

課題名 S-8-1(1) 統合評価モデルによる温暖化影響評価・適応政策に関する研究  
課題代表者名 脇岡 靖明 (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  
環境都市システム研究室 室長)

研究実施期間 平成22～26年度  
累計予算額 223,593千円(うち26年度40,511千円)  
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 気候変動、総合影響評価、統合評価モデル、簡易推計ツール、適応、気候シナリオ、  
社会経済シナリオ、ダウンスケーリング

## 研究体制

- (1)温暖化影響評価・適応政策支援のための統合評価モデルの開発(独立行政法人国立環境研究所)
- (2)温暖化影響評価・適応政策支援のための気候シナリオ・社会経済シナリオの開発に関する研究(独立行政法人国立環境研究所)

## 研究概要

### 1. はじめに(研究背景等)

IPCCの第一、第二、第三作業部会の第5次評価報告書が公表され、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おり、国際、政府、自治体の各レベルにおいて低炭素社会・温暖化適応社会の形成が重要課題として挙げられている。しかしながら、大規模な政策の立案・実現に向けては、リスク・対策(特に適応策)に関してより具体的かつ詳細な知見が求められるが、科学がその要求に十分に答え切れていない点も依然として多くある。我が国に関しては、気候安定化目標検討を支援すべく環境省地球環境研究総合推進費戦略的研究プロジェクトS-4「温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究」において複数影響分野に関する総合的な影響評価が実施され一定の役割を果たしたが、適応策の効果に関する定量的分析や、地方レベルよりも詳細な空間スケールでの分析が不足していることなどが指摘されており、研究の高度化が求められるとともに、研究参画機関の有機的連携に支えられた総合的評価が実現できるような工夫が引き続き求められてきた。

### 2. 研究開発目的

温室効果ガス濃度安定化等の気候安定化・温暖化抑制目標とそれを実現するための経済効率的な将来の温室効果ガス排出量、およびその目標下での影響・危険性を総合的に解析・評価するためのモデルである統合評価モデルである“AIM/Impact [Policy]”に、テーマ1(3)-(9)で開発される影響・適応策評価モデルを用いて作成される影響関数を実装し、複数の気候安定化シナリオ下における全国レベルの影響と、その影響を適応策によってどの程度軽減できるかについて定量的に評価する。また、テーマ1(2)-(9)およびテーマ2と連携して自治体レベルで利用可能な温暖化影響の簡易推計ツールを開発し、複数の地域を対象とした影響評価及び適応策の効果の評価を実施する。さらに、サブテーマ1(1)②で開発された社会経済シナリオを統合評価モデルに実装し、これを用いた複数の気候安定化シナリオにおける全国レベルの影響評価及び適応策の効果の評価する。

### 3. 研究開発の方法

#### (1)温暖化影響評価・適応政策支援のための統合評価モデルの開発

本研究では、テーマ1(3)-(9)で開発される影響・適応策評価モデルを用いて作成される影響関数を実装するために、統合評価モデル“AIM/Impact [Policy]”のモジュールや機能を開発・改良すると共に、影響関数の入力情報となる気候シナリオをサブテーマ1(2)から提供され、実装した。また、科学的な影響評価や適応策の検討結果を統一的に実装し、行政の担当者が科学的知見を容易に使えることを目的として、簡易推計ツール“AIM/Adaptation[Policy]”を開発し、サブテーマ1(1)②で開発される共通シナリオ第一版を用いた影響評価結果を実装した。さらに、S-8プロジェクトの目的である、IPCC第5次評価報告書で用いられた気候シナリオを用い、適応策の有無による影響の違いを定量的に評価するために、日本全国を対象として、サブテーマ1(1)②で開発された共通シナリオ第二版を用いて、複数の異なる気候安定化レベルや適応政策に応じた影響量および適応策の定量的な効果の評価する。これは、全国を対象とし、テーマ1(1)および(3)-(9)が連帯した総合的な影響評価・適応策の検討である。

## (2) 温暖化影響評価・適応政策支援のための気候シナリオ・社会経済シナリオの開発に関する研究

プロジェクト開始年(2010年度)にS-8全体で共通に使用できるシナリオを開発する必要があった。そこで、IPCC第5次評価報告書で用いられるシナリオに準拠することを検討したが、開始時点では入手可能な状態ではなかった。そこで、本研究では、EU-WATCHプロジェクトの事例を踏まえ、暫定シナリオを開発して研究を開始し、力学的ダウンスケールデータの公開、日本域メトリクス(気候モデルにおける気候や気象現象の再現性を数値化したもの)の公開、新しい世界シナリオに対応した気候予測情報の公開などに合わせ、順次S-8シナリオを高度化していく方法を選択した。具体的には、S-8プロジェクト実施期間において、プロジェクト全体の研究を牽引するために、プロジェクト前半(2010～2012年度)、後半(2013～2014年度)にそれぞれ共通シナリオ第一版と第二版を開発した。

## 4. 結果及び考察

### (1) 温暖化影響評価・適応政策支援のための統合評価モデルの開発

開発・改良された統合評価モデル“AIM/Impact [Policy]”は、総合的な温暖化影響評価に利用された。共通シナリオ第一版を用いたS-8-1(3)～(8)の影響評価結果を簡易推計ツールでは、利用者が対象とする都道府県を選択し、任意の社会経済シナリオ別の気候シナリオ下における分野別の指標を複数選択する機能、選択した指標の将来影響は、タブから容易に選択して表示する機能、同じ指標で異なる設定の影響結果を並べて表示する機能、を有することにより、その影響がどこでどの程度生じるか視覚的に容易に把握できるものとなった。

S-8-1(3)～(8)と連携し、共通シナリオ第二版を用いた総合影響評価の結果を図1(1)-1～3に示す。得られた結果は以下の通りである。

1) 本研究は、新しい濃度シナリオであるRCPシナリオに基づく体系的な日本への影響予測である。温室効果ガスの濃度パスと気候シナリオに関する共通シナリオを設定して21世紀半ば(2031～2050)と21世紀末(2081～2100)における我が国への影響を予測した。

- ・ 温室効果ガスの濃度は、IPCC第5次評価報告書で用いられている代表的濃度パス(RCP)のうち、RCP2.6、4.5、8.5を用いた。

- ・ 気候シナリオは、それぞれのRCPに対して気温上昇の予測値が低いものから高いものまで含めるようにMRI-CGCM3.0(気象庁気象研究所)、MIROC5(東大大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋開発研究機構)、HadGEM2-ES(英国 気象庁ハドレーセンター)、GFDL CM3(米国 海洋大気庁(NOAA)地球流体力学研究所)の結果を選択した。そのため、もともと温暖化の進むRCP8.5の21世紀末における日本の年平均気温の上昇は、3.8～6.8℃と大きく幅のある数値になっている。今回の研究は、気候モデルによる予測の幅を取り入れている点に特色があるが、気候モデルによって気温上昇(気候変動の程度)に大きく差があることに注意が必要である。今後、我が国の気温上昇に対してより信頼性の高い結果が示されれば、それに合わせて影響の再評価を行う必要がある。

2) 温暖化は21世紀を通じて我が国の広い分野に影響を与えることが改めて予測された。気象災害、熱ストレスなどの健康影響、水資源、農業への影響、生態系の変化などを通じて、①国民の健康や安全・安心、②国民の生活質と経済活動、③生態系分野などに影響が広がる。

- ・ 総合影響評価で示したように、ほとんどの分野で気温上昇とともに負の影響が大きくなる。国民の健康や安全・安心につながる洪水被害、基準期間(1981～2000年)に比べて今世紀末には被害額が3倍程度に増大する可能性がある。また、熱ストレス死亡リスクは、適応策がない場合、年齢階層によらずほぼすべての県において2倍以上のリスクとなる。

- ・ 地域分布が顕著なのは、森林と農業に対する影響である。ハイマツ(寒帯)、シラビソ(亜寒帯)、ブナ(冷帯)の各森林帯の優占種は、潜在生育域を縮小させることが顕著である。潜在生育域から外れる地域で、山頂付近に孤立して分布する個体群は絶滅する可能性が高い。一方、アカガシ(暖温帯)は潜在生育域の拡大に伴い分布域を拡大させる。こうした大規模な森林変化はゆっくりであるが確実に進行し、それに伴う生態系や景観の変化に波及する。コメの生産量(収量)については、適応策を実施することで減収リスクを軽減することが可能である。しかし、収量が増加する地域と減少する地域の偏りが極めて大きくなり、温度上昇に伴い栽培適地、不適地の二極分化が進む可能性が示唆された。

- ・ 講ずべき適応策については検討の途上であるが、気候変動の悪影響を低減する効果がある。一方、気候変動の悪影響を大幅に低減するにはハードとソフト両面での対応が必要である。

3) 気候変動の影響は、気温上昇をはじめ温暖化の程度によって左右される。そのため、世界規模で緩和策が進めば、日本における悪影響も大幅に抑制できる。その場合でも、適応策を講じないとほとんどの分野において現状を上回る悪影響が生じると考えられる。そのため、今後の気候変動リスクに対処するためには、緩和策と適応策の両方が不可欠である。

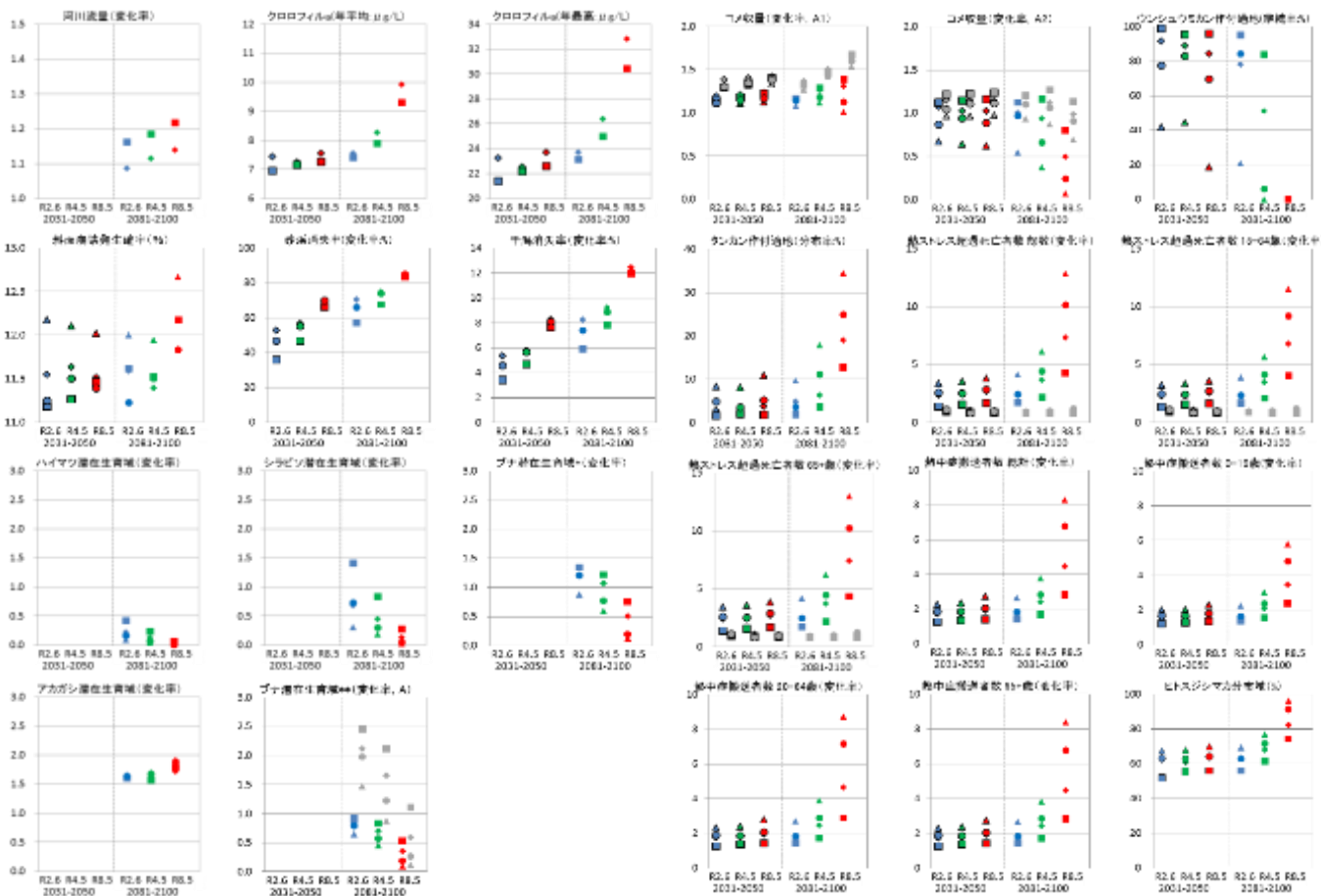


図1(1)-1 RCP別・年代別の温暖化影響  
(全国平均:水資源、沿岸・防災、生態系)

図1(1)-2 RCP別・年代別の温暖化影響  
(全国平均:農業、健康)

R2.6:RCP2.6(青色)、R4.5:RCP4.5(緑色)、R8.5:RCP8.5(赤色)、MIROC5:◆、MRI-CGCM3.0:■、GFDL CM3:▲、HadGEM2-ES:●、A:適応策あり(灰色)、\*潜在生育域全てを対象、\*\*保護区内の潜在生育域のみを対象

R2.6:RCP2.6(青色)、R4.5:RCP4.5(緑色)、R8.5:RCP8.5(赤色)、MIROC5:◆、MRI-CGCM3.0:■、GFDL CM3:▲、HadGEM2-ES:●、A:適応策あり(灰色)

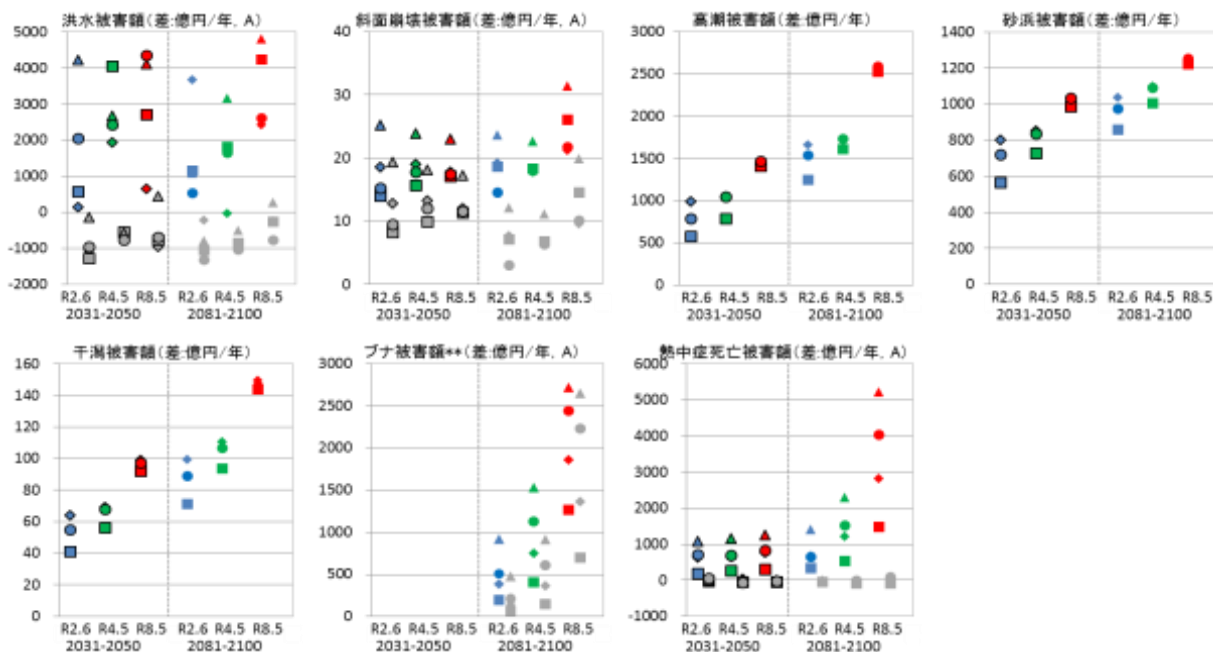


図1(1)-3 RCP別・年代別の温暖化影響(全国平均:被害額)

R2.6:RCP2.6(青色)、R4.5:RCP4.5(緑色)、R8.5:RCP8.5(赤色)、MIROC5:◆、MRI-CGCM3.0:■、GFDL CM3:▲、HadGEM2-ES:●、A:適応策あり(灰色)、\*\*保護区内の潜在生育域のみを対象

## (2) 温暖化影響評価・適応政策支援のための気候シナリオ・社会経済シナリオの開発に関する研究

本研究では、S8プロジェクト全体で共通に使用できる共通シナリオ第一版（プロジェクト前半で利用、CMIP3ベース）及び第二版（プロジェクト後半で利用、CMIP5ベース）を開発した。表1(1)-1にシナリオの詳細（基本情報、規約、サンプルデータの設定）を示す。

表1(1)-1 気候シナリオ第一版、第二版、第二版補遺の関係

		第1版	第2版	第2版補遺
<b>基本情報</b>	空間領域	日本全域	日本全域	日本全域
	空間解像度	3次メッシュ	3次メッシュ	3次メッシュ
	現在期間	1981-2000	1981-2000	1981-2000
	将来期間	2031-2050 2081-2100	2031-2050 2081-2100	2081-2100
<b>規約</b>	現在気候データ	アメダスメッシュ化データ	アメダスメッシュ化データ	アメダスメッシュ化データ
	排出シナリオ	SRES A1B	RCP 2.6, 4.5, 8.5	RCP4.5
	気候モデル	MIROC3.2hires MRI-CGCM2.3.2 GFDL CM2.1 CSIRO MK3.0	MIROC5 MRI-CGCM3 GFDL CM3 HadGEM2-ES	MIROC5を境界条件にしたWRFによる力学的DS
<b>サンプルデータの設定</b>	空間内挿	線形内挿	線形内挿	線形内挿
	バイアス補正	スケーリング法	スケーリング法	累積分布関数法
	時間解像度	月	月	日

