

24. 世界を対象とした作物収量の向上が 食料安全保障と環境にもたらす影響評価

市森 将貴¹・長谷川 知子²・藤森 真一郎³

¹ 非会員 立命館大学大学院 理工学研究科 環境都市専攻

(〒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)

農業生産技術の向上は将来の世界における食料安全保障と環境保全のいずれにも効果がある政策の一つとして期待されているが定量的にその効果を示した研究はない。そこで、本研究では世界を対象に技術進歩の一つである将来の作物収量の向上により食料消費と飢餓リスク人口、さらに、環境要因として森林面積などの土地利用にどのような影響をもたらすかを推計した。その結果、世界全体の平均一人あたりの食料消費カロリー量は約 9.66kcal/人/日増加、飢餓リスク人口は約 17 万人減少、森林面積は約 368kha 増加した。このことは、作物収量の向上は食料消費カロリーの増加、飢餓リスク人口を減らすなど食料安全保障とともに、森林を保全するなど環境にも便益のある政策であることが大きな影響を及ぼすと考えられる。

Key Words: Food, Food consumption, Risk of hunger, environment, High yield

1. 背景・既存の研究

現在約 10 億人が栄養失調に陥っており、農業システムは世界規模で土地や水、生物多様性、気候などに悪影響を与えると報告されている¹⁾。そのため、将来の世界の食料安全保障と持続可能性を同時に満たすには食料生産を大幅に増やしつつ、農業の環境への負荷を軽減する必要があるとされる²⁾。この解決には農地の拡大を阻止し、不作地における収穫量を向上させ、作付効率を高めることが必要であるとされる³⁾。さらに、持続可能な観点からは水や農薬などの使用を大幅に削減しながら作物生産量を増加させる必要があるとしている⁴⁾。

農業技術革新は、増大する食料需要を満たすために、土地・食料・水資源システムの効率を向上させ、農地拡大を抑え、環境への影響を減らすことに大きく貢献すると報告されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。例えば、Billen et al. (2015)²⁾では、作物収量の増加により農地面積を増やすことなく、貿易を拡大することで十分な食料や栄養（タンパク質）を提供できることを示している²⁾⁶⁾⁷⁾。しかし、現在の気候条件から潜在的に達成可能な作物収量レベルと実際の収量には、依然として大きな乖離がある。その乖離は農地・

土壌の不十分な管理によって生じている。例えば、アフリカ、ラテンアメリカ、東欧の多くの地域では、不十分な肥料投入と水資源がその要因であり、それを補えば収量を大きく向上させうる⁸⁾。

また、他地域から新しい作物種や現存する改善された品種などの高効率生産技術の移転や遺伝子組み換えを含む作物種の改良は、収量の乖離の解消に貢献すると同時に、将来の潜在収量を増加させうる⁹⁾¹⁰⁾。しかし、利用可能なデータが限られていることや、地球規模での放牧の範囲などに関する不確実性が非常に大きいことから、知見はまだ限られている¹¹⁾¹²⁾。

さらに、IPCC¹³⁾では気候変動は将来の食料安全保障を低下させると報告しており、その影響には特に途上国が直面する可能性が高いことを示唆している¹⁴⁾。加えて、将来の異常気象や気候変動の緩和策による食料安全保障への悪影響についても報告がある¹⁵⁾¹⁶⁾。将来の食料安全保障への対策の一つとしても農業技術向上による効果を検討することは政策決定において重要である。

