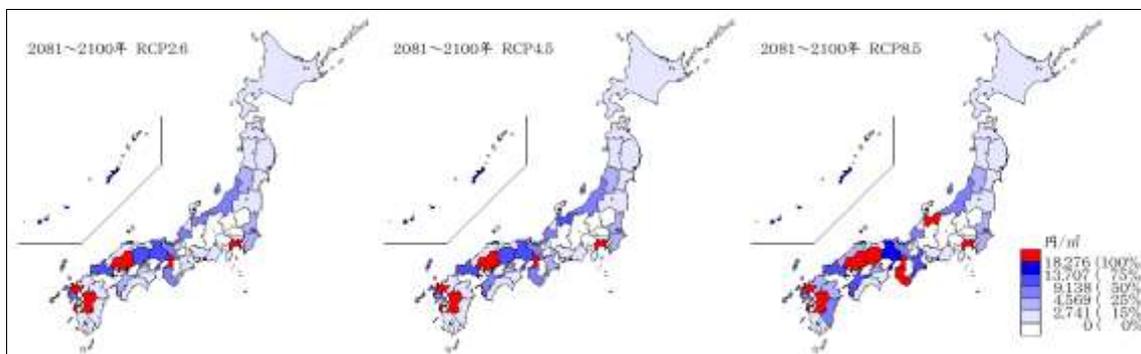


図1(9)④-2 2081-2100年における仮想的な養浜事業の費用便益比

（2）熱中症死亡に対する適応政策の効果分析結果

図 1(9)④-3 および図 1(9)④-4 は、1981-2000 年を基準として、それぞれ 2031-2050 年および 2081-2100 年における「温暖化による熱中症死亡者数増加の年被害」と「適応策による救急搬送時間短縮の年便益」を都道府県別に計測したものである。ただし、熱中症搬送者数以外はデータの入手可能性と整合性から 2008 年時点のものを基準としている。被害額に関しては、いずれの将来時点においても、都市部において大きく、また、北日本であるからといって被害額が相対的に小さいわけではないことがわかる。つねに東京都の被害が最も大きく、2031-2050 年時点では適応策なしの場合 80.3 億円/年、2081-2100 年時点では同 303.4 億円/年である。全国計では、2031-2050 年時点では適応策なしの場合 677.4 億円/年、2081-2100 年時点では同 2525.3 億円/年であり、50 年間で約 4 倍となる。

適応策としては、救急搬送時間を 33 分（2008 年時点の全国平均値）から 23 分に 10 分短縮させる政策を想定した。その便益は、都道府県別に見ると、年間数千万円～数億円程度であり、決して大きくない。全国合計でも、2031-2050 年時点では適応策なしの場合 39.6 億円/年、2081-2100 年時点では同 91.4 億円/年程度である。このことから、コストがかからないソフト面での救急医療体制の整備によって救急搬送時間を短縮することが効率性の観点からは有効であろうと考えられる。ただし、救急搬送時間の短縮が熱中症以外の症例の場合にも便益をもたらすことを考慮すべきであることは言うまでもない。

