

B-12 極端な気象現象を含む高解像度気候変化シナリオを用いた温暖化影響評価研究
 (2) 極値現象を含む気候変化シナリオを用いた温暖化影響評価に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

地球環境研究センター	温暖化リスク評価研究室	高橋 潔
社会環境システム領域	領域長	原沢英夫
社会環境システム領域	統合評価モデル研究室	肱岡靖明

東京大学

生産技術研究所	沖 大幹
---------	------

<研究協力者>	京都大学大学院地球環境学堂	松岡譲・齋藤宏彰
	東京工業大学大学院社会工学研究科	村井啓朗
	山梨大学工学研究科	平林由希子
	筑波大学大学院人間総合科学研究科	本田靖
	独立行政法人国立環境研究所	
	地球環境研究センター 温暖化リスク評価研究室	増富祐司

平成16～18年度合計予算額 40,982千円
 (うち、平成18年度予算額 16,000千円)

[要旨] 本サブテーマの目的は、高解像度気候モデルMIROC3.2-hiresの結果を利用して極値現象を含む日単位の気候変化シナリオを作成し、全球を対象とした水資源、農業、健康分野への気候変化影響のモデル推計を行うとともに、影響被害軽減のための方策を検討することである。初年度に、日別の気候モデル出力を用いて極値現象を考慮した分野別影響を評価する作業に先駆け、「日別の気候モデル出力の確率的特性に関する把握」と「月別気候モデル出力と日別気候出力を用いた場合の影響評価結果の違いの把握」を目的とした予備的検討を行った。さらに2～3年度目には、予備的検討をふまえ、洪水・渇水リスク変化の全球的予測（水文・水資源）、統計的手法を用いた降雪量の将来予測（水文・水資源）、極端な気象現象を考慮した農作物潜在生産性変化の推計（農業）、暑熱日増加に伴う熱ストレスによる死亡数の変化の推計（健康）、について研究を行った。例えば、洪水・渇水リスク変化の全球的予測では、MIROC3.2-hiresの結果を用いて、20世紀再現実験（モデル値）の渇水・洪水の再現精度の検証と温暖化時の大河川流域の渇水・洪水の変化について解析を行った。その結果、MIROC3.2-hiresが20世紀の洪水・渇水のリスクを良く再現できること、北米大陸の北部と東ヨーロッパを除く全球で21世紀に洪水リスクが増加すること、ユーラシア大陸の北東部を除いて全世界的に渇水リスクが増加することが示された。また、熱ストレスによる死亡数の変化の推計では、熱ストレスによる死亡率の将来変化について、全球を対象として評価する手法を開発し、それを用いた試算を行った。その結果、適応・馴化が行われないと仮定した場合、熱ストレスによる超過死亡数の変化率を国別に見ると100～1000%程度増加し、特に至適気温よりも5℃以上高い強ストレス日が大きく増加する地域では、超過死亡率増加が激しいことが示された。

[キーワード] 高解像度気候モデル、温暖化影響評価、洪水、渇水、熱ストレス

1. はじめに

温暖化影響を評価する際に、極端な高温日、台風、集中豪雨といった、局所的な極値現象の頻度や強度の変化を考慮することが重要であるとの認識が強まりつつある。例えば、洪水をもたらすような強雨の増加は、月平均の降水量の変化では表現できないし、熱中症をもたらすような高温日の増加は、月平均の気温の変化では表現できない。極値現象を考慮した気候シナリオの利用は、より精度の高い影響評価を行うための課題の一つとされてきた。

以上の背景から、本課題では、地球温暖化の影響評価をより具体的、説得的なものとするため、豪雨や熱波などの極端な気象現象を含む温暖化影響評価を行うことを目的としている。うち、本サブテーマでは、高解像度気候モデルの結果を利用して極値現象を含む日単位の気候変化シナリオを作成し、全球を対象とした水資源、農業、健康分野への気候変化影響のモデル推計を行うとともに、影響被害軽減のための方策を検討する。気候モデルの日単位出力を利用した気候シナリオ開発は、いまだ事例に限られており手法確立が遅れている。そのため、影響評価での利用に先駆け、気候モデルの系統誤差などに注意して日単位出力を影響モデルに利用する際の適切な方法を検討することも本サブテーマの目的である。

初年度(平成16年度)には、日別の気候モデル出力を用いて極値現象を考慮した分野別影響を評価する作業に先駆け、日別の気候モデル出力の確率的特性に関する把握と、月別気候モデル出力と日別気候出力を用いた場合の影響評価結果の違いの把握のために、2つの予備的検討を行なった。具体的には、水文・水資源影響に関連して気候モデルによる降水量出力の確率分布推定[平成16年度]を、農業影響に関連して気候モデル出力の日別平均値と月別平均値に基づく農作物潜在生産性推計結果の比較[平成16年度]を行なった。前者の検討の結果、北大西洋上を除いて、基本的には年最大日降水量が増大する傾向にあることがわかった。これは、短期的な強い降雨と密接な関係を持つ洪水の発生頻度・強度の将来増加を示唆するものであり、より詳細な洪水リスク評価の必要性が強調された。また、後者の検討の結果、月別出力と日別出力を用いた影響評価結果には無視できない差が生ずるため、評価精度向上のためには、日単位気候値を利用した影響評価が重要であることが示された。

さらに、初年度の予備的検討の結果をふまえて、平成17年度～18年度には、水文・水資源影響に関しては洪水・渇水リスク変化の全球的予測[平成17～18年度]と統計的手法を用いた降雪量の将来予測[平成18年度]を、農業影響に関しては極端な気象現象を考慮した農作物潜在生産性変化の推計[平成17年度]を、健康影響に関しては暑熱日増加に伴う熱ストレスによる死亡数の変化の推計[平成17～18年度]を行なった。

本報告書では、これらのうち年度をまたがる継続的な課題を近くにまとめ、2. 研究目的、3. 研究方法、4. 結果・考察のそれぞれについて、以下の構成で報告する。5. 本研究により得られた成果の科学的意義についても、下記(1)～(4)に準じる構成で報告する。

(1) 水文・水資源への影響に関する研究

- 1) 気候モデルによる降水量出力の確率分布推定[平成16年度]
- 2) 洪水・渇水リスク変化の全球的予測[平成17～18年度]
- 3) 統計的手法を用いた降雪量の将来予測[平成18年度]

(2) 農業への影響に関する研究

1) 気候モデル出力の日別平均値と月別平均値に基づく農作物潜在生産性推計結果の比較[平成16年度]

2) 極端な気象現象を考慮した農作物潜在生産性変化の推計[平成17年度]

(3) 人間健康への影響に関する研究

1) 暑熱日増加に伴う熱ストレスによる死亡数の変化の推計[平成17～18年度]

なお、本研究課題で共通して用いる気候モデルおよびその実験は、文部科学省RR2002課題「高分解能大気海洋モデルを用いた地球温暖化予測に関する研究」（代表：東京大学気候システム研究センター住明正教授）において開発ならびに実施されたものであり、大気海洋結合モデルは現時点で世界最高の解像度を持つ。

2. 研究目的

(1) 水文・水資源への影響に関する研究

1) 気候モデルによる降水量出力の確率分布推定

将来にわたり温室効果ガスの排出抑制が行われない場合、気温の上昇のみならず、降雨の頻度や強度の変化が生じ、その結果水文特性が変化することにより洪水・渇水等の異常気象災害のリスクが変化すると予想されている。将来の気候変化としては、年平均気温と年降水量の平均的变化に注目が集まりやすいが、異常気象災害への対策検討の側面からは、ある閾値を越える降水量が何年に一度起きるか、といった問いへの回答がより重要となる。つまり、現象の確率的性質を考慮してその特性を理論的に説明し、その知見を応用してリスク軽減のための効率的な対策を検討することが求められる。本研究では、高解像度気候モデルの長期間（1900年～2100年）にわたる日単位出力を利用して、年降水量ならびに年最大日降水量の確率分布推計を行った。これにより、洪水災害リスクの将来変化傾向について大まかに把握することが可能となる。

2) 洪水・渇水リスク変化の全球的予測

過去数十年間について見ると極端な水文事象の頻度が明らかに増加傾向にある、との報告が、多くの研究によりなされている。しかしながら、長期観測データが全球にわたって多くの地点で利用可能であることから、その種の分析の多くは降水について行われている。また、気候モデルによる過去の再現実験結果が極端な水文事象の生起頻度や規模をどの程度良く再現できているか、気候モデルの温暖化実験によると将来の極端な水文事象はどうなるのか、といった分析についても、やはり降水の分析に留まっており、人間活動への影響をより端的に示す洪水・渇水を対象として同様の分析を行うことの必要性は大きい。よって、本研究では、気候モデルの実験結果を用いて、渇水・洪水の再現精度の検証と温暖化時の渇水・洪水リスクの変化について解析を行った。

3) 統計的手法を用いた降雪量の将来予測

大雪予測の不確実性や雪害の性質を考えると、将来にわたり大雪の発生頻度がどのように変化するかを検討することは重要である。地球温暖化には気温を上昇させ降雪量を減少させる効果とは対照的に、大気中の水蒸気量を増やし降水量を増加させる効果も考えられる。すなわち、気温が十分に低い地域では降雪量を増加させる影響も考慮に入れなければならない。また、地球温暖化により全球平均では気温が上昇すると考えられるが、気候の変化により地域的には気温が低下

する地域も存在する可能性がある。さらに、時間的にも平均では気温が上昇するが、気温の変動幅が大きくなり降雪量が一時的に増加するという可能性を見逃すことはできない。大雪が極値現象であることから、地球温暖化時の降雪量変化を見積もるには、このような時間的・空間的な変動を考慮に入れなければならない。

