

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 4 月 14 日現在

機関番号：34419

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2023

課題番号：21K20142

研究課題名（和文）二酸化炭素排出削減に向けた190国の製造業のサプライチェーン効率性分析

研究課題名（英文）CO2 reduction policy based on supply chain efficiency analysis in global manufacturing sectors

研究代表者

高藪 広隆（Takayabu, Hiroataka）

近畿大学・産業理工学部・講師

研究者番号：50907798

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、多地域産業連関分析モデルとデータ包絡分析法を組み合わせ、グローバルサプライチェーン構造を考慮した国・産業レベルの効率性分析モデルを開発した。43カ国の製造業18部門のサプライチェーン効率性分析モデルを行った研究成果は、2024年2月に査読付英文誌のHeliyonに単著論文として掲載された。本研究結果から、労働集約型産業や資本集約型産業と比べて、技術集約型産業（電子機器製造業等）は特に、上流サプライヤーの環境生産性が低下傾向にあることが明らかになり、生産段階だけでなく調達段階にも配慮した生産活動がサプライチェーン全体の脱炭素化に向けて重要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生産活動で用いられる投入（労働やエネルギー、中間財）や生産活動から生み出される産出（付加価値や汚染物質）のデータを用いた効率性・生産性分析は広く行われてきたが、本研究では生産活動と直接関係する投入・産出データに加えて、上流産業の生産活動で用いられた投入・産出データを利用することで、製造業の直接的・間接的な生産活動の効率性評価を行った。生産段階のコスト削減のために安価な財を調達することは、上流産業のサプライチェーン構造の変化をもたらす。結果としてサプライチェーン全体で効率性にどのような影響があるかについて、本研究は産業連関分析とデータ包絡分析という2つの手法を組み合わせることで取り組んでいる。

研究成果の概要（英文）：In this research project, I developed efficiency analysis models considering global supply chain structure by combining multi-regional input-output analysis model and data envelopment analysis. The research was published as a single-author paper in the peer-reviewed journal Heliyon in February 2024. The research found that technology-intensive industries (e.g., electronic equipment manufacturing) in particular tend to have lower environmental productivity of upstream suppliers than labor- and capital-intensive industries, suggesting that production activities that consider not only the production stage but also the supplier stage are important for decarbonizing the entire supply chain.

研究分野：環境経済学

キーワード：生産性・効率性 データ包絡分析法 産業連関分析 気候変動 環境経済学

1. 研究開始当初の背景

近年、CO₂などの温室効果ガス排出量増加により気候変動問題は深刻化している。国際エネルギー機関によると、2018年の世界全体のCO₂排出量は約335億トンであり、そのうち43%が製造業部門に由来している。IPCC第5次評価報告書では、製造業における効率性・生産性の改善によるCO₂削減が重要であると述べられており、多くの研究が製造業の生産活動の効率性・生産性評価を行ってきた。しかしながら、これらの既存研究は生産活動に直接利用された労働・資本・エネルギー・中間財などの投入データと付加価値額やCO₂排出量などの産出データに基づく分析であり、生産活動の上流産業で用いられた投入・産出データを考慮していなかった。財の生産活動は複雑なグローバルサプライチェーンの上に成り立っており、サプライチェーン全体の生産活動の効率性・生産性を分析することは、包括的なCO₂排出削減策を議論する上で重要な視点となり得る。本研究では、サプライチェーン全体の生産活動を製造段階（財の生産活動）と供給段階（財の生産に付随する上流産業での生産活動）に区別して、サプライチェーン効率性を分析するモデル開発と実証分析を行う。

2. 研究の目的

本研究の目的は、①産業に付随するサプライチェーンを考慮した効率性分析モデルを開発し、②世界各国の製造業部門における技術政策・サプライチェーンマネジメントを通じた包括的なCO₂削減政策を議論することである。国・産業レベルの製造段階のエネルギー効率性や生産性を分析してきた既存研究と比べて、本研究は国・産業に付随する上流産業での生産活動も供給段階として効率性分析で考慮する点に新規性を持っている。また、サプライチェーン効率性の評価モデルは発展途上であり、モデル開発・実証分析を通してサプライチェーン全体での包括的CO₂削減政策を議論しようとする点に本研究課題は政策的意義・創造性を持っている。

