

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：17102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20167

研究課題名（和文）データ包絡分析及び産業連関分析の統合型サプライチェーン効率性評価モデルの構築

研究課題名（英文）Development of an Integrated Supply Chain Efficiency Evaluation Model for Data Envelopment Analysis and Input-Output Analysis

研究代表者

中石 知晃（Nakaishi, Tomoaki）

九州大学・経済学研究院・講師

研究者番号：30967021

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、ネットワークDEAと産業連関分析を統合した新たなサプライチェーン効率性評価モデルの構築を行った。具体的には、研究期間内に以下2つの分析テーマに取り組んだ：ネットワークDEAモデルに産業連関分析モデルを応用した独自のサプライチェーン効率性評価モデルの構築；多地域産業連関表を用いた世界164か国の電力セクターのサプライチェーン効率性分析。及びのテーマに関して、昨年度に2件の学会発表を行った。査読付き英文誌での研究成果の発表へ向け、今後も関連の研究活動を継続する予定。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新型コロナウイルスの流行、ロシアのウクライナ侵攻、台湾有事への懸念等を事の発端とし、近年、我が国周辺のグローバルサプライチェーンの脆弱性が憂慮される事態となっている。グローバルサプライチェーンの再構築がその機運の高まりを見せる中で、本研究が新たに導入した「サプライチェーンの生産効率性」という概念は、これまでの生産経済学における生産効率性の概念とは一線を画すものであり、サプライチェーンに定量的な評価基準を付与するという点において、政策的意義の極めて高いものであると考える。

研究成果の概要（英文）：This study developed a new supply chain efficiency evaluation model that integrates network DEA and Input-Output analysis. Specifically, the following two analyses were conducted during the research period: (1) construction of a supply chain efficiency evaluation model by applying an Input-Output analysis model to a network DEA model; and (2) supply chain efficiency analysis of the electricity sector in 164 countries based on a multiregional Input-Output table. Two conference presentations were made in the last fiscal year regarding the analysis of (1) and (2). The research will be continued for publication in a peer-reviewed English journal.

研究分野：環境経済学；資源・エネルギー経済学

キーワード：グローバルサプライチェーン 生産効率性 データ包絡分析 産業連関分析 電力産業

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。

1. 研究開始当初の背景

深刻化する気候変動問題緩和に向け、CO₂ に代表的な温室効果ガスの排出削減は国際的な喫緊の課題である。産業活動における生産効率性の改善（例えば、生産時に必要なエネルギー消費の削減）は、人間活動の脱炭素化に向けた重要な手段の一つである。効率性の改善へ向けて、まずは、現状の効率性レベルとその改善可能性の把握が決定的に重要である。このような背景から、これまでに膨大な量の研究が、様々な生産主体（国・産業・企業）における生産活動を対象に効率性評価を行ってきた。

データ包絡分析（Data Envelopment Analysis: DEA）は、経済・経営学分野で広く用いられる生産効率性評価手法である。具体的に、DEA は、複数の生産主体に基づく投入（労働・資本・エネルギー・中間財）・産出（付加価値・CO₂ 排出）データに、線形計画問題に基づく数理計画法を適用し、各主体の相対的な生産パフォーマンス（効率性）を、0（最低値）から 1（最高値）までの基準化された効率性スコア（産出 / 投入の比）で定量的に評価する。

DEA に基づく既存の効率性評価フレームワークは、あらゆる生産主体の“直接的な”生産活動におけるパフォーマンスを評価できるが、付随するサプライチェーンを考慮した“間接的な”生産効率性を評価できない。例えば、仮にサプライチェーンの直接段階が効率的であったとしても、間接段階が非効率的であれば、そのサプライチェーンは全体として生産“非”効率的である（図 1 参照）。あらゆる財の生産は、複雑化するグローバルサプライチェーンの上に成り立っており、生産活動に付随するサプライチェーン全体を考慮した生産効率性の定量化は、CO₂ 排出削減政策についてより包括的に議論する上で決定的に重要である。本研究では、既存の DEA フレームワークの欠点を克服するため、多地域産業連関（Multi Regional Input-Output: MRIO）分析と Network DEA モデルの手法を統合し、複数国/地域の特定の産業に付随するサプライチェーンネットワークを考慮した、包括的な生産効率性評価モデルの構築を目指す。