本研究では、地球温暖化実験の結果を解析して、日本における降雪現象は将来どのように変遷するかを推定した。豪雪といった極値現象をターゲットとしているため、降雪の平均値の変化のようなトレンドを見るだけでなく、経年変動や季節内変動などもっと細かな時間スケールでの降雪量推定を行うことを、本研究の具体目標とした。約100kmの空間解像度を持つ気候モデル出力を用いて、地点的な極値現象の影響を精度良く評価するための具体的手順の検討も本研究の目的に含まれる。なお、観測気候値のデータの制約から本研究では評価対象地域を国内に絞っているが、本研究で開発される手法はより広域に適用しうるものである。

(2) 農業への影響に関する研究

1) 気候モデル出力の日別平均値と月別平均値に基づく農作物潜在生産性推計結果の比較

影響評価モデルを用いて将来の影響評価推計を行う場合、将来の気候変化に関しては気候モデルのシミュレーション出力を利用するのが一般的である。従来、気候モデル研究から影響評価研究に提供される気候モデル出力はせいぜい月平均値までであり、日平均値が提供されることはなかった。この点は、より精度の高い影響評価を行うための課題の一つとされてきた。本研究では、高解像度大気モデルによるタイムスライス実験（現在気候実験およびCO2倍増実験）出力の日平均値を用いることで、日々の天候の変動を勘案したより現実的な影響評価を行い、月平均値を用いた場合の影響評価結果との比較により、気候モデルの日単位気候情報を影響評価に使用することの有用性について論ずることを目的とする。

2) 極端な気象現象を考慮した農作物潜在生産性変化の推計

温暖化によって局地的な豪雨・暴風雨、熱波などの現象の強度・発生頻度が変化し、その影響は農作物生産にも顕著に現われると予想される。本研究では、その影響を定量的に評価するために、極端な気象現象を考慮して温暖化の農作物生産への影響を評価するためのモデルを構築し、大気海洋結合モデルMIROC3.2-hiresによる日別気候予測情報を用いたシミュレーションを実施した。評価対象時期は2051～2060年、評価対象作物はイネとし、気温・降水等の気候因子の平均的な将来変化に加え、極端な気象現象として台風および熱波の生起・規模の将来変化を考慮した。

(3) 人間健康への影響に関する研究

1) 暑熱日増加に伴う熱ストレスによる死亡数の変化の推計

温暖化による異常気象災害の頻度・規模の増加に対する懸念が急激に高まりつつある。2003年夏、欧州においては記録的な猛暑となり、多くの死者が生じたことは記憶に新しい。今後次第に気候変化が進行していった場合に、熱ストレスによる死亡リスクが増大することが強く懸念されている。熱ストレスによる死亡者数については、過去の死亡統計が良く整備されている都市を対象地域として、スポット的に気候変化による死亡数変化を見積もった先行研究が若干数あるものの、大陸～全球規模の地域を対象地域として、空間を格子状に区切った各グリッドセル別に推計

が行われた例は検索した限りでは無かった。

以上の問題背景ならびに既存研究の状況をふまえ、本研究では高解像度大気海洋結合モデルMIROC3.2-hiresの日平均高解像気候予測情報を利用して将来気候シナリオを作成し、温室効果ガス排出削減の努力が行われないうまに温暖化が進展してしまった場合に、熱ストレスによる死亡者数がどのように変化するかを、既存研究に比べて広域を対象地域としつつ空間詳細に見積もり、リスクの高い地域を指し示すことを目的とする。

3. 研究方法

(1) 水文・水資源への影響に関する研究

1) 気候モデルによる降水量出力の確率分布推定

本研究では、気候モデルによる日別降水量出力値を用いて、20世紀100年間（1901～2000年；以下20Cと呼ぶ）と将来100年間（2001～2100年；以下21Cと呼ぶ）のそれぞれの期間について、東京（東経135.5°・北緯35.5°）が位置するグリッド点を対象地域として、年降水量ならびに年最大日降水量の確率分布を推定した。

気候モデルの日別降水量出力値としては、高解像度大気海洋結合モデルMIROC3.2-hires（水平解像度：大気～1.1°、海洋～0.2°）に、20世紀100年の自然起源および人為起源の外部条件を与えて計算された20世紀再現実験の結果と、20世紀再現実験を延長する形で将来の温室効果ガス排出シナリオとしてIPCC SRES A1Bシナリオに基づく外部条件を与えて計算された21世紀予測実験の結果を、それぞれ20C・21Cの確率分布推定に用いた。

確率分布の推定に当たっては、(1)正規分布、(2)2母数対数正規分布、(3)3母数対数正規分布、(4)ワルド分布、(5)1母数ピアソンⅢ型分布、(6)2母数ピアソンⅢ型分布、(7)3母数ピアソンⅢ型分布、(8)対数ピアソンⅢ型分布、(9)指数分布、(10)平方根指数型分布、(11)平方根指数型最大値分布、(12)ワイブル分布、(13)グンベル分布、(14)一般化極値分布の14の確率分布のそれぞれについて、積率法、PWM法、最尤法の3つの母数推定法を適用して分布推定した（一部の組み合わせは除外した）。20C・21Cそれぞれについて100年間のモデル出力があるため、20C・21Cの年降水量・年最大日降水量について、各々100標本を用いた分布推定となる。推定分布の適合度については、99標本を用いて母数推定された分布での残り1標本の対数尤度を求めることを、母数推定から除外する1標本を変えて100回行うクロスバリデーションを用いて評価した。その後、最も適合度の良い分布式・母数推定法の組み合わせについて、100標本を用いた母数推定を行って確率分布を求め、20C・21Cの分布の変化について検討した。

2) 洪水・渇水リスク変化の全球的予測

解析には、高解像度大気海洋結合モデルMIROC3.2-hiresの20世紀再現実験（1941年～2000年）とSRES-A1B温暖化実験（2001年～2100年）の出力（「MIROC実験流量データ」と呼ぶ）、GRDC（Global Runoff Data Center）の日流量観測点データ（「観測流量データ」と呼ぶ）、MATSIRO-LSM（Land Surface Model）を用いたオフライン実験出力（「CRU実験流量データ」と呼ぶ）の、3種のデータを用いた。ここでMATSIRO-LSMを用いたオフライン実験とは、CRU(Climatic Research Unit)の0.5°×0.5°メッシュ観測気候値(New et al., 2002)¹⁾を基に作成した過去の観測気候値を入力として、MATSIRO-LSMを用いて行った水文シミュレーションのことである。本研究では、まずCRU実験流

量データが観測流量データをよく再現することを確認した後に、年最大日流量の分布特性（具体的にはグンベル分布のパラメータを正規化したもの）について、MIROC実験流量データが観測流量データならびにCRU実験流量データをどの程度良く再現しているかを検証した。その後、MIROC実験流量データの現状（1941～2000年）と将来（2001～2030年と2071～2100年）の年最大日流量を用いて、現状で100年に1度の再起確率で生ずる大きな年最大流量（洪水流量）が、将来にはどの程度の確率で生ずるようになるのかを調べた。渇水については、1941～2000年の日流量総サンプルの10パーセンタイル値よりも日流量が小さな日数を年ごとに数えてそれを「渇水日数」と呼び、観測流量データに基づく渇水日数をCRU実験流量データが良く再現することを確認した上で、MIROC実験流量データの現状と将来の日流量を用いて、渇水日数の将来変化について調べた。

3) 統計的手法を用いた降雪量の将来予測

地球温暖化時の降雪深の変化を予測するために、次の3つのステップで解析を進めた。まず一番目に、降雪がどのような気象条件で発生するかを、現在までの地上の気象観測データを用いて解析した。地上で観測された気象条件から、定量的に降雪量を評価する式を導くことを目的とする。二番目に、ある地点における降雪量を、周囲の空間の格子点気象情報から推定する手法を開発した。統計分析には手法として、クラスター分析と重回帰分析を使った。最後に、MIROC3.2-hiresによるIPCCのSRES AIB実験の結果に対して二番目で開発した手法を適用することで、高田（新潟県）を対象地点として降雪深の将来の変遷を予測した。

(2) 農業への影響に関する研究

1) 気候モデル出力の日別平均値と月別平均値に基づく農作物潜在生産性推計結果の比較

本研究では、以下の2ケースについて、イネ・コムギの潜在生産性を推計し、その比較により影響評価での日別気候情報使用の有用性について検討する。2ケースとは、タイムスライス実験結果（時間解像度6時間）を平均して日単位気候情報を作成して直接影響評価モデルの入力情報とした場合（ケース1）と、同実験結果を平均して一旦月単位気候情報を作成した後に、線形内挿補間により日単位気候情報を作成して影響評価モデルへ入力する場合（ケース2）である。評価対象時期は、1979～1998年の20年間とし、タイムスライス実験結果からは気温、気温日内較差、降水量、水蒸気圧、風速の5種類の気候要素を使用する。

影響評価シミュレーションには、全球レベルで穀物の潜在生産性を推計することができる潜在生産性モデル（Takahashi et al., 1997）²⁾に灌漑状況や作物暦などを取り扱えるように改良したモデル（村井ら, 2005）³⁾を使用し、イネとコムギを評価対象作物とした。

2) 極端な気象現象を考慮した農作物潜在生産性変化の推計

月別気候・土壌条件・灌漑・国別投入労力を入力条件として主要穀物の潜在生産性を推計する既存の潜在作物生産性モデル（Takahashi et al., 1997）²⁾を基礎として、さらに日別気候を入力条件として極端な気象現象（台風と熱波）による被害を考慮できるようにモデルを拡張し、影響評価に用いた。台風・熱波の被害については、日本の過去の災害種類別被害統計（農林水産省）と対応する時期の関連する気候指標（台風については台風上陸期間の最大日平均風速と総降水量、熱波については年最大日平均気温）との回帰により被害率推計式を作成し、全球に適用した。

