

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：34315

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21331

研究課題名（和文）食料安全保障と生態系保全を考慮した世界規模の植林吸収ポテンシャルの推計

研究課題名（英文）Potentials of Carbon sink through afforestation ensuring food security and protecting the environment

研究代表者

長谷川 知子（Hasegawa, Tomoko）

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：60615524

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、統合評価モデルを用いて、植林に使用する森林タイプの選択によって、世界の食料と土地の持続可能性を損うことなく炭素貯留量を増加させる方法を定量的に示した。その結果、炭素集約型の森林タイプを選択した場合、従来の森林タイプより炭素吸収量が最大25%増加することが分かった。同時に、植林が不適切に大規模に実施された場合、炭素回収・貯留を伴うバイオエネルギーより炭素除去における土地効率が低下するため、経済、食料、土地システムに悪影響を与え、土地拡大、食料価格の上昇、飢餓リスクの増大につながることが分かった。この結果は、炭素集約型の植林を他の補完的な対策と併用する必要性を示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植林は二酸化炭素除去の主要技術だが、食料と土地のシステムに悪影響を及ぼす可能性があると言われている中、本研究では、植林が不適切に実施されると、経済、食料、土地システムを悪化させ、炭素除去のための土地拡大や飢餓リスクの増大につながることを明らかにした。また、炭素集約型の森林を補完的な対策とともに導入することで、食料と土地の持続可能性への悪影響を軽減できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We quantitatively demonstrated how selecting forest types for afforestation can increase carbon sequestration without compromising global food and land sustainability using an integrated assessment model. The results showed that choosing carbon-intensive forest types for afforestation can increase carbon absorption by up to 25% compared to conventional forest types. However, if afforestation is implemented inappropriately on a large scale, the land-use efficiency for carbon removal would decrease compared to bioenergy with carbon capture and storage (BECCS), leading to adverse effects on economic, food, and land systems. This could result in expanded land use for carbon removal, increased food prices, and higher hunger risks. These findings suggest the necessity of implementing carbon-intensive afforestation alongside other complementary measures.

研究分野：環境システム工学

キーワード：気候変動緩和 植林 炭素吸収技術

## 1. 研究開始当初の背景

今後の気候変動対策は、地球温暖化を 2°C または 1.5°C に制限するために、温室効果ガスの急速な削減と大規模な負の排出量が必要である。最新の IPCC 報告書によると、大規模な二酸化炭素除去 (CDR) オプションである植林、再林化、および炭素捕捉貯留 (BECCS) が、厳格な気候目標を達成するために次の半世紀で CO<sub>2</sub> を大気から取り除く上で重要な役割を果たす。これらの取り組みには、食料安全保障や生物多様性への悪影響を最小限に抑えることが重要である。地上における CDR 戦略の実施可能性は、気候目標の厳格さや他の持続可能性目標への影響に依存する。これにより、食糧生産の拡大や国際貿易、食生活の変化など、食料に関連する対策が BECCS を通じて炭素固定を増やししながら、食料や土地の持続可能性を守ることが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、統合評価モデルを用いて、植林に使用する森林タイプの選択によって、世界の食料と土地の持続可能性を損なうことなく、世界の炭素貯留量をどのように増加させることができるかを定量的に示すことを目的とする。

## 3. 研究の方法

森林タイプの選択と食料関連施策の組み合わせが、炭素貯留ポテンシャルと食料および土地関連の持続可能性に与える影響を定量化するため、経済モデル (AIM/Hub)、土地利用配分モデル (AIM/PLUM)、陸域植生モデル (VISIT) を組み合わせた手法を用いた。具体的には、異なる森林タイプを想定して植林の炭素除去ポテンシャルを計算し、世界 17 地域の土地需要を入力し、植林と BECCS による炭素隔離の割合をダウンスケールした。また、AIM/PLUM では土地生産性に基づいて土地利用を最適化した。この研究では、異なる気候緩和シナリオに基づき、森林タイプの選択、BECCS と植林の比較、食糧関連施策の有無などを分析した。さらに、森林タイプの選択方式は成長率に基づいており、生態系保全の度合いに応じて異なるタイプの森林が選択された。食料関連指標の改善や食生活の変化も考慮し、炭素貯留量の最大化や排出削減の最適な経路を特定した。

