

複数分野にわたる世界全体での地球温暖化による経済的被害を推計 — 温室効果ガス排出削減と社会状況の改善は被害軽減に有効 —

国立研究開発法人国立環境研究所、国立大学法人茨城大学、国立大学法人京都大学、芝浦工業大学、国立大学法人筑波大学、国立大学法人東京大学、国立研究開発法人農研機構、立命館大学などの研究グループは、パリ協定で定めた2°C目標を含む複数の異なる温室効果ガス排出の将来見通し、並びに異なる人口やGDPといった社会経済の将来状況の仮定の下での大規模なシミュレーションを実施し、地球温暖化によって生じる経済的な被害額の推計を行い、成果を論文として公表しました。

最も悲観的な将来の仮定の下では、21世紀末における地球温暖化による被害額は世界全体のGDPの3.9~8.6%に相当すると推計された一方、パリ協定の2°C目標を達成し、かつ、地域間の経済的な格差等が改善された場合には被害額は世界全体のGDPの0.4~1.2%に抑えられるという推計結果が得られました。また、特に開発途上国においては社会経済状況の改善が被害額（対GDP比）を小さく抑える効果があることも分かりました。これらの結果は、温室効果ガスの排出削減等の地球温暖化対策の取り方や社会経済状況の変化といった、我々人類が選択しうる要因が将来の地球温暖化によって生じる被害の大きさに対して、大きな影響力を持つことを示唆しています。

この研究成果は、気候変動分野における学術誌 *Nature Climate Change* に9月26日付（日本時間）で掲載されました。

1. 研究の背景

地球温暖化は様々な分野にわたって人々の生活や社会に大きな影響（被害）を及ぼします。複数の分野にまたがる影響を統一的な基準の上で評価する方法の一つとして、これらの影響を金銭に換算し、経済的な損失（被害額）を推計する方法があります。しかし、地球温暖化による影響は多くの分野にわたるため、その推計を統一的な枠組み、かつ全世界を対象に実施することは困難でした。

また将来にわたって人類が温室効果ガスの排出をどの程度削減するかといった地球温暖化対策の取り方や、将来の社会経済状況（人口や経済活動水準・規模など）によって被害の程度は変わります。これらの条件の違いによる被害の差は地球温暖化対策や社会経済状況が改善されることによる、地球温暖化の被害軽減効果に相当します。一方で、将来の気候予測についての不確実性も存在します。たとえば、温室効果ガスの排出量が同じ仮定の下であっても、気温上昇の予測は気候モデルによってバラツキがあります。もし、この気候予測の不確実性が地球温暖化対策等の効果に比べてずっと大きければ、地球温暖化の対策を行うことの意義も不確実であることを意味します。しかし、これらの要因のうち、どの要因がどの程度、被害額に対して影響を持つのかについて、定量的な評価はほとんど行われていませんでした。

本研究では、日本国内の複数の研究機関の研究者が協力し、複数分野にわたる世界全体での地球温暖化による経済的な被害額を推計するとともに、被害額の推計結果に対する各要因による寄与の定量化を行いました。

2. 研究の方法

本研究では、地球温暖化によって影響を受けると考えられている主要な9つの分野（農業生産性、飢餓、暑さによる死亡、冷暖房需要、労働生産性、水力発電、火力発電、河川洪水、海面上昇）を対象として、被害額の推計を実施しました。

将来の温室効果ガス排出量や社会経済状況については、RCP および SSP と呼ばれる気候変動研究において広く用いられているシナリオ（将来の仮定）を用いました。RCPs (Representative Concentration Pathways) は温室効果ガスの排出量についてのシナリオで、RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 の4種類のシナリオを利用しました。RCP2.6 はパリ協定で合意された世界の平均気温の上昇を産業革命前と比較して 2°C未満に抑えるという目標（2°C目標）に相当する温室効果ガスの排出削減を実施し、今世紀末には二酸化炭素排出量をゼロ以下に抑えるシナリオです。一方、RCP8.5 はこれまでのペースのまま温室効果ガスの排出が増え続けるシナリオです。RCP4.5 と RCP6.0 はその中間に相当します（RCP の数値が大きいほど、温室効果ガスの排出量が多い）。

