

令和 6 年 9 月 20 日現在

機関番号：64303

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00651

研究課題名（和文）生物の系統・全ゲノム情報を利用した貿易を通じた種多様性・固有性評価に関する研究

研究課題名（英文）Mapping Agricultural and Medicinal Resource Conflicts for Biodiversity Conservation

研究代表者

金本 圭一郎（Kanemoto, Keiichiro）

総合地球環境学研究所・研究部・准教授

研究者番号：20736350

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 31,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、主に2つの研究を実施した。第一に、種分布モデルなどを利用して、農作物生産、消費、そして生物多様性の保全優先度との関連を明らかにした。もう一つの成果は、木本植物のゲノム情報を利用することで、様々な種類の酵素別に木本植物の分布を明らかにしたことである。ゲノム情報の中にある、酵素の情報を1434種の木本植物について取り出した。そして、それぞれの種の種分布情報から、どの酵素が、どのような地域に偏在しているのかを明らかにした。その結果、創薬関連の酵素は、全体としては特定の地域に依存してはないうものの、特定の酵素に対してはかかなり依存していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果は、企業の調達における生物多様性への影響などのために利用可能である。また、今後のTNFDなどの制度の発展のために、ゲノム情報の重要性を示すことが可能となった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted two main researches. First, using species distribution models, we clarified the relationship between crop production and biodiversity conservation priorities. Additionally, by tracing the supply chain from production to consumption, we elucidated the relationship between the consumption of crops in various countries and conservation priorities. Another achievement was using genomic information of woody plants to reveal the distribution of different types of enzymes among woody plant species. We extracted enzyme information from the genomes of 1,434 species of woody plants. From the species distribution information for each species, we identified which enzymes are prevalent in which regions. As a result, it was found that while pharmaceutical-related enzymes are not heavily dependent on specific regions overall, certain enzymes do show significant regional dependence.

研究分野：産業エコロジー

キーワード：サプライチェーン ゲノム情報 生物多様性 農業

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1 研究開始当初の背景

私たちの消費は複雑なグローバル・サプライチェーンを通じて、消費している場所とは全く異なる場所で種を絶滅の危機に晒していることが明らかになってきた。例えば、研究代表者らが、*Nature* 誌に掲載してきた研究によって、日本の木造住宅の建設が、日本の製材業、パプアニューギニアでの森林伐採というサプライチェーンを通じて、パプアニューギニアで多くの生物を絶滅の危機に晒していることが明らかになった。研究代表者らのこれまでの研究では、生物多様性を定量化するために、種数を使うことでサプライチェーンを通じた生物多様性への影響を明らかにしてきた。しかしながら、例えばカエルは約 6,500 種がいることが知られているが、ゾウは 3 種しか現存せず、種数での評価では、圧倒的にカエルの保護が優先されてしまう。そのため、種数によらない別の視点での評価基準が必要となる。そこで、ゲノム情報と種分布情報、サプライチェーン情報を組み合わせて、遺伝資源保護の観点から生物の絶滅危惧に影響を与える消費行動やグローバル・サプライチェーンを特定する。

当初は、研究分担者が開発してきた種分布情報と、相同性解析や機能性ドメインの数などのゲノムの基本的な情報を利用することを考えていたものの、より人類にとって必要な生態系サービスの機能を考え、研究を進めた。

2. 研究の目的

本研究は、主に 2 つの目的を持つ。

第一に、種分布モデルとサプライチェーンモデルを組み合わせ、サプライチェーンや消費が引き起こす生物多様性への影響を明らかにする。これまでの研究は、IUCN レッドリストで提供されている専門家のエキスパートジャッジメントなどで決められた生息域情報を使っていたが、種の目撃情報などを使った種分布モデルを使った研究も進んでおり、それをサプライチェーンモデルと組み合わせた。

そして、もう一つの研究では、最も大きな目的であるゲノム情報を用いた指標の作成、その指標と種分布情報との統合を目的とした。ただし、研究開始時点では、さらにサプライチェーン情報との統合を試みようとしたが、研究期間の最後までに結果を得ることはできなかった。ゲノム情報を利用した指標として、木本植物から得られる医療資源を対象とした解析と、その地理的な分布を明らかにする。