開発された共通シナリオ第一版・第二版はS-8プロジェクト全体で利用され、日本で初めて、全国を対象として複数分野を対象とした適応策有無まで考慮した影響評価の実施を成功に導いた。

## 5. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

温暖化影響評価・適応政策支援のための簡易推計ツールの開発に成功したことで、これまで第三者の利用が困難であった科学的知見を、行政担当者が任意に確認・利用できることが可能になった。また、CMIP5を利用して、複数の異なる気候安定化レベルや気候シナリオの不確実性を考慮して、全国における複数分野の温暖化影響量および適応策の定量的効果を検討するために、プロジェクト全体として総合影響評価の実施を先導し取り纏めて得られた成果は、日本初の科学的知見であり、世界でも類を見ないものである。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

中央環境審議会（地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会）で作成された「日本における気候変動による影響に関する評価報告書（案）」の中で、研究成果が多数引用された。また、「適応計画」策定に向けたわが国における気候変動影響評価情報を整備することを目的とした環境省の「平成26年度気候変動への理解のための気候変動による将来影響の予測等実施委託業務」における気候変動による将来影響の予測計算に貢献した。さらに、環境省九州環境事務所九州・沖縄地方の地球温暖化影響・適応策検討委員会並びに九州・沖縄地方の地球温暖化影響・適応策検討調査にかかる地域WG、長野県地球温暖化対策戦略検討会の適応策検討において、本研究の成果である簡易推計ツールの目的と機能を提示し、利用してもらうことで科学的知見を取り込んだ適応策立案の検討に貢献した。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

三重県、埼玉県、福岡県、石川県、兵庫県、長崎県、福島県、京都市などの地方自治体から、県別の総合影響評価の結果提供の依頼があり対応した。2015年の夏、我が国の適応計画が公表されることも受け、今後、研究成果が、各自治体の適応計画を強力に支援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) 川越清樹、肱岡靖明、高橋潔：地球環境研究論文集,18,29-36 <平成23年度地球環境論文賞受賞> (2010).「温暖化政策支援モデルを用いた気候変動に対する斜面崩壊影響評価」
- 2) 山本隆広、花崎直太、高橋潔、肱岡靖明、申龍熙：土木学会論文集G(環境),67(5),1-8 <平成24年度地球環境論文賞受賞> (2011).「地球温暖化による世界の水資源影響評価とその適応策に関する一考察」
- 3) 肱岡靖明、岡和孝、高野真之、吉川実、市橋新：土木学会論文集G(環境),67(6),II\_183-II\_192 (2011).「温暖化適応策推進に資する既存施策の検討—東京都を例として—」
- 4) 申龍熙、高橋潔、花崎直太、肱岡靖明：土木学会論文集G(環境),68(5),I\_159-I\_169 <平成25年度地球環境論文賞受賞> (2012).「日本域付近の気候予測—CMIP3気候シナリオとCMIP5気候シナリオの比較—」
- 5) 花崎直太、高橋潔、肱岡靖明：環境科学会誌, 25(3), 223-236(2012).「日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・社会経済シナリオ」
- 6) 有賀敏典、松橋啓介：都市計画論文集, 47(3), 745-750 (2012).「地域内人口分布の偏在化・均一化シナリオ構築手法の開発—国勢調査3次メッシュデータを用いて—」

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 高橋潔：環境情報科学, 43(3), 21-27 (2014).「気候変動の影響と脆弱性に関する最新知見について」

### (2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 肱岡靖明、岡和孝、高野真之、吉川実、市橋新：第39回環境システム研究論文発表会(2011).「温暖化適応策推進に資する既存施策の検討—東京都を例として—」
- 2) 申龍熙、高橋潔、花崎直太、肱岡靖明：地球環境シンポジウム第20回(2012).「日本域付近の気候予測—CMIP3気候シナリオとCMIP5気候シナリオの比較—」
- 3) 高橋潔、花崎直太、肱岡靖明：日本地球惑星科学連合2014年大会(2014).「日本全域を対象地域とした温暖化影響の総合評価のための共通シナリオの開発について」

## 7. 研究者略歴

課題代表者：肱岡 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

研究分担者

- 1) 原澤 英夫  
東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、工学博士、現在、国立環境研究所理事
- 2) 増井 利彦  
大阪大学大学院工学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統合評価モデリング研究室室長
- 3) 金森 有子  
京都大学大学院工学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統合評価モデリング研究室主任研究員
- 4) 高橋 潔  
京都大学工学部卒業、博士(工学)、現在、国立環境研究所社会環境システム研究センター統合評価モデリング研究室主任研究員
- 5) 花崎 直太  
東京大学大学院工学研究科博士課程修了、博士(工学)、現在、国立環境研究所地球環境研究センター—気候変動リスク評価研究室主任研究員
- 6) 岡川 梓  
大阪大学大学院経済学研究科博士課程、博士(経済)、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経済・政策研究室研究員
- 7) 松橋 啓介  
東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、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経済・政策研究室室長

## 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

### (1) 統合評価モデルによる温暖化影響評価・適応政策に関する研究

#### ① 温暖化影響評価・適応政策支援のための統合評価モデルの開発

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター	環境都市システム研究室	脇岡 靖明
理事		原澤 英夫
社会環境システム研究センター	統合評価モデリング研究室	増井 利彦・金森 有子

平成22(開始年度)～26年度累計予算額：119、298千円

(うち、平成26年度予算額：25、808千円)

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

IPCCの第一、第二、第三作業部会の第5次評価報告書が公表され、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おり、国際、政府、自治体の各レベルにおいて低炭素社会および温暖化適応社会の形成が重要課題として挙げられている。本研究では、環境省環境研究総合推進費S-8“温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究”プロジェクト(以後、S-8プロジェクト)を総括し、我が国を対象として、サブテーマ1(1)②の開発した複数の共通気候シナリオ下を用いて、テーマ1(3)～(9)と協力して、総合的な影響評価および適応策の定量的効果に関する解析を実施し、気候変動による日本への影響の全体像を把握した。結果、温暖化は21世紀を通じて我が国の広い分野に影響を与えることが改めて予測された。具体的には、気象災害、熱ストレスなどの健康影響、水資源、農業への影響、生態系の変化などを通じて、1) 国民の健康や安全・安心、2) 国民の生活質と経済活動、3) 生態系分野などに影響が広がることを明らかにした。

#### [キーワード]

気候変動、総合影響評価、統合評価モデル、簡易推計ツール、適応

### 1. はじめに

IPCCの第一、第二、第三作業部会の第5次評価報告書が公表され、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おり、国際、政府、自治体の各レベルにおいて低炭素社会・温暖化適応社会の形成が重要課題として挙げられている。しかしながら、大規模な政策の立案・実現に向けては、リス

ク・対策（特に適応策）に関してより具体的かつ詳細な知見が求められるが、科学がその要求に十分に答え切れていない点も依然として多くある。我が国に関しては、気候安定化目標検討を支援すべく環境省地球環境研究総合推進費戦略的研究プロジェクトS-4「温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究」において複数影響分野に関する総合的な影響評価が実施され一定の役割を果たしたが、適応策の効果に関する定量的分析や、地方レベルよりも詳細な空間スケールでの分析が不足していることなどが指摘されており、研究の高度化が求められるとともに、研究参画機関の有機的連携に支えられた総合的評価が実現できるような工夫が引き続き求められてきた。

## 2. 研究開発目的

温室効果ガス濃度安定化等の気候安定化・温暖化抑制目標とそれを実現するための経済効率的な将来の温室効果ガス排出量、およびその目標下での影響・危険性を総合的に解析・評価するためのモデルである統合評価モデルである“AIM/Impact [Policy]”に、テーマ1(3)-(9)で開発される影響・適応策評価モデルを用いて作成される影響関数を実装し、複数の気候安定化シナリオ下における全国レベルの影響と、その影響を適応策によってどの程度軽減できるかについて定量的に評価する。また、テーマ1(2)-(9)およびテーマ2と連携して自治体レベルで利用可能な温暖化影響の簡易推計ツールを開発し、複数の地域を対象とした影響評価及び適応策の効果の評価を実施する。さらに、サブテーマ1(1)②で開発された社会経済シナリオを統合評価モデルに実装し、これを用いた複数の気候安定化シナリオにおける全国レベルの影響評価及び適応策の効果の評価する。

## 3. 研究開発方法

### （1）温暖化影響評価・適応政策支援のための統合評価モデルの開発・改良

本研究では、テーマ1(3)-(9)で開発される影響・適応策評価モデルを用いて作成される影響関数を実装するために、統合評価モデル“AIM/Impact [Policy]”のモジュールや機能を開発・改良すると共に、影響関数の入力情報となる気候シナリオをサブテーマ1(2)から提供され、実装した。

### （2）温暖化影響評価・適応政策支援のための簡易推計ツールの開発

影響評価や適応策の検討結果は、国や自治体の適応政策を推進するために欠かせない科学的知見であり、研究成果の利用を求める要望は非常に多い。行政の担当者は、関連する分野・指標すべての知見を用いて総合的な施策を立案する必要があるため、可能な限り多用な知見の入手が不可欠となる。しかしながら、複数の研究者から情報を入手しなくてはならない場合、①入手にかかるやりとりや手間が非常に煩雑になる、②基準期間や影響評価期間、使用している社会経済シナリオ・気候シナリオが知見によって異なると、それらを総合的に評価することが困難となる、といった問題点がある。そこで、科学的な影響評価や適応策の検討結果を統一的に実装し、行政の担当者が科学的知見を容易に使えることを目的として、簡易推計ツール“AIM/Adaptation[Policy]（以後、AAP）”を開発した。さらに、サブテーマ1(1)②で開発される共通シナリオ第一版を用いた影響評価結果を実装した。実装された影響評価指標を表1(1)①-1に示す。共通シナリオ第二版を用いた影響評価結果に関しては、以下の2点の理由により、実装を断念した。①影響評価結果はシェープファイル形式で格納するため、ArcGIS等の有償のGISソフトを用

いて閲覧する必要があり、購入費用や操作が容易でない、②利用者によっては、シェープファイル形式のような数値データを必要とせず、図のみの利用で十分な場合もある

表1(1)①-1 共通シナリオ第一版を用いた影響分野・指標一覧

分野	指標	計算期間	気候シナリオ	気候パラメータ	空間解像度
水資源	SS土砂生産量 (年間, 9月)	2031-2050, 2081-2100	MIROC3.2hires, MRI-CGCM2.3.2	月降水量	2次メッシュ
	クロロフィルa	2031-2050, 2081-2100	MIROC3.2hires	日平均気温, 日射量, 日平均風速, 日平均湿度, 日平均雲量	地点
防災	洪水被害額 洪水浸水深さ	2081-2100 <sup>1</sup>	MIROC3.2hires, MRI-CGCM2.3.2, CSIRO-MK3.0, GFDL CM2.1	年最大日降水量	3次メッシュ
	斜面崩壊発生確率				
	砂浜侵食 (面積, 被害額, 汀線)	21世紀末	MRI-CGCM2.3.2, MRI-NPOGCM	海面上昇量	県別
森林生態系	ブナ, ミズメ, アカシデ, イヌシデ, エノキ, オヒョウ, ケヤキ, スズタケ, チシマザサ, チマキザサ, ハイマツ, ミヤコザサ	2081-2100	MIROC3.2hires, MRI-CGCM2.3.2, CSIRO-MK3.0, GFDL CM2.1	暖かさの指数, 最寒月最低気温, 夏期降水量, 冬期降水量, 最大積雪水量, 冬期降雨量	3次メッシュ
農業	コメ収量(15種) <sup>2</sup>	2031-2050, 2081-2100	MIROC3.2hires, MRI-CGCM2.3.2, CSIRO-MK3.0, GFDL CM2.1	日平均気温, 日射量	2次メッシュ
	みかん適域			年平均気温	3次メッシュ
	タンカン適域				
健康	熱ストレス死亡リスク	2081-2100 <sup>1</sup>	MIROC3.2hires, MRI-CGCM2.3.2, CSIRO-MK3.0, GFDL CM2.1	日最高気温	県別
	熱中症搬送数				
	ヒトスジシマ蚊 分布可能域	2031-2050, 2081-2100		年平均気温	3次メッシュ

<sup>1</sup> 日別気候シナリオ作成に必要な2031~2051年の日別GCMが提供されていないため

<sup>2</sup> コメ15種: あいちのかおり, あきたこまち, あさひの夢, はえぬき, ヒノヒカリ, ひとめぼれ, ほしのゆめ, キヌヒカリ, きらら397, コシヒカリ, こしいぶき, まっしぐら, ななつぼし, つがるロマン, 夢つくし

### (3) 総合的な温暖化影響評価の実施

S-8プロジェクトの最終目的である、IPCC第5次評価報告書で用いられた気候シナリオを用い、適応策の有無による影響の違いを定量的に評価するために、日本全国を対象として、サブテーマ(1)②で開発された共通シナリオ第二版を用いて、複数の異なる気候安定化レベルや適応政策に応じた影響量および適応策の定量的な効果を評価する。これは、全国を対象とし、テーマ1(1)および(3)-(9)が連帯した総合的な影響評価・適応策の検討である。

#### 1) 総合影響評価：影響指標

全国を対象とした影響評価を実施した分野・指標を表1(1)①-2に示す。対象とした分野および指標は次の通り。水資源(水量: 河川流量、水質: クロロフィルa)、沿岸・防災(洪水氾濫: 洪水被害額、土砂災害: 斜面崩壊発生確率、斜面崩壊被害額、高潮災害: 高潮被害額、沿岸侵食: 砂浜消失率、砂浜被害額、干潟消失率、干潟被害額)、生態系(自然植生: ハイマツ潜在生育域、シラビソ潜在生育域、ブナ潜在生育域、ブナ被害額、アカガシ潜在生育域)、農業・食料生産(コメ: 収量、果樹: ウンシュウミカン作付適地継続率、タンカン作付適地)、健康(暑熱: 熱ストレス超過死亡者数、熱中症死亡被害額、熱中症搬送者数、感染症: ヒトスジシマカ分布域)。これらの指標は、テーマ1(3)-(9)の研究対象と基本的に同じである。



表1(1)①-2 共通シナリオ第二版を用いた影響分野・指標一覧

分野	指標 <sup>1</sup>	全国	県別	計算期間	GCM	気候パラメータ	
気候	年平均気温	基準期間からの差		2031-2050 2081-2100	MIROC5 MRI-CGCM3.0 GFDLCM3 HadGEM2-ES		
	年降水量	基準期間からの比					
	海面上昇量	基準期間からの差	なし				
水資源	河川流量 <sup>2</sup>	基準期間からの比	流域別	2031-2050 2081-2100	MIROC5 MRI-CGCM3.0	月降水量、月平均気温、月平均比 湿、月平均短波放射、月平均長波 放射、月平均気圧、月平均風速	
	クロロフィルa(年平均)	数値(μg/L)	ダム湖別			MIROC5 MRI-CGCM3.0	日平均気温、日照射量、日平均風 速、日平均湿度、日平均雲量
	クロロフィルa(年最高)						
沿岸・ 防災	洪水被害額(A)	基準期間からの差	基準期間 からの比	2031-2050 2081-2100	MIROC5 MRI-CGCM3.0 GFDL CM3 HadGEM2-ES	年最大日降水量 <sup>3</sup>	
	斜面崩壊発生確率	絶対値(%)	絶対値(%)				
	斜面崩壊被害額(A)	基準期間からの差	基準期間 からの比				
	高潮被害額	基準期間からの差	なし			MIROC5 MRI-CGCM3.0 HadGEM2-ES	海面上昇量 高潮増大率 (2031-2050:1.15、2081-2100: 1.3)
	砂浜消失率	消失率(%)					
	砂浜被害額	基準期間からの差					
	干潟消失率 <sup>4</sup>	消失率(%)					
干潟被害額 <sup>4</sup>	基準期間からの差						
生態系	ハイマツ潜在生育域	基準期間からの比	メッシュ 数	2081-2100	MIROC5 MRI-CGCM3.0 GFDL CM3 HadGEM2-ES	暖かさの指数、最寒月最低気温、 夏期降水量、冬期降水量、最大積 雪水量、冬期降雨量	
	シラビソ潜在生育域	基準期間からの比					
	ブナ潜在生育域*	基準期間からの比					
	ブナ潜在生育域**(A)						
	ブナ被害額**(A)	基準期間からの差					
	アカガシ潜在生育域	基準期間からの比	メッシュ 数				
農業	コメ収量(A1、A2)	基準期間からの比	基準期間 から比 県内の比 率 <sup>5</sup>	2031-2050 2081-2100	MIROC5 MRI-CGCM3.0 GFDL CM3 HadGEM2-ES	日平均気温、日照射量	
	ウンシュウミカン作付適地 継続率	全国の比率 <sup>5</sup>				県内の比 率 <sup>5</sup>	年平均気温、年間の最低気温
	タンカン作付適地						
健康	熱ストレス超過死者数 (A)	基準期間からの比 <sup>7</sup>	全国的比率 県内の比 率	2031-2050 2081-2100	MIROC5 MRI-CGCM3.0 GFDL CM3 HadGEM2-ES	日最高気温	
	熱中症死亡被害額 <sup>6</sup> (A)	基準期間からの差 <sup>7</sup>					
	熱中症搬送者数	基準期間からの比					
	ヒトスジシマカ分布域	全国的比率					

<sup>1</sup>適応策を検討している指標は(A)と表示、<sup>2</sup>2091-2100を対象、<sup>3</sup>洪水被害は50年に1回生じる雨より小さい場合には被害額ゼロ、斜面崩壊は50mm/日以下の場合には被害が生じないと仮定、<sup>4</sup>伊勢湾、三河湾、東京湾、八代海、有明海の9つの干潟を対象、<sup>5</sup>全国/県内における作付適地の割合、<sup>6</sup>熱ストレス超過死亡に含まれる熱中症による死亡被害額、<sup>7</sup>2010年人口を基準値、\*潜在生育域全てを対象、\*\*保護区内の潜在生育域のみを対象