SSPs (Shared Socioeconomic Pathways) は、将来の社会経済状況についてのシナリオで SSP1 から SSP5 までの5種類のシナリオが存在します。仮に気候の条件が同一であっても、例えば気温上昇の影響を強く受ける地域に、どのくらい人が住んでいるか、資産がどのくらい存在するかによって人間社会が受ける被害の大きさは変わります。また、その地域の経済的な豊かさの違いによって、例えば人々がエアコンを購入できるか、堤防を整備できるかは異なり、被害の大きさに影響を与えます。これらの違いを考慮するため、SSPs には国別の人口、国の豊かさ、技術レベルなど様々な項目が含まれています。SSP1 は、現在の開発途上国も含めて持続可能な形で経済成長が達成されるというシナリオです。SSP2 では、社会経済状況の改善が現在のペースのまま続きます。SSP3 では、技術革新が進まず、現在の開発途上国は貧しいままに留まります。SSP4 では、地域間および国の中での格差が拡大します。そして、SSP5 では、より早いペースでの経済成長を達成しますが、化石燃料に依存し続ける、といった世界観をそれぞれのシナリオは表しています。

将来の気候については、RCPs によって規定される温室効果ガスの排出量の仮定に基づいて、気候モデルによって計算される気温や降水量などの結果を用いました。また、気候予測における不確実性を考慮するために、5種類の異なる気候モデルによる計算結果を用いました。

各分野における影響の被害額への換算は、以下の3つの方法によって行いました。1つめは、物理的に計算される影響を直接被害額に換算する方法です。過去に起きた災害における物理的影響等と被害額の関係から、被害額を予測する式を作成しました（河川洪水・海面上昇）。2つめは、経済モデルを用いる方法です。物理的に計算される影響を経済活動に影響を与えるパラメータ（生産性など）に変換した上で、経済モデルに入力して経済的影響（GDP の変化）を推計しました（農業生産性・飢餓・冷暖房需要・労働生産性・水力発電・火力発電）。3つめは、統計的生命価値と呼ばれる方法です。死亡のリスクを回避するための支払い意思額によって1人あたりの生命の価値を金銭換算し、推計された地球温暖化による死亡者数と掛け合わせることで求めました（飢餓・暑さによる死亡・河川洪水）（図1）。

