

セクター別アプローチ導入による CO₂ 削減効果 - 鉄鋼業と紙・パルプ産業の事例 -

田中健太¹・馬奈木俊介²・藤井秀道³・黒沢厚志⁴

¹非会員 横浜国立大学大学院 国際社会科学研究所 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-4)
E-mail: d091a002@ynu.ac.jp

²非会員 横浜国立大学経営学部 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-4)
地球環境戦略研究機関 (〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口2108-11)
E-mail: managi.s@gmail.com

³非会員 IC² Institute, The University of Texas at Austin (〒78705 2103 Nueces, Austin, Texas, United State)
E-mail: hidemichi-fujii@hiroshima-u.ac.jp

⁴非会員 (財) エネルギー総合工学研究所 (〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2 新橋SYビル)
E-mail: kurosawa@iae.or.jp

地球温暖化問題が深刻化する中で、現在、ポスト京都議定書として新たな世界的な温暖化対策の枠組みが議論されている。その新たな枠組みとして日本を中心に提唱されているのがセクター別アプローチである。しかしこれまでの先行研究では投資や労働といった生産効率からの検討は十分に行われていない。そのため、セクター別アプローチを導入することによる効果の評価が経済学的側面から十分に評価されていないと考える。

本研究では鉄鋼業と紙・パルプ産業の国別データを使用し、Directional Distance Functionを用いた削減ポテンシャルの推計方法を提案する。推計の結果、2001年において紙パルプ産業は世界全体で17%CO₂排出量を削減することが可能であり、鉄鋼業では14%のCO₂排出量を削減可能であることが示された。本研究によりセクター別アプローチのようなより技術普及面を考慮したCO₂削減可能量の現実妥当性と有効性が検証され、今後の温暖化対策への議論へ大きな示唆を与える分析であると考えられる。

Key Words: Sector based approach, Marginal abatement cost, Directional Distance Function, Steel industry, Paper and pulp industry

1. はじめに

近年、CO₂などの温室効果ガス排出量の増加に伴う気候変動問題が懸念されるなかで、セクター別アプローチ(Sector Based Approach: SBA)が注目されている。SBAは京都議定書の抱える問題点を踏まえて、その有効性について、世界で様々な議論がなされている。例えば、IEA(2007)¹⁾では「SBAを国連の温暖化対策の枠組みに組み入れる必要がある」と述べており、その理由としては京都議定書の総量規制の考え方と比較して、SBAはエネルギーコスト削減などの経済的便益を同時にもたらすため、急速な経済発展を遂げている新興工業国にも受け入れやすいと考えられる。中国、インド、ブラジルなどの新興工業国では、急速な経済成長に伴いGHG排出量も大幅に増加しており、今後も排出量は上昇すると予測

されている(森田・天野, 2002)²⁾。その一方で、2008年から2012年までの京都議定書の第一約束期間では、これらの国には削減目標が課されていない。こうした中、「京都議定書」後となる2013年以降の温暖化対策の新たな枠組みでは、成長著しい発展途上国にも何らかの形の対策を求めなければ、先進国がGHG削減に努力しても、世界全体での排出削減は望めないとしている。しかし、京都議定書が先進国に求めているような、国としての数値目標の導入は、途上国側が受け入れない公算が大きいと考えられている(亀山・蟹江, 2008)³⁾。また、京都議定書のような国別の削減目標設定では、各国政府の判断により産業界への削減目標が設定されるため、国家間で目標値に差が生じる可能性がある。こうした場合に、鉄鋼業やアルミ製造業などエネルギー多消費型産業

