

# 日本の国際競争力 世界 1000 社のカーボンコスト



**財団法人 地球環境戦略研究機関 (IGES)**

〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口 2108-11

TEL: 046-855-3860

FAX: 046-855-3809

EMAIL: [cc-info@iges.or.jp](mailto:cc-info@iges.or.jp)

**日本の国際競争力・世界 1000 社のカーボンコスト**

2012 年 3 月 発行

著者

石鍋渚 藤井秀道 馬奈木俊介

# 日本の国際競争力 世界 1000 社のカーボンコスト

## 目次

背景・先行研究のまとめ.....	1
研究手法（概要）.....	5
指標についての解説.....	8
<b>Data</b> .....	<b>12</b>
<b>研究結果</b> .....	<b>16</b>
世界.....	16
全産業.....	26
回帰分析.....	34
既存研究との比較.....	36
生産性分析.....	38
自動車業界.....	41
鉄鋼業界.....	48
<b>本研究のまとめ&amp;今後の研究方針</b> .....	<b>53</b>
<b>参考資料</b>	
研究手法.....	55
Data Envelopment Analysis(DEA)についての解説.....	60
技術積上げ型モデルとの比較の際の注意点.....	74
参考文献.....	76
Trucost 464 業種.....	78



# はじめに

---

本研究では、世界 37 カ国 17 業種 1,024 社の、①温室効果ガス(GHG)の限界削減費用(Shadow price)、②GHG 排出を鑑みた経営効率(Inefficiency score)および生産性(Productivity)、そして③企業が GHG 排出削減を鑑み効率的な経営を行った際に削減可能となる GHG 排出量と増加可能な売上高を、ノンパラメトリック生産関数を用い算出した。企業レベルの GHG を対象とした Shadow price や生産性指標を、これだけ広範囲に算出した研究は、本研究が世界初であると筆者らは自負している。

本研究の背景には、日本そして世界の気候変動政策、環境投資・経営の実践における停滞がある。グリーン成長や持続可能な低炭素社会の構築などのコンセプトに反対する人は居なくとも、それを実現するための GHG 排出の総量規制に賛同する国や産業界メンバーは必ずしも多くなく、世界の気候変動対策の枠組交渉や、排出量取引制度の導入など、気候変動に係る様々な課題が先送りされ続けている。資本市場においても、エコファンドや SRI 投資など、環境や社会的責任を鑑みた投資方針を設定している投資信託は存在するが、定量的評価手法が確立されておらず判断基準が曖昧と、数十年経った今もなお、マイナーな存在に留まっている。また個人投資家や生活者は、CM 等のイメージを基に株式の売買や商品の選別を行うことも多く、企業としても、自社の努力が投資家や生活者に理解されるスキームが確立されていない状態において、積極的に GHG 削減のために投資を行うことが困難な状況にある。

本研究結果は、これら気候変動政策、環境投資・経営の課題に対するソリューションとなりえると、筆者らは考えている。各国・各産業・各企業の Shadow price そして GHG 排出を鑑みた経営効率が明らかになったことより、排出量取引制度の枠組み、経済・企業への影響、炭素制約下における企業競争力の具体的把握が可能となった。世界各国の気候変動政策にとり、炭素制約下における各国企業の国際競争力、そして排出量取引制度が、産业内・一カ国の一産業をターゲットにしたものでも有意義に機能しえることが、定量的に明らかになったことの意味は大きい。環境投資の観点からも、これら数値や指標を企業評価手法のひとつとして用いることにより、投資判断が曖昧との評価を払しょくすることが可能となる。また企業にとっても、自社の活動が適正に評価される仕組みが整えば、GHG を鑑みた経営を積極的に推進することができるのである。

本研究は、異なるバックグラウンドを持つ研究者が協力することにより生みだされた。資本市場が用いるデータや手法を学者が目にする事、また学術界の手法を資本市場が知る機会は少ない。そして環境経済分野の研究結果が、資本市場におけるツールとして機能する機会は、もっと少ない。今回、本研究に先駆けて行った研究結果を基に、環境・社会的責任投資を進める欧州投資家にヒアリングを行ったところ、非常に多くの投資家から関心を集めることが出来た。筆者らは、本研究結果が社会に幅広く用いられ、炭素制約と環境投資の Push と Pull が相乗効果をもって組み合わせたり、日本そして世界における持続可能な低炭素社会の構築に寄与することを願ってやまない。そのため本稿においては、計算結果を出来るだけ詳細に明らかにし、モデルに関しても詳しい解説を載せ、幅広い層の人々に理解されるよう努めた。

最後に、本研究は、環境省「平成 23 年度排出量取引制度等の炭素制約及び国際競争力への影響に係る調査検討事業」(期間 2011 年 8 月—2012 年 3 月)の資金を得て実施された。関係者の皆様には、ここに感謝の意を表したい。そして本稿を読まれる皆様には、様々な観点から GHG の排出削減に向け具体的なアクションをとって頂ければ幸いである。

2012 年 3 月

石鍋渚 藤井秀道 馬奈木俊介

# 背景・先行研究のまとめ

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)の削減方法とその費用に関する研究が進んでいる。例えば、GHGの限界削減費用(MAC)に関し、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第4時評価報告書(2007)では、AIMやGRAPEなど10つのTop-down型モデルの推計結果を引用し、2030年時点のGHG-MACをCO<sub>2</sub>1トンあたりUSD 2/tCO<sub>2</sub>eから192/tCO<sub>2</sub>eのレンジで示している他<sup>1</sup>、Kuik et al. (2009)は、26のモデルから導き出された62のMACをメタ回帰分析結果し、2025年時点の世界のMACを€129、2050年時点では€225と推測している。また、花岡ら(2008)やAkimoto et al.(2010)は、技術積上(Bottom-up)型モデルを用い、MAC別のGHG排出削減可能量などを算出している。これら研究は、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、将来のMACを推計するものであり、これら推計値やそのトレンドは、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、これら研究結果は、将来シナリオに基づいた将来の国・地球レベルでのMACであり、現在-過去のMACや企業レベルのMACを算出しているわけではない。そのため、現在GHGの総量規制が導入した場合の、各国各企業への影響の度合いを表すことは困難である。ゆえに、これら研究結果が、炭素制約が課せられた際には、自国企業の国際競争力に悪影響が生じるのではないかという各国各企業の懸念を払しょくすることは難しく、GHGの総量削減義務を負うことに関しては、各国各企業ともに足並みが揃わない状況にある。そのため本研究においては、現在-過去の企業レベルのMACとGHGを鑑みた経営効率性指標を算出し、GHGの総量削減(炭素制約)が導入された際の、各国各企業への影響度合い及び炭素制約下における各社の国際競争力を測るものとする。

現在-過去のMAC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Shadow priceを算出し、企業が利益最大化を達成している場合に、Shadow priceがMACと等しくなるとみなす手法である。生産関数を用いたShadow priceの推計に関する研究は数多く発表されており、データの収集が比較的容易なSox NoxのShadow priceの推計に関しては、100本超の論文が存在する<sup>2</sup>。GHGのShadow priceを推計したものとしては、米国電力セクターを対象としたRezek and Campbell (2007)や、韓国の電力セクターを対象としたLee (2011)、また中国鉄鋼業を対象とした、藤井・金子(2008)の研究等がある。企業を対象とした分析では、Kumar and Managi (2011)がインドの製造業企業を対象に、BOD、COD、SSのShadow priceの推計を行っているが<sup>3</sup>、電力セクター以外の業種において、個別企業を対象にGHG排出量のShadow priceに着目した研究は見つからない。

この生産関数を用いたShadow priceの研究は、2000年以降活発になっており、その中でも特にDirectional Distance Function (DDF)の応用が進んでいる。本手法には、大きく分けて、パラメトリ

<sup>1</sup>数値は、IPCC 4th Assessment Report (2007) Chapter 3 Table 3.13 “Global emission reductions from top-down models in 2030 by sector for multi-gas scenarios”のCarbon price in 2030 (2000 US\$/tCO<sub>2</sub>-eq)を参照のこと。IPCC 4th Assessment Reportでは、AIM、GRAPE、IMAGE、IPAC、MERGE、MESSGE-MACRO、MiniCAM、SGM、POLES、WIAGEMの10つのモデルを引用している。本文では、GRAPEによる推計結果のUS\$2と、MERGEのUS\$192を、最小値と最大値としてレンジで示しているが、これら2つの数字は、異なるStabilization target、また前提条件によって算出された数値であることに留意して頂きたい。

<sup>2</sup>SOxはイオウ酸化物、NOxはちっ素酸化物のこと。酸性雨の原因物質である。

<sup>3</sup>BODとは、Biochemical Oxygen Demandの略であり、生物化学的酸素要求量のこと。これは水中の有機物が微生物の働きによって分解されるときに消費される酸素の量のこと、河川の有機汚濁を測る代表的な指標のひとつである。CODは、Chemical Oxygen Demandの略であり、化学的酸素要求量のこと。水中の被酸化性物質を酸化するために必要とする酸素量で、代表的な水質の指標のひとつである。SSはSuspended Solidsの略であり、水質の基準となる浮遊物質濃度を表す。

ック手法(母集団の特性を規定する母数について仮定を設ける)と、ノンパラメトリック手法(母集団の分布について一切の前提を設けない)の、2つの手法がある。パラメトリック生産関数が、個別企業の特徴よりもサンプル全体としての傾向、つまりサンプル内の平均値が重要視するのに対し、ノンパラメトリック生産関数では、サンプルのユニーク性を重視し、企業間の特性の違いを結果に表すことが可能である。表1の、GHGの限界削減費用・Shadow priceの推計を行った先行研究のまとめから、企業を対象としたGHGの限界削減費用・Shadow priceの推計は限定的であること、また Rezek and Campbell (2007)と Matsushita and Yamane (2011)等の例から、前述の通り、パラメトリック生産関数の推計方法を適用した場合とノンパラメトリック生産関数の場合では、Shadow priceの推計値に幅に差があることが分かる。

	分析対象 (国・年)	推計方法	Shadow price (per ton-CO <sub>2</sub> )
Rezek and Campbell (2007)	米国火力発電所 1998年	パラメトリック 生産関数	Range (US\$18.1-US\$20.62)
藤井・金子 (2008)	中国鉄鋼業セクター、 29省別データ 2003年	ノンパラメトリック 生産関数	平均値：400元 Range 1011元 50元
花岡ら (2008)	世界全体、2000年を 基準年とし2020年を 推計	応用一般均衡モデル AIM/CGEモデル	MAC=US\$100の際の GHG削減可能量を算出 2.5-3.6GtCO <sub>2</sub> e (Annex I Countries)、 6.4-7.7GtCO <sub>2</sub> e (Non-Annex I Countries)
地球環境産業技術 研究機構(RITE) (2009)	世界全体	応用一般均衡モデル RITE世界モデル	日本\$476、EU\$48-135、 米国\$60、カナダ\$111、 豪州\$45-92、ロシア\$0、 韓国\$21、中国\$0-3、 インド\$0
Kuik et al. (2009)	GHGの限界削減費用 に関する先行研究 62本	メタ回帰分析	2025年で€129 Range(69-241) 2050年で€225 Range(€128-369)
Löschel and Otto (2009)	オランダ CO <sub>2</sub> intensive sector 1992年-2040年	動学的一般均衡 モデル(DGE)	CCSなし€20.9 CCSあり€10.6 Non-CO <sub>2</sub> intensive sector CCSなし€17.1 CCSあり€10.5
Park and Lim (2009)	韓国火力発電所 20社, 2001年-2004年	パラメトリック 生産関数	平均値 €14.04 Range (€8.51-€16.85)
秋元ら (2010)	世界全体、2020年	応用一般均衡モデル DNE21+モデル	限界削減費用別(\$0-500 /tCO <sub>2</sub> )の6ガス排出削減 可能量を算出 (単位: MtCO <sub>2</sub> /Yr) 日本 474、米国 4,170、 EU27カ国 2,234、カナダ 480、その他西欧 22、豪 州 435、ロシア 1,015

Lee (2011)	韓国火力発電所 11 プラント、2007 年	ノンパラメトリック 生産関数	平均値 US\$ 14.63 石炭火力 US\$10.8 石油火力 US\$61.35
Matsushita and Yamane (2011)	日本電力企業 9 社、2000 年-2009 年	ノンパラメトリック 生産関数	Range (US\$/ton-CO <sub>2</sub> ) (US\$6.2-182.2)

表 1 MAC/shadow priceの先行研究のまとめ<sup>4</sup>

表 2 に、同様の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まとめる。藤井ら(2006)による、日本のメーカー81社を対象とした分析、藤井ら(2010)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)や Chaudhuri et al. (2010)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、Shadow price 同様、地域もしくは産業など分析対象が限定的である。これには、データ収集が困難なこと以外に、産業部門から排出される GHG 排出量の多くが電力や鉄鋼など限られた産業から排出されており、他産業の全体に対するインパクトが比較的小さいことが理由として挙げられる。しかし低炭素社会の構築には、幅広い国々また産業における GHG の排出削減が必要となる。業種によって使用する化石燃料やエネルギー利用プロセスは異なり、GHG 排出量削減の取り組み方は様々であり、業種によって必要となる費用負担や労力が異なるのである。そのため本研究では、各国の異なる業種の企業の GHG 排出量を考慮した生産性および Shadow price がどのように変化するかを明らかにすることとする。

	分析対象 (国・年)	推計方法	結論
藤井他 (2006)	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 (2007)	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)	OECD 加盟 23 国 化学工業、 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)	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。

表 2 生産性分析の先行研究のまとめ

<sup>4</sup> Kuik(2009)は、応用一般均衡モデルで推計した先行研究 62 本の分析結果を使用して、regression モデルなどを適用し、MAC の推計を行っている。Loschel and otto(2009)は、個別のセクターではなく、オランダの経済活動全体を対象として、シミュレーションモデルにより推計を行っている。Rezek and Campbell(2007)、Park and Lim (2009)、Lee(2011)、Matsushita and Yamane (2011)は、output に発電量を使用している。Shadow price は、犠牲となる発電量を推計し、それに電力価格を乗じて推計している。



