



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 —

平成26年3月

この資料は2014年3月18日版です。
今後修正される可能性があります。

注意点

本成果報告書の総合影響評価で用いている気候シナリオ（将来の気温予測など）は、IPCC第5次評価報告書に向けて発表された世界の予測結果の中から低位、中位、高位のものを選んで利用しています。すなわち、すでに公表されている将来気候データを影響評価の入力条件として用いたもので、本プロジェクトが独自に将来の気候変化を予測したものではありませんので注意をお願いします。

はじめに

広く世界に温暖化の影響が顕在化しつつあります。我が国でも、気象の極端化によって、毎年多くの都市や山間の集落、離島などがこれまで経験のない集中豪雨や土砂災害に見舞われるようになりました。また、水資源、生態系、農業、沿岸域、健康といった分野にもさまざまな影響が現れています。私達は、気候変動の影響を毎年実感する時代に足を踏み入れつつあり、今後さらに影響が顕著になると考えざるをえません。温暖化のもたらすリスクが、社会によって制御できない程巨大になるのを防ぐためには、21世紀を通じて温室効果ガス排出量を大幅に削減すること（緩和策）が必要です。しかし、国際交渉の中でその見通しは立っておらず、さらに、最大限の努力によって、18世紀の産業化以降の世界の気温上昇を2℃程度に安定させたとしても、今以上の被害が生じることは避けられません。こうした悪影響に備える対策が適応策であり、その計画と実施を本格化する必要があります。さらに、我が国では、少子高齢化や産業のグローバル化、自然災害などによる大きな社会的インパクトが予想されますが、気候変動はこうした他の変化と重なり、相乗的に影響を及ぼすと予想されます。したがって、気候変動の影響にどう対処するかは、これからの社会や企業活動、個人・家庭の生活の設計にとって重要な要素になると考えられます。

この報告書は、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」の4年間（平成22～25年度）の成果をとりまとめたものです。本プロジェクトの目的は、地域毎の影響を予測し適応策を支援することです。そのため、12のサブ課題が分担して、①日本全国及び地域レベルの気候予測に基づく影響予測と適応策の効果の検討、②自治体における適応策を推進するための科学的支援、③アジア太平洋における適応策の計画・実施への貢献、に関する研究を実施してきました。折しも、平成26年3月25～29日に横浜市で開催される IPCC 第2作業部会会合および IPCC 第38回総会では、世界規模の影響、適応策、脆弱性に関する科学評価の結果が公表される予定です。IPCC が示す世界規模の将来リスクと対策の見通しの中で、日本での影響リスクはどうなるのか、リスク低減に適応策ほどの程度有効か、といった問いに答えたいと考え、12のサブ課題が一丸となって研究を行ってきました。まだ十分答え切れない問題もありますが、本研究の成果が安全・安心な気候変動適応型社会の構築に向けた一助となることを期待しています。

平成26年3月17日

S-8 プロジェクトリーダー 三村信男（茨城大学 学長補佐・地球変動適応科学研究機関長）

目次

[1]	はじめに	・・・ 1
[2]	メンバー	・・・ 2
[3]	分野別影響と適応策（水資源、沿岸・防災、生態系、農業、健康）	・・・ 3～14
[4]	被害の経済的評価	・・・ 15～18
[5]	温暖化ダウンスケール	・・・ 19～20
[6]	自治体における適応策の実践に向けて	・・・ 21～24
[7]	九州における温暖化影響と適応策	・・・ 25～28
[8]	アジアから見た適応策の在り方	・・・ 29～30
[9]	総合影響評価と適応策の効果	・・・ 31～40
[10]	まとめ	・・・ 41
[11]	参考文献	・・・ 42

研究参画・協力者一覧

S-8	温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 プロジェクトリーダー：三村信男 ¹
S-8-1(1) ²	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 脇岡靖明 ，原澤英夫，増井利彦，金森有子，②高橋潔，花崎直太，岡川梓，松橋啓介
S-8-1(2)	温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化 ① ³ 日下博幸 ，川島英之，建部修見，田中博，若月泰孝，② ⁴ 木村富士男，原政之，馬夔銚，吉兼隆生， ③ ⁵ 佐藤友徳
S-8-1(3)	気候変動による水資源への影響評価と適応策に関する研究 ① ⁶ 沖大幹，守利悟朗，②梅田信 ⁷ ，③ ⁶ 滝沢智 ，小熊久美子，酒井宏治，④秋葉道宏 ⁸ ，小坂浩司 ⁸ ，山田俊郎 ⑤荒巻俊也 ⁹
S-8-1(4)	沿岸・防災リスクの推定と全国リスクマップ開発 ① 風間聡 ⁷ ，② ¹⁰ 川越清樹，横尾善之，③ ¹¹ 鈴木武，浅井正，④有働恵子 ⁷ ，⑤牛山素行 ¹² ，⑥沖一雄 ⁶
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 田中信行 ¹³ ，松井哲哉 ¹³ ，小南裕志 ¹³ ，大丸裕武 ¹³ ，津山幾太郎 ¹³ ，中尾勝洋 ¹³ ，比嘉基起 ³¹ ，中園悦子 ¹³ ， 安田正次 ¹³ ，小出大 ¹³
S-8-1(6)	農業・食料生産における温暖化影響と適応策の広域評価 ① 石郷岡康史 ¹⁴ ，桑形恒男 ¹⁴ ，西森基貴 ¹⁴ ，長谷川利拡 ¹⁴ ，飯泉仁之直 ¹⁴ ，福井真 ¹⁴ ，中川博視 ¹⁵ ，大野宏之 ¹⁵ ， 中園江 ¹⁵ ，吉田ひろえ ¹⁵ ，丸山篤志 ¹⁵ ，② ¹⁵ 杉浦俊彦，阪本大輔，杉浦裕義，藤井浩，大原源二，③ ¹⁶ 増富祐司， 米倉哲志，三輪誠
S-8-1(7)	温暖化の健康影響－評価法の精緻化と対応策の構築－ ① 本田靖 ³ ，近藤正英 ³ ，階堂武郎 ¹⁷ ，上田佳代 ² ，橋爪真弘 ¹⁸ ，②近藤正英 ³ ，本田靖 ³ ，小野雅司 ²
S-8-1(8) ¹⁹	媒介生物を介した感染症に及ぼす温暖化影響評価と適応政策に関する研究 ① 倉根一郎 ，②澤辺京子 ③大前比呂思，④高崎智彦，⑤泉谷秀昌
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 ① ²⁰ 大野栄治 ，森杉雅史，佐尾博志，②坂本直樹 ²¹ ，③中畠一憲 ²² ，④森杉壽芳 ²³
S-8-2(1)	地域社会における温暖化影響の総合的評価と適応政策に関する研究 ① ²⁴ 田中充 ，小河誠，② ²⁴ 田中充，白井信雄，③馬場健司 ²⁴ ，④田中充 ²⁴ ，白井信雄 ²⁴ ，嶋田知英 ¹⁶ ，米倉哲志 ¹⁶ ， 増富祐司 ¹⁶ ，三輪誠 ¹⁶ ，横山仁 ²⁵ ，市橋新 ²⁵ ，常松展充 ²⁵ ，安藤晴夫 ²⁵ ，瀬戸芳一 ²⁵ ，廣井慧 ²⁵ ，陸齊 ²⁶ ， 浜田崇 ²⁶ ，大塚孝一 ²⁶ ，須賀丈 ²⁶ ，富樫均 ²⁶ ，堀田昌伸 ²⁶ ，尾関雅章 ²⁶ ，田中博春 ²⁶ ，畑中健一郎 ²⁶ ，田中洋之 ³² ， 丑丸敦史 ³³
S-8-2(2)	亜熱帯化先進地九州における水・土砂災害適応策の研究 小松利光 ²⁷ ，松永信博 ²⁷ ，橋本典明 ²⁷ ，安福規之 ²⁷ ，押川英夫 ²⁷ ，橋本彰博 ²⁷ ，大嶺聖 ²⁷ ，田井明 ²⁷ ， 久田由紀子 ²⁷ ，荒木功平 ²⁸ ，山城賢 ²⁷ ，杉原裕司 ²⁷ ，田辺智子 ²⁷
S-8-3	アジア太平洋地域における脆弱性及び適応効果指標に関する研究 ① ¹ 安原一哉 ，横木裕宗，三輪徳子，三村信男 ②久保田泉 ² ，亀山康子 ² ，森田香菜子 ³⁴ ，③ ¹ 小峯秀雄，村上哲， 信岡尚道，木下嗣基，田村誠，桑原祐史，④ ²⁹ ブラバカル・シヴァブラム，遠藤功，佐野大輔，松本郁子， ⑤ ³⁰ スリカンタ・ヘーラ，齊藤修，毛利英之

太字：課題代表者

所属機関（順不同）：¹茨城大学，²国立環境研究所，³筑波大学，⁴独立行政法人海洋研究開発機構，⁵北海道大学，⁶東京大学，⁷東北大学，⁸国立保健医療科学院，⁹東洋大学，¹⁰福島大学，¹¹国土技術政策総合研究所，¹²静岡大学，¹³森林総合研究所，¹⁴農業環境技術研究所，¹⁵農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所，¹⁶埼玉県環境科学国際センター，¹⁷大阪府立大学看護学部，¹⁸長崎大学，¹⁹国立感染症研究所，²⁰名城大学，²¹東北文化学園大学，²²兵庫県立大学，²³日本総合研究所，²⁴法政大学，²⁵東京都環境科学研究所，²⁶長野県環境保全研究所，²⁷九州大学，²⁸山梨大学医学工学総合研究部，²⁹地球環境戦略研究機関(IGES)，³⁰国際連合大学サステイナビリティと平和研究所，³¹高知大学，³²京都大学霊長類研究所，³³神戸大学，³⁴慶応義塾大学

*サブ課題の課題名・研究内容は、HPをご覧ください（http://www.nies.go.jp/s8_project/index.html）

気候変動による水資源への影響評価と適応策に関する研究

1. 研究目的

気候変動(温暖化)は、降水量を変化させるとともに、森林植生や農地の作物品種や時期が変わることで、降水の流出プロセスにも影響を及ぼす。水資源は自然環境や社会経済に重要な役割を果たしていることから、本研究では図1(3)-1に示す水資源に関連する影響要因のうち、温暖化による水資源の水量と水質の変化を予測し、それが上水道や工業用水などに及ぼす影響を評価することを目的としている。また、温暖化がもたらす水害の変化が、水の安定供給におよぼす影響を調べるとともに、人口や高齢化率など、社会変動と関連付けて、将来的な影響評価に取り組んでいる。

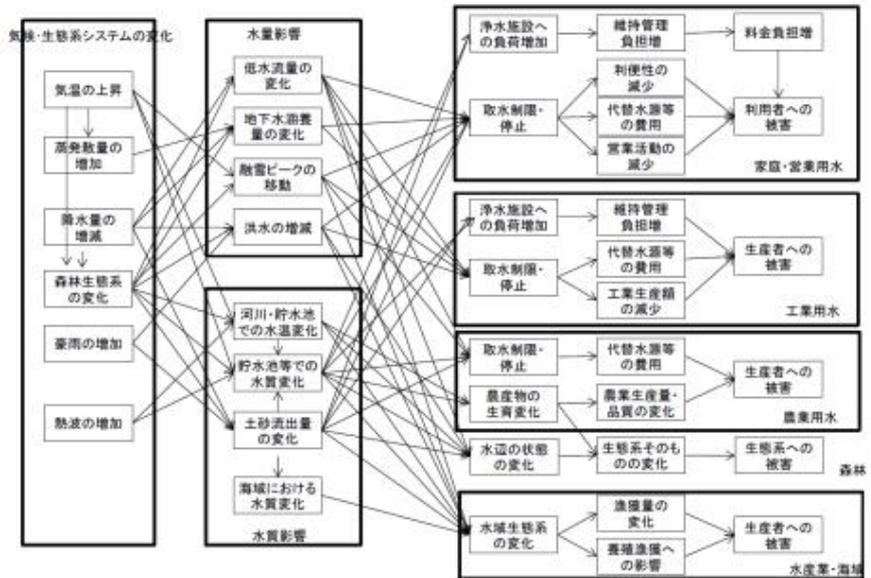


図1(3)-1 気候変動による水資源への影響に関する相関図

2. 手法

浮遊砂・河川流量：全国の一級河川の浮遊砂(SS)生産量の変化を推定するため、AMeDAS, MIROC および MRI-GCM に基づく現状(1980~2000年)および2030~2100年までのシナリオデータ¹⁽³⁾⁻¹を用いて、109の一級河川を含む全国の河川を対象とした¹⁽³⁾⁻²のスキームに基づいた準分布型シミュレーションによる数値モデル解析を行った¹⁽³⁾⁻³。また、研究課題S-8-1(5)による森林樹種の変化予測結果に基づき、MATSIRO モデルを用いて流量解析を行った。

クロロフィルa：水道水源となっている全国の37ダムを選んで、ダム湖内の水温を鉛直一次モデルで表現して、水温躍層の形成状況、表層水温、リン濃度から、藻類現存量の指標であるクロロフィルa濃度を推定した¹⁽³⁾⁻⁴。また、将来の人口シナリオと土地利用からダム湖流入河川中の栄養塩濃度を推定した。

水道事業の温暖化適応力の指標：温暖化による降水量の増加は、土砂の流出量を増加させ、河川水中の濁度の上昇をもたらす。そこで全国の水道事業の温暖化適応力の指標の一つとして、水源の濁度上昇適応力を、地下水利用率、高度処理導入率、応急給水能力、および財政的対応力の4つの業務指標にもとづいて、5段階で評価する総合指標を作成し、全国の地図上に表した¹⁽³⁾⁻⁵。さらに、全国の高齢単身世帯人口の増減比率を平成22年度の国勢調査をもとに日本地図上に示し、水道事業の温暖化適応力と比較した。

3. 研究成果

浮遊砂・河川流量：図1(3)-2は、1990年代のSS生産量に対して、MIROCの降水量予測値により推定した2090年代のSS生産量の変化率を示している。同図より紀伊半島から四国においてSS生産量が大きく増加し、全国平均では現状比で約8%~24%増加することが示された。

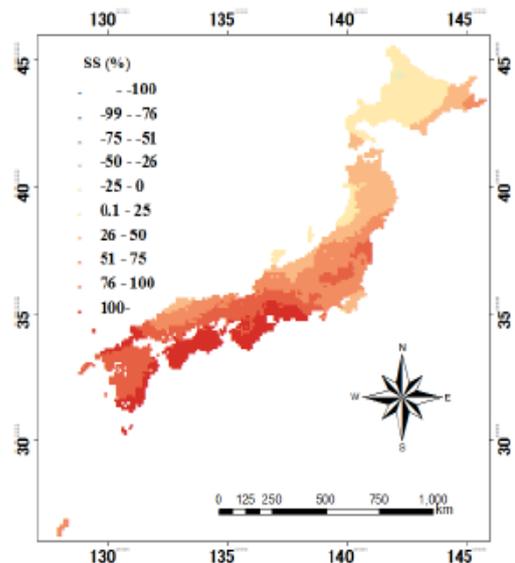


図1(3)-2 SS生産量の現状比

図1(3)-3は、AMeDAS, MIROC及びMRI-GCMに基づく月別の比SS生産量及びSS生産量の推移を示しており、特に、9月の台風シーズンにおいて大きく増加している。

2090年代においては、降雨量の増加に対して比SS生産量は線形的に増加していることから、将来の降雨量の増加は河川水中のSS増加をもたらすことが示された。さらに、研究課題 S-8-1(5)による森林樹種の変化予測結果に基づき、MATSIRO モデルを用いて流量解析を行った結果、2090年代においては現状比で河川流量が8~21%増加することが示された(詳細は31-40頁)。

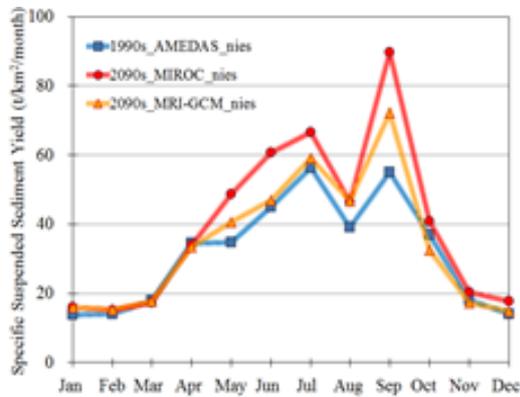


図1(3)-3 SS生産量の月別変化

クロロフィル a：ダム湖水源の集水域の人口変化を想定し、河川水中のリン濃度を推計したところ、人口が減少するダム湖において、流入河川水中のリン濃度も減少し、特に流域人口が大きく減少する西日本で、流入河川のリン濃度も大きく低下した。一方、東日本では、2010年時点で流入河川水中のリン濃度が高いダム湖が少ないこともあり、流入河川水中のリン濃度の減少はわずかであった。このため、東日本では、温暖化による影響により、ダム湖水中での藻類増殖と異臭味のような水質障害の発生頻度が増加する可能性がある。

水道事業の温暖化適応力の指標：図1(3)-4は、全国の水道事業体の豪雨による濁度上昇適応力を表している。東京、名古屋、大阪などの大都市圏において適応力が比較的高いのに対して、北海道、東北、中部、中国地方の内陸部には、図中の黄色から赤色の適応力が低いと思われる水道事業体が散在している。一方、2010年の高齢単身世帯比率は、図1(3)-5に見るように、北海道、本州の内陸部、紀伊半島から、四国、九州の南部で高い。さらに自治体により高齢化率の上昇速度に大きな違いがあるため、これらの地域で、濁度上昇などによる水道供給の停止を未然に防ぐための対策が求められている。

4. 適応策オプションと実施に向けた課題

温暖化は、降雨量の増大により河川流量を増加させる一方で、河川水の濁度の上昇やダム湖水の藻類濃度の上昇などの水質悪化をもたらす。温暖化の影響を受けやすい地域では、浄水場の処理機能の強化や、配水池などの貯留施設を

増設する必要がある。日本の水道施設は老朽化とともに処理能力が低下しており、今後は、資金制約のなかで、水道施設の機能強化を図る必要がある。

一方、将来の人口減少と同時に進行する高齢化は、水害や濁度上昇などの利水障害により水道が停止した場合、給水地点まで自力で水を受け取りに行くことが困難な人口を増大させる。このため、給水困難な人口に対する支援策が必要である。

図1(3)-1に示した通り、水資源は、自然生態系や、産業、都市生活を支えており、温暖化による水資源量や質の変化は、これらの分野に大きな影響を及ぼすことが懸念されている。温暖化による降水量の変化に対しては、これらの水利用分野が相互に協力して合理的な水利用を心がけるとともに、水源林の保護など、温暖化による水資源の変動を緩和するための能力の確保に努めることが重要である。

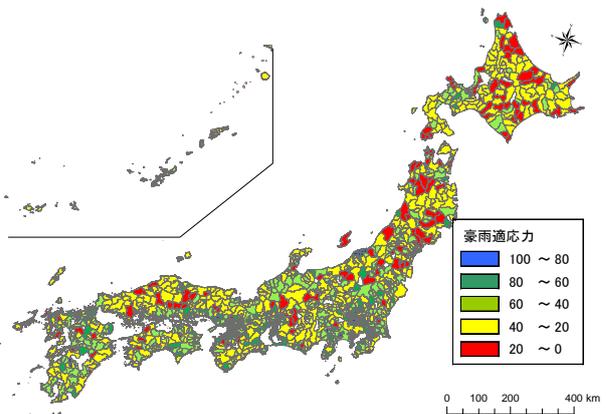


図1(3)-4 全国の上水道事業体の豪雨による濁度上昇適応力(総合指標:100点満点)

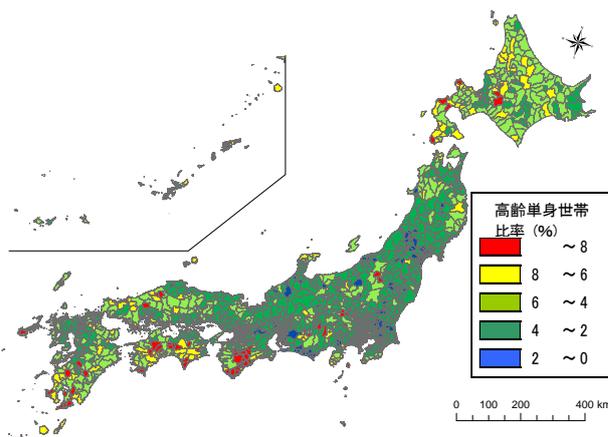


図1(3)-5 全国の高齢単身世帯の比率(%) (2010)

沿岸・防災リスクの推定と全国リスクマップ開発

1. 研究目的

本研究では、異なる自然災害事象を定量的に評価し、経済被害を求めることで、異なるスケール、地域特性、災害事象を同時に比較することを目的としている。対象とする事象は洪水、斜面崩壊、高潮、砂浜侵食であり、全てを統合して地域に応じた災害対策を論じることが可能である。対象とした4災害を統合し、日本全体から市町村レベルまで取り扱うことのできる本研究は、社会的意義と実用性が大きいといえる。

2. 手法

洪水氾濫リスク：全国の一級河川流域における再現期間毎の極値降雨分布と最大確率流量、集水面積データを用いて、極値降雨と最大確率流量の関係を求めた。この関係式から、任意地点の確率にもとづいた洪水流量を知ることができる¹⁽⁴⁾⁻¹。また、国土交通省の治水経済調査マニュアルを参考に、土地利用ごとに被害額単価を決定し、氾濫モデルから得られた浸水深と浸水期間を被害額単価に乗じることにより、被害額を算定した。ここでは、現在の治水水準とした50年に一回の洪水に対する防護レベルを越えた際の被害額を、日本全国において洪水被害額として求めた¹⁽⁴⁾⁻²。

斜面崩壊リスク：再現期間に応じた降雨に対する斜面崩壊発生確率を推計する。この推計に用いる斜面崩壊発生確率モデルは、降雨による地下水の勾配と地質、斜度を変数として、過去の実績データからロジスティック関数の係数を最小二乗法で求めて構築したものである¹⁽⁴⁾⁻³。被害額は砂防事業の費用便益分析マニュアルを基に算出し、その値に発生確率を乗じて求めた。

高潮災害リスク：まず地表面の形状と堤防等を与えた地形を表す標高データを構築した。次に、再現する経時的な潮位の変動を設定し、それに対して堤防等から越流する海水の量を計算した。海面上昇量と高潮増大率を与えて計算を行い、浸水深が最大となるとき浸水面積、浸水人口および浸水被害額を推計した¹⁽⁴⁾⁻⁴。高潮防護施設の整備の目安として多く使われてきた伊勢湾台風級の台風が室戸台風級になる場合を想定し、高潮増大率は1.3とした。海面上昇をシナリオで与えた。浸水被害額は洪水氾濫と同様、治水経済マニュアルによる。

砂浜・干潟消失リスク：砂浜消失リスクについては、海面上昇量の将来予測結果を用いて、Bruun則（汀線後退量と底質移動限界水深、海面上昇量の関係を表す）により将

来（21世紀末頃）の砂浜侵食量を予測した。全国の砂浜の底質粒径のデータはないため、複数の粒径を与えてBruun則に従って将来の侵食量を予測した¹⁽⁴⁾⁻⁵。干潟消失リスクについては、海面上昇量の将来予測結果と海底地形データを用いて、将来の干潟消失面積を求めた¹⁽⁴⁾⁻⁶。

複合災害リスク：洪水氾濫と高潮が同時に生じた際の被害額を評価した。沿岸部に洪水と同じ再現期間の高潮の潮位を境界条件として与え、氾濫被害を計算した結果、被害額は洪水被害単独のものから4%程の上昇にとどまった。また、同時に生じる再現期間は大変長いものであることから、洪水と高潮が同時に生じる毎年起こりうると考える平均被害額も大変小さい額となり無視できるものである。

3. 研究成果

洪水氾濫被害額と斜面崩壊被害額、高潮被害額の分布を図1(4)-1、1(4)-2に示す。洪水氾濫被害は沿岸部の都市圏に大きく生じる。また、斜面崩壊は、都市近郊の丘陵地に大きな被害が生じる。豪雨時には洪水氾濫と斜面崩壊は同時に生じることが多く、豪雨災害として両方の被害額分布を勘案して、適応策を講じる必要がある。高潮は都市が発達している沿岸低平地に甚大な被害が生じる。河道に沿って内陸地域まで遡上氾濫する様子が見られる。洪水氾濫被害の大きい地域と重なる地域も多く、両災害を勘案した適応策が必要である。砂浜および干潟の消失は、砂浜および干潟の面積の変化から求めた消失率で表記した。砂浜については全国的に侵食が進み、60cmの海面上昇量の際の砂浜消失率は80%をこえる。特に高潮のリスクも大きい地域では、沿岸防災対策の観点からも砂浜保全が重要である。数値地図上に個々または統合した災害のリスクを表示することによって地域に応じた対策を考察できる。

治水レベルが50年に一回の洪水を防ぐ場合の3大都市圏の被害額分布を図1(4)-3に示す。資産価値が高いので、低平地に大きな被害額が存在しているのがわかる。

4. 適応策オプションと実施に向けた課題

適応策にはハードウェアとソフトウェアに分けることができる。国交省は、以下のような洪水対策のハードウェアのオプションを取り上げている。ダムを設置、既存ダムの有効活用、遊水地、放水路、河道掘削、引堤、堤防嵩上げ、河道内樹木伐採、決壊しない堤防、決壊しづらい堤防、高規格堤防、排水機場、雨水貯留施設、雨水浸透施設、遊水機能の保全、部分的に低い堤防の存置、霞堤、輪中、二

線堤防, 樹林帯, 宅地嵩上げ, 水田保全, 森林保全. 一方, ソフトウェアとして, 土地利用規制, 予測情報の提供, 水害保険, 避難訓練, ハザードマップの配布, 法律の整備などがあげられているが, 個々の効果は, 地域によって異なる.