このように、農業の技術革新は環境保全にも食料安全保障の観点からも有効な対策であることは示されてきた¹⁷⁾。しかしながら、実際に農業技術向上が食料消費、飢

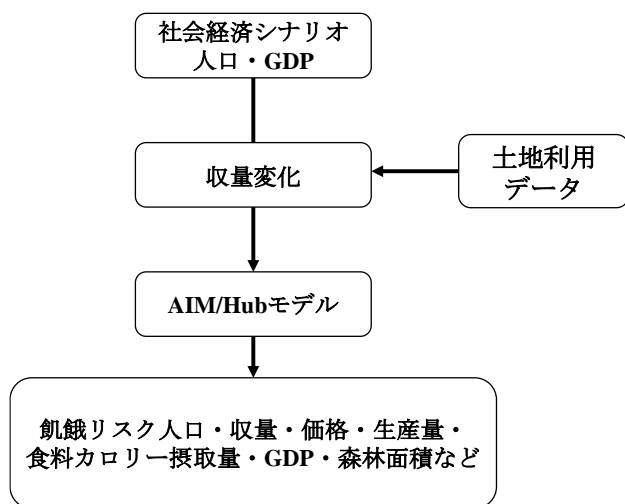


図1 本研究の簡略図

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	オセアニア	XLM	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	東南アジア	XAF	その他アフリカ
XSA	その他アジア	WLD	全世界

餓リスク人口や環境要因に及ぼす影響についてはまだ定量的に明らかにされていない。よって、本研究では農業技術革新の一つとして作物収量の向上がもたらす食料消費、飢餓リスク人口、環境要因の一つとして森林などの土地利用にどのような影響をもたらすかを明らかにすることを目的とする。具体的には、世界全体を対象に将来の作物収量の向上により食料消費と飢餓リスク人口がどのように変化するかを明らかにする。

2. 方法

(1) 手法の概要

図1にモデルの全体像を示す。高収量シナリオでは作物収量を SSP1 の設定に変更し、用いた。この地域別収量変化率と社会条件として人口・GDP のデータを AIM/Hub モデルに入力して収量、価格、生産量、平均食料カロリー消費量、飢餓リスク人口、輸出入量などを算出した。また、環境面として森林面積などについて明らかにする。モデルは 2005 年から 2100 年まで回した。2005 年に作物収量向上のみの影響を与えた。表1に示す世界と 17 地域区分で示す。

表2 本研究で想定したシナリオの分類

シナリオ	内容
ベース	中庸な社会を想定し、温暖化対策をしていないシナリオ
高収量シナリオ	中庸な社会を想定し、温暖化対策をせず、作物収量向上のみの影響を与えたシナリオ

(2) AIM/Hub モデル

AIM/Hub モデルは応用一般均衡型のモデル¹⁷⁾で、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を用いて記述されており、生産活動は利潤最大化を前提とし、中間財、生産要素を投入する。生産活動によって発生する所得(雇用者報酬、営業余剰、生産にかかる税)は代表的家計が受け取り、家計は所得の一部を貯蓄に回して所得から貯蓄を引いた可処分所得を所与として消費を行う。消費財の支出割合は効率最大化のもと決定される。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¹⁸⁾。次に、最終消費は家計消費と資本形成で構成されており、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。家計消費と政府消費を集約し、代表的家計消費として表しており、資本形成は固定係数の消費として財間の消費割合は変化しないとした。貯蓄と投資のバランスを良くするため貯蓄性向は資本形成に応じて内生的に決定するとした。新たに貯蓄される資本は次年度の新規資本として稼働し、生産要素の一つとなる。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¹⁹⁾。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。基準年(2005 年、計算期間は 2005 年から 2100 年)のデータには藤森&松岡ら²⁰⁾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 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²⁰⁾、長谷川ら¹⁷⁾を参照されたい。

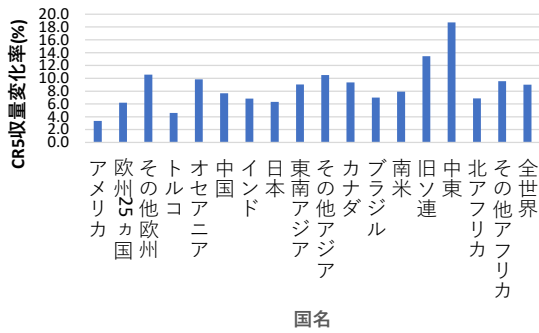


図2 2100年 高収量シナリオに与えた地域別5作物平均収量変化率(%，ベースラインシナリオ比)

表3 2100年高収量の影響による世界平均での各指標の変化、ベースラインシナリオ(Nocc)比

	ベースシナリオとの変化
5作物平均の収量変化率(%)	9.02
生産量変化率(%)	0.34
消費量変化率(%)	0.29
価格変化率(%)	-2.59
カロリー変化量(kcal/人/日)	9.66
GDP変化率(%)	0.03
飢餓リスク人口変化数(10万人)	-1.65
森林面積変化(kha)	368
牧草地面積変化(kha)	6786
全作物収穫面積変化(kha)	-93245