気候シナリオに関しては、CRUの月単位気候観測値(New et al., 2002)¹⁾とMIROC3.2-hiresによるIPCCのSRES-A1B実験の出力結果による日々の変動を含んだ気候変化を足し合わせ、現在（1981～1990年）と将来（2051～2060年）について日別に作成した。また、灌漑率および投入労力の将来シナリオに関しては、灌漑率は1990年代の変化トレンドを延長することで、また投入労力に関しては国別の一人あたりGDPの関数として示した機械化率を投入労力の代替的な指標とすることで、それぞれ作成した。

(3) 人間健康への影響に関する研究

1) 暑熱日増加に伴う熱ストレスによる死亡数の変化の推計

本研究の推計作業の手順は、(1)モデル構築とパラメータ推定、(2)推計の諸前提（気候シナリオ・人口シナリオ）の作成、(3)熱ストレスによる超過死亡数の推計、の3つの手順からなる(図1)。

まず、1972～1995年の24年間について、47都道府県の日死亡数データと、対応する各県庁所在地の日最高気温データを収集し、その間の統計的關係から、日最高気温を説明変数とする熱ストレス超過死亡数推計モデルを作成した。本研究で、熱ストレスによる日超過死亡数（人/日）とは、至適気温（統計的に見て日死亡数の小ささという基準で最も快適な気温）よりも日最高気温が高い日については、「日死亡数－至適気温での日死亡数」のことをいう。日最高気温が至適気温よりも低い日の熱ストレスによる日超過死亡数は0（人/日）である。

次に、日最高気温と人口密度（人/km²）を入力データとして作成したモデルを全球に適用し、空間解像度2.5'×2.5'のグリッドセル別の現状10年間（1991～2000年）ならびに将来10年間（2091～2100年）の熱ストレスによる超過死亡密度（人/km²/年；単位面積あたりの年超過死亡数）を推定した。現状および将来（2091～2100年）の日最高気温は、CRU気候観測値データセットの月平均日最高気温に、大気海洋結合モデルMIROC3.2-hiresから得られる同期間の日々変動の情報と、同じく気候モデルから得られる気温の将来変化に関する情報を併せ（将来のみ）、空間解像度0.5°×0.5°で作成した。気温の将来変化に関しては、SRES-A1B排出シナリオを前提とした温暖化実験結果から得られる100年間の日最高気温を用いた。ただし、日最高気温の現在からの上昇量に係数0.75を乗ずる補正を行った。これは、今回用いた大気海洋結合モデルMIROC3.2-hiresが、不確実性の範囲内ではあるものの、他のモデルと比較して気温上昇量を大きめに見積もる傾向があるためである。人口密度および人口年齢構成は将来にわたり変化しないと仮定した。

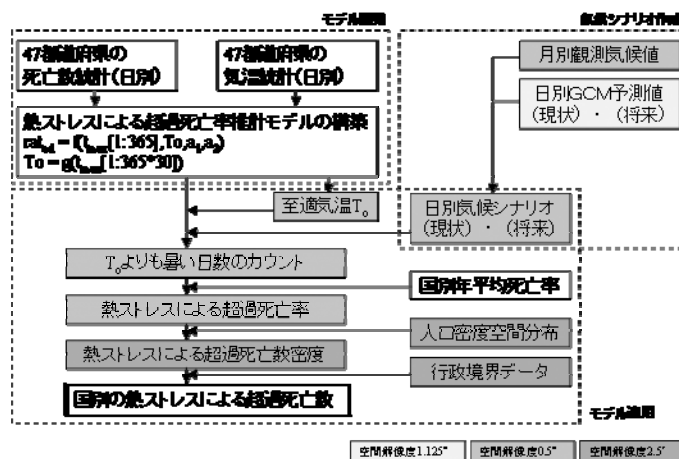


図1 熱ストレスによる超過死亡数の推計の手順

4. 結果・考察

(1) 水文・水資源への影響に関する研究

1) 気候モデルによる降水量出力の確率分布推定

クロスバリデーションによる推定分布の適合度評価によると、対象とした気候モデルの年降水量（東京）については、20C・21Cともに正規分布をPMW法で母数推定したものが最大の対数尤度を示し、最も適合度が高いことが分かった。一方、年最大日降水量については、20C・21Cともに2母数ピアソンⅢ型分布を積率法で母数推定した場合に最も適合度が高くなることが分かった。図2aと図2bは、それぞれ最も適合度の高い方法で推定された年降水量と年最大日降水量の確率分布である。年降水量については、20Cの平均・標準偏差は1403.4(mm/年)・171.3(mm/年)、21Cの平均・標準偏差は1399.1(mm/年)・165.0(mm/年)となり、顕著な差が現れないことが分かった。一方、年最大日降水量については、20Cの平均・標準偏差は44.9(mm/日)・12.1(mm/日)、21Cの平均・標準偏差は49.5(mm/日)・12.8(mm/日)となり、21世紀の年最大降水量は東京で増加する傾向があることが分かった。図3は、20C・21Cそれぞれの年最大降水量の確率分布に基づき、X年確率の年最大日降水量を示したものである。この図から、例えば100年に一度の確率で生起する年最大日降水量

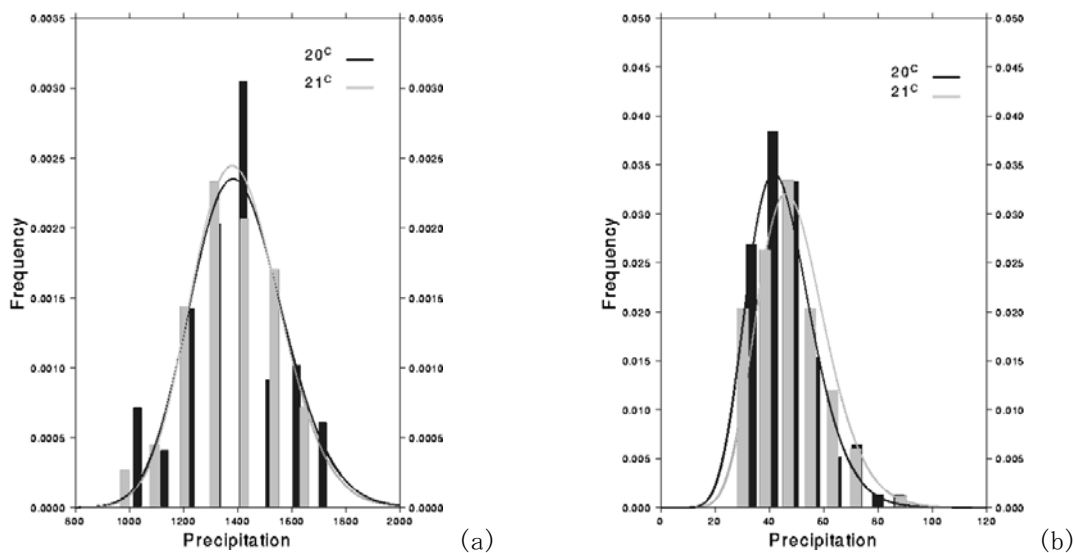


図2 推定された(a)年降水量[mm/年] と (b)年最大日降水量[mm/日]の確率分布

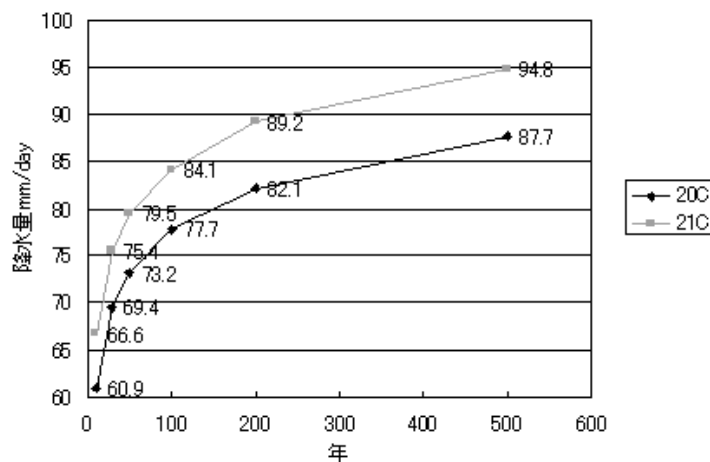


図3 再現期間X年の年最大日降水量[mm/日]

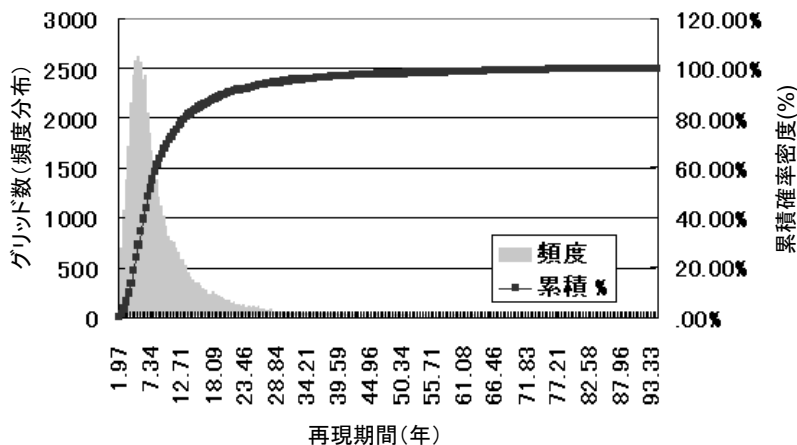


図4 20世紀の再現期間が30年である年最大日降水量の、
21世紀における再現期間（グリッド数の頻度分布）

は、20Cには77.7(mm/日)であったものが、21Cには84.1(mm/日)となることから分かる。図4は、2母数ピアソンⅢ型分布を積率法で母数推定する方法で、東京が位置するグリッド点だけではなく、気候モデルが出力する全グリッド点について確率分布推定し、各々のグリッド点について20Cに30年に1回の確率で生起していた年最大降水量が21Cには何年に1回の確率で生起するようになるのか（値X）を計算し、横軸に値Xを取って頻度分布・累積頻度分布を示したものである。値Xが30を超えるグリッド点、すなわち20Cに30年に1回の確率で生起していた年最大降水量が21Cにはより長い期間に1回の確率でしか生起しなくなるグリッド点は、非常に少ないことが見てとれる。