また, 幾つかの組み合わせによって, より効果を発揮するものもある. リスク地図から, 危険度の高い地域を抽出し, その便益にあった費用に基づいた地域に適したオプションを選択することが重要である.

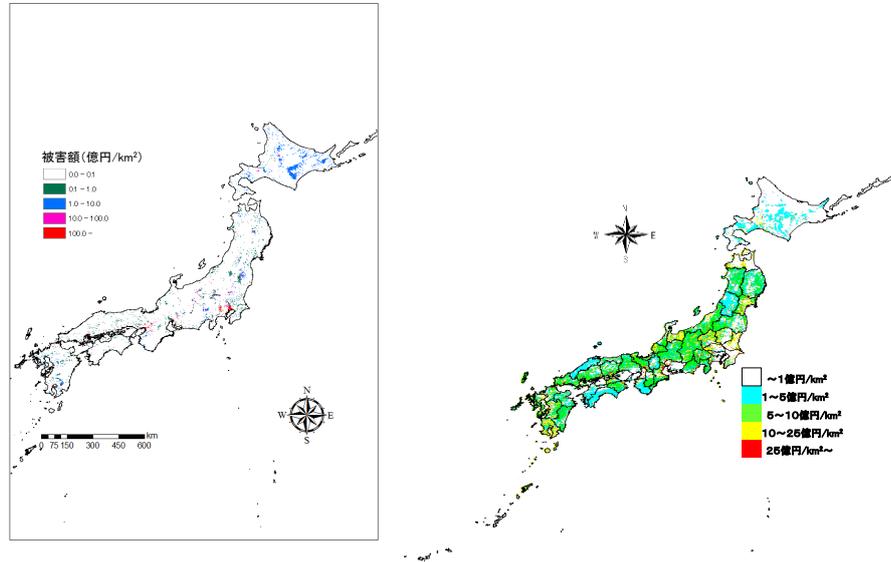


図 1(4)-1 (左)100年に一回の洪水が生じた際の洪水被害額と(右)100年に一回の豪雨が生じた際の斜面崩壊被害額

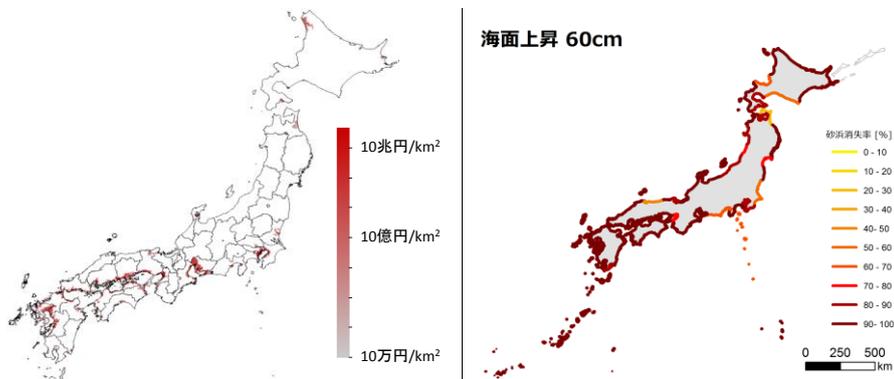


図 1(4)-2 (左)海面上昇 60cm のときの高潮被害額と(右)2100年頃の砂浜消失率

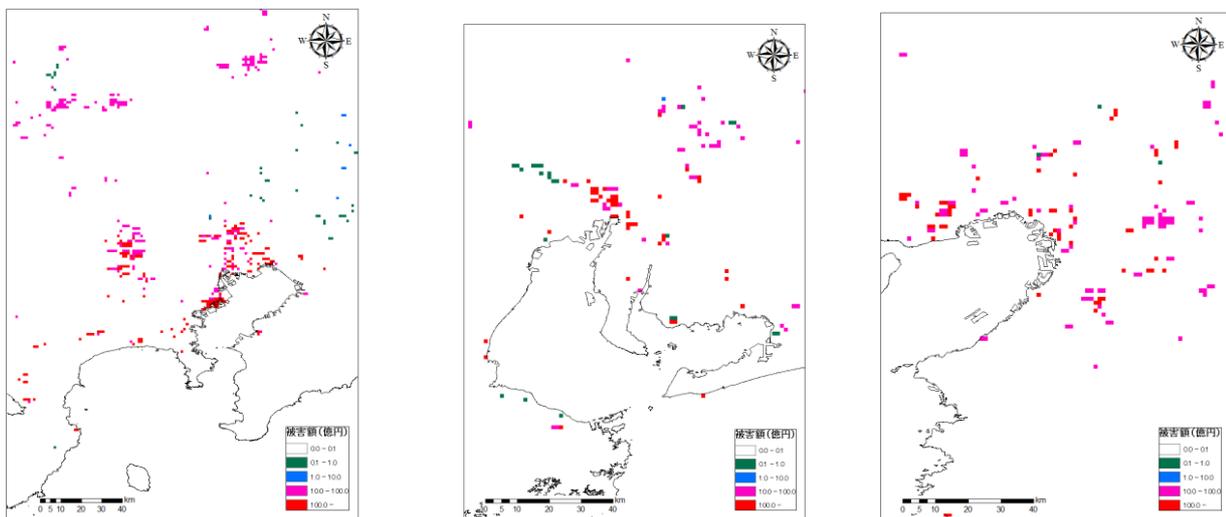


図 1(4)-3 3大都市圏の50年規模洪水の適応レベルの場合の被害額分布

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

1. 研究目的

森林は、日本の国土の67%の面積を占め、水源涵養、炭素の貯留、風致、林産物の供給など生態系サービスを通して国民の生存基盤を形成している。森林には、植栽によって成立する人工林と、樹木自身の繁殖（天然更新）で成立する自然林がある。自然林は、森林面積の55%（国土の36%）を占め、人工林に比べ風致や野生生物の生息域としての機能が高い。温暖化の影響は、人工林では成長の変化に現れるが、自然林では天然更新を通して構成種の優占度や組成の変化に現れる。本研究は、将来の気候温暖化が自然林にあたる影響の量的予測と不確実性評価、および適応策の提言を目的として進められてきた。本節では、日本の4つの気候帯で優占する樹種について3つのRCPの将来気候シナリオに基づく影響予測および適応策を解説する。

2. 手法

近年、野生生物への温暖化影響の予測では分布予測モデルが多く使われている。分布予測モデルとは、いろいろな種の天然分布を、気候要因を含む環境要因から統計的に予測する解析手法である¹⁽⁵⁾⁻¹。予測精度の高いモデルを構築するためには、分布データ数を増やすことや適切な環境要因を選択することなどが必要である^{1(5)-2,3}。精度の高い分布予測モデルに将来の気候シナリオを組み込むことにより、将来における種の分布可能な環境をもつ地域（潜在生育域）が予測できる。現在の分布と将来の潜在生育域にずれが生じた場合、種は自らの能力で移動するが、移動には時間がかかることに注意が必要である。

各気候帯の優占樹種4種（ハイマツ、シラビソ、ブナ、アカガシ）について、3つのRCP（2.6, 4.5, 8.5）それぞれについて、4つのGCMに基づく2081～2100年の気候シナリオを用いて、潜在生育域を予測した。その際、GCMの違いによる潜在生育域のばらつきに基づき、予測の不確実性を評価した。冷温帯の優占種であるブナについては、自然保護区と現在と将来の潜在生育域の位置を比較し、適応策について検討した。これらの樹種については、異なる将来気候シナリオに基づく影響予測がすでに行われていたが^{1(5)-4~7}、不確実性の評価や、適応策に向けた解析は今回初めて行われた。

3. 研究成果

(1) 各気候帯の優占種への温暖化影響予測

ハイマツは、中部以北の高山帯（寒帯）で優占する低木性針葉樹である。潜在生育域は、現在気候の51,618km²に比べ3つのRCPの将来気候シナリオでは489(RCP8.5中央値)～8,517(RCP2.6中央値)km²に減少する（図1(5)-1）。RCP2.6と4.5では、東北地域が潜在生育域から外れるが、中部と北海道の高山に潜在生育域が残存し逃避地となる。しかし、RCP8.5では、その逃避地も潜在生育域から外れてしまい、すべての地域で絶滅リスクが高まる。

シラビソは、四国から東南北部の亜高山帯（亜寒帯）で優占する常緑針葉樹である。北東北や北海道に広がる潜在生育域は、実際には分布しない不在生育域である（図1(5)-1）。潜在生育域は、現在気候の12,146km²に比べ3つのRCPの将来気候シナリオでは1,208(RCP8.5中央値)～8,457(RCP2.6中央値)km²に減少する。潜在生育域からはずれる分布南限の四国で山頂に孤立する個体群は脆弱と推定される。

ブナは、九州から北海道の冷温帯で優占する落葉広葉樹である。潜在生育域は、現在気候の105,931km²に比べ4つのGCMの中央値に基づくRCP2.6の将来気候シナリオでは123,531km²に増加するが、RCP4.5で92,251、RCP8.5で27,037km²に減少する（図1(5)-1）。本州太平洋側から西日本の潜在生育域はRCP4.5と8.5ではほとんど消失するので、この地域の個体群は脆弱と推定される。北海道では、潜在生育域がRCP2.6と4.5で拡大をするが、移動速度が23km/100年以下と遅いため¹⁽⁵⁾⁻⁸、分布はほとんど拡大しないと考えられる。

アカガシは、九州から東北の暖温帯で優占する常緑広葉樹である。潜在生育域は、現在気候の147,126km²に比べ3つのRCPの将来気候シナリオでは159,758(RCP4.5中央値)～176,551(RCP8.5中央値)km²に増加する（図1(5)-1）。しかし、移動速度が遅いことや生育する自然林が分断されているため、分布拡大は遅いだろう。他の3種に比べて、アカガシの不確実性を伴う潜在生育域は広い。これは、アカガシは多雨な地域に分布することと、降雨条件がGCMごとに大きく異なることが理由と考えられる。

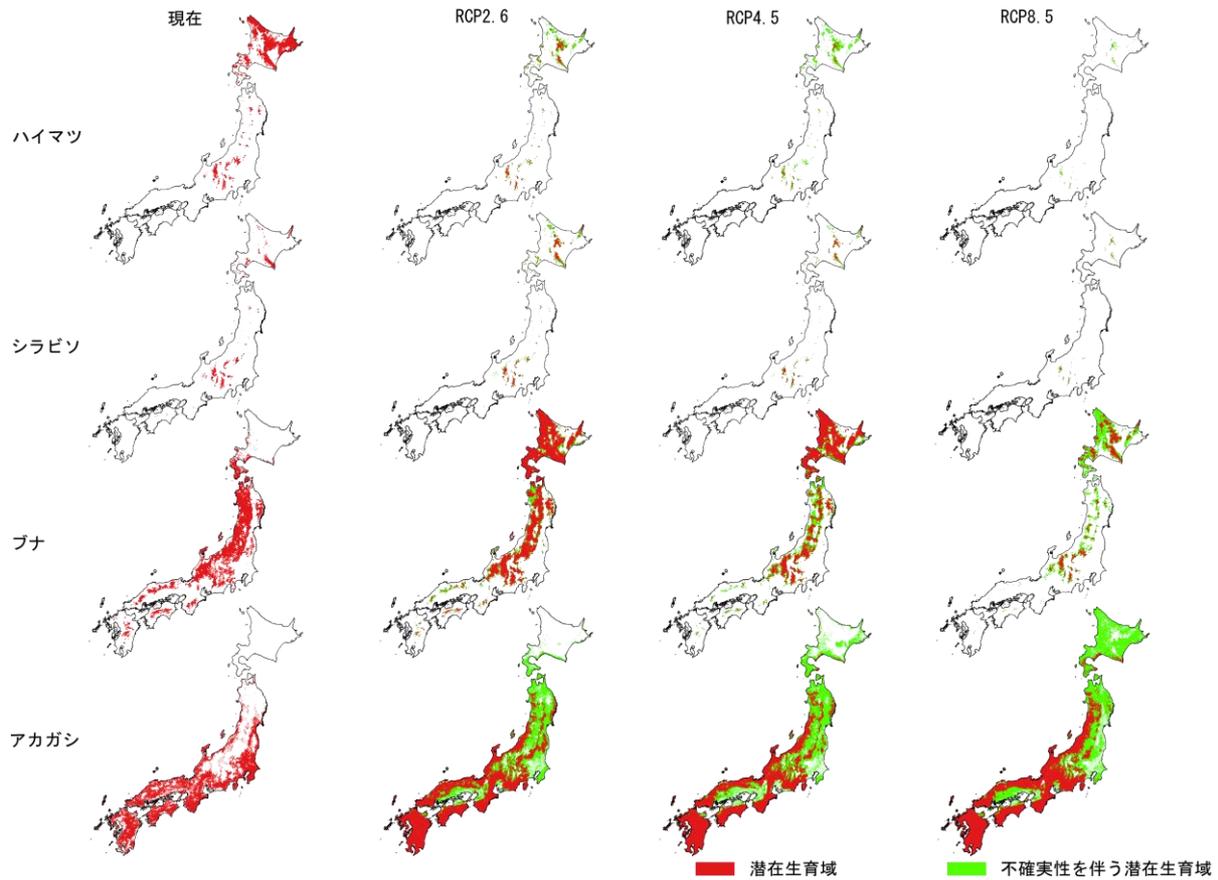


図1(5)-1. 各気候帯の優占種4種における現在気候と3つのRCPの将来気候シナリオで予測された潜在生育域。潜在生育域は、2081～2100年の各RCPにおける4つのGCM(MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, HADGEM2-ES)にもとづく分布確率の中央値によって特定した。不確実性を伴う潜在生育域は、4つのGCMのいずれかで潜在生育域になると予測された地域を示す。

4. 適応策オプションと実施に向けた課題

ブナ個体群は伐採されると他の樹種に比べ再生が遅く衰退するので、保護区によって伐採を回避することが保護につながる。ブナの潜在生育域と既存の保護区の地理的比較によると、保護区内の潜在生育域は、現在気候で22,122km²あるが、4GCMの中央値においてRCP2.6で17,597km²、RCP4.5で12,947km²、RCP8.5で4,525km²に減少した(図1(5)-2)。一方、保護区外の潜在生育域は、現在気候の40,445km²に比べ、4GCMの中央値においてRCP2.6で26,696km²、RCP4.5で15,075km²、RCP8.5で1,965km²であった。3つのRCPとも中部から北海道南部の地域に保護区外の潜在生育域が認められるので、この地域の一部を保護区に変更することによってブナを保護することが1つの適応策と考えられる。一方、本州太平洋側と西日本地域では、潜在生育域がRCP2.6でも狭い上に、RCP8.5ではほとんど消失する。この地域に生育するブナは、中部から北海道南部の個体群とは異なる遺伝的形質を持つので、遺伝的多様性を保全するためにも保護する必要がある¹⁽⁵⁾⁻⁹。そのためには、保護区の見直しでは不十分で、競争種の排除や植栽など積極的管理が必要になる。こ

のように、ブナの適応策は地域によって異なる方法が有効と考えられる。

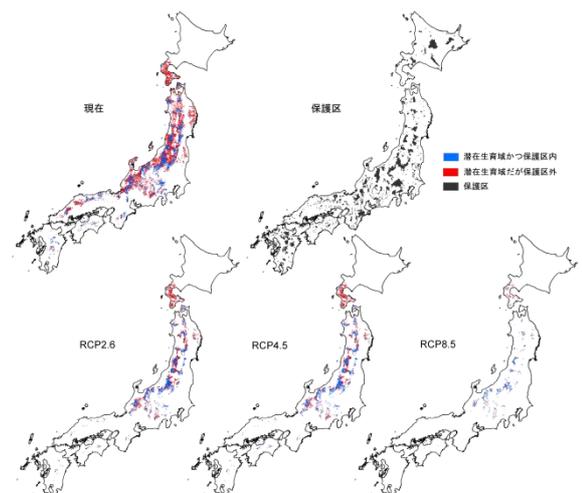


図1(5)-2. 現在気候と3つのRCPの将来気候シナリオで予測されたブナの潜在生育域と自然保護区の比較。現実的な評価を行うため、ブナの潜在生育域は、実際の分布域内に限定してある。

農業・食糧生産における温暖化影響と適応策の広域評価

1. 研究目的

作物生産は気候に大きく依存するため、農業は気候変動や気候変化の影響を特に受け易い部門である。本研究では、予測される気候変化による我が国の主要作物の生産性への影響を、予測の不確実性を考慮に入れ評価し、影響を軽減するための有効な適応技術オプションを提示することを目的とする。

2. 手法

(1) コメ等穀物生産への影響と適応策

我が国の水稲栽培においては、近年登熟期間の高温傾向が原因と考えられる品質低下が問題となっている。今後予測される気温上昇によって更に深刻化する可能性があり、その影響解明と適応技術の提示が必要となっている。ここでは、多品種に対応した生育収量予測プロセスモデルを影響評価モデルとして導入し、複数の予測気候条件に基づくシミュレーションを行い、収量と品質を指標とした気候変化影響と、適切な作期移動を実施した場合の効果を評価した。対象期間は1981～2100年とし、移植日を現行移植日から±70日間の範囲において7日間間隔で移動させ、それぞれの出力結果について収量と品質の観点からの年代毎の最適移植日の抽出を試みた。品質については、出穂後20日間の日平均気温26℃以上の積算値(HDDとする)とコメ品質(1等米比率)との関係が比較的明瞭であるため¹⁽⁶⁾⁻¹、本研究においてもHDDを高温によるコメ品質低下リスクを表す指標として用いた。移植日の移動の効果のみを評価するため、品種は地域ごとの現行栽培品種に固定した。

(2) 果樹生産適地移動の幅と適応技術

亜熱帯果樹は現在、沖縄県や鹿児島県南部で生産されており生産量は亜熱帯性カンキツの一種であるタンカンが最も多い。温暖化が進行すると、亜熱帯果樹は適地が本州や四国などにも広がる可能性がある。また、一方、わが国で最も生産量の多い果樹であるウンシュウミカンは温暖化により、現在の産地での生産は難しくなる可能性がある¹⁽⁶⁾⁻²。そこで、こうした地域で亜熱帯果樹の栽培が可能かどうか検討した。タンカンに低温処理を行い、耐寒性限界気温を推定した。この結果及び資料¹⁽⁶⁾⁻³からタンカン栽培の生産適温を設定し、これをMIROC3.2-hiresモデル(SRES-A1B温室効果ガス排出シナリオ)に基づいた気候変化メッシュデータ ver.2¹⁽⁶⁾⁻⁴に適用して、栽培適地を推定した。

(3) 不確実性を考慮した農業影響および適応策

我が国の水稲を対象とした影響評価モデルにおいて、

これまで考慮されてこなかった台風の被害面積を定量的に推計するモデルを構築し、予測の不確実性低減を試みた。本研究では、被害確率を外力の関数で示したフラジリティ曲線を基礎に、被害面積を推計するモデルを構築した。フラジリティ曲線を用いた被害推計は、台風や地震などの外力に対する建物の被害率を計算するために、都市工学や建築工学でよく用いられる手法である¹⁽⁶⁾⁻⁵。フラジリティ曲線には、様々な種類の分布を仮定することができるが、本研究では都市工学や建築工学でよく用いられるワイブル分布を仮定した。

3. 研究成果

(1) コメ等穀物生産への影響と適応策

対象期間(1981～2100年)におけるモデル出力値を、現行移植日による結果を「適応なし」、20年毎にHDD平均値が20℃・日以下の範囲で収量平均値が最多となる移植日による結果を「適応あり」として、各年代(20年毎)で相互比較することで移植日移動による適応の効果を調べた。結果の一例として、MIROC3.2-hires A1bによる、「適応なし」の場合のHDDの値により分類された全生産量の20年毎の推移を図1(6)-1に示す。全生産量は21世紀中盤にかけて増加しその後も大きくは減少しないと算定されたが、HDDの値が高い(すなわち高温による品質低下リスクの高い)生産物の割合が大きく増加することが判明した。一方、「適応あり」の場合の全生産量は、期間を通して大きくは減少せず、またHDDの高い生産物の割合も低く抑えられるという結果となった。しかしながら、収量の地域的分布(図1(6)-2)を見ると、増加する地域と減少する地域の偏りが極めて大きくなるのがわかり、温度上昇に伴い栽培適地、不適地の2極分化が進む可能性が示唆された。

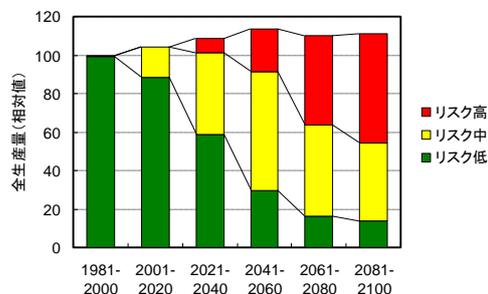


図1(6)-1 全生産量の20年毎の推移(MIROC3.2-hires A1b; 適応なし)各メッシュの算定収量に水田面積を乗じて全国集計したもので、1981-2000の現行移植日による値を100とした場合の相対値で表した。高温に因る品質低下のリスク: 低(HDD<20), 中(20<HDD<40), 高(40<HDD)