では、数値目標のない国の企業に比べて、削減義務を負わされる先進国企業が不利になることが予想される。こうした問題に対して、SBAを適用することで、国を跨いだ産業部門別の目標設定になるため、同一産業内の競争優位性において平等性が担保しやすいと言える。さらに、英国などの産業構造が二次産業から三次産業へシフトした国では、当然CO₂排出量は削減されるが、これら先進国へ輸出される製品を製造する過程で排出されるCO₂排出量は、京都議定書では製造国責任となっている。このような背景から、CO₂排出量の総量規制目標では、先進国に多くの製品を輸出している途上国は、批准に難色を示すと考えられる。しかし、SBAに炭素税等の使用者側責任の概念を組み込むことによって、途上国と先進国の双方が温暖化対策へのインセンティブを持ち、世界的な取り組みが期待できる。

米国の二つのシンクタンク、CCAP (Center for Clean Air Policy) と Pew Center ではSBAの具体的な制度の設計を進めている。CCAPでは、SBAで対象とするのは途上国だけで、先進国に対しては京都議定書のように、国別に従来よりも厳しい排出量上限の数値目標を課すべきと主張している²。想定しているのは、電力やセメント、鉄鋼、石油精製、紙パルプ、アルミの6業種である。業種選定の理由としては、これら6業種はエネルギー多消費型産業であり、GHG排出量が途上国全体の約3分の1を占めること、さらには、対象となる企業の数が比較的少ないことに加えて、製造する製品規格に大きな差がないことからセクターの分類やデータ収集が容易である点が挙げられる。

Pew Centerは、2013年以降の新たな温暖化対策の枠組みには、SBAを含む「マルチ・トラック・フレームワーク(Multi Track Framework: MTF)」が必要だと主張している³。MTFとは、GHGガス削減に向けて数値目標を掲げる国もあれば、SBAに取り組む国もあるといった形に、複数の選択肢を組み合わせることで最適な削減戦略を設定する制度である。

Pew CenterではSBAの二つの問題点を指摘している。一つ目は費用効率が悪い点が挙げられる。京都議定書では排出権を媒介とした市場メカニズムによって、排出削減に対する費用最小化が達成可能であるが、SBAでは、部門ごとにGHG削減に取り組むため、排出削減のコストが高額となる業種においても削減を進める必要がある。二つ目には、業種や製品の設定の仕方によっては、GHGの排出が、対象外のお他産業にリークしてしまうという点が挙げられる。例えば、実際には鉄鋼業界からの排出であっても、鉄鋼製品を使う組み立てメーカーからの排出とされてしまう危険性が指摘できる。よってSBAの制度設計を行う場合は、対象とする企業の特定に注意する

必要がある。

2. 目的

SBAにおいて、各産業の排出原単位の目標設定を行う際に重要になるのが、ベンチマークを参照したCO₂の削減ポテンシャルと削減コストである。そこで、本研究では鉄鋼業と紙・パルプ産業の国別データを使用し、Directional Distance Functionを用いた削減コストと削減ポテンシャルの推計方法を提案し、SBAを適用した場合に分析対象国において、鉄鋼業とパルプ・紙産業の二業種で、どれほどのCO₂排出量が削減可能であるかを明らかにするとともに、世界全体のCO₂排出量を効率よく最小化するためには、どの国のどの業種に着目し優先的に取り組むべきかを提言する。

3. 分析方法

(1) Directional Distance Function (DDF)

DDFはFare (1991)⁴らによって考案された、線形計画法を用いた効率性評価方法である。DDFの特色としては、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点である。DDF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。

DDFでは非効率性を評価する場合に、注目したいデータをあらかじめ方向ベクトル(directional vector)を用いて、選択することが可能である。本研究では環境負荷物質に注目して評価を行うこととする。この場合は、フロンティアラインと比較して各生産主体が投入要素(資本や労働など)と望ましい産出要素(売上、生産量など)を変化させずに、どれだけの環境負荷物質が削減可能であるかを評価基準としている(Managi(2008)⁵を参照)。

この評価結果を用いることによって、非効率な生産主体が効率的な生産を実現した場合に達成可能な環境負荷物質の削減量(以下、削減ポテンシャル)の推計が可能である。本分析で用いるモデルは(1)式となる。

$$\bar{D}(x, y, b; g_y, g_b) = \max \left\{ \beta : (y + \beta g_y, (b - \beta g_b) \in P(x) \right\} \quad (1)$$

