

8. 将来の社会経済状況の不確実性を考慮した洪水による食料消費と飢餓リスク人口への影響評価

市森 将貴¹・長谷川 知子²・藤森 真一郎³

¹ 非会員 立命館大学 理工学部 環境システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東一丁目 1-1)
E-mail: rv0066fr@ed.ritsumei.ac.jp

² 正会員 立命館大学 理工学部 環境都市工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東一丁目 1-1)

³ 正会員 京都大学 工学研究科 都市環境工学専攻 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-3)

既存研究では単一の社会経済条件下での洪水による食料消費・飢餓リスク人口評価が行われてきたが、異なる社会経済条件下での評価は行われていないため、本稿ではそれを実施した。結果として最も温暖化が進行する場合には 2030 年において全世界で平均食料カロリー消費量は約 2.2kcal/人/日(1.8~2.8kcal/人/日)減少し、飢餓リスク人口は約 507 万人(355~729 万人)増加した。被害が最も大きい南アジア地域では平均食料カロリー消費量は約 10.2kcal/人/日(8.5~11.8kcal/人/日)減少し、飢餓リスク人口は約 199 万人(154~248 万人)増加した。異なる社会経済条件下でも主な結論は変わらないが、それによる不確実性幅は大きく今後の評価においても社会経済条件は考慮したほうがよいだろう。

Key Words: Flood, Socioeconomic Scenarios, Food consumption, Risk of hunger

1. 背景・目的

環境省¹⁾は近年、世界中で極端な気象現象が観測されており、強い台風やハリケーン、集中豪雨、干ばつや熱波などの異常気象による災害が各地で発生し、多数の死者を出したり、農作物に甚大な被害をもたらしていると報告している²⁾。気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change)が極端現象及び災害のリスク管理に関する最新の研究成果をまとめた特別報告書(Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation)³⁾によると、極端現象は、大気中の温室効果ガス濃度の増加などの人為的影響の結果として変化してきたということが示されている。人為的な影響は、世界規模での日最低気温及び日最高気温での極端な値の上昇をもたらした可能性が高く、世界規模での極端な降水の激化に寄与してきたことについての確信度は中程度である。

極端現象は、水、農業、食料安全保障、健康、インフラなどの気候と密接に関係する分野に対して、より大きな影響を及ぼすと報告されている。洪水による農業・食料消費への影響評価については、関ら³⁾が 2030 年の世界と 17 地域を対象に作物収量変化を通じた食料消費と飢餓リスク人口への影響を明らかにし、適応策として必要となる食料備蓄量を算出している。その結果、2030 年の異なるモデル間の中位値において世界全体の飢餓リス

ク人口が約 1060 万人増加し、平均食料カロリー消費量は 6.6kcal/人/日減少することが明らかとなっており、この影響を防ぐには約 560 万トンの食料備蓄が必要であると示している。しかしながら、関ら³⁾の研究では共通社会経済シナリオ(Shared Socioeconomic Pathways; SSPs)は中層な社会(SSP2)のシナリオしか用いられていない。関ら³⁾の研究では 5 種の気候モデルと 8 種の水文モデルを用いて、それぞれの指標の最大値、中位値、最小値の比較をしており、楽観的な社会(SSP1)や悲観的な社会(SSP3)のシナリオについて分析されていない。また、既存の研究では全世界に洪水の影響を与えているが、1 カ国のみに影響を与えた時の他の国の食料消費や飢餓リスク人口などにどのような変化があるのかという波及効果については研究されていない。

本稿では、世界を対象に異なる社会経済シナリオを考慮した洪水による作物収量変化を通じて食料消費と飢餓リスク人口への影響を評価することを目的とする。更に、1 カ国のみに洪水の影響を与え、それによる他国への波及効果について分析を行う。

2. 方法

(1) 手法の概要

図 1 にモデルの全体像を示す。本研究では、関らの

モデルとは同様のものを用いており、食料安全保障に関する分析において最も重要な出力である飢餓リスク人口について中位値を示した気候モデル(Hadley Centre Global Environment Model version 2;HadGEM2-ES)と水文モデル(Description of Water Balance Model;WBM)の組み合わせについて洪水浸水深データ(経緯度 2.5 分)⁹⁾を準備した。これを 0.5 度(赤道付近で約 50km)に変換した。この浸水深データと洪水被害関数⁹⁾からグリッドごとの作物収量低下率を算定した。作物収量低下率と現在期間の作物収量データ⁹⁾から洪水による影響を考慮したグリッド別の作物収量を算定した。作物収量と気候変動と対象年(2030 年)における作物別農地マップ(経緯度 0.5 度)⁹⁾を用いて、応用一般均衡モデル(AIM/CGE モデル)での地域区分である 17 地域に集約し、地域別収量変化率を計算した。

