

平成 31 年 4 月 7 日現在

機関番号：64303

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05341

研究課題名(和文) 将来の貿易構造変化を考慮したエネルギー・資源ネットワーク変化に関する研究

研究課題名(英文) Energy and Resources Network Analysis

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) 16,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、グローバルサプライチェーンに伴う環境負荷をネットワークとして捉え、グラフ理論、特にクラスター分析などに応用した。また、これまでの国や産業を中心としたグローバルサプライチェーン分析をGISと統合する方法の開発と実証分析に成功した。研究成果は、Nature Ecology & Evolution誌、Nature Geoscience誌、Environmental Research Letters誌(3編)、Environmental Science & Technology誌など多くの論文を発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果は、これまでほとんどつながりのなかったサプライチェーンの分野とネットワーク分析の分野、そして、サプライチェーンの分野と地理情報分析の分野を統合させることに成功した。本研究成果を主に紹介したレビュー論文が他の研究者によって紹介されるなど、学術的には大きな広がりにつながっている。また、社会的にも、企業や行政が、本研究を利用した政策立案や企業のサプライチェーンでの環境負荷削減に取り組む動きが現れており、社会的にも重要な成果を上げてきている。

研究成果の概要(英文)：In this research, I apply global supply chain information to network theory. In addition, I succeed to develop spatial footprint analysis. Spatial footprinting offers the potential to link any remote sensing or earth observatory GIS data that is tagged to an economic sector to any multi-regional input-output (MRIO) based economic model. We published many papers in journals including Nature Ecology & Evolution, Nature Geoscience, Environmental Research Letters, and Environmental Science & Technology.

研究分野：産業エコロジー

キーワード：GIS 多地域間産業連関分析 MRIO 関税 都市 フットプリント 空間的フットプリント

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

各国の経済が成長すると同時に貿易が増加にすにつれて、一国の消費はその国及び他の国で様々な環境問題を引き起こしてきた。これまでの研究で、ある国やある製品の貿易に伴う様々な環境負荷が明らかになってきた。例えば、これまでの研究で各国の消費に伴って、その他の国で絶滅の危機に晒されている種数などを明らかにしてきた。また、各国の消費が引き起こす生産過程で使用される資源量なども定量化してきた。このような背景の中で、一部は十分に明らかになってきたが、貿易に伴う環境負荷のさらなる理解が求められている。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、本研究では、グローバルサプライチェーンに伴う環境負荷をネットワークとして捉え、グラフ理論、特にクラスター分析などに応用することを目的とした。また、貿易に伴う環境負荷のさらなる理解のための分析方法の開発も副次的に目的としてきた。

3. 研究の方法

これまでに研究代表者らが開発してきた Eora 多地域間産業連関表や事例分析として日本の産業連関表を利用しながら、複数の新たな方法論の開発そのものが研究の主な目的である。本研究では、主に二つの分野で新たな方法論を開発してきた。

- 産業連関分析にネットワーク分析を応用した。主にクラスター分析および媒介中心性を産業連関分析に適用させた。これまでも産業連関分析とクラスター分析を組み合わせた研究はあったが、産業間の無限に続く取引を十分に考慮せずにクラスター分析を行っていた。そこで、クラスターを形成する基準を設定し、どの方法を用いてクラスター分析をすれば良いのかを明らかにした。また、媒介中心性についても、これまでに産業を中心としたものはあったが、取引を対象としてもものがなかったので、その方法論を開発した。
- 貿易に伴う環境負荷は、ある国の消費を通じて、世界各国で環境負荷を発生させる。ただし、各国のどこで環境負荷を発生させているかは明らかではなかった。例えば、生物多様性への影響であれば、日本の消費がインドネシアでどれだけ生物多様性に影響を与えているのかが分かっても、インドネシアのどこで生物を絶滅の危機に晒しているのかが分からない。よって、日本がインドネシアで大きな生物多様性へのインパクトを与えていると、インドネシアからの輸入を減らすなどといった対策を提案せざるを得ない。そこで、地理情報とサプライチェーンを組み合わせること、ある国の消費が、世界のどこで生物多様性を危機に晒しているのかを明らかに方法を開発した。方法は、空間的フットプリント分析と名付け後の研究成果に書く、様々な問題に応用した。

