



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Future prediction of global soybean yield under climate change using the eco-physiological crop growth model (MATCRO-Soy)
Author(s)	YUSARA, Astrid
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。利用可能日以前の閲覧方法は https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/ をご参照ください。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16778号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16778
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99623
Type	doctoral thesis
File Information	YUSARA_Astrid_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（農学） 氏 名 YUSARA Astrid

審査担当者	主査	教授	平野	高司
	副査	教授	濱本	昌一郎
	副査	教授	加藤	知道（国際食資源学院）
	副査	室長	増富	祐司（国立環境研究所）

学位論文題名

Future prediction of global soybean yield under climate change using the eco-physiological crop growth model (MATCRO-Soy)

(生理生態学的作物モデル(MATCRO-Soy)による気候変動下におけるグローバルなダイズ収量の将来予測)

本論文は、英語 101 頁、図 29、表 8、4 章からなり、参考論文 1 本編が付されている。本研究の目的は、気候変動下におけるグローバルなダイズ収量の将来変化を予測するとともに、それに伴う不確実性を定量的に評価することである。作物体内の炭素循環についてのさまざまな実験・経験式を統合した生理・生態学的プロセスベース作物モデルである MATCRO-Soy を用い、環境条件に対するダイズの生育応答をシミュレーションした。

第 1 章では、気候変動下における作物収量予測に関する既往研究を整理し、作物モデルの開発および検証手法、ならびに気候データやモデル構造に起因する不確実性に焦点を当てて論じている。全球、地域、1 地点といった異なる空間スケールにおいて、シミュレーションと実測の収量を直接比較した研究例は限られており、全球規模の研究におけるモデル精度評価を困難にしていることや、将来のダイズ収量予測における不確実性に寄与する主要な気候要因は、特に異なる気候シナリオ間において、十分に特定されていないことを示した。さらに、近年の研究では、30 以上の大循環モデル（GCM: General Circulation Model）を用いて、複数の共有社会経済経路（SSPs: Shared Socioeconomic Pathways）シナリオにわたるダイズ収量変化および不確実性を体系的に評価した例はほとんどない。これらの課題は、気候不確実性の適切な表現および作物影響評価に適した代表的 GCM 群の選定手法の必要性を示している。

第 2 章では、光合成、バイオマス蓄積、フェノロジー発展、窒素吸収といった生態生理学的過程を含む MATCRO-Soy モデルの構造について詳細に記述している。あわせて、実験設計、入力データ、土壌条件および栽培管理に関する仮定、ならびに過去の収量統計に基づくモデル較正および検証手順を示している。本モデルは、長期的な年々変化におけるトレンドおよび微小変動を中程度の精度で再現しており、

観測されたグローバルなダイズ収量動態を適切に表現できることが確認された。

第3章では、30以上のGCMから構成されるアンサンブルを用いた将来ダイズ収量予測およびその不確実性評価の結果を示している。不確実性の定量化手法および代表的GCMサブセットの選定方法について説明し、評価指標として平方平均標準誤差(RMSE: Root-Mean-Square-Error)を用いて検討を行った。その結果、気候変動および大気中CO₂濃度の上昇により、将来の平均ダイズ収量は約2~6%増加すると予測されたが、その増加率は過去の収量トレンドを下回るものであった。不確実性は低排出シナリオSSP126では比較的小さい一方、高排出シナリオSSP585においては顕著に増大し、ダイズ収量の気候感度が高まることが示された。また、無作為に選択した10個の代表的GCMを用いることで、単一GCMを用いた場合と比較して不確実性を最大90%程度まで低減でき、全GCMアンサンブルに対するRMSEは約120 kg ha⁻¹となることが示された。これは、気候特性に基づくGCM選定が、現実的な収量不確実性の表現に有効であることを示唆している。平均収量に対する主要な制約要因は気温であり、降水量変化は主として土壤水分条件および生育期間の長さを通じて収量不確実性に影響を及ぼすことが明らかとなった。なお、本モデルには品種差、病害虫、疾病といった局所的要因は考慮されていないため、気温極端、土壤水分動態、窒素過程に関する地域特異的評価においては慎重な解釈が必要である。

第4章では、本研究の主要な成果を総括するとともに、今後の研究課題を提示している。MATCRO-Soyの有効性および限界を明確化し、堅牢な収量予測の実現に向けて複数GCMを統合的に利用することの重要性を示した。特に、計算効率の向上および不確実性の適切な表現の観点から、エビデンスに基づくGCMサブセット選定の有用性が強調されている。本研究の成果は、作物収量予測手法の高度化、気候変動適応策の検討、ならびにグローバルな食料安全保障に関する意思決定を支援する基盤を提供するものである。今後は、作物収量シミュレーションと意思決定支援ツールを統合し、科学的知見を実践的かつ費用対効果の高い農業管理戦略へと展開する研究が求められる。

これらの結果より、生理・生態プロセスベース作物モデルMATCRO-Soyによって、グローバルなダイズ収量の将来予測が可能であることを示すことに成功したと考えられ、今後、社会・経済的分析への重要な基礎情報を提供することや、他の作物に同様のモデル開発が行える将来性も高く評価できた。

よって審査員一同は、Yusara Astridが博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。