## 2) 総合影響評価：適応策の設定

適応策の効果を定量的に評価した指標は、洪水被害額、斜面崩壊被害額、ブナ潜在生育域・ブナ被害額、コメ収量、熱ストレス超過死者数・熱中症死亡被害額の5つである。

洪水被害：大都市圏の1級河川は、70年から100年に一回降る大雨に対応して整備されているが、地方の1級河川や都市部の2級河川以下は30年から50年に一回、地方の2級河川は10から30年、都市部でも2級以下、普通河川や準用河川は10年程度に一回降る大雨に対応した整備レベルとなっている。本研究では、この平均的なレベルとして、現状の防護レベルを50年に一回生じる最大洪水流量とし、将来、適応策を実施した場合の防護レベルを現状の70年に一回生じる最大洪水流量と設定した。現状および適応策の防護レベルは全国一律と仮定している。

斜面崩壊：土砂災害に関しては、2000年に公布された「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」より、土砂災害のおそれがある土地の区域を明らかにし、その区

域における警戒避難体制の整備や土砂災害特別警戒区域における特定開発行為の制限を行う等の土砂災害防止対策の推進が進められている。本研究では、緊急的整備を必要としている土砂災害警戒区域から人家等への甚大な被害が見込まれている土砂災害危険箇所まで適用範囲を拡張させ、計画安全率までの対策整備を実施する、もしくは開発行為制限、および社会機能を移転させることに基づいた適応策を計100年間で継続実施することを設定した。具体的には、現況の土砂災害危険箇所について、50年後に25%、100年後に50%の対策、施策整備を講じると仮定した。これは、整備率について現況までの直轄砂防指定地域における対策整備レベルの対策を考慮した平均的整備率(0.5%/年)としている。ただし、この整備率も直轄砂防指定地域の結果であるため、全国一律で整備を進めるには相当な整備強化が必要になるものと予想される。

ブナ潜在生育域：植生保護の適応策として保護区の拡大を想定した。本研究では、温暖化により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策とする。新たな地域を保護区に加える場合が適応策あり、従来の保護区を変更しない場合が適応策なしである。

コメ収量：本研究では、適応策なしのケースでは、現行移植日が将来にわたって一定と仮定している。一方、適応策ありのケースでは移植日の移動を想定し、二種類の分析を行った。品質に関わりなく収量のみに着目した「適応A1」では、将来、最多収量を得る移植日による算定収量を示している。品質低下抑制に着目した「適応A2」では、高温による品質低下を抑制しつつ収量が多くなるような移植日を最適移植日とし、それに基づいて算定した収量となっている。この場合、収量を増加させることはできるが品質低下リスクが高くなる場合には、その時の移植日を採用せず、収量が低くなっても高温による品質低下が回避できる移植日を採用している。

熱ストレス超過死亡者数：本研究では、現状の至適気温が将来にわたって一定の場合を適応策なし、温暖化に伴い至適気温が変化する場合を適応策あり（100%適応）と設定した。人間集団は平均気温の上昇に伴って徐々に集団的に適応し至適温度も上昇するが、この生理的適応には時間がかかるので、実際には100%適応することはあり得ない。そのため、適応策あり（100%適応）の結果は生理的適応による影響の下限を表すものである。

#### 4. 結果及び考察

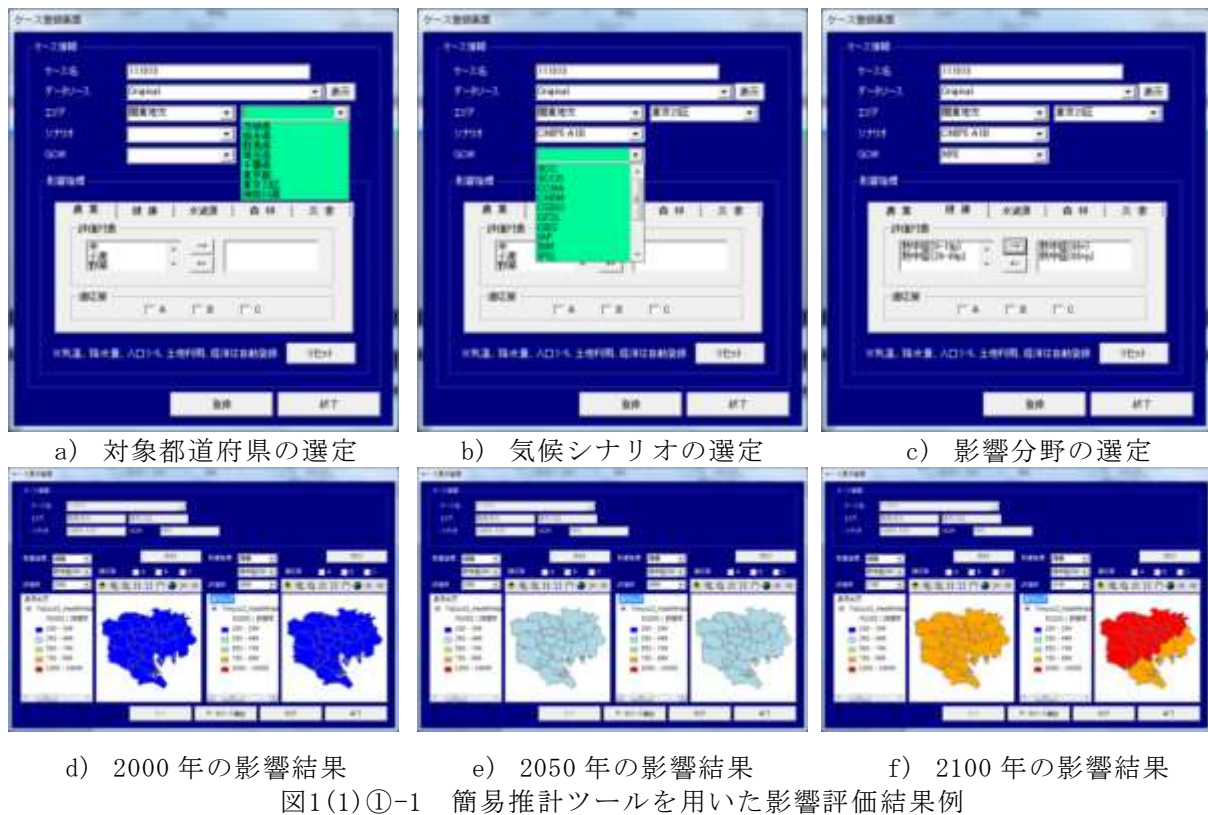
##### (1) 温暖化影響評価・適応政策支援のための統合評価モデルの開発・改良

開発・改良された統合評価モデル“AIM/Impact [Policy]”は、(3)で示す総合的な温暖化影響評価に利用された。結果は(3)に示す。

##### (2) 温暖化影響評価・適応政策支援のための簡易推計ツールの開発

共通シナリオ第一版を用いたS-8-1(3)～(8)の影響評価結果を簡易推計ツールに実装した結果例（東京都を対象とした熱中症搬送数の影響評価）を図1(1)①-1a)～f)に示す。利用者は対象とする都道府県を選択し、任意の社会経済シナリオ別の気候シナリオ下における分野別の指標を複数選択することができる。選択した指標の将来影響は、タブから容易に選択して表示することが可能である。図(1)①-1d)～f)に示すように、同じ指標で異なる設定（人口が現状固定の場合と

将来変化する場合)の影響結果を並べて表示することにより、その影響がどこでどの程度生じるか視覚的に容易に把握できる。



### (3) 総合的な温暖化影響評価の実施

図1(1)①-1(a)、(b)、(c)にRCP・年代別の影響予測の結果、図1(1)①-2に基準年からの気温上昇量に対応した影響予測の結果を示す。図(1)①-2では、気候変動の横軸に気温上昇をとっているが、影響予測には、それぞれの気温上昇における降雨変化や海面上昇なども併せて用いている点に留意する必要がある。

河川流量：温暖化に伴う将来の植生分布も考慮した結果、降水量の増加に伴い、21世紀末には約1.1-1.2倍増加すると見積もられた。

クロロフィルa：水質悪化を表す指標であるクロロフィルaの濃度は、年平均値が $8\mu\text{g/L}$ 、年最高値が $25\mu\text{g/L}$ を超えると富栄養化に分類される。RCP4.5および8.5の21世紀末では、富栄養化が全国的に進み、特にRCP8.5シナリオ下においては、年平均値が約 $9\text{--}10\mu\text{g/L}$ 、年最高値が約 $30\text{--}33\mu\text{g/L}$ に悪化することが示された。また、濃度は気温上昇に対してほぼ線形に増加することが示された。

洪水被害額：適応策なしの場合、将来増加することが見込まれるが、GCM間での差が大きい。21世紀中頃には、RCP2.6、4.5、8.5で、それぞれ135-4211億円/年、1921-4045億円/年、635-4352億円/年、21世紀末にはRCP2.6、4.5、8.5でそれぞれ、520-3660億円/年、-30-3153億円/年、2416-4809億円/年の増加が見込まれる。国土交通省の平成23年水害統計調査に基づいて試算すると、本研究の基準期間（1981-2000年）の年平均洪水被害額は2000億円程度であり、今世紀末には被害額が基

準年から3倍程度、現在（2013年頃）から2倍程度に増大する可能性がある。気温上昇との関係では明確な傾向が示されていないものの、1-2℃の上昇でも大きな被害の増加が生じる可能性が示された。適応策ありの場合では、現状と比べて被害が軽減すると見込まれた。現在の被害との差分が負の値を示すのは、70年に1回生じる最大洪水流量に治水レベルを上げると現状よりも被害額が減るからである。ただし、全国で治水レベルを引き上げるには長い時間と莫大な投資が必要であり、気候変動の進展に合わせて治水安全レベルを向上させるのは簡単ではないと予想される。洪水への適応策に必要なコストに関する研究は今後の課題である。さらに、本研究の洪水予測は年最大日降雨量に基づいており、短時間に集中する極端な降雨は十分に再現されていない。よって、こうした極端な降雨による洪水被害が今回の予測を上回る可能性があることにも注意が必要である。

斜面崩壊：温暖化に伴って発生確率はなだらかに増加する。被害額は、21世紀末のRCP8.5シナリオ下において最も増加する（21-31億円/年）ことが示された。気温上昇に対しては、影響評価モデルの入力データとなる気候パラメータが年最大日降水量であるが、1-3℃の気温上昇でも大きな被害が生じる可能性が示された。適応策ありの場合では、現状と比べて被害が軽減すると見込まれた。しかしながら、設定した整備率は直轄砂防指定地域の結果であるため、全国一律で整備を進めるには相当な整備強化が必要になるものと予想される。

高潮被害額：海面上昇と台風強度の上昇に伴って被害が増大し、最も深刻な被害が生じると見込まれる21世紀末のRCP8.5では、約2526-2592億円/年増加することが示された。

砂浜・干潟消失：21世紀末のRCP8.5のケースで、砂浜と干潟の消失率はそれぞれ約83-85%、約12%と見積もられた。被害額に関しても21世紀末のRCP8.5において最も深刻な被害（砂浜：1222-1251億円/年、干潟：144-150億円/年）が生じると示された。

森林の潜在生育域：ハイマツ、シラビソ、ブナの潜在生育域は、現在気候に比べ、RCP2.6（GFDL CM3）のシラビソを除き、3つのRCPシナリオすべてにおいて減少する。21世紀末のRCP8.5における潜在生育域は、現状比でそれぞれ約0.00-0.07、約0.02-0.28、約0.10-0.53倍に大幅に減少する（ブナは適応策なしの場合）。一方、暖温帯性のアカガシの潜在生育域は、現在気候に比べ3つのRCPで増加傾向を示し、21世紀末のRCP8.5では、約1.7-1.9倍に増加する。ブナの潜在生育域は、適応策（保護区の拡大）の効果があつた（適応策の検証では現在の潜在生育域が拡大しないと仮定）。RCP2.6、4.5では、適応策の効果により、被害額を少なく抑えることができる（RCP2.6・適応策なし：194-920億円/年、RCP2.6・適応策あり：64-479億円/年、RCP4.5・適応策なし：406-1532億円/年、RCP4.5・適応策あり：149-916億円/年）。しかし、RCP8.5では適応策の効果は低下し、適応策なしとの差が小さくなる（適応策なし：1266-2719億円/年、適応策あり：701-2650億円/年）。温度上昇に対する適応策の効果を見た場合においても同様の傾向が見られる。気温上昇が5℃未満の場合は、適応策を行うことで被害額を少なく抑えることができるが、5℃を超えると適応策の有無に関わらず被害額は同程度になる。これは、平均気温が5℃を超えるとブナの生息域自体がほとんどなくなるためである。

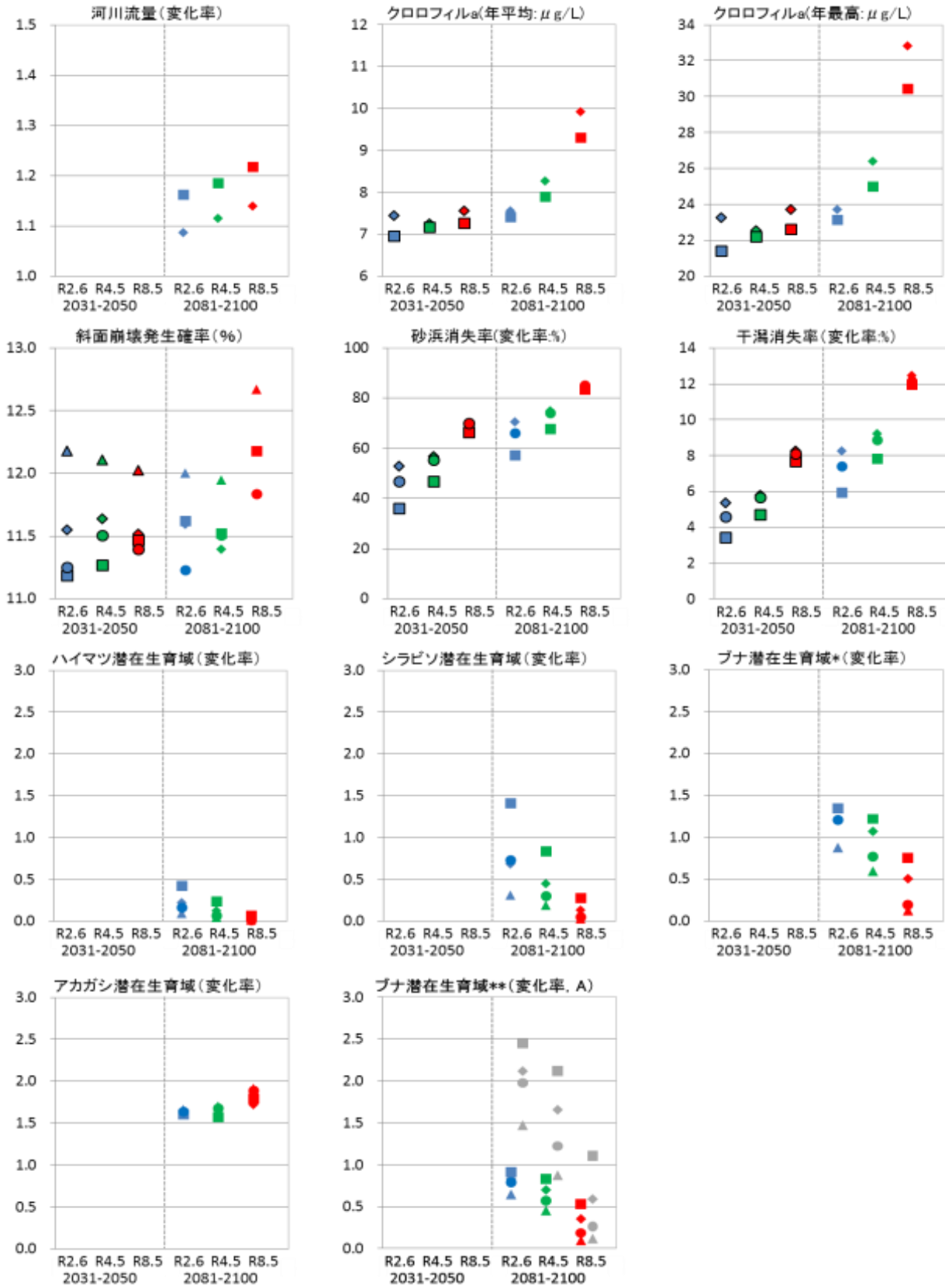
コメ収量：品質を考慮せず収量のみに着目した場合、現行移植日（適応A1なし）でも、RCPによらず微増か変化がほとんどない（21世紀半ば：1.1-1.2倍、21世紀末：1.0-1.4倍）。一方、各年代で収量を最大にする移植日を採用すると（適応A1）、使用したほとんどの気候シナリオにおいて、現行移植日（適応A1なし）よりも全生産量（収量の全国集計値：収量×作付面積）を増加さ

せることができる（21世紀半ば：1.3-1.4倍、21世紀末：1.3-1.7倍）。さらに、品質を重視し、各年代で高温による品質低下リスクが低く且つ可能な限り高収量となる移植日を採用した場合（適応A2）、全生産量（ここでは品質低下リスクの高い収穫物を除いて集計している）の算定値は気候シナリオにより幅や不確実性が大きい。しかしながら、現行移植日（適応A2なし）の場合と比較して、温度上昇に伴う全生産量減少を抑制することができる。ただし、コメの収量（生産量）には大きな変化がないとしても、生産地の分布が北上することから地域ごとの影響には大きな差が生まれる。また、コメの適応策には、他に高温耐性のある品種の導入や水供給、病虫害対策などがあるが、それらを含めた総合的適応策の評価は今後の課題である。

ウンシュウミカン・タンカン作付適地：ウンシュウミカンは日本で最も生産量の多い果樹であり、とくに傾斜地など、コメの生産が難しい地域では基幹的な作物の一つである。ウンシュウミカンは、コメと異なり、通常40年ほど継続して栽培されるため、長期間作付の適地であり続ける必要がある。現在のウンシュウミカン作付適地が今後も適地として継続するかをみた作付適地継続率をみると、21世紀半ばにRCPによらず現在比0.7-0.8倍に低下する。21世紀末にはRCPによる差が大きくなりRCP2.6では0.7倍であるが、RCP8.5では0.0となる。これは気温からみた適地であり、実際の産地は適地の中の一部であるものの、適応策や緩和策の進捗が不十分であると、多くの産地がダメージを受けることは明らかである。一方、亜熱帯果樹であるタンカンの作付適地は、現状、国土面積の1%程度であるが、将来大幅に増加していくと見られる（21世紀末・RCP8.5:13-34%）。気温上昇に対する傾向としては、ウンシュウミカンの作付適地継続率は、気温上昇とともに低下し、2℃前後で急減する。一方、タンカンの作付適地は急激に増加する。

