

世界の化学製品製造業47企業によるGHG排出量を 考慮した生産効率性分析

石鍋 渚¹・馬奈木 俊介²

¹非会員 Perdue University (Hovde Hall, 610 Purdue Mall, West Lafayette, Ind. 47907)

²非会員 東北大学大学院環境科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

E-mail:managi.s@gmail.com

気候変動の影響の緩和のため、現在世界各国で、温室効果ガス(GHG)の削減方法とその効果に関する研究が進んでいる。しかし、これら研究結果では、国全体もしくは工業セクター全体を分析対象としており、企業に焦点を当てた研究は少ないため、企業単位でのGHG排出量を考慮した生産効率性の変化を把握することは出来ない。一方で、低炭素社会の構築のためには、国や地域だけでなく、企業における取組が重要であり、その取り組みを効果的に促すためには、企業単位による生産効率性の違いや変化要因を把握することが必要である。そこで本研究では、47企業の化学製品製造業企業でのGHG排出量を考慮した生産効率性の変化を推計し、生産効率性の差が発生する要因について考察を行った。本研究結果より、企業統治の違いによってGHG排出量削減に対する姿勢が異なる可能性が明らかとなった。この結果を踏まえて、温室効果ガス削減を目指した国際的な政策を導入する場合には、各国の文化や企業統治に対する考え方を考慮した施策が必要である。

Key Words : Greenhouse gas, chemical industry, Weighted Russell directional distance model, scope 3

1. 背景と目的

気候変動の影響の緩和のため、現在世界各国で、温室効果ガス(GHG)の削減方法とその効果に関する研究が進んでいる。これら研究の多くは、地球全体・国・地域・技術を主たる分析対象とし、気候変動・人口・経済など様々な観点から描かれた将来シナリオに基づき、GHGの削減効果を評価するものであり、そのトレンドは中長期的な観点から気候変動対策の策定する際に、有益な情報として参照されている。しかし、これら研究結果では、国全体もしくは工業セクター全体を分析対象としており、企業に焦点を当てた研究は少ない。しかしながら、企業は経済発展を達成するうえで経済活動を行う重要なプレイヤーであるとともに、多くの化石燃料を消費しGHGを排出する汚染の主体でもある。加えて、市場競争は国家間や産業間ではなく企業間で行われており、企業単位でのデータを用いた分析を行うことで、初めて市場競争を踏まえた考察が可能になると考える。ゆえに、先行研究で国データやセクターデータを用いて示されてきた研究結果では、同一国内における市場競争を十分に考慮できていないと言えよう。

また、企業の市場競争力を表す生産性は企業が直面する外部条件によって変化する。例えば、一部地域で炭素制約を課せられた場合に、その地域に立地する企業は追加的なコスト負担を強いられるため、国際市場における競争力を失う。さらに、各国の歴史的背景や文化によって企業統治の考え方は異なり、ステークホルダー重視型の日本と、株主権を重視する米国型のスタイルでは、企業の環境保全取り組みに対する姿勢は異なっている¹⁾。こうした点に着目し、本研究では世界47企業を対象とし、異なる企業規模や企業国籍での外部要因や企業統治の違いによって、市場競争力を表す生産効率性がどのように異なるかを明らかにするため、企業単位でのGHG排出量を考慮した生産非効率性の変化を明らかにすることを目的とする。

GHG 排出量を考慮した生産性変化の推計方法としては、経済学分野の手法のひとつである生産関数を用いることが可能である。これは、生産関数の理論を応用し、生産関数の推計結果から生産性変化を算出する手法である。生産関数アプローチを用いたGHG排出量を考慮した企業の生産性分析の先行研究を表-1にまとめる。藤井ら(2006)²⁾による、日本のメーカー81社を対象とした分析、

Nakano and Managi (2008)³⁾の国内電力企業 10 社を対象とした分析、藤井ら(2010)⁴⁾による OECD 加盟 23 か国を対象とした化学製造業セクターの分析、また、Pandey and Dong (2009)⁵⁾や Chaudhuri et al. (2010)⁶⁾による中国、インドを対象にした分析が先行研究として存在する。しかしこれら生産性に関する研究も、地域もしくは産業など分析対象が限定的である。この理由として、多国間において比較可能な共通のデータ変数を企業単位で収集することが困難な点が挙げられる。