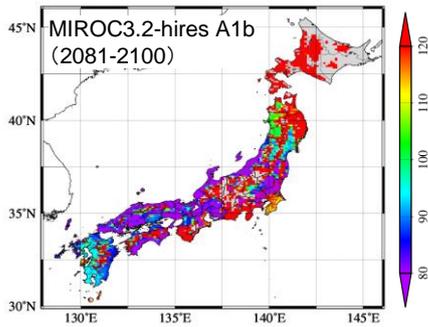


図 1(6)-2 推定収量の分布 (2081-2100 平均 ; MIROC3.2-hires A1b) 値は 1981-2000 平均の値を 100 とした相対値

(2) 果樹作付適地移動の幅と適応技術

実験結果等より、亜熱帯果樹のタンカンの栽培適地は年平均気温 17.5°C 以上であり、また寒害発生限界気温は -2°C と考えられた。その結果から適地を推定すると現在は沖縄県全域、鹿児島県の島嶼部の多く、九州南部の沿岸部の一部となり、実際の産地分布と一致した (図 1(6)-3)。2040 年頃には関東平野南部以西の本州太平洋側や四国沿岸部にも適地が広がると考えられた。関西や首都圏の一部もこのころには亜熱帯化し、亜熱帯果樹の栽培が可能な地域も現れると推定された。2060 年頃になると西日本の日本海側にも適地が広がると予想された。また、現在のウンシュウミカン産地の多くは亜熱帯果樹生産が可能になり、改植が適応策のひとつとなりうるものの、内陸の産地では亜熱帯果樹への移行は難しいと考えられた。

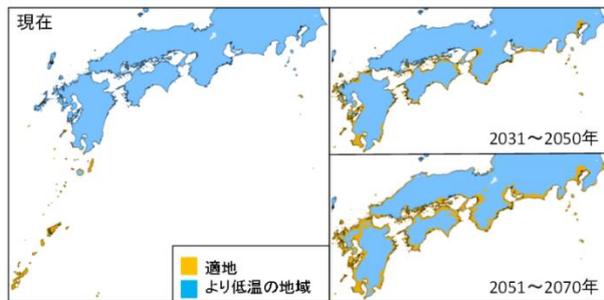


図 1(6)-3 亜熱帯果樹 (タンカン) の栽培適地の変化¹⁽⁶⁾⁻⁶。年平均気温 17.5°C 以上でかつ年最低気温が -2°C 以下になる年の頻度が 5 年に 1 回を下回る地域を適地とした

(3) 不確実性を考慮した農業影響および適応策

図 1(6)-4 に台風の被害面積の推計値(EA)と観測値(RA)の比較を示す。この図より本研究で開発したモデルにより推計した被害面積が観測値に概ね一致していることがわかる。さらに表 1(6)-1 に被害面積ごとに区別した推計誤差を示す。これによると、被害面積が大きい台風に対しては、推計誤差が小さく推計精度が高いことがわかる。以上

の結果より、本研究で開発したモデルは特に被害面積が大きい台風に対しては精度よく被害面積を推計できることがわかった。今後このモデルを用いて台風が及ぼす水稲への温暖化影響を評価することにより、今まで考慮してこなかった台風の影響を定量的に推計することができ、予測の不確実性を低減することにつながると考えられる。

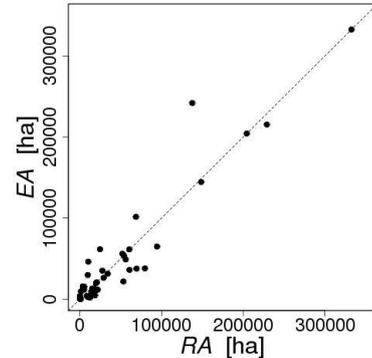


図 1(6)-4 被害面積の推計値 (EA) と観測値 (RA) との比較

表 1(6)-1 推計誤差

被害面積 [ha]	平均誤差 [%]
<5000	327.9
5000-10000	126.5
10000-20000	81.3
20000-50000	40.6
50000-100000	29.9
>100000	16.8

4. 適応策オプションと実施に向けた課題

水稲においては、移植日の移動のみではなく早晩性の異なる品種を導入することによっても高温期を回避できる可能性もあり、気候変化に応じた適切な品種の選択も重要な適応技術オプションとして考慮する必要がある。また、現状では高温耐性品種の育成と導入が有効な適応技術として期待されており、想定される気候変化条件下での育種目標を提示することも重要である。今後の課題としては、影響評価モデルで考慮されていない生産性への影響要因として、気候変化に伴う水需給関係や病虫害発生形態、台風等大規模災害の発生の変化も想定される。作期移動や品種改変等の適応策が実施された場合、これらの間接影響要因がどのように作用するかといったリスクの分析も必要である。果樹では、水稲や野菜のような作期移動による高温回避策を講じるのが困難であるため、適応策は限られている。植物調節剤やマルチなど資材の活用や温暖化対策品種・系統の育成が進められているが、必ずしも十分とはいえない状況であり、一層の適応策の開発が急務である。

温暖化の健康影響 — 評価法の精緻化と対応策の構築 —

1. 研究目的

気温が快適な範囲を超えて高くなると、ヒトは生理学的に汗をかいたり血液を皮膚表面に多く分布させたりして体温を一定に保とうとする。さらに長時間高気温にさらされると、脱水、血圧低下などが引き起こされ、また、暑さで温熱中枢が障害されると体温が 40 度をこえることもある。このような気温上昇による身体負荷をここでは熱ストレスと定義する。熱ストレスの影響は、熱波などで認められる。たとえば、ヨーロッパで 2003 年起こった熱波では、各国で多数の超過死亡が観察された。フランスにおいては、1 日平均死亡数が 122 人のパリ市で 2228 人の超過死亡が観察された¹⁽⁷⁾⁻¹。この超過死亡のうち、143 人はもともと 1、2 週間のうちに死亡するほど脆弱な人の死期を少しはやめただけ、という「刈り取り効果」と考えられたが、大部分は熱波がなければ死なずにすんだ人々であったという。このような多数の超過死亡により、死亡者が死体安置所に収まらないなど、市民生活にも大きな影響を与えた。フランスでは、この熱波のあと対策が施され、同じ程度の熱波ならば影響は小さくなったといわれるが、超過死亡が消滅したわけではなく、日本においても毎年のように暑い日には熱中症の患者が多いことが報告されている。このような例から明らかなように、熱ストレスによる影響は先進国においても大きな問題である。この、熱ストレスによる死亡リスクの将来予測を行い、影響を小さくするための方策を探ることを研究目的とする。

2. 手法

本研究では 65 歳以上のみを対象としている¹⁽⁷⁾⁻²。厚生省から死亡小票データ、気象庁から気象データを入手して、日別の最高気温と死亡数との関連を観察すると図 1(7)-1 のように V 字型になる。暑くても寒くても死亡数は増加するので、中間付近に死亡数が最も少ない気温 (= 至適気温) があり、この気温を超えた、ある気温での死亡数から至適気温での死亡数を引いた部分を超過死亡と定義した。超過死亡を求めるにあたり、既存の研究から問題と指摘されていた点は、至適気温が気候によって異なることであった。たとえば札幌市では 23.8°C、東京では 27.8°C、那覇市では 29.6°C となっていた。この点について、様々な指標を検討し、ある地域の日最高気温の 84 パーセンタイル値が、ほぼその地域の至適気温になっていることを確認することができた。すなわち、日最高気温の値から、その地域の日最高気温 84 パーセンタイル値を引けば、すべての地域

において至適気温が 0 となる。それぞれの地域で人口が大きく異なるので、超過死亡計算のための気温と死亡の関連観察には、至適気温における死亡数を基準とした相対リスクを用いた。たとえば、至適気温で 1 日 100 人が死亡し、至適気温よりも 5°C 高い場合には 1 日 120 人が死亡するとすれば、5°C 高い気温での相対リスクは 120 人/100 人 = 1.2 となる。すなわち、5°C 高い気温では、至適気温の 1.2 倍の人が死亡することになる。

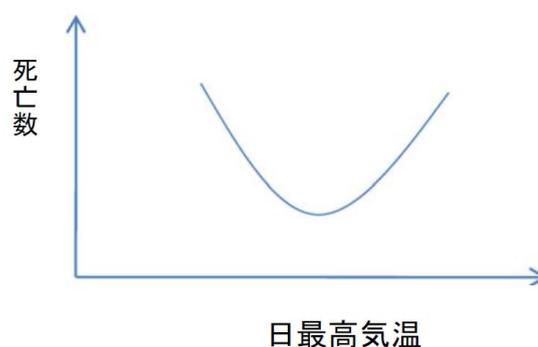


図 1(7)-1 日最高気温と死亡数との関連(模式図)

将来予測においては、通常得られる年平均死亡数から、基準となる至適気温での死亡数を推定しなくてはならない。その作業にも相対リスクを用いることができる。47 都道府県のデータから、平均日別死亡数 (年間死亡数を 365 でわったもの) と至適気温での死亡数の比が 0.88 であることがわかっている。もう一つの問題として、ある日の高気温の影響がその日で終わらず、次の日以降にも持ち越されることがある。これについては、死亡を気温と持ち越し効果の二次元で回帰する、Distributed Lag Non-linear Model (DLNM) という統計手法¹⁽⁷⁾⁻³を用いることで対処した。ここでは 15 日間の持ち越し効果を仮定した。

温暖化した場合に熱ストレスによる超過死亡の影響がどうなるかを、ここでは将来も気温が現状のままの場合の超過死亡と、気温が上昇した場合の超過死亡との差として計算した。

熱中症患者数に関しては、管区气象台のある札幌市、仙台市、東京都 (23 区)、新潟市、静岡市、名古屋市、大阪市、広島市、福岡市、沖縄県 (本土) の最新データ (2010 年~2013 年) を基に影響関数を作成した。具体的には、全市を対象に日最高気温別 (18°C~38°C) の出現日数と患者数を求め、各市人口で重みづけした日最高気温別患者発生率 (人/100 万人・日) を求めた。影響関数は男女別、年齢階級別 (0~19 歳, 20 歳~64 歳, 65 歳以上) に求めた。

39°C以上については、得られた関数を単純に外挿した。この影響関数をもとに将来推計を行った。

3. 研究成果

図1(7)-2にDLNMを用いた気温（日最高気温 - 至適気温）と相対リスクとの関連を示す。赤い線がそれぞれの気温における相対リスクの推定値、灰色の領域は95%信頼区間を示す。すなわち、100回データを収集してこのような信頼区間を作った場合には、その信頼区間に真の値が入ることが95回ある、という意味である。

ここで得られた成果を用いると、現状（15-64歳も含む）では熱ストレスによる超過死亡は年間約3,000人と推定できた。なお、将来の熱ストレスによる超過死亡者数を31-40頁に示す。

4. 適応策オプションと実施に向けた課題

至適気温は、地球温暖化に伴う気温の84パーセンタイル値の上昇の影響を受けて、年次とともに高くなってきていた（たとえば東京都では0.1°C/年）。すなわち、特に意識せずとも、集団として暑くなっていく気候に自動的に適応してきたことになる。よって、将来予測に関して、積極的な適応策を行わなかった場合でも、たとえば2050年の予測で、現時点の日最高気温84パーセンタイル値を用い

れば0%適応、2050年の日最高気温84パーセンタイル値を至適気温とすれば、その気温に100%適応していると考えられる。ただし、この自動的適応には時間がかかるため、100%適応ということは実際にはあり得ない。また、現状でも超過死亡は発生しており、現状でよいということではなく、積極的な適応策によって死亡数を減少させることをめざすべきである。

政策の関与しない自動的適応に対して、積極的な適応策としては、既に行われているような環境省によるウェブ上の熱波警報システムやマスコミによる天気予報時の注意喚起などがある。本研究の65歳以上高齢者の調査では、各種情報源から、熱中症予防のために水分補給や暑熱時のエアコン使用が必要であるという情報などはある程度届いているものの、対処行動をとれない住民もおり、就寝する部屋にエアコンのない世帯も少なくない。三郷市の事例では、エアコンを設置していない世帯がある地区に集積していた。このようなハイリスクグループに対する対応をとることで、効率よく熱ストレスによる熱中症、死亡を予防することができるものと考えられる。中長期的には、熱中症シェルターの配置、緑地・街路樹の整備、廃熱を減らすような省エネビルへの立て替えなど、政策によって実現すべきものも多く考えられる。

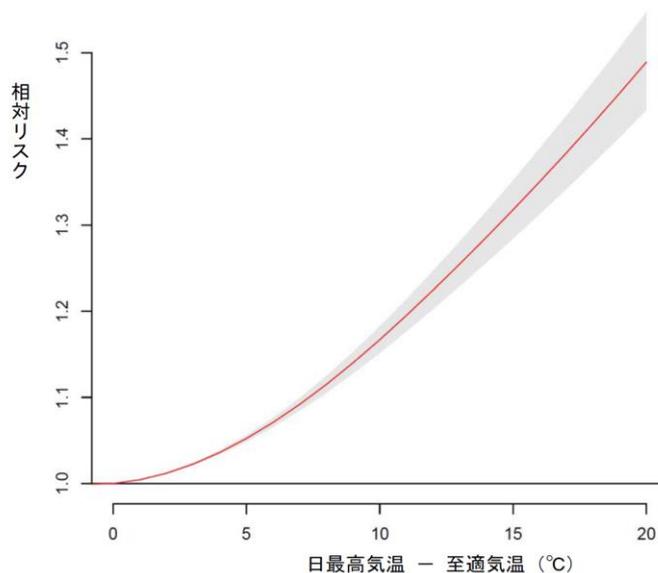


図1(7)-2 気温と死亡の相対リスクとの関連（65歳以上、日本）。（文献1(7)-1のデータから再構成したもの）

媒介生物を介した感染症に及ぼす温暖化影響評価と 適応政策に関する研究

1. 研究目的

地球温暖化による感染症への影響として、蚊媒介性感染症の発生地域拡大、流行規模・患者数増加や水を介した感染症（水媒介性感染症）の発生数の増加が考えられている。本研究においては、我が国における蚊媒介性感染症、水媒介性感染症への温暖化影響評価手法を確立し、感染症への温暖化影響を全国規模で明らかにするとともに、地方自治体レベルにおける脆弱性や影響評価を行うことを目的とする。

2. 手法

(1) 蚊媒介性感染症媒介蚊であるヒトスジシマカの分布域変動

デング熱、チクングニア熱等世界的に流行しており、我が国への侵入も危惧される。ヒトスジシマカはこれらの感染症の主たる媒介蚊であり、我が国に生息する。ヒトスジシマカの分布域調査と気象因子の比較から、生息のための気候パラメーターを明らかにし、気候変動に伴う分布域の変動を明らかにした。

(2) 日本脳炎ウイルスの活動と気候パラメーター

日本脳炎は我が国で毎年患者が発生する重篤な感染症である。日本脳炎ウイルスの活動は、自然宿主であるブタの血中日本脳炎ウイルス抗体の陽性率に最も反映される。ブタ日本脳炎抗体陽性率と関連する気候因子の関係を明らかにし、気候変動に伴う日本脳炎リスクの変動を示した。

(3) ビブリオ属菌の海水における増殖に影響するパラメーター

水媒介性感染症の原因細菌の自然界における繁殖状況のモデルとして各種ビブリオ属菌による感染症に対する温暖化影響評価手法を開発し、影響するパラメーターを明らかにした。

3. 研究結果

日本においては、現在、地球温暖化の感染症への影響が、感染症の患者数や死亡数の明らかな増加として現れているわけではない。また、上下水道等の生活基盤が整備され、公衆衛生対策が迅速にとられる我が国においては、感染症への温暖化影響を、患者数の増加や患者発生地域の拡大として捉えることは、感染症への温暖化影響のモニタリング方法としては感度の高い方法とはいえない。したがって、

患者数の変動以外の指標による地球温暖化の感染症影響の把握が必要となる。

(1) 蚊媒介性感染症媒介蚊であるヒトスジシマカの分布域変動

ヒトスジシマカは蚊媒介性ウイルス感染症のベクターとして最も重要である。ヒトスジシマカの分布域の調査と気温との関係に関する研究から、現在日本における分布域の北限が東北地方北部であり、この北限が年々北上していることが明らかとなった¹⁽⁸⁾⁻¹ (図1(8)-1)。ヒトスジシマカの分布域を定める気候パラメーターは年平均気温 11 度の気温であり、温暖化が進行すれば、いずれ東北地方全域、また北海道も年平均気温 11 度以上になると予想されることから、ヒトスジシマカはいずれ東北地方全域、さらには北海道に侵入すると推察される。したがって、温暖化によって、東北地方北部、北海道でも将来デング熱やチクングニア熱の流行が起こるリスクが生ずることになる。

ヒトスジシマカの分布域の拡大(1998-2012)

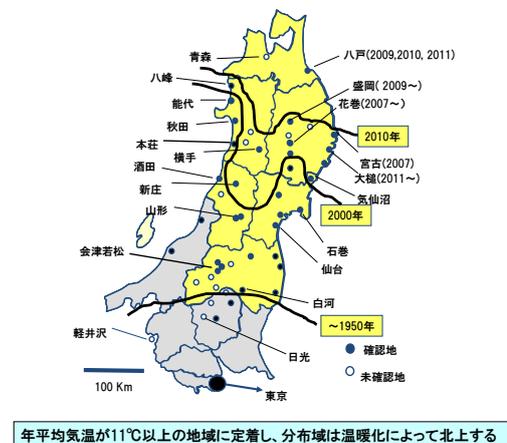


図1(8)-1 ヒトスジシマカ分布域の拡大 (1998-2012)

(2) 日本脳炎ウイルスの活動と気候パラメーター

日本脳炎ウイルスは日本に常在する蚊媒介性ウイルスである。現在日本においてはコガタアカイエカが日本脳炎ウイルスの主たる媒介蚊である。年間の日本脳炎患者数は年 10 人未満であるが、日本脳炎ウイルスの活動（ウイルス感染蚊の活動）は、毎年夏季ほぼ全国的に観測される。日本脳炎ウイルスの自然宿主であるブタの日本脳炎ウイルス抗体陽性率は、年および夏季（6-8 月）の平均気温、平均最高気温、平均最低気温と正の相関を示す¹⁽⁸⁾⁻² (図

1(8)-2). さらに、日本脳炎ウイルスの活動は、年平均気温：9.0°C、夏季平均気温(6, 7, 8月)：19.2°C、年平均日最高気温：13.3°C、夏季平均日最高気温(6, 7, 8月)：22.2°C、年平均日最低気温：4.2°C、夏季平均日最低気温(6, 7, 8月)：15.6°C以上の条件で起こりうると計算された。雨量との関係においては、地域ごとに正、負の影響がみられ一定しない結果となった¹⁽⁸⁾⁻³。この結果は、夏季の温度が高いほど日本脳炎ウイルスの活動が高まり、日本脳炎ウイルス感染のリスクが高まるとともに、日本脳炎の感染リスクのある地域も北上することを示唆している。本研究から、日本脳炎ウイルス感染蚊の活動が起こる条件となる夏季平均気温、夏季平均日最高気温、夏季平均日最低気温が明らかとなる。したがって、これらの条件を満たす地域においては、日本脳炎に対する対策の一層の充実が必要となる。

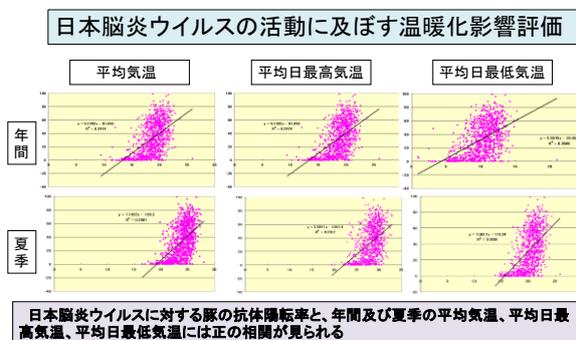


図 1(8)-2 日本脳炎ウイルスの活動に及ぼす気候パラメータ

(3) ビブリオ属菌の海水中における増殖に影響するパラメーター

水媒介性感染症のモデルとして海水中の3種類のビブリオ属菌の増殖に影響するパラメーターを明らかにした。海水中の菌の増殖は海水温と塩分濃度によって規定され、ビブリオバルニフィカス：水温 17°C以上、塩分濃度 0.1-2.9%、腸炎ビブリオ：水温 17°C以上、塩分濃度 0.3以上、ビブリオコレレ：水温 24°C以上、塩分濃度 0.0-2.3%であった(図1(8)-3)。

ビブリオ属菌の生息に関する環境要因

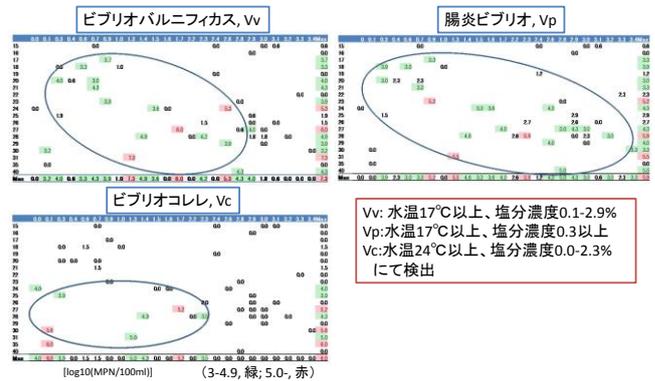


図 1(8)-3 ビブリオ属菌の生息に関する環境要因
縦軸：水温，横軸：塩分濃度

4. 適応策オプションと実施に向けた課題

感染症への適応策として、現在すでに行われているもの、さらに今後適応策として、導入可能なものが種々考えられる。感染症に対して取りうる適応策を一例として表1(8)-1に示す。

表 1(8)-1 温暖化影響に対して考えられる適応策
行政等による適応策

- ・感染症サーベイランス
- ・上下水道の整備
- ・ワクチン接種
- ・啓発活動
- ・媒介蚊対策
- ・媒介蚊の各地方における調査(発生状況調査含む)
- ・媒介蚊防除対策の立案可能な人材の養成
- ・媒介動物、海水中の細菌数等の各地域における継続的な調査

個人として取りうる適応策

- ・媒介蚊との接触回避
- ・媒介蚊発生環境の除去、幼虫防除
- ・魚介類の生食時の衛生状況注意

適応策をとるにあたって必要となる科学的知見

- ・媒介蚊分布域の調査
- ・媒介蚊種特定及び特定法の開発
- ・殺虫剤抵抗性の出現状況調査、機序の解明及び発達状況に関する調査

- ・自然界における病原体検出、評価手法の確立
- ・温暖化の各種病原体の増殖に及ぼす影響解明
- ・感染症のヒト感染状況調査手法の開発
- ・各種感染症の検査・診断法の開発と標準化
- ・新ワクチン、新治療薬の開発

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. 研究目的

本研究は、温暖化適応政策による年次別・地域別・部門別の受益と負担の構造を明らかにし、適応政策の効率性・公平性を比較・検討することを目的とする。

2. 手法

(1) 水害被害

本研究では、気候変動に伴う水害被害が時間を通じて社会経済においてどのように拡大するかを理論的に明らかにし、動学空間的一般均衡（DSCGE：Dynamic Spatial Computable General Equilibrium）モデルの下で、その波及の様を描写する¹⁽⁹⁾⁻¹。ただし、都道府県別・産業別被害分布の議論は捨象する。