表 1 に世界地域区分一覧表を示す。この地域別収量変化率と社会経済条件として人口・GDP のデータを AIM/CGE モデルに入力して作物収量、農畜産物の価格、生産量、平均食料カロリー消費量、飢餓リスク人口などを算出した。本研究ではベースラインシナリオの SSP 毎の GDP は外生的に入力し、全要素生産性を内生的に決め、そこで得られた全要素生産性を他のシナリオにも用いる。世界を対象に異なる社会経済シナリオを考慮した洪水による作物収量変化を通じて食料消費と飢餓リスク人口への影響評価では、人口増加や経済発展などの社会経済状況の異なるシナリオを想定する。感度分析では影響を受けた国から貿易を通じた他国への影響やどの作物が一番影響を受けているのかなどについてより詳細な分析を行う。

(2) AIM/CGE モデル

AIM/CGE(Computable General Equilibrium)⁸⁾モデルは生産、消費、投資、貿易活動が各種生産要素、財等の価格を所与とした関数が記述されており、基本的には入れ子構造を持つ CES(Constant Elasticity Substitution)関数で記述している。土地は 6 つの Agro-Ecological Region に分割されており、それぞれについて土地の市場を仮定した。また、土地の各部門への分配はロジット関数で記述した⁹⁾。家計消費は線形消費支出(Linear Expenditure System)関数として記述している。国内財と輸入財の間にある一定の代替関係を仮定した(アーミントンの仮定)。国内消費財は CES 関数を合成されるとし、財の輸出と国内への供給は CET(Constant Elasticity Transformation)関数で記述し、代替関数は 0.8 とした¹⁰⁾。国際市場は各財単一市場を仮定している。モデルは 1 年単位の逐次型動学モデルであり、旧資本と新規資本が区別されており、資本の情報が次の年へ更新される。新規資本は内生的に部門配置が決まり、その後は移動できない想定となっている。今回の推計は 2030 年に洪水が起こることを想定しており、その年の

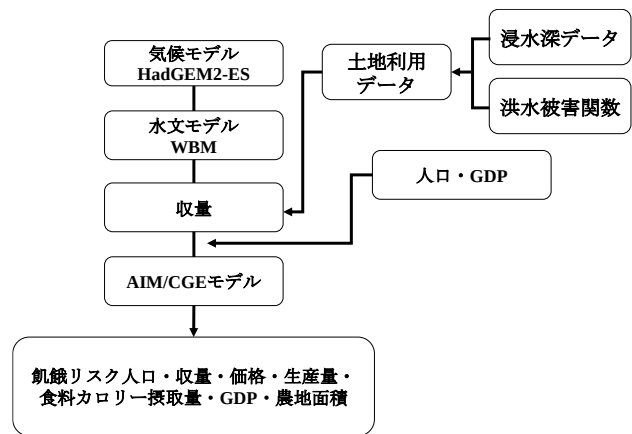


図1 モデルの全体像

表1 世界地域区分一覧表

コード名	地域名	コード名	地域名
XE25	欧州25ヵ国	USA	アメリカ
XER	その他欧州	CAN	カナダ
TUR	トルコ	BRA	ブラジル
XOC	その他オセアニア	XLM	その他南米
CHN	中国	CIS	旧ソ連
IND	インド	XME	中東
JPN	日本	XNF	北アフリカ
XSE	その他東南アジア	XAF	その他アフリカ
XSA	その他アジア	WLD	全世界

みの影響を見ようとしていることから、復旧等は考えていない。基準年(2005 年、計算期間は 2005 年から 2030 年)のデータには藤森&松岡ら¹¹⁾などの手法を用いて統計間の不整合を調整した社会会計表と作物の物量表を用いた。本研究で用いたのは AIM/CGE モデルのバージョン 2.0 である。これは世界の全ての地域をカバーしている 1 年ごとの再起型動的一般均衡モデルであり、世界全体が表 1 の 17 地域に区分され、42 の産業分類が含まれている。農産物財区分は作物が 6 種類、畜産物は 3 種類、漁業産物が 1 種類である。モデルの構造や数式の詳細については藤森ら¹²⁾¹³⁾、長谷川ら⁸⁾¹⁴⁾を参照されたい。