本分析では現状のアウトプット (y)、インプット (x)、CO₂排出量 (b) の組み合わせから最適な国をフロンティアとして、それと比較し、現状の技術レベルでのCO₂削減ポテンシャルを推計する。今回の

モデルではとくにアウトプットの増加可能性と CO₂ 削減可能性に注目するためにモデルではその両方を考慮し最適な CO₂ 削減量を推計できるモデルを設定した。その最適な削減比率をモデルでは β でとらえる。 $P(x)$ は、投入量 x に対する y と b の生産可能領域を表す。

(2) 削減ポテンシャルの推計

本分析では削減ポテンシャル量を前述のDDFから得られた最適な削減比率を用い推計する。削減ポテンシャル量は推計された各国の β の値にその推計年の各国の排出量を乗算することにより求めることが可能となる。

4. データ

(1) 紙・パルプ産業

本節では前節までに記した分析法において使用するデータをまとめる。紙・パルプ産業の分析に用いるデータは 2001 年における、各国の紙・板紙 (64 ヶ国)、パルプ (57 ヶ国) の生産量、紙・板紙、パルプを生産する際に排出される年間 CO₂ 排出量、資本、労働のデータである。

紙・板紙、パルプの生産量は、Paperloop (PPI annual review)- July 2002⁶⁾に記載されているデータから作成した。紙・板紙、パルプを生産する際に排出される年間 CO₂ 排出量は、Tracking Industrial Efficiency and CO₂ emissions(2007)⁷⁾に記載されている CO₂ 排出原単位である。

この原単位を利用し、アメリカ、スペイン、イギリス、イタリア、フランス、日本、ブラジル、ドイツ、韓国、カナダ、フィンランド、スウェーデンの 12 カ国については記載されている数値を、残りの 51 カ国については、加重平均の数値を取得した。この CO₂ 排出原単位を生産量に乗じることで CO₂ 排出量を算出した。

また、各国紙パルプ産業の資本、労働は GTAP データベース (Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base, 2007)⁸⁾ を利用し作成した。

4.2. 鉄鋼

鉄鋼業の分析に用いるデータは 2001 年における、各国の粗鋼生産量、CO₂ 年間排出量、資本、労働のデータである。ここで、CO₂ 排出量データが利用可能な年度が 2003 年のみであり、資本、労働データの利用可能年度が 2001 年度までとなっているため、対象年度は異なっている。分析対象国は 29 ヶ国である。

そして、鉄を生産する際に排出される年間 CO₂ 排出量は Tracking Industrial Efficiency and CO₂ emissions(2007)⁷⁾ と World Steel in Figures (2007)⁹⁾ CO₂

排出原単位を参照し、生産量に乗じることで推計を行った。

5. 分析結果と考察

(1) 紙パルプ産業における CO₂ 削減ポテンシャル

DDF による CO₂ 削減ポテンシャルの推計結果を表 1、表 2 に示す。表 1 は紙パルプ産業の計測結果、表 2 が鉄鋼産業の推計結果である。

表 1 紙パルプ産業における CO₂ 削減ポテンシャル

地域 (分析対象国数)	CO ₂ 排出量 (1000ton-CO ₂) [合計値]	DDF 非効率性 (平均値)	CO ₂ 削減 ポテンシャル (1000ton-CO ₂) [合計値]
ヨーロッパ(29)	37,674	0.47	13,598
アジア(14)	42,203	0.33	3,969
オセアニア(2)	1,677	0.57	961
北米(2)	60,596	0	0
南米(8)	6,349	0.56	3,327
アフリカ(9)	1,263	0.37	718
全体(64)	149,765	0.43	22,575

