

# 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

## Total Factor Energy Efficiency Considering the Global Supply Chain

○中石知晃\*・高藪広隆\*\*・前野啓太郎\*\*\*・加河茂美\*

Tomoaki Nakaishi, Hirotaka Takayabu, Keitaro Maeno, and Shigemi Kagawa

### 1. はじめに

世界のエネルギー消費は、経済成長とともに増加を続けている。石油換算でのエネルギー消費量は、1965年以降、年平均2.5%で増加し続け、2019年には139億トンに達した[1]。大量のエネルギー消費は、我々の生活を便利で快適なものにする一方、地球温暖化や大気汚染といった環境問題の弊害も引き起こす。持続可能な社会の実現に向けて、単位生産当たりのエネルギー消費（つまり、エネルギー効率性）を向上させる必要がある。

最も単純なエネルギー効率性の評価方法は、生産活動における産出量（額）をエネルギー投入量（額）で割るというものである。ただし、この伝統的なエネルギー効率性の指標は、資本や労働といった他の生産投入要素による代替可能性を無視している点で限界がある[2]。この欠点を克服するために提案された包括的なエネルギー効率性指標が、全要素エネルギー効率性（Total Factor Energy Efficiency: TFEE）である[3]。

Hu and Wang[3]によって、指標が提案されて以降、多くの研究者が TFEE の概念を用いて様々な生産活動のエネルギー効率性の評価を行ってきた。しかし、この TFEE 指標には、生産活動の直接段階の効率性を評価することができるが、間接段階（サプライチェーン段階）における効率性を評価できないという致命的な欠点がある。現代において、あらゆる財の生産は複雑なグローバルサプライチェーン上に成り立っている。この点を踏まえると、生産の直接段階だけでなく間接段階の TFEE を包括的に評価するための新たな指標の作成が重要である。従って本研究では、産業連関分析（Input-Output Analysis）及びデータ包絡分析（Data Envelopment Analysis: DEA）の両アプローチを統合し、生産活動の間接（サプライチェーン）段階を考慮した新たな TFEE 評価モデルの構築を行う。

### 2. 分析方法

サプライチェーン全体、直接・間接段階における TFEE の評価モデルは、ネットワーク DEA モデル[4]を用いて定式化される（紙面の都合上、定式化については省略）。定式化されたサプライチェーンネットワーク DEA モデルを、産業連関分析[5]を用いて作成した投入産出データに適用することで、 $i$ 国の $j$ 産業におけるサプライチェーンの直接・間接的な

---

\* 九州大学経済学研究院 Faculty of Economics, Kyushu University  
〒819-0395 福岡市西区元岡 744 E-mail: [nakaishi@econ.kyushu-u.ac.jp](mailto:nakaishi@econ.kyushu-u.ac.jp)

\*\* 近畿大学産業理工学部

\*\*\* 九州大学経済学府

生産段階における TFEE スコア ( $TFEE_{ij}^d$  及び  $TFEE_{ij}^{id}$ ) と、それらを包括的に考慮したサプライチェーン全体の TFEE スコア ( $TFEE_{ij}$ ) を推計することができる。これらの効率性スコアは共に0 (最低値) から1 (最大化) の間で基準化される。本研究では、ケーススタディとして、多地域産業連関表 (World Input-Output Database: WIOD) [6]から作成した43カ国の電力部門サプライチェーン (2014年) の直接・間接的な投入産出データ (資本・労働・エネルギー・中間投入・最終需要) をベースに、これらの TFEE スコアの推計を行った。

### 3. 結果

TFEE スコアの43カ国の平均値は、0.22であった。最も TFEE の高かった国はルクセンブルク (0.55) とポルトガル (0.55) であった。最も TFEE の低い国はインド (0.04) であった。

図1には、各国電力部門サプライチェーンの TFEE スコアをエネルギーミックスクラスター別に示した箱ひげ図である。各ク

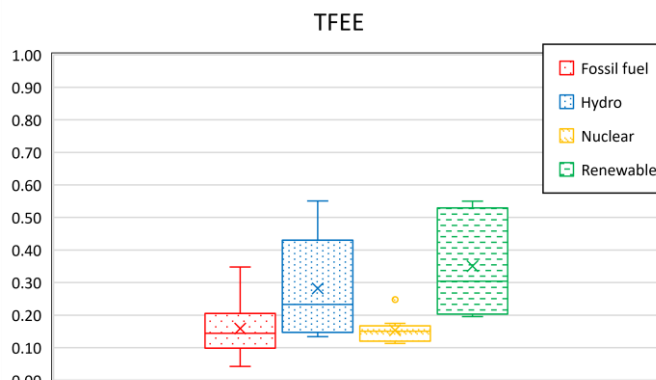


図1. サプライチェーン全体の TFEE スコア (エネルギーミックスクラスター別)

クラスターへの分類は、2014年時点の各国のエネルギーミックスに k-means クラスタリング法を適用することで行った。TFEE の平均値が最も高かったクラスターは、Renewable クラスタ (0.35) であり、これに Hydro クラスタ (0.28)、Fossil fuel クラスタ (0.16)、Nuclear クラスタ (0.15) が続いた。イギリス (Fossil fuel クラスタ、スコア: 0.35)、スイス (Hydro クラスタ、スコア0.55)、スロバキア (Nuclear クラスタ、スコア: 0.25)、ルクセンブルク・ポルトガル (Renewable クラスタ、スコア: 共に0.55) が各クラスターの中で最も高い TFEE スコアを示した。

### 4. 結論

本研究で提案された新たな TFEE 推計モデルにより、サプライチェーンの直接間接段階を考慮しても、エネルギー効率性の優劣は再生可能エネルギーに軍配が上がるということが明らかになった。本要旨では、(紙面の都合上) サプライチェーン全体の TFEE スコアの結果しか紹介できなかったが、本会では、サプライチェーンの直接・間接段階における TFEE スコア ( $TFEE_i^d$  及び  $TFEE_i^{id}$ ) の結果についても紹介する。また、本会までに、ケーススタディで用いたデータセット (他地域産業連関表) や分析 DEA モデルの見直し (メタフロンティア DEA 分析フレームワークの採用等) についても検討する予定である。

参考文献: [1] 資源エネルギー庁 HP. [2] Chang and Hu, 2010. Appl. Energy. 87, 3262-3270. [3] Hu and Wang, 2006. Energ. Policy 34, 3206-3217. [4] Tone and Tsutsui, 2010. Omega 38, 145-156. [5] Kagawa et al., 2013. Econ. Syst. Res. 25, 265-286. [6] Timmer et al., 2015. Rev. Int. Econ. 23, 575-605.