(3)洪水被害関数による作物収量変化の推計方法

洪水データには、水文モデルにより推計された洪水関連データベース FLOod PROtection Standards, FLOPROS データベース⁴⁾を用いた。Scussolini ら⁴⁾によると、FLOPROS は世界各国の州や県レベルで、現行の洪水対策レベル、洪水対策計画レベル、シミュレーションに用いたモデルの精度の情報を含んだものであり、その情報を基に最も相応しいデータを抜き出したものであり、国が公開しているデータなど信頼性の高いデータを用いている。また、FLOPROS の対象とする計算期間は地域ごとの洪水対策防護レベルを考慮した将来どれくらい洪水が起きるのかに基づいて算出された再現期間である。手法の詳細につ

いては関³⁾を参照されたい。この中にある 2.5 分グリッドの気候条件である代表的濃度経路シナリオ (Representative Concentration Pathways; RCP)RCP8.5¹⁵⁾の浸水深データを用い、0.5 度に集約した。次に、Huizinga ら⁹⁾の方法で、グリッド毎に浸水深に応じて収量変化率を求め、世界 17 地域に集約し、地域ごとの収量変化を AIM/CGE モデルに与えた。AIM/CGE モデルを動かす際にまず、キャリブレーションを行う。キャリブレーションとはモデル内の内生変数に基準年のデータを代入することでモデル内のパラメータを決定することである¹⁶⁾。収量は農作物の生産量ではなく、作物生産量は作物収量と各地域の面積の積で表されている。また、ここでは通常の収量を表すパラメータに追加する形で洪水由来のショックを入力している状態である。

洪水被害関数を図 2 に示す。Huizinga ら⁹⁾により推計された欧州、北アメリカ、アジア、アフリカの 4 地域と世界の 5 個についての値を用いた。この 4 地域以外の地域については世界の値を用いた。

(4) シナリオ

本研究では 2030 年における異なる社会経済シナリオを用いた洪水ありと洪水なしの場合の推計値の変化を分析する。本研究では 2 つのシナリオを準備した。1 つ目は現在の気候条件を将来に想定し、洪水による影響を考慮しない「洪水なし」シナリオ。2 つ目は基準年である 2005 年から 2029 年までは気候変動およびそれに伴う洪水による影響がないことを想定し、2030 年に洪水による影響を与えた「洪水あり」シナリオ。この 2 つのケースの差分を洪水の影響と見なした。洪水なしのシナリオでの気候条件には NoCC(No Climate Change)、洪水ありのシナリオでの気候条件には RCP8.5 を用いた¹⁵⁾。このシナリオは温暖化対策を行わない場合であり、2100 年における産業革命前からの平均気温上昇が 3.7℃に相当するシナリオである。RCP は 4 つの温室効果ガス濃度に対応した排出シナリオであり、大気中の温室効果ガス濃度が放射強制力の上昇に与える影響の大きさをもとに特徴づけられている。

一方、将来の社会経済状況の不確実性を考慮するため複数の共通社会経済シナリオのうち SSP1, 2, 3 を用いた¹⁷⁾。SSPs は気候変化に対する緩和策と適応策の実施の困難性を軸に描いた SSP1 から SSP5 という 5 つの異なる将来像から成り、2100 年までの代表的な社会経済シナリオで構成されたものである。SSP1 は楽観的な社会、SSP2 は中庸な社会、SSP3 は悲観的な社会を描いたものである。すなわち、SSP1 では、人口増加は低く、経済成長は高い。教育、ガバナンスともに高水準で、グローバル化が進み、国際的に協調する。経済発展、技術進歩が高く、環境意識は高い。比較的楽観的な社会が想定されている。SSP3 では、SSP1 とは対照的であり、人口増