3. 研究の方法

最初の研究では、農業生産と保全優先度 (CP) マップを統合して、農業生産が生物多様性保全に与える影響を評価した。まず、7,143 種の種の分布モデルに基づいて、世界中の CP スコアを算出した。次に、48 の農産物の土地利用マップと 197 カ国の貿易データを用いて、各農産物の生産地域が CP の高い地域とどの程度重なるかを分析した。さらに、Zonation アルゴリズムを使用して、0.5 度解像度のグリッドセルごとに、農業と保全の競合リスクを評価した。このアプローチにより、農業生産と生物多様性保全の潜在的な競合ホットスポットを特定した。

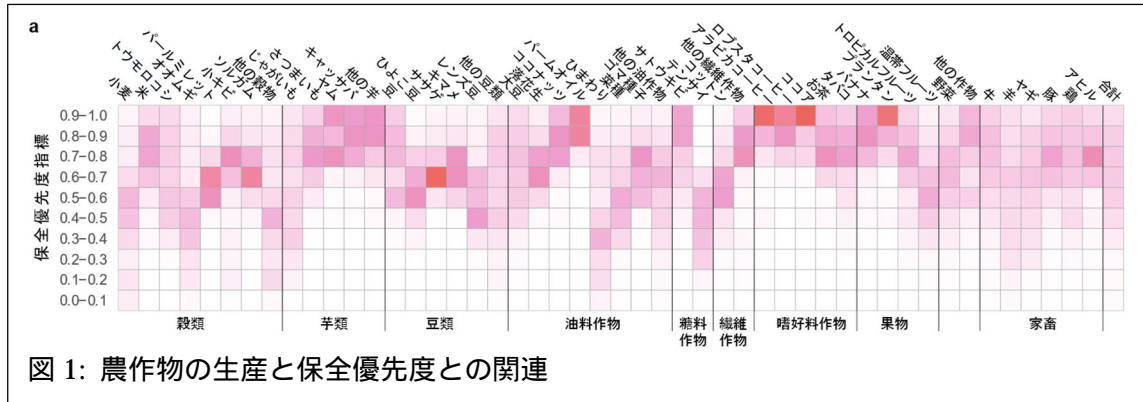
もう一つの研究では、天然物 (NP) の生合成ホットスポットを特定し、医療資源のための保全優先順位を策定するために、ゲノム駆動型の地理空間分析を行った。まず、公共データベースから 1,434 種の木本植物のゲノムおよびトランスクリプトームデータを収集し、デノボアセンブリを実施した。次に、NP の医療資源として重要な 166 種類の酵素利用し、これらの酵素の存在を基に医療資源のホットスポットを特定した。また、シコニンとベンジルイソキノリンアルカロイドの生合成経路に関与する酵素群の比較分析を行い、それぞれの地域特有の分布パターンを調査した。この方法により、特定の酵素が地域ごとに異なる分布を示すかどうかを評価し、地域別の医療資源のホットスポットを得た。

4. 研究成果

農作物の生産、消費、保全優先度

この研究の結果、全世界の農業生産の約 3 分の 1 が高い保全優先度 (CP > 0.75) の地域で行われていることが明らかになった。特に、牛、トウモロコシ、米、大豆の生産が非常に高い CP 地域に対して最大の脅威をもたらしている。一方で、テンサイ、パールミレット、ヒマワリなどの低保全リスクの作物は、農業と保全の対立が少ない地域で生産される傾向があった (図 1)。これらの発見は、各国が消費および調達パターンに基づいて、生物多様性保全に対するリスクをどのように構成しているかを示している。