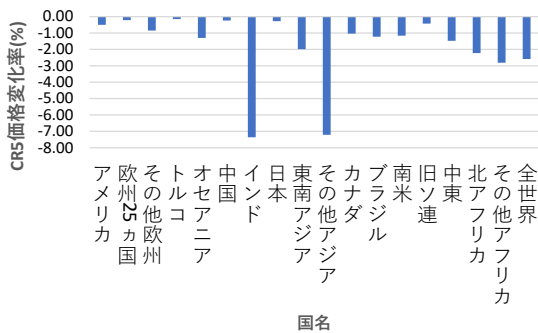


図3 2100年 高収量シナリオにおける地域別5作物平均価格変化率(%，ベースラインシナリオ比)

(3) シナリオ

表2に本研究で用いたシナリオを示す。本研究では2つのシナリオ、すなわちベースラインシナリオと高収量シナリオを準備した。第一に、ベースラインシナリオでは過去の作物収量の変化傾向を将来に想定した。一方、高収量シナリオでは、より高い作物収量向上を想定している。いずれのシナリオでも人口やGDPを含む社会経済条件（作物収量変化を除く）として中庸な社会を表すSSP2の条件を想定し、将来の作物収量変化のみを変え

た。将来の作物収量変化としてFAOSTAT²⁴⁾から得た過去の作物収量の向上傾向とモデル比較プロジェクトAgMIP²⁵⁾により準備された将来の見通しに基づいて、Hasegawa et al. (2015)²⁶⁾により SSPsの将来像(SSPs)に合わせて算出されたレベルを用いた。このうち、ベースラインシナリオの中庸な社会を表すSSP2の作物収量変化を与え、高収量シナリオではSSP1に相当する作物収量変化を与えた。図2はモデルの入力データである、高収量シナリオに与えた影響の大きさをベースラインシナリオからの変化率で表しており、2100年高収量シナリオに与えた地域別5作物(米、小麦、その他の穀物、油糧種子、砂糖穀物。以下同様)の作物収量変化率を示している。作物収量の増加率は灌漑普及率や気候条件などの地域特性を考慮したため地域間で異なる。また、いずれのシナリオでも現在の気候条件を将来に想定し、将来の気候変動の影響や緩和策の影響は考慮していない。

3. 結果

本章ではまず高収量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) 世界全体への影響

表3に2100年における高収量の影響を与えたことによる世界全体の各指標の変化についてベースラインシナリオ(Nocc)比を示した。これによると、5作物平均の収量変化率は約9.02%増加し、作物生産量は約0.34%増加した。作物価格は約2.59%下落している。一人当たりの食料カロリー摂取量は約9.66kcal/人/日増加した。GDPは約0.03%とほとんど変化しなかった。飢餓リスク人口は約16.5万人減少するということがわかった。また、森林面積は約368(kha)、牧草地面積は約6786(kha)増加し、全作物収穫面積は約93245(kha)減少する結果となった。

(2) 地域ごとへの影響

a) 作物価格

図3に2100年における地域別5作物の作物価格変化率を示した。すべての地域において作物価格は下落している。世界全体で約2.59%減少している。インドでは約7.36%、その他アジアでは約7.21%減少しており、変化率が大きい。

b) 作物生産量

図4に2100年における地域別5作物の作物生産量変化率を示した。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。世界全体では約0.34%増加した。その他アジアでは約2.16%と最も増加しており、北アフリ

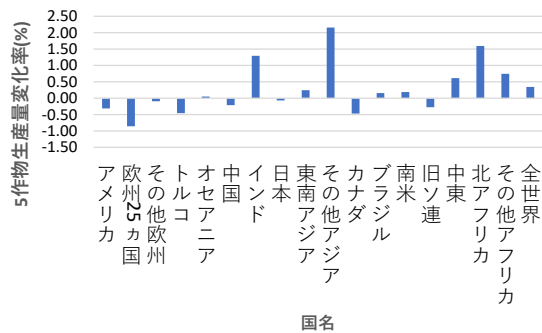


図4 2100年 高収量シナリオにおける地域別5作物平均生産量変化率(%，ベースラインシナリオ比)