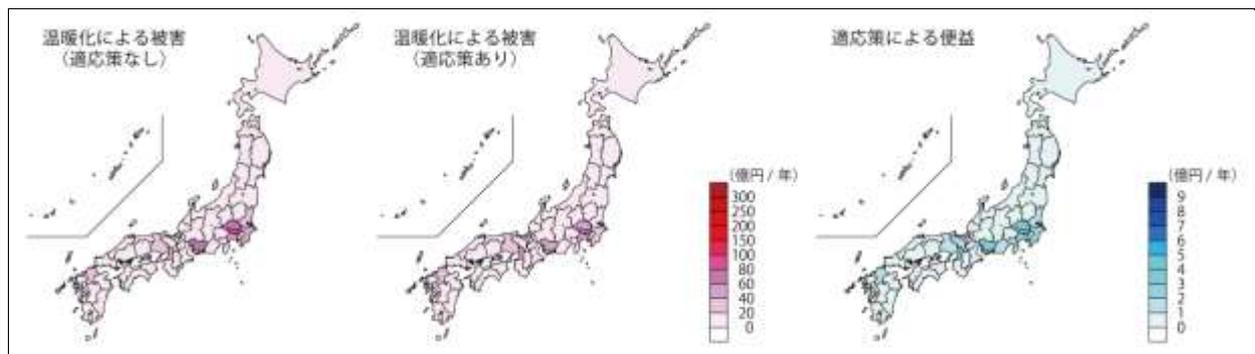


図 1(9)④-3 2031-2050 年における「温暖化による被害」と「適応策による便益」

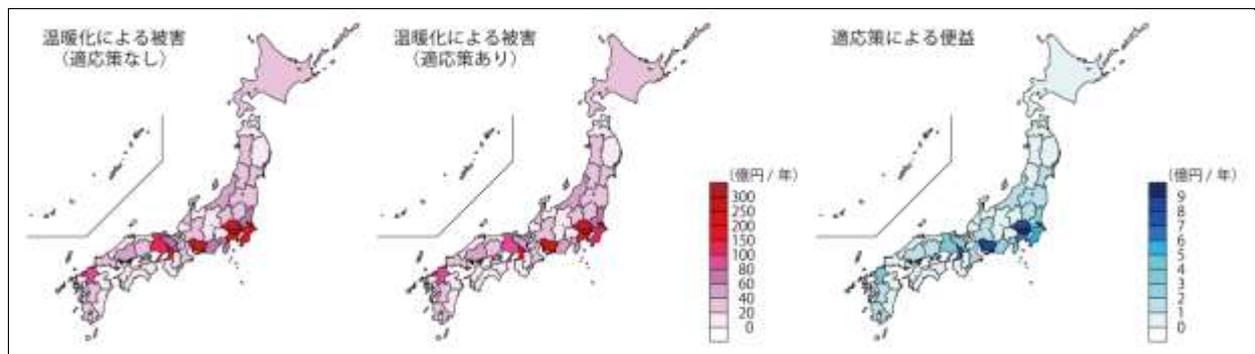


図 1(9)④-4 2081-2100 年における「温暖化による被害」と「適応策による便益」

(3) プナ林衰退に対する適応政策の効果分析結果

適応策による「ブナ林の非利用価値」の年便益（都道府県別・RCP シナリオ別）は図 1(9)④-5 に示すとおりである。便益が最も小さい RCP8.5 シナリオと最も大きい RCP2.6 シナリオを比較す

ると、1,433.0 億円/年～4,017.1 億円/年と算定された。都道府県別に見ると、図 1(9)④-5 より、RCP8.5 シナリオでは北海道（394.7 億円/年）、山形県（160.7 億円/年）、岩手県（153.0 億円/年）の順であるが、RCP2.6 シナリオでは北海道（502.2 億円/年）、山形県（402.8 億円/年）、新潟県（387.3 億円/年）の順であることがわかる。ここで、RCP シナリオ別の「被害の大小関係」と「便益の大小関係」が逆転した理由は、RCP が大きくなるにしたがって温暖化の被害は大きくなるが、適応策の効果は逆に小さくなるためである。

適応策による「白神山地ブナ林のレクリエーション価値」の年便益（都道府県別・RCP シナリオ別）は図 1(9)④-6 に示すとおりである。同様に、RCP8.5 シナリオと RCP2.6 シナリオを比較すると、203.05 億円/年～729.47 億円/年と算定された。都道府県別に見ると、図 1(9)④-6 より、RCP8.5 シナリオでは青森県（86.10 億円/年）、秋田県（56.84 億円/年）、岩手県（14.87 億円/年）の順であり、RCP2.6 シナリオでも青森県（309.32 億円/年）、秋田県（204.20 億円/年）、岩手県（53.42 億円/年）の順であることがわかる。なお、レクリエーション価値については、被害と同様に白神山地の地元で大きな便益が見られるが、訪問者数の多さから東京都（26.17 億円/年）を中心とする関東地方での便益も見逃せない。一方、適応策として想定される「保護区」の考え方が「人間社会からの隔離」であるならば、ブナ林は保健休養機能（レクリエーションの提供など）を失い、その結果としてレクリエーション価値が失われることになる。また、都市的土地利用区域を保護区に指定する場合には土地の機会費用が失われることになる。したがって、適応策の妥当性については、個々の区域における費用便益分析に基づいて判断する必要がある。