## 4. 研究成果

炭素集約型の森林タイプを選択した植林は、最大で 25% の炭素吸収増加をもたらし、食料対策と組み合わせることで最大で 49% の増加が期待されることがわかった (図 1)。しかし、植林が注意深く実施されない場合、土地と食料の価格を押し上げ、飢餓リスクが高まる可能性がある (図 2)。そのため、補完的な政策が重要である。また、BECCS は植林よりも単位面積当たりの炭素吸収量が高く炭素吸収の点で土地生産性が高い一方 (図 3)、植林は経済、エネルギー、食料、土地利用に負の影響を与える可能性がある (図 2, 図 4)。これらの結果は、土地利用型 CDR 技術を導入する際にはメリットとリスクを慎重に考慮する必要があることを示唆している。食料分配の平等性を高めることは、植林が食糧安全保障に及ぼす負の影響を緩和する鍵であり、健康的で持続可能な食生活への転換が必要である。これらの成果は、気候変動への対策においてバランスの取れたアプローチが重要であることを強調している。

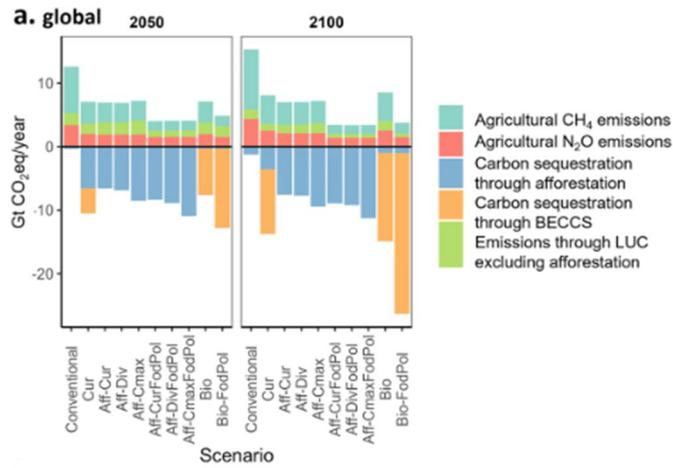


図 1. 農業、林業、その他の土地利用 (AFOLU) に関連する温室効果ガス (GHG) 排出量と、異なるシナリオ下での土地ベースの二酸化炭素除去 (CDR) オプションを通じた炭素固定。  
(a) 2050 年と 2100 年の全世界レベルでの排出量