図5 2100年 高収量シナリオにおける地域別5作物平均消費量変化率(%，ベースラインシナリオ比)



図6 2100年 高収量シナリオにおける地域別全食物平均一人一日当たりの食料カロリー消費の変化量(kcal/人/日，ベースラインシナリオ比)

カでは約1.60%，インドで約1.30%増加している。

c) 作物消費量

図5に2100年における地域別5作物の作物消費量変化率を示した。世界全体では約0.29%増加した。インドで約1.10%と最も増加しており，その他アジアでは約0.66%，ブラジルで約0.56%増加している。

d) 一人当たりの食料カロリー消費量

図6に2100年における地域別一人当たりの食料カロリ

ー消費量を示した。世界全体では約9.66kcal/人/日増加し

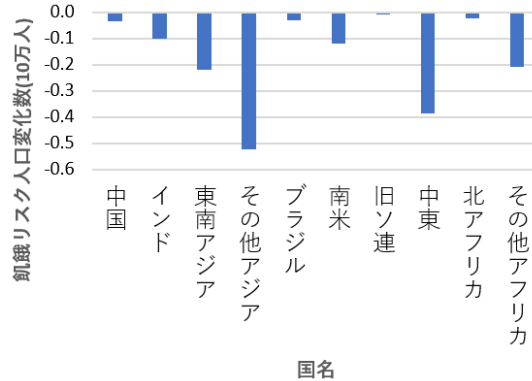


図7 2100年 高収量シナリオにおける飢餓リスク人口変化数(10万人，ベースラインシナリオ比)

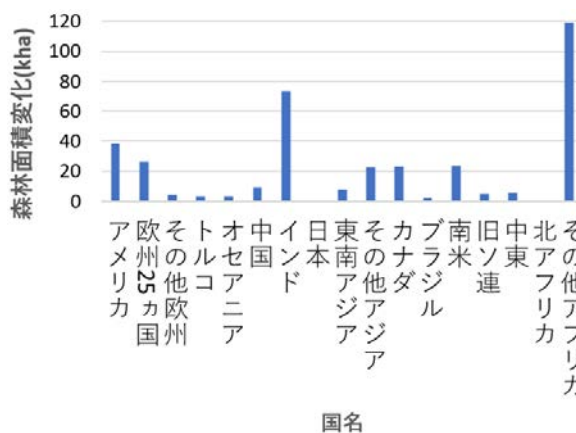


図8 2100年 高収量シナリオにおける地域別森林面積変化(kha，ベースラインシナリオ比)

た。特にインドでは約27.90kcal/人/日増加しており，最も変化量大きい。次に，その他アジアで約11.94kcal/人/日，その他アフリカで約10.30kcal/人/日増加している。本研究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2100年におけ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。カロリー不足は男女や年代によって異なり，家計の経済状況などによって決まる。世界全体では約17万人減少した。その他アジアでは約5万人，中東では約4万人，東南アジアやその他アフリカでは約2万人飢餓リスク人口が減少している。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²⁰⁾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²⁰⁾を参照されたい。

f) 森林面積

図8に2100年における地域別森林面積変化を示した。世界全体で約368(kha)増加した。その他アフリカでは約119(kha)と最も増加しており，インドで約73(kha)増加している。一方で，北アフリカでは約375(ha)増加と変化

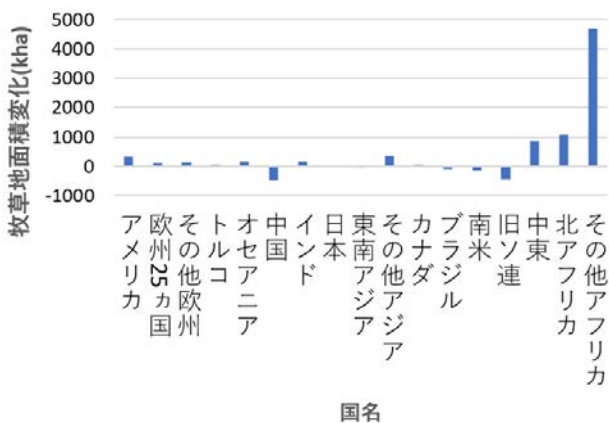


図9 2100年 高収量シナリオにおける地域別牧草地面積変化(kha, ベースラインシナリオ比)