表 1. GHG を考慮した生産性の先行研究

	分析対象 (国・年)	推計方法	結論
藤井他 (2006) ²⁾	日本製造業 81 社、 2001-2003 年	ノンパラ メトリック 生産関数	国内製造業は TFP の上昇を達成、特に自動車業界において顕著
Nakano and Managi (2008)	日本電力会社 10 社 1978-2003 年	ノンパラ メトリック 生産関数	TFP は減少
Pandey and Dong (2009)	中国 119,000 製造業 インド 120,000 工場 1998-2003 年	パラメトリック 生産関数	インドよりも中国の TFP 改善が 11% 大きい (中国 12%、インド 0.5%以下)
藤井他 (2010) ⁵⁾	OECD 加盟 23 国 化学工業セクター、 1998-2005 年	ノンパラ メトリック 生産関数	TFP は 2000 年以降大幅に上昇。旧共産圏の国々は TFP が低下。
Chaudhuri et al. (2010) ⁶⁾	インド製造業、 2002-2006	パラメトリック 生産関数	TFP は上昇、労働生産性は TFP 上昇に強く貢献。一方で化学、電気機器製造業では資本集約度が TFP に負の影響を持つ。

2. 分析方法

生産性とは、個々の企業が如何に効率的に、インプット(資本・労働等)をアウトプット(売上等)に繋げているかを表す指標である。一定の資源からどれだけ多くの付加価値をうみだせるかという測定法と、一定の付加価値をどれだけ少ない資源で生み出せるかという測定法の 2 種類がある。

DDF 分析法とは線形計画法を用いた効率性評価方法であり、この手法の特色として、環境負荷物質も含めた複数の投入・産出要素を包括的に考慮することが可能なことが挙げられる。DDF 分析における非効率性とは、効率的な生産を達成している生産主体群(ベンチマーク)によって形成されるフロンティアラインと、非効率な生産を行っている生産主体との間で計測される相対的な非効率性を指す。

先行研究において、生産効率性評価の分析では環境に関するデータの不足から、企業の環境生産性が無視されている。生産効率性評価の計算には、各生産主体にとって最も効率性を高めるように決定される可変ウェイトを使用し、分析結果の客観性を担保する。可変ウェイトの値は評価対象サンプルのデータ分布で決定し、各サンプルで異なる値を取る。以上の方法を用いて本研究では、(1)

各企業における企業業界間の生産効率性格差から、国内で達成されているフロンティア技術による生産効率性を基準に推計した潜在的な CO2 排出削減量を計測すること、(2)さらに企業別の CO2 排出削減の限界費用を推計し、それを根拠にした最適な予算配分によって、限られた予算を効率的に利用した場合の削減効果を評価することが可能となる。

先行研究で適用されてきた DDF では、推計可能な効率性値は 1 つであり、個別の投入・産出データに関する効率性を評価することは不可能であった。こうした問題に対して Chen, Yu, Managi, Chang (2011)⁷⁾や Barros, Managi, Matousek (2012)⁸⁾によって提案・発展してきた手法として、WRDDM がある。WRDDM を利用することで、生産関数理論に基づいた効率性評価を、個別の変数に対しても行うことが可能である。本研究では、WRDDM を適用し、GHG の非効率性を個別に算出し、非効率性の違い企業規模や立地する地域別にどのように異なるかを明らかにする。Chen, Yu, Managi, Chang (2011)⁷⁾で示された WRDDM の計算式は、下記で表される。

$$\vec{D}_k(x, y, b|g) = \text{maximize} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \beta_n^k + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \beta_m^k + \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \beta_l^k \right) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j y_{mj} \geq y_{mk} + \beta_m^k g_{ymk} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j b_{lj} = b_{lk} + \beta_l^k g_{blk} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j x_{nj} \leq x_{nk} + \beta_n^k g_{xnk} \quad (4)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, k, \dots, J \quad (5)$$