## まとめ

気候変動の影響の緩和策の一環として、現在世界各国で GHG の MAC に関する研究が進んでいるが、その多くは国や技術を対象とした将来の MAC 推計値であるため、現在、GHG の排出規制が導入された際の個別企業の影響を測るために用いることには適さない。そのため本研究では、現在-過去の MAC (Shadow price) を、生産関数を用い MAC 企業レベルで算出するものとする。既存の生産関数を用いた Shadow price や生産性分析では、データの収集やモデルの適用可能性に限界があったため、広範囲に亘る国々や産業における企業レベルでの GHG の MAC の推計は行われてこなかった。しかし、今後低炭素社会の構築を鑑み、排出量取引や炭素税などの環境政策を制定する際には、炭素制約がもたらす影響の度合いを幅広い産業・企業における還元から把握することが肝要である。そのため本研究では、幅広い産業の企業を研究対象とすることとした。

# 研究手法(概要)

本セクションでは、研究手法の概要を説明する。詳細な数学的解説を含めた手法の説明に関しては、Appendix A&B を参照して頂きたい。

本研究では、生産関数の中でも距離関数(Distance Directional Funcion)という最適化アルゴリズムを用い、インプットである資本・労働・マテリアルを所与のものとしつつ、正のアウトプットである売上高を最大化し、負のアウトプットであるGHG排出量を最小化するポイントを、各社各年毎に算出している<sup>5</sup>。評価対象である企業サンプルの内、他社と比較し、インプット(資本・労働・マテリアル)と負のアウトプット(GHG排出量)を最小化しつつ、正のアウトプット(売上高)を最大化している効率企業をフロンティア企業と、フロンティア企業群が形成する球状のラインを、フロンティアラインと呼ぶ。フロンティア企業の経営効率性は最適であり非効率性は存在しないと評価されるため、非効率性指標であるInefficiency scoreはゼロとなる。サンプル内には、①フロンティア企業と同等のインプットを用いても、同等のアウトプットを生産できない、②同等のアウトプットを生産する際に必要とするインプットが多い、③同等のインプットで同等の正のアウトプットを生産していても、より多くの負のアウトプットを排出してしまう等、フロンティア企業と比較し改善点のある企業も存在する。図1より、フロンティア企業が少ない経営資源で高い売上高(Y)を作り上げているのに対し、グレーでハイライトされたエリアにある非効率企業(Inefficiency scoreの高い企業)が、同じ量の経営資源を用いても、低い売上高しか実現できていないことがみてとれる。そしてこれら企業の非効率性は、フロンティアラインとの距離を測ることで、その値をInefficiency scoreとして示すことが可能である。

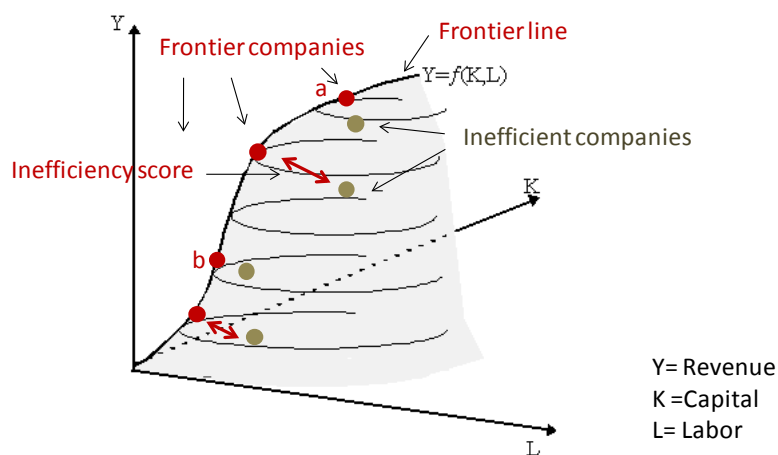


図1 フロンティアラインとInefficiency scoreのイメージ図<sup>6</sup>

最適化の際には、同等のレベルのアウトプット(売上高・GHG排出量)とインプットを有する企業が、比較対象(競合他社)として判別されるため、例えば売上高が同じであったとしても、GHG排出量が大きく異なる場合、比較対象としては見なされない<sup>7</sup>。つまり図1のフロンティア企業aとb

<sup>5</sup>インプットを最小化しつつ、正のアウトプットを最大化、負のアウトプットを最小化することも可能である。ただしこの設定においてShadow priceを計算した場合、試算不能となる可能性が上がるためである。

<sup>6</sup>GHGを包含するには図の4次元化が必要となるため、本図にはGHGが記載されていないことに注意して頂きたい。

<sup>7</sup>分析期間を通じ、基本的に各社同じ競合を競合として認識し続けることになるが、大規模なM&Aやリストラ等により、企業のインプットとアウトプットの値が著しく変化した際には、よりインプットとアウトプットのレベルの近い異なる企業を競合としてみ直すこともある。

が、直接互いを比較対象とすることは無く、例えば、同じ業界に属していたとしても、自動車メーカーとタイヤメーカーが、モデルにより直接の比較対象として認識されることは、両者のアウトプット(売上高とGHG排出量)とインプットのレベルが非常に近い場合を除き、無いということである<sup>8</sup>。

また本研究では、個々の企業の特性を生かすため、ノンパラメトリック手法という、母集団の分布において一切の仮定を設けない手法を用いている。本手法を用いることにより、母集団の特性を規定する仮定を設け、個別企業の特徴よりもサンプル全体としての傾向を重要視するパラメトリック手法と比較し、サンプルの個別特殊性を生かし、企業間の特性を結果に表すことが可能となる。

加えて、本研究では、最適化の計算の際に、可変ウェイトという、評価対象となる企業毎に、インプットとアウトプットの割合が異なることを是とし、かつそのウェイトは企業毎にその企業にとって最適なウェイトが選択されるという設定を選択している。つまりA社では、GHG3・資本3・労働2・マテリアル2の割合でウェイトが課せられているのに対し、B社では、GHG1・資本3・労働3・マテリアル3の割合でウェイトが課せられている場合もあるということである。この設定は、各社のInefficiency scoreにおけるGHGを鑑みる割合が異なることが是とするものであり、このウェイトの設定方法により、各企業の長所を最大限評価することとなる<sup>9</sup>。そのため、この手法において非効率と評された企業は、資本・労働・マテリアル・GHGマネジメントの全ての要素を最大限該当企業に都合よく考慮しても、フロンティア企業の効率性には及ばないということとなり、評価が高まらない企業に対して、評価の低さが、モデルの設定条件に起因するものではないと説明することが可能となる。この設定により、例えば、資本・労働・マテリアルのマネジメントは良いが、GHGマネジメントは悪い企業でも、Inefficiency scoreが低く効率的と評価される企業も出てくる。これら企業に関しては、炭素税や総量削減型の排出量取引制度等の炭素制約が課せられた際、税金を払う、もしくは炭素クレジットを購入する方が、自社で削減するよりも効率的なのである。言い方を変えれば、この設定を選択することにより、個々の企業に自社削減と炭素税の支払い・炭素クレジットの購入のオプションを与えた上での、Inefficiency scoreを今回は算出しているということである。既存研究においても、可変ウェイトを用いることが一般的である。

更に、本研究では、Inefficiency scoreだけでなくShadow priceの算出も行うため、GHG排出量に対し、Weak disposabilityの仮定を置いている<sup>10</sup>。Weak disposabilityとは、GHG排出は規制されており、排出するとコストが生じる、つまり売上高を減少させずにGHG排出量を削減することは出来ないという仮定であり、この仮定を置くことによりShadow priceの算出が適切に行われる。

GHG 排出量を一単位削減した際の、Inefficiency score の動きを捉え、売上高の減少幅を示した値がShadow price となる。Shadow price は、資本・労働・マテリアルの効率性を鑑みつつも、GHG のマネジメント能力に焦点をあて、GHG 排出量を一単位削減した際に犠牲となる売上高を表す数値であるため、Inefficiency score が良くても(ゼロであっても)、GHG マネジメントの効率が悪ければ、Shadow price は高くなる。なお、本Shadow price は、資本・労働・マテリアル・GHG を考慮した Inefficiency score の動きを捉えた値であるため、単なる GHG 削減費用ではなく、企業の資本・労働・マテリアルといった経済効率性を鑑みた上での GHG 削減費用となる。

Inefficiency scoreの経年変化を捉えた数値が、各社の生産性(Productivity)である。つまりYr1 に対し、Yr2 にパフォーマンスの向上(Inefficiency scoreの値の低下)が認められた際、Productivityは向

<sup>8</sup>直接の比較対象とはならないが、間接的な関係性は、同じフロンティア上にある限り認められる。

<sup>9</sup>GHG を鑑みる割合(個別のインプットとアウトプットの割合)を固定することも可能である。ただし、固定されたウェイトを用いた際、企業の長所が完全に生かされていないとの意見が出てくる可能性がある。

<sup>10</sup>Shadow price は、GHG1 トン削減あたりに犠牲となる売上高であることに注意されたい。Weak disposability ではなく、Strong disposability の仮定を用いることも不可能ではないが、GHG の排出が自由であるとの仮定を用いることで、Shadow price の推計の際に、計算不可能となる箇所が増加する可能性がある。

上したと評価され、逆に、Inefficiency scoreが上昇した際には、Productivityは減少したと評価されるのである。加えて、このProductivityは、Efficiency changeとTechnological changeの2つに分けて分析することが可能である。Efficiency changeとは、非効率企業がフロンティアラインに対しキャッチアップしたレベルを示す値であり、Technological changeとは、フロンティアラインのシフトを表す値である。フロンティア企業群の効率性が上がった場合、Technological changeは正の値となり、下がった場合、負の値となる。フロンティア企業のInefficiency scoreはゼロなため、フロンティア企業がフロンティア企業であり続ける限り、フロンティア企業のEfficiency changeはゼロとなる<sup>11</sup>。

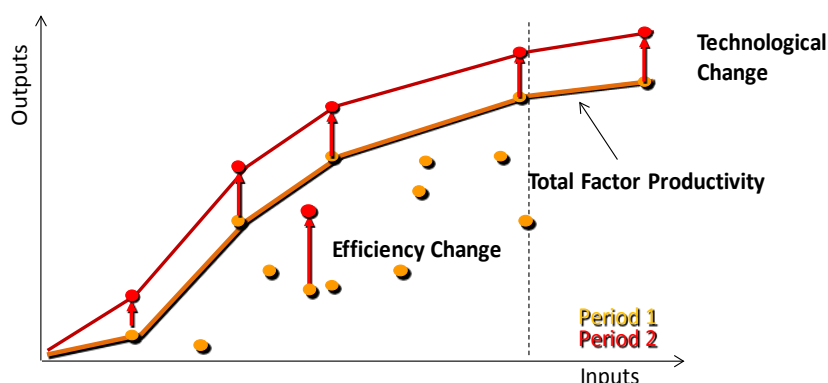


図2 Total Factor Productivity、Efficiency change、Technological change のイメージ図

このように本研究手法においては、モデルのパラメーター(設定値)や、GDP や人口成長率等の数的前提条件を研究者が設定するものではないため、恣意性の低い客観的な結果を出すことが可能である。

最後に、本研究においては、環境要因として GHG 排出量のみを包含しているが、将来、廃棄物や水使用量などのデータが入手出来た際、これら値を包含した指標を作成することは可能である。ただし追加的的要因を取り入れる際には、サンプル数の拡充が必要となる。要因に対してサンプル数が十分でないと、フロンティアの形成に支障をきたす場合や、企業の相対性を比較することが困難となり全ての企業がフロンティアと評される可能性があるためである。

次に、各指標について解説を加える。

<sup>11</sup>例えば Yr1 でフロンティア企業と評価されても、Yr2 にフロンティア企業で無くなった場合、Efficiency change を観測することが可能である。

# 指標についての解説

本セクションでは、研究手法(概要)において計算方法を説明した GHG 排出量を鑑みた非効率性 (Inefficiency score)・生産性(Productivity)と、GHG 排出削減 1 トンあたりに犠牲となる売上高(Shadow price)に関し、主に解釈の観点から解説を行う。

## Inefficiency Score とは?

Inefficiency score とは、企業が、資本・労働・マテリアルといった経営資源(インプット)を、如何に効率良く使用し、売上高(正のアウトプット)を生産し、かつ GHG 排出量(負のアウトプット)を抑制しているかを表す値であり、企業の競争力を測る指標である。これは前述の通り、フロンティアカーブと個別企業の立ち位置の距離を示す値であり、最も経営効率の良い企業の Inefficiency score はゼロであり、企業が非効率であればある程 Inefficiency score の値は大きくなるため、値は低い方がよい。Inefficiency score 分析の際には、売上あたり GHG 排出量(GHG/Revenue)、売上あたり資本(Capital/Revenue)、売上あたり原価(COGS/Revenue)等の値から、この値が GHG・資本・労働・マテリアルといった個々の要素にどのように左右されているかを把握することができる。

Inefficiency score は、GHG 排出・資本・労働・マテリアルを総合的に測る指標であり、環境・社会的責任投資の際に用いることが出来る。図 3 は、化学メーカー各社の ROA と Inefficiency score を比較したグラフであるが、このような相違は、ROA だけでなく EV/EBITDA multiple など、他の企業評価指標と比較しても同様に見られ、本指標は、既存の企業評価指標とは異なる企業パフォーマンスを示すことが可能である。

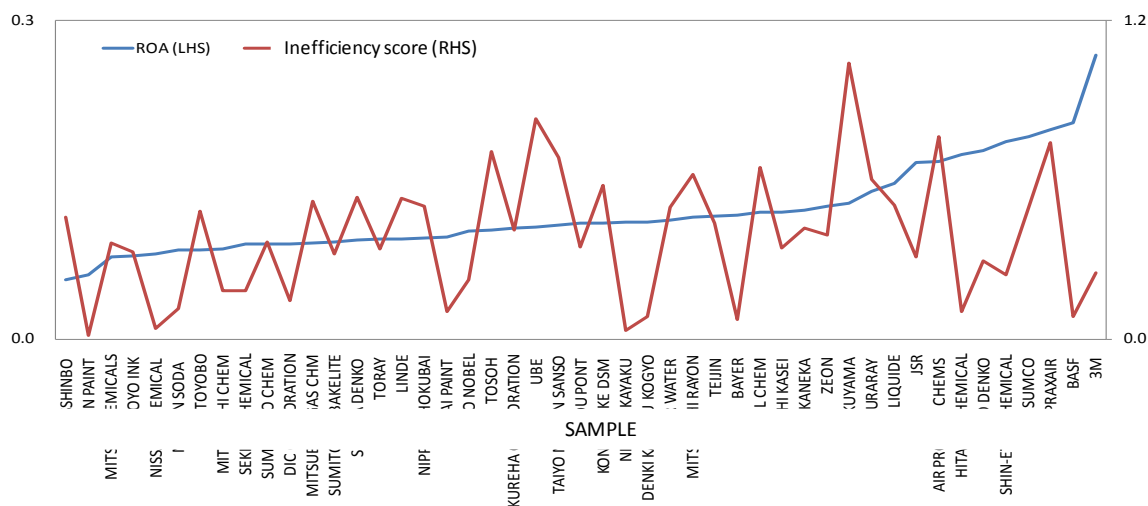


図 3 Inefficiency score と既存企業評価指標の比較

## Productivity とは？

Productivity(生産性)とは、前述の通り、Inefficiency score の変化を示した値である。Productivity には、労働生産性や資本生産性など様々あるが、今回は複数のインプットとアウトプットを包括的に鑑みた Total Factor Productivity(全要素生産性) と呼ばれる生産性を算出した。