2) 洪水・渇水リスク変化の全球的予測

高解像度大気海洋結合モデルでは、洪水の頻度分布を規定する最大日流量の平均値と標準偏差の比が、系統的に過大評価であるものの、地理的分布が観測流量データ・CRU実験流量データか

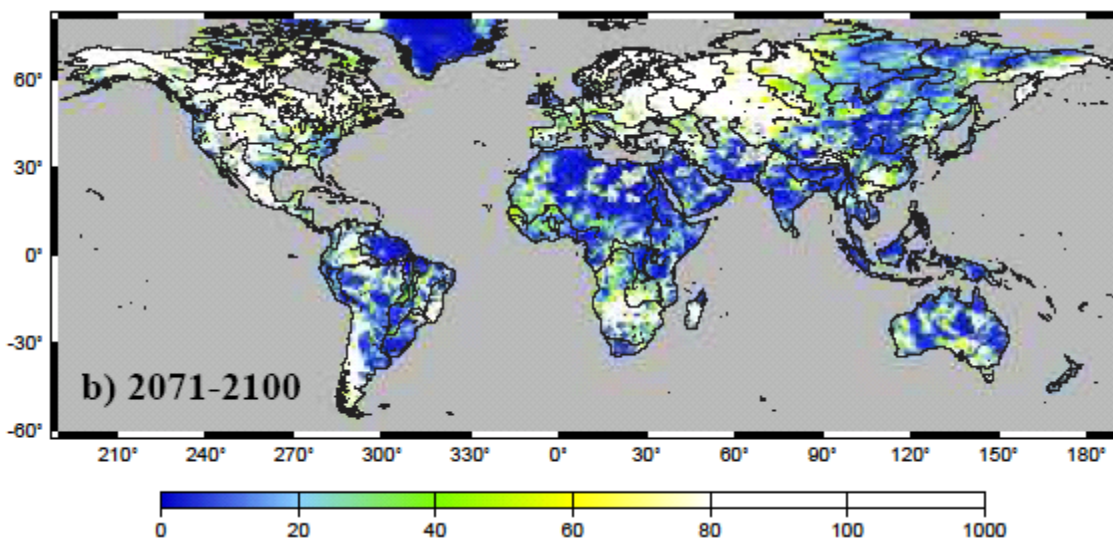


図5 現状(1941~2000年)の100年洪水流量の、将来(2071~2100年)における再現期間
(単位：年；洪水流量の定義は本文中に記述)

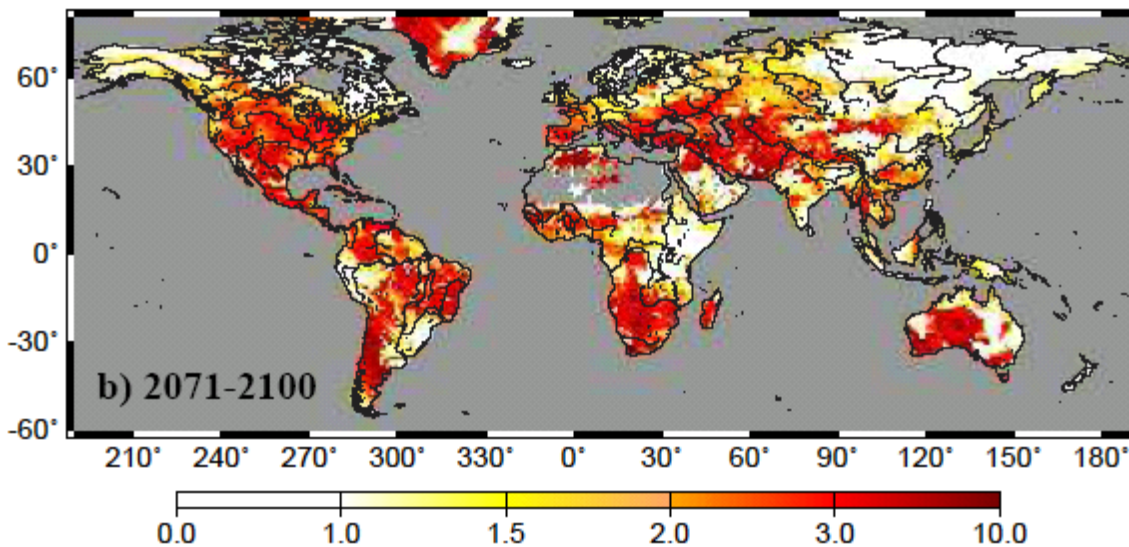


図6 将来（2071～2100年）の渇水日数／現状（2071～2100年）の渇水日数
 （渇水日数の定義は本文中に記述）

ら求めた値と比較的対応していること、100年に1度の再起確率の洪水流量が観測値と対応していることが確かめられた。一方、渇水に関しては、渇水日数の再現精度が乾燥地・寒冷地においてあまりよくないことが判明した（以上、図略）。

高解像度大気海洋結合モデルにおいて、温暖化時に洪水が増える場所は北米大陸の北部と東ヨーロッパを除く全球にわたっていること（図5）、渇水はユーラシア大陸の北東部を除いて全世界的に増加するということが判明した。世界の30個の大河流域において詳細な検討を行った結果、高緯度の河川流域では融雪の季節が早まることによる年ピーク流量の通減・洪水時期の流量の平滑化による洪水流量の低下と渇水日数の増加が見出された。その他の河川流域では年流量と洪水頻度が同じ増減傾向を示した。渇水頻度に関しては、年降水量よりも年降水量から蒸発

表1 世界30大河流域でのMIROC実験出力のまとめ

No.	River	100年 確率の 洪水流量 mm/day	渇水日数 の変化率		年降水量		蒸発量		年第4位の日降水量			年流出量			P-E %	日流量の ピーク月	降水量		21c-20c K		
			20c mm/day	21c mm/day	21c-20c mm/day	20c mm/day	21c mm/day	21c-20c mm/day	20c mm/day	21c mm/day	21c-20c mm/day	20c mm³/s	21c mm³/s	21c-20c mm³/s			21c-20c %	21c-20c mm/day		21c-20c %	
1	Yulion	448.8	1.45	1.95	2.61	0.66	0.71	0.96	0.24	13.78	13.96	5.22	1851.4	2453.7	502.3	25.7	0.41	0.01	22.89	21.81	6.78
2	Mackenzie	414.0	2.50	1.44	1.64	0.41	0.90	1.07	0.27	11.76	15.39	3.62	1051.5	1222.5	171.0	19.3	0.14	-0.96	16.21	21.57	6.66
3	Obi	149.2	2.12	1.31	1.60	0.29	0.87	1.11	0.23	11.61	14.65	3.04	892.3	1040.3	148.0	16.6	0.06	-1.10	11.79	16.68	6.81
4	Yenisov	43.8	0.21	1.37	1.78	0.41	0.90	1.11	0.22	12.74	18.79	4.06	811.3	1266.6	355.3	39.0	0.19	-0.63	18.39	26.67	6.58
5	Lena	4.5	0.05	1.21	1.57	0.95	0.78	0.92	0.14	14.01	19.52	4.51	848.1	1332.2	384.1	40.5	0.22	-0.41	13.26	24.33	6.18
6	Kolyma	5.1	0.23	1.35	1.66	0.52	0.57	0.71	0.14	13.87	18.48	5.09	724.3	985.0	260.7	36.0	0.38	-1.00	21.35	32.28	6.34
7	Rein	614.6	1.94	2.61	2.75	0.14	1.68	1.91	0.23	11.75	21.79	4.03	587.6	547.2	-40.4	-6.9	-0.09	0.35	-5.97	-4.48	4.38
8	Danube	258.1	3.14	2.33	2.42	0.08	1.70	1.90	0.20	10.81	23.09	8.78	828.8	868.5	-60.4	-6.5	-0.12	2.50	-7.91	-7.31	4.84
9	Dniestr	2063.6	3.43	1.48	1.67	0.19	1.24	1.55	0.31	14.26	17.43	3.15	320.2	220.3	-99.9	-31.2	-0.12	-0.55	2.04	2.74	5.16
10	Volga	663.8	3.31	1.50	1.72	0.21	1.04	1.35	0.31	13.34	18.18	2.84	885.9	838.9	-147.0	-14.8	-0.09	-1.13	4.65	5.84	6.34
11	Aмур	19.3	0.49	1.76	2.11	0.36	1.25	1.46	0.21	22.35	23.38	6.03	813.8	1181.2	267.4	29.3	0.15	0.59	5.14	7.37	5.81
12	Columbia	3.2	3.49	3.63	3.99	0.36	1.60	1.94	0.34	24.76	29.89	5.11	1670.6	1654.2	-16.6	-1.0	0.02	-2.72	-4.31	-2.79	5.35
13	Nelson	15408.0	3.26	1.31	1.45	0.14	1.05	1.25	0.21	13.66	15.87	1.90	421.8	346.9	-75.0	-17.8	-0.06	-0.68	5.28	8.34	6.57
14	StLawrence	265.0	2.40	2.90	2.97	0.16	1.82	2.16	0.34	27.50	32.19	4.89	1288.8	1081.7	-195.1	-15.2	-0.18	0.68	-5.58	-4.93	6.14
15	Mississippi	121.0	3.48	2.50	2.34	-0.16	1.94	1.94	0.00	27.85	30.05	2.21	1297.7	1012.3	-285.4	-22.0	-0.16	0.27	-8.42	-10.20	6.14
16	Colorado	6.94E+08	4.48	1.86	1.68	-0.17	1.56	1.56	0.00	18.45	18.77	0.32	575.1	328.4	-246.7	-42.9	-0.17	1.42	-11.04	-12.88	6.43
17	Yellow	2.5	0.01	1.96	2.61	0.65	1.56	1.95	0.39	22.64	30.51	7.67	1181.2	1732.9	551.6	46.7	0.26	0.14	13.62	17.84	5.13
18	Yangtze	84.7	0.57	3.51	3.86	0.45	2.17	2.40	0.23	33.04	41.08	8.04	2036.7	3377.3	1340.6	15.0	0.22	-0.87	0.33	0.26	5.05
19	Murray	61	0.95	1.74	1.79	-0.01	1.66	1.61	-0.07	29.66	29.97	3.11	169.4	310.0	140.6	93.0	0.06	0.44	-7.79	-11.96	4.35
20	Zambezi	155.1	3.86	3.57	3.39	-0.19	2.86	2.85	-0.01	27.67	31.54	3.87	1309.3	1029.5	-279.8	-21.4	-0.18	0.45	-13.48	-11.47	5.07
21	Niger	11.5	2.37	3.26	3.46	0.22	1.88	1.99	0.12	39.94	51.59	11.86	2129.7	2292.4	162.7	7.6	0.10	-1.40	-6.90	-6.60	5.10
22	Congo	69.6	2.48	5.93	5.96	0.03	3.51	3.78	0.27	35.74	48.53	10.84	555.5	5465.5	-475.0	-1.3	-0.24	0.24	-21.39	-11.63	4.51
23	Nile	7.0	0.06	3.31	3.56	0.25	2.13	2.17	0.04	22.76	30.21	7.44	5155.1	7406.4	1221.3	19.7	0.21	0.06	-6.15	-5.81	4.55
24	Euphrates	3725.0	4.06	1.07	0.85	-0.92	1.03	0.88	-0.15	13.96	13.39	-0.58	212.0	98.0	-114.0	-53.8	-0.07	0.10	-12.33	-25.86	5.15
25	Indus	1001	4.27	1.34	1.43	0.09	0.87	0.88	0.12	18.06	20.07	1.99	1899.5	1661.2	-238.3	-12.5	-0.02	0.28	-2.37	-5.74	6.02
26	Ganges	11.7	1.06	3.11	3.34	0.23	1.86	1.85	-0.02	37.01	47.95	10.64	1884.6	2215.8	331.2	17.6	0.25	0.40	-8.19	-10.51	5.01
27	Brahmaputra	3.7	0.10	5.43	7.33	1.91	1.84	2.14	0.30	45.77	72.30	26.63	5367.2	7104.5	1737.3	32.4	1.61	-0.30	8.41	4.48	5.81
28	Mekong	165.8	1.00	5.21	5.50	0.29	2.81	2.98	0.17	35.67	48.81	10.94	3584.9	3974.8	379.9	10.6	0.12	-1.17	-14.23	-6.60	4.48
29	Orinoco	1372.1	3.53	5.41	4.62	-0.79	2.98	2.97	-0.01	39.91	45.83	5.92	3712.2	2619.8	-1092.4	-29.4	-0.79	-0.98	-30.80	-20.94	5.18
30	Amazon	128.7	2.98	5.43	5.25	-0.18	3.31	3.21	-0.10	44.22	54.86	10.64	7013.9	6881.1	-132.8	-1.9	-0.08	-0.99	-22.80	-14.83	5.44