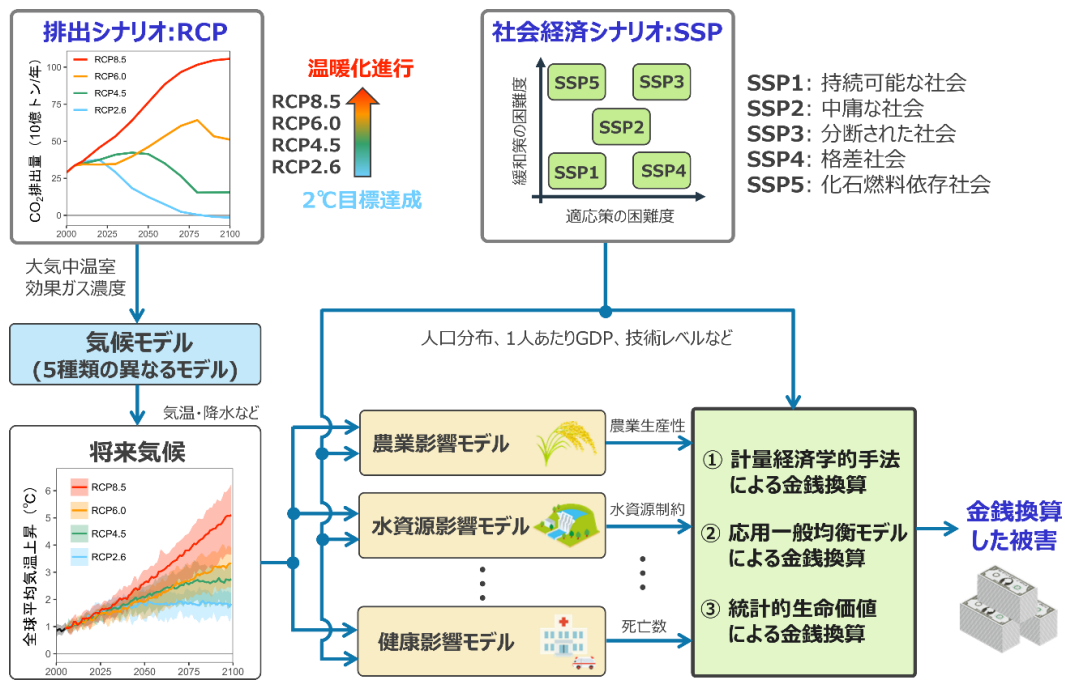


図 1：地球温暖化による被害の金銭換算の流れ

3. 研究の結果

各シナリオ（SSP と RCP の組合せ）の下で推計された、21 世紀末（2080～2099 年）における全世界での地球温暖化による被害額（対 GDP 比）の推計結果を示したものが図 2 です。いずれの SSPs の下でも気温の上昇が大きいほど、被害額が大きい結果となっています。最も悲観的なシナリオ(SSP3-RCP8.5)においては、被害額は世界全体の GDP の 3.9～8.6%に相当するという結果になりました。一方で、パリ協定の 2℃目標を達成し、かつ、地域間の経済的な格差等が改善されるシナリオ（SSP1-RCP2.6 もしくは SSP2-RCP2.6）^{*1}においては、被害額は世界全体の GDP の 0.4～1.2%相当に抑えられるという結果が得られました。

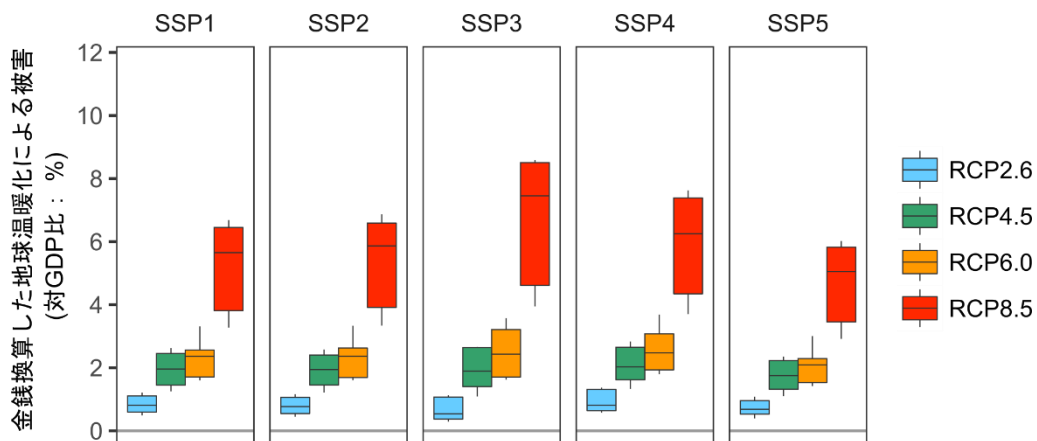


図 2：推計された地球温暖化による被害額（2080-2099 年の期間の平均）。箱ヒゲ図の広がり異なる気候モデルを用いることによる予測のパラツキを表す（ヒゲの両端異なる気候モデルによる推計値の最大・最小値、箱の両端が 1/4、3/4 分位値、箱の中央の線が中央値、にそれぞれ対応）。

地域ごとに見た場合、同じ条件（同一の SSP や RCP）であっても、地域によって受ける影響の大きさが大きく異なりました。また、同一の RCP（気候条件が同一）の下で SSP の違いが被害額に与える影響も地域によって大きく異なりました。図3では、例として、アフリカ、ヨーロッパ、北米地域における被害額（対 GDP 比）と、1人あたり GDP と地域の平均気温 1°C 上昇による各地域における追加的な被害の大きさの関係を示しています。図3aから、被害額（対 GDP 比）はアフリカでは大きく、北米では比較的小さくなりました。また、社会経済状況の改善（1人あたり GDP の増加）が被害の軽減にどの程度効果があるかにも、地域によって大きな差があります（図3b）。この結果は、特にアフリカなどの開発途上国の占める割合が多い地域では、温室効果ガス排出削減によって地球温暖化を防ぐことだけでなく、社会経済状況を改善することが被害軽減のためには重要であることを示唆しています。