3. 研究の方法

図1に示される製造段階・供給段階の投入・産出データを推計するために、本研究ではMRIO Modelを用いる。投入データとして、雇用者報酬（ドル）、資本ストック額（ドル）、エネルギー消費量（ジュール）、中間財投入額（ドル）を、望ましい産出データとして付加価値額（ドル）を、望ましくない算出データとしてCO₂排出量（トン）を用いる。

本研究の効率性分析では、データ包絡分析法 (Data Envelopment Analysis: DEA)を用いた。DEAはCharnes *et al.* (1978)によって開発された、複数の意思決定主体 (Decision Making Units: DMUs)の相対的な効率性を多投入・多算出のデータを用いて測定する手法であり、オペレーションズ・リサーチ、経済、経営、環境分野など、幅広い分野で分析に用いられている。本研究では、Färe *et al.* (2001)によって開発されたDirectional Distance Function (DDF)の収穫一定モデルを用いて製造業のサプライチェーンの製造・供給段階の環境効率性評価を行う。本研究では、複数年のデータがあるパネルデータを分析に用いるが、効率性分析の際は全ての年のデータをプールして効率性評価を行う。

また、本研究では、World Input-Output Database (WIOD)からデータを入手して分析を行う。WIODには、2000年から2014年の43か国とその他の地域 (Rest of the World) のデータが公表されている。また、効率性評価では、4つの投入（労働、資本、エネルギー、中

間財)と2つの産出(付加価値、CO₂排出量)を用いる。本研究では、労働・資本・中間財・付加価値に関するデータは金額ベース、エネルギー・CO₂排出量に関するデータは物量ベースであり、金額ベースのデータについてはWIODで公表されているデフレーターを用いて実質化を行ったうえで分析に用いた。

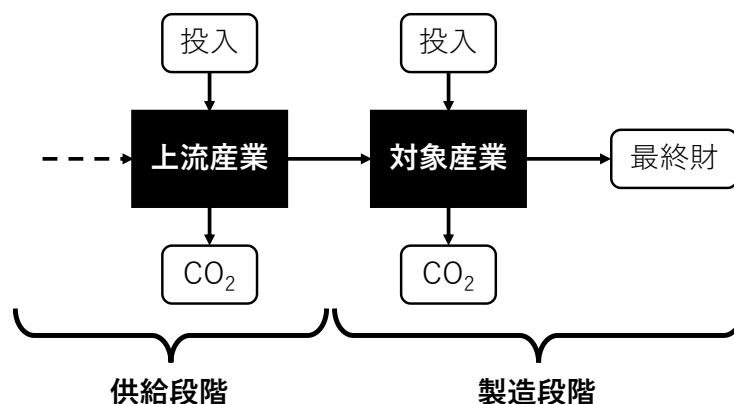


図1.分析モデルの投入産出構造

出典：技術情報協会 (2023)「CO₂排出量の算出と削減事例」第2章7節

4. 研究成果

図2は、2000年から2014年の43か国の技術集約型製造業5部門の製造段階の非効率性スコアの平均値の推移を示している。図2から、製造段階については全ての部門において環境効率性が改善傾向にあることが示さ、2000年から2014年の技術集約型製造業5部門については、生産技術の進歩や設備投資により生産活動の非効率性が解消されつつあることが示唆された。特に自動車等製造業においては、2000年から2014年にかけて22%の非効率性が解消されたことが示された。一方で、コンピュータ等製造業では環境効率性は改善されているものの、2000年から2014年にかけての改善度合いは6%と小さいことが示された。