## Shadow Price とは？

Shadow priceとは、企業がGHGを1トン削減する際に犠牲とする売上高であり、経済合理性を鑑みた際の、限界削減費用の最高値である。最高値である理由は、限界削減費用がShadow price (GHG1 トン削減する場合に犠牲となる売上)を超える場合、事業の継続ではなく生産規模の縮小を行う方が、経済的合理的だからである。企業が経済合理性を超えて、赤字になっても中長期的にGHG削減のため該当事業を継続するとは考えにくく、また政府が赤字企業の補てんを継続的に行うことも困難である。現在、日本国の一般会計予算(90.3兆円)における歳入のうち、税収で賄われているのは5割弱(42.3兆円、うち法人税収入の割合は2割)であり、残りの約5割は将来世代の負担となる借金(公債金収入)に依存している<sup>12</sup>。そして日本の公債残高は約667兆円であり、一般会計税収の約16年分に相当する<sup>13</sup>。赤字企業に法人税と事業税は課税されないため、赤字企業が増えれば、おのずと国家の税収も減る。このように極めて逼迫した財政状況の中、国家が企業の赤字補てんを、際限なく行うことは極めて困難であるため、MACに金銭的上限が存在するという前提において推計を行うことには妥当性がある。これは、対策技術の導入運転費用に関し経済的な上限の設定を設けず、技術の置換および積上可能性のみに着目し、企業が赤字に陥る可能性や、税収の低迷により国家財政が破綻する可能性などは考慮せずに推計されたMACと大きく異なるポイントといえよう。

更に、Shadow price では、これまで技術積上型 MAC-Curve 上には描かれることは無かった、企業毎に異なる技術・運転ノウハウの選択肢(X軸)及びそれらに係る費用(Y軸)を鑑み、MACの分析を行うことが可能である。企業は、独自の技術・運営ノウハウを有しており、利益に繋げられるような省エネ技術・運営ノウハウを開拓できるか否か、その能力そしてその開拓スピードを速められるか否かは、企業毎に異なる。例えば、図4の事例では、A社とB社共に、10年前は同じような技術・運営ノウハウを有していたが、10年後、A社はB社と比較し、より多くの技術・運営ノウハウを開拓した(MAC-Curveのエリアが広がった)。そのためGHGの排出削減の際、A社は、エリアoqrとouvから技術・運営ノウハウを選択することができる一方、B社は、エリアopsとotwからしか選べない。この差が、企業間のMACの差を生じさせるのである。A社は、安く(利益に繋げつつ)GHGを削減することも、金額は高くとも試験的に先駆的技術を用い削減することも可能であるが、B社にはその選択余地が少ない。そしてA社は、負のMAC(利益になる削減対策オプション)を多く抱えているため、先駆的技術を開発・使用し、かつ多くGHGの排出を削減したとしても、B社よりも削減費用を安く抑えることができる可能性がある。

Shadow price は、GHG排出と経営効率を包括的に鑑みた値であるため、各社の技術担当が想定するMACやGHG-intensity(売上あたりGHG排出量、GHG排出量1トンあたりの売上高)とは異なる。また運転ノウハウには、小まめな省エネに代表されるようなソフト面での取組なども含まれ、これらの多くは、費用がさほどかからず、MACの値は負となる(つまり利益になる)と考えられるため、技術のみに着目した技術積上型MACよりも費用が低くなる可能性がある。ただし、本研究において算出しているShadow priceは、GHG1トン削減する際に犠牲となる売上高であり費用ではないため、技術積上げ型MACよりも推計値は高くなる可能性は高い。

<sup>12</sup>財務省「日本の財政関係資料」。上記は、H24年度予算における歳入内訳。

<sup>13</sup>財務省「国債残高の累計」

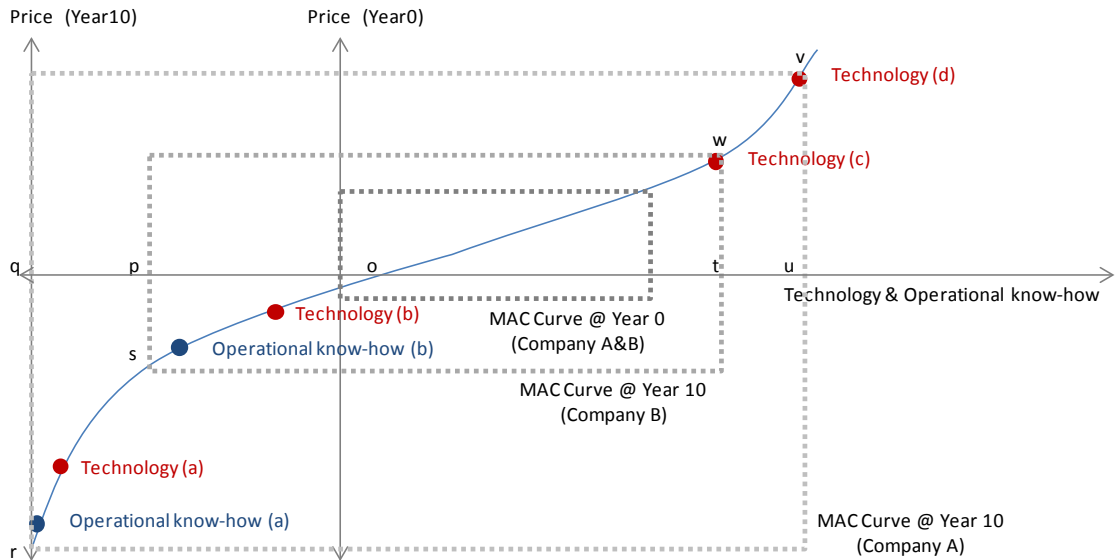


図 4 時間・技術・ソフト面での対応を鑑みた MAC-Curve イメージ図

Shadow price は低ければ低い程、GHG を安く削減できることを示唆する。ただし低い理由には、①環境経営に対する努力の成果の場合(ポイント C)と、②環境を軽視した結果(ポイント A')の 2 種類があると考えられる(図 5 参照)。このため Shadow price の分析の際には、該当企業の Inefficiency score の値、また GHG・資本・労働・マテリアルを、それぞれ如何に効率良く利用しているか等を考慮しなくてはならない。また計算上、GHG 排出量の多い企業の Shadow price の値は、小さい企業よりも、低く出る可能性があるため、これにも注意が必要である。これは、規模の大きい企業ほど調整可能な経営資源が多いためであり、通常の企業評価手法同様、Shadow price 分析の際には、売上規模・GHG 排出レベルの近い企業間において比較することが好ましいことを意味する。

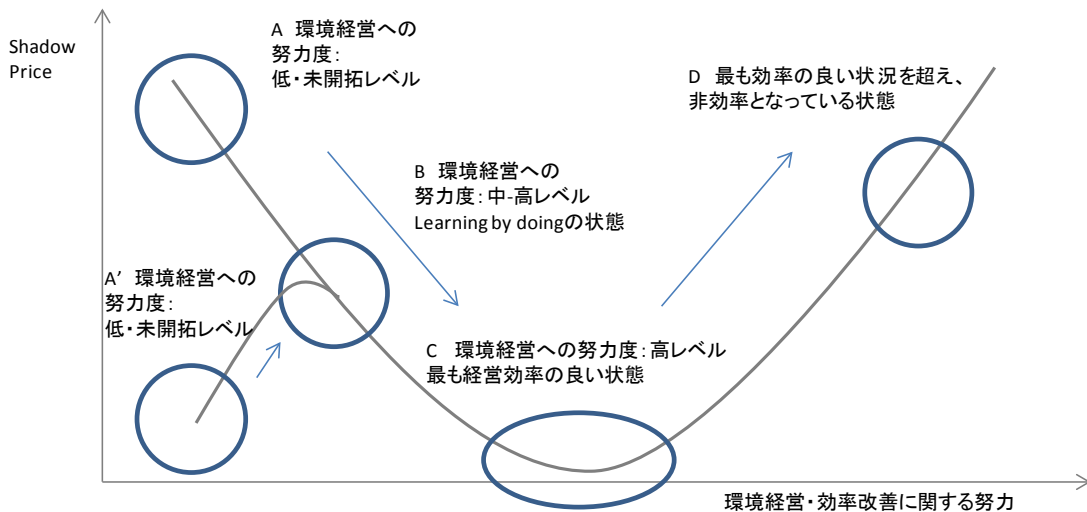


図 5 Shadow price の理解の仕方

Shadow price は、炭素制約下での企業の競争力を図る際、また排出量取引制度の制度設計の際、極めて重要な数値となる。Shadow price は、必要とされる GHG 削減量とかけ合わせることで、炭素制約下における企業の負担相当額を算出することが出来、個別企業への財務インパクトを測

れる。また、総量削減型の排出量取引制度の初期設定の際のベンチマークとして機能し得る他、同制度が導入された際、売り手・買い手になりうる企業・業界、また取り引きされる炭素クレジットのボリュームを示唆することができるのである。

なお、Shadow price から導き出される数値は、現在の経営・業態を反映しているため、「今」の企業の負担額を示すものであり、非常にダイレクトでスナップショット的な値と言える。一方、Inefficiency score の差は、企業の中長期にわたる経営努力に起因し、この差が解消されるのには、経営技術・効率の向上などが必要となり時間がかかる。このことから、これら2つの指標は、状況とニーズにより相互補完的に利用されることが、企業評価および政策立案の観点からは望ましいといえる。



# Data

本研究では、英国Trucost社のGHGデータと業種別売上高<sup>14</sup>、米国Factset社の財務データを用いた。上記手法の特徴①にあるように、本研究においてはデータの質によりモデルの結果が大きく左右される。そのため今回は、現時点において最高の質と量を保っていると考えられる上記二社のデータを使用した。

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いる。そしてその際、異常と思われる数値を発見した場合、各社担当にヒアリングを行い、適宜修正を加えた上でデータベースに保管している。個別企業がボランティアに公開した未検証データの集合体ではないため、Carbon Disclosure Project等が直接提供しているデータセットとは一線を画しているといえる。現時点において世界で最も信頼できるデータベースといえるであろう<sup>15</sup>。

またTrucost社は、①Disclosure onlyと②Estimateの2種類のデータを提供している。①は、企業により公開された数値及び直接ヒアリングにより収集した数値、そして前後の年の排出量とその年のエネルギー使用量等から計算できた数値、そして企業から収集した情報を基に再計算した数値である。そして②は、①のデータに基づき、Trucost社が特許<sup>16</sup>を取得している環境産業連関表を基に推計したデータであり、②には、①の数値も含まれる。

①に対し、②のデータでは、環境関連情報の公開が進んでいない企業のGHG排出量の概算値を得られる。そのため、本研究においてカバーできる企業数およびデータ数を劇的に増加させることができ、モデルが収束しやすくなるというメリットがある<sup>17</sup>。一方で、環境産業連関表において設定されたパラメーターの影響を受けるため、個別企業の特徴が出にくく、また途上国・新興国企業の数値が、先進国の影響を受け、実際よりも低く算出されてしまうというデメリットがある。これは途上国・新興国においては、環境産業連関表の作成が進んでいないため、先進国のものを利用せざるえないためであり、現時点においては致し方ない<sup>18</sup>。そこで本研究では、①と②の両方のデータセットにおいて、生産性とShadow priceを算出し、モデルの収束度合いを確認することとした。②のデータを使用することにより、モデルにおいて推計される結果が、大きく様変わりするという事は無い。それは②のデータが業界における平均的数値であり、今回のモデルにおいて最も重要であるフロンティアカーブ (最も効率の良い企業が作りあげる曲線) の形成に支障が無いためである。

財務データに関しては、各社とも各国の会計基準に則り報告しており、また各種数値は会計監査を経ているため企業間比較が可能な信頼のおけるデータが比較的容易に取得することができる。今回は、世界最大級の企業財務データ会社であり、世界の約66,000社をカバーする米国Factsetの数値を用いた。なお、会計基準は各国異なるため、Factset standard (Factset社によるグローバ

<sup>14</sup> Trucost社の業種別売上高は、464業種に区分されている。詳細な区分は、Appendixを参照のこと。

<sup>15</sup> Trucost社とCarbon Disclosure Projectは、近年戦略的パートナーシップを締結したとのことである。

<sup>16</sup> 日本におけるCase reference numberはPN758150JP。Publication numberは456751。Filing dateは29 Nov 2001。

<sup>17</sup> Optimization modelを使用しているため、サンプル数が少ないと、モデルが収束しない傾向にある。

<sup>18</sup> 現在Trucost社は、米国の環境産業連関表を重用しており、環境産業連関表を作成している先進国であっても、必ずしもその国の環境産業連関表に依拠しているわけではないことに注意して頂きたい。この点に関しても、今後Trucost社にはデータ整備のより一層の充実を期待したいところである。

ル統一基準)により再集計された数値を用いた。通貨はUSDを採用し、各年会計年度末<sup>19</sup>の為替レートをを用い統一した後、2000年価格にデフレートした。

本研究において研究対象とする期間は、Trucost社のデータが整備された2002年から直近の2009年の8年間の期間を基本とする。しかし2002年からデータの開示を進めていた企業数には限りがあるため、企業数を確保できる2007-2009年の3年間も補完的に試算を行うこととした。会計年度末に関しては、12月末締め企業が多かつたため、12月を起点とし前後6カ月間をみることにした。つまり本研究においては、2008年と記載されている場合、12月末締め企業では2008年1月-2008年12月、3月末締め企業では2008年4月-2009年3月、9月締め企業では、2007年10月-2008年9月の1年間の数字が用いられているということである。