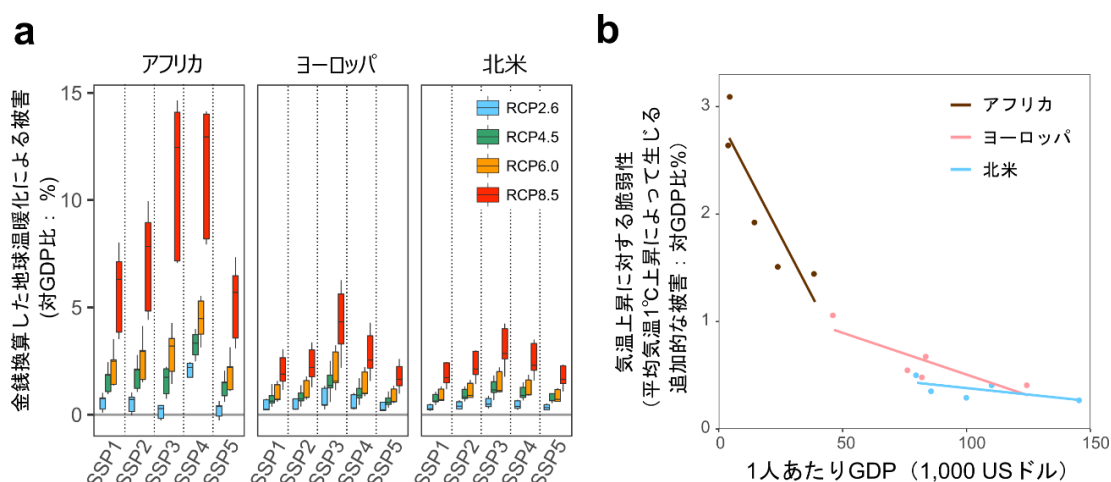


図3：(a) 地域別の推計された地球温暖化による被害額（2080-2099年の期間の平均）。箱ヒゲ図の広がりとは異なる気候モデルを用いることによる予測のバラツキを表す（図示の方法は図2と同様）。(b) 各地域の1人あたりGDPと脆弱性の関係（2080-2099年の期間の平均）。地域ごとの5つの点は、それぞれ異なるSSPシナリオでの結果を表す。

温室効果ガスの排出削減や社会経済状況の改善といった人為的な要因と気候予測の不確実性が被害額の推計結果の差に対して寄与する割合を年代別に表したものが図4です。比較的近い将来（2020～2039年）においては、気候予測の不確実性が大きな割合を占めています。すなわち、仮に温室効果ガス排出削減などの地球温暖化対策を取ったとしても、その効果よりも、気候予測の不確実性の方が大きく、対策の効果は必ずしも明確ではないことを意味します。しかし、この関係は21世紀の中盤には逆転し、人為的な要因の占める割合が大きくなっていきます（2050～2069年においては63%、2080～2099年においては78%）。これらの結果は、中長期的には、気候モデルの違いによる結果の不確実性を考慮してもなお、人為的な温室効果ガスの排出削減や社会経済状況の改善は、地球温暖化による被害を大きく軽減させる効果があることを示しています。

被害額（対GDP比）の推計結果の差に影響を与える要因

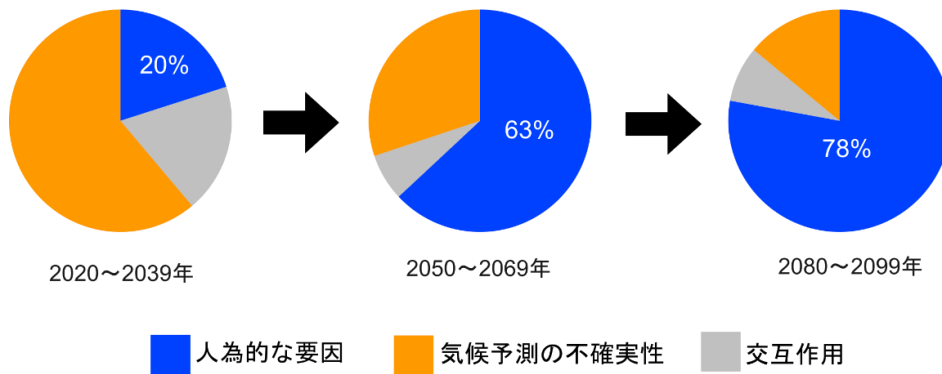


図4：被害額の推計結果の差（分散）に影響を与える要因。SSPとRCPの違いに起因するものを人為的な要因、気候モデルの違いに起因するものを気候予測の不確実性としている。

4. 研究助成

本研究は独立行政法人環境再生保全機構の環境研究総合推進費 戦略研究プロジェクトS-14（気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究、研究代表：東京大学 沖 大幹）によって実施されました。

5. 発表論文

Takakura J., Fujimori S., Hanasaki N., Hasegawa T., Hirabayashi Y., Honda Y., Iizumi T., Kumano N., Park C., Shen Z., Takahashi K., Tamura M., Tanoue M., Tsuchida K., Yokoki H., Zhou Q., Oki T., and Hijioka Y. (2019) Dependence of economic impacts of climate change on anthropogenically directed pathways, *Nature Climate Change*,

6. 注釈

※1：図2中ではSSP5-RCP2.6の方が被害額の対GDP比は小さい推計結果となっているが、SSP5の世界（化石燃料に依存した発展をする社会）において、RCP2.6相当の温室効果ガスの排出削減はほぼ実現不可能と考えられている。