熱ストレス・熱中症：温暖化の進行に伴い、熱ストレス超過死亡者数（適応策なし）および熱中症搬送者数は急激に増加する。熱ストレス超過死亡者数（適応策なし）は65歳以上の高齢者が、熱中症搬送者数は20歳以上の成人が特に大きな影響を受ける。熱中症死亡被害額（適応策なし）を見ると、現在と比べて、21世紀末・RCP8.5では1479-5218億円/年の被害額増加となる。5000億円を超えて被害額が増加するのは、GFDLの気温予測が現在に比べて6.4℃と非常に高くなることによる。

ヒトスジシマカ分布域：現状は国土の約40%弱であるが、21世紀末のRCP8.5シナリオ下においては、国土全体の約75～96%に達すると見込まれる。



図(1)①-1(a) RCP別・年代別の温暖化影響(全国平均:水資源、沿岸・防災、生態系)

R2.6: RCP2.6(青色)、R4.5: RCP4.5(緑色)、R8.5: RCP8.5(赤色)、MIROC5: ◆、MRI-CGCM3.0: ■、GFDL CM3: ▲、HadGEM2-ES: ●、A: 適応策あり(灰色)、\*潜在生育域全てを対象、\*\*保護区内の潜在生育域のみを対象

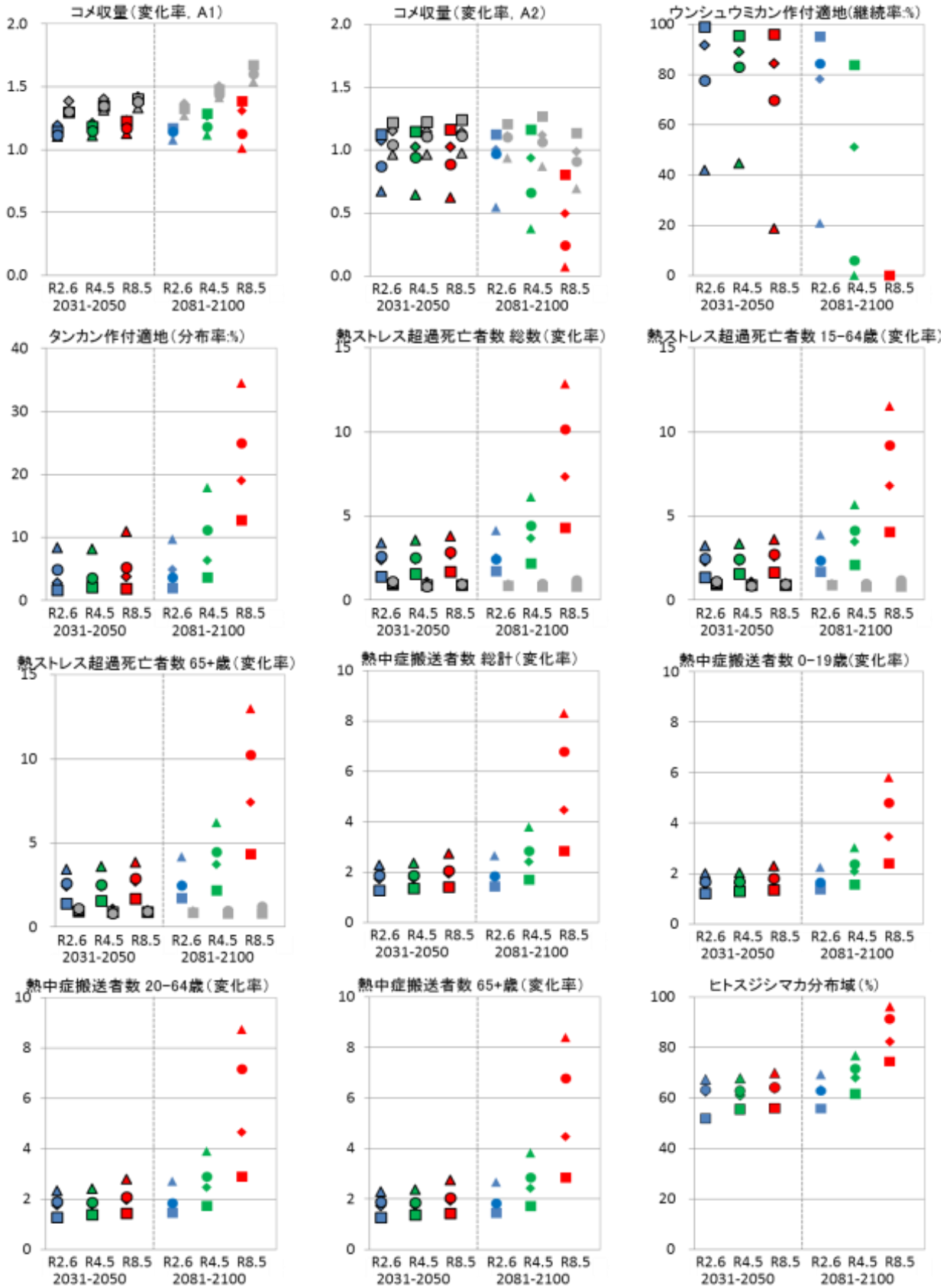


図1(1)①-1(b) RCP別・年代別の温暖化影響（全国平均：農業、健康）

R2.6：RCP2.6（青色）、R4.5：RCP4.5（緑色）、R8.5：RCP8.5（赤色）、MIROC5：◆、MRI-CGCM3.0：■、GFDL CM3：▲、HadGEM2-ES：●、A：適応策あり（灰色）

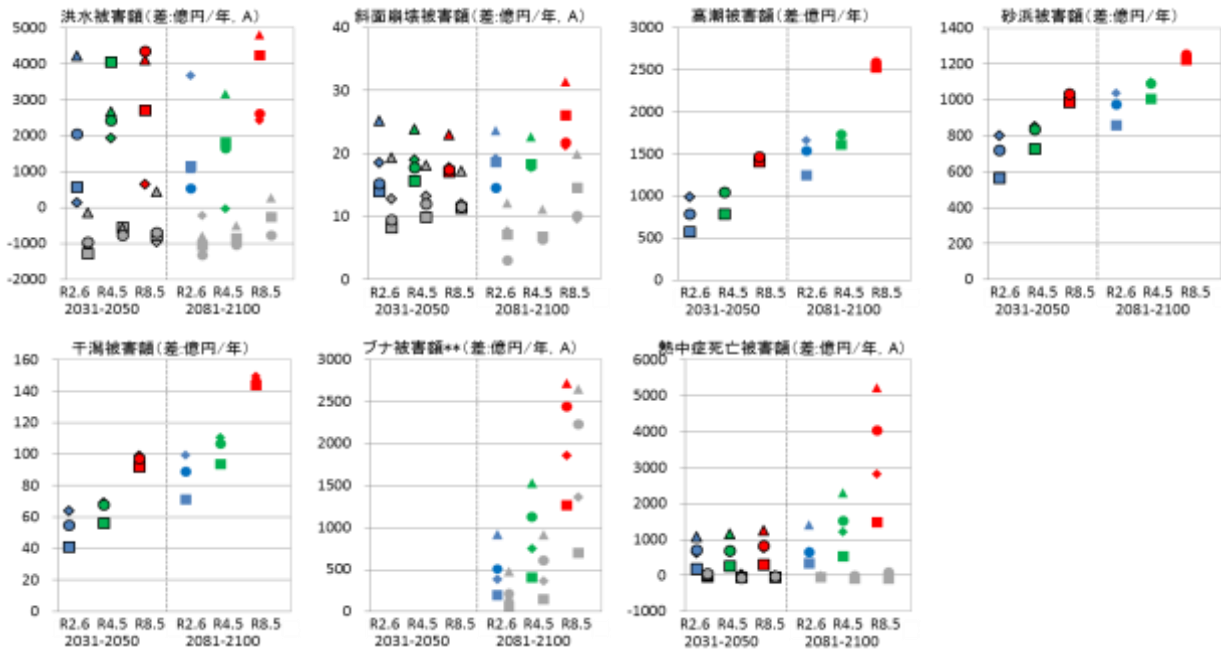


図1(1)①-1(c) RCP別・年代別の温暖化影響（全国平均：被害額）

R2.6：RCP2.6（青色）、R4.5：RCP4.5（緑色）、R8.5：RCP8.5（赤色）、MIROC5：◆、MRI-CGCM3.0：■、  
 GFDL CM3：▲、HadGEM2-ES：●、A：適応策あり（灰色）、\*\*保護区内の潜在生育域のみを対象

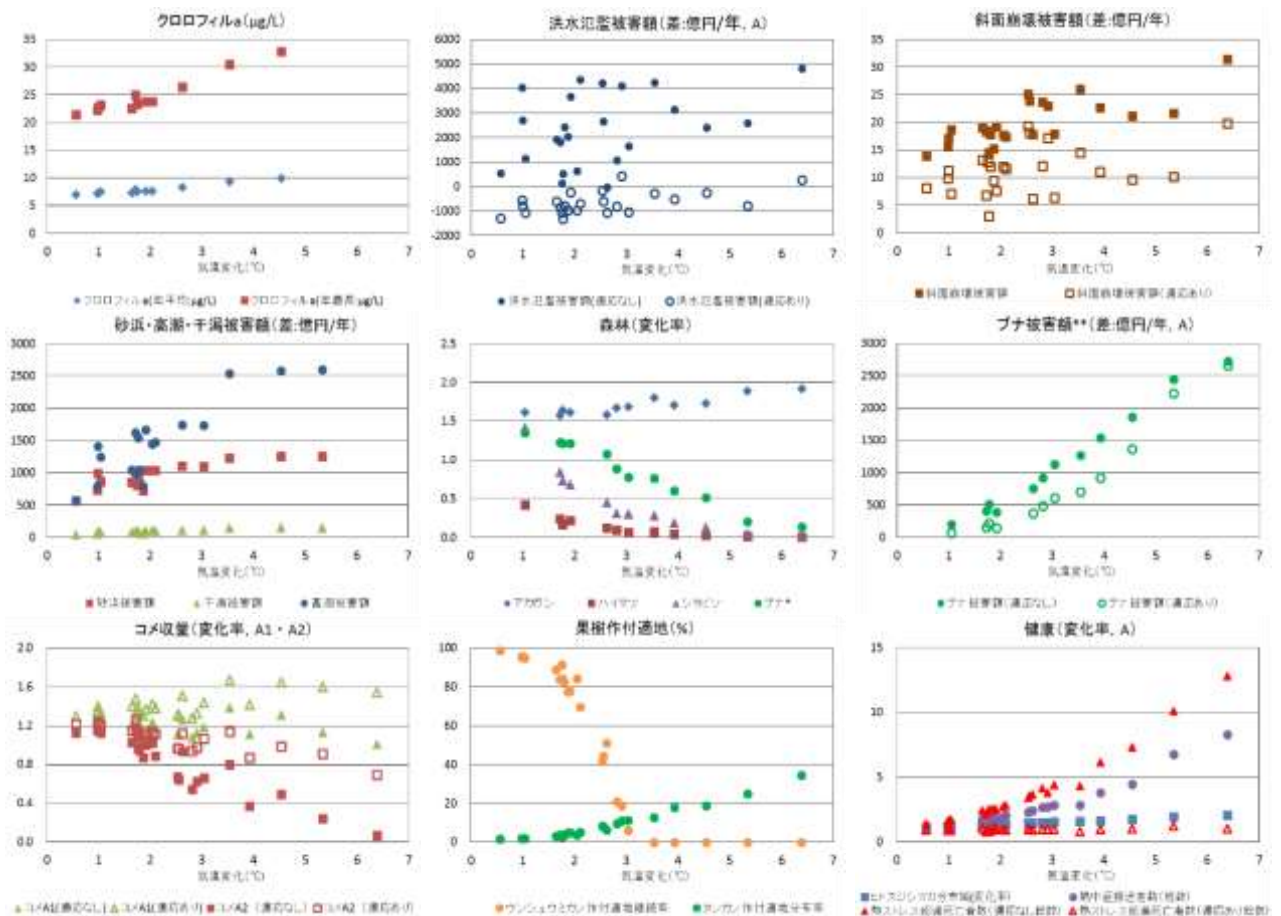


図1(1)①-2 気温変化と温暖化影響（全国平均）

気温上昇と影響量の変化を把握するために、横軸に日本の平均気温変化、縦軸に影響量を示す

\*潜在生育域全てを対象、\*\*保護区内の潜在生育域のみを対象



## (2) 総合影響評価：県別影響

RCP別の地域別影響を表(1)①-3に示す。地域は県単位で区別してあり、4つの気候モデルの予測の合致度によって、正と負及び正負を混合した影響を示している。色の濃淡に関する区別の基準は表(1)①-3の下の注を参照して頂きたい。また、このような影響の地域分布は地図上に示すことができる。

洪水被害額：適応策なしの場合、不確実性があるものの、多くの地域で被害が増加すると見込まれる。特に、21世紀末のRCP8.5では、東北、中部、近畿、四国では、広範囲において被害が2倍を超える可能性が高いと見込まれる。適応策ありの場合、不確実性があるものの、現状より被害が増加する地域は依然として多いと推定された。

斜面崩壊：適応策なしの場合、将来期間およびRCPによらず、崩壊発生確率と被害額が現状の2倍を超える地域は見られないものの、21世紀末のRCP8.5では、関東を除くすべての地域において発生確率が増加する可能性が高いと見込まれる。豪雨による洪水と斜面崩壊は同時に起こることが多いので、注意が必要である。適応策ありの場合、被害額が現状より減少する地域があるものの、北海道・東北では被害が増加する傾向が示された。

森林の潜在生育域：ハイマツの潜在生育域は、標高の低い東北でほぼ消滅する。シラビソの潜在生育域は、四国や紀伊半島で消滅する。ブナの潜在生育域は、本州太平洋側や西日本で著しく縮小する。この3種が山頂に孤立して分布する山では、逃避地がないために各個体群が絶滅する可能性が高い。一方で、暖温帯性のアカガシは拡大する可能性が高い。こうした森林の変化は、景観の変化を引き起こす。長期的には自然生態系（動植物の生育、花の開花時期、紅葉の時期、山林の色など）の変化に波及し、文化の変容にも影響を及ぼすと懸念される。ブナは、北海道、東北、中部、四国では、RCP2.6と4.5において不確実性はあるが適応策の効果がある。一方、関東、近畿、中国、九州ではRCPに関わらず適応策の効果は低い。これは潜在生育域自体が縮小し、保護区候補地もほとんど残らないためである。4地域のブナは、他の地域と遺伝的に異なるため保全の重要性は高く、保護区見直し以外の保全策の検討が必要である。

コメ：全生産量（収量）については、地域によって推定される減収リスクは適応策を実施することで軽減することが可能であるが、21世紀末のRCP8.5においては効果が限定的である。品質を考慮した場合、特に北日本を除いた地域における品質低下リスクは適応策により軽減が可能である。しかしながら、気温上昇が大きい場合、移植日の移動のみでは効果が限定的であるため、品種の転換等他の適応オプションも検討する必要がある。

ウンシュウミカン・タンカン作付適地：果樹は植え替えが難しく、ウンシュウミカンの栽培が今後も継続可能かどうかは地域経済にとって重要な問題である。ウンシュウミカンの作付適地継続率をみると、21世紀半ばには九州の一部、21世紀末には、関東以西の太平洋側を中心としたほとんどのウンシュウミカン生産県で適地が半減すると予想され、適応策の導入等何らかの対応に迫られるのは確実である。一方、亜熱帯果樹であるタンカンは、現状、沖縄県や鹿児島県の島嶼部でほとんどが栽培されているが、将来大幅な増加が見込まれる。21世紀半ばには、関東や近畿でも一部が亜熱帯化して栽培が可能になり、21世紀末のRCP8.5では、北海道と東北を除くほぼ全県において作付適地が広がると推定された。

熱ストレス・熱中症：熱ストレス超過死者数は、適応策がない場合、将来期間、RCP、年代によらず、すべての県において2倍以上となる。適応策ありの場合、その定義から、今回の設定(人

口は現状)では超過死亡者数が現状とほぼ同一となるが、実際には100%の適応はありえず、適応策なしよりは低くなるものの、超過死亡者数は増加するものと考えられる。熱中症搬送者数は、21世紀半ばのRCP8.5において、四国を除き、2倍以上を示す県が多数となる。21世紀末では、RCP2.6を除き、年代によらずほぼ全県において2倍以上の搬送者数になると見積もられた。

ヒトスジシマカ分布域：北海道と東北を除き、生息可能域が広範囲に広がっている。将来期間によらず、現在生息可能域が少ない北海道と東北において現状の2倍以上となる。

表(1)①-3 RCP別・年代別の温暖化影響(地域別)

項目	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
年平均気温	15.0	15.1	15.2	15.3	15.1	15.2	15.3	15.4	15.2	15.3	15.4	15.5
年平均降水量	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
熱中症搬送者数	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ヒトスジシマカ分布域	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

- ・ 気温：基準期間と比較して、県別の値が4つのGCMすべてにおいて上昇するが、4つのGCMの平均値が5℃未満の場合はピンク色、5℃以上上昇する場合は赤色
- ・ 降水量・影響指標(ウシシジミミミカンを除く)：基準期間と比較して、県別の値が4つのGCMすべて正の影響を示す場合は青色、正と負いずれの影響も含む場合は黄色、すべて負の影響を示す場合はピンク色とし、ただしピンク色に区分される県の影響が、4つのGCMの平均値で基準期間の倍以上悪化(森林の潜在生育域が基準期間に比べて半分以下になる場合も含む)する場合は赤色、基準期間も4つのGCMの値も0% (森林の潜在生育域とタンカンの生産適地)の場合はオレンジ色、ヒトスジシマカ分布域・タンカンにおいて基準期間も将来期間も100%で一定の場合は緑色
- ・ 影響指標(ウシシジミミミカン)：基準期間と比較して、4つのGCMの1つ以上のGCMが負の影響を示す場合は黄色、3つのGCMが負の影響を示す場合はピンク色、4つのGCMが負の影響を示す場合は赤色、基準期間の適地面積がゼロもしくはほぼゼロの場合はオレンジ色
- ・ 白色は影響評価を実施していない