今回分析対象とする業種は、自動車・自動車部品(Automobile & Parts)、鉄鋼や製紙業界等を含む資源素材(Basic Resources)、化学(Chemicals)、石油・ガス(Oil & Gas)、電力公共(Utilities)<sup>20</sup>、工業用品・サービス(Industrial Goods & Services)、建設・建設資材(Construction & Materials)、家電・家庭用品(Personal & Household Goods)、通信(Telecommunications)、テクノロジー (Technology)、ヘルスケア(Healthcare)、旅行(Travel & Leisure)、小売(Retail)、食品(Food & Beverage)、金融(Financial)、不動産(Real Estate)、メディア(Media)の17業種である。企業の業種分類に関しては、金融関連インデックス等の構築を行っているFTSE社<sup>21</sup>のICB-Super Sector分類を参照した。またモデルRunの際には、各業界のデータ数を一定以上にするため、小売(Retail)、金融(Financial)、不動産(Real Estate)を統合した。本研究で対象とする企業数は以下の通り。

	2002D	2002E	2007D	2007E
1 Automobiles & Parts	10	28	27	70
2 Basic Resources	12	68	65	174
3 Chemicals	18	50	49	116
4 Construction & Materials	4	52	42	124
5 Food & Beverage	5	52	39	128
6 Healthcare	12	56	49	152
7 Industrial Goods & Services	18	218	130	499
8 Media	2	39	13	101
9 Oil & Gas	13	65	75	206
10 Personal & Household Goods	11	69	51	144
11 Retail + Financial Services + Insurance + Real Estate	3	86	28	243
12 Technology	6	91	57	222
13 Telecommunications	7	34	29	96
14 Travel & Leisure	5	43	24	106
15 Utilities	43	73	103	148
Number of companies:	169	1,024	781	2,529

表3 各データセットにおける業種別企業数

(注) 2002Dとは、2002-2009年の8年間のDisclosure only、2002Eとは同期間のEstimateを含めた場合のデータセット、2007Dは2007-2009年の3年間のDisclosure only、同様に2007EはEstimateも含めたデータセットである。データ数としては、1,024社の8年分のデータをカバーする2002Eが最も大きい。

<sup>19</sup> 期中平均値でなく期末時点の為替レートをを用いたのは、Trucostスタンダードに揃えるためである。

<sup>20</sup> 一部にガス等電力以外のエネルギーを提供している企業も含まれる。Oil & Gas業界には主に生産(採掘・精製など)を手掛ける企業が属し、Utilitiesにはエネルギーをはじめとした公共性の高い商品やサービスを提供する会社が含まれる。

<sup>21</sup> FTSEは英国フィナンシャル・タイムズ紙とロンドン証券取引所が共同出資する独立した企業であり、インデックスの構築やそれらの管理等を行う。現在世界77カ国の顧客にサービスを提供している。

	2002D	2002E	2007D	2007E		2002D	2002E	2007D	2007E
UNITED STATES	42	377	197	749	GREECE	1	5	4	11
UNITED KINGDOM	27	163	92	258	PORTUGAL	1	5	6	7
<b>JAPAN</b>	<b>27</b>	<b>101</b>	<b>88</b>	<b>158</b>	IRELAND	0	5	1	7
FRANCE	12	49	39	71	MEXICO	0	4	4	17
GERMANY	9	38	32	68	SINGAPORE	0	3	1	21
SWEDEN	7	23	22	38	INDONESIA	0	3	2	20
SWITZERLAND	7	23	21	36	ISRAEL	0	2	0	18
SPAIN	5	22	19	32	LUXEMBOURG	0	2	1	6
ITALY	6	21	16	34	SOUTH AFRICA	0	1	7	19
CHINA	3	20	6	101	POLAND	0	1	1	19
CANADA	2	17	33	78	RUSSIA	0	1	1	16
NETHERLANDS	3	16	16	33	PHILIPPINES	0	1	0	15
FINLAND	6	16	11	27	BERMUDA	0	1	1	2
TAIWAN	0	15	13	127	PAKISTAN	0	1	0	1
SOUTH KOREA	1	12	26	160	TURKEY	0	0	2	22
HONG KONG	3	10	10	50	CHILE	0	0	4	20
NORWAY	1	10	9	19	EGYPT	0	0	0	10
INDIA	0	9	24	59	PERU	0	0	2	8
AUSTRALIA	3	8	18	33	MOROCCO	0	0	0	5
MALAYSIA	0	8	5	29	HUNGARY	0	0	2	3
DENMARK	1	8	9	17	CZECH REPUBLIC	0	0	1	2
BELGIUM	1	7	7	11	ARGENTINA	0	0	0	2
BRAZIL	1	6	19	51	PANAMA	0	0	1	1
THAILAND	0	6	4	24	CAYMAN ISLANDS	0	0	0	1
AUSTRIA	0	4	4	12	SRI LANKA	0	0	0	1
						169	1,024	781	2,529

表 4 各データセットにおける国別企業数

使用したデータは、売上高、営業利益(EBIT: Earnings before Interests and Taxes)、売上原価(COGS: Cost of Goods Sold)、業種別売上高、設備投資費用(Capex: Capital Expenditure)、研究開発費(R&D: Research & Development)、企業価値(EV: Enterprise Value)、総資産(Total Asset)、流動資産(Current Asset)、GHG排出量(京都議定書において削減対象とされている 6 ガス)である<sup>22</sup>。GHG排出量に関しては、Scope 1(製造過程における排出)、2(電気使用などによる排出)、3(その他通勤出張やサプライチェーンからの排出)の全てを含めることにした。加えて日本企業に関しては、各社が環境報告書に報告している環境保全費用についても、独自に収集し使用した。

Scope1-2-3 全ての数字を用いることにした理由は、①全てを含めることで、より各企業のGHG排出量の全体像を把握することが可能となることと、②本研究では、製造業といった特定された業界ではなく、ITやメディア、ヘルスケア、金融機関など幅広い業界を対象とするため、Scopeを限定した場合、各企業の実態を反映しないケースが多くなるためである。しかしScope3のサプライチェーンのデータは、各業界においてスタンダードが議論されている最中であり、現時点において企業間比較が可能な数字ではないと判断したため、飛行機や鉄道の利用の際に排出されたGHGのみを使用することとした<sup>23</sup>。またTrucost社は、各社が炭素クレジットとして購入したGHG

<sup>22</sup> 資本の値として固定資産(総資産-流動資産)を、労働とマテリアルの使用量(合計)を表す値として、売上原価を用いた。売上原価とは、製品やサービスを提供するのに必要な原価のことである。小売業の場合、外部からの材料の仕入原価を、メーカーの場合、仕入原価に製造ラインでの人件費や光熱費などを加算した製造原価を意味する。人件費には、社長をはじめとしたマネジメントの人件費は含まれない。

<sup>23</sup> Scope 1-2-3 に関する Trucost 社の区分けは以下の通り (Trucost 社提供資料より抜粋)。Scope 1 (tonne) All GHG emissions from sources that are owned or controlled by the company. Scope 2 (tonne) CO2e emissions from consumption of purchased

相当量を、総量から差し引くことはしていないため、一部企業の数値が炭素クレジットの購入により減少しているというものは無い。

本研究において、データは極めて重要なものであるため、データエラーの除去には細心の注意を払った。しかし、エラーを完全に排除できている保証はないので、ここにどのような場合にエラーが生じた可能性があるか、またそれら可能性に対し、どのように対処したかについて、ここに記載する。エラーは、①企業がデータの集計を誤った場合、集計範囲・手法を大幅に変えた場合、②Trucost社がデータの集計を誤った場合、③Factset社がデータの集計を誤った場合、④本研究当事者がデータの集計を誤った場合に、起こった可能性がある。

①②に関しては、企業・Trucost社にノウハウが構築されていなかった2002-2004年あたりに、数値が大幅に増減しているケースが散見された。Trucost社も独自の検証プロセスを経た数字を顧客に提供しているものの、マンパワー・ノウハウ共に充実していなかった2002-2003年の設立当初においては、検証・修正が十分でなかった可能性が否定できない。そのため今回は同社のデータを、同社のアナリストと共に、可能な範囲で全データ再検証し、データの修正を行った<sup>24</sup>。また検証の結果、データの精度は2005-2006年頃から飛躍的に伸びているということが判明した。これは個別企業、Trucost社共に環境データの収集におけるノウハウが蓄積されたこと、またTrucost社内において、データのCross-check機能(前年度対比で25%以上数値に乖離が合った場合、数値の再確認を行う等)が、この頃から導入されたことが理由として考えられる。

また企業のGHG排出量データに関しては、企業が集計範囲・手法を大幅に変更した際などに、データに相当の上下が生じる。そして、これらは修正不可能な場合も多い。加えてTrucost社は少なくとも現時点において、企業が前年度の数値をGHG排出報告書等において修正値を公開していても、それらをデータセットに反映していない。これについて同社に問い合わせたところ、同社のデータの主たる購入者である金融機関は、現時点において単年度の数字しか見ておらず、過去の数値との比較などを顧客が稀であるため、過去のデータの修正においてはマンパワーを割いていないとのことであった。しかしこれは、今後変わる可能性がある。これは金融機関が、企業の分析をする際には、必ず過去のトレンドを見るからであり、今後GHG排出を鑑みた経営・投資が重要になる中で、Trucost社に過去の数字の修正を依頼する顧客は増える可能性が高いからである。これに関しては今後も研究を進めていく中で、データ整備の完成度の推移を見守りたいところである。

③Factset社のデータに関しては、幅広い企業をカバーしており、また多くの大手金融機関において使用されているものではあるが、データ入力ミスや、サーバーエラー<sup>25</sup>等により誤った数値がダウンロードされる場合があることに注意が必要である。このため今回は、前年度対比25%以上乖離をしている数値や、EV/EBTIDA multipleなど様々なRatio分析を経て異常と思われた数値を対象に、Factset社に数値の確認を依頼し確認・修正のプロセスを経たデータを使用した。しかし60万近いデータポイントにおいてエラーを見つけるのは非常に困難なため、全てのエラーが排除できているとは限らない。ちなみにFactset社の財務データに関しては、企業が修正値を公表した際には、修正が行われることになっている。④に関しては、シンプルなヒューマン・エラーの可能性である。これに関しては、Trucost社、Factset社の双方のアナリストらと緊密なやり取りを経、相互確認を行うことにより、エラーの可能性を最大限に減らすよう努力をした。

---

electricity, heat or steam by the company. Scope 3 (tonne) Other indirect emissions, such as the extraction and production of purchased materials and fuels, transport-related activities in vehicles not owned or controlled by the reporting entity, electricity related activities (e.g. T&D losses) not covered in Scope 2, outsourced activities, waste disposal, etc.

<sup>24</sup> Scope 1-2-3に関するTrucost社の区分けは以下の通り(Trucost社提供資料より抜粋)。Scope 1 (tonne) All GHG emissions from sources that are owned or controlled by the company. Scope 2 (tonne) CO2e emissions from consumption of purchased electricity, heat or steam by the company. Scope 3 (tonne) Other indirect emissions, such as the extraction and production of purchased materials and fuels, transport-related activities in vehicles not owned or controlled by the reporting entity, electricity related activities (e.g. T&D losses) not covered in Scope 2, outsourced activities, waste disposal, etc.

<sup>25</sup> 再検証の際には、オリジナルデータを再確認し、修正すべき箇所が見つかった際には、Trucost社のデータベース上の数値を書きかえる作業を行った。

# 研究結果

本稿ではまず、Inefficiency score、Shadow price、そしてProductivityの推計結果を国別に纏め、日本を含む世界 37 カ国の炭素制約を鑑みた国際競争力について考察する。次に、それら結果を産業別に纏め、各産業における炭素制約の影響を議論し、最後に、個別産業の事例として自動車および鉄鋼業界を取り上げ、同業界における個別企業の国際競争力につき考察を行う<sup>26</sup>。

## 世界

本セクションでは、炭素制約を鑑みた各国の国際競争力について考察する。

### Inefficiency Score by Country

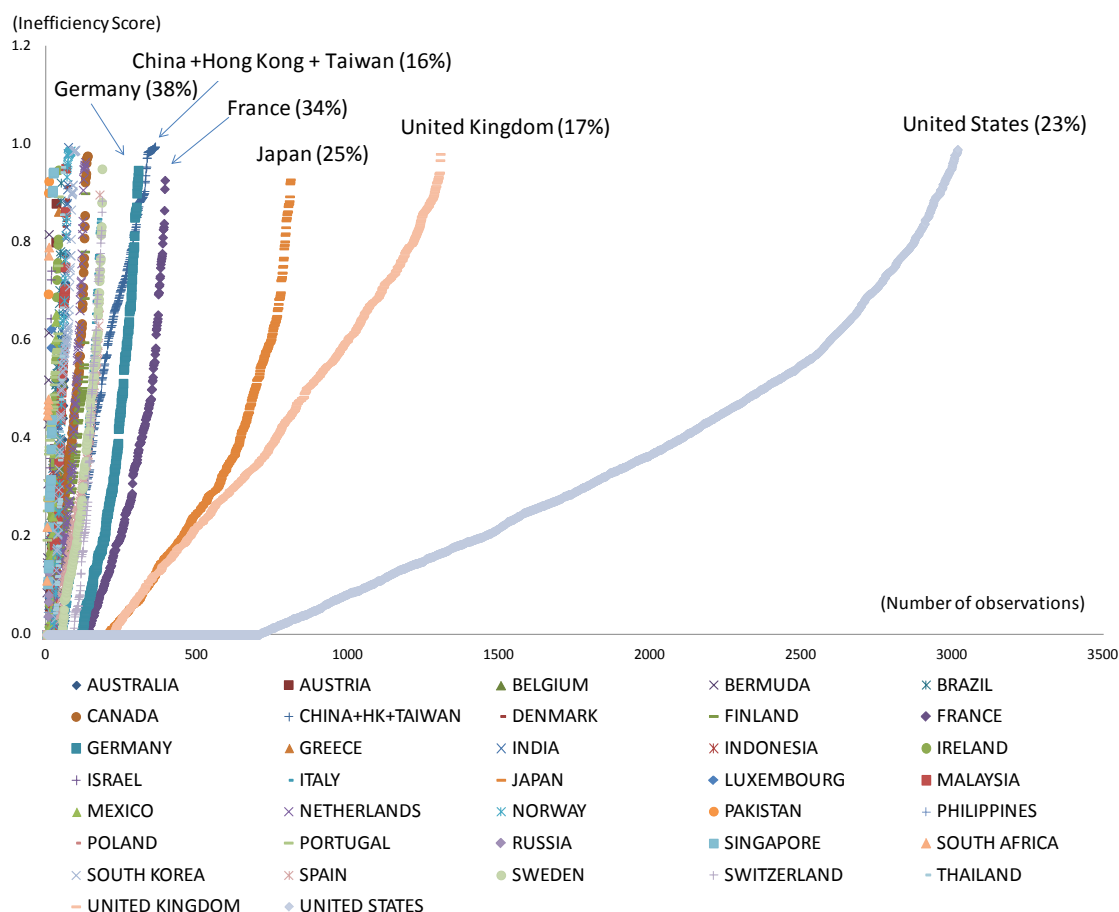


図 6 国別Inefficiency Score<sup>27</sup>

<sup>26</sup> 2002DE,2007DE の 4 つのデータセットを用い試算を行ったところ、全て同じトレンドを示していたため、本報告書においては、モデルの収束が最も良かった 2002E(2002 年から 2009 年の 8 年間)のデータに基づく結果のみを記述する。