散量を引いた値 (P-E) とその増減傾向が対応している流域が多かった。高緯度河川流域では、ピーク時を含む春先の増水期の全体的な流量低下により、P-Eが増加していても渇水日数は増えている河川が存在した。また、ニジェール川やガンジス川など洪水と渇水の両方が増えている流域では、P-Eと年降水量の両方が増加している一方で豪雨が增加し降水日数が大幅に減少、つまり降水の降り方が変わったことにより平常時には河川流量は減少するために渇水が増加しているということが判明した (以上、表1)。

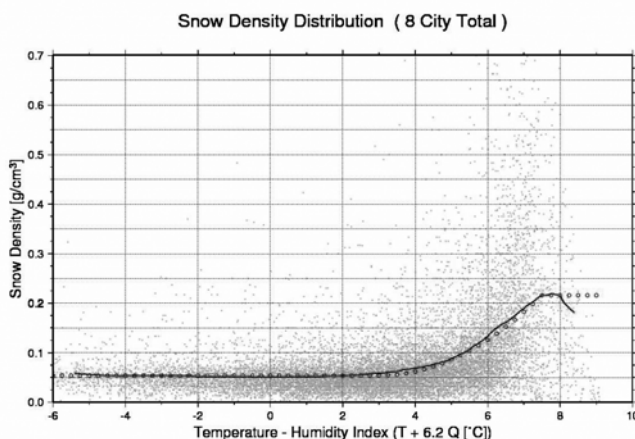


図7 気温湿度指数に対する雪の密度分布

(4) 統計的手法を用いた降雪量の将来予測

降雪がどういう気象条件で発生するのかを明確にするため、気象庁の「気象統計情報」を用いて過去47年間の降水の様子を解析した。その結果、降水は気温と湿度が与えられれば雪・みぞれ・

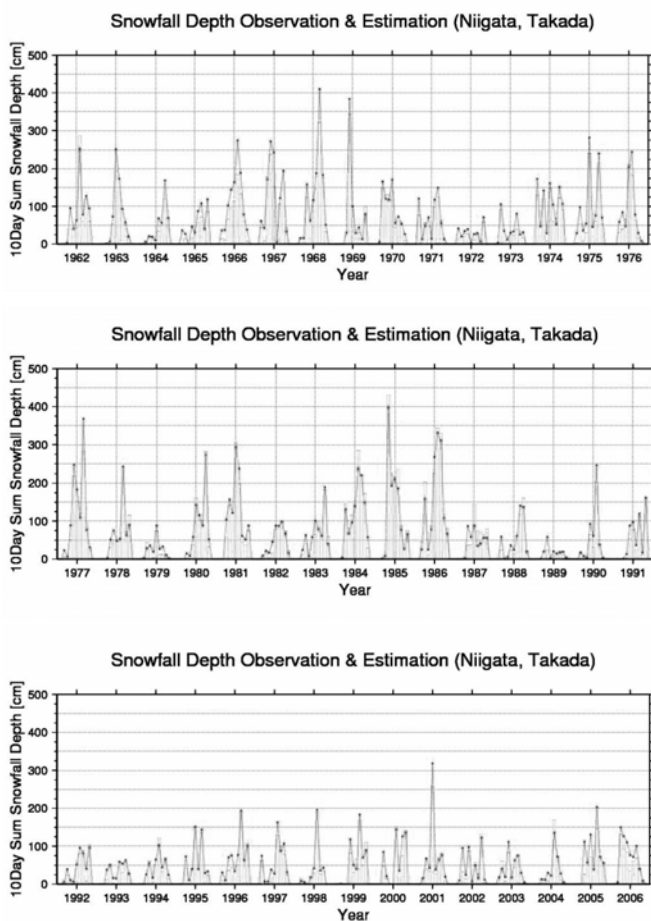


図8 旬ごとの降雪深合計 (高田)

雨という3つの状態に高い精度で分類できることがわかった (図略)。また、雪の密度は気温・湿度に依存して変化し、気温が高くなるほど重い雪となることが確認できた (図7)。この雪密度の変化を考慮することで、温暖化実験を解析する際に降雪深の過大評価を回避することができると考えた。気温・湿度から判断した降水に占める雪の割合と、雪の密度から、降水量が与えられれば降雪深を推測することができるようになった。この評価式より推測された降雪深は、実際に降雪深によくあっていることが確認された (図8)。

さらに、気象庁/電力中央研究所の再解析データJRA-25から、ある地点における気象条件を推定する手法を開発した。クラスター分析によって、地点近傍のグリッドを、いくつかのグループに分類し、そのグループを代表する地点を決めて、重回帰分析によりある地点の気象条件を推定する式を導いた。この結果、ある地