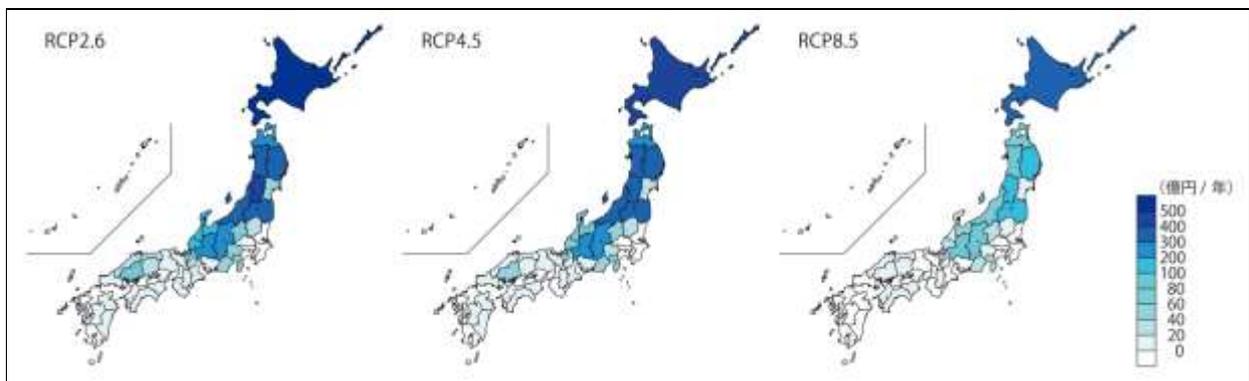


図 1(9)④-5 適応策によるブナ林の非利用価値の年便益（2081-2100 年）

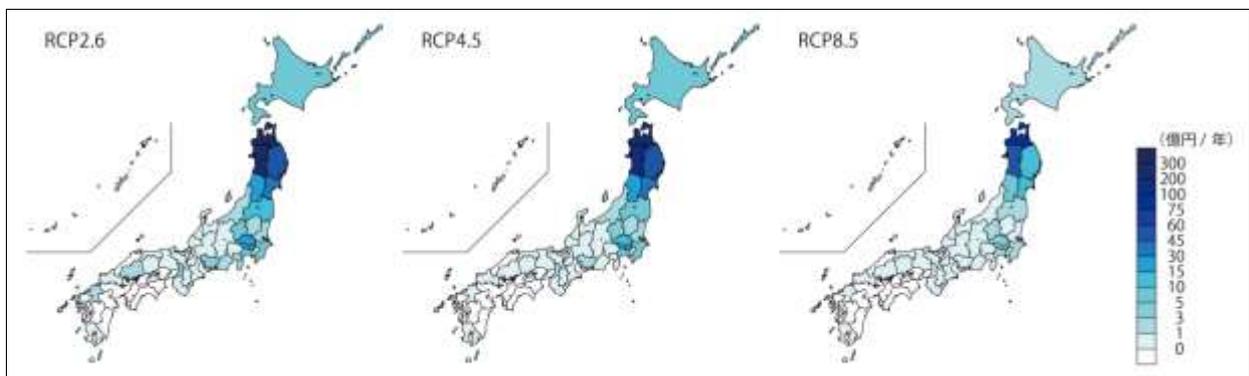


図 1(9)④-6 適応策による白神山地ブナ林のレクリエーション価値の年便益（2081-2100 年）

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

温暖化適応政策は他の社会資本整備事業と同様に費用便益分析の対象となりうるが、その便益計測が必ずしも容易ではなかったが、本研究により砂浜侵食対策・熱中症対策・ブナ林衰退対策の便益計測が容易になった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

公共事業評価の対象となる適応政策の経済評価について、本研究で開発された効果分析方法の活用が見込まれる。

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>

- 1) 西岡秀三、植田和弘、森杉壽芳(監修)、損害保険ジャパン、損保ジャパン環境財団、損保ジャパン日本興亜リスクマネジメント(編著)：気候変動リスクとどう向き合うか：企業・行政・市民の賢い適応、きんざい、70-84 (2014)