温暖化による水害発生頻度は、長期に渡って増加傾向にあると推測される。社会における水害被害項目のうち、とりわけ大きいものは家屋資産や他の建物、道路などを代表とする社会資本へのダメージである。これらの実績を積算した数値は、国土交通省が発刊する水害統計に記載されている。またGCMを活用し、現在と将来の土地利用状況を用いて、今後の水害被害予測値を算出している研究も報告されている。本研究では、このような被害を「直接的被害」と定義し、各時点の各主体が最終的に被る「帰着被害」の総計値とは異なる値を持つものとする。水害被害の大きな対象である資産へのダメージは、その資産が将来もたらすであろう収益性（一般に利子率）にも変化を与える。一般市民である家計や個人は、毎年得られる所得を様々な財・サービスの購入の他に、貯蓄や資産形成にも充てる。毎年の貯蓄-消費の配分比率を動学的・合理的に決定しているような個人のライフプランを考えた際、将来に渡る資産の実質利子率の低下は、およそ彼の生涯期間において獲得できる総所得と消費の水準を引き下げてしまう。その結果、「直接的被害」と「帰着被害」の間に開きが生じ、それらの比率をここでは「動学的拡大係数」と定義する。

図1(9)-1において、経済は当初現在（状態0）を表す定常成長均衡 SS_0 に位置するものとする。ここで100年後（状態1）においては、温暖化の進行は各資本の減価償却率の上昇をもたらす。このインパクトを初期時点で与え、減価償却率の変化に対応した新しい定常成長均衡を SS_1 とする。合理的行動仮説の下、個人は消費を現状の水準 c_0 から c_1' に瞬間的に調節し、以降、徐々に SS_1 における消費水準 c_1 へと「移行経路」上で向かっていく。

動学的な被害の拡大の効果を分析するために、本研究では二つの指標を提示している。一つは「動学的帰着ベース被害（比較静学）」と呼ぶもので、 SS_0 と SS_1 における消費額としての差分、 $c_0 - c_1$ を指す。この指標は理論モデルの解として数的に明確に表現でき、動学的拡大係数も1を超えることも明らかとなる。

もう一つの指標は「動学的帰着ベース被害（移行動学）」と呼び、これは移行経路上で毎年の被害額差分 $c_0 - c_t$ を算定し、経済が SS_1 へ十分収束したものと考えられる期間まで積算し、その年平均を導出したものである。 SS_0 と F の差分 $c_0 - c_0'$ は「直接的被害」に対応するので、十分な算定期間を設ければ、動学的拡大係数も1を超える。

図から明らかのように、常に前者は後者より大きな値を持つため、前者は後者の可能性としての最大値を示す。また、移行経路の考え方を取り入れている後者は幾分か現実描写性が高く、被害の動学的波及は十分に時間を通じて生じうることを示している。しかし、この被害額の算定は数的に表現できないという問題点、また定常成長均衡への収束期間は恣意的に決定せざるを得ないので、その算定結果は安定しないという問題点がある。

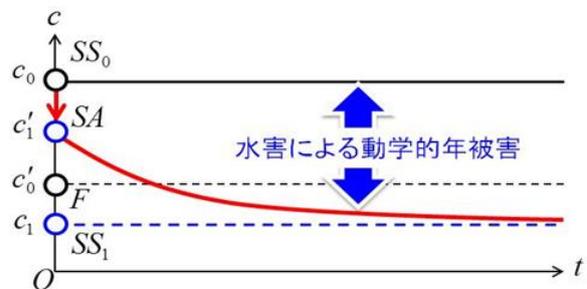


図1(9)-1 消費の移行経路

(2) 砂浜侵食

本研究では、2031～2050年時点と2081～2100年時点における気候変動に伴う砂浜侵食の被害額とその影響に対する仮想的な適応政策の効果を算定することを目的としている。そこで、空間的一般均衡（SCGE：Spatial Computable General Equilibrium）モデルの下で、研究課題S-8-1(4)より提供された気候変動による砂浜侵食の予測値（RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5シナリオ）を用いて¹⁽⁹⁾⁻³、砂浜侵食による被害額を都道府県ごとに明らかにし、さらに仮想的な適応政策の効果を検討した^{1(9)-2,4}。計算過程の概念を図1(9)-2に示す。被害額の算定ではまず、「砂浜侵食が無い状態」と「砂浜侵食に対する対策を一切施さない場合

の各シナリオ (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) における将来予測値状態」を比較し、価格変化に依存しない等価変分 (EV: Equivalent Variation) を用いて、日本全体の総被害額を算定する。次に、「砂浜侵食に対する対策を一切施さない場合の各シナリオ (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) における将来予測値状態」の砂浜面積値から「ある都道府県のみ砂浜侵食が無い状態」の砂浜面積値に戻すことを考え、その場合の日本全体の総被害額を算定する。これらを比較し、砂浜侵食による総被害額の差額を「ある都道府県の砂浜侵食による被害額」として考え、これを都道府県別に計上する。ただし、砂浜面積が0になる場合、上記の評価手法では支障があるため、部分的に旅行費用法 (TCM: Travel Cost Method) を併せて用いている。

また、本研究では砂浜の適応政策として「仮想的な養浜事業」を想定しており、この事業は事業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、事業を実施することで砂浜を侵食前の状況に戻すことができるものとしている。この仮想的な適応政策の費用については過去に実際に行われた7つの養浜事業より、平均事業費は18,276円/m²としている。

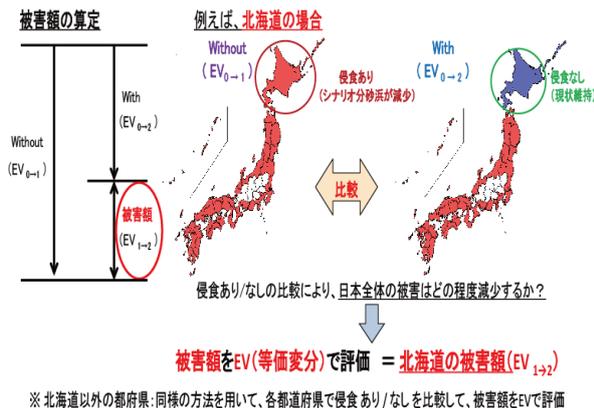


図1(9)-2 砂浜の被害額の算定方法

(3) 熱中症被害

本研究では、温暖化影響および温暖化対策による災害や病気などの死亡リスクの変化の経済評価研究に資することを目的として、仮想市場評価法 (CVM: Contingent Valuation Method) により死亡リスク低減のための支払意思額 (WTP: Willingness to Pay) に基づく統計的生命価値 (VSL: Value of Statistical Life) を計測した¹⁽⁹⁾⁻⁵。分析データには、2010年1月に成人男女を対象として、インターネットでアンケート調査を実施した『死亡リスクに関する意識調査』の結果を用いた¹⁽⁹⁾⁻⁵。

ここで、熱中症被害額は上記のWTPに基づいて計測される。そのWTPは死亡原因と死亡リスクの大きさに依存するので、熱中症被害額を計測するためには熱中症死亡リスクの変化を予測する必要がある。しかし、S-8の他班では「熱ストレスによる死者数」を予測しているため、本

研究では当該班との連携をとるためにVSLも計測した。

(4) プナ林衰退

本研究では、環境財の利用価値 (環境が提供されている場所を利用することによって得られる満足感) と非利用価値 (その場所を利用しなくても得られる満足感) を整合的に計測するための方法を提案することを目的として、TCMと理論的に整合したCVMの評価モデルを構築し、白神山地のブナ原生林の利用価値と非利用価値を都道府県別で計測した。TCMおよびCVMの分析データには、2011年8・10月に白神山地の秋田県側・青森県側双方からの来訪者を対象としたアンケート調査を実施した『白神山地の利用と保護に関する意識調査』の結果を用いた¹⁽⁹⁾⁻⁶。なお、CVMのアンケート調査において、研究課題S-8-1(5)のブナ林衰退の予測値 (MIROCシナリオ) を用いて¹⁽⁹⁾⁻⁷、ブナ林の保護に対するWTPを被験者に尋ねた。

3. 研究成果

(1) 水害被害

本研究で開発した、47都道府県 (8地域分割) 20産業部門ベースのDSCGEによる、水害被害の動学波及効果における数値シミュレーション結果を示す。ここでは、2000~2060年を対象期間とし、この期間における毎年の水害被害額の増加分、すなわち「直接的被害」は、S-8の他班の推計結果を参考にして5,000億円と仮定する。その結果、図1(9)-3に示すように、「動学的帰着ベース被害 (比較静学)」は5,616億円、「動学的帰着ベース被害 (移行動学)」は5,164億円と算定された。いずれの指標でも「動学的拡大係数」は1を超え、「直接的被害」を上回ることが明らかとなった。また前述のように、「移行経路」上における理論的考察から、後者は前者を下回ることが予想されたが、これについても整合的な結果である。

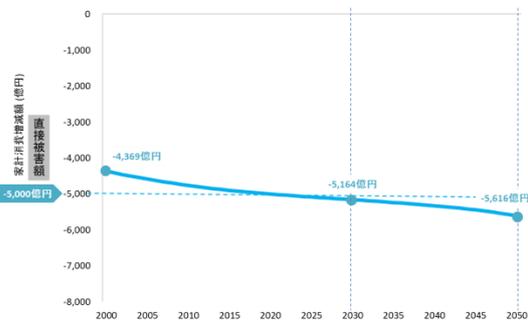


図1(9)-3 動学的帰着ベース被害

(2) 砂浜侵食

現在総じて日本の砂浜の総面積は201.9km²であり、同砂浜が算出する年あたりのレクリエーション価値は

1,028.1 億円となる。砂浜侵食による被害が一番小さい RCP2.6 シナリオと一番高い RCP8.5 シナリオと比較すると、砂浜総面積の減少分は 2031～2050 年時点では 108.6km² (-53.8%)～142.4 km² (-70.6%)、2081～2100 年時点では 143.7km² (-71.2%)～171.5 km² (-85.0%)、砂浜侵食による日本全体の総被害額 (図 1(9)-4 と図 1(9)-5) は 2031～2050 年時点では 342.8 億円/年 (-33.3%)～484.8 億円/年 (-47.2%)、2081～2100 年時点では 495.1 億円/年 (-48.2%)～731.0 億円/年 (-71.1%) と算定された。また、仮想的な適応政策の効果 (図 1(9)-6 と図 1(9)-7) については、赤色で示される都道府県が費用対効果 1 を超えることを意味する。いずれのケースにおいても主に神奈川県、有明海周辺、関西圏から瀬戸内海沿岸にかけて政策効果が高くなっている。また、より被害が大きくなるにつれ、北陸方面まで費用対効果 1 を超えるケースが目立つ。

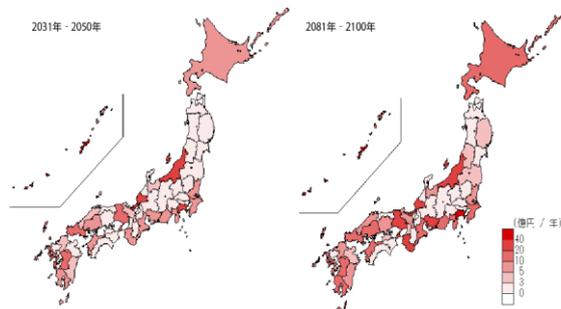


図 1(9)-4 砂浜侵食による被害額 (RCP2.6)

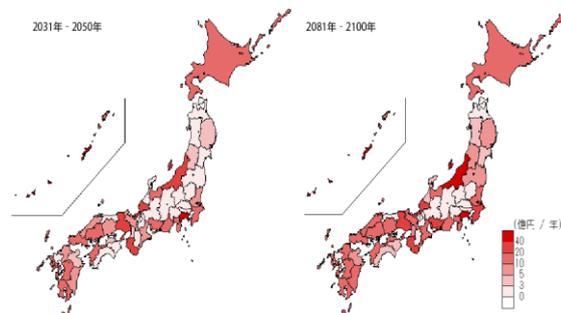


図 1(9)-5 砂浜侵食による被害額 (RCP8.5)

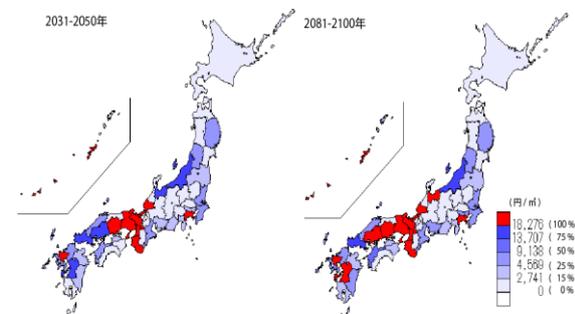


図 1(9)-6 仮想的な適応政策の効果 (RCP2.6)

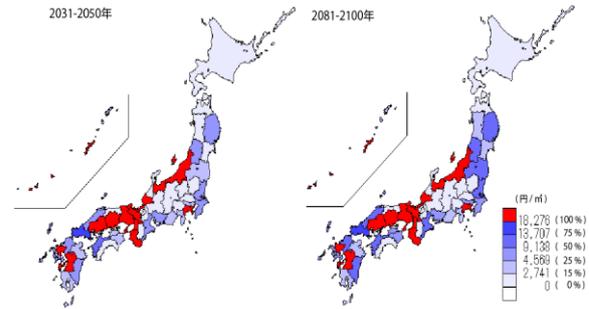


図 1(9)-7 仮想的な適応政策の効果 (RCP8.5)

(3) 熱中症被害

熱中症の死亡リスクを低減するための WTP および VSL の計測結果は、図 1(9)-8 および図 1(9)-9 に示すとおりである。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)-8 より、WTP は死亡リスクの減少量に対して統計的に遞増関数で説明されることが読み取れる。図 1(9)-9 より、VSL は死亡リスクの減少量に対して統計的に遞減関数で説明されることが読み取れる。

また、近年の日本の熱中症死亡リスクは人口 10 万人あたり 0.3 人であり、近い将来には温暖化により当該リスクは約 3 倍の人口 10 万人あたり 1.0 人になると仮定する。この温暖化後の死亡リスク (人口 10 万人あたり 1.0 人) を近年の死亡リスク (人口 10 万人あたり 0.3 人) に低減するための WTP は図 1(9)-8 に示される回帰式より 1,592 円/年となり、VSL は 2 億 2,742 万円となる。ここで、内閣府による VSL 推計値は 2 億 2,607 万円であり¹⁽⁹⁾⁻⁸、この数値が国土交通省の公共事業評価に採用され、現在日本の「生命の価値」の基準値となっている。本研究による VSL 推計値 (2 億 2,742 万円) はこの数値とほぼ同額である。

なお、上記の WTP について、死亡リスク低減の場合の WTP (正值) は便益を意味し、死亡リスク増加の場合の WTP (負値) は被害を意味する。したがって、上記の WTP に日本の総人口を掛けると、日本全体の便益または被害が算出される。ただし、図 1(9)-8 の回帰式は死亡リスク低減を前提とした WTP 関数であるので、被害を計測するためには別の関数形を推定する必要がある。

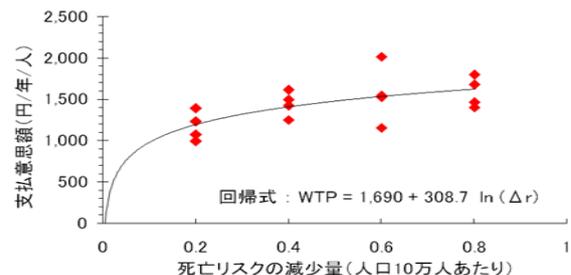


図 1(9)-8 WTP の計測結果

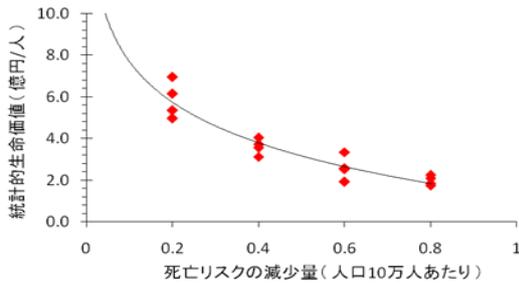


図1(9)-9 VSLの計測結果

(4) プナ林衰退

本研究で構築したモデルを用いてブナ原生林（白神山地）の利用価値と非利用価値を計測した。その結果、図1(9)-10に示すとおり、非利用価値は白神山地訪問者一人当たり1,028円/年となり、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、利用価値については、白神山地の存在する秋田県と青森県からの訪問者の利用価値は、それぞれ一人当たり10,548円/年と11,154円/年と推計された。また、東京都、大阪府、福岡県からの訪問者の利用価値は、それぞれ5,579円/年、3,759円/年、2,666円/年と推計された。

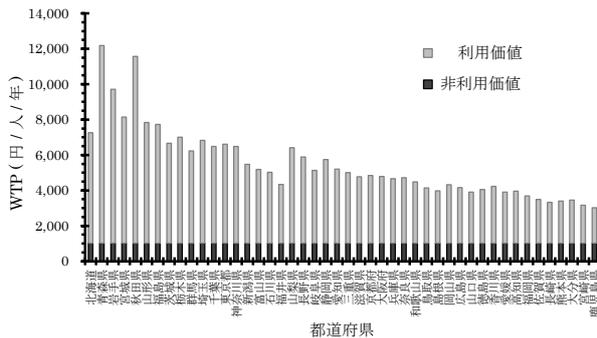


図1(9)-10 都道府県ごとの評価値

4. 適応策に必要とするコストの考え方

(1) 水害の適応策

本研究では水害の適応策として、今後追加的に行われる「防災関連型社会資本整備事業」を想定する。事業の内訳としては、治水事業の典型である堤防・ダム・遊水地などの整備、治山や海岸事業、下水道整備事業が含まれる。費用の算定には、それらの整備費用、維持・管理・運営費用、地代等が考慮される。

(2) 砂浜の適応策

本研究では、砂浜の適応策として「仮想的な養浜事業」を想定する。ここで想定する養浜事業とは、事業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、事業を実施することで現状の状況に戻すことができるものとする。また、この適応策に必要なコストは養浜事業にかかる総費用と考える。

(3) 熱中症の適応策

本研究では、熱中症の適応策として「ドクターカー」を想定する。ドクターカーとは、現場から医療施設に緊急搬送されるまでの間、応急治療を施す医師も同行する緊急自動車のことである。これを導入することで、搬送中に応急治療を施せ、結果として、救命率の向上に繋がると考えられる。また、この適応策に必要なコストはドクターカーの増加台数、ガソリン代の増加量、応急治療を施す医師やスタッフの増加賃金等が考えられる。

(4) プナ林の適応策

ブナ林への悪影響は人間の干渉が大きな要因と考えられるため、一般にその保全策として「保護区指定」などが考えられる。しかし、その保全策を実施することで、観光客の立入制限がかかると、その利用価値が減少することも考えられる。本研究より、ブナ林の価値に占める利用価値の割合が大きいことがわかっており、「保護区指定」以外の保全策も検討する必要がある。

温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化

1. 研究目的

気候変動の影響評価や適応策を地域毎に検討するためには、空間詳細な気候予測データが必要である。これまで、日本全域を対象とした空間詳細な気候予測データは、環境省のS-5プロジェクト、文部科学省の21世紀気候変動予測革新プログラム、気象庁の地球温暖化予測情報などによって作成されてきた。これらのプロジェクトで作成されたデータはとても有用だが、排出/濃度シナリオ・予測年代・GCM (Global Climate Model) などが限定されているため、プロジェクトが対象としていないシナリオや年代を対象に影響評価や適応策を検討する場合、空間解像度が100kmよりも粗いGCMのデータを用いなくてはならない。

影響評価研究者や自治体の技術者が、各々の目的に応じて空間詳細な気候予測データを利用するには、地域気候予測の研究者にデータ作成を依頼するか、独自で力学的ダウンスケールを実施しなくてはならない。しかしながら、力学的ダウンスケールには高度な専門的知識を必要とするためその実施は非常に困難である。

そこで本課題では、パソコンを使って、誰でも簡単に力学的ダウンスケールによる地域気候予測の計算と分析ができるシステム(温暖化ダウンスケーラ)を開発した。気候モデルの専門家ではない影響評価研究者や自治体の担当者が、地域の気候予測の情報を得るまでの負担を可能な限り軽減することを目標としている(図1(2)-1)。



図1(2)-1 温暖化ダウンスケーラの応用先一覧。

温暖化ダウンスケーラは、排出シナリオ・GCM・予測年代を任意に選択でき、それぞれのニーズに合ったダウンスケーリング実験を簡易に行うことができる。また、全球規模の気候変化だけでなく、将来の都市化や農地開拓が地域気候に及ぼす影響、屋上緑化や省エネといった自治体の政策が地域の熱環境を緩和する効果などについて評価する

機能も有する。

2. 手法

温暖化ダウンスケーラは、Windows-PC (Vista, 7, 8)およびLinux-PCのInternet ExplorerやGoogle Chrome上で動作可能なウェブアプリケーションである(図1(2)-2)。温暖化ダウンスケーラの開発を効率的に進めるため、3つのグループで研究を分担している。

グループ1(2)①は、温暖化ダウンスケーラの中核部分の開発を行っている。具体的には、誰でも簡単に計算・分析作業を行うことのできるGUI (Graphical User Interface) ベースのユーザ支援システムの開発、日本語・英語マニュアルの作成、さらには、ユーザから寄せられた要望を基にシステムの改良を実施している。グループ1(2)②は、温暖化ダウンスケーラで用いる各種データの整備と計算結果の精度や不確実性をユーザに伝えるためのガイドラインを作成している。グループ1(2)③は、温暖化ダウンスケーラを北海道に適用し、専門的視点から地域気候予測の適用可能性を客観的に評価している。また、得られた適用可能性の知見を集約し、グループ1(2)①の開発作業に反映している。

3. 研究成果

温暖化ダウンスケーラの第1版を開発し、北海道やメコンデルタ地域を対象とした実験運用(再現性の検証や将来予測)を実施した。現在も、ユーザと意見交換をしながら改良を行っている。

温暖化ダウンスケーラ的主要機能：

- 1) 計算領域、予測年代、季節、排出シナリオ(SRES: Special Report on Emission Scenarios, RCP: Representative Concentration Pathway), GCM(S-8標準シナリオ V1, V2 で選ばれた4種類)の選択
- 2) 土地利用、緑被率、人工排熱の変更機能(将来の都市化、緑化、省エネ政策を気候予測の計算結果に反映させる機能)(図1(2)-3)
- 3) 現在および将来の各種気候要素(例えば、月平均の気温、湿度、風向、風速、気圧、日射量、降水量など)の計算機能(図1(2)-4)
- 4) 計算ジョブ管理および計算結果の解析機能(例えば、猛暑日数、熱帯夜日数、積算気温、1時間降水量、日降水量など)
- 5) 計算結果の可視化機能および CSV フォーマットデー

タ (GIS, Excel) の作成機能

6) 2ヶ国語表示 (日本語・英語) 機能



図 1(2)-2 PC を用いたダウンスケーラ操作の例。google chrome が起動しており、その上でダウンスケーラが動いている様子を捉えている。

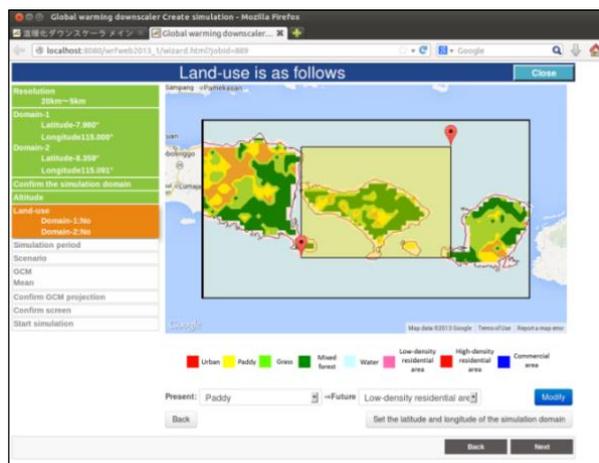


図 1(2)-3 温暖化ダウンスケーラ土地利用変更機能の画面表示例。マウスで対象地域を選択し、プルダウンメニューから土地利用区分を選ぶだけで、その地域内の土地利用を別の土地利用に変更できる。