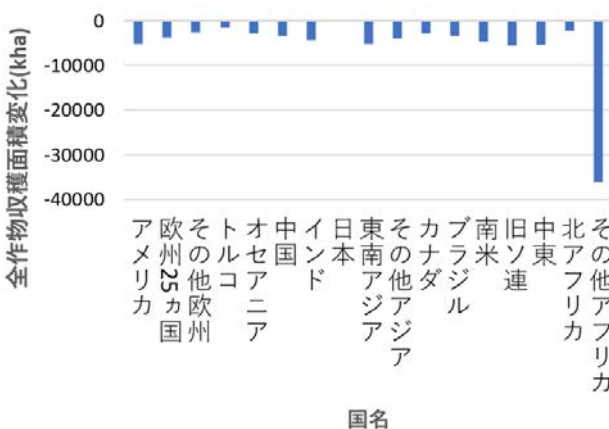


図10 2100年 高収量シナリオにおける地域別全作物収穫面積変化(kha, ベースラインシナリオ比)

が小さく、日本では約156(ha)減少している。

g) 牧草地面積

図9に2100年における地域別牧草地面積変化を示した。世界全体で約6,786(kha)増加した。その他アフリカでは約4,687(kha)と最も増加しており、北アフリカで約1,070(kha)、中東で約860(kha)増加している。一方で、日本ではほとんど変化せず、中国では約476(kha)、旧ソ連で約431(kha)減少している。

h) 全作物収穫面積

図10に2100年における地域別全作物収穫面積変化を示した。世界全体で約93,245(kha)減少した。その他アフリカでは約36,169(kha)と最も減少している。日本では約84(kha)減少とあまり変化しなかった。

4. 考察・まとめ

(1) 結果のまとめ

本研究では、世界を対象に高い作物収量向上が食料消費や飢餓リスク人口、環境面では森林面積などに及ぼす

影響について明らかにした。その結果、世界全体で飢餓リスク人口は約17万人減少し、森林面積は約368(kha)増加する結果を得た。また、地域別に見ると、インドでは生産性を上げることで生産量が約1.30%増加し、消費量も約1.10%増加する結果が得られた。消費量が増加したことで食料消費カロリーも約27.90kcal/人/日増加し、飢餓リスク人口を約1万人減少するという結果が得られた。全作物収穫面積も微量に減少したことから森林面積が増加したと考えられる。一方で、食料消費カロリー量が他地域と比べて大幅に増加しているが、飢餓リスク人口は他地域と比べて変化数は小さかった。小さかった理由としては他地域よりも食料消費カロリー量が小さく、飢餓が深刻であるといえる。その他アフリカでは生産性を上げることで生産量が約0.75%増加し、消費量も約0.41%増加する結果が得られた。消費量が増加したことで食料消費カロリーも約10.30kcal/人/日増加し、飢餓リスク人口を約2万人減少するという結果が得られた。全作物収穫面積が約36,169(kha)と大きく減少したことから森林面積が約119(kha)増加したと考えられる。東南アジアでは生産性を上げることで生産量が約0.24%増加し、消費量も約0.11%増加する結果が得られた。消費量が増加したことで食料消費カロリーも約3.83kcal/人/日増加し、飢餓リスク人口を約2万人減少するという結果が得られた。土地利用にはあまり大きな変化はなかった。更に、インドで変化が大きい理由について述べる。Hasegawa et al. (2015)²⁹によるとインドでは強力な緩和の下での食料消費に対する3つの要因の合計の影響は非常に大きく、BaUの収量変化による影響に匹敵すると示されている。これにはいくつかの理由があり、第一に、マクロ経済への大きな影響は、所得の変化に対する高い弾力性の変化によって引き起こされる。第二に、インドでは小麦やその他の作物が大量に消費されており、2つの作物項目の収量への影響が大きく、農業や農地拡大に適した土地は限られている。第三に、厳しい緩和シナリオの下では、将来のバイオマス需要は高くなる。したがって、バイオマス生産のわずかな増加でさえ、さらなる土地競争を引き起こし、食料消費に影響を与えると予想されているからである。