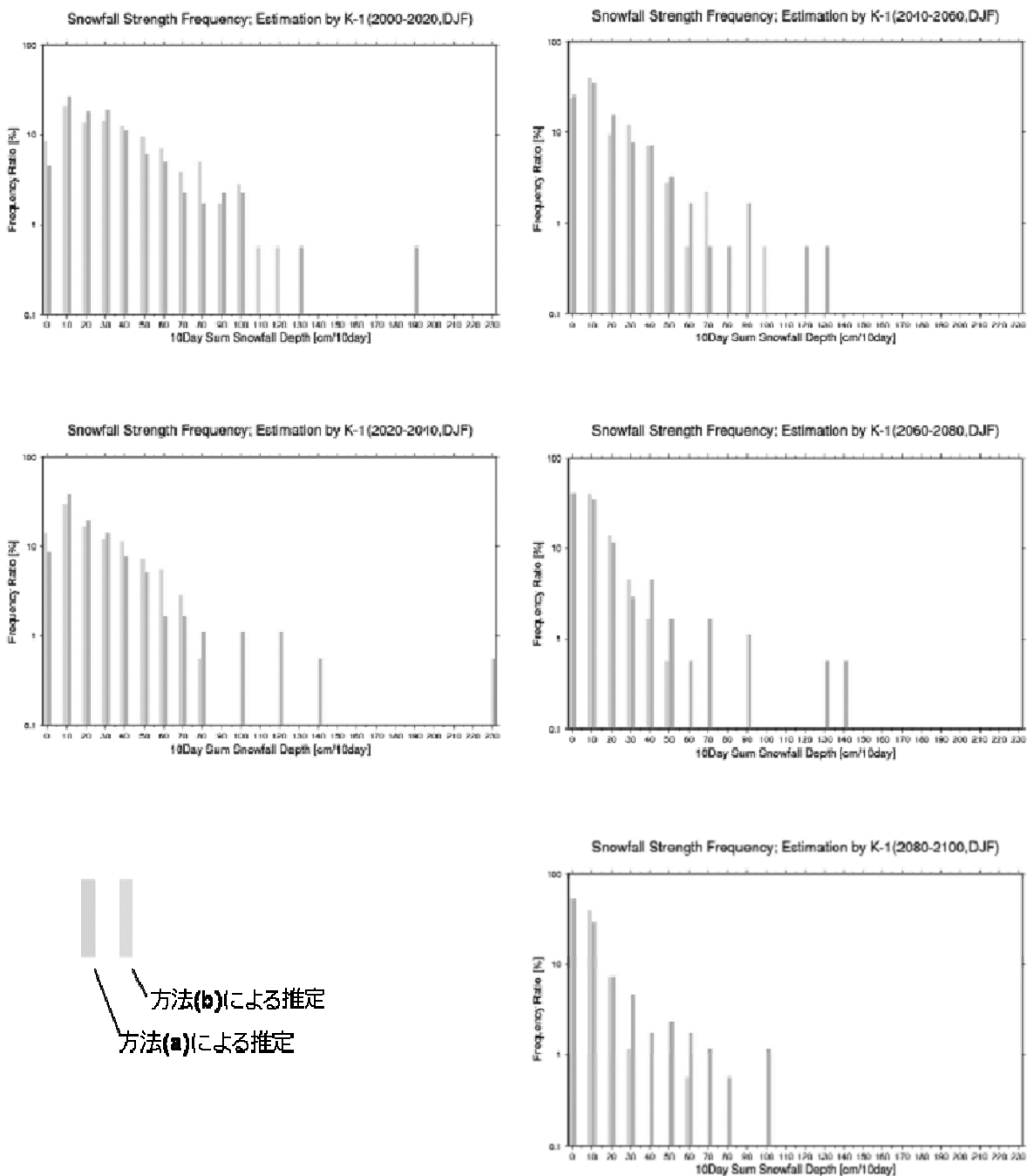


図9 将来の降雪強度の頻度分布（高田）。左上から下に2000-2020年、2020-2040年、右上から下に2040-2060年、2060-2080年、および2080-2100年の結果。

点の気温・湿度・降水量を回帰分析によって求めてから、降雪深評価式を用いて降雪量を判断する方法(a)と、格子点データから降雪深を直接評価する方法(b)を導出した。どちらの手法も、再解析データからの推定では、特定の地点における降雪深を良い精度で導けることがわかった(図略)。

大気海洋結合モデルMIROC3.2-hiresによる地球温暖化実験の結果を元に、降雪深変化の将来予測を行った。まず、順位相関と確率密度分布を仮定してMIROC3.2-hiresのデータとJRAのデータのバイアスを修正した。バイアスを修正したデータを、導いた回帰式に代入して、地点ごとの気象条

件を推定した。この結果から、高田における降雪深を前出の方法(a)、方法(b)で推測した。その結果、両方の方法の結果で、強い降雪の頻度が減少し、弱い降雪の頻度が増加することがわかった。これにより、降雪深の平均値は減少するが、方法(b)では2040年までは10日間合計230cmを越す豪雪が発生する可能性があることが示された(図9)。

(2) 農業への影響に関する研究

1) 気候モデル出力の日別平均値と月別平均値に基づく農作物潜在生産性推計結果の比較

t 年 ($t=1979, \dots, 1998$) において、ケース1より計算される生産性を $daily_t$ [kg/ha]、ケース2より計算される生産性を $monthly_t$ [kg/ha] とする。20年間の平均生産性誤差率 (ADR; %) を以下のように定義し、イネ・コムギのADRの計算結果を、図10aとbにそれぞれ示す。

$$ADR(\%) = \frac{\sum_t (monthly_t - daily_t)}{\sum_t monthly_t} \times 100$$

図10aより、イネに関して、ケース2の生産性の方がケース1の生産性に比べて大きな地域が多いことがわかる。つまり、日別値による推計が月別値よりも真値に近いとするなら、月別値を用いた生産性推計では広範な地域において生産性が過剰に見積もられている。特に南米・アメリカ合

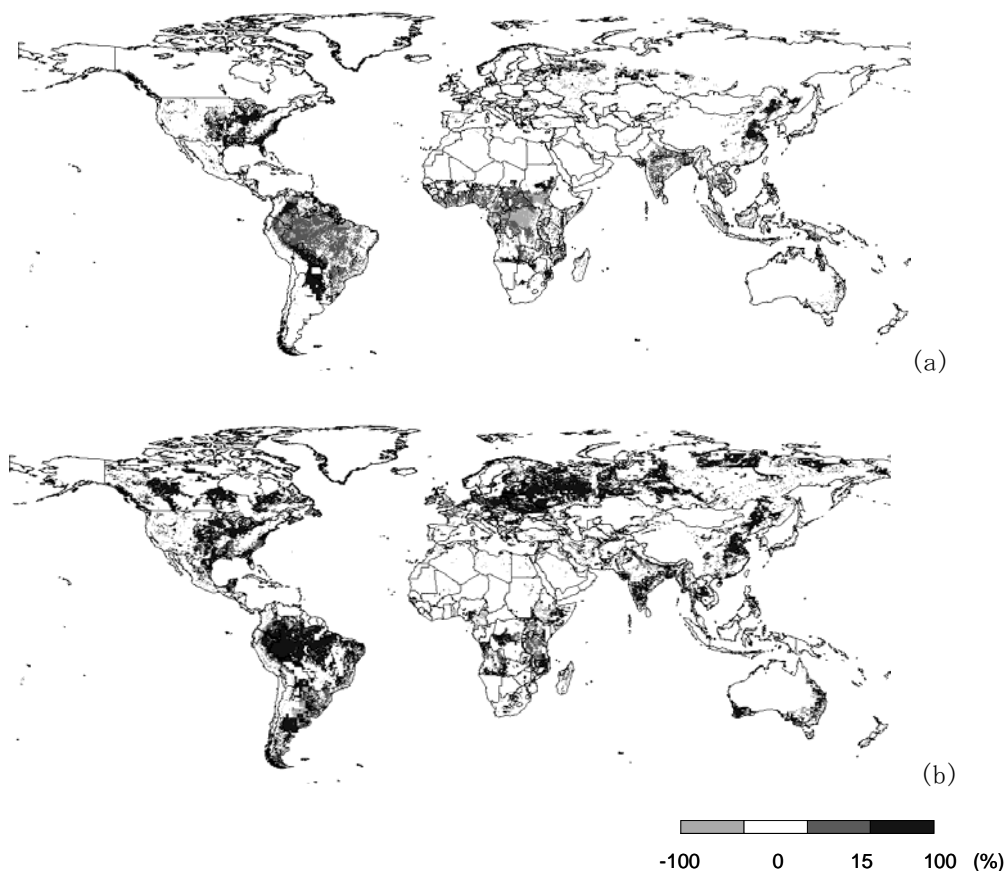


図10 (a)イネと(b)コムギの平均生産性誤差率(%)

衆国・中国の一部では20年間の平均生産性誤差率が100%に近い格子点（ケース1では生産適地と判定されるがケース2では不適地域と判定される地域）が存在する。この理由については、月別値を用いた場合には月降水量が日々平均的に降ると仮定するため、強い雨が降る日があったり全く降らない日があったりする日別値に比べて成長を阻害する土壤の乾燥が起きにくいということ、つまり成長に適した土壤水分条件が維持されやすいということが主たる理由であると考えている。多くの水分を保持できる性質を持つ土壤の地域では、土壤水分ストックがクッション的に働き、比較的降雨のばらつきは吸収される。一方、少ない水分しか保持できない性質を持つ土壤の地域では、より顕著に月別値の生産性推計で過剰見積もりが行われる傾向があると推測できる。また、灌漑面積率の高い地域においては、もとより水分ストレスは小さいので、月別・日別の差は小さいと推測できる。一方、ロシアや東南アジアなどの限られた地域においては、ケース1の生産性の方が大きくなっている。

図10bより、コムギに関しては、イネ以上にケース2の生産性がケース1の生産性に比べて大きい地域が多く見られる。20年間の平均生産性誤差率が100%に近い地域も、イネに比べてさらに多い。月別値を用いた生産性推計では、広範な地域において生産性が過剰に見積もられていることになる。ケース1の生産性の方が大きく推計されたのは、アルゼンチン・オーストラリア・フィンランドなど限られた地域のみである。

2) 極端な気象現象を考慮した農作物潜在生産性変化の推計

台風（強風・豪雨）の被害率（現在）を全球推計したところ、南米大陸北部やインド北東部と

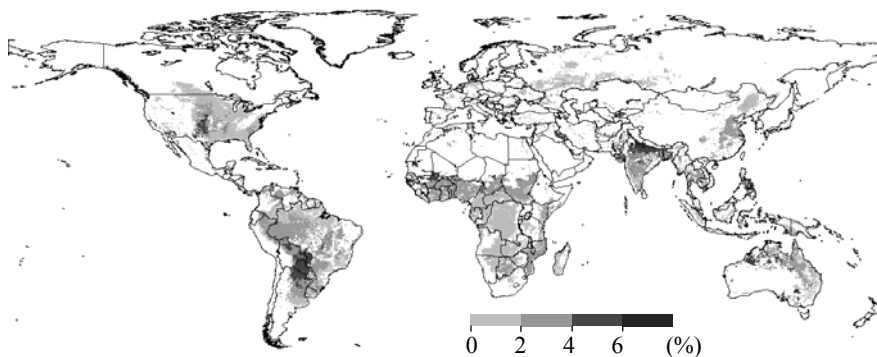


図11 現状気候下の熱波被害率（イネ）

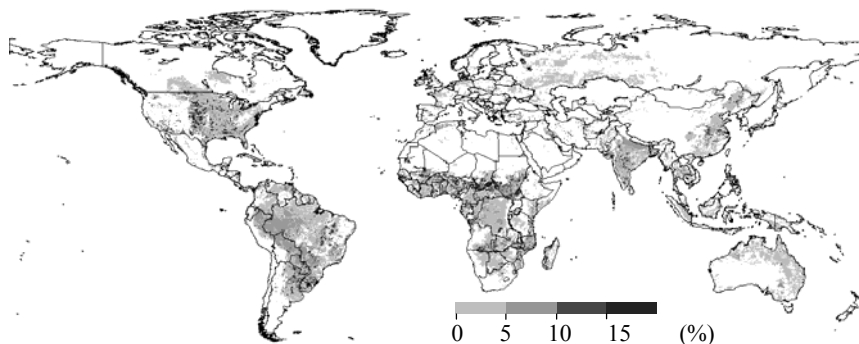


図12 全温暖化影響に占める極端な気象現象による影響の寄与度

いった限られた地域以外では、0.1%程度と非常に小さく見積もられた（図略）。ただし、今回得られた結果に関しては、台風の再現性能に限界のある100km解像度の日別気候モデル出力を気候シナリオ作成に使用していることに起因して、現実よりも小さく見積もられている可能性がある。