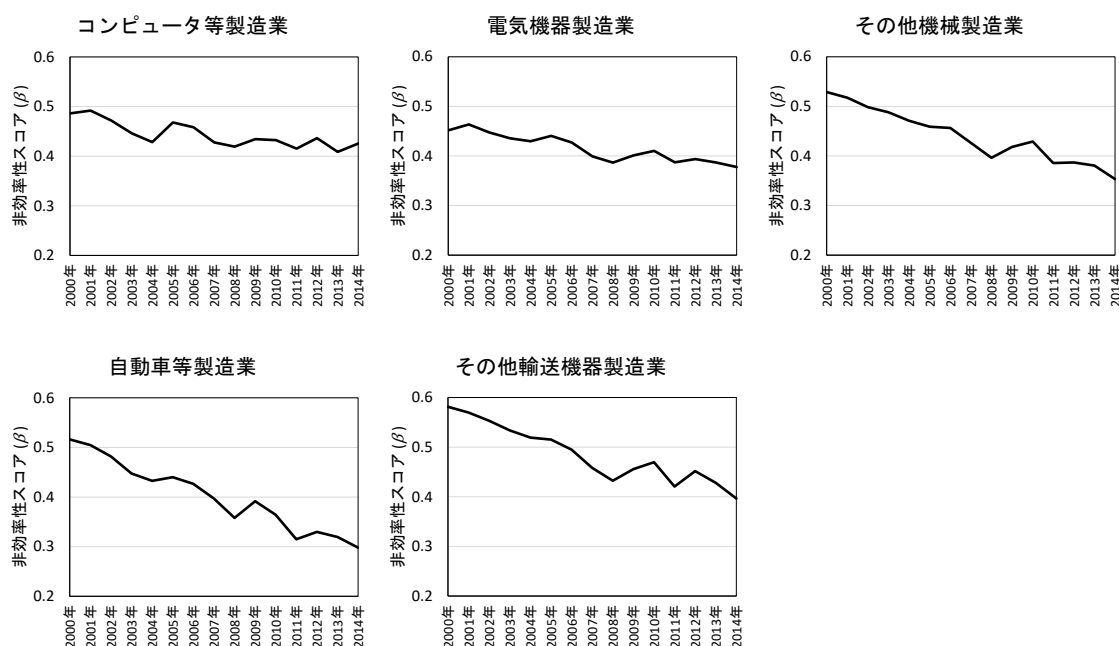


図2. 製造段階の環境効率性の平均値の推移

出典：技術情報協会 (2023)「CO₂排出量の算出と削減事例」第2章7節

図3は、2000年から2014年の43か国の技術集約型製造業5部門の供給段階の非効率性スコアの平均値の推移を示している。図3から、コンピュータ等製造業部門以外の全ての部門において供給段階の環境効率性が改善傾向にあることが示された。コンピュータ等製造業部門を除く4部門については、サプライチェーンマネジメントや上流サプライチェーンでの生産技術進歩や設備投資により、上流サプライチェーンの生産活動の非効率性が解消されつつあることが示唆された。しかしながら、供給段階の非効率性の解消度合いは、製造段階の解消度合いと比較すると小さいことが結果から示されている。

供給段階の非効率性の解消度合いが製造段階の解消度合いと比較して小さい要因は、供給段階の環境効率性の改善のしやすさと環境効率性を改善するインセンティブが、製造段階におけるそれらと比較して小さいことであると考えられる。製造段階で直接かかる費用や直接排出される環境負荷は、事業者の意思決定でコントロールしやすく、事業者に直接的なメリットをもたらす。費用面では、より安い調達先から財を購入したり、より安い代替財を購入したりすることは、事業者の利益増大に直接的に貢献する。環境面では、よりエネルギー効率の高い設備の導入や脱炭素技術の導入を通して環境負荷を低減することは実現可能性が高い策となる。一方で、調達先の変更や新しい設備・技術の導入が上流サプライチェーン全体で発生する環境負荷にどのような影響を与えるかについては実態が把握しづらく、事業者の意思決定でコントロールできる部分も小さい。上流サプライチェーンで発生する環境負荷の低減については、事業者にとってメリットを可視化しづらいのが現状である。