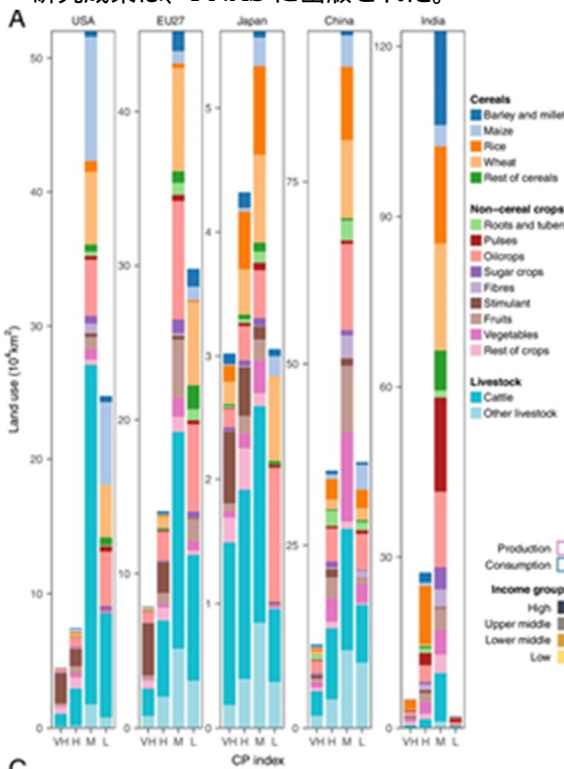
分析によれば、各農産物は異なる生産地域で異なる保全リスクを引き起こす可能性があることが示された。例えば、ブラジルでは牛、大豆、トウモロコシが高いCP地域で広範囲にわたり



生産されており、特に牛の生産が最も大きな保全リスクをもたらしている。これに対して、北アメリカやアフリカでは、同じ作物の生産が低い保全リスク地域で行われることが多い。

また、消費国ごとの農産物に対する保全リスクも分析された。例えば、中国は油糧作物と家畜の消費により、非常に高いCP地域に最大の農業用地を利用している。一方、日本は牛、刺激物（コーヒー、カカオ、タバコ、茶）の輸入により、非常に高いCP地域に対する依存度が高いことが分かった（図 2）。全体として、農業生産と生物多様性保全の対立を最小限に抑えるためには、低保全リスクの作物を優先的に購入し、消費と生産のパターンを調整することが重要であることが示された。この研究は、政策決定者や企業が持続可能な調達を行い、生物多様性を保護するための具体的なデータと洞察を提供することができた。さらに、ウェブベースの GIS ツールを通じて(<https://agriculture.spatialfootprint.com/biodiversity/>)、これらの分析結果を視覚化し、個々の国や地域における保全活動の優先順位付けを支援することが可能となった。

研究成果は、PNAS に出版された。



医療資源ホットスポットの地図化

この研究の結果、医療資源としての天然物（NP）のホットスポットが生物多様性ホットスポットと相関していることが明らかになった。一方で、個々の酵素については、地理的な分布の偏りが見られた。特に、シコニンとベンジルイソキノリンアルカロイドの生合成経路に關与する酵素群の分布パターンが似ている一方で、シコニン誘導体の生合成に關与する酵素は地域特有の分布を示していることが確認された。具体的には、シコニンの生合成酵素は日本、韓国、台湾、北部ベトナム、ヒマラヤ山脈周辺に集中しており、これらの地域がNPの重要な保全地域であることが示唆された。

図 2: 各国の農作物別の消費と保全優先度との関連

さらに、世界中の医療資源ホットスポットを定量的に評価した結果、医療資源関連の NP の生合成に重要な 166 種類の酵素マーカの分布が地域によって大きく異なることが明らかになった (図 3)。例えば、UGT82A1、DOXC20、CYP702A5、PTpat、および UGT83A1 などの酵素は高い地理的異質性スコアを示しており、これらの酵素の分布が地域特有であることが確認された。一方で、TcBAPT などの酵素は地理的均一性が見られた。このような地域特有の酵素分布は、対応する NP の空間パターンに深い影響を与える可能性がある。

シコニンの生合成に関与する酵素群の分布は、特に日本、韓国、台湾、北部ベトナム、ヒマラヤ山脈周辺で集中していることが示された。これらの地域でのシコニンの生合成は、地域特有の進化適応や生態学的ニッチを反映している可能性がある。一方、ベンジルイソキノリンアルカロイドの生合成は、より広範囲にわたって均等に分布している。この結果は、地域ごとの生物種および酵素の豊富さを考慮しながら、医療資源としての NP の保全戦略を策定する重要性を強調している。