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

温暖化影響評価・適応政策支援のための簡易推計ツールの開発に成功したことで、これまで第三者の利用が困難であった科学的知見を、行政担当者が任意に確認・利用できることが可能になった。また、CMIP5を利用した総合影響評価を実施し、全国における複数分野の気候変動の影響と適応策の効果を検討できたことは、日本初の科学的知見である。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

中央環境審議会（地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会）で作成された「日本における気候変動による影響に関する評価報告書（案）」の中で、研究成果が多数引用された。また、「適応計画」策定に向けたわが国における気候変動影響評価情報を整備することを目的とした環境省の「平成26年度気候変動への理解のための気候変動による将来影響の予測等実施委託業務」における気候変動による将来影響の予測計算に貢献した。さらに、環境省九州環境事務所九州・沖縄地方の地球温暖化影響・適応策検討委員会並びに九州・沖縄地方の地球温暖化影響・適応策検討調査にかかる地域WG、長野県地球温暖化対策戦略検討会の適応策検討において、本研究の成果である簡易推計ツールの目的と機能を提示し、利用してもらうことで科学的知見を取り込んだ適応策立案の検討に貢献した。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

三重県、埼玉県、福岡県、石川県、兵庫県、長崎県、福島県、京都市などの地方自治体から、県別の総合影響評価の結果提供の依頼があり対応した。2015年の夏、我が国の適応計画が公表されることも受け、今後、研究成果が、各自治体の適応計画を強力に支援することが期待される。

## 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) 川越清樹、肱岡靖明、高橋潔：地球環境研究論文集, 18, 29-36 <地球環境論文賞受賞> (2010). 「温暖化政策支援モデルを用いた気候変動に対する斜面崩壊影響評価」
- 2) 川越清樹、江坂悠里、肱岡靖明：水工学論文集, 55, S\_955-S\_960 (2011). 「実効雨量と地域情報を用いた東京都の土砂災害解析」
- 3) 須田英子、窪田ひろみ、馬場健司、肱岡靖明、高橋潔、花崎直太：土木学会論文集G(環境)(環境システム研究論文集 第39巻), 67(6), II\_193-II\_202 (2011). 「農業・食料生産分野における気候変動リスクとその適応に関する専門家認知モデル」
- 4) 肱岡靖明、岡和孝、高野真之、吉川実、市橋新：土木学会論文集G(環境), 67(6), II\_183-II\_192(2011). 「温暖化適応策推進に資する既存施策の検討－東京都を例

としてー」

- 5) 馬場健司、杉本卓也、窪田ひろみ、肱岡靖明、田中充：土木学会論文集G（環境）, 67(6), II\_405-II\_413 (2011). 「市民の気候変動影響のリスク認知や適応策への態度形成の規定因」
- 6) 田中朱美、高橋潔、申龍熙、増富祐司、山中康裕、佐藤友徳：土木学会論文集G（環境）, 68, I\_237-I\_248 (2012). 「潜在作物生産性モデルGAEZの北海道での適用可能性の検討と改良」
- 7) 馬場健司、松浦正浩、篠田さやか、肱岡靖明、白井信雄、田中充：土木学会論文集G（環境）, 68(6), 443-454 (2012). 「ステークホルダー分析に基づく防災・インフラ分野における気候変動適応策実装化への提案－東京都における都市型水害のケーススタディー」
- 8) 李炫俦、来栖聖、肱岡靖明：土木学会論文集G（環境）, 68(6), II\_301-II\_308 (2012). 「適応策関連情報に対する人々の認知と影響因子の評価」
- 9) Kurane I., Shibasaki K., Kotaki A., Hijioka Y., Takasaki T. : International Journal of Environmental Research and Public Health, 10, 1831-1844 (2013). "The Effect of Precipitation on the Transmission of Japanese Encephalitis (JE) Virus in Nature: A Complex Effect on Antibody-Positive Rate to JE Virus in Sentinel Pigs."
- 10) Honda Y., Kondo M., McGregor G., Kim H., Guo Y-L., Hijioka Y., Yoshikawa M., Oka K., Takano S., Hales S., Kovats R.S. : Environmental Health and Preventive Medicine, 19 (1), 56-63 (2014). "Heat-related mortality risk model for climate change impact projection."
- 11) 白井信雄、田中充、田村誠、安原一哉、小松利光、原澤英夫：環境科学会誌, 27(7), 313-323 (2014). 「気候変動適応の理論的枠組みの設定と具体化の試行－気候変動適応策の戦略としてー」

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 馬場健司、須田英子、窪田ひろみ、肱岡靖明：地球環境シンポジウム講演集, 7-14 (2011) 「沿岸大都市における防災・適応策をめぐる専門家と一般市民の認知ギャップ」
- 2) 肱岡靖明、櫛田和秀、岡和孝：環境科学会誌, 27(5), 289-301(2014). 「適応政策支援のためのWebGISを用いた温暖化影響評価配信方法に関する検討」

#### <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) 金森有子、松岡譲：環境経済・政策学会2010年大会（2010）  
「全世界の家庭部門のエネルギー消費量推計手法の提案と適用」
- 2) 金森有子、松岡譲：第18回地球環境シンポジウム（2010）  
「エネルギーサービスの需給バランスを考慮した家庭部門のエネルギー消費量推計について」
- 3) Y. HIJIOKA, K. TAKAHASHI, S. KAZAMA, S. KAWAGOE, M. YOKOZAWA, T. IIZUMI : 2010 Int.Clim.Change Adap.Conf., 2010

- "Assessments of impacts and adaptations to climate change in Japan using an integrated assessment model, AIM/Impact[Policy]"
- 4) Y. HIJIOKA : 2010 Seoul Int. Symp. Clim. Change, 2010  
"Japan's activities on climate change impact assessment and adaptation"
  - 5) 肱岡靖明 : 平成22年度農研機構九州沖縄農業研究センターシンポジウム (2010)  
「温暖化が日本に及ぼす影響」
  - 6) 肱岡靖明 : 信州・長野県は地球温暖化にどう対応していくのか? (2010)  
「地球温暖化による日本・長野への影響と適応策に向けて」
  - 7) 肱岡靖明 : 東京都職員向けセミナー (2010)  
「地球温暖化による日本への影響」
  - 8) 肱岡靖明 : 環境経済モデル研究会 (2010)  
「地球温暖化「日本への影響」」
  - 9) 森本広、増井利彦、肱岡靖明 : 環境科学会2010年会 (2010)  
「地球温暖化による洪水被害の経済活動への影響の評価に関する分析」
  - 10) 肱岡靖明 : シナリオ・影響評価 国内ワークショップ (2010)  
「影響評価からの期待する社会経済シナリオ」
  - 11) 市橋新、馬場健司、肱岡靖明 : 第38回環境システム研究論文発表会 (2010)  
「適応策の施策化過程に関する課題と解決策ーロンドンの事例を中心にー」
  - 12) 肱岡靖明 : 九州・沖縄地方における地球温暖化影響・適応策情報共有会 (2010)  
「地球環境研究総合推進費「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」S-8」
  - 13) 川越清樹、肱岡靖明、高橋潔 : 第18回 地球環境シンポジウム・プログラム (2010)  
「温暖化政策支援モデルを用いた気候変動に対する斜面崩壊影響評価」
  - 14) Y. HIJIOKA, E. SUDA : 16th AIM International Workshop, 2011  
"Regional impact assessment in Japan"
  - 15) 肱岡靖明 : 「仮称 : 温暖化影響・適応に係る地域コンソーシアム」準備会合 (2011)  
「推進費S-8研究が地域の温暖化影響・適応策の検討に提供するもの」
  - 16) E. SUDA, H. KUBOTA, K. BABA, Y. HIJIOKA, K. TAKAHASHI, N. HANASAKI, H. HARASAWA :  
Society for Risk Analysis(SRA) Europe, 2011  
"Expert mental model on comprehensive climate change risks and adaptation in  
agriculture and food production in Japan"
  - 17) K. BABA, E. SUDA, H. KUBOTA, Y. HIJIOKA, M. TANAKA : Society for Risk Analysis  
(SRA)Europe, 2011  
"How do We Ensure Linkage between Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction  
to Make Cities Resilient? Implications from Analysis on Perception Gap between the  
Experts and the General Public"
  - 18) E. SUDA, H. KUBOTA, K. BABA, Y. HIJIOKA, K. TAKAHASHI, N. HANASAKI, H.  
HARASAWA(\*1Central Research Institute of Electric Power Industry) : 2nd World Congress  
on Cities and Adaptation to Climate Change, 2011  
"Elicited Expert Perceptions for Climate Change Risks and Adaptation in Japanese

Agriculture and Food Production”

- 19) K. BABA, E. SUDA, H. KUBOTA, Y. HIJIOKA, M. TANAKA : 2nd World Congress on Cities and Adaptation to Climate Change, 2011  
 ”How do We Ensure Linkage between Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction?”
- 20) Y. HIJIOKA : The 4th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition, 2011  
 ”Regional impact assessment of climate change on rainfall-runoff process: a case study of Tone river basin in Japan”
- 21) 肱岡靖明 : 環境科学会2011年会 (2011)  
 「温暖化影響評価・適応策検討のための統合評価モデルの開発」
- 22) 肱岡靖明、岡川梓、金森有子 : 環境科学会2011年会 (2011)  
 「国別生活用水需要モデルの開発と将来生活用水需要のシナリオ分析」
- 23) 馬場健司、須田英子、窪田ひろみ、肱岡靖明、田中充 : 第19回地球環境シンポジウム(2011)  
 「沿岸大都市における防災分野の適応策をめぐる専門家と一般市民の認知ギャップ」
- 24) 馬場健司、窪田ひろみ、須田英子、肱岡靖明 : 環境科学会2011年会 (2011)  
 「沿岸大都市における防災・インフラ分野の気候変動適応をめぐる専門家の認知構造」
- 25) 肱岡靖明 : 平成23年度九州・沖縄地方における地球温暖化影響・適応策検討会(第1回)(2011)  
 「地球環境研究総合推進費「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」S-8」
- 26) 肱岡靖明 : リスク工学研究会 (RERM) (2011)  
 「温暖化の影響を考える」
- 27) 肱岡靖明 : 「気候変動適応社会をめざす地域適応フォーラム」第1回会合 (2011)  
 「温暖化影響の簡易予測(推計)ツール」
- 28) 肱岡靖明 : 化学工学 第43回秋季大会 (2011)  
 「気候変動の影響と適応策」
- 29) 馬場健司、杉本卓也、窪田ひろみ、肱岡靖明、田中充 : 第39回環境システム研究論文発表会 (2011)  
 「市民の気候変動影響のリスク認知や適応策への態度形成の規定因」
- 30) 肱岡靖明、岡和孝、高野真之、吉川実、市橋新 : 第39回環境システム研究論文発表会(2011)  
 「温暖化適応策推進に資する既存施策の検討ー東京都を例としてー」
- 31) 川越清樹、江坂悠里、肱岡靖明 : 第55回水工学講演会 (2011)  
 「実効雨量と地域情報を用いた東京都の土砂災害解析」
- 32) 須田英子、窪田ひろみ、馬場健司、肱岡靖明、高橋潔、花崎直太 : 第39回環境システム研究論文発表会 (2011)  
 「農業・食料生産分野における気候変動リスクとその適応に関する専門家認知モデル」
- 33) 肱岡靖明 : 文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム/環境省環境研究総合推進費 戦略課題S-5/S-8 H23年度 合同シンポジウム 「統合シナリオの開発に向けてー国内研究課題の連携を考えるー」 (2012)  
 「推進費S8と統合シナリオ開発」
- 34) 肱岡靖明 : 九州・沖縄地方の地球温暖化影響・適応策検討調査に係る地域WG (2012)

- 「地球環境研究総合推進費「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」S-8」
- 35) 肱岡靖明：長野県地球温暖化対策戦略検討会 タスクフォース(第二回) (2012)  
「自治体が使える温暖化影響・簡易推計ツール」
- 36) M. KAINUMA, T. MASUI : The 5th Annual IAMC Annual Meeting, 2012  
"AIM model approach towards Low Carbon Societies in Asia"
- 37) 大西有子、肱岡靖明、高橋潔、花崎直太：日本地理学会2012年度秋季学術大会 (2012)  
「気候変動による生物季節への影響評価」
- 38) 馬場健司、松浦正浩、篠田さやか、肱岡靖明、白井信雄、田中充：環境システム研究論文発表会第40回 (2012)  
「ステークホルダー分析に基づく防災・インフラ分野における気候変動適応策実装化への提案－東京都における都市型水害のケーススタディー」
- 39) 李炫淑、来栖聖、肱岡靖明：環境システム研究論文発表会第40回 (2012)  
「適応策関連情報に対する人々の認知と影響因子の評価」
- 40) 肱岡靖明：「気候変動適応社会をめざす地域フォーラム」(略称：地域適応フォーラム)における地域適応策研修会 (2012)  
「温暖化影響の簡易予測ツール」
- 41) T. MATSUI, K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, Y. KOMINAMI, E. NAKAZONO, Y. HIJIOKA, K. TAKAHASHI, H. HARASAWA, N. TANAKA : INTECOL, 2013  
"Climate change impact assessment of habitat shifts for important forest trees and plants, and development of integrated model AIM/Adaptation[Policy] for conservation managers"
- 42) I. KUBOTA, Y. HIJIOKA : An Interactive Session for Mobilization of Adaptation Research and Partner Engagement, 2013  
"An overview of the research project 'Comprehensive Research on Climate Change Impact Assessment and Adaptation Policies'"
- 43) Y. OGAWA-ONISHI, Y. HIJIOKA, K. TAKAHASHI, N. HANASAKI : INTECOL, 2013  
"Impacts of climate change on Japanese endemic plant"
- 44) Y. OGAWA-ONISHI, Y. HIJIOKA, K. TAKAHASHI, N. HANASAKI : International Geographical Union, 2013  
"Modelling the diversity hotspots of Japanese endemic plants and identifying the potential refugia from climate change"
- 45) Y. OGAWA-ONISHI, Y. HIJIOKA, K. TAKAHASHI, N. HANASAKI : International Symposium on Agricultural Meteorology, 2013  
"Spatial assessments of climate change impacts on phenology"
- 46) Y. HIJIOKA : 19th AIM International Workshop, 2013  
"Recent research on climate change impacts assessment and adaptation policies in Japan"
- 47) Y. HIJIOKA : Workshop on key risks associated with climate change in Asia, 2013  
"Development of integrated assessment model for climate change impacts"

- 48) 肱岡靖明：気候変動適応シンポジウム（2013）  
「気候変動影響の評価結果と政策検討における活用案」
- 49) 原澤英夫、肱岡靖明、岡和孝：地域適応フォーラム研修会2013年度（2013）  
「温暖化影響の簡易推計ツールと今後の課題」
- 50) Y. OGAWA-ONISHI, Y. HIJIOKA, K. TAKAHASHI, N. HANASAKI : Frontiers of Biogeography, 2013  
"Potential impacts of climate change on phenology"
- 51) 肱岡靖明：気候変動シンポジウム「気候変動に関する最新の科学的知見とその総合的な対策について ～IPCC 横浜総会に向けて～」（2014）  
「日本における気候変動影響と適応策について」
- 52) 肱岡靖明：2014年「スクール・リマの勉強会」（2014）  
「IPCC第5次評価報告書と科学的知見 第2作業部会報告書発表に向けて」
- 53) 肱岡靖明：一般社団法人地球温暖化防止全国ネット 第七回社員総会（2014）  
「気候変動による影響と適応を考える」
- 54) 肱岡靖明：平成25年度筑波研究学園都市記者会との懇談会（2014）  
「日本における気候変動影響と適応策について」
- 55) 肱岡靖明：IPCC横浜会議・記念シンポジウム（2014）  
「地球温暖化でどんな影響が起きるのか」
- 56) 肱岡靖明：第29回『気候変動の影響と適応と、自社にとっての温暖化の影響リスクを理解する』（2014）  
「気候変動への影響と適応」
- 57) 肱岡靖明：地球温暖化時代の水・土砂災害適応策シンポジウム ー沖縄から全国に向けてー（2014）  
「地球温暖化影響予測の最前線と沖縄への影響」
- 58) 肱岡靖明：公害対策・環境保全委員会における勉強会（2014）  
「温暖化の日本への影響と適応策」
- 59) 肱岡靖明：サステナビリティサイエンス・コンソーシアム (SSC) 見学会・研究集会（2014）  
「持続可能性を脅かす温暖化の影響とその解決策としての適応策」
- 60) 肱岡靖明：TFN・CSRコンパス会合（2014）  
「温暖化の影響と適応策」
- 61) 肱岡靖明：九州エコフェア2014（2014）  
「温暖化による影響とその適応策 ーIPCCの最新の知見から九州への影響を考えるー」
- 62) 肱岡靖明：IPCC第5次評価報告書報告会～あきまへん、地球温暖化～[京都]（2014）  
「温暖化による影響と適応策 ー最新の科学的知見ー」
- 63) Y. HIJIOKA : Intergovernmental Panel on Climate Change Regional Outreach, 2014  
"IPCC's Climate Change Impact : Impacts, Vulnerabilities and Adaptation - Observed Impacts and Key Risks in Asia"
- 64) Y. HIJIOKA : The 6th International Symposium on Climate Change Adaptation, 2014  
"IPCC's Climate Change Impact Assessment in Asia and New Paradigm of Adaptation"