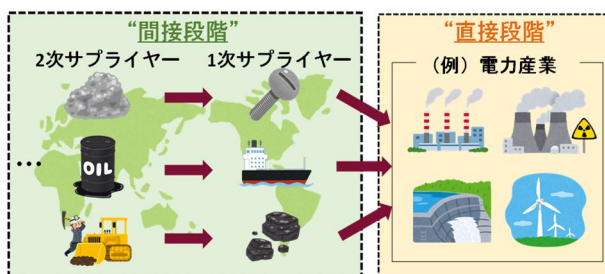


図 1. サプライチェーンにおける直接・間接段階の概念図

2. 研究の目的

本研究の主な目的は、上述したサプライチェーン効率性評価モデルの構築と、電力産業を対象とした実証分析による構築モデルの機能性・実用性の検証である。既存の DEA フレームワークでは、複数事業体の生産活動の効率性を“相対的に”比較評価することで、先端技術へのキャッチアップによる CO₂ 削減効果を推計できるが、複雑なサプライチェーン構造を考慮することができない。一方で、既存の産業連関（Input-Output: IO）フレームワークでは、サプライチェーン構造を“網羅的に”考慮した影響評価が可能であるが、複数のサプライチェーンネットワークを相対的に比較評価できない。このような表裏一体の関係性を踏まえ、本研究では、DEA と IO の両分析モデルを効果的に統合し、それぞれが持つ利点を活かし欠点を補完し合えるような新たな分析的枠組みの開発を行う。

また、電力産業は、国民の生活を支える基幹産業であると同時に、世界の産業由来 CO₂ 排出量の約 40% を占める、炭素集約型産業でもある。しかしながら、関連研究のほとんどは、ライフサイクルの視点を欠いており、サプライチェーン内の間接（上流）段階における生産効率化（脱炭素化）についての議論を十分に行っていない。複雑なサプライチェーン構造の上に成り立つ各国電力産業が、真の意味での効率化（脱炭素化）を達成するために、本研究は、各国電力産業サプライチェーンを対象とした実証分析を通じ、包括的な CO₂ 削減戦略について議論する。

3. 研究の方法

本研究課題の分析フレームワークは以下の ~ に示すとおりである：

最新の MRIO 表から、単位構造モデルを用い、世界 164 カ国の電力産業サプライチェーンの直接・間接段階における投入・産出データ（2019 年）をそれぞれ整備する。

整備した各国電力産業サプライチェーン（直接・間接段階）の投入・産出データと Network DEA モデルを基に、本研究独自のサプライチェーン効率性評価モデルを構築する。

電力産業サプライチェーン全体の生産効率性スコアと、サプライチェーンの直接・間接の各段階における生産効率性スコアをそれぞれ推計し、推計スコアに従って、国別・生産段階別の CO₂ 削減効果も推計する。

最終的に、これらの分析結果に基づき、直接段階での効率性改善（生産マネジメント）と間接

段階での効率性改善(サプライチェーンマネジメント)のどちらが産業全体の包括的な脱炭素化に向けて重要(効果的)か?について“国別に”議論する。

4. 研究成果

図2には、世界43か国の電力部門のサプライチェーン全体、直接段階、間接段階の全要素エネルギー効率性スコアの箱ひげ図がそれぞれ示されている。図2によると、各段階のスコアの平均値は、サプライチェーン全体が0.49、直接段階が0.54、間接段階が0.43である。また、サプライチェーン全体の効率性スコアが最も高い国は、ノルウェー(0.84)で、最も低い国はインド(0.11)である。直接段階でフロンティアを形成する国は、アイルランド、スイス、ノルウェー、ブルガリア、フランス、ポルトガル、ルーマニアの7か国であり、これらの国々の直接段階の全要素エネルギー効率性スコアはともに1.0である。また、間接段階でフロンティアを形成する国々は、キプロス、カナダ、デンマークの3か国である。