4. 温暖化ダウンスケーラ導入例

S-8-2(1) (長野県環境保全研究所), 北海道の寒地土木研究所, インドネシア気象・気候・地球物理庁 (BMKG) への試験導入を行った。これらの機関の温暖化ダウンスケーラへの関心は高く、特に、土地利用変更機能や観測データとの比較機能への期待が大きかった。温暖化ダウンスケーラの導入を行った機関では、温暖化にともなう山岳域での雪質の変化や、将来の土地利用改変がその地域の気候変化にどのような影響をあたえるかなどを評価

するために温暖化ダウンスケーラを利用する予定である。

BMKG では、温暖化ダウンスケーラの講習会を実施した。講習会では、実際に温暖化ダウンスケーラを操作しながら、土地利用変更機能をどのように利用したいかなどについて意見交換を行った (図 1(2)-5)。BMKG では、インドネシアの将来政策を検討するためのツールとして、2014 年度から温暖化ダウンスケーラの実運用を開始する予定である。また、ベトナムの大学と協力し、同地域を対象とした実験運用も開始する予定である。

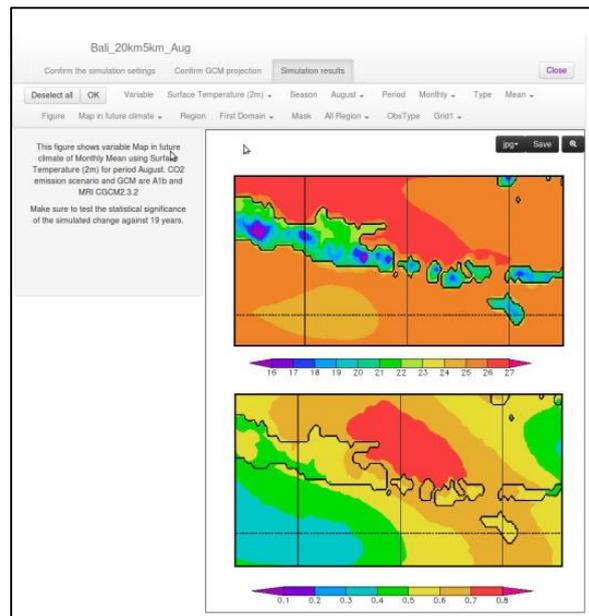


図 1(2)-4 ダウンスケーラから得られた将来予測の月平均の地上気温分布 (上) と将来と現在の月平均の地上気温の差の分布 (下) の図。対象領域はインドネシア、解像度は 20km、計算期間は 1981-2000 年および 2031-2050 年の 8 月、GCM は MRI CGCM 2.3.2、排出シナリオは SRES A1b。



図 1(2)-5 BMKG (インドネシア) への試験導入時の様子。ダウンスケーラを導入するとともに、初心者向けの講習会を開催した。

地域社会における温暖化影響の総合評価と 適応政策に関する研究

1. 研究目的

本研究は、地方自治体における温暖化影響・適応に係る研究の進展と適応政策の推進に寄与するため、地域の温暖化影響評価手法及び適応策構築手法等を開発し、地方自治体のための「適応策ガイドライン」を作成することを目的とする。ガイドラインは、地域において温暖化影響・適応策を検討する際に活用できるツールとしての体系的な指標、専門家と市民の間での温暖化影響リスクコミュニケーション手法、適応策の政策過程における合意形成手法等を含めたものとする。

また、温暖化影響・適応に係る研究成果や政策情報等を全国に普及させる情報プラットフォーム機能を整備するとともに、自治体コンソーシアム「地域適応フォーラム」²⁽¹⁾⁻¹を構築し、今後の温暖化研究の充実化及び地方自治体における適応策の実装化に貢献する。

さらに、関東・中部の地理的・社会的条件が異なる地域を対象に、農業、短時間強雨（ゲリラ豪雨）、山岳生態系等の各地域の特性に応じた分野で温暖化影響評価を実施し、地域の温暖化対策立案に資する。各地域で地域適応策のあり方を探求するとともに、モデルスタディを長野県で実施し、適応策ガイドラインに反映する。

2. 適応策ガイドラインの作成

(1) ガイドラインの構成

長野県におけるモデルスタディの検討結果や埼玉県、三重県等の適応策の先行地域の検討状況を踏まえて、適応策の立案・推進に活用可能な「適応策ガイドライン」を作成した²⁽¹⁾⁻²。ガイドラインの主な利用対象は、都道府県及び政令指定都市の温暖化対策担当とし、担当者が適応策の検討の際に利用可能な内容として取りまとめた。ガイドラインは三部構成である（図2(1)-1）。

(2) ガイドラインの基本的考え方

ガイドラインでは、当面の都道府県等の検討において、「地域適応策基本方針」の作成を目標としている。この基本方針は、庁内において分野横断的に作成し、各部局で基本方針を共有した上で分野毎に適応策の具体化や実行を行うという手順を提案している。

また、S-8 研究全体で位置付けられた「適応哲学ワーキンググループ」の検討結果等を踏まえ、気候変動の影響分野に共通する次のような考え方を提案している。

① 気候変動の影響を決定する脆弱性の要素は、「気候外力」と「感受性」、「適応能力」である²⁽¹⁾⁻³。このうち、

気候外力を改善するのが「緩和策」であり、感受性と適応能力の改善を図るのが「適応策」である。緩和策と適応策は互いに競合する施策ではなく、制御要素が異なり、気候変動対策として両者を両立して実施していく必要がある。

② 気候変動影響に対する適応策は各分野で既に実施されているが、これらに追加すべき適応策がある。この「追加的適応策」の方向は、図2(1)-2に示す「既存適応策の強化」、「感受性の根本改善」、「中長期的影響への順応型管理」の3つの側面から整理できる。「感受性の根本改善」の施策は、対症療法ではなく、地域社会のあり方に係る根本治療である。長期的な視点から適応社会を構想し、実現していくためには、土地利用や産業経営、地域経営戦略に、気候変動影響への感受性の根本改善の視点を盛り込んでいくことが必要である。「中長期的影響への順応型管理」とは、モニタリングや予測などの最新の科学的知見を活用しながら、状況に応じて柔軟に施策を見直す計画的な管理手法である。

(3) ガイドラインに示す適応策の検討手順

ガイドラインでは、気候変動の影響分野（農業、水資源、水災害、森林・生態系、健康）毎に、①既存統計等を用いた気候変動の現在及び短期的リスクの整理、②「簡易推計ツール」を用いた気候変動の中長期的リスクの整理、③既存の適応策の実施状況の整理、④①から③の資料をもとにした「追加的適応策」の抽出という検討を提案している。この手順による長野県での検討結果を表2(1)-1に示す。

(4) 適応策の検討のためのリスクコミュニケーション等

水災害や農業分野を中心に、インタビュー調査により専門家の専門知の構造を分析し^{2(1)-4,5}、さらにアンケート調査による一般市民の認知構造²⁽¹⁾⁻⁶を分析し、後者については適応策のマルチベネフィット性を伝える重要性などが示唆された。また、東京都や埼玉県、長野県において、ステークホルダー分析を実施し^{2(1)-7,8}、気候変動対策＝温室効果ガス削減という強固なロックイン状態（後戻りや乗換えが困難な状態）の解除の必要性が示唆された。今後、専門家やステークホルダー、市民の熟議に基づく将来シナリオの検討を進める。

また、気候変動が地域の伝統文化に与える影響と適応策について、長野県諏訪地域の天然寒天、秋田県横手市のかまくらという地域資源に着目し、影響構造の分析を実施した。気候変動が地域の伝統的産業の衰退に拍車をかけている可能性や、風土の象徴としての祭の意味を変容させていることが明らかとなった。

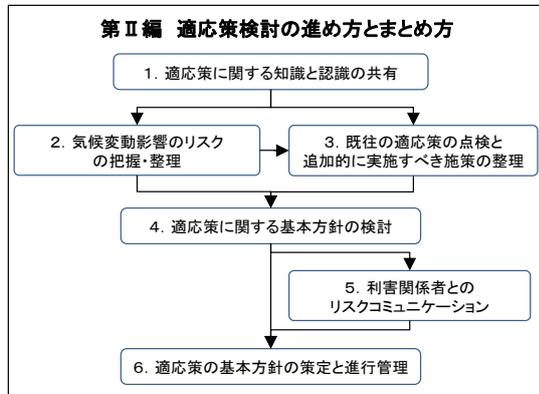
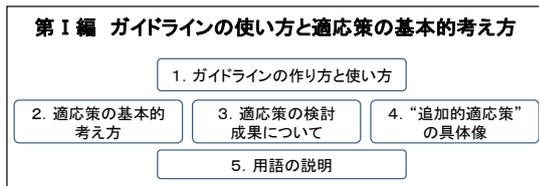


図2(1)-1 適応策ガイドラインの構成

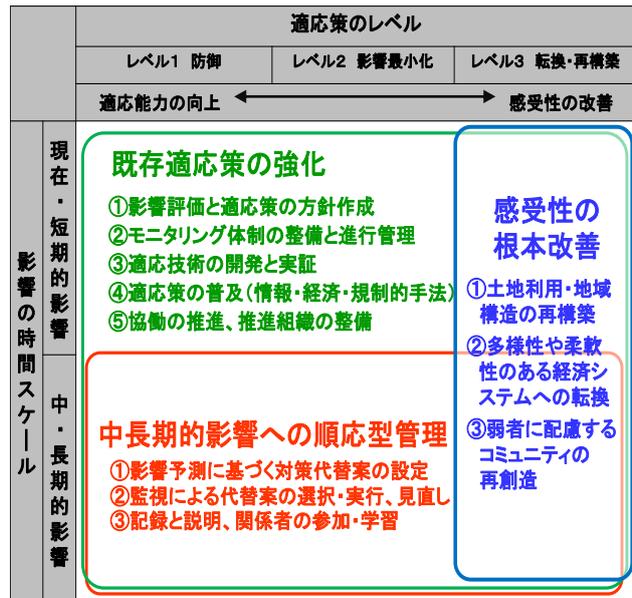


図2(1)-2 「追加的適応策」の方向性

表2(1)-1 分野毎の影響評価の概要と追加的適応策の抽出
(長野県でのモデルスタディより)

影響分野	影響評価		既存施策の実施状況	追加的適応策の検討課題・方向
	現在・短期的リスク	中長期的リスク		
農業	・ 水稻、果樹、高原野菜等へ影響あり	・ コメの収量は増加、りんごの生息適地の移動が予測される。	・ 農業試験場を中心に技術開発が実施されている。	・ 開発した適応技術の普及のための施策の創出、長期予測に基づく対策の検討等が課題となる。
水資源	・ 特に観測データなし	・ 懸濁物質の増加が予測される。	・ 特になし	・ 気候変動の影響評価から実施する。
水災害	・ 被害の増加傾向は明確ではない。	・ 斜面崩壊のリスクが増加する。	・ 洪水、土砂対策が進められている。	・ 将来影響予測に基づく追加的適応策や適応能力、感受性の改善等の視点から適応策を検討する。
森林・生態系	・ 松くい虫、鳥獣被害が懸念される状況である。	・ ブナ等の生育適域の減少が予測される。	・ 影響の研究は進めているが、適応策は検討中である。	・ 将来影響の予測結果をもとに、自然保護区見直し等の長期的施策を具体化する。
健康	・ 熱中症患者数が増加傾向にある。	・ 患者数の増加が予想される。	・ 情報提供が中心である。	・ 高齢者単独世帯への支援や近隣の互助等による熱中症対策を検討する。

3. 地域特性に応じた温暖化研究と適応策の検討

大都市である東京都、都市近郊である埼玉県、山岳部が広がる長野県を対象として、地域特性に応じた適応策の研究を行った。

(1) (公財)東京都環境公社東京都環境科学研究所

本研究では、都立高校等に設置した気象ロボットの観測データや既存機器の観測データによる高密度な気象データを用いた温暖化と極端現象の関係の解析により、これまでに詳細が不明であったゲリラ豪雨等の局地的な極端現

象の実態や発生メカニズムを明らかにしている²⁽¹⁾⁻⁹。また、気象ロボットを設置した高校の生徒に対する温暖化と防災意識向上に向けた調査研究を進めている²⁽¹⁾⁻¹⁰。

(2) 埼玉県環境科学国際センター

果樹等について将来の県内農業への影響を予測するとともに、米作や野菜栽培について簡便な温暖化影響把握装置を開発し、温暖化影響試験と適応策の検討を進めている²⁽¹⁾⁻¹¹。

(3) 長野県環境保全研究所

山岳生態系(高山植物・ライチョウ・訪花昆虫・イワナ)への影響観測と分析、農業分野での影響データの収集と分

析、果樹農家のステークホルダー調査等を実施している。また、研究課題 S-8-1 (5) と共同研究により、ライチョウの主要な生息地、北アルプス中南部において、ライチョウへの温暖化影響の将来予測を行った。ライチョウの生息と高山植生の関係モデル、および高山植生と環境因子の関係モデルを構築し、ライチョウの生息適域が大きく減少する予測を得た。

(4) 市民参加型モニタリングと気候変動学習

長野県環境保全研究所では、住民参加型の気候変動影響モニタリングの仕組みを構築し、生物指標を設定して、地域団体や住民等の参加による観察モニタリングを実施している²⁽¹⁾⁻¹² (図 2(1)-3①, ②)。

また、法政大学と関東中部地域の各都県が連携して、学習プログラムの開発・検討を開始している。気候変動の影響は地域で既に発生しており、その影響を地域住民等が知ることによって、地域住民の緩和行動あるいは適応行動を促す可能性がある²⁽¹⁾⁻¹³。



図 2(1)-3② 市民参加型モニタリングの入力画面



図 2(1)-3① 野鳥団体の協力による夏鳥の初認・初鳴き調査結果

4. 地域適応フォーラムの開催

適応策の実施においては、表 2(1)-2 に示すような先進地域がみられるが、未だ離陸段階にある。また、図 2(1)-4 に示すように、地方自治体は適応策実行上の課題を有している。先行地域に対するインタビュー調査により検証された適応策の阻害要因は 2 点に集約される。

第 1 に、国による適応計画や法制度が策定されていないこと、また適応策を検討している地方自治体が少なく、突出して強力に推進する地方自治体もないことが、適応策の実施を阻害している。

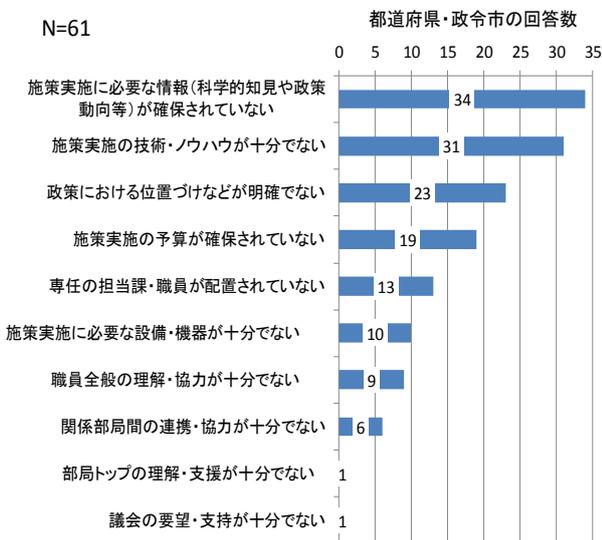
第 2 に、適応策の研究成果や先進地域の状況が十分に知られていないこと、また拠り所とする将来影響予測に不確実性があり、不確実性を考慮した計画手法が十分に確立されていないことが、適応策の円滑な採用を阻害している。

こうした状況を踏まえ、地域班では、地方自治体、地域研究機関等を対象として、「地域適応策ガイドライン」を含めた適応策に係る情報を共有し、適応策の実装化を進める場として「地域適応フォーラム」を、2011 年より設置し、毎年度 1 回のシンポジウムを開催している²⁽¹⁾⁻¹⁴。また、2012 年度からは、適応策の先行地域等とともに、情報共有と意見交換を行う場として「適応策研修会」を実施している²⁽¹⁾⁻¹⁴。

2013 年 11 月には、地域班が中心となり S-8 各研究機関と共同して、一般市民・自治体職員向けに、適応策の普及啓発書籍『気候変動に適応する社会』²⁽¹⁾⁻¹⁵ を出版した。

表 2(1)-2 適応策先進地域の動向

地域	契機	計画等	今後の動向
東京都	・世界の大都市ネットワークであるC40の東京会議で適応策を議論（2008）	・『東京都環境基本計画』（2008）を改定、適応策を位置づけ。 ・『「2020年の東京」へのアクションプログラム 2013』（2013）において気候変動がもたらす都市型災害への対策を強化 ・東京における気候変動の影響に関する連携研究（2009～2012）、（公財）東京都環境公社東京都環境科学研究所のS8研究への参加	・気候変動に関する知見の集積 ・豪雨・高潮対策などを所管する関係局との連携
埼玉県	・猛暑による農業被害等の深刻化、県環境研によるレポート作成	・埼玉県環境科学国際センター『緊急レポート 地球温暖化の埼玉県への影響』作成、「ストップ温暖化・埼玉ナビゲーション 2050」に適応策を盛り込み、温暖化条例に適応策を明示（2008）、S8研究への参加	・温暖化対策実行計画改定にあわせ、適応策専門部会を設置、検討中
長野県	・山岳生態系の問題等を中心に、県環境研による研究着手	・長野県環境保全研究所のS8研究への参加 ・『長野県環境エネルギー戦略～第三次長野県地球温暖化防止県民計画～』（2013）における適応策の位置づけ	・「気候変動モニタリング体制」と「信州・気候変動適応プラットフォーム」の立ち上げ
その他	・三重県：コンサルタントに委託し、気候変動影響に関する総合調査を実施（2012～） ・滋賀県：環境総合計画（2009）、温暖化関連条例（2011）に適応策を位置付け（農業中心） ・その他：温暖化関連条例に適応策を位置付けているのは、埼玉県、滋賀県、京都府、鹿児島県。適応策を計画に位置付けているのは、東京都、埼玉県、長野県、滋賀県、他に長崎県、沖縄県。		



注)「地球温暖化の影響把握、適応策などの政策を実施する上での課題について、選択肢からあてはまるもの全てに○印をつけて下さい」と質問した結果。

図 2(1)-4 適応策の導入における課題 (2012年12月実施)

コラム：適応策先行地域の動向

先行地域における適応策の実施要因や特徴として、3点を整理する。

第一に、適応策を先行して検討している地域は、その地域ならではの要因がある。最も適応策の検討が先行した埼玉県は大都市の内陸県ゆえに農業分野での高温障害が深刻であったことが検討を急がせた。また、長野県、埼玉県では地域環境研究所が適応策研究の役割を担っており、地域研究機関の存在が将来影響予測という科学的情報を扱う適応策の検討基盤となっている。

第二に、先行地域は国の動きの影響を受けて立ち上がっている。2000年代後半からの動きは、国が作成したレポートや関連研究の影響を受けたものである。埼玉県では専門研究者が国の動き等をみて適応策の必要性を提案した。

第三に、先行地域では、農業分野からの率先対応が先行し、それに温暖化対策課の取組みが追隨している。気候変動の影響は、水災害での人命被害や農業分野での経済被害において、深刻であり、現在の被害の解決のための施策が実施されてきた。農業分野では地域に試験研究機関があり、高温耐性の品種開発等の技術的対応が進められてきた。

亜熱帯化先進地九州における水・土砂災害適応策の研究

1. 研究目的

地球温暖化による災害外力（災害を引き起こす自然界の力）の上昇で防災力（災害を防ぐ力、抵抗力）との間に大きなギャップが生じつつあり、想定外の大災害が起こる可能性が高まっている（図 2(2)-1）。被災しても時間とお金をかければ復興・再生できる物理的側面と、全く再生できない失われた人命は区別しなければならない。身近な人を亡くすと生きていくこと、努力することに意味を見出せなくなる人が多い。したがって、『人命の損失を無くす』が防災・減災の眼目とならなければならない。しかしながらこのような災害外力の増大期において、人や社会は気候異変を実感するようになっても、対策（適応策）の必要性を身に沁みて認識しないと動かないし、対策も講じないという習性がある。したがって、アウェアネス（気づき、意識）が不可欠であるが、これは「人命の損失を伴わないアウェアネス」でなければならない。その際、リダンダンシー（余裕、遊び）が重要な役割を果たすことになる。これまで資源に恵まれず、限られた財政の下、従来から余裕のないギリギリのところまで諸策が講じられてきた。災害外力の増大下では、リダンダンシーが減災（物的損害は仕方ないとしても何とか人々の命だけは救う）のための切り札となるものと思われる。「人命の損失を伴わないアウェアネス」から必要な「（リダンダンシーを有する）適応策（ハード・ソフト・ヒューマンウェア）」を講じて辛うじて間に合うと思われるので、良い形のサイクルを作ることができる（図 2(2)-2）。

本研究では、我が国で最初に亜熱帯化と思われる九州において、降雨から山地部、河川、都市部、沿岸域に亘って水・土砂災害への具体的な適応策について検討することを目的とする。その際、限られた時間・予算・環境への配慮という制約の中でできるだけ（少なくとも人命に関わる部分では必ず）リダンダンシーを持った適応策を策定するために、新しい防災技術の開発と共に、我が国の先人の智慧、現在熱帯や亜熱帯に属する国々の人々の経験知についても調査する（図 2(2)-3）。

2. 手法

(1) 防災力向上のための素因の抽出

「災害免疫力」の素因を抽出するために、気候帯の異なる代表的な地域（インドネシア・台湾）と九州の水・土砂災害に関する詳細なデータを比較し、災害に対する脆弱性の違いを検討し素因の抽出を行った。

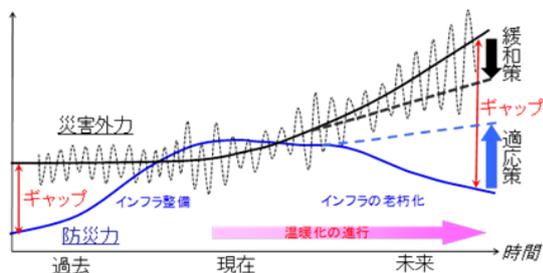


図 2(2)-1 災害外力と防災力の関係

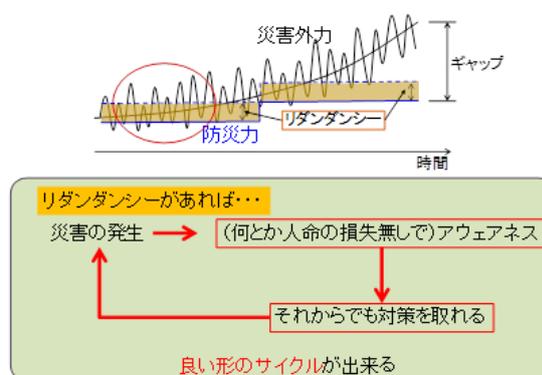


図 2(2)-2 災害外力上昇下でのリダンダンシーの果たす役割

(2) ゲリラ豪雨の予測手法の開発

福岡都市圏を実験サイトとして、ヒートアイランド現象とゲリラ豪雨のフィールド観測研究および、メソ気象モデル(WRF)による極端豪雨イベントの数値シミュレーション研究を行った。