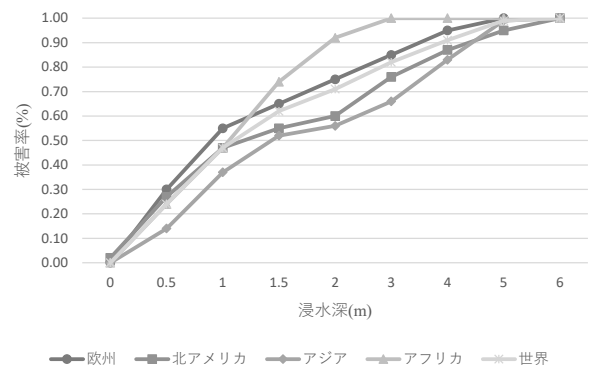


図2 洪水被害関数図⁹⁾

表2 2030 年 異なる社会経済条件下での洪水による世界平均での各指標の変化、洪水なしシナリオ(NoCC)比

	SSP1	SSP2	SSP3
5作物平均の収量変化率(%)	-1.89	-1.94	-1.94
生産量変化率(%)	-0.05	-0.07	-0.11
価格変化率(%)	0.69	0.87	1.08
カロリー変化量(kcal/人/日)	-1.78	-2.24	-2.78
GDP変化率(%)	0.00003	0.00003	-0.00009
飢餓リスク人口変化数(10万人)	36	51	73

加は高く、経済成長が低い。教育水準、ガバナンスともに低水準で、グローバル化は進まない。環境意識は低い。SSP2 は SSP1 と SSP3 の間の中庸な社会である¹⁸⁾。技術の進歩によって農業などの技術が進歩し、収穫できる作物の量が増えるなどが AIM/CGE に反映されている。

更に、感度分析では 2030 年に 17 地域のうち 1 カ国のみに洪水ありのシナリオを想定することで洪水による影響を与え、対象とした地域以外は洪水なしのシナリオを想定した。感度分析では社会経済シナリオは SSP2 のみを用いた。

3. 結果

本章ではまず洪水による世界全体の影響を示し、その次に地域別の影響を示す。

(1) 世界全体の洪水による影響

表 2 は、2030 年における洪水による世界全体の異なる社会経済条件下での各指標の変化について洪水なしシナリオ(NoCC)比を示した。これによると、作物収量は 1.94%(1.89~1.94%) 減少し、作物生産量は 0.07%(0.05~0.11%) 減少した。作物価格は 0.87%(0.69~1.08%) 上昇している。一人当たりの食料カロリー消費量は 2.2kcal/人/日(1.8~2.8kcal/人/日)減少した。GDP はほとんど変化しなかった。飢餓リスク人口は 507 万人

- 32 -

の食料カロリー消費量は内生的に決まっている。

e) 飢餓リスク人口

図 7 に 2030 年における洪水による地域別飢餓リスク人口変化数を示した。飢餓リスク人口は栄養不足・カロリー不足の人口である。カロリー不足は一人一人違い、身長や体重によって決まる。その他アジア、その他アフリカ、インドで大きく増加している。世界全体では 507 万人(355~729 万人)増加した。その他アジアでは 199 万人(154~248 万人)、その他アフリカでは 180 万人(112~274 万人)、インドでは 74 万人(47~137 万人)と飢餓リスク人口が増加している。先進国では被害が小さいので飢餓リスク人口は発生しない。飢餓リスク人口は長谷川ら¹⁹⁾の要因分解分析手法を用いて算出している。詳細については長谷川ら¹⁹⁾を参照されたい。異なる社会経済条件下ではすべての結果において、定性的には変わらない結果を示したが、食料消費と飢餓リスク人口の増減幅は大きいので将来の社会経済条件は考慮すべきである。

f) GDP

図 8 に 2030 年における洪水による地域別 GDP 変化率を示した。シナリオによって大きな差が見られるが、イ

ンドや旧ソ連の SSP3 で上昇している。中東、北アフリカ、その他オセアニア、その他アジアの SSP3 で減少している。しかし、世界全体においても変化率の値はとも小さく、洪水が発生したことによる GDP への影響は大きくない。

(3) 1 か国への感度分析

表 3、4 に 1 か国のみに洪水の影響を与えた感度分析の結果を示す。波及効果を見る理由としては複数の地域で同時に影響を与えると、貿易を通じて様々な影響が複合的に起こり、何が原因で何が結果かがわからなくなるので、本研究の目的はある特定の国で起こる洪水ショックがどのような波及効果を持つのかということを理解するためである。また、地域集約は限界点である。

a) 一人当たりの食料カロリー消費量

感度分析の結果、その他アジアにのみ洪水が発生したとき、食料カロリー消費量はその他アジアで 10kcal/人/日と最も減少している。次に、中東で 0.4kcal/人/日減少している。