(2) 考察

本研究の結果から次の点について言える。

第一に、作物収量向上による食料消費カロリーの増加及び飢餓リスク人口減少、森林面積の拡大などへの効果は十分に見られた。今後、高収量による便益はより一層期待されるだろう。

第二に、高収量による食料消費カロリーの増加及び飢餓リスク人口の減少、森林面積の拡大への大きな効果が見られたのは、インド、その他アジア、その他アフリカ

などの深刻な飢餓に直面する地域である。このことは発展途上国を中心に農業技術などを高めることのインセンティブに繋がるといえる。

第三に、本研究では農業技術の向上として作物収量の増加に着目したが、農業技術としては他にも灌漑の拡大、食料保存設備や輸送ネットワークシステムの向上、早期の気象情報配信や早期警戒システムなどがある。また、今回環境要因の一つとして森林面積を取り上げたが、他にも温室効果ガス排出量、水利用、窒素投入などもある。今後これらも対象に入れて評価したい。

謝辞：本研究の実施において藤森は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20211001)および住友財団環境研究助成による支援を受けた。長谷川は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20202002)による支援を受けた。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., ... Zaks, D. P. M., Solutions for a cultivated planet, *Nature* 2011 478:7369, Vol.478(7369), pp.337–342, 2011. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- 2) Billen, G., Lassaletta, L., & Garnier, J., A vast range of opportunities for feeding the world in 2050: trade-off between diet, N contamination and international trade, *Environmental Research Letters*, Vol.10(2), pp.025001, 2015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/025001>
- 3) Humpenöder, F., Popp, A., Bodirsky, B. L., Weindl, I., Biewald, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J. P., Klein, D., Kreidenweis, U., Müller, C., Rolinski, S., & Stevanovic, M., Large-scale bioenergy production: how to resolve sustainability trade-offs?, *Environmental Research Letters*, Vol.13(2), pp.024011, 2018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AA9E3B>
- 4) Obersteiner, M., Walsh, B., Frank, S., Havlik, P., Cantele, M., Liu, J., Palazzo, A., Herrero, M., Lu, Y., Mosnier, A., Valin, H., Riah, K., Kraxner, F., Fritz, S., & Van Vuuren, D., Assessing the land resource–food price nexus of the Sustainable Development Goals, *Science Advances*, Vol.2(9), 2016. https://doi.org/10.1126/SCIADV.1501499/SUPPL_FILE/1501499_SMPDF
- 5) Popp, A., Rose, S. K., Calvin, K., Van Vuuren, D. P., Dietrich, J. P., Wise, M., Stehfest, E., Humpenöder, F., Kyle, P., Van Vliet, J., Bauer, N., Lotze-Campen, H., Klein, D., & Kriegler, E., Land-use transition for bioenergy and climate stabilization: Model comparison of drivers, impacts and interactions with other land use based mitigation options, *Climatic Change*, Vol.123(3–4), pp.495–509, 2014. <https://doi.org/10.1007/S10584-013-0926-X/FIGURES/4>
- 6) Mauser, W., Klepper, G., Zabel, F., Delzeit, R., Hank, T., Putzenlechner, B., & Calzadilla, A., Global biomass production potentials exceed expected future demand without the need for cropland expansion, *Nature Communications* 2015 6:1, Vol.6(1), pp.1–11, 2015. <https://doi.org/10.1038/ncomms9946>
- 7) Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L., Global food demand and the sustainable intensification of agriculture, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.108(50), pp.20260–20264, 2011. https://doi.org/10.1073/PNAS.1116437108/SUPPL_FILE/PNAS.201116437SI.PDF
- 8) Havlik, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M. C., Mosnier, A., Thomson, P. K., Böttcher, H., Conant, R. T., Frank, S., Fritz, S., Fuss, S., Kraxner, F., & Notenbaert, A., Climate change mitigation through livestock system transitions, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.111(10), pp.3709–3714, 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308044111>
- 9) Weindl, I., Bodirsky, B. L., Rolinski, S., Biewald, A., Lotze-Campen, H., Müller, C., Dietrich, J. P., Humpenöder, F., Stevanović, M., Schaphoff, S., & Popp, A., Livestock production and the water challenge of future food supply: Implications of agricultural management and dietary choices, *Global Environmental Change*, Vol.47, pp.121–132, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2017.09.010>
- 10) Weindl, I., Popp, A., Bodirsky, B. L., Rolinski, S., Lotze-Campen, H., Biewald, A., Humpenöder, F., Dietrich, J. P., & Stevanović, M., Livestock and human use of land: Productivity trends and dietary choices as drivers of future land and carbon dynamics, *Global and Planetary Change*, Vol.159, pp.1–10, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2017.10.002>
- 11) Erb, K. H., Lauk, C., Kastner, T., Mayer, A., Theurl, M. C., & Haberl, H., Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation, *Nature Communications* 2016 7:1, Vol.7(1), pp.1–9, 2016. <https://doi.org/10.1038/ncomms11382>
- 12) Herrero, M., Havlik, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M. C., Thomson, P. K., Blümmel, M., Weiss, F., Grace, D., & Obersteiner, M., Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.110(52), pp.20888–20893, 2013. https://doi.org/10.1073/PNAS.1308149110/SUPPL_FILE/SAPP.PDF
- 13) IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp., France/World Bank, n.d.
- 14) Rosenzweig, C., & Martin Parry, B. L., Potential impact of climate change on world food supply, 1994.
- 15) Hasegawa T, Sakurai G, Fujimori S, Takahashi K, Hijioka Y, Masui T. Extreme climate events increase risk of global food insecurity and adaptation needs. *Nature Food* 2021., n.d.
- 16) Hasegawa T, Fujimori S, Havlik P, Valin H, Bodirsky BL, Doelman JC, et al. Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change* 2018, 8(8): 699–703., n.d.
- 17) 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_.n.d