熱波の被害率（現在）を全球推計したところ、台風と比して多くの地域において被害を及ぼし、最大で10%程度の被害が見積もられた。平均的には、2.5%程度であった（図11）。さらに、現状と比較して将来の被害率が大きくなることも明らかとなった。全温暖化影響に占める極端な気象現象による影響の寄与度を図12に示す。アフリカ中央部、アメリカ合衆国中央部において15%以上と高く、南米やインド北部においても比較的高く見積もられている。これらの地域では、平均的気温上昇の影響と比較して極端な気象現象の影響が大きいと言える。一方、ロシアをはじめとした高緯度地域では、温暖化の平均的な温度上昇の影響が大きく、極端な気象現象の影響は小さいと言える。

（3）人間健康への影響に関する研究

1) 暑熱日増加に伴う熱ストレスによる死亡数の変化の推計

図13は将来の熱ストレスによる超過死亡密度を示している（現状の図は略）。現状においても将来においても、人口密度の高さを反映して、東アジア、南アジア、欧州、米国東部の超過死亡

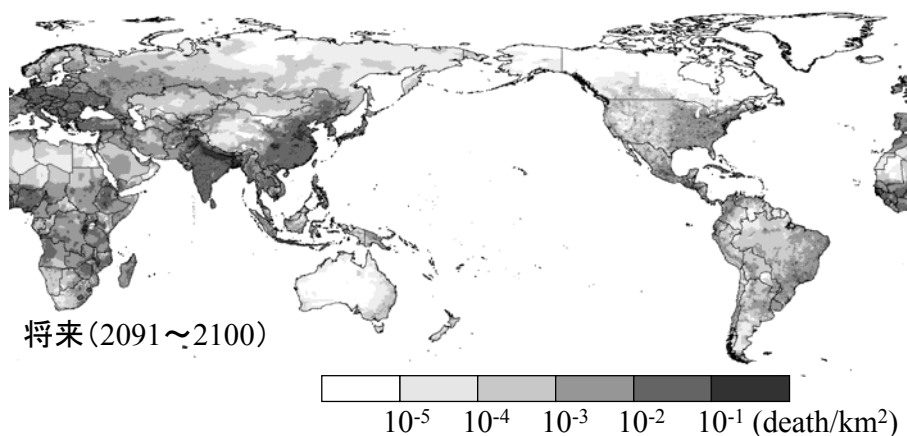


図13 将来の熱ストレスによる超過死亡密度

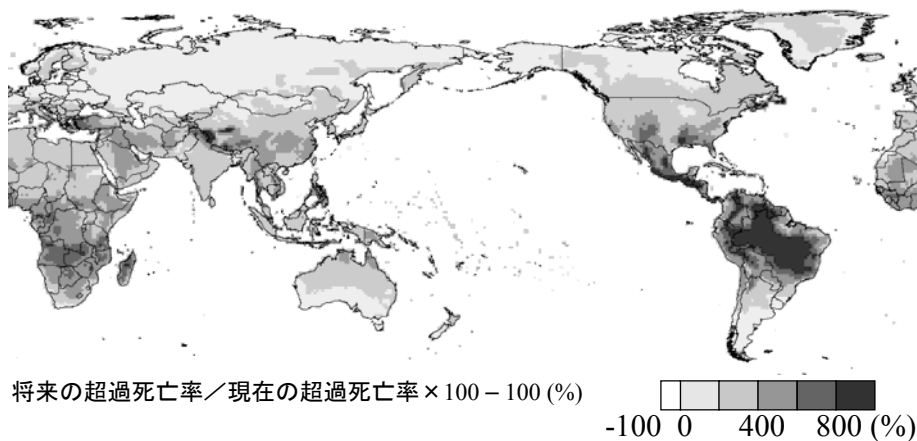


図14 熱ストレスによる超過死亡密度の変化率

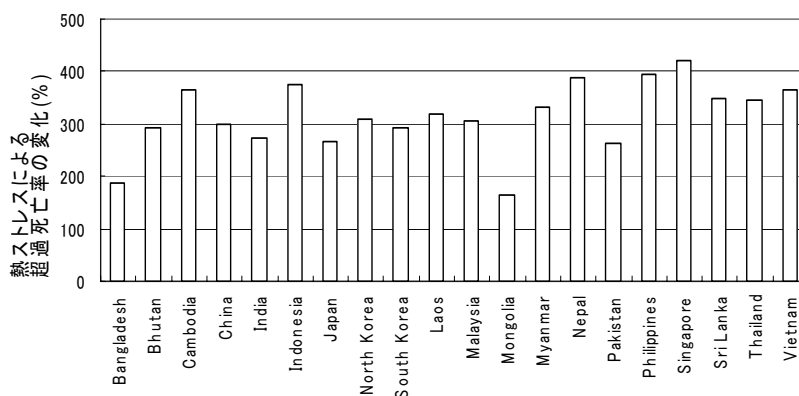


図15 熱ストレスによる超過死亡数の変化率（国別）

密度が大きい。これらの地域においては、将来の気候変化の大きさに関わらず、熱波早期警戒システム（熱波が予報された際に、テレビ・ラジオ等を通じた気象情報・熱波対処法の報道、ボランティアによる高齢者訪問、緊急時に備えた救急体制の増強等の対応が効果的に行われるための仕組み）の確立といった対策・政策を講じる意義が比較的大きいといえる。

図14は、熱ストレスによる超過死亡密度の変化率（将来の超過死亡密度／現在の超過死亡密度×100－100 (%)）を示している。大きな気温上昇が予測されているチベット、メキシコ、南米北部、地中海周辺、アフリカ大陸南部では、超過死亡数密度が気温上昇により7倍以上にもなると見積もられた。一方、北半球高緯度においては大きな気温上昇にも関わらず、超過死亡数密度の増加率は比較的小さい。概して、低緯度地域において超過死亡数密度の増加率が大きい。これは、低緯度地域では至適気温が一般的に高いが、一年を通じて寒暖の差が少なく温暖であるため、気温上昇した場合に、日最高気温が至適気温を上回る日数が著しく増加することによる。

図15は、現状及び将来の熱ストレスによる超過死亡をアジアの国別に集計し、その変化率をグラフ化したものである。多くの国で熱ストレスによる超過死亡数が4～5倍になると見積もられたが、バングラデシュとモンゴルではその他の国々に比べて比較的增加率は小さい。世界的に見ると、増加の小さな国でも100%程度の超過死亡数増加、大きな国では1000%近い増加という推計結果となった（図略）。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

1) 水文・水資源への影響に関する研究

東京を対象として、対象気候モデルの年最大日降水量の確率分布を求める場合、2母数ピアソンⅢ型分布を積率法で推定することで最も適合性が良い分布を得られることが示された。ただし、特に21Cはその期間中に降水特性の変化が顕著であり、21世紀の最初と最後では降水量の確率分布も異なると考えられるため、そのような場合の確率分布を今回のように定義してよいかは今後の検討が必要である。また、同方法で世界全体のグリッド点について年最大日降水量確率分布を20C・21Cそれぞれの期間について求めると、ほとんどのグリッド点において、20Cに30年に1回の確率で生起していた年最大降水量が21Cにはより頻繁に生起するようになることが示された。北大

西洋上を除いて、基本的には年最大日降水量が増大する傾向にある。本研究の結果は、気候モデルによる日単位データを統計的に扱うための基礎として重要である。また、本研究で示された知見は、短期的な強い降雨と密接な関係を持つ洪水の発生頻度・強度が将来増加することを示唆するものであり、より詳細な洪水リスクおよびその対策の検討の必要性を改めて裏付けることが出来た点は貴重な成果である。

また、高解像度大気海洋結合モデルMIROC3.2-hiresの結果を用いて、20世紀再現実験（モデル値）の渇水・洪水の再現精度の検証と温暖化時の大河川流域の渇水・洪水の変化について解析を行った。その結果、MIROC3.2-hiresが20世紀の洪水・渇水のリスクを良く再現できること、北米大陸の北部と東ヨーロッパを除く全球で21世紀に洪水が増加すること、ユーラシア大陸の北東部を除いて全世界的に渇水が増加することが示された。従来研究では用いられてこなかった日単位気候予測情報を用いることで、気候の平均的な変化だけでなく、強い雨の頻度変化といった極値現象の変化を考慮したより現実的な洪水・渇水評価が新たに可能となった点が科学的に新しい。