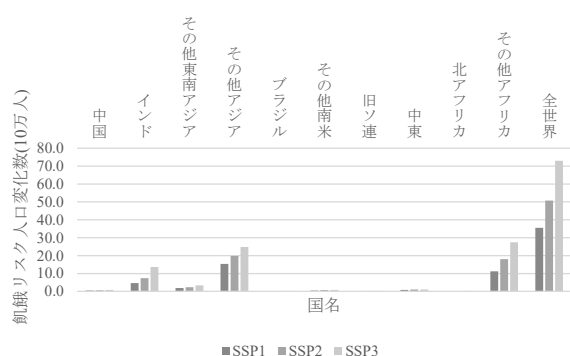


図 7 2030 年 異なる社会経済条件(SSPs)における洪水による
飢餓リスク人口変化数(10 万人)



図 8 2030 年 異なる社会経済条件(SSPs)における洪水による
GDP 変化率(%)

表 3 各国に洪水の影響を与えた場合の他国の食料カロリー消費量への波及効果(kcal/人/日)

(縦に影響を与えた国、横に影響を受ける国を示す)

国名	アメリカ	欧州25ヶ国	その他欧州	トルコ	その他オセアニア	中国	インド	日本	その他東南アジア	その他アジア	カナダ	ブラジル	その他南米	旧ソ連	中東	北アフリカ	その他アフリカ
アメリカ	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
欧州25ヶ国	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他欧州	0.0	0.0	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
トルコ	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他オセアニア	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
中国	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
インド	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0
日本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他東南アジア	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-1.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	0.0
その他アジア	0.0	0.0	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-10.0	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.4	-0.1	0.0
カナダ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ブラジル	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他南米	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.8	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
旧ソ連	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.4	0.0	-0.1	0.0
中東	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
北アフリカ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.6	0.0
その他アフリカ	0.0	-0.2	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.3	-0.1	-0.1	-0.4	0.0	-0.1	-0.6	-0.8	-0.4	-3.7

表4 各国に洪水の影響を与えた場合の他国の飢餓リスク人口への波及効果(10万人)

(縦に影響を与えた国, 横に影響を受ける国を示す)

国名	中国	インド	その他東南アジア	その他アジア	ブラジル	その他南米	旧ソ連	中東	北アフリカ	その他アフリカ
アメリカ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
欧州25ヵ国	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1
その他欧州	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
トルコ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他オセアニア	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
中国	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
インド	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
日本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他東南アジア	0.2	0.2	1.8	0.2	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1
その他アジア	0.0	0.0	0.1	19.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
カナダ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ブラジル	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他南米	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0
旧ソ連	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
中東	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
北アフリカ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
その他アフリカ	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.5	0.1	18.1

b) 飢餓リスク人口

飢餓リスク人口への影響についてはその他アジアにのみ洪水が発生したとき、飢餓リスク人口はその他アジアで 194 万人と最も増加する。その他の国への影響はほとんど見られなかった。

4. 考察とまとめ

(1) 議論

洪水による影響で作物収量が減少したことにより作物生産量も減少する。作物生産量が減少したことにより、価格が高騰するなど変化する。価格が高騰したことにより、消費者はコメなどの財を購入する量が減少する。購入する量が減少すると消費者の食べる量が減少し、食料消費カロリーが減少する。食料消費カロリー量が減少すると飢餓リスク人口が増える結果となる。主にこのような結果が得られたが、SSP の違いによって結果の変化量が大きく変わる。例えば、SSP の違いの1つとして人口の増加がある。人口が増加すると一人当たり配分される食料の量も減少し、一人当たりカロリー摂取量も減少する。これにより飢餓リスク人口の増加にもつながる。

本研究の結果からいくつかの点について議論が必要である。1 つ目の議論はベースラインからの変化として、飢餓リスクの影響は必ずしも SSP の適応の困難性の高さの順である SSP3, SSP2, SSP1 の順に大きいとはならない。これはそもそも収量変化が上記のような順位にはなっていないことが理由の一つと考えられる。その理由としては、将来の土地の面積を表す土地利用マップが