- 18) 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.
- 19) 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.
- 20) 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>.
- 21) 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>
- 22) Fujimori, S., Masui, T., & Matsuoka, Y., AIM/CGE [basic] manual Discussion Paper Series, 2012.
- 23) 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.
- 24) FAOSTAT, n.d. Retrieved April 3, 2022, from <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- 25) HASEGAWA, T., FUJIMORI, S., YOKOHATA, T., TAKAHASHI, K., & MASUI, T., 気候変化による低栄養に起因する健康影響の経済評価, 土木学会論文集G (環境), Vol.71(6), pp.II_23-II_34, 2015. https://doi.org/10.2208/JSCEJER.71.II_23
- 26) Hasegawa, T., Fujimori, S., Takahashi, K., & Masui, T., Scenarios for the risk of hunger in the twenty-first century using Shared Socioeconomic Pathways, *Environmental Research Letters*, Vol.10(1), 2015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/014010>
- 27) 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.
- 28) Hasegawa, T., Fujimori, S., Shin, Y., Tanaka, A., Takahashi, K., & Masui, T., Consequence of Climate Mitigation on the Risk of Hunger, *Environmental Science and Technology*, Vol.49(12), pp.7245–7253, 2015. https://doi.org/10.1021/ES5051748/SUPPL_FILE/ES5051748_SI_001.PDF

Global assessment of the impact of changes in crop yield on food security and the environment

Masataka ICHIMORI, Tomoko HASEGAWA and Shinichiro FUJIMORI

Improvement of agricultural intensity is expected to be an effective policy for both global food security and the environmental conservation in the future. However no studies have shown the effect quantitatively. Here I estimated what kind of benefits improved agricultural intensity brought for land use, food consumption and population at risk of hunger. As a result, in the scenario with high crop yields, the global average per-capita calorie consumption increased by about 9.66 kcal/person/day, population at risk of hunger decreased by about 170 thousand people, and forest area increased by about 368 (kha). This suggests that improving crop yields would be benefits for the environment, such as protecting forests, as well as food security, such as increasing food calorie consumption and reducing the population at risk of hunger.