まず紙パルプ産業に関しては北米、及び日本などの先進地域がすでに削減パフォーマンスが高く、CO₂ 排出量削減ポテンシャルが少ない。一方で、先進地域でもヨーロッパではドイツなど少数の国では生産効率性が高いが、イギリスやイタリアなど東欧以外のヨーロッパの国々でも削減ポテンシャルが十分にある国が多数存在した。

今回の推計の結果では北米地域ではとくに非効率性が低いことが示された。一方で生産量の少ないオセアニア、南米などの非効率性が高いことが明らかとなった。

この要因は先進国を中心にパルプ産業における排出削減への取り組みが燃料転換を中心になされたためであると考えられる。例えば日本において、日本製紙連合会では 2007 年度において、1990 年比で -8.9% の CO₂ 排出量の削減を達成している。しかし各企業が最も取り組んだ取り組みが石炭など CO₂ 排出係数の高いエネルギー源から係数の低い天然ガスや再生可能エネルギーへの燃料転換である。そのため、今後は省エネ技術の開発普及がより一層の削減には必要不可欠であると考えられる。

(2) 鉄鋼産業における CO₂ 削減ポテンシャル

表-2 より鉄鋼業において、最も削減ポテンシャルが高い地域はヨーロッパであるが、非効率性の大きさをみると北米地域が最も非効率性が大きい。とく

にアメリカ、メキシコの非効率性が高い。今回の結果から、鉄鋼産業では第一にアジア地域における削減ポテンシャルについて注目できる。今後、アジア地域では世界的に見ても、経済成長が続き、鉄鋼の需要も増加すると予測されている。そのため、アジア地域では非効率性は全体では高いレベルではないもののCO₂の削減ポテンシャルが大きく、温暖化問題の解決にはアジア地域における非効率性の解消が重要になってくることがうかがえる。

表2 鉄鋼産業におけるCO₂削減ポテンシャル

地域 (分析対象国数)	CO ₂ 排出量 (1000ton-CO ₂) [合計値]	DDF 非効率性 (平均値)	CO ₂ 削減 ポテンシャル (1000ton-CO ₂) [合計値]
ヨーロッパ(18)	1,285,571	0.203	167,510
アジア(7)	866,524	0.287	117,484
オセアニア(1)	53,939	0.309	23,639
北米(3)	892,069	0.406	69,040
全体(29)	3,098,205	0.246	377,673

第二に生産量が多く、排出量が多い地域と排出量が少ない地域間での非効率性の差がそれほど大きくないという点があげられる。理由としては地域内でも非効率性のばらつきが大きく、先進国の間でも非効率性の大きさは違いが大きい。そのため各地域全体の平均の差が少なくなったと考えられる。

こうした結果から今後、日本などの省エネ先進地域から途上国及び、効率性の技術移転が重要となるということがわかる。例えば、近年の例ではコークス乾式消火設備(Coke Dry Quenching: CDQ)があげられる。CDQはコークス炉から押し出される赤熱コークスの熱の再利用を可能とし、省エネルギーに貢献する技術である。実際に韓国や中国などアジア諸国へ移転が進んでいる。

6. 結論

本研究ではSBA導入によるCO₂削減ポテンシャル量の推計をクロスカントリーデータで紙パルプ産業、鉄鋼産業を対象に行った。本推計により、鉄鋼業と紙・パルプ産業における各国のCO₂排出削減ポテンシャルが明確となった。また先進国間でも削減ポテ

ンシャルに産業ごとではばらつきがあることがわかった。

このような分析により今後、日本がどういった技術移転をどの途上国に重点的に行えばいいか検討することが可能であり、効率的なCDMの活用にも活用することができる。さらに本分析では先進国間でも産業ごとでは削減ポテンシャルのばらつきがみられたことから、JI(共同実施)の可能性も考察することができる。

今後、温暖化対策の議論ではこれまで以上に各国間の技術移転や技術普及の促進が話題となる。そのためSBAのように各産業ベースでCO₂削減ポテンシャル量を推計することは世界的な削減効率の向上に大きく影響を与えると考えられる。