(3) 台風並びに高潮の高精度推定モデルの開発

高潮災害に対する適応策を検討するために台風並びに高潮の高精度推定モデルを開発し、佐賀低平地における高潮災害を対象に将来気候の予測値を用いた将来シミュレーションを実施した。

(4) 斜面安定化ならびにその評価法の開発

赤土等流出問題への適応策の効果を把握するために、沖縄県国頭郡宜野座村で気候変動と土壌侵食の関係を観測した。

(5) 河川災害適応策のための防災技術の開発

河川災害の適応策として流水型（穴あき）ダムを設置を提案した。また、複数の小規模流水型ダム（河道内遊水池）を組み合わせ、特に上流側のダムでは非常用洪水吐きからの越流を許容する「カスケード方式」に基づく新しい治水技術を確認した。この流水型ダムは降雨強度・量の増大により様相が変化した水・土砂災害にほぼ対応できるもので



図 2(2)-3 甚大化する災害と提案する適応策の一例

ある。

(6) 車社会のための温暖化適応策の開発

短時間集中豪雨が引き起こす都市災害の適応策として、車による人的被害を防ぐために氾濫時の走行危険性を運転者に周知させる手法を開発し、また走行危険度の簡便な算出法を確立した。

3. 研究成果

(1) 防災力向上のための素因の抽出²⁽²⁾⁻¹

過去の災害における犠牲者数と降水量の関係を解析した結果、多雨地方は総雨量が増加しても死者・行方不明者が生じないケースが多く、災害に対する社会や自然の抵抗力が大きいことが明らかとなった(図 2(2)-4)。また、インドネシアでの聞き取り調査の結果、ワラナイ川流域のような洪水常襲地帯では行政が防災に関してほとんど無力であることも相まって、自助・共助の意識が非常に高い。そのような地域では洪水氾濫を前提とした生活が行われているなど、我が国の地方部の自助・共助の強化に有用となる知見が多く得られた。

(2) ゲリラ豪雨の予測手法の開発²⁽²⁾⁻²

福岡都市圏における局地降雨は、福岡平野の東部または西部の内陸部に発生した後、海岸方向に移動することが明らかとなった(図 2(2)-5a)。さらに、福岡都市圏の都市大気熱環境や北部九州を対象とした極端豪雨イベントの降雨特性を数値シミュレーションによって再現した。雲微物理過程と境界層乱流混合過程の最も適合度の高いスキ

ームの組み合わせを選出し、歴史的豪雨であった対象事例においても WRF は適応可能であることが明らかになった(図 2(2)-5b)。

(3) 台風並びに高潮の高精度推定モデルの開発²⁽²⁾⁻³

有明海湾奥部で将来、現行計画の潮位偏差を大きく上回る最大高潮偏差が生じる可能性が示された。その一方で、現在の気象条件においても条件さえ合えば甚大な高潮災

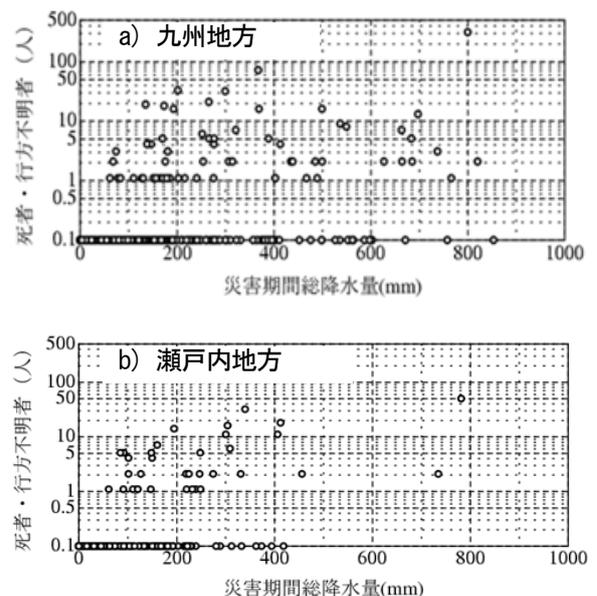


図 2(2)-4 災害期間の総降水量と死者・行方不明者の関係

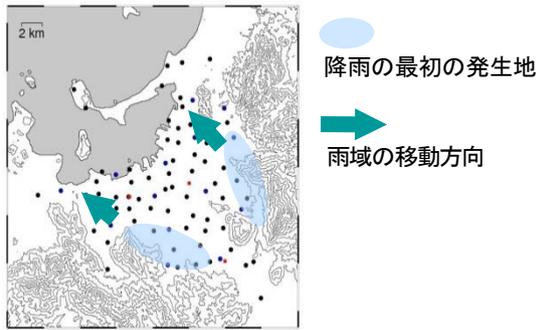


図 2(2)-5a 局地降雨の発生と雨域の移動の模式図

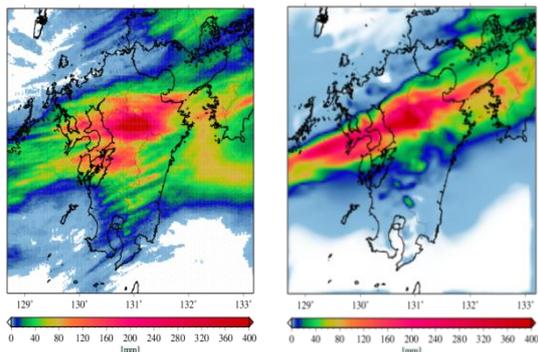


図 2(2)-5b 平成 24 年 7 月九州北部豪雨の 12 時間積算雨量分布 (左: レーダーアメダス解析雨量, 右: シミュレーション結果)

害を引き起こしかねない台風が来襲していることが分かった (図 2(2)-6). これらの高潮災害に対するハード・ソフト・ヒューマンウェアによる早急な対策が求められる.

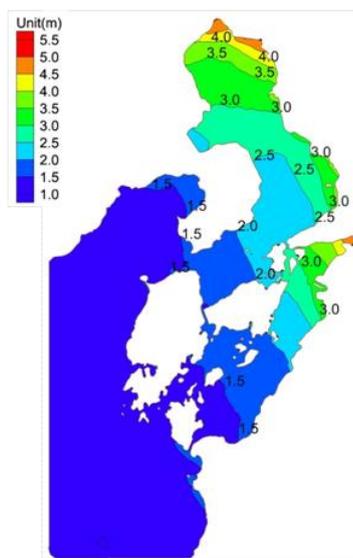


図 2(2)-6 将来気候による最大高潮偏差分布

(4) 斜面安定化ならびにその評価法の開発²⁽²⁾⁻⁴

沖縄において裸地および種々の適応策 (グリーンベルト、

敷き草、敷き草、堆肥混入、微生物を用いた土の固定化、耕作放棄地) に対する土砂流出量の計測を行った. この結果, グリーンベルトが赤土流出を抑制する効果が大きいことがわかった. また, 夏季になり雑草が多く生えると, 耕作放棄地でも赤土流出抑制効果があることがわかった (図 2(2)-7).

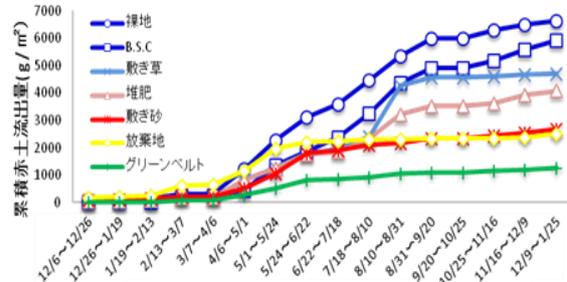


図 2(2)-7 適応策による赤土流出抑制効果

(5) 河川災害適応策のための防災技術の開発²⁽²⁾⁻⁵

流水型ダムは治水機能だけでなく, 天然ダムの崩壊対策, 河川における土砂対策としての機能を有するなど極めて有効な適応策となりうる施設である. 複数の流水型ダムが直列に配置された場合, 山間部の上流側のダムで非常用洪水吐きからの越流を許容すること (カスケード方式) で, 一般的にはより重要となる下流側の洪水制御能力が顕著に強化されることを明らかにした (図 2(2)-8).

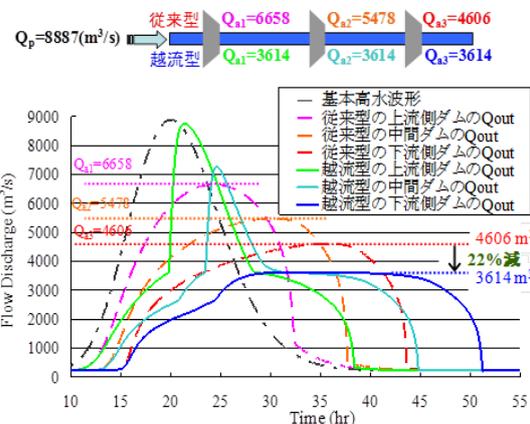


図 2(2)-8 カスケード方式による洪水制御能力

(6) 車社会のための温暖化適応策の開発²⁽²⁾⁻⁶

路上で走行中の車が流される時の流速と水深の関係を定量評価した. 道路冠水時の自動車通行の危険性には, 流れと車の向きの関係が比較的大きく影響し, 例えば水深 30cm において, 車の進行方向に対して流れの向きが 15° の時は流速 3.3m/s まで耐えられるのに対して, 75° になると流速 2.0m/s を越えると流される危険性があること等が判明した (図 2(2)-9). これらのデータを用いて簡便に危険情報を運転者に伝える手法を開発した.

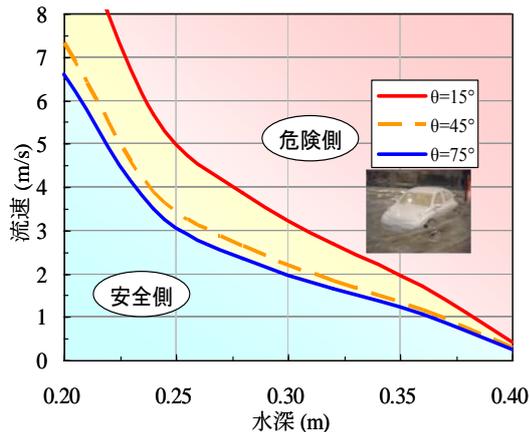


図 2(2)-9 冠水時の車走行危険判読図

4. 九州における適応策実装に向けて

適応策の実装を目指して、一般市民向けのシンポジウムを開催している。平成 24 年 12 月に福岡において、これまでに検討してきた佐賀平野の高潮、福岡市内のゲリラ豪雨、沖縄の赤土流出、流水型を含むダムの活用ならびに都市型水害への対策案（適応策）に関する情報を発信した。平成 26 年 5 月には沖縄で適応策に関するシンポジウムを開催する予定である。その他、具体的な適応策の実装に向けて以下のような取り組みを実施している。

- ① 将来の福岡都市圏における最大雨量や降雨パターンの変化を統計的に明らかにし、温暖化進行後の社会インフラの防災工学的リスクの定量化と適応策実装の方法論の構築を目指す。
- ② 農業者が対策を実施する上での問題点の共有及び地域協力型営農支援体制の確立等、地球温暖化時代を見据えて意見交換を行い、長期的赤土等流出リスクの増大に備えるため、適応策勉強会を企画・開催している。
- ③ 複数の貯水型ダムや堰が配置されている九州の筑後川を対象に、温暖化適応策（超過洪水対策）としての

カスケード方式の具体的効果を検討する。

5. むすび

近年の地球温暖化によると思われる災害外力の増大に対し、ハードなインフラだけで防護するのは全く不可能であることは明らかであり、ソフトウェア、ヒューマンウェアの総動員が必要である。したがって、これからは自助・共助が主体とならざるを得ない。国や自治体は今後、予算の制約の下、賢い公助を効率的に実施していくことが必要である。その際、自助・共助（人々のネットワークなど）の構築、強化・推進のための人への投資（人々への啓発ならびに人材の育成）という観点も極めて重要である。これからの防災では、“災害リスクに知で備える”ために、イメージ力を働かせ、事前に手を打つことによって、防災・減災を図ることが不可欠であり、防災を日常のものとしていかなければならない。ところで、多かれ少なかれ地球温暖化による気候変動が避けられないのであれば、今後適応策の実施が不可欠となるが、気温の上昇が今世紀末頃までには何とか頭打ちとなって平衡状態となるのか、それとも依然として上昇を続けるのかでその影響は根本的に大きく異なってくる。気温の上昇が頭打ちの平衡状態になるのであれば、それまでの気温の上昇時に大きな痛みと犠牲を伴いながらも、将来的には人間社会のシステムも自然も新たな気候に次第に順応し、いずれ安定化することが期待される（例えば青森ではリンゴは獲れなくなるが、北海道で獲れるようになるなど）。一方、気温が上昇し続けると、ターゲットが定まらず、対応策が後手後手となり追い付かない。その結果、痛みや犠牲が続くこととなる。気温の上昇という変化の 때가 危険性が高いのである。適応策の分野から緩和策を強力に推進する必要性を改めて強調したい。緩和策あつての適応策なのである。気温の上昇を抑えて平衡状態にもっていかなければ、我々人類の未来はないと言えよう。

アジア太平洋地域における脆弱性及び 適応効果評価指標に関する研究

1. 研究目的

アジア太平洋地域は、気候変動に脆弱であると同時に 21 世紀の成長拠点であり、環境と開発の両立が求められる。本研究では、メコンデルタとガンジスデルタ等の事例研究を通して、気候変動の脆弱性評価と適応効果評価を試みる。そして、地域特性に応じた適応技術の提案や適切な適応資金メカニズムのあり方を検討する。

2. 手法

(1) 脆弱性と適応効果の評価手法開発

脆弱性と適応効果の評価手法を開発し、メコンデルタとガンジスデルタの沿岸域災害と農業に関する事例研究を通じて検証する。

(2) 適応効果のシナリオ分析

気候変動による海面上昇や高潮などが引き起こす浸水影響のシナリオ分析によって適応策実施の効果を定量化する。

(3) 気候変動の認知と適応策の現状評価

気候変動の認知と脆弱性を低減するために現地で講じられている適応策の現状と課題を把握する。

(4) 地域特性に応じた適応技術の提案

対象地域の技術的背景、経済性、入手しやすい材料の活用などを考慮した適応技術、特に堤防強化技術を提案する。

(5) ベトナムにおける適応関連資金メカニズムの効果・パフォーマンス分析

ベトナムを中心にアジア太平洋地域における適応策支援のための 4 つの資金供与制度を分析し、その効果と想定されるパフォーマンスを比較検討する。

3. 研究成果

(1) 脆弱性と適応効果の評価手法開発

ベトナムのメコンデルタにおいて海面上昇や高潮などの物理影響と人口密度シナリオ、貧困などの社会経済影響を加味して脆弱な地域の特定を試みた。メコンデルタは広大な低平地が広がり、これまで世界的にもっとも脆弱な地域の一つとされてきた。その中でも、今回の指標化によって、カマウ省、ソクチャン省などにおいて特に脆弱な地域が特定された（図 3-1）。これは、適応策を重点的に実施すべき場所の選定に結びつく成果である。



図 3-1 メコンデルタにおける脆弱な地域の推定³⁻¹

一方、ガンジスデルタでは「ローカル適応効果指標 (Ialn)」を開発し、コミュニティ主導型適応策の効果を検証している³⁻²。

(2) 適応効果のシナリオ分析

メコンデルタにおいて気候変動に伴う海面上昇と潮汐変動の浸水影響（浸水面積、影響人口等）と適応効果のシナリオ分析を行う手法を開発した。そして、所得や人口密度に基づく防護（堤防設置）シナリオを考慮し、将来にわたる浸水影響の数値実験を行った（図 3-2）。その結果、適応策を講じる時期を 5 年早める（早期適応）ことによって影響人口を減少させる可能性を示した。今後さらに、信頼度や空間分解能の高い情報を得て地盤沈下のようなメコンデルタ特有の環境変化を考慮することで、より確からしい適応効果のシナリオ分析が期待される。

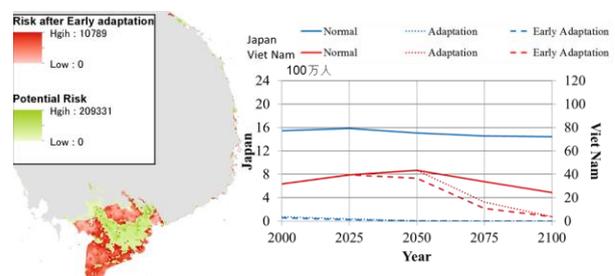


図 3-2 適応策の浸水への影響
（浸水面積、影響人口、A2 シナリオ³⁻³）

(3) メコンデルタにおける気候変動の認知と適応策の現状評価

ベトナム・水資源大学と共同でメコンデルタの住民 1350 人 (3 省 27 地区) へアンケート調査 (訪問調査法) を実施し、住民レベルでの気候変動の認知と適応策の実態把握を行った (図 3-3)。現地住民は、①季節性の洪水と壊滅的な被害を及ぼす洪水を区別している、②住民レベルでは家屋の修理や補強、高床化が 3 省で共通し、地域によっては洪水耐性米の導入、洪水避難用の小型船の購入などの適応策を講じ、「洪水とともに生きる (Living with floods)」ことを実践している、③一方で 10 年単位の降雨や災害事象の変化を実感し将来的な気候外力の増大を懸念している、ことが明らかとなった。

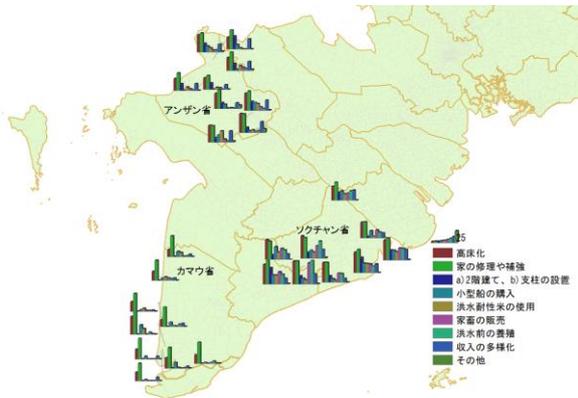


図 3-3 メコンデルタにおける住民レベルの適応策³⁻¹

(4) 地域特性に応じた適応技術の提案

沿岸域災害に対しては、地域特性に応じた多重防護による適応策が有効である。本研究は、メコンデルタで入手しやすいと考えられる天然材料のヤシ繊維とセメントを混合し、浸食抵抗の大きい堤防強化技術を開発した (図 3-4)。これは、地盤改良と地盤補強を融合した新しいハイブリッド地盤技術である。技術的背景、経済性、入手しやすい材料など、地域特性に応じた適応技術は、同種の問題を抱えるその他の地域でも応用が期待される。

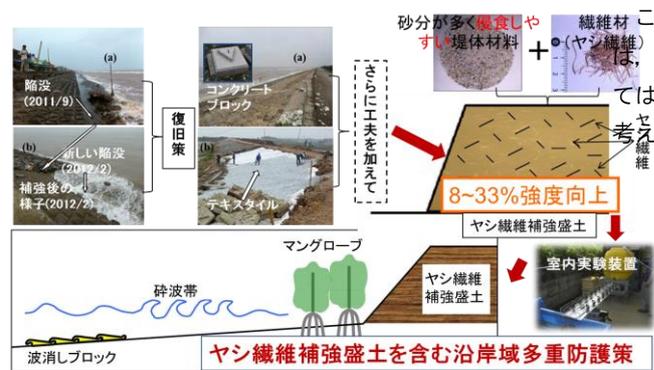


図 3-4 沿岸域における多重防護策^{3-4.5}

(5) ベトナムにおける適応関連資金メカニズムの効果・パフォーマンス分析

ベトナムに対する適応策支援のための既存の 4 つの資金供与制度 (①GEF 国家・省レベル、②GEF 小規模グラント、③二国間 ODA (国家・省レベル)、④二国間 ODA (小規模グラント) のパフォーマンスを比較した (表 3-1)^{3-6,7}。評価項目は、①効果、②柔軟性、③十分性、④費用効果、⑤アカウンタビリティ、⑥持続可能性である。その結果、ベトナムでは二国間 ODA (国家・省レベル) の資金供与制度が 4 つの資金供与制度の中で最も効果的で高いパフォーマンスで適応策を推進する可能性があることを示した。ベトナムの適応ニーズ、高い資金調達能力・適応実施能力、中央集権体制によるトップダウン型のガバナンス・システム、二国間援助機関との強い連携が結果に影響していると考えられる。

表 3-1 ベトナムにおける適応策資金供与制度の比較

	効果	柔軟性	十分性	費用効果	アカウンタビリティ	持続可能性
①GEF 国家・省レベル資金供与制度	✓			✓	✓	✓
②GEF 小規模グラント資金供与制度	✓	✓		✓		
③二国間 ODA 国家・省レベル資金供与制度	✓	✓	✓	✓	✓	✓
④二国間 ODA 小規模グラント資金供与制度	✓	✓				

4. アジアから・日本から見た適応策の推進

地球規模の持続可能性を実現するためには、アジア太平洋地域の環境保全と脆弱性の低減を目指すことが不可欠である。そのなかで、日本はアジア太平洋地域の適応策の推進に関して中心的な役割を果たすことが求められている。また、グローバル化が進む中で、アジアの気候変動の悪影響を軽減することは、結果的に日本の生活基盤を守ることに繋がる。

このように適応策の実践 (Good practice) を積み重ねることは、日本を含むアジア太平洋地域の適応技術の進展、ひいては将来にわたる地域の持続可能性の確保に寄与すると考えられる。

総合影響評価と適応策の効果

1. 研究目的

これまで、日本全国を対象とした総合的な温暖化影響評価は幾つか報告されてきたが、IPCC 第四次評価報告書で用いられた気候シナリオを用いていること、適応策を検討できていないことなどの課題がある。そこで本研究では、日本全国を対象として、IPCC 第五次評価報告書で用いられた最新の気候シナリオを用いて、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効果を評価することを目的とする。研究課題 1(1)および(3)-(9)が連帯して、全国を対象とした総合的な影響評価・適応策の検討を実施した。

2. 手法

(1) 将来シナリオ

地球温暖化によって様々な分野に影響が生じる。総合的な温暖化の影響評価と適応策の検討のためには、共通した将来の想定(将来シナリオ)を用いた分野横断的な研究が必須となる。影響評価を実施する際には、社会経済シナリオ(人口や土地利用など)と気候シナリオが必要となるが、本研究では、日本における社会経済シナリオ(人口・土地利用)は現状から将来にわたって一定と想定した。現在の人口データは、2005年の国勢調査にもとづくメッシュ単位人口(男女別・年齢5歳階級別)をもとに、国立社会保障・人口問題研究所が2008年に発行した2010年の市区町村単位の推計人口(死亡中位・出生中位)と整合するように作成したものである。現在の土地利用データは、2006年の国土数値情報土地利用3次メッシュデータを用いた。

放射強制力シナリオにはRCP2.6, 4.5, 8.5を選択した。RCPは代表的濃度パスを意味し、すなわち、21世紀末までの温室効果ガスの濃度がどのように変化するかを設定している。

RCPが同じであっても気候モデル(GCM)間で気温や降水

量の予測値は大きくばらつく。そこで、日本付近のモデル間のばらつきの幅を捉えるために、MIROC5(日本、東京大学/NIES/JAMSTEC)、MRI-CGCM3.0(日本、気象庁気象研究所)、GFDL CM3(米国、NOAA地球物理流体力学研究所)、HadGEM2-ES(英国、気象庁ハドレーセンター)の4つのGCMを選択して、影響評価用の気候シナリオをS-8共通シナリオとして整備した。