「2-4 災害費用をどう見積もるべきか—成長論を適用した新しい定義と計測の提案(執筆担当：森杉壽芳)」

- 2) H. MORISUGI and M. MORISUGI: Proceedings of the 52nd European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 52 (USB Memory), 1-13 (2012)
“Definition and Measurement of Natural Disaster Damage Cost by Ramsey Growth Model”
- 3) H. MORISUGI and N. SAKAMOTO: Proceedings of the 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Ordinary Session, 53 (USB Memory), 1-26 (2013)
“Mortality Risk Reduction Benefit Measurement by Overlapping Generations Model”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 東山洋平、森杉壽芳、福田敦：土木計画学研究・講演集、47 (CD-ROM), 1-7 (2013)
「多地域動学的CGEによる新幹線・高速道路の整備効果の計測」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) H. MORISUGI and M. MORISUGI: The 52nd European Congress of the Regional Science Association International, Bratislava, Slovakia (2012)
“Definition and Measurement of Natural Disaster Damage Cost by Ramsey Growth Model”
- 2) H. MORISUGI and N. SAKAMOTO: The 53rd European Congress of the Regional Science Association International, Palermo, Italy (2013)
“Mortality Risk Reduction Benefit Measurement by Overlapping Generations Model”
- 3) H. MORISUGI and N. SAKAMOTO: 2013年度日本応用経済学会秋季大会 (2013)
“Mortality Risk Reduction Benefit Measurement by Overlapping Generations Model”
- 4) 東山洋平、森杉壽芳、福田敦：第47回土木計画学研究発表会 (2013)
「多地域動学的CGEによる新幹線・高速道路の整備効果の計測」

(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) 佐尾博志、森杉雅史、大野栄治、坂本直樹、中寫一憲、森杉壽芳：土木学会論文集G(環境)、69, 5, I_249-I_257, (2013)
「気候変動による砂浜侵食の地域別被害計測並びに適応政策の検討」
- 2) 森林総合研究所：S-8 地球温暖化「日本への影響」－新たなシナリオに基づく総合的影響予測と適応策－ (2014)
「S-8-1(5) 地球温暖化が日本を含む東アジアの自然植生に及ぼす影響の定量的評価」
- 3) 森龍太、今井海里、大野栄治、森杉雅史：土木学会論文集G(環境)、70, 5, I_31-I_41 (2014)
「温暖化による世界自然遺産への影響分析－仮想行動法によるレクリエーション価値の変化の推計－」

Regional and Sectoral Structure of Benefits and Costs of Climate Change Adaptation Policies

Principal Investigator: Eiji OHNO

Institution: Meijo University
 4-3-3 Nijigaoka, Kani-City, Gifu 509-0261, JAPAN
 Tel: +81-574-69-0132 / Fax: +81-574-69-0155
 E-mail: ohnoeiji@meijo-u.ac.jp

Cooperated by: Tohoku Bunka Gakuen University, University of Hyogo, Japan Research Institute

[Abstract]

Key Words: Flood, Coastal Erosion, Fagus Crenata Forests, Heat Stroke, Recreational Value, Non-use Value, Value of Statistical Life, Contingent Valuation Method, Travel Cost Method, Spatial Computable General Equilibrium

The aim of this research is to investigate regional and sectoral structure of damage costs due to climate change and benefits of adaptation policies with some economic evaluation methods. There are 4 separate fields in this study, namely, Fagus crenata forests, heat stroke, coastal erosion, and flood.

Firstly, to evaluate the use value and the non-use value of native Fagus crenata forests in Shirakami-Sanchi, we have established a model using the CVM which is theoretically consistent with the TCM. The result shows that the non-use value is 1,028 yen/year/visitor, and that the use value is estimated from 2,666 to 11,154 yen/year/visitor.

Secondly, to estimate the damage cost of heat stroke, we have conducted questionnaire which asks citizens' WTP for a hypothetical policy providing reduction of one's mortality risk. The WTP for reducing the mortality risk from the future level (1.0/100,000) to the recent level (0.3/100,000) is 1,592 yen/year/person, while the VSL is 227.42 million yen/person.

Thirdly, by the SCGE model, these seashores are estimated to produce recreational value of 102.81 billion yen/year in consumer's surplus term. Under the climate scenario of MIROC5, about 38% of total coastal area will reduce in 2081-2100. The nationwide damage cost due to coastal erosion in 2081-2100 is estimated between 29.98 billion yen/year (-28.8%) and 48.34 billion yen/year (-46.5%). Additionally, we also evaluate the benefit of hypothetical adaptation policy that is assumed to enable us to bring the coastal condition back to original state with cost of 18,276 yen/m², but only a limited regions show the project efficient in the meaning of B/C.

Fourthly, the SCGE model developed here has been also advanced to the DSCGE

model to evaluate flood damage cost in incident form. Generally speaking, such statistics are estimated in proportion as damage of social assets both of private and public. However, in theoretical study with Ramsey economic growth model, we have found that it is a just physical or direct cost, and that the ultimate cost should be estimated considering the rational household's behavior of deciding their consumption and saving in all one's natural. Therefore, the dynamic flood damage cost is calculated as difference of nation's annual consumption with an effect of global warming and without it, then the values derived here with the DSCGE model are entirely larger than the direct cost.