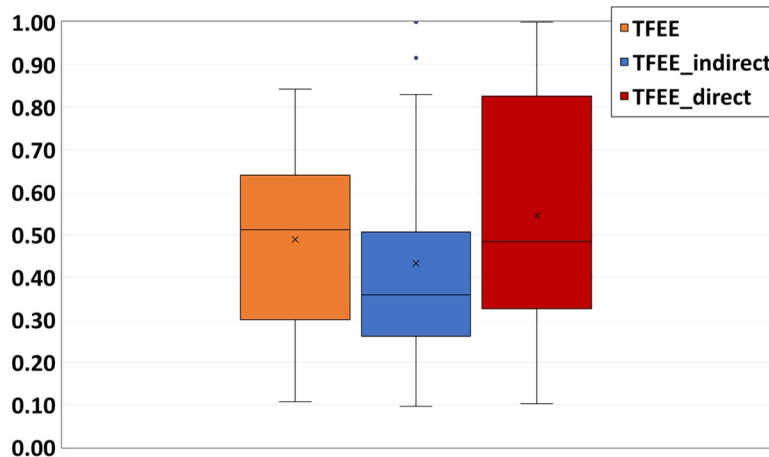


図2. 電力部門のサプライチェーン全体、直接段階、間接段階の全要素エネルギー効率性スコアの箱ひげ図

図3は、国別の直接段階の全要素エネルギー“非”効率性スコアである。尚、図3では、左から順に火力クラスター、水力クラスター、原子力クラスター、再生可能エネルギークラスターに所属する国々がアルファベット順にならんでいる。これらのクラスターは、各国の電源構成のデータにK平均法を適用することで割り当てされた。図3によると、直接段階の非効率性が平均的に最も少ないクラスターは、再生可能エネルギークラスター(0.21)であり、これに水力クラスター(0.24)、原子力クラスター(0.46)、火力クラスター(0.63)が続く形となっている。また、メタフロンティア要因分解を用いて、非効率性の要因をグループ内ギャップに起因するものとグループ際ギャップに起因するものの2種類に分解したところ、火力クラスターの国々には大きなグループ内ギャップが、一方で、原子力や再生可能エネルギークラスターに属する国々には大きなグループ際ギャップが存在することも分かった。

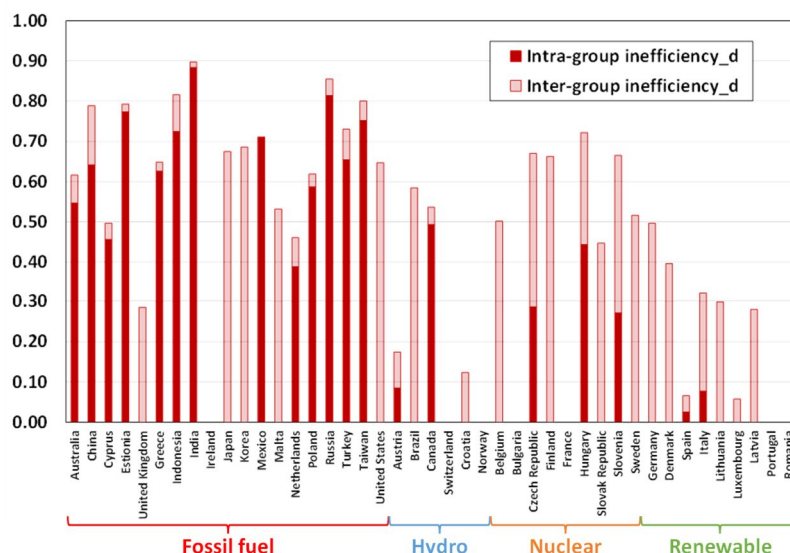


図3. 43か国の電力部門のサプライチェーン直接段階の全要素エネルギー非効率性スコア

図4は、国別のサプライチェーン間接段階の全要素エネルギー“非”効率性スコアである。図4によると、間接段階の非効率性が平均的に最も少ないクラスターは、水力クラスター(0.48)であり、これに再生可能エネルギークラスター(0.56)、火力クラスター(0.59)、原子力クラスター(0.60)が続く形となっている。また、メタフロンティア要因分解を行った結果、原子力クラスターに属する国々にはグループ内ギャップが、それ以外の国々にはグループ際ギャップが比較的多く存在することが明らかになった。