- 65) 肱岡靖明：第6回持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム（2014）  
「IPCC AR5第2作業部会（WGII）報告書からのメッセージ ～アジアにおける気候変動影響～」
- 66) 肱岡靖明：第17期川崎市地域環境リーダー育成講座カリキュラム前期第5日目（2014）  
「温暖化による影響と適応策 – IPCC第二作業部会第五次評価報告書の報告 –」
- 67) 肱岡靖明：大分県地球温暖化防止活動推進員及び環境教育アドバイザー合同研修会（2014）  
「気候変動による影響と適応を考える」
- 68) 肱岡靖明：地球温暖化適応策に関するセミナー（2014）  
「地球温暖化適応策について」
- 69) 肱岡靖明：土木学会全国大会 研究討論会（2014）  
「気候変動による影響の予測」
- 70) 肱岡靖明：化学工学会2014年秋季大会（2014）  
「気候変動の影響と適応策」
- 71) 肱岡靖明：第2回気候変動適応計画検討ワーキンググループ（2014）  
「温暖化による影響とその適応策」
- 72) 肱岡靖明：第54回治山研究発表会（2014）  
「地球温暖化による影響とその適応策 ～我々の取り組むべきこと～」
- 73) 肱岡靖明：エコテクノ2014（2014）  
「地球温暖化による影響とその適応策 ～我々の取り組むべきこと～」
- 74) 肱岡靖明：平成26年度第2回熊本市地球温暖化防止活動推進員研修会（2014）  
「温暖化による影響とその適応策」
- 75) 肱岡靖明：エネルギー・資源学会 平成26年度第1回講習会（2014）  
「気候変動影響・適応②（地域別影響）」
- 76) 肱岡靖明：第12回環境研究シンポジウム（2014）  
「気候変動の影響と適応策」
- 77) 肱岡靖明：第22回衛生工学シンポジウム（2014）  
「温暖化による影響とその適応策」
- 78) 肱岡靖明：地球合宿2014「TOKYO・オン・データ」（2014）  
「気候変動と都市環境」
- 79) 肱岡靖明：地球合宿2014「TOKYO・100人ディスカッション」（2014）  
「気候変動と都市環境」
- 80) 肱岡靖明：信州・気候変動モニタリングネットワーク キックオフ シンポジウム（2014）  
「温暖化による影響と適応策」
- 81) 肱岡靖明：福島環境カウンセラー協会「10周年記念事業」（2014）  
「温暖化による影響とその適応策」
- 82) 肱岡靖明：IPCCレポートコミュニケーター セミナー（2014）  
「IPCC report communicator ガイドブック ～基礎知識編～ WG2基礎知識編」

### (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) 一般公開シンポジウム「気候変動対応フォーラム」(共催：文部科学省、環境省、科学技術振興機構、国連大学サステナビリティと平和研究所、2010年7月23日、中央合同庁舎第4号館、観客約250名)
- 2) 気候変動に関する対話シンポジウム「将来の安全・安心な社会をめざして」(主催：文部科学省、環境省、2011年10月12日、日本科学未来館、観客約300名)
- 3) 地球温暖化に関する国際シンポジウム「変化する気候への適応と未来の姿」(主催：文部科学省、環境省、2014年11月25日、国連大学ウ・タント国際会議場、観客約400名)

#### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 記者発表(2014年3月17日、於環境省第1会議室、「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究2014報告書」)

#### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

### 8. 引用文献

- 1) [http://www.nies.go.jp/s8\\_project/symposium/20141110\\_s8br.pdf](http://www.nies.go.jp/s8_project/symposium/20141110_s8br.pdf)

## 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

## (1) 統合評価モデルによる温暖化影響評価・適応政策に関する研究

## ②温暖化影響評価・適応政策支援のための気候シナリオ・社会経済シナリオの開発に関する研究

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター	統合評価モデリング研究室	高橋 潔
地球環境研究センター	気候変動リスク評価研究室	花崎 直太
社会環境システム研究センター	環境経済・政策研究室	岡川 梓、松橋 啓介

平成22～26年度累計予算額：104、295千円（うち、平成26年度予算額：14、703千円）

予算額は、間接経費を含む。

## [要旨]

地球温暖化の影響は多岐にわたるため、日本への影響の全体像を評価し、効果的な適応政策を検討するには、学問分野を横断して専門的知見を集めることが重要である。将来の温暖化の影響を評価する方法として、将来の気候と社会経済を定量的に想定し、それらを入力条件として統計モデルあるいはプロセスモデルを利用し、検討対象ごとにシミュレーションを行うのが一般的である。ここで多くの検討対象について入力条件を揃えることができれば、ある将来の気候と社会経済の想定下における日本の影響と適応策を総合的に捉えることができる。本研究では、先行事例や最新情報の精査を行い、温暖化影響・適応研究における日本の将来気候と社会経済の想定（シナリオ）について議論し、その議論に基づき、現在入手可能な情報を利用し、日本全域をカバーする時系列・メッシュ型のシナリオを開発した。開発された二つの気候および社会経済シナリオ（共通シナリオ第一版および第二版）は、S-8プロジェクトで共通に利用され、総合的な影響評価の実施を牽引した。

## [キーワード]

気候変動、影響評価、気候シナリオ、社会経済シナリオ、ダウンスケーリング

1. はじめに<sup>1)</sup>

温暖化による気候変化は世界各地で観測されており、自然環境・人間社会への影響も顕在化しつつある。強力な緩和策を推進しても温暖化を完全に防ぐことはできないため、温暖化の進行を監視し、影響を評価し、適切に適応策を実施することが重要である。温暖化の影響は自然環境・人間社会のあらゆる分野に及ぶため、日本で効果的な適応策を立案するためには、分野を横断した科学的知見の集約が必要である。将来の温暖化の影響を評価する方法として、まず将来の気候と社会経済を定量的に想定し、それらを入力条件として統計モデルあるいはプロセスモデルを利用し、検討対象ごとにシミュレーションを行うのが一般的である。ここで多くの検討対象について入力条件を揃えることができれば、ある将来の気候と社会経済の想定下における日本の影響と

適応策を、総合的に捉えることが可能となる。

## 2. 研究開発目的

本研究では、先行事例や最新情報の精査を行い、現在入手可能な情報を利用し、温暖化影響・適応研究における日本の将来気候と社会経済の想定（シナリオ）について議論し、その議論に基づき、日本全域をカバーする時系列・メッシュ型のシナリオを開発することを目的とする。

## 3. 研究開発方法

プロジェクト開始年（2010年度）にS-8全体で共通に使用できるシナリオを開発する必要があった。そこで、IPCC 第5次評価報告書で用いられるシナリオに準拠することを検討したが、開始時点では入手可能な状態ではなかった。そこで、本研究では、EU-WATCHプロジェクトの事例を踏まえ、暫定シナリオを開発して研究を開始し、力学的ダウンスケールデータの公開、日本域メトリクス（気候モデルにおける気候や気象現象の再現性を数値化したもの）の公開、新しい世界シナリオに対応した気候予測情報の公開などに合わせ、順次S-8シナリオを高度化していく方法を選択した。具体的には、S-8プロジェクト実施期間において、プロジェクト全体の研究を牽引するために、プロジェクト前半（2010～2012年度）、後半（2013～2014年度）にそれぞれ共通シナリオ第一版と第二版を開発した。開発方法は以下に述べる。

### （1）共通シナリオ第一版の開発<sup>1)</sup>

共通シナリオ第一版では、プロジェクト開始年に入手可能であったSRES社会経済・排出シナリオとCMIP3気候シナリオを利用した。不確実性評価の観点から、S-8シナリオは複数の気候モデルと複数の排出シナリオを利用して作ることが望ましい。しかし、多数の気候シナリオについて影響評価を実施するのは、計算機資源の制約から現実的ではなく、EU-WATCHプロジェクトの事例を踏まえると、1～2程度の排出シナリオ、2～4程度の気候モデルを利用するのが妥当と考えられた。温暖化影響・適応総合研究プロジェクトに参加する多くのモデルの空間分解能が1kmメッシュであることから、気候モデルによる気候予測情報のダウンスケールは必須である。現時点で入手可能な力学的ダウンスケールに基づく気候予測情報は、S-4シナリオでも用いられたRCM20（排出シナリオはA2、境界条件を与える気候モデルはMRI-CGCM2）のみであるが、気候シナリオ「実感」プロジェクトによってA1B排出シナリオのMIROC3.2hiresを境界条件とした複数の力学的ダウンスケールシナリオが公開予定であることを踏まえると、研究の発展性の観点から、SRES A1B排出シナリオに基づくMIROC3.2hiresを選択することのメリットは大きい。また、MRI-CGCM2.3.2についても、力学的にダウンスケールされた気候予測情報は得られないものの、国内研究機関の気象研究所が開発するモデルであり、日本域に関する詳細な追加的情報が得られるメリットがある。なお、S-4シナリオと同様に、SRES-A1B排出シナリオを与えたMIROC3.2hiresとRCM20（境界条件はA2を与えたMRI-CGCM2）を選択することも可能だが、得られる結果の差異を、気候モデルの違いと排出シナリオの違いに分離することが困難となる。計算機資源の制約から、複数の気候シナリオと複数の排出シナリオを総当たりに取扱うことができないので、単一の排出シナリオに絞ることが望ましいと考える。

入手可能なSRES A1B排出シナリオに基づくCMIP3の気候予測情報から、MIROC3.2hiresと

MRI-CGCM2.3.2以外に、残り数個の気候モデルを選択するにあたり、日本域の気象現象の信頼性の高いものを選択できることが望ましい。気候シナリオ「実感」プロジェクトがその選択に取り組んでいるものの、統合的なメトリクスの結果は公表されていない。そこで、全球を対象としたメトリクスを利用するのが妥当であると考えた。

S-8プロジェクトに参加するモデルの入力データの要素、時間分解能の多様性を考えると、プロジェクト参加者全てのニーズを満たす、ダウンスケール済み・バイアス補正済みの気候シナリオを電子ファイルで用意することは非常に困難だが、基準となるものを一つ準備しておくのは、参照情報として有用だと考えた。

21世紀中の日本の人口・土地利用に関するシナリオとして、国立社会保障・人口問題研究所（社人研）が開発し、脱温暖化2050プロジェクトによって拡張されたものが入手可能である。ここで、社人研の人口シナリオは独自のアルゴリズムに基づいており、SRES A1B世界シナリオとは整合的でない。しかし、既存のシナリオに関する分析に基づき、人口・経済発展の将来性向と温室効果ガス排出の将来性向の間に明確な相関が無いことも見出されていることから、どのような人口・経済発展の想定からも任意の温室効果ガス排出経路（つまり気候変化経路）が整合的に描き得るという趣旨の主張がなされつつある。これに従えば、気候シナリオはSRESに基づき、人口シナリオは社人研のアルゴリズムに基づくという組み合わせをとっても良いことになる。

## （2）共通シナリオ第二版の開発<sup>2)</sup>

共通シナリオ第一版は分野横断的な温暖化影響の評価に有用だが、以下の三つの問題があり、改訂する必要性が生じた。第一に、気候シナリオの元となる気候予測情報が2007年頃に公開が終了したCMIP3 データに基づいているため、情報が古いことである。

2013-14年に刊行予定であったIPCC第5次評価報告書の出版に向けて、気候モデルの研究コミュニティが最新の知見を取り込んだ気候予測情報を開発しており、これは2011年以降にCoupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) データとして公開され、2013年10月時点で40以上のモデルの情報が得られるようになっている。よって、最新の気候モデルの知見を活用するためには、CMIP5 データの利用が望ましい。また、気候モデルの境界条件も温室効果ガス排出シナリオのSRES から放射強制力シナリオであるRepresentative Concentration Pathways (RCP) へと変わっている。

第二に、気候シナリオの元となる気候予測情報が月単位の全球気候モデルによるもので、空間・時間解像度が粗いことである。CMIP3データ利用の際の問題として、以下の二点が挙げられる。一点目は、全球気候モデルの空間解像度が110～280km程度であり、そこから直接3次メッシュ（1km×1km）へ線形内挿が行われたため、気候変化の地域差を十分に扱えないこと、二点目は、日単位で得られる情報に限りがあるため、最高気温や降水量など、日単位以下の変動が重要な情報を扱うことができないことである。これらの問題を解消するためには、全球気候モデルの気候予測情報を境界条件にして領域気候モデルを利用し、力学的ダウンスケールを行う方法がある。しかし、日本全体を対象にした力学的ダウンスケールの公開データは当時限定されており、共通シナリオでの利用が困難であった。

第三に、温室効果ガス排出・人口・土地利用シナリオがそれぞれ一つしかなかったことである。温室効果ガス排出は国際的な温暖化対策への取り組みを反映するが、将来にわたってどのように

推移するかの予測は困難である。また、人口・土地利用は例えば将来の自然災害による被害を見積もるうえで重要であるが、不確実性も非常に大きいため、将来の人口推移が高めか低めか、居住が集中するか分散するかによって、影響評価は異なったものになり得る。よって、これらのシナリオを複数用意することが必要である。そこで本研究では、共通シナリオ第一版を全面的に改訂したシナリオを開発した。

### 1) データ入手方法

共通シナリオ第二版では、CMIP5のデータを利用することになった。CMIP5データはウェブサイトで公開されており、(<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5>) 2013年10月時点で世界の約40以上の全球気候モデルが気候予測結果を提出し、入手が可能である。情報が提供されるのはモデル等による違いもあるが、1860年から2200年までの月～3時間単位情報であり、CMIP3よりも長期間を扱い、時間解像度も向上している。空間解像度は60～310kmであり、CMIP3よりも高くなっている場合が多い。放射強制力シナリオはRCPによるもので、放射強制力を2100年以降長期的に $2.6\text{W/m}^2$ 、 $4.5\text{W/m}^2$ 、 $6.0\text{W/m}^2$ で安定化させるものと、2100年時点で $8.5\text{W/m}^2$ に達してその後も上昇するものの4種類である。

### 2) データ選択の基準

CMIP5が提供する気候予測情報は、放射強制力シナリオ(4つ)と気候モデル(40以上)の160通り以上の組み合わせがある。放射強制力シナリオの違いは、今後の世界の緩和策(温暖化防止に対する取り組み)の程度を示す。温暖化影響・適応評価においては、緩和策が非常に進むシナリオと、ほとんど進まないシナリオを対比しながら進めることが重要であり、排出シナリオの数は多いほうが良い。また、全く同じ排出シナリオを与えた場合でも、利用する全球気候モデルによって気候予測結果は異なることが知られている。これは気候システムをモデル化する際の不確実性によるものである。よって、可能な限り多くのモデルを利用した解析が推奨されている。上記の議論に基づけば、放射強制力シナリオと気候モデルの全ての組み合わせについて、影響・適応評価を行うのが望ましいことになる。しかし、複数分野の影響評価を多数の研究者が実施するにあたり、また、その結果を横断的にまとめて効果的に意思決定者に示すためには、シナリオ数が多すぎると困難になる場合が多い。

以下、排出シナリオと気候モデルを選択する際の要点について述べる。

2011年末に南アフリカ・ダーバンで開催された第17回締約国会議(COP17)での合意を受け、気候変動枠組条約は全ての国に適用される2020年以降の新しい国際枠組み(以下「2020年枠組み」)の2015年までの合意を目指しており、長期目標の検討は重要な課題である。RCP8.5は排出量が最も大きく、現時点の緩和に関するすべての約束と誓約が実施されたとしても、20%の確率で産業革命前と比べた全球平均気温の上昇が2100年までに $4^{\circ}\text{C}$ を超えるシナリオである。このため、気温上昇が $4^{\circ}\text{C}$ を超える世界の影響に着目した研究が行われており、2013年には世界銀行から報告書が出版されている。次にRCP2.6は排出量が最も小さく、全球平均気温の上昇が長期的におおよそ $2^{\circ}\text{C}$ 以内に収まるシナリオである。第16回気候変動枠組条約締約国会議(COP16)での合意では、 $2^{\circ}\text{C}$ 目標の妥当性について2013年から2015年の間に再検討を実施することになっている。RCP4.5とRCP6.0はこれらの中間のシナリオである。RCP4.5とRCP6.0は気候変化の他に、エネルギー構成や技術進歩に関する将来想定も中庸で、RCP8.5と2.6に比べて将来社会を検討しやすいという点で重要である。

気候モデルを選択するにあたっては、過去の気候の再現性は重要である。全球規模の循環といったグローバルな気候の再現性に加え、例えば梅雨前線のように、日本の気候と風土を考える上では欠くことのできないローカルな気象現象の再現性も必要となるCMIP5では、多数のメトリクス(数値)が分析されており、メトリクスの高いモデルを選択することが可能である。しかしながら、特にローカルな気象現象は評価する対象ごとにモデルの優劣が異なり、総合的に甲乙をつけにくいことが問題である。また、過去の気候の再現性の高さが、必ずしも将来変化の信頼性を保証しないという議論もある。

### 3) データの選択

排出シナリオについては上記の議論に基づき、また上限と下限を抑える必要があることから、RCP8.5とRCP2.6を選択した。また、後述する力学的ダウンスケールの入手可能性からRCP4.5も選択した。気候モデルについては、日本の研究機関が開発したMIROC5とMRI-CGCM3.0を最初を選択した。その理由として、これらのモデルを利用して日本を含むアジアの気候やモンスーン、梅雨前線等の再現性や将来変化の研究が実施されており、今後さらに多くの知見や情報が得られる見込みがあるからである。これ以外に2つのモデルを選択した。選択の方法は基本的に共通シナリオ第一版と同様である。本研究ではCMIP5の42の気候モデルについて同様の評価を行った13項目あるメトリクスの単純平均が中央値を超えた22のモデルを選択した。ただし、このうち5つのモデルに関しては2013年10月時点でRCP8.5の気候予測情報が得られなかったので除外した。

### 4) 高解像度化への対応

地球温暖化の予測とその影響評価は世界中で行われており、日本においても、日本全域を対象にした力学的ダウンスケールが実施されてきた。ただし、境界条件として使われた全球気候モデル、排出シナリオは上述のプロジェクトと比べて限定的で、マルチシナリオ・マルチモデルでの影響評価を実施するうえで困難がある。環境省地球環境研究総合推進費(S-5)地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究プロジェクトにおいて、WRF、NHRCM、RAMSの3つの領域気候モデルを利用した日本域の力学的ダウンスケールが行われた。ただし、当該プロジェクトでは、領域気候モデルの相互比較に力点が置かれており、境界条件として利用されたのはSRES A1B 排出シナリオ、MIROC3.2hires全球気候モデル、期間は2081-2100年のみであった。