SSP によって違うがそれが必ずしも SSP の適応の困難性と同じ方向に作用する形で変化しないことによると考えられる。また、完全な整合性を取るためには同じモデルによる出力を使って洪水影響を評価すべきであるが、海外機関も含めて水文データや農業生産性データ等複数種類のモデルソースを組み合わせる計算をしていることから、現実的にはこれらを合わせることはとても困難である。

2 つ目の議論として、発展途上国では気候変動がないシナリオで一人当たり食料消費量が小さいこと、また価格弾力性や所得弾力性が大きいこと、同じ収量変化に対して起こる、食料消費や飢餓リスク人口の変化が大きくなる。

最後に、感度分析から 1 ヶ国における収量変化の他国への波及効果が非常に小さいことがわかった。これはモデルが相対貿易を想定しておらず、国際単一市場を想定していることに部分的には起因しており、貿易相手国全体に対して影響が均一に波及していると考えられる。この国際単一市場の妥当性を評価することは容易ではないが、市場の国際化がこの数十年進んできており、その観点から必ずしもこの想定と結果が不適切であるといえる根拠はないが、少なからず過小評価している可能性については留意した方がよい。

(2) 今後の課題

今後の課題は、本研究では気候モデルと水文モデルとして、食料安全保障に関する分析で主な出力となる飢餓リスク人口の中位値のモデルの組み合わせを選択した。今後は他のモデルの組み合わせも用いて、モデルによる

不確実性幅によりどのぐらい影響の差が出るのかについて比較・分析を行う必要がある。また、1カ国のみには洪水の影響を与えた感度分析において SSP 間での差は小さいという結果となったが、他のモデルの組み合わせではより大きな変化が見られうるので、今後モデル間での比較を行う必要がある。また、本研究では対象期間を2030年に設定し、短期的な洪水による影響について分析を行ったが、今後は対象期間を2100年に延ばすなど長期的な洪水による影響について分析を行い、対策について考える必要がある。