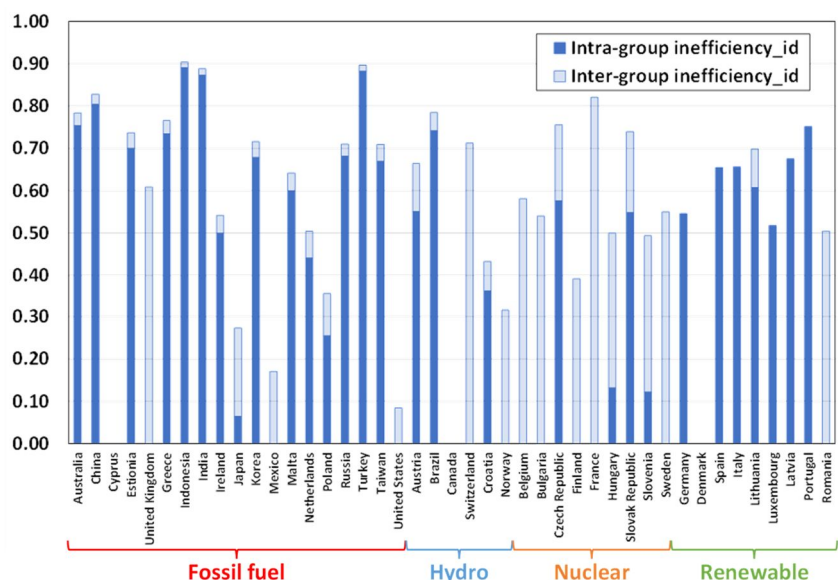


図4. 43 国の電力部門のサプライチェーン間接段階の全要素エネルギー非効率性スコア

図5は、国別のサプライチェーン全体の全要素エネルギー“非”効率性スコアである。図5によると、サプライチェーン全体の非効率性が平均的に最も少ないクラスターは、水力クラスター(0.56)であり、これに再生可能エネルギークラスター(0.38)、原子力クラスター(0.53)、火力クラスター(0.61)が続く形となっている。