温暖化影響評価において、温暖化の進行(緩和策の程度)と影響の関係は重要であり、緩和策の目標を検討するためには、複数の安定化シナリオを用いて実施すること(マルチシナリオ)は必須である。また、全球気候モデルの温室効果ガス濃度上昇に対する応答のばらつきが極めて大きいため、マルチモデル以外は論文として受け付けられにくい。しかし上述の通り、日本全体をカバーしたマルチシナリオ・マルチモデルの力学的ダウンスケールによる気候予測情報は現時点で利用可能な状況にない。一方、影響評価研究者が自ら領域気候モデルを利用した力学的ダウンスケールを行うことは非常に困難である。日本は南北に長いため、日本全域を対象とする長期間の力学的ダウンスケールは、解像度にもよるが、相当な計算機資源を必要とする。また亜寒帯から亜熱帯まで、低平地から盆地・山岳域まで、多様な気候帯や地形を含み、パラメータの調整や計算結果の検証にも多大な手間を必要とする。よって、すでに実施されたダウンスケール結果を工夫して利用するのが現実的である。

上述した通り、RCP4.5下のMIROC5全球気候モデルを境界条件としてWRF、NHRCM、RAMSの3つの

領域気候モデルを利用した力学的ダウンスケールが2081-2100年について実施されている。このうちWRFによるものは現在、配布と公開が進んでおり、今後も地域ごとの力学的ダウンスケールなどに広く利用されることが考えられたため、WRFを選択した。ここで、境界条件はMIROC5モデルによるRCP4.5シナリオのみであるが、CMIP5の全球気候モデルを直接利用する方法にも含まれており、これらを組み合わせることにより、マルチモデル・マルチシナリオを実現することが可能である。

## 5) バイアス補正方法

### a. 利用可能な方法

気候モデルは気温や降水量といった気象変数の時間変化や地理分布を記述する能力は高いものの、気象変数の絶対値については系統的な誤差（バイアス）を持つ場合が多い。気候予測情報を影響評価モデルの入力データとするにあたりバイアスを取り除く処理が必要であり、これをバイアス補正と呼ぶ。気候予測情報から除くべきバイアスは、影響評価モデルや影響評価の対象によって様々である。影響評価モデルの入力データとして利用可能なサンプルデータを作成・配布する際にバイアス補正方法を一つ選択する必要があるため、以下にその検討結果を述べる。

本研究のサンプルデータ作成において利用されたのがスケーリング法と呼ばれる手法である。この操作により、温暖化による月単位の平均的な変化分が基準期間の観測の時系列データに上乘せされる。この方法は実施が容易なことに加え、基準期間と将来期間の差異が単純で、解析もしやすい。反面、時系列が過去のままで振幅や変動の変化が扱えない問題や、観測値がたまたま100年に1度といった極端な現象が含まれていても一律に変化分を足したり掛けたりするため、リスクを過大評価する問題などがある。このほかにもバイアスを補正する方法は多くある。代表的なものは、気候モデルの気温や降水量の頻度分布を観測のそれと一致させる、Quantile mapping と総称される方法である。このほかにもWeather generatorを使う方法もある。ただし、Weather generatorは1地点ごとに気象条件を生成するため、気象場の空間的な連続性・整合性が求められる河川流量の温暖化影響評価などには不向きである。

### b. 方法の選択

ここではサンプルデータを作る際の日単位の気候シナリオのバイアス補正について検討する。日単位の全球気候モデルの出力データをバイアス補正する際に、上述したスケーリング法の問題は顕著となる。Quantile mapping は有効な方法であるが、CDF等を近似する分布関数の当てはまりが悪い場合に、異常な補正結果をもたらすことがある。加えて、現在気候データから作成した変換関数を将来気候データに適用した場合、何らかの仮定を置いて、分布関数の裾を外挿せざるを得ないが、その際に異常値などの問題が発生しやすい。そこで、これらの中間的な方法である累積分布関数法を使用することにした。この累積分布関数法は、Quantile mapping と概念は似ているが、気候モデルのバイアス量は気象変数の値の分布関数上の位置（パーセンタイル値）に依存し、その関係は現在気候でも将来気候でも変わらないとの仮定を置く。Quantile mapping では気象変数の値によって補正量が決まるが、累積分布関数法では気象変数のパーセンタイル値で補正量が決まる。この違いにより、累積分布関数法では分布関数の裾の外挿が不要となる。累積分布関数法の計算手順は、時系列データを昇順に並び替えた経験的なCDFを基準期間の気候モデルと観測について作成し、関数に近似・変換することなく、その差分を直接将来期間の気候モデルに足すという方法である。累積分布関数法でバイアス補正を巡る全ての問題が解決するわけではな



いが、補正結果が安定し、複数の気象変数に対し単一の手法が適用できるため、実用上便利だという長所がある。

#### 6) 人口・土地利用の不確実性への対応

我が国の人口の予測は社人研によって行われてきた。今回利用したのは2008年に発行されたもので、2010年から2035年までを5年刻みで、市区町村単位で示されている。ここで、影響評価モデルを使った検討を実施するにあたり、基準期間の緯度経度直交のメッシュ単位人口をもとに、市区町村単位人口の予測と整合するようにメッシュ人口を推計した。基準期間の人口情報としては2005年の国勢調査に基づく日本の男女別年齢5歳階級別人口を3次メッシュで示したものを利用した。将来期間は2010～2035年と2040～2100年の2期間に分けて5年刻みで作成した。まず2010～2035年については、2000年～2005年の5年間の人口変化率をもとに人口分布の偏在化（集約化）・均一化（分散化）傾向を考慮してメッシュ人口を推計する手法を適用し、(A) 偏在化シナリオ・(B) 変化なしシナリオ・(C) 均一化シナリオ（ともに死亡中位・出生中位）による3次メッシュ人口を作成した。その後、社人研の複数の将来推計から「(1) 死亡中位・出生中位」・「(2) 死亡低位・出生高位」・「(3) 死亡高位・出生低位」を利用し、上記3次メッシュ人口を補正した。これにより、9通りのシナリオを作成した。次に2040～2100年については、社人研の推計が2035年で終わっているため、この延長を行った。死亡率・出生率・移動率に関する上記3シナリオの2035年の都道府県別推計値・市町村別推計値を初期値として、2040～2100年の5年おきに上記3シナリオを用意した。さらに、2035年までと同様の補正処理により、(A) 偏在化シナリオ・(B) 変化なしシナリオ・(C) 均一化シナリオについて3次メッシュ人口を作成した。これにより、9通りのシナリオを作成した。なお社人研の将来推計では、死亡率と出生率のそれぞれについて3種の変化率（低位・中位・高位）を想定することで計9通りの人口将来推計が行われている。本研究では、人口総数の推計の不確実性幅を広くおさえることを重視しつつ、シナリオ数を絞るために、最も人口が大きくなるケースとして(2)を、最も小さくなるケースとして(3)を、中間ケースとして(1)を選択した。ただし、例えば死亡率低位×出生率低位（寿命の伸びが順調に進む一方で出生率の低下に歯止めがかからず、結果的に高齢者比率の増加傾向が最も大きい）という将来社会も起り得る。年齢階層の考慮が不要で人口総数のみ考慮を要する影響評価では本研究で選択した3ケースにより影響の不確実性幅をおさえることができるが、年齢階層の考慮が必要な影響評価の場合には、上記3ケースの選択では影響の不確実性幅をおさえられない可能性もあることには注意が必要である。

最後に人口を説明変数とした簡易土地利用モデルを利用して、9つの人口シナリオに対応した土地利用シナリオを作成した。基準年（2006年）のデータは国土数値情報土地利用3次メッシュデータを利用した。土地利用は11区分（森林、田、その他の農用地、荒地、建物用地、幹線交通用地、その他用地、河川及び湖沼、海浜、海水面、ゴルフ場）である。

## 4. 結果及び考察

本研究では、S8プロジェクト全体で共通に使用できる共通シナリオ第一版及び第二版を開発した。以下にシナリオの詳細を述べる。

### (1) 共通シナリオ第一版

#### 1) 基本情報

空間領域は日本全域とし、「標準地域メッシュ」を基準とする。「標準地域メッシュ」の範囲は北緯20度から46度まで、東経122度から東経154度までであるが、東端が南鳥島、南端が沖の鳥島であり、居住人口が極めて小さいため、東端と南端をそれぞれ5度と4度ずつ切り取り、北緯24度から46度まで、東経122度から東経149度までをS-8シナリオの検討対象領域とする。空間解像度は3次メッシュ（第3次地域区画）を基準とする。すなわち、緯度間隔30秒、経度間隔45秒（約1km×1kmに相当）である。期間は1981～2000年を過去における基準期間とし、2031～2050年と2081～2100年を検討対象期間とする。これはS-4シナリオと同一期間であり、また2081～2100年については気候シナリオ「実感」プロジェクトのダウンスケール期間とも同一である。世界シナリオにはIPCC第4次評価報告書用に利用されたものを利用する。

## 2) 気候シナリオ

気候予測情報として利用する排出シナリオはSRES A1Bシナリオとし、気候モデルはMIROC3.2hires（水平分解能110km）、MRI-CGCM2.3.2（同280km）、GFDL CM2.1（同250km）、CSIRO MK3.0（同190km）の4つとする。A1B排出シナリオとMIROC3.2hiresとMRI-CGCM2.3.2のモデルの選択に関する根拠は前章で述べたとおりである。残る2つのモデルの選択については、既存のメトリクスとCMIP3気候予測情報における気候モデルの気温と降水の予測のばらつきを勘案して選定した。気候シナリオ「実感」プロジェクトによるダウンスケールが未公開であるため、MIROC3.2hiresについてもCMIP3の気候予測情報のみを用いた。時間分解能はいずれも月単位である。

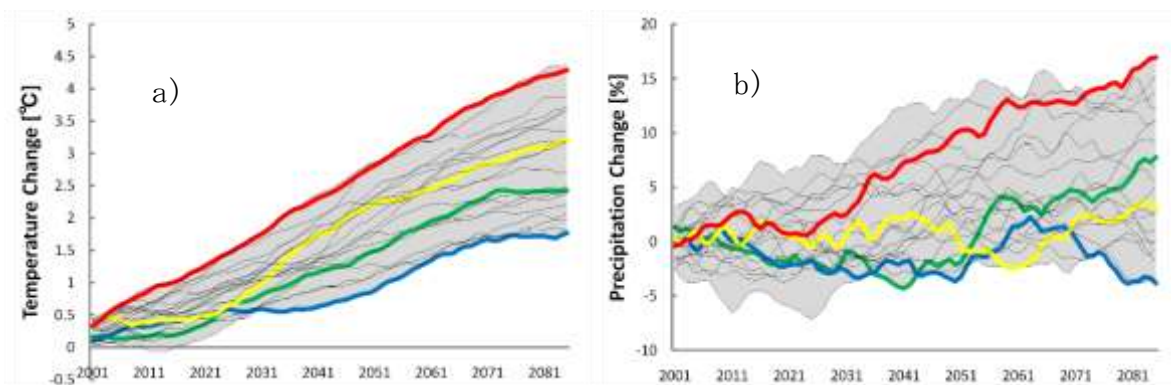


図1(1)②-1 SRES A1B排出シナリオに基づく21の全球気候モデルの日本域の気候予測情報  
a) 1981～2000年を基準期間とした気温変化の20年移動平均。b) 降水量変化率の20年移動平均。赤はMIROC3.2hires、黄色はGFDL CM2.1、緑はMRI-CGCM2.3.2、青はCSIRO MK3.0、黒はその他のモデルである。

基準期間の気候情報は独立行政法人農業環境技術研究所のアメダスメッシュ化データを利用する。このデータは1979～2003年の期間について気象庁アメダスデータを逆距離加重で空間内挿したものである。時間分解能は日であり、要素としては平均気温、最高気温、最低気温、降水量、日射量が入手可能である。

バイアス補正はスケーリング法を基本とする。気候予測情報が水平・時間分解能ともに低く、高度なバイアス補正を実施しえないことが主な理由である。

## 3) 人口シナリオ

人口シナリオは社人研が開発し、脱温暖化2050プロジェクトによって拡張されたものを利用する。基準期間の人口情報は2005年の国勢調査を利用する。このデータは2005年の国勢調査に基づく日本の男女別年齢5歳階級別人口を3次メッシュで示したものである。

#### 4) 土地利用シナリオ

土地利用シナリオは人口を説明変数とする土地利用モデルを参考に開発した。

基準期間のデータは国土数値情報土地利用3次メッシュを利用した。土地利用の区分は11種（森林、田、その他の農用地、荒地、建物用地、幹線交通用地、その他用地、河川及び湖沼、海浜、海水面、ゴルフ場）である。

### (2) 共通シナリオ第二版

#### 1) 気候シナリオ第二版

空間領域および期間に関しては共通シナリオ第一版と同様とした。気候シナリオ第二版の規約が規定するのは、現在気候データ、温室効果ガス排出シナリオ、気候モデルの3つである。空間内挿方法、バイアス補正方法、時間解像度は規定せず、利用者側が影響評価の特性に応じて自由に設定することを想定する。現在気候データは、農業環境研究所の作成した「アメダスメッシュ化データ」とする。将来の温室効果ガス排出シナリオにはRCP2.6、RCP4.5、RCP8.5の3つを用いる。全球気候モデルはCMIP5に参加した全球気候モデルのうちMIROC5、MRI-CGCM3.0、GFDL CM3、HadGEM2-ESの4つとする。19のモデルについて、日本周辺の年平均気温と降水量の20年移動平均の変化を図1(1)②-2と図1(1)②-3のように用意した。グレーで示されている範囲が、19モデルのばらつきの幅である。ここで、MRI-CGCM3.0は気温に関しては幅の下限付近、降水に関しては幅の中央やや下位付近を推移することが分かる。一方MIROC5はそれぞれ幅の下位1/3、中央やや上位付近を推移している。ここで、19モデル間の気温のばらつきを捉えるため、気温が幅の上限と上位1/3付近を推移するGFDL CM3とHadGEM2-ESを選択した。この4モデルの選択（太線）により、19モデルの気温のばらつきの幅（図1(1)②-2のグレーの範囲）が捉えられたことが確認できる。降水の幅に関してもこれらの4モデルにより2060年以降はおおむね捉えられた（図1(1)②-3）。ただし、2000～2030年に関しては幅の上部（図1(1)②-3の緑線より上にあるおもに3モデルのふるまい）が、2030～2060年に関しては幅の下部（同じく青線より下のおもに3モデルのふるまい）が捉えきれないことには注意が必要である。なお、降水のばらつきをより広く捉えられる別の2つのモデルがあったが、それらは気温上昇がMIROC5とMRI-CGCM3.0と非常に似ており、気温のばらつきを捉えられなくなるため、選択対象から除外した。

#### 2) 気候シナリオ第二版補遺

MIROC5全球気候モデルによるRCP4.5下の2081～2100年の気候予測情報を境界条件にした領域気候モデルWRFによる力学的ダウンスケールを利用する。これは文字通り、全球気候モデルのみを利用した第二版の一部を領域気候モデルを利用して置き換えるための補助的な気候シナリオである。

#### 3) 人口・土地利用シナリオ

人口の基準年は2005年とし、国勢調査データを利用する。土地利用の基準年は2006年とし、国土数値情報土地利用3次メッシュデータを利用した。人口の将来シナリオに関しては、市町村別の人口変化想定として「(1) 死亡中位・出生中位」・「(2) 死亡低位・出生高位」・「(3)

死亡高位・出生低位」の3想定、各市町村内の空間分布変化に関する想定として（A）偏在化シナリオ・（B）変化なしシナリオ・（C）均一化シナリオの3想定、その結果として両者の組み合わせによる9つのケースでの3次メッシュ人口を用いた。また、土地利用に関しては、上述の9つの人口シナリオに対応した3次メッシュ土地利用シナリオを用いた。

図1(1)②-2 日本付近の気温変化量の  
20年移動平均の推移

図(1)②-3 日本付近の降水量変化率の  
20年移動平均の推移

赤はGFDL CM3、黄色はHadGEM2-ES、緑はMIROC5、青はMRI-CGCM3、他の細線は残りの15の全球気候モデルの結果である。グレーの範囲が全19モデルのばらつきを表す。放射強制力シナリオにはRCP8.5を利用した。

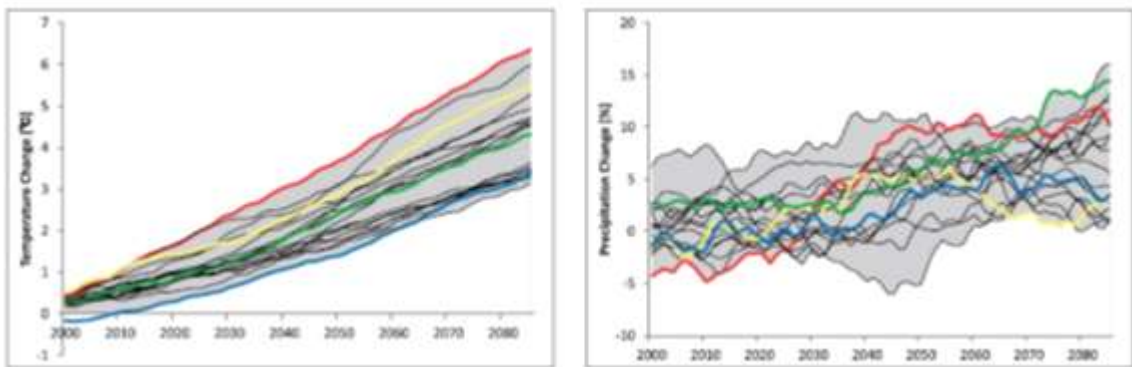


表1(1)②-1 気候シナリオ第1版、第2版、第2版補遺の関係

		第1版	第2版	第2版補遺
<b>基本情報</b>	空間領域	日本全域	日本全域	日本全域
	空間解像度	3次メッシュ	3次メッシュ	3次メッシュ
	現在期間	1981-2000	1981-2000	1981-2000
	将来期間	2031-2050 2081-2100	2031-2050 2081-2100	2081-2100
<b>規約</b>	現在気候データ	アメダスメッシュ化データ	アメダスメッシュ化データ	アメダスメッシュ化データ
	排出シナリオ	SRES A1B	RCP 2.6 RCP 4.5 RCP 8.5	RCP4.5