参考文献

- 1) Baron, R., Reinaud, J., Genasci, M and Philibert, C.: SECTORAL APPROACHES TO GREENHOUSE GAS MITIGATION: Exploring Issues for Heavy Industry, IEA, 2007.
- 2) 森田恒幸, 天野明弘 編:地球環境問題とグローバルコミュニティ, 岩波書店, 2002.
- 3) 亀山康子・蟹江憲史: 気候変動に関する次期国際枠組み立案のための国内政策決定手続きーアジア諸国の現状, 環境科学会誌, Vol.21, No.3, 2008.
- 4) Fare, R., Grosskopf, S., Tyteca, D.: An activity analysis model of the environmental performance of firms-application to fossil-fuel-fired electric utilities, Ecological Economics18: 161-175, 1996.
- 5) Managi, S.: Technological Change and Environmental Policy: A Study of Depletion in the Oil and Gas Industry. Edward Elgar Publishing Ltd, Cheltenham, UK, 2008.
- 6) Paper & Pulp International: PPI Annual Review, 2002.
- 7) IEA: Tracking Industrial Efficiency and CO₂ emissions, Organization for economics, 2007.
- 8) Dimaranan, B.V. ed.: Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base, West Lafayette, Purdue University, Center for Global Trade Analysis, 2007.
- 9) World steel association: World Steel in Figures, 2007.

CO₂ Reduction Impact by Induced Sector Based Approach: An Empirical Analysis for Steel Industry and Paper - Pulp Industry.

Kenta Tanaka, Hidemichi Fujii, Shunsuke Managi, Atsushi Kurosawa

To tackle with global warming, each country proposes new framework for the adjustment of the problem. In particularly, Japan suggests Sectoral approach to assess each country's potential of emissions reduction. We measure potential CO₂ mitigation by Directional Distance Function method (DDF). As a result of calculation, we find the possibility to reduce around 17% CO₂ emissions of pulp and paper industry. On the other hand, steel industry has a possibility to reduce about 14% CO₂ emissions.

付表1 紙パルプ産業分析対象国

ヨーロッパ(29ヶ国)		アジア(14ヶ国)	アフリカ(9カ国)	南米(8ヶ国)	北米(2ヶ国)	オセアニア(2ヶ国)
アルバニア	ラトビア	バングラディッシュ	マダガスカル	アルゼンチン	カナダ	オーストラリア
オーストリア	リトアニア	中国	モロッコ	ブラジル	アメリカ	ニュージーランド
ベルギー	オランダ	香港	モザンビーク	チリ		
ブルガリア	ポーランド	インド	南アフリカ	コロンビア		
クロアチア	ポルトガル	インドネシア	タンザニア	メキシコ		
チェコ	ルーマニア	日本	チュニジア	ペルー		
デンマーク	ロシア	韓国	ウガンダ	ウルグアイ		
エストニア	スロバキア	マレーシア	ザンビア	ベネズエラ		
フィンランド	スロベニア	フィリピン	ジンバブエ			
フランス	スペイン	シンガポール				
ドイツ	スウェーデン	スリランカ				
ギリシャ	スイス	台湾				
ハンガリー	トルコ	タイ				
アイルランド	イギリス	ベトナム				
イタリア						

付表2 鉄鋼産業分析対象国

ヨーロッパ(18ヶ国)		アジア(7ヶ国)	北米(3ヶ国)	オセアニア(1ヶ国)
オーストリア	オランダ	中国	カナダ	オーストラリア
ベルギー	ポーランド	インドネシア	メキシコ	
チェコ	ポルトガル	日本	アメリカ	
フィンランド	スロバキア	マレーシア		
フランス	スペイン	フィリピン		
ドイツ	スウェーデン	シンガポール		
ギリシャ	スイス	タイ		
ハンガリー	トルコ			
イタリア	イギリス			