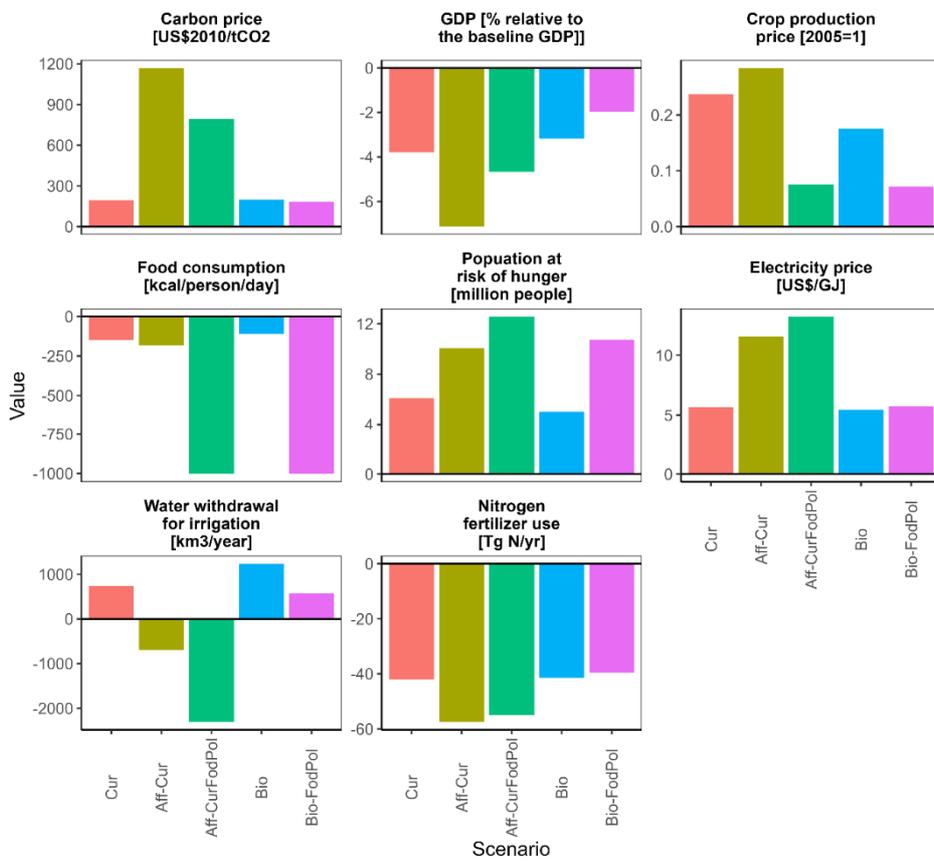


図 2. 2100 年において、従来のシナリオと比較した複数の変数の全世界的な相対変化。

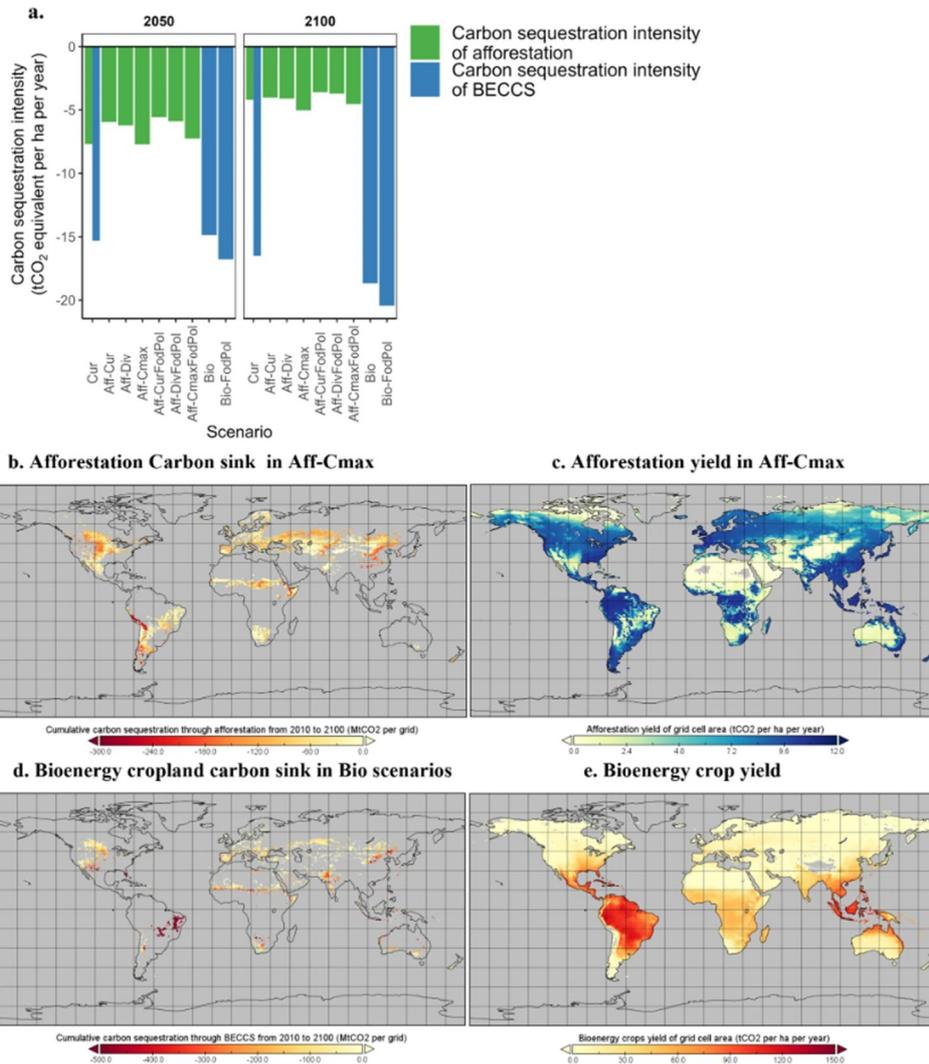


図 3. 異なるシナリオにおける植林と BECCS による炭素固定。(a) 炭素固定ポテンシャルの土地強度 (LIC; 単位面積あたりの炭素固定ポテンシャルの潜在的量) は、炭素固定ポテンシャルの総量とそのオプションに割り当てられた土地の面積から計算される。この世紀を通じての (b) 植林と (d) BECCS による累積炭素固定の全球分布。全球分布における (c) 植林の成長率と (e) バイオエネルギー作物の収量。(d) における BECCS を通じた炭素固定は、バイオエネルギー作物の収量、BECCS の総電化への寄与の割合、および地域別の炭素捕捉及び貯蔵 (CCS) の使用の総バイオエネルギー電化への割合から計算される。(c) この世紀を通じての Aff-Cmax シナリオにおける植林の平均成長比率。(e) 雨水地でのスイッチグラスとミスカンサスの平均収量