ここで x は市場投入財、 y は市場産出財、 b は環境産出財を表す。 β_n^k は企業 k の投入財 n の非効率性、 β_m^k は市場産出財 m の非効率性、 β_l^k は環境産出財 l の非効率性を表す。 $g = (g_{ymk}, g_{blk}, g_{xnk})$ は方向ベクトルを意味し、 λ_j はフロンティアラインを規定するウェイトである。本書では、非効率性の解釈を容易にするために、方向ベクトルを $g = (g_{xnk}, g_{ymk}, g_{blk}) = (-x_{nk}, y_{mk}, -b_{lk})$ と設定し、分析を行う。この場合、WRDDM のモデル式は下記で表される。

$$\vec{D}_k(x_k, y_k, b_k|g) = \text{maximize} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \beta_n^k + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \beta_m^k + \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \beta_l^k \right) \quad (6)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^J z_j y_{mj} \geq y_{mk} (1 + \beta_m^k) \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^J z_j b_{lj} = b_{lk} (1 - \beta_l^k) \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^J z_j x_{nj} \leq x_{nk} (1 - \beta_n^k) \quad (9)$$

$$z_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, k, \dots, J \quad (10)$$

3. データ

本研究では、英国Trucost社の企業別GHG排出量データと、米国Factset社の企業別財務データを用いることで、多国間における化学製品製造業の企業別データセットを構築した。化学製造業を選択した理由に、データ取得が容易であり、GHG排出量が製造業企業では鉄鋼業に次ぐ二番目に大きいセクターであるためである。英国Trucost社のGHGデータは、各企業が環境・財務報告書等を通じ公開しているGHG排出量に、同社が独自の検証と修正を加え作成したものであり、現在世界の約4,000社をカバーしている。同社はデータ検証の際、該当企業のエネルギー使用量から想定されるGHG排出量の計算や、同業他社のGHG排出量などの数値との比較を行うことにより、各社が異常な値を報告していないかどうか検証しており、データの信頼度が高い。また財務データに関しては、会計基準は各国異なるため、Factset standard (Factset社によるグローバル統一基準)により再集計された数値を用いた。通貨は米国ドルを採用し、各年会計年度末の為替レートを用い統一した後、2000年価格にデフレートしている。

本研究では、日本の化学メーカー37社および海外10社を対象とする。海外10社は米国(4社)、ドイツ(3社)、オランダ(2社)、フランス(1社)である。日本企業の温室効果ガスデータは、環境報告書データと環境省・経済産業省の算定報告公表制度に則り、各企業が報告した数字を連結ベースで合算したものを比較し、数値に乖離がある場合、各企業に電話連絡し理由を確認した上で、より適切と思われる数値を採用した。海外企業の温室効果ガスデータは、各企業の環境報告書の数値およびCarbon Disclosure Projectに報告されている数値を利用した¹。

¹ 環境報告書、環境省・経済産業省の算定報告公表制度、Carbon Disclosure Project のデータを使用することの問題点として、以下が挙げられる。環境省「温室効果ガス排出量 - 算定・報告・公表制度」において報告義務のある企業活動は限定的であり、例えば、化学産業に関しては、産業ガスが報告義務に入っていない等、各社の排出量を包括的に示すものとはいえない。また、各社連結ベースでの数値が公表されているものではないため、企業毎の数値を算出する際、企業によっては数百にもものぼる関連会社を探索し合算する必要があるが、各企業の関連会社を全て把握するのは、公表データに頼る場合、不可能に近く、抜けモレの可能性が否定できない点も挙げられる。また、各社が環境報告書等で公表している数値は、企業活動内容および海外事業会社の数値を含める・含めない等、バウンダリーが異なるため、単純比較は不適切であること。Carbon Disclosure Project の数値も、各企業がボランティアに公開しているものであり、企業活動の対象範囲等、異なるスタンダードが使用されており、比較可能な数字とは必ずしも言えない。最後に、日本企業に関しては、投資家のみへの開示をしており、研究機関に対しては、数値や情報を非公開としており、データへのアクセスができないことが挙げられる。

生産性の計算の際には、労働・原材料・資本ストックをインプットとして利用する。今回は、労働・原材料費として、Cost of gross salesを、資本ストックとして、Total assetからcurrent assetを差し引いた数字を利用した。