4. 研究成果

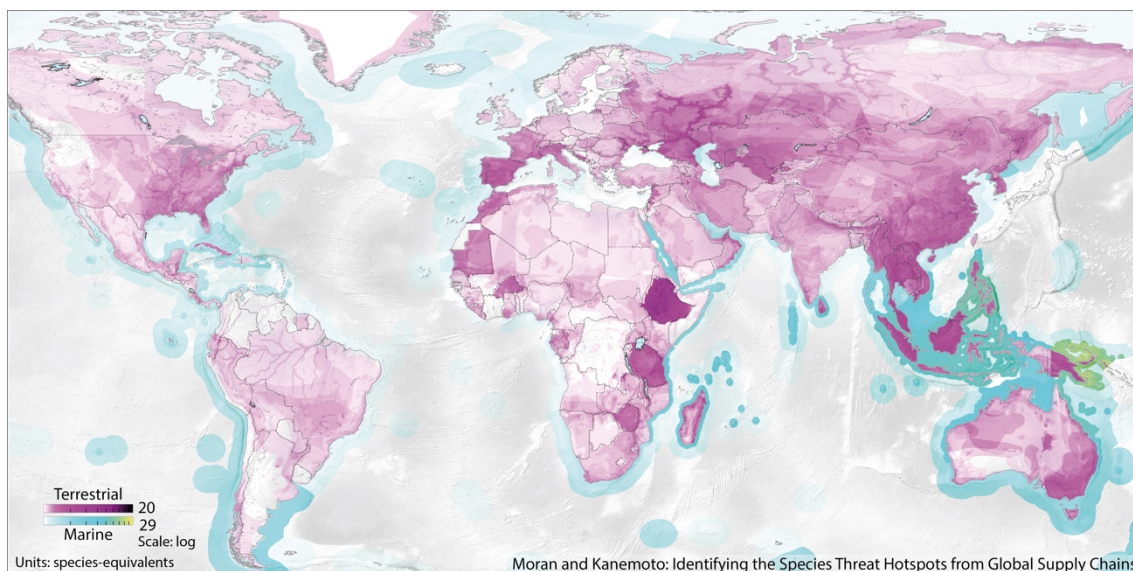
研究成果として、開発したネットワークに関する方法論を様々なデータセットに適用させ、どの産業がどの産業と共同で排出削減に取り組むべきかを提案する論文を *Economic Systems Research* 誌に出版した。また、取引の媒介中心性に関する論文についても、どの取引を通るサプライチェーンがエネルギーや CO₂ の観点から重要かを明らかにした。研究成果は、*Energy Economics* 誌に出版した。

開発した、空間的フットプリント分析を二酸化炭素、大気汚染物質、そして絶滅危惧種に応用することで、その応用可能性を明らかにした。二酸化炭素について、「Mapping the Carbon Footprint of Nations」と題する論文を *Environmental Science & Technology* 誌に出版し（図 2 参考）、*Science* 誌の Editor's Choice にも選ばれた（*Science*, 354 (6309), p.193-194, 2016）。大気汚染物質について、「Tracing Global Supply Chains to Air Pollution Hotspots」と題する論文を *Environmental Research Letters* 誌に出版した。最後に、生物多様性について、「Identifying the Species Threat Hotspots from Global Supply Chains」と題する論文を *Nature Ecology & Evolution* 誌に出版し（図 1 参考）、*Nature* 誌のリサーチハイライトでも取り上げられた（*Nature*, 541 (7636), p.137, 2017）。これらの研究の結果、各国の消費によって、どこで二酸化炭素、大気汚染物質が排出され、種が絶滅の危機に晒されているのかが明らかになった。研究結果は、例えば、企業が自身の調達のうち、どこで生物多様性に影響を与えてそうかなどの分析に利用することができる（図 1 参考）。