謝辞：本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20202002)、住友財団環境研究助成による研究成果の一部である。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 環境省, STOP THE 温暖化, 2017. https://earth-keeper-okayama.jp/wp-content/themes/earth_keeper/common/img/warm/file01.pdf
- 2) IPCC, IPCC, 2012: Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, n.d.
- 3) 関 祐哉, 長谷川 知子, 藤森 真一郎, 世界を対象にした洪水による作物収量変化を通じた食料消費と飢餓リスクへの影響評価, 土木学会論文集G (環境), 2020, 76 巻, 5 号, p. I_89-I_95, 公開日 2021/01/18, Online ISSN 2185-6648, https://doi.org/10.2208/jscej.76.5_I_89, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej/76/5/76_I_89/_article, n.d.
- 4) Scussolini, P., Aerts, J. C. J. H., Jongman, B., Bouwer, L. M., Winsemius, H. C., de Moel, H., & Ward, P. J., FLOPROS: an evolving global database of flood protection standards, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol.16(5), pp.1049–1061, 2016. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1049-2016>
- 5) Huizinga, J., de Moel, H., Szwedczyk, W. (2017): Global flood depth-damage functions, n.d.
- 6) Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Ameth, A., Boote, K. J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H., & Jones, J. W., Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison, n.d. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>
- 7) Fujimori, S., Abe, M., Kinoshita, T., Hasegawa, T., Kawase, H., Kushida, K., Masui, T., Oka, K., Shioyama, H., Takahashi, K., Tatebe, H., & Yoshikawa, M., Downscaling Global Emissions and Its Implications Derived from Climate Model Experiments, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169733>
- 8) 長谷川 知子, 藤森 真一郎, 申 龍熙, 高橋 潔, 増井 利彦, 気候変化が作物収量変化を通じて食料消費・経済に及ぼす影響のシナリオ分析, 土木学会論文集G (環境), 2012, 68 巻, 5 号, p. I_227-I_236, 公開日 2013/02/13, Online ISSN 2185-6648, https://doi.org/10.2208/jscej.68.I_227, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej/68/5/68_I_227, n.d.
- 9) Ronald Sands, by D., Kim, M.-K., Hertel, T. W., Rose, S., Tol, R. S., & Sands, R. D., Modeling the Competition for Land: Methods and Application to Climate Policy* MODELING THE COMPETITION FOR LAND: METHODS AND APPLICATION TO CLIMATE POLICY, n.d.
- 10) Lee, R., Robinson, H. S., Thomas, M., & El-Said, M., Hans Lofgren A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE sustainable options for ending hunger and poverty MICROCOMPUTERS IN POLICY RESEARCH 5, 2002. www.gams.com.
- 11) 藤森 真一郎, 松岡 譲, エネルギー統計・経済統計の統合とそれを用いた世界全域における化石燃料起源のエネルギー消費量と二酸化炭素排出量の推計に関する研究, 環境システム研究論文集, 2008, 36 巻, p. 37-48, 公開日 2010/06/04, Online ISSN 1884-8125, Print ISSN 1345-9597, <https://doi.org/10.2208/proer.36.37>, <https://www.jstage.jst.go.jp/article/proer2>, n.d.
- 12) Fujimori, S., Hasegawa, T., Masui, T., Takahashi, K., Herran, D. S., Dai, H., Hijioka, Y., & Kainuma, M., SSP3: AIM implementation of Shared Socioeconomic Pathways, Global Environmental Change, Vol.42, pp.268–283, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2016.06.009>
- 13) Fujimori, S., Masui, T., & Matsuoka, Y., AIM/CGE [basic] manual Discussion Paper Series, 2012.
- 14) 長谷川 知子, 藤森 真一郎, 高橋 潔, 増井 利彦, 共通社会経済シナリオSSPを用いた飢餓リスクに関する将来シナリオの開発, 土木学会論文集G (環境), 2014, 70 巻, 5 号, p. I_1-I_12, 公開日 2014/12/12, Online ISSN 2185-6648, https://doi.org/10.2208/jscej.70.I_1, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej/70/5/70_I_1/_article, n.d.
- 15) Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., & Rafaj, P., RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions, Climatic Change 2011 109:1, Vol.109(1), pp.33–57, 2011. <https://doi.org/10.1007/S10584-011-0149-Y>
- 16) 生津 路子, 藤森 真一郎, 松岡 譲, 応用一般均衡モデルを用いた日本における温室効果ガス削減目標の分析, 土木学会論文集G (環境), 2011, 67 巻, 6 号, p. II_255-II_266, 公開日 2012/03/16, Online ISSN 2185-6648, https://doi.org/10.2208/jscej.67.II_255,

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej/67/6/67_6_II_255/_article, n.d.

- 17) O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W., The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century, *Global Environmental Change*, Vol.42, pp.169–180, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- 18) FUJIMORI, S., HASEGAWA, T., MASUI, T., TAKAHASHI, K., HERRAN, D. S., DAI, H., HIJIOKA, Y., & KAINUMA, M., NEW SOCIOECONOMIC SCENARIO SSP QUANTIFICATION OF

THE AIM'S EXAMPLE AND ITS CHARACTERISTIC, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research)*, Vol.71(6), pp.217–228, 2015.

<https://doi.org/10.2208/jscej.71.217>

- 19) 長谷川知子, 藤森真一郎, 高橋潔, 増井利彦, 将来の飢餓リスクに関する要因分解分析手法, *Discussion paper*, 国立環境研究所, 社会環境システム研究センター: つくば, 日本, 2014., n.d.

Assessing the impact of flooding on food consumption and population at risk of hunger considering the uncertainty of future socioeconomic conditions

Masataka ICHIMORI, Tomoko HASEGAWA and Shinichiro FUJIMORI

Existing studies have assessed food consumption and population at risk of hunger due to flooding under a single socioeconomic condition. Here we have assessed food consumption and risk of hunger under different socioeconomic conditions. As a result, the average global food calorie consumption would decrease by 2.2 kcal/person/day (1.8 to 2.8 kcal/person/day) and the population at risk of hunger would increase by 5.07 million (3.55 to 7.29 million) in 2030 under the most warming conditions. In South Asia which is a region the most affected, the average food calorie consumption decreased by 10.2 kcal/person/day (8.5 to 11.8 kcal/person/day) and the population at risk of hunger increased by 1.99 million (1.54 to 2.48 million). Although the main conclusions remain the same under different socioeconomic conditions, the range of uncertainty is large, and socioeconomic conditions should be taken into account in future evaluations.