4. 分析結果

2005 年度から 2009 年度にかけての生産非効率性の分析結果を図-1 から図-3 に示す。

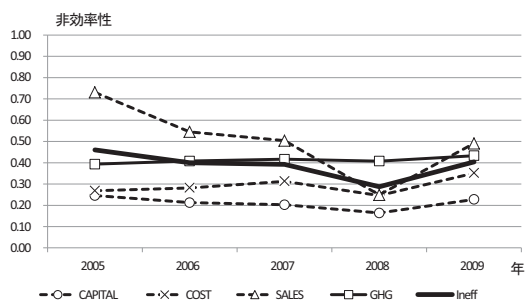


図-1 投入・産出項目別の非効率性の推移

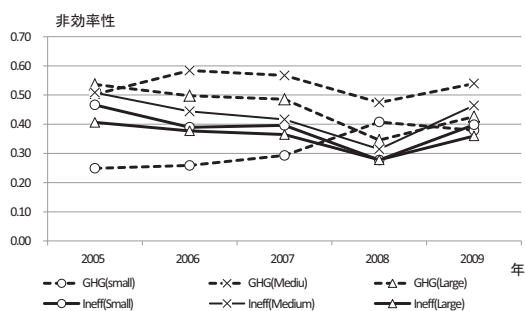


図-2 企業規模別の非効率性の推移

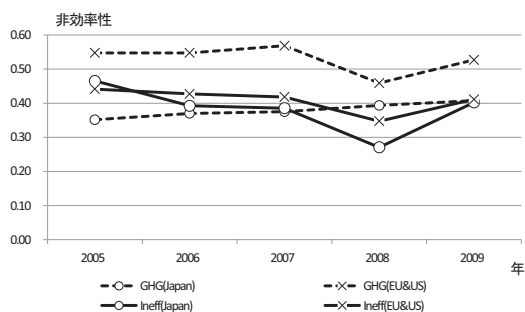


図-3 企業国籍別の非効率性の推移

CAPITAL は資本の非効率性、COST は生産コストの非効率性、SALES は売上非効率性、GHG は GHG 排出量の非効率性を表す。これらの非効率性は 0 に近いほど望

ましく、非効率性が 0 となる場合は効率的な生産を達成していることを意味する。また、すべての投入・産出財の非効率性を統合したスコアを **Ineff** で表す。**Ineff** は、企業の生産非効率性を表し、この数値が 0 に近いほど市場において他社に比べて競争優位性を有していることを意味する。

図-1 より、分析対象 47 社の非効率性は 2005 年から 2008 年にかけて低下しているが 2008 年から 2009 年に上昇している。これはリーマンショックに伴う需要低下によって化学製品製造業は生産規模の縮小を余儀なくされ、それに伴う生産設備の稼働率低下や在庫の増加によって非効率性が上昇している。

次に図-2 の結果から企業規模の違いで生産非効率性の推移が異なるかどうかを考察する。本研究では 2005 年から 2009 年の企業価値平均値により企業規模の分類を行った。企業価値の平均値が 50 億ドル以下の企業を小規模企業(Small)、50 億ドルから 100 億ドルを中規模企業(Medium)、100 億ドル以上を大規模企業(Large)に分類した。図-2 より、全体的な生産非効率性の推移は規模別に大きな変化が見られない一方で、GHG 排出量の非効率性においては小規模と大規模で推移が異なることが明らかとなった。小規模企業では GHG 排出における非効率性が上昇しているのに対して、大規模企業では非効率性が低下傾向にある。この要因として世界的な大企業を対象として、炭素排出量の情報の報告を目的とした **Carbon disclosure project** などの取り組みが世界各国で認知・浸透し、注目度が増すなかで大企業は GHG 削減へのインセンティブが高まった点が挙げられる。