<sup>27</sup> 本図には、1,024 社の 8 年分の結果を用いている。フロンティア率、イコール、フロンティア企業数ではない。それは、2002 年にフロンティア企業と評されても、2003 年にパフォーマンスが落ちれば、同企業は、2003 年においてフロンティアとはカウントされないためである。

図 6 は、世界 37 カ国 1,024 社の 2002 年から 2009 年の 8 年間の、GHG 排出を鑑みた経営効率 (Inefficiency score) を、国別に示したものである。図中に示された国はサンプル数の多い米国、英国、日本、フランス、中国(香港台湾含む)とドイツの 6 カ国であり、カッコ書きの数値は、同国におけるフロンティア率(Inefficiency score がゼロであり効率的経営を行っている)と評価できる結果の割合)である。

図 6 から、経営効率の高い企業(Inefficiency score の低い企業)と低い企業(Inefficiency score の高い企業)は、各国に存在することが分かる。米国企業のサンプルが多いため、米国の曲線が大きく右にずれているが、特に米国にフロンティアカーブを形成するような超優良企業が集中しているわけではないことが、フロンティア率から分かる<sup>28</sup>。優良企業は世界各国に存在し、サンプルとして、優良企業が中心に集まった可能性はあるが、中国(香港台湾含む)にも、英国と同程度の割合でフロンティア企業は存在しており、新興国企業イコール非効率企業というイメージは払しょくされるべきであると理解出来る<sup>29</sup>。そしてこのフロンティア企業と非効率企業の分散は、先進国企業イコール高効率企業、新興国企業イコール非効率企業ではなく、非効率企業は各国に存在しており、それら非効率企業の底上げをすることこそが、世界のGHG排出削減と経済成長に必要であることを示唆する。世界がGHG排出量の抑制を図るためには、特定の国や地域だけでなく、各国において企業のGHG排出を鑑みた経営を推進する政策が必要とされているのである。

表 5 に、上記 8 年分の Inefficiency score の平均値、中央値、および企業数を国別に表す。

	Average Inefficiency Score	Median Inefficiency Score	Number of Companies		Average Inefficiency Score	Median Inefficiency Score	Number of Companies
UNITED STATES	0.28	0.22	377	BRAZIL	0.39	0.39	6
UNITED KINGDOM	0.36	0.32	163	THAILAND	0.18	0.05	6
JAPAN	0.22	0.17	101	GREECE	0.20	0.20	5
FRANCE	0.20	0.11	49	IRELAND	0.34	0.29	5
CHINA+HK+TAIWAN	0.48	0.49	45	PORTUGAL	0.46	0.44	5
GERMANY	0.22	0.11	38	AUSTRIA	0.20	0.17	4
SWEDEN	0.24	0.17	23	MEXICO	0.18	0.11	4
SWITZERLAND	0.19	0.03	23	INDONESIA	0.12	0.00	3
SPAIN	0.23	0.21	22	SINGAPORE	0.40	0.31	3
ITALY	0.23	0.16	21	ISRAEL	0.23	0.11	2
CANADA	0.36	0.32	17	LUXEMBOURG	0.15	0.04	2
FINLAND	0.23	0.21	16	BERMUDA	0.39	0.37	1
NETHERLANDS	0.30	0.21	16	PAKISTAN	0.35	0.14	1
SOUTH KOREA	0.42	0.50	12	PHILIPPINES	0.06	0.04	1
NORWAY	0.39	0.25	10	POLAND	0.08	0.07	1
INDIA	0.42	0.42	9	RUSSIA	0.04	0.02	1
AUSTRALIA	0.20	0.16	8	SOUTH AFRICA	0.47	0.47	1
DENMARK	0.37	0.26	8				
MALAYSIA	0.28	0.22	8				
BELGIUM	0.18	0.13	7				

表 5 国別 Inefficiency Score 平均値、中央値および企業数

表 5 から、フランス、ドイツ、スイス等の欧州各国および日本の Inefficiency score が低く、英国、中国の値が高いことが分かる。また Inefficiency score の平均値と中央値を比較すると、ほぼ全ての国(37 カ国中 33 カ国)において、平均値が中央値を上回っていることが分かる。これは、平均

<sup>28</sup> 最適化計算は国別ではなく産業毎に行っている。そのため本図において米国のカーブが右に寄っていたとしても、これは単にサンプル数が多かったため、推計結果を示す本図において右に寄っているだけであって、フロンティアカーブの形状が国毎に変わっているわけではない。

<sup>29</sup> ただし優良企業を中心としサンプルが集まった傾向は、各国に関しいえることである。また図中の記載はないが、韓国のフロンティア率は、15%であった。

値が一部企業により引き上げられていること、そして、各国において非効率な経営を行っている企業が全体を占める割合は少ないことを意味する。

企業数が限定的な国もあるため、図7に、上記結果を地域別にまとめる。日本除くアジアには、中国・香港・台湾、韓国、インド、シンガポール、タイ、マレーシア、インドネシア、フィリピンの8カ国、英国除く欧州には、ドイツ、フランス、スイス、スウェーデン、スペイン、イタリア、フィンランド、ノルウェー、デンマーク、ベルギー、オランダ、ギリシャ、ポルトガル、アイルランド、オーストリア、ルクセンブルグの16カ国、その他には、オーストラリア、ブラジル、メキシコ、イスラエル、ロシア、ポーランド、パキスタン、バミューダ、南アフリカの9カ国を含む。

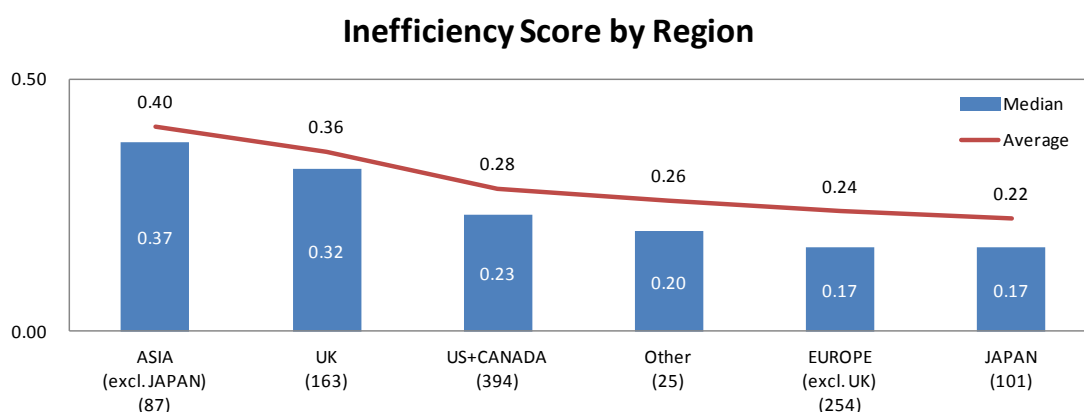


図7 地域別Inefficiency score<sup>30</sup>

この結果から、地域別 Inefficiency score は、アジア(日本除く)、英国、米国・カナダ、その他、欧州(英国除く)、そして日本の順に低いことが分かる。Inefficiency score が低いということは、資本・労働・マテリアル・GHG マネジメントの全ての観点から、高い経営効率を達成しているということである。これまでも、日本企業の環境技術の高さ、生産ラインにおける省エネの浸透は世界的に認識される場所であったが、本研究においては、全産業を通じて、日本国企業の GHG 排出を鑑みた経営効率が、他国企業に比べて高いものであることが明らかとなった。これは日本国の相対的国際競争力の高さを示すものであり、炭素制約が課せられた際に、世界で最も負担が少ない水準にあることを示唆するものである。

Inefficiency score の差は、企業の中長期にわたる経営努力に起因し、この差が解消されるのには、経営技術・効率の向上などが必要となるため、時間がかかる。よって日本と他国の競争力の差が、急激に解消されるとは考えにくい。しかし新興国企業の台頭や市場における競争力の激化、また国内市場の縮小等に伴った日本企業の競争力の相対的低下は叫ばれるようになって久しく、また海外企業が積極的な M&A や IT 関連など新しい産業分野における投資を通じ、競争力を高めているのも事実であろう。そのため、日本企業の相対的優位性を今後も維持させるためには、日本企業の GHG 削減と経済の双方向から経営効率の改善を継続させることのできるような政策や政治スタンスを日本の政策決定者がとることが肝要であると考えられる。日本企業の長期に亘る研究開発努力が報われるような政策の一貫性と長期に亘るコミットメントや、新しい産業・市場を生み出すためには不可欠なリスク・リターンのはっきりした経済合理性のある政策の導入が必要とされているのであろう。

<sup>30</sup> カッコ内数字は、対象企業数である。

参考までに、表 6 に国別産業別の企業数を纏める。

	Automobiles & Parts	Basic Resources	Chemicals	Construction & Materials	Financial Services	Food & Beverage	Healthcare	Industrial Goods & Services	Media
UNITED STATES	5	14	16	10	2	19	27	79	10
UNITED KINGDOM	1	9	4	6		8	8	48	10
JAPAN	10	8	10	7		4	4	23	1
FRANCE	4	1	2	6	1	1	2	6	8
CHINA		3		1		2		5	
HONG KONG		1						6	
TAIWAN		1	1					5	
GERMANY	5	1	5	1	2		3	7	
SWITZERLAND			3	3		2	5	6	
SWEDEN		4		2			1	6	1
SPAIN		1		3		1		3	1
ITALY	2			1	1			2	4
CANADA		9						2	
FINLAND	1	4		1				4	1
NETHERLANDS			2			4		1	1
SOUTH KOREA		1	1					5	
NORWAY		1				1		3	
INDIA		1						1	
AUSTRALIA		1	2	1					
MALAYSIA				1		2		1	
DENMARK				1		1	4	1	
BELGIUM			2			1	1	1	
THAILAND		1		2					
BRAZIL		1				1			1
GREECE				1		1			
IRELAND				1		1	1	1	1
PORTUGAL				1				1	
MEXICO				1		2			
AUSTRIA									
INDONESIA		1		2					
SINGAPORE						1		1	
LUXEMBOURG		1							
ISRAEL			1						
RUSSIA		1							
PHILIPPINES									
POLAND		1							
PAKISTAN			1						
BERMUDA		1							
SOUTH AFRICA		1							
Total	28	68	50	52	6	52	56	218	39

表 6-1 国別産業別対象企業数



	Oil & Gas	Personal & Household Goods	Real Estate	Retail	Technology	Telecommunications	Travel & Leisure	Utilities	Total
UNITED STATES	26	27	1	45	46	6	12	32	377
UNITED KINGDOM	13	11		12	13	4	12	4	163
JAPAN	2	10		3	8	2	4	5	101
FRANCE	3	5		3	3	1	2	1	49
CHINA	2		1			1	2	3	20
HONG KONG								3	10
TAIWAN				1	5	2			15
GERMANY		4		2	3	1	2	2	38
SWITZERLAND	1	1			1	1			23
SWEDEN		3	1	1	1	2	1		23
SPAIN	2			1	1	1	2	6	22
ITALY	2	3			1	1	1	3	21
CANADA	1			1		1		3	17
FINLAND		1		1	2			1	16
NETHERLANDS	3	1			3	1			16
SOUTH KOREA	1				1	1	1	1	12
NORWAY	4					1			10
INDIA	3				3			1	9
AUSTRALIA				3		1			8
MALAYSIA	1		1					2	8
DENMARK						1			8
BELGIUM				1		1			7
THAILAND							1	2	6
BRAZIL		3							6
GREECE						1	1	1	5
IRELAND									5
PORTUGAL				1		1		1	5
MEXICO				1					4
AUSTRIA	1					1	1	1	4
INDONESIA									3
SINGAPORE							1		3
LUXEMBOURG						1			2
ISRAEL						1			2
RUSSIA									1
PHILIPPINES								1	1
POLAND									1
PAKISTAN									1
BERMUDA									1
SOUTH AFRICA									1
Total	65	69	4	76	91	34	43	73	1,024