このような現状に対して、事業者によるライフサイクルアセスメントやScope 1,2,3排出量の算定は、事業者が供給段階での環境負荷の実態を把握し、サプライチェーンでの排出削減を促すことに貢献している。また、欧州連合（EU）においては、2023年5月に炭素国境調整メカニズムを創設する規則が発行し、このような規則の導入は事業者が上流産業での間接排出を削減するインセンティブをより大きくすることに貢献するであろう。

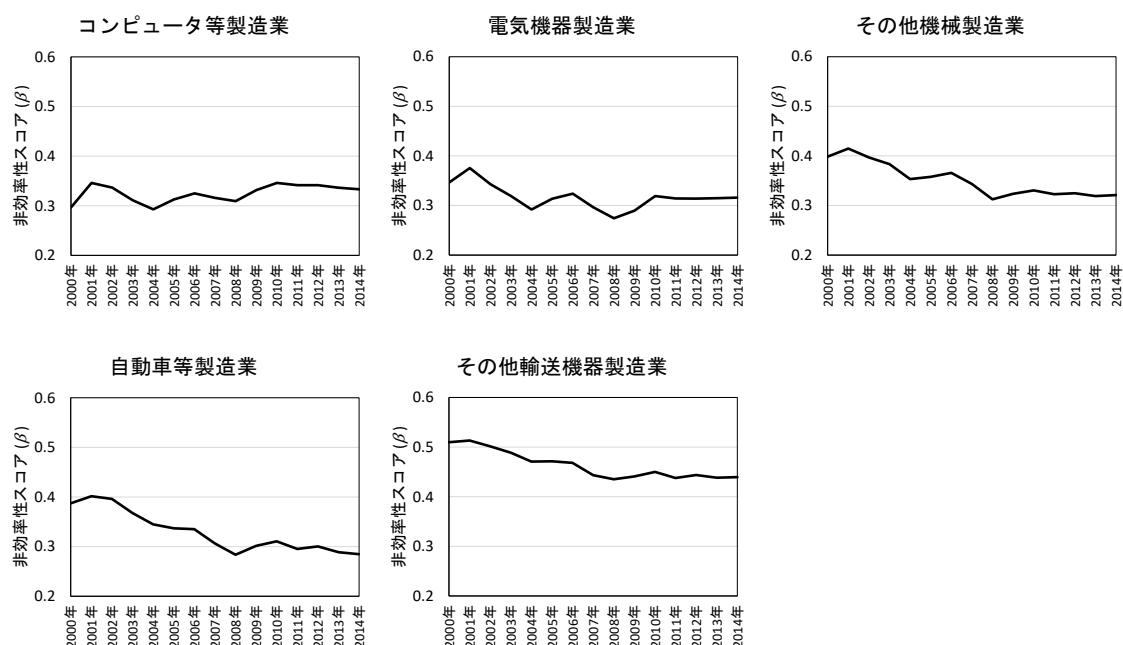


図3. 供給段階の環境効率性の平均値の推移

出典：技術情報協会 (2023) 「CO₂排出量の算出と削減事例」第2章7節

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takayabu Hirotaka	4. 巻 10
2. 論文標題 Measuring performance of supply chains based on data envelopment analysis and multi-regional input-output analysis: An application to 18 manufacturing sectors in 43 countries	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e25881 ~ e25881
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.heliyon.2024.e25881	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 高敷広隆
2. 発表標題 製造業サプライチェーンの環境効率性分析と構造変化が与える影響分析
3. 学会等名 第17回 日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高敷広隆, 江口昌伍, 中本裕哉
2. 発表標題 Measuring performance of supply chains based on network Data Envelopment Analysis and multi-regional input-output analysis in manufacturing sectors
3. 学会等名 International Conference on Data Envelopment Analysis (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takayabu Hirotaka
2. 発表標題 Environmental Productivity of Power Generation Industry: Supply Chain Performance Measurement Based on Data Envelopment Analysis and Multi-Regional Input-Output Analysis
3. 学会等名 ICES 2024: 8th International Conference on Economic Structures (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 技術情報協会	4. 発行年 2023年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 568
3. 書名 CO2排出量の算出と削減事例 (第2章 7節)	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------