最後に、企業国籍別の非効率性の推移について考察を行う。本研究では、企業統治の違いを表す明示的なデータを取得することが出来なかったため、先行研究を参考に、日本企業をステークホルダー重視型企業とし、欧米企業を株主重視型企業として解釈を行う。図-3 から、日本企業は GHG の非効率性と全体の生産非効率性との間の差は小さいが、欧米企業では GHG の非効率性が大きいことが分かる。日本と欧米で異なる結果が得られた要因として、企業の統治形態が異なる点が挙げられる。日本はステークホルダーを重視した企業統治が浸透しており、企業は社会の公器であるとする考え方が強い。そのため、環境保全を含めた社会貢献活動が重要視され、GHG 排出削減においても規制がない場合でも自主的に GHG 削減に取り組む姿勢を持つ企業が多い。一方で、欧米企業では、企業は株主のものであるとする考え方が浸透しており、企業は株主利益の最大化を目指して活動を行う(藤井・金原, 2013)。従って、利潤最大化に直接的に関与しない GHG 排出削減取り組みは相対的にインセンティブが低く、売上最大化や製造コスト最小化などの他の要因を重視した経営戦略を策定する企業が多いと考える。こうした企業統治の差が、GHG 排出の非効率性の差として反

映された可能性が指摘できる。

5. 結論

本研究では世界の化学製造業企業 47 社を対象として GHG 排出量を考慮した生産非効率性分析を行い、国別や企業規模別でどのような違いが存在するかを明らかにした。本研究の結論を以下にまとめる。(1)小規模企業では GHG 排出の非効率性は年々上昇傾向にあるが、大規模企業では非効率性に変化が見られなかった。(2)国内企業に比べて、欧米企業では GHG 排出の非効率性が高い傾向にある。(3)企業統治の違いによって GHG 排出量削減に対する姿勢が異なる可能性があるため、温室効果ガス削減を目指した国際的な政策を導入する場合には、各国の文化や企業統治に対する考え方を考慮した施策が必要である。

参考文献

- 1) 藤井秀道、金原達夫 (2013) 日米製造業企業の環境経営と外部要因. 組織科学 46(4): 83-101.
- 2) 藤井秀道、金子慎治、金原達夫、馬奈木俊介 (2006) CO₂ 排出量を考慮した環境生産性の計測 - 国内製造業 81 社の実証分析. 環境システム研究論文集 vol.34.; 175-181.
- 3) Nakano, M. and Managi, S. 2008. "Regulatory Reforms and Productivity: An Empirical Analysis of the Japanese Electricity Industry" *Energy Policy* 36 (1): 201-209.
- 4) Pandey, Manish & Dong, Xiao-yuan, 2009. "Manufacturing productivity in China and India: The role of institutional changes," *China Economic Review*, Elsevier, vol. 20(4), pages 754-766, December.
- 5) 藤井秀道、伊藤豊、馬奈木俊介 (2010) OECD23 カ国の化学製品製造業における CO₂ 排出量を考慮した生産性分析. 環境情報科学論文集 vol.24: 457-462
- 6) Chaudhuri, A., Koudal, P. and Seshadri S. (2010). Productivity and capital investment: An empirical study of three manufacturing industries in India. *IIMB Management Review* 22: 65-79.
- 7) Chen P C, Yu M, Managi S, Chang C (2011). Non-radial directional performance measurement with undesirable outputs. Working Paper. Tohoku University.
- 8) Barros, C.P., S. Managi, and R. Matousek. 2012. "The Technical Efficiency of the Japanese Banks: Non-Radial Directional Performance Measurement with Undesirable Output" *Omega - The International Journal of Management Science* 40 (1): 1-8.

(2013. 7. 19 受付)

OPPORTUNITY COST OF ENVIRONMENTAL REGULATION

—EMPIRICAL ANALYSIS FOR VOC EMISSION OF SEVEN INDUSTRIES IN JAPAN—

Nagisa ISHINABE, Shunsuke MANAGI

There are many research articles focusing on the greenhouse gas reduction to prevent climate change. However, most of them use country data or industrial data but not firm data. Meanwhile, decision making is implemented by firm which has important role for economic development and pollution reduction but not industrial sector and countries. Based on this background, we focus on the productive inefficiency considering greenhouse gas using 47 chemical manufacturing firm data in Japan, U.S. and Europe. Our main objective is to clarify the main factor make productive inefficiency differences focusing on the firm scale and nationality. From the results, we found that productive inefficiency considering greenhouse gas is different by nationality. This result implies we need to consider the characteristics of firm nationality to set appropriate environmental policy to improve productive inefficiency which represent simultaneous achievement of economic development and pollution reduction.