表 6-2 国別産業別対象企業数

図 8 に、世界 37 カ国 1,024 社の、2002 年から 2009 年の 8 年間の Shadow price を国別に示す。

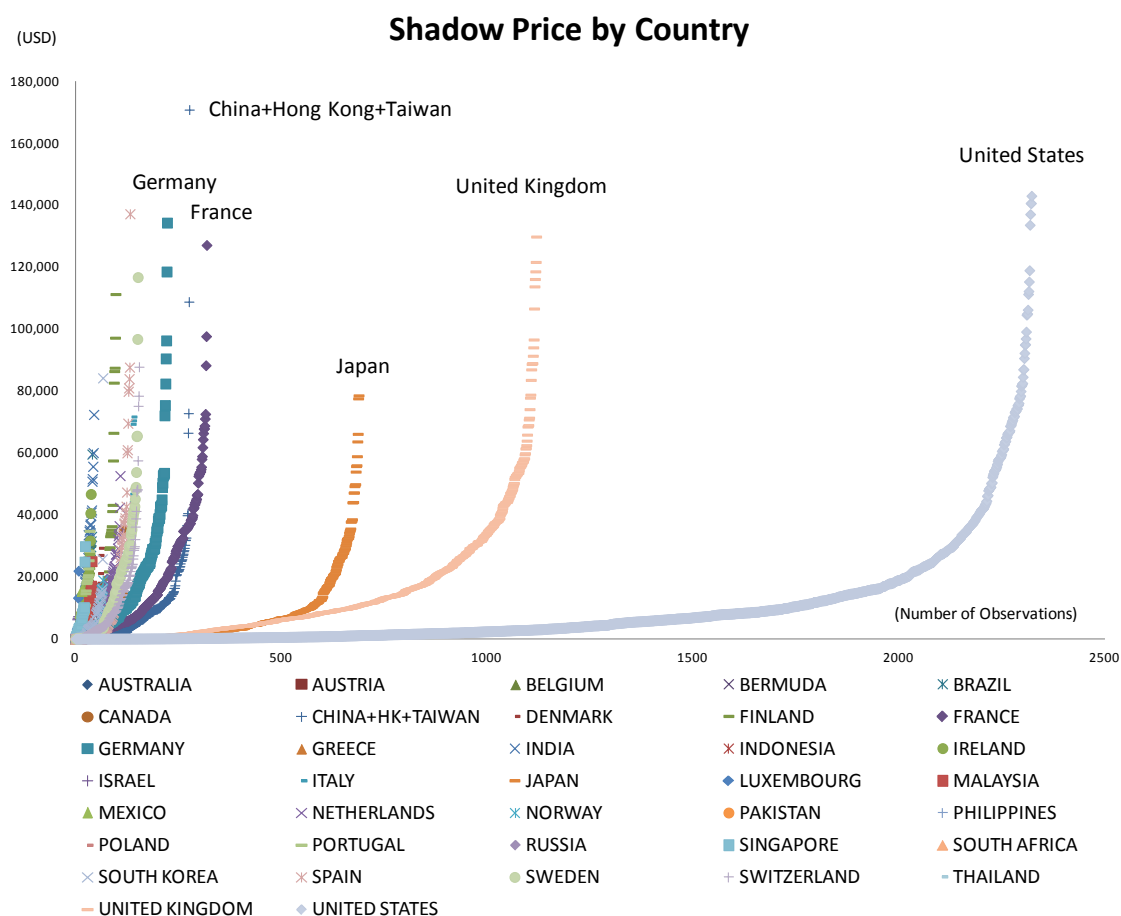


図 8 国別Shadow Price<sup>31</sup>

図 8 より、Inefficiency score の結果同様、Shadow price の高い企業と低い企業は各国に存在しており、各国において企業の Shadow price を抑制する政策が必要とされていることが分かる。また Shadow price の曲線は大きく曲がっており、各国において Shadow price の高い企業が存在する一方、比較的安価に GHG の排出を削減できる企業も多く存在することが伺える。

表 7 に、上記 8 年分の Shadow price の平均値、中央値、Shadow price が 100 ドル、1,000 ドル、10,000 ドル以下の企業が全体を占める割合、および Shadow price の観測数を国別に示す。

<sup>31</sup> 本図には、1,024 社の 8 年分の結果を用いている。

	Average Shadow Price	Median Shadow Price	Shadow Price <20	Shadow Price <100	Shadow Price <1,000	Shadow Price <10,000	# obs
1 UNITED STATES	9,809	3,340	5%	10%	28%	74%	2,321
2 UNITED KINGDOM	13,544	7,335	2%	6%	19%	60%	1,119
3 JAPAN	6,626	2,332	3%	8%	35%	83%	689
4 FRANCE	16,686	8,697	3%	7%	15%	52%	319
5 CHINA+HK+TAIWAN	8,453	4,316	8%	14%	36%	74%	277
6 GERMANY	15,433	9,423	1%	6%	17%	54%	223
7 SWITZERLAND	11,003	5,579	4%	10%	18%	65%	155
8 SWEDEN	14,074	7,086	2%	8%	22%	56%	152
9 ITALY	11,406	5,780	5%	15%	22%	65%	137
10 SPAIN	12,482	3,146	9%	22%	40%	70%	133
11 CANADA	2,120	469	3%	11%	70%	94%	118
12 NETHERLANDS	9,917	3,536	0%	3%	14%	63%	109
13 FINLAND	13,088	1,986	12%	18%	37%	66%	98
14 NORWAY	2,955	612	1%	12%	57%	90%	67
15 SOUTH KOREA	5,739	3,216	1%	3%	39%	82%	67
16 DENMARK	7,093	5,640	7%	12%	29%	71%	58
17 INDIA	19,279	18,259	2%	13%	29%	44%	45
18 BRAZIL	13,707	10,107	0%	5%	20%	49%	41
19 MALAYSIA	4,253	582	35%	38%	55%	80%	40
20 IRELAND	11,596	8,704	5%	16%	24%	53%	38
21 AUSTRALIA	2,080	878	19%	30%	54%	95%	37
22 BELGIUM	6,904	2,817	0%	5%	27%	73%	37
23 PORTUGAL	9,417	7,830	29%	29%	34%	60%	35
24 GREECE	5,743	5,103	11%	11%	15%	85%	27
25 SINGAPORE	6,610	4,115	0%	0%	13%	79%	24
26 AUSTRIA	2,815	685	23%	41%	50%	95%	22
27 THAILAND	69	18	52%	86%	100%	100%	21
28 MEXICO	5,830	5,349	12%	24%	29%	82%	17
29 INDONESIA	92	9	63%	75%	100%	100%	8
30 LUXEMBOURG	5,660	3,189	0%	25%	38%	75%	8
31 PHILIPPINES	1,265	1,100	0%	0%	25%	100%	8
32 POLAND	519	570	0%	25%	75%	100%	8
33 SOUTH AFRICA	113	98	25%	50%	100%	100%	8
34 BERMUDA	319	240	17%	17%	100%	100%	6
35 ISRAEL	3,496	3,291	0%	0%	50%	100%	6
36 RUSSIA	22	25	25%	100%	100%	100%	4
37 PAKISTAN	73	102	33%	33%	100%	100%	3
Average	10,414	4,189	5%	10%	28%	70%	

表 7 国別Shadow price平均値、中央値、Shadow price価格別割合、観測数<sup>32</sup>

世界 37 カ国の平均の Shadow price は 10,414 ドル、中央値は 4,189 ドルであり、日本企業の Shadow price の平均値は 6,626 ドル、中央値は 2,332 ドルと、世界平均を大きく下回る結果となった。また Shadow price の平均値と中央値を比較すると、これら 2 つの数値には大きな差があり、各国の Shadow price の平均値が、一部企業によって引き上げられていることが分かる。そして、世界の 1 割の企業は 100 ドル以下の Shadow price(GHG 排出削減 1 トンあたりに犠牲とする売上高)で、約 3 割が 1,000 ドル以下で、7 割が 10,000 ドル以下で削減できることが判明した。日本の場合、100 ドル以下で約 1 割、1000 ドル以下で 3 割 5 分、10000 ドルで約 8 割の企業が削減出来るため、世界と比較し、低コストで GHG を削減できる可能性がある。Shadow price は、限界削減費用の最大値であるため、実際に排出削減に必要となる費用は、これを下回ると考えられる。図 8 に、上記結果を地域別にまとめる。地域区分は、図 6 と同様である。

<sup>32</sup> 全体での平均値は、全ての数値を用いての平均であり、表中で計算できる数値とは異なることに注意して頂きたい。

## Shadow Price by Region

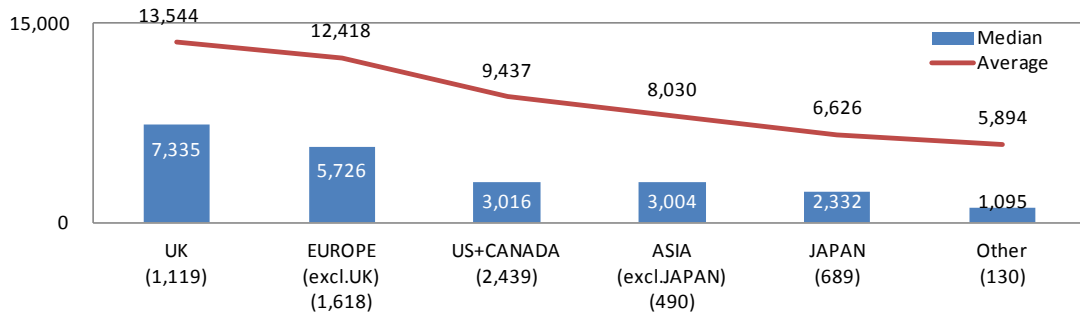


図9 地域別Shadow price<sup>33</sup>

図9から、Shadow priceは、英国と欧州(英国除く)において高く、米国・カナダ、アジア(日本除く)、そして日本において低いことが分かる。Shadow priceが低いということは、GHG排出削減に伴い生産規模を縮小した場合、犠牲となる売上が小さいということであり、強い炭素制約が導入され、生産調整や販売戦略の見直しが必要となった際に、相対的に市場競争力が高まることを意味する。日本の限界削減費用は高いというイメージがあるかもしれないが、本研究の結果からは、日本は全産業を通じ、最も低コストかつ効率的にGHGを削減できることが明らかとなった。欧州(英国除く)に関しては、日本同様、Inefficiency scoreの値は低く、効率的な経営をしていると評されながらも、Shadow priceは高いという結果になっている。これはつまり、資本・労働・マテリアルのマネジメント力の高さから、欧州企業は低いInefficiency scoreを得ている(高い経営効率を有すると評価されている)が、GHGのマネジメント能力のみを切りだして考えれば、日本企業に圧倒的競争力があるということである。日本企業の省エネ・ノウハウの高さは、これまで多くの人々が認めるところであったが、今回の結果はこれを裏付けるものとなった。日本企業は、賢く資源を節約してきたからこそ、高効率かつ低コストでのGHGの削減を可能としてきたのである。

この結果は、2012年以降の気候変動対策の枠組(ポスト京都の枠組)および各国の削減割当量の設定に関する議論において、極めて重要な意味を持つ。これまで日本の産業界は、日本企業の限界削減費用は各国と比較し高く、日本においてGHG削減を行うことは高コスト・非効率であり、それゆえに日本国の削減量は他国と比較し控えめであるべきであると、そしてGHG削減割当量の設定は、各国の限界削減費用が一定のレベルになるようにすべきであるとの議論を展開してきた。しかし今回の研究結果は、各国の限界削減費用が一定のレベルになるようにGHG削減割当量が各国に設定されることになった場合、日本国の削減量が、他国と比較し飛躍的に高まりえることを示唆する。限界削減費用の一定化に過度に重点をおいた議論の展開は、日本国にとって不利になりえることを、日本の産業界および政府関係者は認識すべきであろう。

アジア(日本除く)に関しては、Inefficiency scoreが高い一方、Shadow priceが低いという結果になった。この結果は、アジアの経営効率は先進国と比較し高いとは言えないが、GHGは低価格で削減出来るということを示唆する。つまりアジアでは、製造プロセス含めた経営の効率改善を行うことにより、欧米各国よりもGHGが低価格で削減できるポテンシャルがあるということである。この結果は、非効率的な生産活動によるGHG排出を行っている新興国企業に対して、エネルギーの効率利用など先進国の効率的な生産技術を移転することで、より低価格なGHG排出削減が達成される可能性を示唆しており、クリーン開発メカニズム(Clean Development Mechanism: CDM)等、途上国・新興国と先進国を繋ぐ枠組みの必要性・重要性が確認される結果といえよう。また、今回のアジアのサンプルにおける、中国(香港台湾含む)企業の割合は約50%、韓国企業の割合は約15%であり、これら国々におけるフロンティア率は、それぞれ16%と15%である。この

<sup>33</sup> カッコ内数字は、観測数である。

結果は、アジアにおいては各産業のトップとなりえるような超優良企業が存在する一方で、非効率な企業も未だ多く存在すると解釈できる。そのため、日本の Shadow price の平均はアジアと比較し低いが、欧米同様、日本に関しても、海外に非効率企業を見つけ CDM を実施することは経済的合意性にかなう行為だと言える。

次に、国別の GHG 排出を鑑みた Total Factor Productivity(全要素生産性)の成長を説明する。図 10 に、2002 年から 2009 年における、各国の GHG 排出を鑑みた TFP の成長率の累計値を示す。