さらに、地点スケールの観測気候値ならびに広域を平均化した情報として得られる将来の気候予測値を利用して、豪雪という地点スケールの極値現象の将来予測を行なうための手法を新規開発し、それを用いて高田を対象地点とした予測を実際に行なった。新たに開発された手法の中には、気温・湿度・降水のデータから降水の状態を判定して降雪深を評価するための評価式、クラスター分析・重回帰分析を応用して空間的に広がる格子点データから地点の気象状況を推測する回帰式が含まれており、学術的意義が大きい。

2) 農業への影響に関する研究

気候モデル研究から提供された日単位気候情報を影響評価モデルへ入力することで、月単位気候情報を用いる場合には評価できなかった日々の気候変動を勘案した影響評価を行った。その結果、全般的に、月単位気候情報を用いた場合の生産性は、日単位気候情報を用いた場合の生産性よりも過大評価される傾向を持つことが分かった。より現実的な影響評価を行うためには、取り扱うデータ量は大きくなってしまうものの、月単位気候情報ではなく日単位気候情報を用いるべきであることを、明示的に示すことが出来たという点で、貴重な成果である。

また、極端な気象現象として台風と熱波を考慮して気候変化が農作物生産に及ぼす影響を定量的に評価するために、日単位気候情報を入力条件とする潜在生産性モデルを開発し、シミュレーションを行った。温暖化影響に占める極端な気象現象の変化の寄与度を示すことが出来た点は科学的に新しい。その結果、アフリカ中央部、アメリカ合衆国中央部、南米、インド北部では、全温暖化影響に占める極端な気象現象の変化による影響の寄与度が比較的大きいことが示された。

3) 人間健康への影響に関する研究

熱ストレスによる死亡率の将来変化について、全球を対象として評価する手法を開発し、それを用いた試算を行った。その結果、適応・馴化が行われないと仮定した場合、熱ストレスによる超過死亡数の変化率を国別に見ると100～1000%程度増加し、特に至適気温よりも5℃以上高い強ストレス日が大きく増加する地域では、超過死亡率増加が激しいことが示された。温暖化による熱ストレスによる死亡数増加を、全球を対象地域としてメッシュ別に見積もり、危険な地域を空間詳細に指し示すことは新しい取り組みであり、科学的意義は大きい。

(2) 地球環境政策への貢献

本サブテーマにより得られた知見は、温暖化が日本、アジア、世界全体に及ぼす影響を極値的な気候現象も考慮しつつ見積もったものであり、将来の温暖化抑制目標や適応に関する政策検討の材料提供の形で、今後積極的な政策貢献を行っていく予定である。また、IPCCの報告書への引用を通じて、温暖化の科学の基礎的な知見の一部としても、政策に貢献することができた。さらに、本サブテーマの成果に基づく影響評価の知見はマスコミ等を通じて発表されており、これによって、正しい危機感の醸成ならびに意思決定における科学的根拠の提供を通じて国民各層の温暖化対策への動機付けに貢献したと考えられる。

6. 引用文献

- 1) New, M., Lister, D., Hulme, M. and Makin, I. (2002): A high-resolution data set of surface climate over global land areas, *Climate Research*, 21, 1-25.
- 2) Takahashi, K., Harasawa, H., and Matsuoka, Y. (1997): Climate change impact on global crop production, *Journal of Global Environmental Engineering*, 3, 145-161.
- 3) 村井啓朗, 高橋潔, 増井利彦, 原沢英夫, 松岡譲 (2005): 適応策を考慮した上での温暖化が農作物潜在生産性に及ぼす影響の評価, *環境システム研究論文集*, 33,97-104.

7. 国際共同研究等の状況

- 1) 韓国環境研究所の温暖化影響評価研究プロジェクトと共同研究を行っている。高解像気候予測モデルを用いた、東アジア域の極端な現象を考慮した水資源・農業影響評価について、データ・手法共有を通じて研究協力を進めるとともに、評価結果について比較研究を行っている。
- 2) IPCCの第4次評価報告書の第二作業部会に、本サブテーマのメンバーが調整役代表執筆者(原沢：アジアの章)・代表執筆者(沖：水資源の章、高橋：適応の章)として参加し、本課題の研究成果のアピールに努めた。
- 3) 原沢、沖、高橋は、Asia-Pacific Network for Global Change Research (APN) Scientific Symposiumでの講演等を通じて、途上国研究者の能力構築事業への協力を行った。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 村井啓朗,高橋潔,増井利彦,原沢英夫,松岡譲: 環境システム研究論文集, 33,97-104 (2005)
「適応策を考慮した上での温暖化が農作物潜在生産性に及ぼす影響の評価」
- 2) Hirabayashi, Y., S. Kanae, I. Struthers and T. Oki: *J. Geophys. Res.*, 110(D19), D19101, doi:10.1029/2004JD005492 (2005)
“A 100-year (1901-2000) global retrospective estimation of terrestrial water cycle”
- 3) 高橋潔: *地球環境*, 11(1), 111-119 (2006)
「温暖化が農業生産に及ぼす影響とその適応策」
- 4) Takahashi, K.: *Global Environmental Research*, 10(2), 243-252 (2006)

“Impacts of global warming on agricultural production and adaptations in response”

- 5) Takahashi, K., Honda, Y. and Emori, S.: Journal of Risk Research, 10(3), 339-354 (2007)

“Assessing mortality risk from heat stress due to global warming”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 高村ゆかり, 亀山康子 編：地球温暖化交渉の行方, 大学図書, 16-31 (2005)

「第1部第2章 地球温暖化の影響（執筆担当：原沢英夫・高橋潔）」

- 2) 高橋潔：理戦, 82, 170-179 (2005)

「異常気象に適応した作付が必要となっている」

- 3) 野沢徹, 藤野純一, 高橋潔：ペトロテック, 28(12), 897-901 (2005)

「地球温暖化の総合解析」

- 4) 小池勲夫 編：地球温暖化はどこまで解明されたか, 丸善, 149-158 (2006)

「5. 3 農林水産業への影響（執筆担当：高橋潔）」

- 5) 高橋潔・久保田泉：環境情報科学, 35(3), 39-44 (2006)

「温暖化の適応に関する研究およびその実施の促進をめざして－温暖化影響のリスク評価・リスク管理の視点から」

(2) 口頭発表（学会）

- 1) 村井啓朗, 高橋潔, 増井利彦：環境経済政策学会2004年大会 (2004)

「適応を考慮した地球温暖化が穀物生産に及ぼす影響に関する研究」

2) Masutomi, Y., K. Takahashi, H. Murai and Y. Matsuoka: The first EAFES international congress, Mokpo, Korea (2004)

”A vulnerability assessment of crop production by climate change”

- 3) 平林 由希子, 鼎 信次郎, 沖 大幹: 日本気象学会秋季大会 (2005)

「CCSR/NIES/FRCGC結合モデルにおける温暖化時の渇水・洪水の変化」

4) Y. Hirabayashi, S. Kanae, T. Oki, K. Takeuchi: 5th Int. Sci. Conf. on the Global Energy and Water Cycle, Orange County, California, US (2005)

” Estimating long-term global water cycle by a 100-year offline simulation”

- 5) 江守正多, 高橋潔: ワークショップ「気候変動と気象水災害」(2005)

「気候モデルによる温暖化時の極端現象のシミュレーションとそれを用いた影響評価」

- 6) 内海信幸, 沈彦俊, 沖大幹, 花崎直太, 鼎信次郎, 川島博之: 水文・水資源学会(2006)

「温暖化シナリオに基づいた将来のグローバルな水需給アセスメント」

- 7) Tang, Q., T. Oki, S. Kanae, H. Hu: 水文・水資源学会(2006)

” Climate change and river flows in the Yellow River basin”

- 8) 花崎直太, 鼎信次郎, 沖大幹: 水文・水資源学会(2006)

「統合水資源モデルによる地球温暖化に伴う世界の水需給変化の推定」

- 9) 肱岡靖明, 高橋潔, 久保田泉: 環境研究発表会(2006)

「統合評価モデルを用いた温室効果ガス安定化濃度目標下におけるイネ・小麦の潜在生産変化の国別影響評価」

10) 花崎直太, 内海信幸, 山田朋人, 沈彦俊, M. Bengtsson, 大瀧雅寛, 鼎信次郎, 沖大幹: 水工学講演会(2007)

「温暖化時の水資源影響評価のための全球統合水資源モデルの開発」

11) 増富祐司, 花崎直太, 高橋潔, 肱岡靖明, 松岡譲: 水工学講演会(2007)

「季節変動を再現する河川流量計算モデルの開発と全球水不足評価」

(3) 出願特許

なし。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし。

ただし、環境省主催の地球環境研究総合推進費公開シンポジウム（2004年11月30日有楽町朝日ホール）に本課題と関係の深いテーマ「異常気象と温暖化 その関係は？」が取り上げられ、本サブテーマに関して以下の講演を行った。

1) 原沢英夫：環境省地球環境研究総合推進費公開シンポジウム（2004）

「温暖化のもたらす深刻な影響 対応策は？」

2) 沖 大幹：環境省地球環境研究総合推進費公開シンポジウム（2004）

「日本の豪雨水害や旱魃渇水はどうなる？」

(5) マスコミ等への公表・報道等

1) NHKスペシャル「地球大異変 第一回 異常気象 地球シミュレータの警告」（2006年2月18日、熱ストレスによる死亡数変化に関する研究の成果について紹介）

2) ハイビジョン特集「地球大異変 第一回 異常気象 地球シミュレータの警告」（2006年3月20日、熱ストレスによる死亡数変化に関する研究の成果について紹介）

3) 日本経済新聞（2006年4月30日、全国版朝刊、「水不足時代 世界に到来!？」）

4) 建設通信新聞 「首都圏の水は今」（2006年11月10日）

5) 日本経済新聞 「かがくCafé： 水資源対応で2050年に明暗」（2006年12月4日）

6) 日経サイエンス 「水から地球を考える」（2007年5月号）

(6) その他

なし。