対象期間は、基準期間を1981-2000年とし、二つの将来期間(21世紀半ば:2031-2050, 21世紀末:2081-2100)を設定した。RCP別・GCM別の年平均気温、年平均降水量、海面上昇量は表1-1と図1-1に示す。

表1-1を見ると、もっとも温暖化の進むRCP8.5において、21世紀末の年平均気温の上昇量は3.5°Cから6.4°Cと大きく幅がある予測になっている。今回の研究は、同じRCPシナリオに対して気候モデルによる予測の幅を取り入れた点に特色があるが、気候モデルによって気温上昇(気候変動の程度)に大きく差があり、それが影響予測の差を生む分野(農業や熱中症など)があることに注意が必要である。

(2) 影響指標

対象とした影響指標を表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、研究課題1(3)-(9)の対象と基本的に同じであ

表 1-1 気候シナリオ一覧(全国平均)

GCM	2031-2050												2081-2100															
	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5				RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5							
	MI	MR	G	H	MI	MR	G	H	MI	MR	G	H	MI	MR	G	H	MI	MR	G	H	MI	MR	G	H	MI	MR	G	H
年平均気温変化(°C)	1.8	0.6	2.5	1.9	1.6	1.0	2.6	1.8	2.0	1.0	2.9	2.1	1.9	1.0	2.8	1.8	2.6	1.7	3.9	3.0	4.5	3.5	6.4	5.3				
年平均気温(°C)	16	15	17	16	16	15	17	16	16	15	16	16	16	15	17	16	17	16	18	17	19	18	20	19				
年降水量変化(変化率)	1.08	1.04	1.10	1.15	1.07	1.02	1.08	1.14	1.09	1.05	1.09	1.10	1.13	1.09	1.13	1.12	1.10	1.06	1.09	1.12	1.16	1.09	1.12	1.12				
年降水量(mm/年)	1799	1733	1831	1915	1787	1702	1793	1893	1820	1742	1810	1833	1877	1810	1878	1866	1832	1766	1805	1858	1934	1805	1869	1858				
海面上昇量(m)	0.30	0.19	-	0.26	0.33	0.27	-	0.32	0.44	0.41	-	0.44	0.44	0.33	-	0.40	0.48	0.42	-	0.48	0.63	0.60	-	0.63				

MI: MIROC5, MR: MRI-CGCM3.0, G: GFDL CM3, H: HadGEM2-ES

表 1-2 影響指標一覧

分野	指標 ¹	全国	県別	計算期間	GCM	気候パラメータ	手法	
気候	年平均気温	基準期間からの差		2031-2050 2081-2100	MIROC5 MRI-CGCM3.0 GFDL-CM3 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 ²	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	3 頁
	クロロフィル a (年平均)	数値(μg/L)	ダム湖別					
	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 ³	5 頁
	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					
	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 ⁴	消失率(%)						
	干潟被害額 ⁴	基準期間からの差		海面上昇量 高潮増大率 (2031-2050:1.15, 2081-2100:1.3)				
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	7 頁	
	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						
農業	コメ収量 (A1, A2)	基準期間からの比	メッシュ数	2031-2050 2081-2100	MIROC5 MRI-CGCM3.0 GFDL-CM3 HadGEM2-ES	年平均気温, 日射量 年平均気温, 年間の最低気温	9 頁	
	ウンシュウミカン作付適地継続率	全国の比率 ⁵						基準期間から比
	タンカン作付適地	全国の比率 ⁵						県内の比率 ⁵
健康	熱ストレス超過死者数 (A)	基準期間からの比 ⁷		2031-2050 2081-2100		日最高気温	11 頁	
	熱中症死亡被害額 ⁶ (A)	基準期間からの差 ⁷						
	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	全国の比率						県内の比率

¹ 適応策を検討している指標は (A) と表示, ² 2091-2100 を対象, ³ 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, ⁴ 伊勢湾, 三河湾, 東京湾, 八代海, 有明海の 9 つの干潟を対象, ⁵ 全国/県内における作付適地の割合, ⁶ 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, ⁷ 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

る。

(3) 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、斜面崩壊、ブナ潜在生育域、コメ収量、熱ストレス超過死者数の 5 つである。

洪水被害：大都市圏の 1 級河川では、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 10~30 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 1 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。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あり、従来の保護区を変更しない場合が適応なしである。

コメ収量：コメの適応策として、移植日の移動を想定した。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、適応策を2ケース設定した。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：現状の至適気温が将来にわたって一定の場合を適応無し、温暖化に伴い至適気温が変化する場合を適応あり（100%適応）と設定した。研究課題1(7)の報告（12頁）にあるとおり、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%適応はあり得ない。そのため、適応あり（100%）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。

3. 研究成果

(1) 全国影響（図1-1, 1-2）

図1-1にRCP・気候モデル別の影響予測の結果、図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1-2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合わ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9-10 $\mu\text{g/L}$ 、年最高値が約30-33 $\mu\text{g/L}$ 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：適応策無しの場合、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）の年平均水害被害額は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 $^{\circ}\text{C}$ の気温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ことを表している。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、今回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の再現は十分ではないので、こうした極端な豪雨による洪水によって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 $^{\circ}\text{C}$ 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のケースでは、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/年、干潟：144-150億/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のケースでは、約1.7-1.9倍に増加する。ブナの潜在生育域は、保護区を拡大する適応策の効果があつた（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：コメの収量は、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が大きく不確実性が大きい。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、研究課題1(6)にもあるように、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：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生産が難しい地域では基幹的な作物のひとつである。コメと異なり、通常40年ほど継続して栽培されるため、現時点だけでなく、長期間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から判断すると、21世紀半ばにRCPによらず現在比0.7-0.8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

加してゆくと見られる(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するが2℃前後で急減する。その一方、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/年の被害増加となる。5000億円を越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。

(2) 地域別の温暖化影響

RCP別の地域別影響を表1-3に示す。地域は県単位で区別しており、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1-3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日本地図の上を示すことができる。図1-4には、いくつかの指標を例にとり、RCP別・年代別の影響分布を示した。

洪水被害額：適応策無しの場合、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多いと推定された。

斜面崩壊：適応策無しの場合、将来期間およびRCPによらず、崩壊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。研究課題1(4)にもあるとおり、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、日本の文化の変容にも影響を及ぼすと懸念されるが、研究課題 2(1)で研究に着手した段階であり、今後一層検討すべき課題である。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の選択も検討する必要がある。

ウンシュウミカン・タンカン：果樹は植え替えが難しく、ウンシュウミカン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

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。適地の増加率は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：熱ストレス超過死亡者数は、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(人口が現状)では超過死亡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、適応なしよりは低くなるものの、超過死亡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。

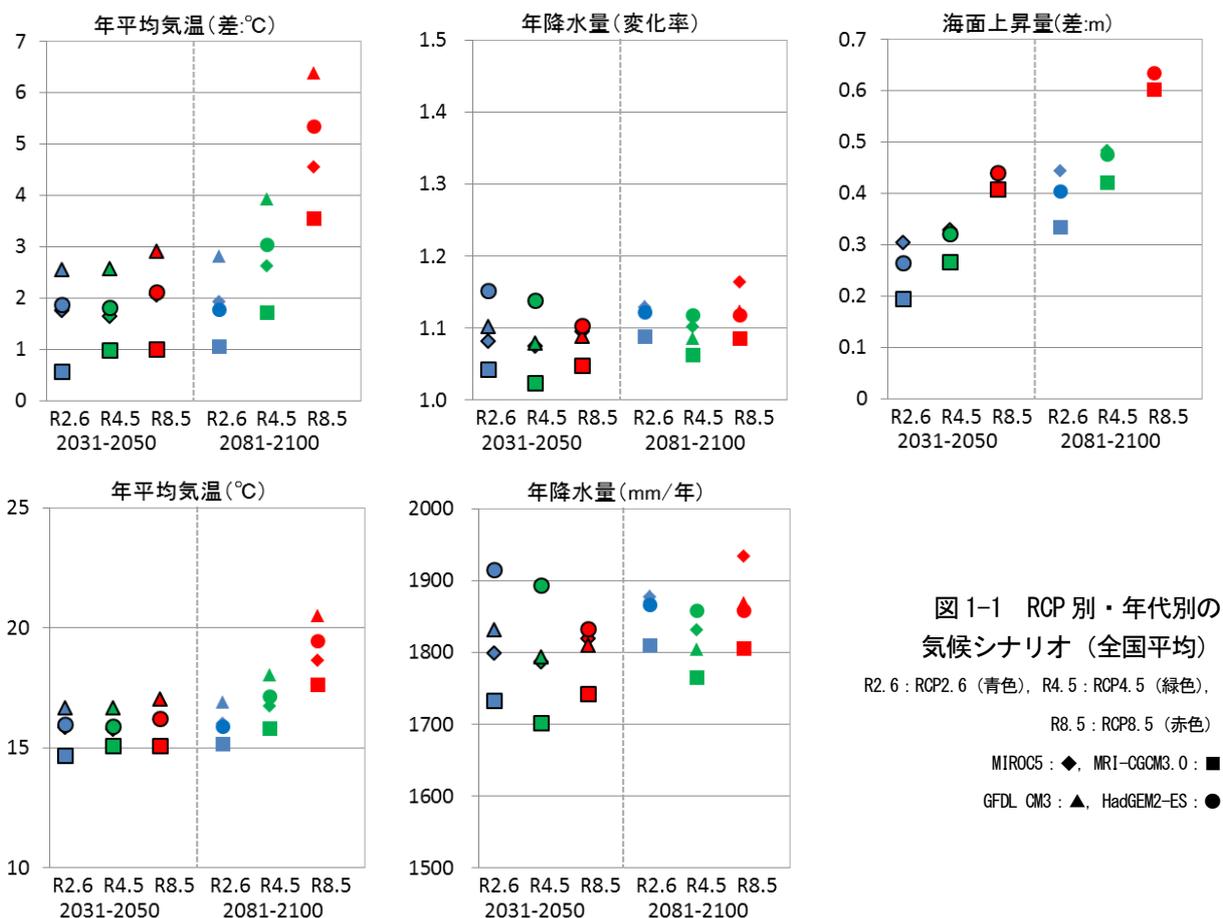


図 1-1 RCP 別・年代別の気候シナリオ(全国平均)
R2.6 : RCP2.6 (青色), R4.5 : RCP4.5 (緑色),
R8.5 : RCP8.5 (赤色)
MIROC5 : ◆, MRI-CGCM3.0 : ■
GFDL CM3 : ▲, HadGEM2-ES : ●

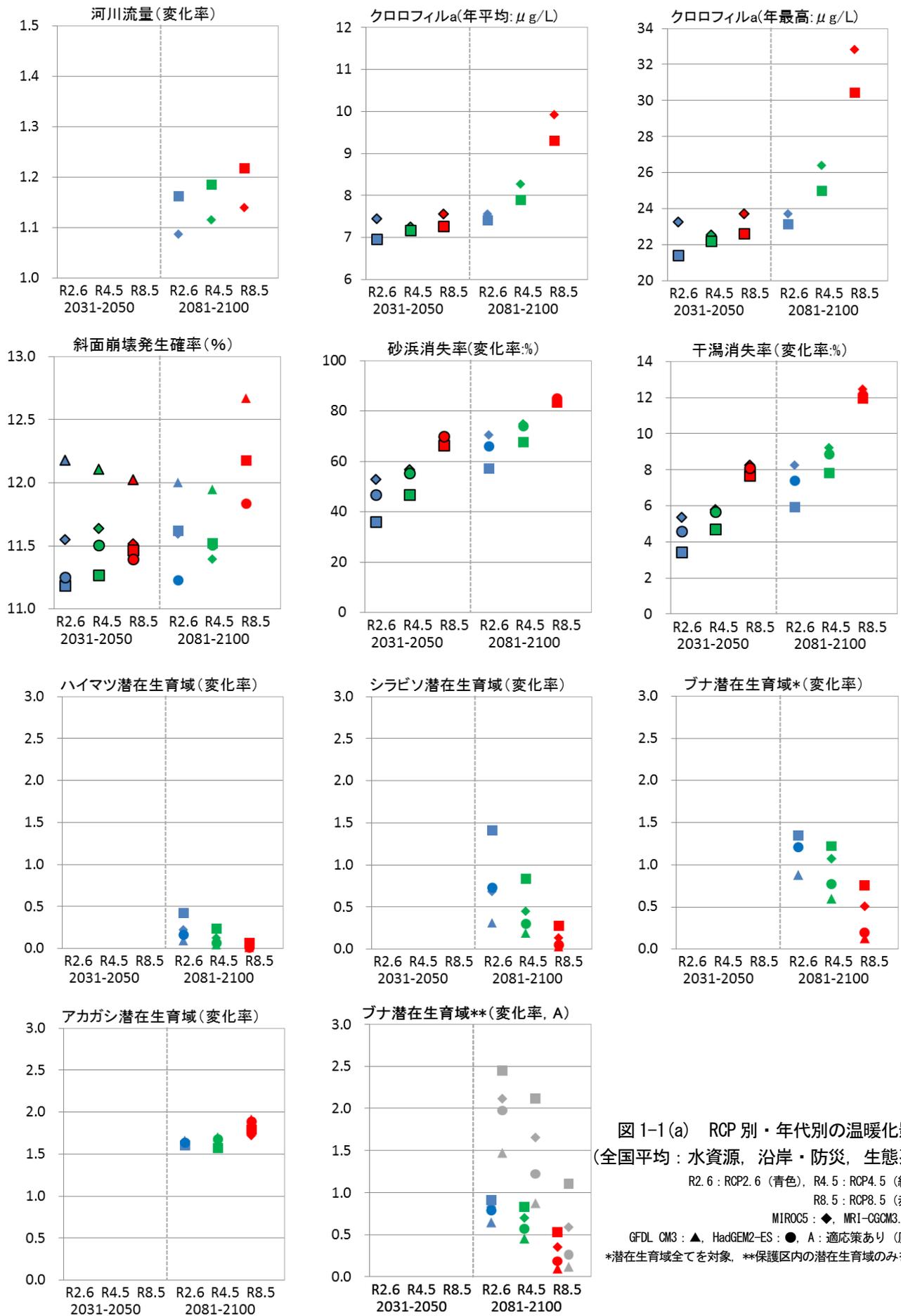


図 1-1(a) RCP 別・年代別の温暖化影響
(全国平均：水資源，沿岸・防災，生態系)

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

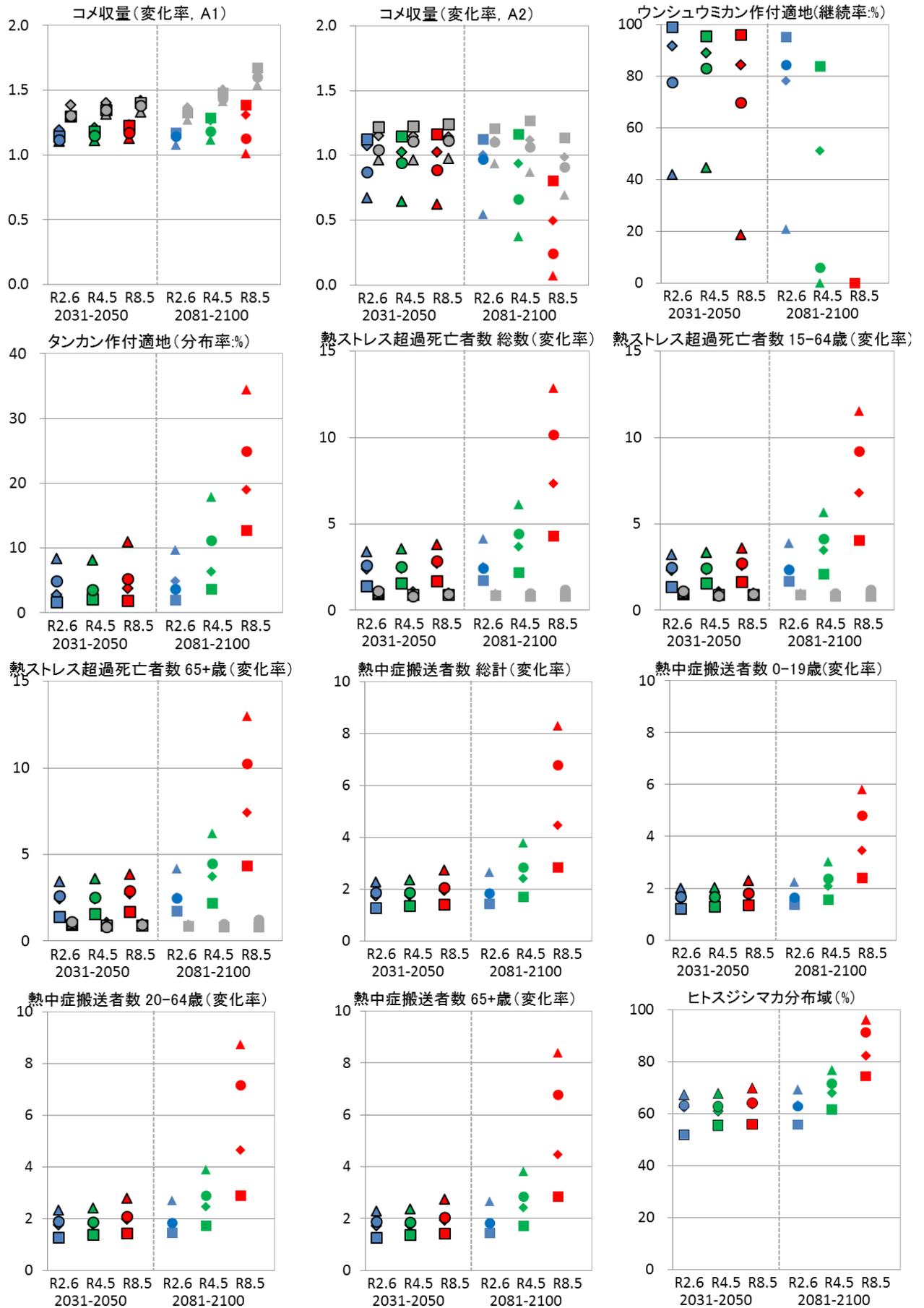


図 1-1 (b) RCP 別・年代別の温暖化影響 (全国平均：農業，健康)

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)

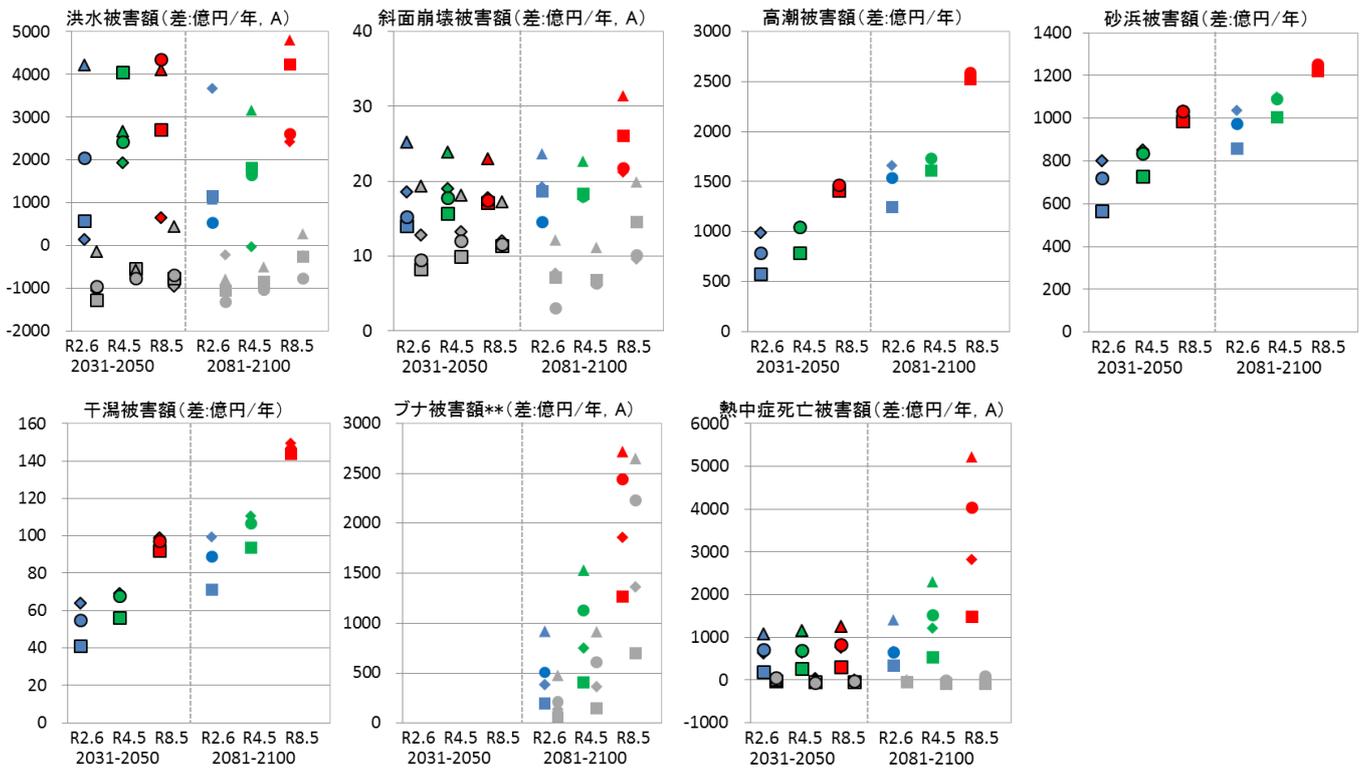


図 1-1 (c) RCP 別・年代別の温暖化影響 (全国平均：被害額)