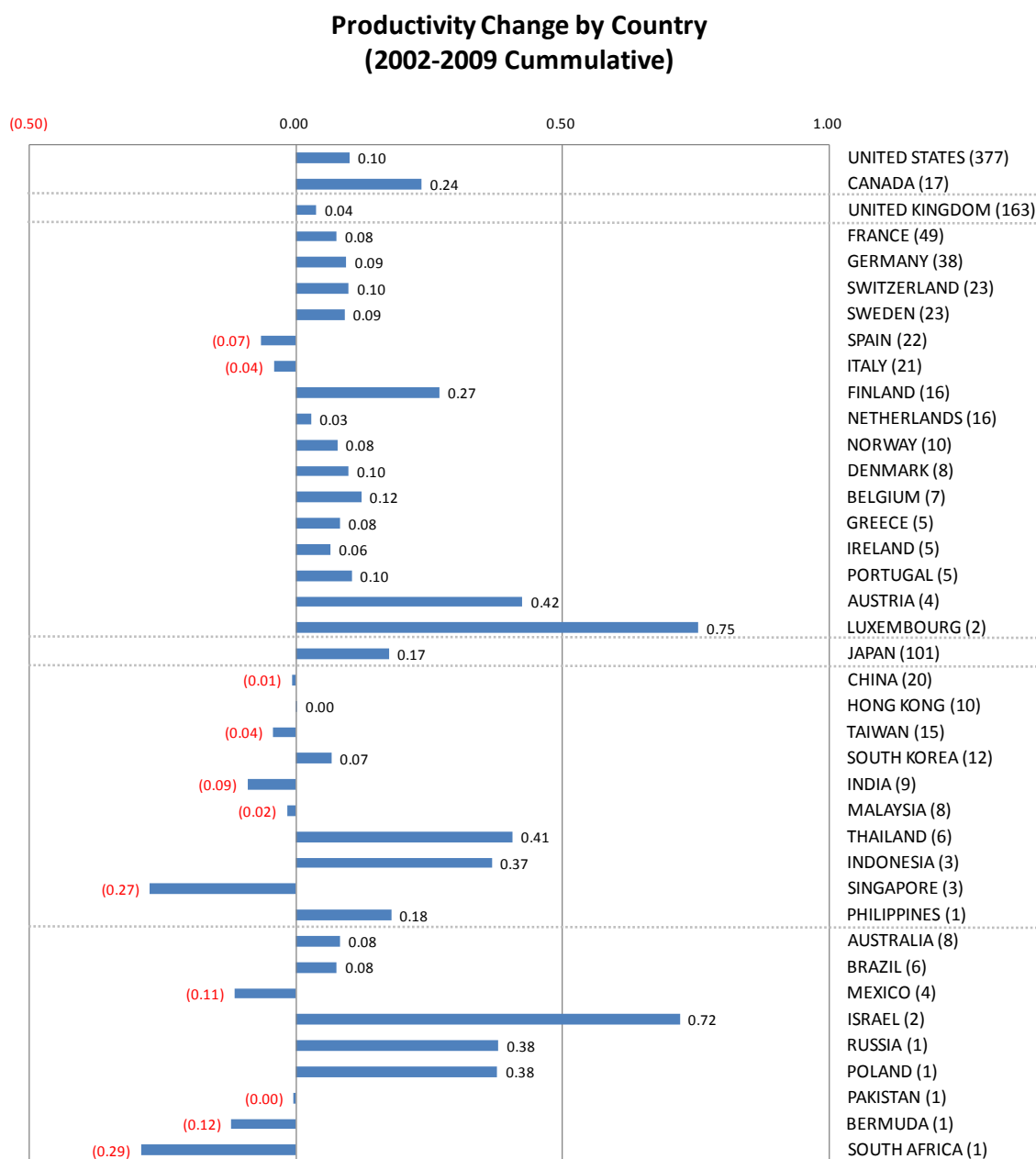


図 10 国別生産性<sup>34</sup>

<sup>34</sup> 各国名の横のカッコ内数字に、対象企業数を示す。対象企業数が少ない国もあるため、結果は対象企業数に注意し、分析する必要がある。

図 10 より、欧米各国(スペイン、イタリア除く)、日本およびオーストラリアをはじめとする先進国の生産性が堅調な伸びを見せる一方、経済成長著しいと評される中国やインドの生産性の伸びが、マイナスであることが分かる。インプット一単位あたりのアウトプットが増えなければ、生産性は向上しない。経済規模の成長が著しくとも、それに伴いインプットの量が相対的に増加していれば、生産性は向上しないのである。この結果は、現在の中国やインドにおける成長は、生産性の伸びを伴った成長ではないと解釈できる。両国においては、本研究の対象期間である 2002 年から 2009 年の間に、効率的生産設備への積極的な先行投資が行われたことが、この理由として考えられる。同期間において、中国やインドの資本ストックは、世界平均の 1.5 倍の大きく超える 3 倍近くに増加したのである<sup>35</sup>。生産設備の効率化は長期的には生産性を改善させる可能性があるが、新興国の中長期的な競争力獲得を目指した設備の近代化は、短期的な資本生産性の低下に寄与することが、先行研究でも指摘されている(Fujii et al., 2010)。また結果は、今回本研究において対象とした企業が、国際市場において激しい競争にさらされている大企業であり、戦略的に長期的視点に立った設備投資を行い、積極的に資本ストックの増強を行っていることにも起因すると考えられる。これは、Pandey et al. (2009)やChaudhuri et al.(2010)らが、中国・インドの製造業の中小企業を含む国内市場を対象とした研究において、両国企業が国の経済発展とともに生産性を向上させていく構造を見出したのと、対照的な結果である。新興国で生産性の伸びが確認できるのは、アジアでは韓国とタイ<sup>36</sup>、南米ではブラジルである。日本の生産性の成長は 0.17 と、世界の中でもトップクラスにあり、米国の 0.1、英国の 0.04、フランスの 0.08、ドイツの 0.09 を上回り、日本経済の基盤の強さが示される結果となった。

## まとめ

非効率企業・Shadow price の高い企業は、各国に存在しており、世界の GHG 排出抑制を図るためには、各国において企業の GHG 排出を鑑みた経営を推進する必要がある。ただしこれら企業が全体に占める割合は低いいため、これら非効率企業の特徴を的確に捉えた政策を実施することにより、産業全体の効率性の効果的な底上げは可能と考えられる。

日本企業の Shadow price は低く、GHG を鑑みた経営効率は世界のトップレベルにあり、資本・労働・マテリアル・GHG マネジメントの全ての観点から、高い経営効率を達成している。また GHG 排出を鑑みた生産性の成長率に関しても、日本企業は世界のトップクラスにあることから、世界に炭素制約が課せられた際の、日本企業の相対的優位性は高いといえる。ただし現在日本企業が置かれている競争環境は厳しく、今後も日本企業の相対的優位性が保たれるような政策の導入は必要であると考えられる。またこの結果は、次期気候変動枠組交渉において、各国の限界削減費用が一定のレベルになるように GHG 削減量が設定された場合、Shadow price が相対的に低い日本国の削減量が、他国と比較し飛躍的に高まる可能性を示しており、限界削減費用の一定化に過度に重点をおいた議論を日本国が展開することの危うさを示唆している。

そして本研究では、中国(香港台湾含む)などアジアの新興国には、経営効率の高い優良企業が存在する一方で、現在の中国の成長は生産性の伸びを共なった成長ではなく、非効率な企業も多く存在する可能性が示唆された。この結果は、CDM 等の枠組みを通じ、アジアの非効率企業に日本のマネジメント技術・能力が提供されれば、世界の GHG 排出の抑制に繋がると理解できる。

次に、各産業における炭素制約の影響について考察する。

<sup>35</sup> 中国第十一次五ヵ年計画(2006 年-2010 年)では、エネルギー利用効率の改善を目的とした生産設備の近代化を政府が目標として掲げており、活発な設備投資が行われてきた。資本ストックの値は、本研究で用いられたサンプルを基に計算された。

<sup>36</sup> インドネシアとフィリピンに関しては、対象企業数 5 社以下とサンプルが限定的なため、本文における記載からは除外した。

## 全産業

本セクションでは、Adjusted inefficiency score、Shadow price、Productivity の推計結果を産業別にまとめ、各産業における炭素制約の影響について考察する。また推計結果を被説明変数とし回帰分析を行う他、先行研究との比較を行う。図 11 に、15 業種 1,024 社の、2002 年から 2009 年の 8 年間の Adjusted inefficiency score を、産業別に示す。Adjusted inefficiency score とは、前述の Inefficiency score を、Trucost 社による 464 業種売上高比率を用い調整し、例えば鉄鋼やセメントなど GHG 排出量の多い業界と、メディアやヘルスケアなどの排出量の少ない業界間のパフォーマンスを比較できるようにした指標である。

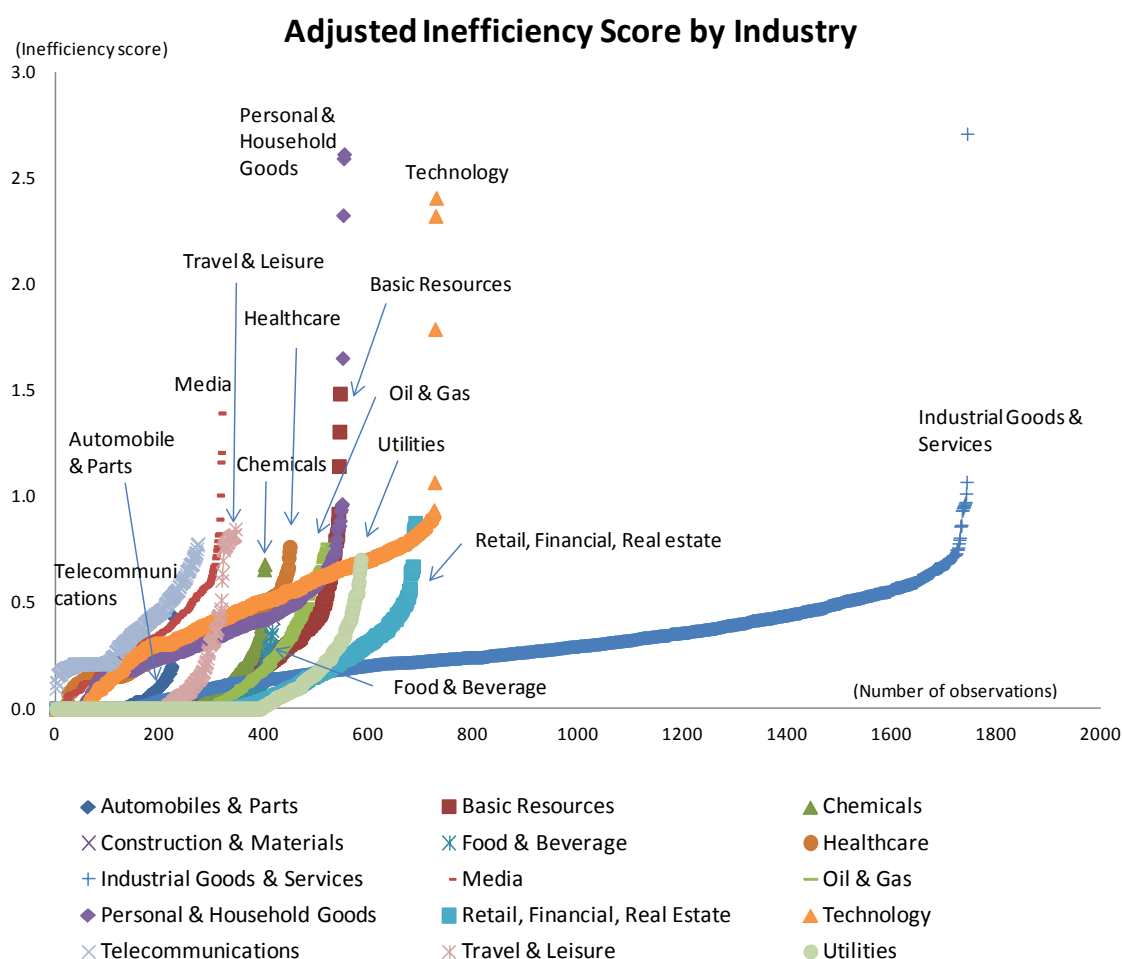


図 11 産業別 Adjusted Inefficiency Score<sup>37</sup>

図 11 から、GHG 排出を鑑みた経営効率は、①業界間で大きな差があり、自動車業界等が、高い一方で、家電・家庭用品、テクノロジー業界等における効率は、他産業と比較し低いこと、また②業界内においても大きな差があり、経営効率の高い企業と低い企業は、各業界に存在していることが分かる。③業界内における格差は、家電・家庭用品、テクノロジー業界等において顕著で

<sup>37</sup> 本図には、1,024 社の 8 年分の結果を用いている。

あり、また通信業界等においては、経営効率の高いフロンティア企業(Adjusted inefficiency score がゼロの企業)が存在していないことが見受けられる。

表 8 に、上記 8 年分の Adjusted inefficiency score の平均値、中央値、フロンティア率(Inefficiency Score がゼロの割合)、企業数を、産業別に纏める。

	Average	Median	% of Frontier	Number of Companies
Automobiles & Parts	0.033	0.000	58%	28
Chemicals	0.051	0.000	67%	50
Construction & Materials	0.022	0.000	80%	52
Food & Beverage	0.026	0.000	73%	52
Oil & Gas	0.116	0.000	57%	65
Travel & Leisure	0.110	0.000	60%	43
Utilities	0.064	0.000	67%	73
Retail, Financial, Real Estate	0.107	0.003	49%	86
Basic Resources	0.139	0.033	45%	68
Industrial Goods & Services	0.283	0.260	8%	218
Healthcare	0.284	0.268	4%	56
Media	0.323	0.300	4%	39
Personal & Household Goods	0.332	0.305	8%	69
Telecommunications	0.357	0.320	0%	34
Technology	0.467	0.483	7%	91
	Average	0.204	0.147	34%

表 8 産業別 Adjusted Inefficiency Score の平均値、中央値、フロンティア率<sup>38</sup>

全業種を鑑みた際の、Adjusted inefficiency score の平均値は 0.204、中央値は 0.147 となった。また、平均値と中央値を比較すると、国別の Inefficiency score の比較と同様に、平均値が中央値を上回る結果となっており、一部の非効率性の高い企業により、平均値が押し上げられていることが分かる。また、この結果より、自動車・部品、化学、建設・建設資材業界等の製造業の Adjusted inefficiency score は低く、GHG 排出を鑑みた経営効率は高いこと、また、これら業界のフロンティア率(Adjusted inefficiency score がゼロの割合)は高いことが分かる。一方で、テクノロジー、通信、メディア、ヘルスケア業界などのサービス業における GHG 排出を鑑みた経営効率は低い傾向にあり、フロンティア率もおのずと低いという結果になった。

これまで日本の環境行政においては、GHG 排出量の多い製造業を中心に、GHG 排出量算定報告公開制度などを導入し、GHG の排出量の把握と抑制に努めてきた。しかし今回の結果は、効率を考えれば、削減可能な GHG 排出量の絶対量は少なくとも、サービス産業においても、GHG 排出抑制のための政策を導入すべきことを示唆している。また環境投資の観点からは、これまでセメントや鉄鋼といったエネルギー多消費型産業が、これら産業の持つイメージから、個人投資家を中心に敬遠されてきたきらいがあるが、この傾向は是正される必要がある。GHG 排出量が少ない、イコール、GHG 排出を鑑みた経営効率が低いとはいえないのである。

図 12 に、15 業種 1,024 社の、2002 年から 2009 年の 8 年間の Shadow price を産業別に示す。

<sup>38</sup> 全体での平均値は、全ての数値を用いての平均であり、表中で計算できる数値とは異なること、また Adjusted inefficiency score は、売上比率で結果が調整されている分、そうでない Inefficiency score と比較し、特定の業界において、スコア同じ方向に偏る傾向があることに注意して頂きたい。建設・建設資材や食品業界において、特にフロンティア率が高いのは、これら業界に差の少ない企業が多く存在し、それらがフロンティアと評されたためと考えられる。