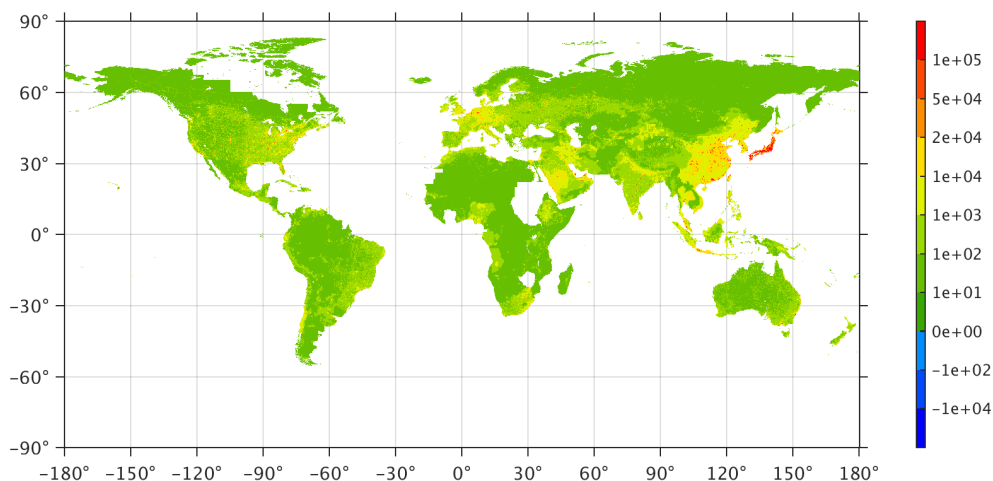
また、空間的フットプリントでは、ある国の消費による世界各国での地理上での環境負荷の可視化を行ったが、世界の各地域・都市・地点での消費による影響はわからなかった。そこで、世界 13,000 都市のカーボンフットプリントを推計する研究も合わせて実施し、成果は *Environmental Research Letters* 誌に出版した。

最後に、これらの研究結果に加えて、辺に着目したクラスター分析、ネットワークにおける産業の役割に関する研究、家計消費に着目した研究などを進めており、本報告書出版以降も複

数の論文が公表される予定である。



日本の消費によって、世界各国のどこで種が絶滅の危機に晒されているかを表した図



2008年の日本の消費によって、世界各国のどこでCO₂が排出されているのかを表した図

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

- [1] Moinul Islam, Keiichiro Kanemoto^{*}, Shunsuke Managi^{*}. “Impact of Trade Openness and Sector Trade on Embodied Greenhouse Gases Emissions and Air Pollutants” *Journal of Industrial Ecology*, 20 (3), pp.494-505, 2016
- [2] Azusa Oita, Arunima Malik, Keiichiro Kanemoto, Arne Geschke, Shota Nishijima, Manfred Lenzen^{*}. “Substantial nitrogen pollution embedded in international trade” *Nature Geoscience*, 9, pp.111-115, 2016
- [3] Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto^{*}. “Tracing Global Supply Chains to Air Pollution Hotspots” *Environmental Research Letters*, 11 (9), 094017, 2016
- [4] Keiichiro Kanemoto^{*}, Daniel Moran, Edgar Hertwich. “Mapping the Carbon Footprint of Nations” *Environmental Science & Technology*, 50 (19), pp.10512-10517, 2016
- [5] Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto^{*}. “Identifying the Species Threat Hotspots from Global Supply Chains” *Nature Ecology & Evolution*, 1 (1), 0023, 2017
- [6] Tesshu Hanaka^{*}, Shigemi Kagawa, Hirotaka Ono, Keiichiro Kanemoto. “Finding Environmentally Critical Transmission Sectors, Transactions and Paths in Global Supply Chain Networks”, *Energy Economics*, 68, pp.44-52, 2017.
- [7] Daniel Moran^{*}, Keiichiro Kanemoto, Magnus Jiborn, Richard Wood, Johannes Többen, Karen Seto. “Carbon footprints of 13,000 cities”, *Environmental Research Letters*, 13 (6), 064041, 2018.