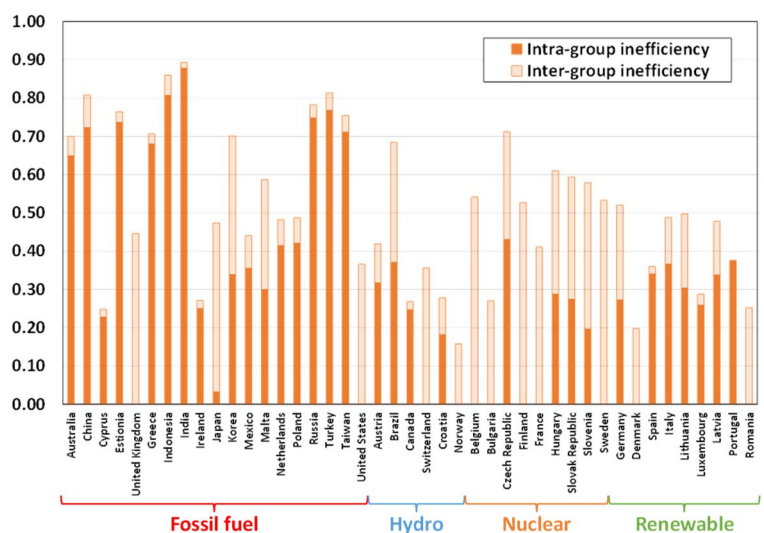


図5. 43 国の電力部門のサプライチェーン全体の全要素エネルギー非効率性スコア

最後に、図6は、図3~5で示した全要素エネルギー非効率性スコアを基に推計した国別・サプライチェーン段階別のエネルギー削減ポテンシャル(TJ)である。具体的に、これらのエネルギー削減ポテンシャルは、サプライチェーンの各段階に潜在する非効率性を各国が解消することで実際に達成される。図6によると、サプライチェーン全体を通して最もエネルギー削減余地が大きい国はアメリカであり、これに中国、そしてインドが続く。アメリカの削減ポテンシャルは、殆どが直接段階のグループ際ギャップに起因しており、言い換えればアメリカは、同じ火力グループに属する他の国々の生産構造を模倣したとしても、その非効率性を十分に解消することはできない。従って、アメリカは、他のクラスター(具体的に、水力や再生可能エネルギークラスター)への移行を積極的に検討する必要がある。一方で、中国はアメリカとは異なる削減ポ

テンシャルの性質を持っている。まず、中国には直接段階と同様にサプライチェーンの間接段階にも大きな削減可能性が潜在している。これは、（アメリカとは対称的に）中国にとって関連サプライチェーン（間接段階）のマネジメントが極めて重要であることを意味している。また、中国の直接及び間接段階の非効率性は、その殆どがグループ内ギャップに起因するものである。つまり、中国の電力部門には、同じクラスターに属する他国の生産構造を模倣することで多くのエネルギーを削減できる可能性が残されている。

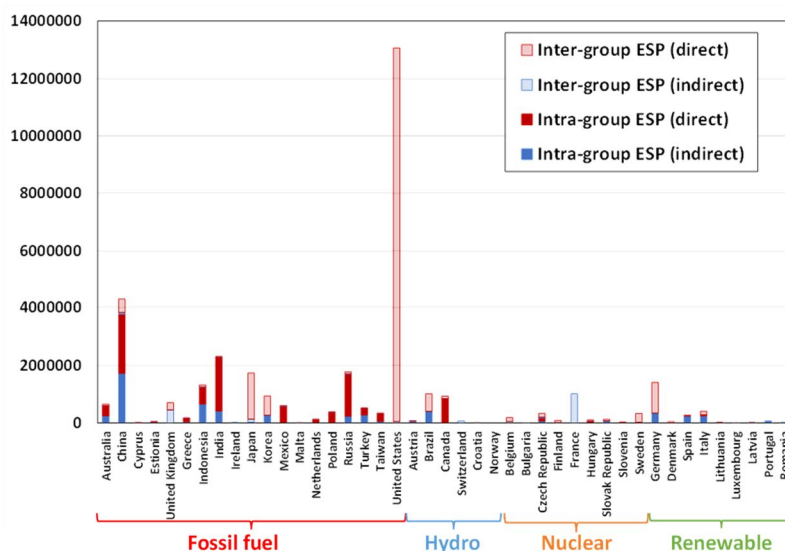


図 6. 43 か国の電力部門サプライチェーンのエネルギー削減ポテンシャル (TJ)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中石知晃, 高藪広隆, 前野啓太郎, 加河茂美
2. 発表標題 直接・間接的な生産活動を考慮した全要素エネルギー効率性評価モデルの構築
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2023年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中石知晃, 高藪広隆, 前野啓太郎, 加河茂美
2. 発表標題 グローバルサプライチェーンを考慮した全要素エネルギー効率性の測定
3. 学会等名 環境経済・政策学会2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鍛冶屋 智啓, 中石知晃
2. 発表標題 原発が周辺地域の社会経済に与える影響の再評価
3. 学会等名 第19回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 伊東 千智, 中石知晃
2. 発表標題 コンパクトシティが都市のCO2排出に与える影響
3. 学会等名 第19回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山口 豪介, 中石知晃
2. 発表標題 産業連関分析を応用した労働負荷フットプリントの推計フレームワークの構築
3. 学会等名 第19回日本LCA学会研究発表会
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

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