	気候モデル	MIROC3.2hires MRI-CGCM2.3.2 GFDL CM2.1 CSIRO MK3.0	MIROC5 MRI-CGCM3 GFDL CM3 HadGEM2-ES	MIROC5を境界条件にしたWRFによる力学的DS
サンプルデータの設定	空間内挿	線形内挿	線形内挿	線形内挿
	バイアス補正	スケーリング法	スケーリング法	累積分布関数法
	時間解像度	月	月	日

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

不確実性を考慮するために複数の気候および人口・土地利用シナリオを用意して、S8プロジェクトで共通に使用するシナリオ（第一版：CMIP3ベース・月単位、第二版：CMIP5ベース・月単位）を開発し、さらなる分野横断的な温暖化影響評価の実施を可能とした。結果、プロジェクト全体として、複数の異なる気候安定化レベルや気候シナリオの不確実性、適応政策に応じた影響量および適応策の定量的な効果を総合的に評価することができ、このような科学的知見は世界でも類を見ないものである。

### (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>

共通シナリオを用いた総合影響評価の結果は、我が国や自治体において広く利用されつつあり、今後、各自治体の適応計画の立案に利用されることが見込まれる。

## 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) 山本隆広、花崎直太、高橋潔、肱岡靖明：水工学論文集, 55, 259-264(2011). 「季節性を考慮した水逼迫指標を用いた全球温暖化水資源評価」
- 2) 申龍熙、高橋潔、肱岡靖明、花崎直太、山本隆弘、増富祐司：土木学会論文集G(環境), 67(5), I\_61-I\_70(2011) 「気候予測の不確実性を考慮した世界のトウモロコシ生産性の温暖化影響評価」
- 3) 山本隆広、花崎直太、高橋潔、肱岡靖明、申龍熙：土木学会論文集G(環境), 67(5), 1-8 <

- 地球環境論文賞受賞> (2011). 「地球温暖化による世界の水資源影響評価とその適応策に関する一考察」
- 4) 有賀敏典、松橋啓介、米澤健一：都市計画論文集, 46(3), 847-852 (2011). 「自然増減と社会増減を明示的に考慮した地域内人口分布の変化－1980年から2005年までの全国国勢調査・基準地域メッシュデータを用いて－」
  - 5) 申龍熙、高橋潔、花崎直太、肱岡靖明：土木学会論文集G(環境), 68(5), I\_159-I\_169 <平成25年度地球環境論文賞受賞> (2012). 「日本域付近の気候予測－CMIP3気候シナリオとCMIP5気候シナリオの比較－」
  - 6) Masutomi Y., Iizumi T., Takahashi K., Yokozawa M.: ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS, 7(1), 14020 (2012). "Estimation of the damage area due to tropical cyclones using fragility curves for paddy rice in Japan."
  - 7) Pokhrel Y.N., Hanasaki N., Yeh P.J.F., Yamada T.J., Kanae S.: Nature Geoscience, 5, 389-392(2012). "Model estimates of sea-level change due to anthropogenic impacts on terrestrial water storage."
  - 8) 花崎直太、高橋潔、肱岡靖明：環境科学会誌, 25(3), 223-236(2012). 「日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・社会経済シナリオ」
  - 9) 有賀敏典、松橋啓介：都市計画論文集, 47(3), 745-750 (2012). 「地域内人口分布の偏在化・均一化シナリオ構築手法の開発－国勢調査3次メッシュデータを用いて－」

#### <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)>

- 1) 高橋潔：大気環境学会誌, 48(6), A19 (2013). 「地球温暖化－第3講 地球温暖化による環境、社会への影響評価－」
- 2) 高橋潔：公衆衛生, 78(1), 51-55(2014). 「地球温暖化の現状」
- 3) 高橋潔：環境と公害, 44(1), 61-65(2014). 「IPCC第5次報告：気候変動影響」
- 4) 高橋潔：環境情報科学, 43(3), 21-27 (2014). 「気候変動の影響と脆弱性に関する最新知見について」

#### (2) 口頭発表(学会等)

- 1) 山本隆広、花崎直太、鄭輝ちよる、高橋潔、肱岡靖明：水文・水資源学会2010年研究発表会(2010)  
「全球水資源モデルH08を利用した季節性を考慮した世界の温暖化水資源影響評価に向けて－将来気象データに対するH08の応答に関する一考察－」
- 2) T. YAMAMOTO, N. HANASAKI, H. JUNG, K. TAKAHASHI, Y. HIJIOKA : 5th APHW Conf, 2010  
"Application of global water resources model H08 to assess seasonal variability change of global water resources by using multiple GCM projections under climate change"
- 3) T. YAMAMOTO, N. HANASAKI, K. TAKAHASHI, Y. HIJIOKA : AGU Fall Meeting 2010, 2010

- "Global water resources assessment at a sub-annual timescale: Application to climate change impact assessment"
- 4) K. TAKAHASHI, W.N. ADGER : Int.Clim.Change Adapt.Conf., 2010  
"How should we share the global burden of adaptation costs now ... and in future?"
  - 5) Y. MASUTOMI, T. IIZUMI, K. TAKAHASHI : 2010 Int.Clim.Change Adapt.Conf., 2010  
"Development of a model for predicting the damages of typhoons on paddy rice in Japan"
  - 6) 高橋 潔 : 平成22年度SPEED箱根研究会「低炭素革命と地球温暖化適応策」(2010)  
「適応費用評価に関する最近の動向について」
  - 7) 高橋 潔 : 農工研「地球温暖化」定例研究会(第7回)(2010)  
「温暖化影響評価研究の最近の動向－IPCC-AR5に向けて－」
  - 8) 高橋 潔 : 平成22年度海外農業農村開発地球温暖化対策検討調査事業(かんがい施設温暖化適応策検討調査)検討委員会(2010)  
「温暖化影響評価研究の最近の動向－IPCC-AR5に向けて－」
  - 9) 高橋 潔 : 第8回環境研究シンポジウム「わたしたちの生活と環境～地球温暖化に立ち向かう～」(2010)  
「現在及び将来の全球的な適応にかかる費用をどう分担するか？」
  - 10) 申龍熙、高橋 潔、肱岡靖明、花崎直太、増富祐司:日本農業気象学会2011年全国大会(2011)  
「GAEZモデルを用いた温暖化による世界のトウモロコシ生産性の影響評価」
  - 11) 山本隆広、花崎直太、高橋 潔、肱岡靖明 : 第55回水工学講演会(2011)  
「季節性を考慮した水逼迫指標を用いた全球温暖化水資源評価」
  - 12) K. TAKAHASHI : A workshop on research and policy, 2011  
"Introduction to research projects in Japan relevant to DRR/CCA"
  - 13) S. FUJIMORI, T. MASUI, K. TAKAHASHI : 2011 AgMIP Global Workshop, 2011  
"SSPs trials made by AIM (Asia-Pacific Integrated Modeling)"
  - 14) K. TAKAHASHI : Korea-Japan Joint Workshop for Climate Change Impact and Adaptation, 2011  
"Introduction to research projects on impact and adaptation analysis conducted in Japan"
  - 15) K. TAKAHASHI, Takayabu I., Ishizaki N., Shiogama H., Emori S., Tanaka N. : Third International workshop on downscaling, 2011  
"Projection of potential habitat for beech (Fagus crenata) forests in Japan considering three different dynamic downscaling scenarios from S-5-3 project"
  - 16) 花崎直太 : 環境科学会2011年会(2011)  
「新しい全球水資源温暖化影響評価に向けて」
  - 17) 申龍熙、高橋 潔、肱岡靖明、花崎直太、山本隆弘、増富祐司 : 第19回地球環境シンポジウム(2011)  
「気候予測の不確実性を考慮した世界のトウモロコシ生産性の温暖化影響評価」
  - 18) Y. SHIN, K. TAKAHASHI, Y. HIJIOKA, N. HANASAKI, Y. MASUTOMI : 1st International Conference on Green Environmental Technology 2011, 2011

- “Uncertainty Assessment in Maize Productivity Using Multiple GCM Climate Projections”
- 19) S. FUJIMORI, T. MASUI, N. HANASAKI, Y. HIJIOKA, K. TAKAHASHI, M. KAINUMA : The Nature and Use of New Socioeconomic Pathways for Climate Change Research, 2011  
 “Activities of AIM on SSPs”
- 20) Y. SHIN, K. TAKAHASHI, Y. HIJIOKA, N. HANASAKI : AGU Fall Meeting 2011, 2011  
 “Assessing climate change impacts on global crop yield considering climate projections uncertainty”
- 21) 藤森真一郎、増井利彦、高橋潔、肱岡靖明、甲斐沼美紀子、花崎直太：革新プロ, S-5, S-8  
 合同シンポジウム (2012)  
 「Shared Socioeconomic Pathways(SSPs)とは」
- 22) K. TAKAHASHI : International Workshop on Theoretical and Empirical Approaches for Understanding Adaptation to Climate Change, 2012  
 “Introduction to research projects on impact and adaptation analysis conducted in Japan”
- 23) K. TAKAHASHI : International Expert Meeting on the Development of Climate Scenarios to Support Adaptation Planning and Practices in Asia and the Pacific, 2012  
 “National level impact assessments in Japan and climate scenarios used in them”
- 24) S. FUJIMORI, N. HANASAKI, S. HASEGAWA, T. MASUI, M. KAINUMA, K. TAKAHASHI, Y. HIJIOKA : Climate Change Impacts and Integrated Assessment (CCI/IA) Workshop XVIII, 2012  
 “SSPs and industrial water by AIM modeling team”
- 25) 申龍熙、高橋潔、肱岡靖明、花崎直太、増富祐司：日本農業気象学会2012年全国大会 (2012)  
 「気候変動による作物収量変化への影響評価及び主要気候要素に対する地域別感度分析」
- 26) Y. SHIN, K. TAKAHASHI, Y. HIJIOKA, N. HANASAKI : Climate Adaptation Futures: Second International Climate Change Adaptation Conference 201, 2012  
 “Analysis of CMIP5 Data for Impacts and Adaptation Assessment”
- 27) 申龍熙、高橋潔、花崎直太、肱岡靖明：地球環境シンポジウム第20回 (2012)  
 「日本域付近の気候予測 -CMIP3気候シナリオとCMIP5気候シナリオの比較-」
- 28) 有賀敏典、松橋啓介：環境システム研究論文発表会第40回 (2012)  
 「中長期的な地域内人口分布シナリオの構築—国勢調査3次メッシュ人口データを用いて—」
- 29) 有賀敏典、松橋啓介：全国共同利用研究発表大会 CSIS DAYS 2012 (2012)  
 「市町村内人口分布シナリオの構築」
- 30) K. TAKAHASHI : The 9th Tripartite Presidents Meeting, 2012  
 “Introduction to Research Projects in Japan Relevant to Climate Change Impacts and Adaptation”
- 31) 高橋潔：市民公開シンポジウム「病原体の運び屋、蚊」 (2013)  
 「地球温暖化：現状とその将来予測」
- 32) K. TAKAHASHI, S. EMORI, Y. YAMAGATA, T. OKI, S. MORI, Y. FUJIGAKI, K. IWASE : Impacts World, 2013  
 “Integrated research on the development of global climate risk management strategies”



- framework and initial results of the research project ICA-RUS -"
- 33) T. HASEGAWA, S. FUJIMORI, S. YONGHEE, K. TAKAHASHI, T. MASUI : Impacts World 2013 : International Conference on Climate Change Effects, 2013  
"Global Assessment of Climate Change Impact on Food Systems"
- 34) K. TAKAHASHI : 5th Inter. Forum for Sustainable Asia and the Pacific, 2013  
"Projected Climate Change Impacts in Asia and Japan"
- 35) 高橋潔 : 公開シンポジウム「気候変動がもたらす農林業への影響とその対策を考える」(2013)  
「最近の世界の影響評価研究の動向と農林業研究への期待」
- 36) 高橋潔、花崎直太、肱岡靖明、原澤英夫 : RECCA-S8-創生D研究交流会 (2013)  
「S-8共通利用シナリオの開発・利用について」
- 37) 高橋潔 : 化学工学会第45回秋季大会 (2013)  
「地球温暖化が引き起こす影響について」
- 38) 高橋潔、高薮出、石崎紀子、塩竈秀夫、松井哲哉、田中信行、江守正多 : 地球環境シンポジウム第21回 (2013)  
「3種の力学的ダウンスケーリングシナリオを用いた我が国のブナ林分布適域の変化予測」
- 39) T. HASEGAWA, S. FUJIMORI, A. TANAKA, Y. SHIN, K. TAKAHASHI, T. MASUI : Climate Change Impacts and Integrated Assessment (CCI/IA) Workshop XX, 2014  
"Climate mitigation assessment on food security by AIM modeling team"
- 40) 高橋潔、花崎直太、肱岡靖明 : 日本地球惑星科学連合2014年大会 (2014)  
「日本全域を対象地域とした温暖化影響の総合評価のための共通シナリオの開発について」
- 41) 高橋潔 : 第14回日米先端科学シンポジウム日本側事前検討会 (2014)  
「Climate and Food Security」
- 42) K. TAKAHASHI : International Workshop on Risk Information on Climate Change, 2014  
"Contributions of the SOUSEI Program for impact and adaptation studies in Japan"
- 43) 高橋潔 : 気候変動適応社会をめざす地域フォーラム第4回会合 (2014)  
「S-8研究における気候変動適応に係る研究成果と地域での活用」
- 44) 高橋潔 : キヤノングローバル戦略研究所 日中温暖化専門家会合 (2014)  
「日本における気候変動影響」
- 45) 高橋潔 : 第125回リスク工学研究会 (2014)  
「地球温暖化リスクに関する最新の科学的知見 -IPCC第5次評価報告書をふまえて-」
- 46) 高橋潔 : 土木学会第22回地球環境シンポジウム (2014)  
「温暖化予測データ・IPCCとの関係」
- 47) T. HASEGAWA, S. FUJIMORI, K. TAKAHASHI, T. MASUI : The 7th IAMC Annual meeting, 2014  
"Scenarios of risk of hunger for the 21st century using Shared Socioeconomic Pathways"

### (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) 一般公開シンポジウム「気候変動対応フォーラム」(共催: 文部科学省、環境省、科学技術振

興機構、国連大学サステナビリティと平和研究所、2010年7月23日、中央合同庁舎第4号館、観客約250名

- 2) 気候変動に関する対話シンポジウム「将来の安全・安心な社会をめざして」（主催：文部科学省、環境省、2011年10月12日、日本科学未来館、観客約300名）
- 3) 地球温暖化に関する国際シンポジウム「変化する気候への適応と未来の姿」（主催：文部科学省、環境省、2014年11月25日、国連大学ウ・タント国際会議場、観客約400名）

#### **(5) マスコミ等への公表・報道等**

- 1) 記者発表（2014年3月17日、於環境省第1会議室、「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究2014報告書」

#### **(6) その他**

特に記載すべき事項はない。

### **8. 引用文献**

- 1) 花崎直太、高橋潔、肱岡靖明：日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・社会経済シナリオ、環境科学会誌[研究資料]、25、3、223-236、2012
- 2) 花崎直太、高橋潔、肱岡靖明、日下博幸、飯泉仁之直、有賀敏典、松橋啓介、三村信男：日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・社会経済シナリオ（第2版）、環境科学会誌、27、6、362-373、2014

## **Research on climate change impact assessment using an integrated assessment model and adaptation policies**

Principal Investigator :Yasuaki HIJIOKA

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)  
16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN  
Tel: +81-29-850-2961 / Fax: +81-29-850-2960  
E-mail: hijioka@nies.go.jp

Cooperated by:

[Abstract]

Key Words: Climate change, Comprehensive impact assessment, Integrated assessment model, Adaptation

This study aims at assessment of various distinct climate stabilization levels, impact level according to adaptation policy, and its adaptation effect using a state-of-the-art climate scenario utilized in IPCC Fifth Assessment Report. Research project 1(1) and (3)-(9) cooperatively conducted a study on comprehensive impact assessment and adaptation nationwide.

This research systematically assesses impacts on Japan on the basis of RCP 2.6, 4.5, 8.5 in the middle of 21st century (2031-2050) and the end of the century (2081-2100), respectively.

The research results indicates that global warming exerts impacts on a variety of fields in Japan throughout 21st century. The impact of disasters related to extreme weather, health effects, impacts on water resources, agriculture and ecological changes, are expected to be wide in scope and extent affecting; 1) national health, safety and security, 2) national life quality and economic activity, 3) ecosystems.

- As shown in the assessment of comprehensive impacts, negative impacts are expected to increase along with a temperature rise in most fields. Flood damage with impacts on national health, safety, and security will possibly increase roughly threefold in the end of the century compared to the base period (1981-2000). Also, in the absence of adaptation measures, risk of heat stress mortality is expected to double in nearly all prefectures at almost any age groups.

- Impacts on forest and agriculture are expected to vary noticeably depending on area. Species such as *Pinus pumila* (polar zone), *Abies veitchii* (subpolar zone) and *Fagus crenata* (cool temperate zone) which are dominant in respective forest zones are expected to experience a significant decrease in their potential habitat. Populations distributed in isolated mountaintops of the potential habitat areas have increased likelihood of

endangerment. On the other hand, *Quercus acuta* (warm temperate zone) is expected to extend its distribution area along with the extension of the potential habitat. Such massive forest change advances slowly yet steadily impacting ecosystems and landscapes.

Regarding rice production, implementation of adaptation makes it possible to lessen the yield reduction risk. However, it was suggested that the yield varies widely from area to area, and cultivation areas possibly polarize to appropriate or inappropriate land according with a temperature rise.

- Adaptation measures to be implemented are under consideration, but they have a reducing effect on adverse impacts of climate change. On the other hand, countermeasures from both hard and soft aspects are required to reduce the adverse impacts significantly.