この研究は医療資源としての医療資源に関連した NP の地理的ホットスポットを特定し、ターゲットを絞った保全戦略を開発するための基盤を提供することができた。

研究成果は、bioRxiv にアップロードしており、ジャーナルからの論文の改定要求をもとに修正中である。

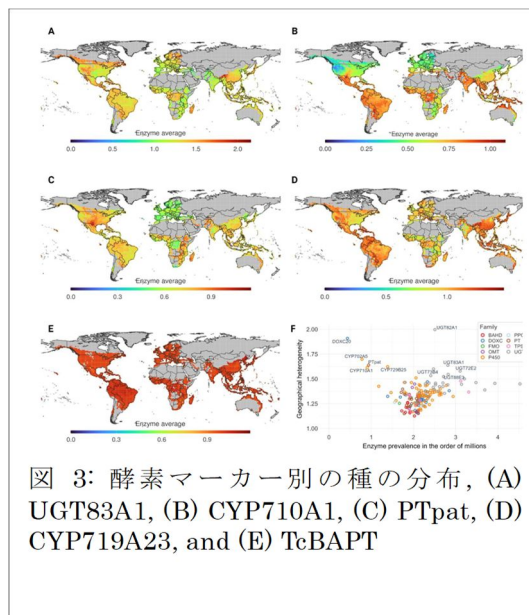


図 3: 酵素マーカ別種の分布, (A) UGT83A1, (B) CYP710A1, (C) PTpat, (D) CYP719A23, and (E) TcBAPT

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Fahmi Muhamad, Takanashi Kojiro, Kakei Yusuke, Kubota Yasuhiro, Kanemoto Keiichiro	4. 巻 NA
2. 論文標題 Mapping Natural Product Biosynthetic Hotspots: Prioritizing Conservation for Medicinal Resources	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 NA
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1101/2023.08.12.553062	査読の有無 無
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 Hoang Nguyen Tien, Taherzadeh Oliver, Ohashi Haruka, Yonekura Yusuke, Nishijima Shota, Yamabe Masaki, Matsui Tetsuya, Matsuda Hiroyuki, Moran Daniel, Kanemoto Keiichiro	4. 巻 120
2. 論文標題 Mapping potential conflicts between global agriculture and terrestrial conservation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)	6. 最初と最後の頁 e2208376120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2208376120	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

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 金本圭一朗
2. 発表標題 農作物の生産及び消費はどの程度生物多様性の保全と競合しているのか
3. 学会等名 国立環境研究所・第18回日本LCA学会研究発表会 共催シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nguyen Tien Hoang, Oliver Taherzadeh, Haruka Ohashi, Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto
2. 発表標題 Predicting conservation risks of global agricultural production and consumption
3. 学会等名 15th EcoBalance（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nguyen Tien Hoang, Oliver Taherzadeh, Haruka Ohashi, Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto
2. 発表標題 Mapping conservation risks of global agricultural production and consumption
3. 学会等名 14th ISIE Socio-Economic Metabolism Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fahmi Muhamad, Kojiro Takanashi, Yusuke Kakei, Yasuhiro Kubota, Keiichiro Kanemoto
2. 発表標題 Mapping Natural Product Biosynthetic Hotspots in Woody Plants: Prioritizing Conservation for Drug Discovery Potential
3. 学会等名 The 11th Biennial Conference of the International Biogeography Society (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Fahmi Muhamad, Kojiro Takanashi, Yusuke Kakei, Yasuhiro Kubota, Keiichiro Kanemoto
2. 発表標題 Mapping Natural Product Biosynthetic Hotspots: Prioritizing Conservation for Drug Discovery Potential
3. 学会等名 日本LCA学会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	高梨 功次郎 (Takanashi Kojiro) (10632119)	信州大学・学術研究院理学系・准教授 (13601)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	土中 哲秀 (Tesshu Hanaka) (30824982)	九州大学・システム情報科学研究院・准教授 (17102)	
研究分担者	久保田 康裕 (Kubota Yasuhiro) (50295234)	琉球大学・理学部・教授 (18001)	
研究分担者	筧 雄介 (Kakei Yusuke) (50636727)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・野菜花き研究部門・主任研究員 (82111)	

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			
ノルウェー	NTNU			
オランダ	Leiden University			