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

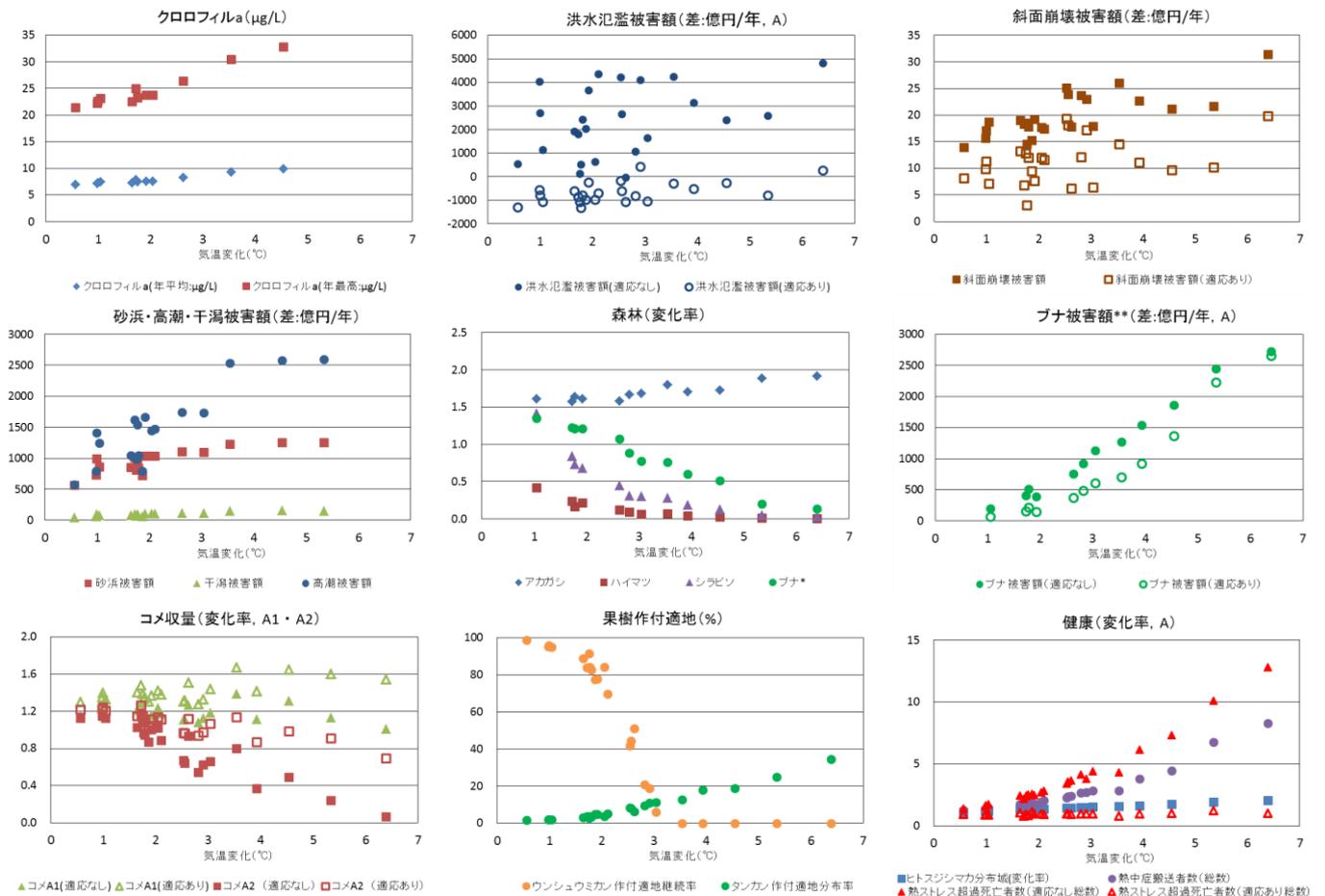


図 1-2 気温変化と温暖化影響 (全国平均)

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

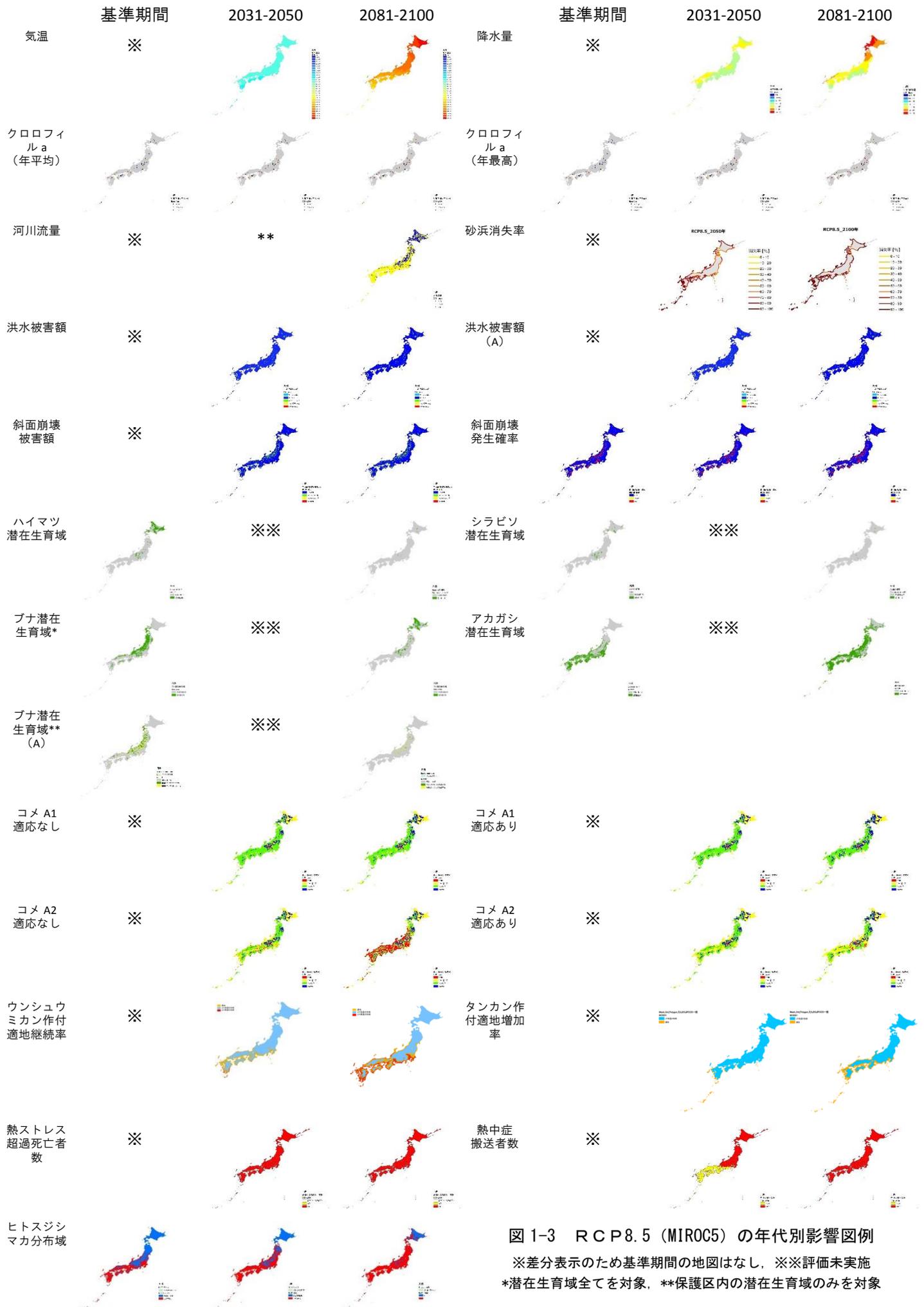


図 1-3 RCP8.5 (MIR0C5) の年代別影響図例

※差分表示のため基準期間の地図はなし、※※評価未実施

*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

主な研究成果

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」では、i)日本全国及び地域レベルの気候予測に基づく影響予測と適応策の効果の検討、ii)自治体における適応策を推進するための科学的支援、iii)アジア太平洋における適応策の計画・実施への貢献、に関する研究を実施した。以下では、本研究の特色と主要な成果を示す。

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。
 - 気候モデルは、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）を選択した。そのため、もっとも温暖化の進む RCP8.5 の 21 世紀末における日本の年平均気温の上昇は、3.5-6.4℃と大きく幅のある予測になっている。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。
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、i)国民の健康や安全・安心、2)国民の生活質と経済活動、3)生態系や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は、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（冷温帯）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。
4. 地方自治体における温暖化影響・適応に係る実践的研究を進め、適応策推進のために「適応策ガイドライン」を作成した。
 - 長野県、埼玉県、東京都などの先進地域では適応策の計画・実施が始まっているが、未だ離陸段階にある。先行地域において把握された阻害要因には、1) 国の適応計画や法制度が策定されていないこと、2) 適応策の研究成果や先進地域の状況が十分に知られていないこと、3) 将来の気候変動と影響予測には不確実性があるが、それを考慮した計画手法が十分に確立されていないこと、があげられる。
 - 気候変動の影響を決定する脆弱性の要素には、「気候外力」と「感受性」、「適応能力」がある。各分野で既に実施されている適応策に追加すべきものには、「既存適応策の強化」、「社会の感受性の根本改善」、「中長期的影響への順応型管理」の 3 つの方向がある。
 - 我が国で最初に亜熱帯化すると思われる九州において、水・土砂災害を対象とした詳細な影響評価との具体的な適応策を検討した。
 - 自治体レベルの取り組みを進めるため、2011 年に「地域適応フォーラム」を設置して情報交換を行っている。
5. 自治体や途上国における影響評価・適応策の検討に用いる支援ツールを開発した。
 - 複数の濃度・気候シナリオに対して地域レベルの影響予測結果を出力する簡易集計ツールを開発した。本ツールの結果は自治体での適応策検討に提供を始めている。
 - 地域レベルの気候予測はこれまで非常に困難であったが、簡単に地域気候予測の計算と分析ができるシステム「温暖化ダウンスケラ」を開発した。「温暖化ダウンスケラ」はインドネシアやベトナムでも紹介し、活用が始まっている。
6. メコンデルタとガンジスデルタ等の事例研究を通して、気候変動の脆弱性評価と適応効果評価する手法を開発した。この成果に基づいて、地域特性に応じた適応策の提案や適切な適応資金メカニズムのあり方を提案した。
7. 今後の課題
本研究は平成 26 年度に最終年度を迎えるが、今後の研究には以下のような課題がある。
 - ・ スーパー台風、集中豪雨・渇水など極端現象による最悪な場合の影響の推定
 - ・ 海外で発生した被害が貿易等を通じて我が国に波及する影響の予測
 - ・ 少子高齢化など他の社会的・環境的变化と合わせた総合的なリスク評価
 - ・ 生態系の変化や文化への影響など長い時間かけて徐々に生じる影響の評価
 - ・ ハード、ソフト両面における分野ごとの適応策の体系化とその効果の評価
 - ・ 研究成果の国際的活用と貢献

引用文献

1(2)-1: 温暖化ダウンスケーラ開発チーム (2013) 温暖化ダウンスケーラユーザマニュアル, 148pp

1(3)-1: 花崎直太, 高橋潔, 脳崎朝明 (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, 環境科学会誌, 25(3), 223-236

1(3)-2: Muir G, Shiba M, Hori T, Oki T. (2011) Modeling reservoir sedimentation associated with an extreme flood and sediment flux in a mountainous granitic catchment, *Geomorphology*, 125(2), 263-270

1(3)-3: Muir G, Gboso V, Orlov S, Takazawa S, Oguma K, Yoshimura K, Shiba M, Hori T, Oki T. (2013) Assessment of potential suspended sediment yield in Japan in the 21st century with reference to the general circulation model climate change scenarios *Global and Planetary Change*, 102(C), 1-9

1(3)-4: 桑原亮, 梅田信 (2013) 国内のダム湖における流入河川の河川の水質と流域背景に関する統計的評価と将来展望, 土木学会論文集 G (環境), 69, 1123-1130

1(3)-5: 吉川泰代, 矢野博康, 小池亮, 森本達男, 小久美子, 荒巻俊也, 滝沢智 (2012) 水道ハザードマップを用いた自然災害による水道事業への影響評価, 土木学会論文集 G (環境), 68(7), 1147-1156

1(4)-1: 手塚翔也, 小野桂介, 風間聡 (2013) 極端降雨と極端流出の関連に基づいた洪水被害分布推定, 土木学会論文集 B1(水工学), 69(4), 11603-11608

1(4)-2: 手塚翔也, 小野桂介, 風間聡 (2014 印刷中), 土木学会論文集 B1(水工学)

1(4)-3: 川越清樹, 風間聡, 沢本正樹 (2008) 将来気候モデルを用いた土砂崩壊リスク評価, 土木学会地球環境研究論文集, 16, 27-35

1(4)-4: 鈴木武 (2012) 地球温暖化影響を考慮した高潮浸水被害リスクマップと沿岸浸水被害軽減の作成, 土木学会論文集 E3 (海洋開発), 68(4), 1870-1875

1(4)-5: 有働恵子, 武田百合子, 吉田博, 真野明 (2013) 最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測, 土木学会論文集 G3(環境), 69(4), 1239-1247

1(4)-6: 有働恵子, 武田百合子, 吉田博, 真野明 (2012) 日本の干涸における過去の長期面積変化特性と海面上昇による将来の浸食予測, 土木学会論文集 G(環境), 68, 1279-1285

1(5)-1: Giesen A, Thaler W. (2005) Predicting species distribution offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8, 993-1009

1(5)-2: Hga M, Tsuyama N, Nakao K, Nakazono E, Matsui T, Tanaka N. (2013a) Influence of nonclimatic factors on the habitat prediction of tree species and an assessment of the impact of climate change. *Landscape and Ecological Engineering*, 9, 111-120

1(5)-3: Hga M, Nakao K, Tsuyama N, Nakazono E, Yasuda M, Matsui T, Tanaka N. (2013b) Indicator plant species selection for monitoring the impact of climate change based on prediction uncertainty. *Ecological Indicators*, 29, 307-315

1(5)-4: Horikawa M, Tsuyama N, Matsui T, Konrari Y, Tanaka N. (2009) Assessing the potential impacts of climate change on the above habitat suitability of Japanese stone pine (*Pinus pumila*). *Landscape Ecology*, 24, 115-128

1(5)-5: 松井哲哉, 田中 信行, 八木龍也, 小南裕志, 津山幾太郎, 高橋潔 (2009) 温暖化ともなうブナ林の分布域の変化予測と影響評価, 地球環境, 14(2), 165-174

1(5)-6: Nakao K, Matsui T, Horikawa M, Tsuyama N, Tanaka N. (2011) Assessing the impact of land use and climate change on the evergreen broad-leaved species of *Quercus acuta* in Japan. *Plant Ecology*, 212, 229-243

1(5)-7: 田中 信行, 中国悦子, 津山幾太郎, 松井哲哉 (2009) 温暖化の日本産針葉樹 10 種の潜在生育域への影響予測, 地球環境, 14(2), 153-164

1(5)-8: Tsukada M. (1982) Late-Quaternary development of the Fagus forest in the Japanese archipelago. *Japanese Journal of Ecology*, 32, 113-118

1(5)-9: Nakao K, Hga M, Tsuyama N, Matsui T, Tanaka N. (2013) Spatial conservation planning under climate change using species distribution modeling to assess priority for adaptive management of *Fagus crenata* in Japan. *Journal for Nature Conservation*, 21, 406-413

1(6)-1: Ishigaki Y, et al. (2011) Spatial characterization of recent hot summers in Japan with agro-climatic indices related to rice production. *J. Agric. Meteorol.* 67(4), 209-224

1(6)-2: 杉浦俊彦, 横沢正幸 (2004) 年平均気温の変動から推定したリンゴおよびウシユウミカンの栽培環境に対する地球温暖化の影響, 園芸学会雑誌, 73: 72-78

1(6)-3: 農林水産省 (2010) 果樹農業振興基本方針

1(6)-4: Okada M, et al. (2009) Mesh climate change data of Japan ver. 2 for climate change impact assessments under PCC-SFES A1B and A2. *J. Agric. Meteorol.* 65(1), 97-109

1(6)-5: Masumoto Y, et al. (2012) Estimation of the damage area due to tropical cyclones using fragility curves for paddy rice in Japan. *Environ. Res. Lett.* 7, 014020

1(6)-6: Sugura T, et al. (2014) Predicted changes in indicators suitable for tarlen cultivation due to global warming in Japan. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 102(503) / jstn.104-094

1(7)-1: LeTatre et al. (2006) Impact of the 2003 Heatwave on A1-Cause Mortality in 9 French Cities. *Epidemiology*, 17, 75-79

1(7)-2: Honda Y, et al. (2013) Heat-related mortality risk model for climate change impact projection. *Environ Health Prev. Med.* 18(10), 1007-1013

1(7)-3: Armstrong B. (2006) Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality. *Epidemiology*, 17, 624-631 (2006)

1(8)-1: Kobayashi M, Komagata O, Nishi N. (2008) Global warming and vector-borne infectious diseases. *Journal of Disaster Research*, 3(2), 105-112

1(8)-2: Kurane I. (2010) The effect of global warming on infectious diseases. *Osung Public Health and Research Perspectives*, 1(1), 4-9

1(8)-3: Kurane I, Shibasaki K, Kotaki A, Higa Y, Takasaki T. (2013) The effect of precipitation on the transmission of Japanese encephalitis (*E*) virus in nature. A complex effect on antibody-positive rate to *E* virus in sentinel pigs. *PLoS One*, 8(10), 1831-1844

1(9)-1: Morisugi H, Morisugi M. (2012) Definition and Measurement of Natural Disaster Damage Cost by Pansy Growth Model. Proceedings of the 52nd European Congress of the Regional Science Association International Ordinary Session 52 (USB memory Stick)

1(9)-2: 佐尾博志, 森彩雅史, 大野栄治, 坂本直樹, 中島一憲, 森彩壽芳 (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, 土木学会論文集 G (環境), 69(5), 1249-1257

1(9)-3: 有働恵子, 武田百合子, 吉田博, 真野明 (2013) 最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測, 土木学会論文集 G (環境), 69(5), 1239-1247

1(9)-4: 坂本直樹, 中島一憲 (2012) 旅行費用法と整合的な応用一般均衡モデルの開発, 土木学会論文集 G (環境), 68(6), 1217-1228

1(9)-5: 陳玲, 佐尾博志, 大野栄治, 森彩雅史 (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, 都市情報学研究, 名城大学都市情報学部, 16, 33-38

1(9)-6: 森龍太, 大野栄治, 森彩雅史, 佐尾博志 (2013) TOM と整合した OMI 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—. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 69(5), 1137-1144

1(9)-7: 松井哲哉, 田中 信行, 八木龍也, 小南裕志, 津山幾太郎, 高橋潔 (2009) 温暖化ともなうブナ林の適域の変化予測と影響評価, 地球環境, 14(2), 165-174

1(9)-8: 交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究報告書 (2007) 内閣府

2(1)-1: 地域適応フォーラム, <http://www.adapt-forum.jp/>

2(1)-2: 法政大学地域研究センター (2014) 地域適応策ガイドライン Ver.2, <http://www.adapt-forum.jp/tod/index.html>

2(1)-3: 白井信雄, 田中充, 小野田真二, 木村浩己, 馬場健司, 梶井公美子 (2011) 脆弱性の概念と気候変動適応における脆弱性の構造に関する分析, 地球環境シンポジウム講演集, 7-14

2(1)-4: 須田英子, 窪田ひろみ, 馬場健司, 脳崎朝明, 高橋潔, 花崎直太 (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, 土木学会論文集 G (環境), 67(6), 1193-1202

2(1)-5: 馬場健司, 須田英子, 窪田ひろみ, 脳崎朝明, 田中充 (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, 第 19 回地球環境シンポジウム講演集, 7-14

2(1)-6: 馬場健司, 杉本卓也, 窪田ひろみ, 脳崎朝明, 田中充 (2011) 市民の気候変動適応策への態度形成の規定因—気候変動リスクと施策ベネフィット認知, 手続的公正感と信頼感の影響—. 土木学会論文集 G(環境), 67(6), 1405-1413

2(1)-7: 馬場健司, 松浦正浩, 篠田さやか, 脳崎朝明, 白井信雄, 田中充 (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—. 土木学会論文集 G(環境), 68(6), 1443-1454

2(1)-8: 松浦正浩, 江口徹, 大久保翔太, 大澤友里恵, 倉本北斗, 谷口健二郎, 林嶺恵, 馬場健司, 脳崎朝明 (2012) 農業分野の気候変動適応策検討のためのステークホルダー分析の提案—埼玉県における事例—. 土木学会論文集 G(環境), 68(6), 1309-1318

2(1)-9: 瀬戸芳一, 横山仁, 安藤謙夫, 廣井慧, 藤原孝行, 高橋日出男 (2012) 高密度地上気象モニタリング網を用いた東京都区部における短時間強雨事例の解析, 東京都環境科学研究所年報, 184-185

2(1)-10: 廣井慧, 横山仁, 中谷剛, 瀬戸芳一, 安藤謙夫, 三隅良平, 妙中雄三, 中山雅哉, 砂原秀樹 (2012) 短時間強雨等の局地的極端現象に対する高校生の防災意識向上に向けた気象センサネットワークの活用, 情報処理学会論文誌, 53(10), 1-11

2(1)-11: 河野吉久, 米倉哲志 (2012) 可搬型小型オープントップチャンパーの開発, 大気環境学会誌, 47(4), 186-188

2(1)-12: 堀田昌伸, 中曾根久子, 渡辺一幸, 植松晃岳, 宮澤富幸, 松原秀幸, 吉田保博, 齋藤信, 齋藤あずさ (2012) 長野県における夏鳥の初認・初鳴き調査 (2011 年): 野鳥関係の 8 市民団体の会員による, 長野県環境保全研究所研究報告, 8, 43-47

2(1)-13: 白井信雄, 馬場健司, 田中充 (印刷中) 気候変動の影響実感と緩和・適応に係る意識・行動の関係—長野県飯田市民の分析, 環境科学会

2(1)-14: 地域適応フォーラム・フォーラム会合, <http://www.adapt-forum.jp/meeting/index.html>

2(1)-15: 田中充, 白井信雄編, 地域適応研究会 (2013) 気候変動に適応する社会, 技法堂出版

2(2)-1: 田井明, 久保奈央, 橋本彰博, 小松利光 (2012) 我が国の集中豪雨発生頻度の変化ならびに過去の水・土砂災害時の人的被害と降雨の関係, 土木学会論文集 B1 (水工学), 68(4), 11057-11062

2(2)-2: 久田由紀子, 松永信博, 杉原裕司 (2013) 福岡都市圏における局地降雨の発生特性に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 69(4), 1361-1366

2(2)-3: 木梨行宏, 山城賢, 姫野真太郎, 横田雅紀, 橋本典明 (2012) MRI-AQMS 25 により得られた将来気候データに基づく有明海での将来の高潮に関する検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 68(2), 1201-1215

2(2)-4: 荒木功平, 奥村謙一, 安福規之, 大塚聖 (2012) 九州の亜熱帯化と亜熱帯地域での土壌侵食問題への適応策効果把握の試み, 土木学会論文集 G (環境), 68(5), 1267-1272

2(2)-5: Gshikawa H, Mito Y, Koretsu T. (2013) Study of Flood Control Capability and Advanced Application of Multiple Dams Constructed in Series. *Journal of Disaster Research*, 8(3), 447-465

2(2)-6: 押川英夫, 大島崇史, 小松深次郎 (2011) 冠水時の自動車通行の危険性に関する研究, 河川技術論文集, 17, 461-466

3-1: 田村誠, 信岡尚道, 木下嗣基, 田林雄, Frank Hiroshi Ling, 安島清武 (2013) モンデルタにおける気候変動への脆弱性と適応策, 茨城大学人文学部紀要 (社会科学論集), 56, 27-37

3-2: Pradhakar S.V.R.R., Kotru R., Pradhan N., Mhan D., Upadhyay H., Pattani G., Haider S.S. (2013) Adaptation Effectiveness Indicators for Agriculture in the Ganges Basin. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan

3-3: Nduka H, Ong V.M. (2011) Vulnerability change in coastal zones of Vietnam and Japan. *Proceeding of Asian and Pacific Coasts* 2011, 392-404

3-4: Sato K, Konire H, Murakami S, Yasuhara K. (2013) An experimental evaluation on effects on seepage failure using a natural fiber mixed with soils for river dykes. *Proceedings of Geotechnics for Sustainable Development - Geotech Hanoi* 2013

3-5: Yasuhara K, Konire H, Sato K, Duc D.M. (2013) Geotechnical response to climate change-induced disasters at Vietnamese coasts and rivers: A perspective. *Proceedings of Geotechnics for Sustainable Development - Geotech Hanoi* 2013, 3-21

3-6: 森田香菜子 (2011) ベトナムにおける気候変動への適応策支援メカニズムの研究, 環境情報科学術研究論文集, 25, 359-364

3-7: Morita K. (2012) Financing systems for adaptation-comparison of south pacific island states. *Environmental Science*, 25(5), 347-366



茨城大学 地球変動適応科学研究機関 (ICAS)

〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1



独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

http://www.nies.go.jp/s8_project/