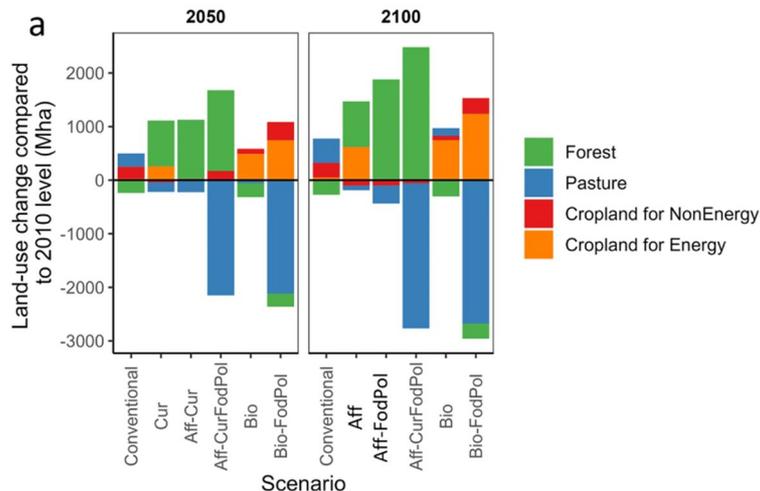


図 4. 異なるシナリオを通じて 2010 年と比較した土地利用の変化。(a) 2050 年と 2100 年における全世界レベルでの土地利用変化

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Pereira Henrique M., Martins Ines S., Rosa Isabel M. D., Kim HyeJin, Leadley Paul, Popp Alexander, van Vuuren Detlef P., Hurtt George, Quoss Luise, Arneht Almut, Baisero Daniele, Bakkenes Michel, Chaplin-Kramer Rebecca, Chini Louise, Di Marco Moreno, Ferrier Simon, Fujimori Shinichiro, ...Hasegawa Tomoko, et al.	4. 巻 384
2. 論文標題 Global trends and scenarios for terrestrial biodiversity and ecosystem services from 1900 to 2050	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 458 ~ 465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.adn3441	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hasegawa Tomoko, Fujimori Shinichiro, Ito Akihiko, Takahashi Kiyoshi	4. 巻 5
2. 論文標題 Careful selection of forest types in afforestation can increase carbon sequestration by 25% without compromising sustainability	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Communications Earth & Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43247-024-01336-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 HIRANO Kenshiro, URIMOTO Chisa, HASEGAWA Tomoko	4. 巻 79
2. 論文標題 アジア諸国を対象とした農畜産業由来の温室効果ガス排出量削減に関する研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-27032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KONDO Hikari, YAMAGUCHI Yohei, HASEGAWA Tomoko	4. 巻 79
2. 論文標題 ANALYSIS OF IMPACT ON FOOD TRADE TO FRESHWATER SUPPLY-DEMAND IN ASIAN REGION	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-27015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 HIRABARU Sotaro, SEKIZAWA Satoshi, FUJIMORI Shinichiro, OSHIRO Ken, ITO Akihiko, HASEGAWA Tomoko	4. 巻 79
2. 論文標題 GLOBAL ASSESSMENT OF THE TROPOSPHERIC OZONE IMPACT ON CO <sub>2</sub> ; SEQUESTRATION BY VEGETATION AND ITS IMPLICATIONS FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION MEASURES	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-27012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Park Chae Yeon, Takahashi Kiyoshi, Li Fang, Takakura Junya, Fujimori Shinichiro, Hasegawa Tomoko, Ito Akihiko, Lee Dong Kun, Thiery Wim	4. 巻 80
2. 論文標題 Impact of climate and socioeconomic changes on fire carbon emissions in the future: Sustainable economic development might decrease future emissions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Global Environmental Change	6. 最初と最後の頁 102667 ~ 102667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gloenvcha.2023.102667	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhao Shiya, Fujimori Shinichiro, Hasegawa Tomoko, Oshiro Ken, Sasaki Katsuya	4. 巻 17
2. 論文標題 Poverty and inequality implications of carbon pricing under the long-term climate target	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sustainability Science	6. 最初と最後の頁 2513 ~ 2528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11625-022-01206-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujimori Shinichiro, Wu Wenchao, Doelman Jonathan, Frank Stefan, Hristov Jordan, Kyle Page, Sands Ronald, van Zeist Willem-Jan, Havlik Petr, Domínguez Ignacio Pérez, Sahoo Amarendra, Stehfest Elke, Tabeau Andrzej, Valin Hugo, van Meijl Hans, Hasegawa Tomoko, Takahashi Kiyoshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Land-based climate change mitigation measures can affect agricultural markets and food security	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Food	6. 最初と最後の頁 110 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43016-022-00464-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 WATANABE Ryouichi、UETANI Akio、SEKIZAWA Satoshi、FUJIMORI Shinichiro、HASEGAWA Tomoko、OSHIRO Ken	4. 巻 78
2. 論文標題 COMPARISON OF GLOBAL AIR POLLUTION IMPACTS UNDER THE DIFFERENT HORIZONTAL RESOLUTIONS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research)	6. 最初と最後の頁 I_251 ~ I_262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.78.5.I_251	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Tomoko Hasegawa
2. 発表標題 How do we reconcile a long-term climate goal and sustainable development?
3. 学会等名 ECOSOC High-level Segment (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Global trends and scenarios for terrestrial ...  <a href="https://www.science.org/doi/10.1126/science.adn3441">https://www.science.org/doi/10.1126/science.adn3441</a>          本課題を通じて、気候変動分野と生物多様性分野に関するモデル比較研究を行う国際共同研究に参画した。複数のシミュレーションモデルと生物多様性指標を用いたモデル比較研究により、1900年から2050年の150年間の生物多様性と生態系サービスの傾向を多面的に明らかにした。その成果をPereria et al (2024)として論文発表し、記者発表を行い、朝日新聞デジタル(4月26日掲載)等で掲載された。</p>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	iDiv	Karlsruhe Institute of Technology		
オランダ	PBL			
米国	University of Maryland	World Wildlife Fund	Yale University	他3機関
オーストラリア	CSIRO Environment			
英国	United Nations Environment Programme	Natural History Museum	Environmental Change Institute	他1機関