- [8] Keiichiro Kanemoto^{*}, Tesshu Hanaka, Shigemi Kagawa, Keisuke Nansai. “Industrial clusters with substantial carbon-reduction potential”, *Economic Systems Research*, Accepted.
- [9] Moinul Islam, Keiichiro Kanemoto^{*}, Shunsuke Managi^{*}. “Growth potential for CO₂ emissions transfer by tariff reduction”, *Environmental Research Letters*, 14, 024011, 2019.

〔学会発表〕（計 13 件）

口頭発表

- [1] Azusa Oita, Arunima Malik, Keiichiro Kanemoto, Shota Nishijima, Hiroyuki Matsuda, Manfred Lenzen “Construction of global nitrogen footprint model” *The 8th International Conference on Industrial Ecology*, Guildford, July 2015
- [2] 金本圭一朗. “国際貿易に伴う環境負荷および生態系評価” *日本生態学会第63回全国大会*, 仙台, 2016年3月
- [3] 種田あずさ, Arunima Malik, 金本圭一朗, Arne Geschke, 西嶋翔太, Manfred Lenzen. “窒素フットプリント指標を用いた国際貿易による窒素汚染の評価” *日本生態学会第63回全国大会*, 仙台, 2016年3月
- [4] Keiichiro Kanemoto, Daniel Moran. “Mapping the Environmental Footprint of Nations” *The 12th EcoBalance*, Kyoto, October 2016
- [5] Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto. “Identifying the Species Threat Hotspots from Global Supply Chains” *The 12th EcoBalance*, Kyoto, October 2016
- [6] 金本圭一朗, 土中哲秀, 加河茂美. “CO₂排出集約的な産業のクラスター分析” *環太平洋産業連関分析学会*, 高知, 2016年10月
- [7] 金本圭一朗, Daniel Moran. “空間的環境フットプリント分析” *日本 LCA 学会*, つくば, 2017年3月
- [8] Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto. “Spatially Explicit Footprints for Biodiversity, Carbon, and Air Pollution” *The 25th International Input-Output Conference*, Atlantic City, June 2017
- [9] Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto. “Mapping the carbon, air pollution, and biodiversity footprints of nations: A GIS + MRIO approach” *The 9th International Conference on Industrial Ecology*, Chicago, June 2017
- [10] 土中 哲秀, 加河 茂美, 金本 圭一朗, 小野 廣隆. “総流量モデルに基づく環境帰属分析” *環太平洋産業連関分析学会*, 大阪, 2017年10月
- [11] Keiichiro Kanemoto, Daniel Moran. “Mapping the carbon, air pollution, and biodiversity footprints of nations: A GIS + global supply chains” *SETAC Europe 28th Annual Meeting*, Rome, Spotlight Poster Presentation, May 2018
- [12] Keiichiro Kanemoto, Daniel Moran. “Mapping the carbon, air pollution, and biodiversity footprints of nations: A GIS + global supply chains” *Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting*, Honolulu, June 2018
- [13] 土中哲秀, 金本圭一朗, 加河茂美. “帰属分析を用いた環境経済構造の把握” *環太平洋産業連関分析学会*, 名古屋, 2018年11月.

ポスター発表

- [1] Keiichiro Kanemoto, Daniel Moran. “Mapping the carbon, air pollution, and biodiversity footprints of nations: A GIS + global supply chains” *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, Chiba, May 2017
- [2] Keiichiro Kanemoto, Daniel Moran. “Mapping the carbon, air pollution, and biodiversity footprints of nations: A GIS + global supply chains” *SETAC Europe 28th Annual Meeting*, Rome, May 2018
- [3] Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto, Magnus Jiborn, Richard Wood, Johannes Többen, Karen Seto. “Carbon footprints of 13,000 cities” *Gordon Research Conference on Industrial Ecology*, Les Diablerets, May 2018

〔その他〕

ホームページ等

研究成果の一部を掲載したホームページ:

Global Gridded Model of Carbon Footprints (GGMCF)

<http://citycarbonfootprints.info/>

※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、研究者個人に帰属されます。