## Shadow Price by Sector

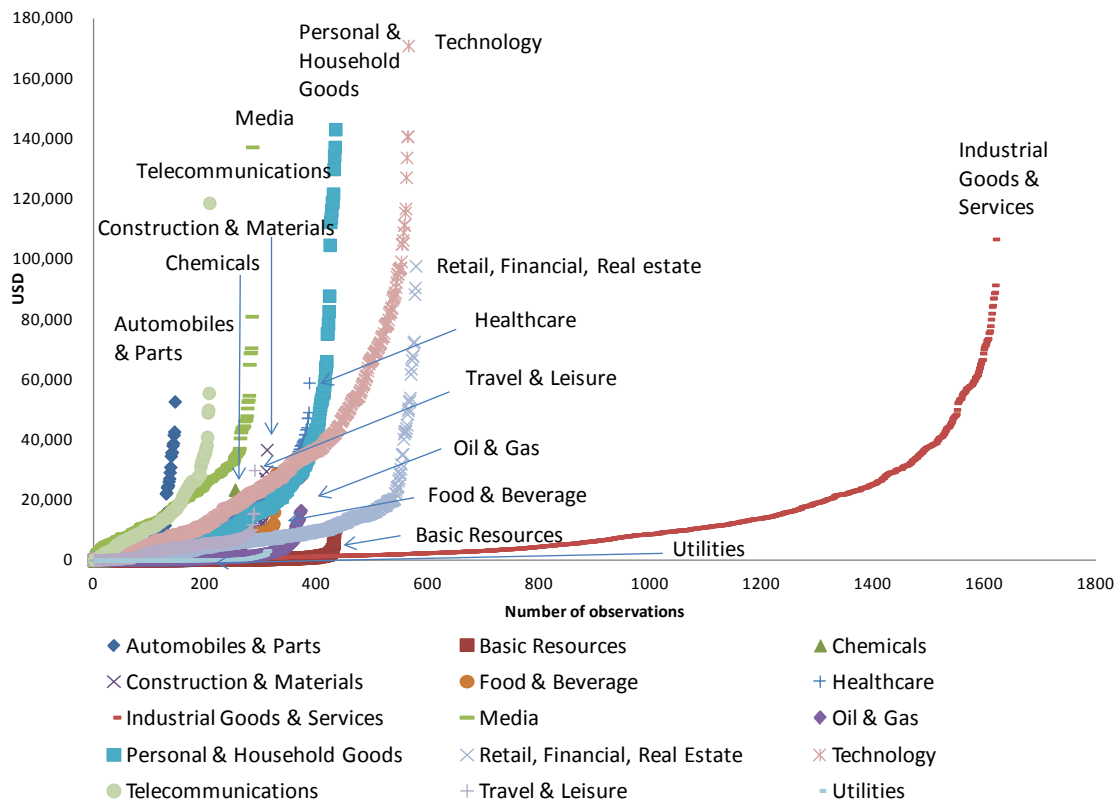


図 12 産業別Shadow price<sup>39</sup>

図 12 より、Shadow priceも Adjusted inefficiency score同様に、業界間においても業界内においても、大きな差があることが分かる。この結果は、日本の環境行政、特に排出量取引制度の設計・導入に関し、極めて重要な意味を持つであろう。それはこの結果が、排出量取引制度(中でも特にオークション方式)の導入を全面的にサポートするものだからである<sup>40</sup>。排出量取引制度は、GHG排出量に限度(キャップ)を設定し、その排出枠内での取引を認めることにより、柔軟性のあるGHG削減義務履行を可能とする制度である。異なるGHG削減コストを有する企業・団体が、双方のニーズを鑑み、排出権を取引することにより、費用の少ない排出削減の取組が効率的に選択され、社会全体として効率的な排出の削減を進めることができるのである。本研究では、業界内外を問わず、Shadow priceには大きな差異があることが分かった。Shadow priceに差があるのであるから、排出量取引制度が導入され、Shadow priceの高い企業と低い企業が排出権をトレードすることが、日本国そして世界のGHGの総量削減を効率に進めるために、経済合理的であると言えよう。そして産業間そして産業内においても、個別企業のShadow priceが大きく異なるということは、排出量取引制度が業界間だけでなく業界内においても成立しうるということを意味する<sup>41</sup>。つまり排出量取引制度は、国内の一産業をターゲットにしたものであっても有意義に機能しうるのである。

<sup>39</sup> 本図には、1,024社の8年分の結果を用いている。小売・金融・不動産(Retail, Financial, Real Estate)業界の Adjusted inefficiency score がなだらかなカーブを示しているのに対し、Shadow priceの曲線がUSD20000前後で折れ曲がり、一部に高い値を見せているのは、金融・不動産業界の影響のためである。

<sup>40</sup> オークション方式とは、排出枠を競売によって配分する方法である。詳細については、環境省『国内排出量取引制度について』や、諸富徹著『排出量取引制度におけるオークション方式の検討』を参照のこと。

<sup>41</sup> 個別の産業をターゲットとした排出量取引制度として、EU等は、Sectoral crediting mechanism (セクター別クレジット制度)の導入を検討している。

加えて、本研究結果では、これまで産業レベルでしか議論されなかった、企業毎・年度毎の異なる Shadow price を明らかにすることにより、総量規制型の排出量取引制度が導入された際、具体的に売り手・買い手となる企業、そして個々の企業が負担することとなる費用の程度を測るための道筋を立てることができた。図 11 から、Shadow price は、テクノロジー、家電・家庭用品、メディア、通信業界等において高い企業が存在する一方、エネルギー多消費型産業と評される、電力公共、資源素材、石油ガス業界においては低い企業が多いことが分かる。これはつまり、全ての産業に同等の炭素制約(GHG 排出削減量)が課せられた際には、Shadow price の高いテクノロジー業界等が、炭素クレジットの買い手となり、Shadow price の低い電力公共業界等が、売り手となるということである。政策上、GHG 排出量の異なる全ての業種に同じレベルの総量規制が導入されるとは考えにくい。実際、テクノロジー業界が炭素市場の主たる買い手になるとは想定できないが、同様の分析を産業別の GHG 排出削減量が明らかとなった際に実施し、Shadow price の高低により、大凡の炭素クレジットの売り手・買い手そして売買量を導き出すことは可能である。同様に、環境税が導入された際の各企業の負担額を推定することも可能である。

表 9 に、上記 8 年分の Shadow price の平均値、中央値、Shadow price が 100 ドル、1,000 ドル、10,000 ドル以下の企業が全体を占める割合、および Shadow price の観測数を産業別に示す。

	Average Shadow Price	Median Shadow Price	Shadow Price <100	Shadow Price <1,000	Shadow Price <10,000	#obs
Utilities	245	46	60%	92%	100%	308
Construction & Materials	2,315	65	52%	65%	96%	311
Basic Resources	456	184	37%	90%	100%	434
Oil & Gas	1,673	582	13%	65%	96%	375
Chemicals	2,020	766	10%	59%	96%	254
Food & Beverage	4,457	3,269	3%	15%	95%	328
Automobiles & Parts	6,969	3,491	3%	25%	84%	146
Travel & Leisure	4,060	4,200	5%	25%	97%	289
Industrial Goods & Services	11,478	4,811	2%	20%	65%	1,614
Retail, Financial, Real Estate	9,620	5,602	0%	7%	72%	547
Personal & Household Goods	16,819	8,718	0%	4%	54%	434
Telecommunications	14,235	11,044	0%	5%	44%	208
Healthcare	13,666	11,605	1%	3%	45%	387
Media	20,341	17,833	1%	1%	25%	285
Technology	29,399	22,092	0%	3%	32%	565
Average	10,414	4,189	10%	28%	70%	

表 9 産業別Shadow price平均値、中央値、Shadow price価格別割合、観測数<sup>42</sup>

表 9 より、15 業種の平均の Shadow price は 10,414 ドル、中央値は 4,189 ドルであり、世界の 1 割の企業は 100 ドル以下で、3 割が 1,000 ドル以下で、7 割が 10,000 ドル以下で、GHG 排出(1ton CO2e)を削減できることが分かる。また Shadow price の平均値と中央値を比較すると、ほぼ全ての業界において、これら 2 つの数値には大きな差があり、各業界の Shadow price の平均値が、一部の企業によって引き上げられていることが分かる。Shadow price は、電力公共、資源素材、建設・建設資材業界等において平均を大きく下回っており、これら業界の約 4 割以上の企業が、100 ドル以下で、石油ガス、化学、食品業界においても半数以上の企業が 1,000 ドル以下で削減できる一方、テクノロジー、メディア業界等の Shadow price は高く、1,000 ドル以下では数%の企業しか削減できない。この Shadow price の分布は、炭素制約が導入された際の各産業への影響の濃淡を示すものである。つまり全業種に同等の GHG の総量規制が導入された際、最も影響を受け

<sup>42</sup> 全体での平均値は、全ての数値を用いての平均であり、表中で計算できる数値とは異なることに注意して頂きたい。

やすいのは、Shadow price の高い、テクノロジーやメディア業界であり、最も影響が少ないのは、Shadow price の低い電力公共や資源素材業界であるということである。

図 13 に、Shadow price と Shadow price の Standard Deviation(標準偏差)を、産業別に示す。

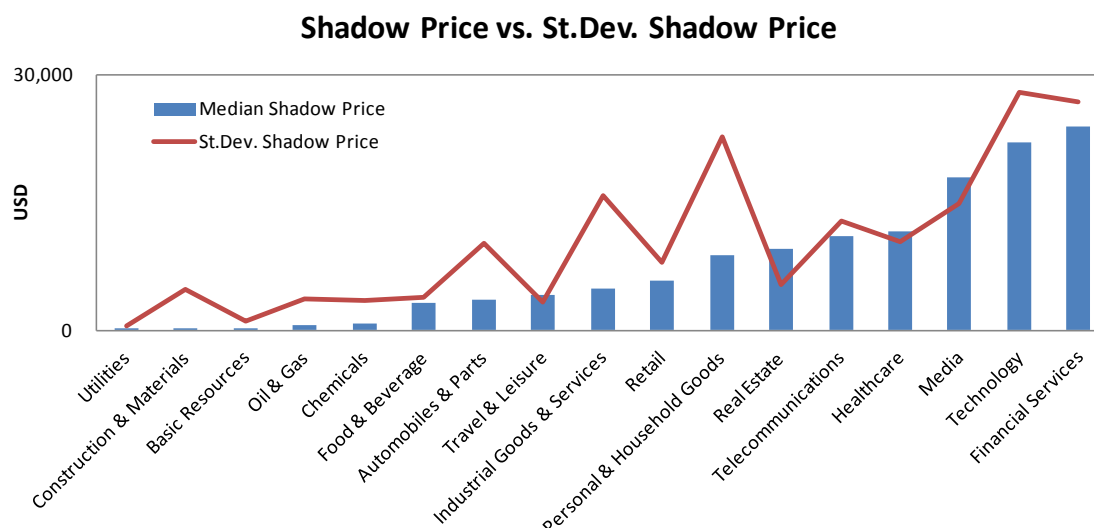


図 13 Shadow price と Shadow Price の Standard Deviation(標準偏差)の比較

標準偏差とは、データの平均値に対するばらつき具合を示す値である。図 12 から、テクノロジーなど Shadow price の高い産業ほど、標準偏差の値も高いことが分かる。Shadow price の値そのものが高ければ、標準偏差の値も高くなるのは当然であるが、標準偏差の値は、テクノロジーや家電・家庭用品、また工業用品・サービス業等において特に高く、これは、これら業界において Shadow price が上手くコントロールされていない可能性を示唆している。

そしてこの結果は、これら業界におけるGHGマネジメントに対する関心の低さとも関連付けられる。本研究では、対象となった日本企業 101 社について、2002 年から 2009 年の 8 年間の環境報告書の発行状況および環境会計の報告状況を調べ、そこで環境会計情報の収集・公開を(一時)中止・非公開とした企業にヒアリングを行ったところ、一部商社<sup>43</sup>や小売、メディア企業から、製造業と比較した際の環境会計の重要性や使用用途について疑問視する声や、そもそも基準が良く分からないといった意見が複数聞かれた。確かに環境会計に関しては、現時点において未だ曖昧な点が多いのも事実であろうが、製造業や建設業、不動産業など他業界のトップ企業<sup>44</sup>が、独自にスタンダードのあり方を研究し実施している実態と比べ、基準が分かりにくいから、もしくは使用用途が分からないからといった理由で、実施していない企業に関しては、やはりGHGマネジメントに関する意識が低いと言えるであろう。

加えて、電気料金の安さや電力コストが全費用に占める割合の低さも、これら業界において GHG マネジメントに関する意識が低い理由として考えられる。これら業界の主な GHG 排出源は電力消費であるが、電気料金とこれら業界の Shadow price を比較した場合、Shadow price が大幅に高

<sup>43</sup> 商社は、工業用品・サービス(Industrial Goods & Services)業に属する。

<sup>44</sup> 例えば、トヨタ自動車は独自基準を打ち出しており、環境報告書には環境省ガイドラインに沿った集計結果と独自基準のものを併記している。三菱地所も、環境省ガイドラインを参考にしつつコンサルタントらと共に、不動産業界に合わせた独自の集計方法を開拓している。また建設業 3 団体は、建設業における環境会計ガイドラインを作成しており、清水建設、大成建設、大林組などはそれに準拠している。

いため、節電を行うメリットが小さく留まるのである。従って、これら企業の GHG マネジメントのインセンティブを高めるためには、炭素制約を積極的に導入し電気料金を高め Shadow price の水準に近づけること、もしくはこれら産業に直接 GHG の総量規制を導入することが有効と考えられる。

前述の通り、これまで日本の環境行政においては、GHG 排出量の大きい製造業を中心に対策をとってきた。しかし今回の結果から、製造業以外の業界における GHG マネジメントに対する関心、そして GHG を鑑みた経営効率性は低く、これらエネルギー需要サイドの業界に如何に GHG 排出を鑑みた経営を浸透させるかが、環境政策上重要であることが分かった。東京都や埼玉県が実施している総量削減型の排出量取引制度は、オフィス等のエネルギー使用量の総量を削減することを目的としており、今回の研究結果によって明らかとなった政策ニーズを実践している有意義な制度事例といえよう。

次に、Shadow price と GHG-Intensity(炭素強度)の関係について説明する。図 14 に、Shadow price と GHG-intensity(売上高あたり GHG 排出量および GHG 排出量あたり売上高)を示す。

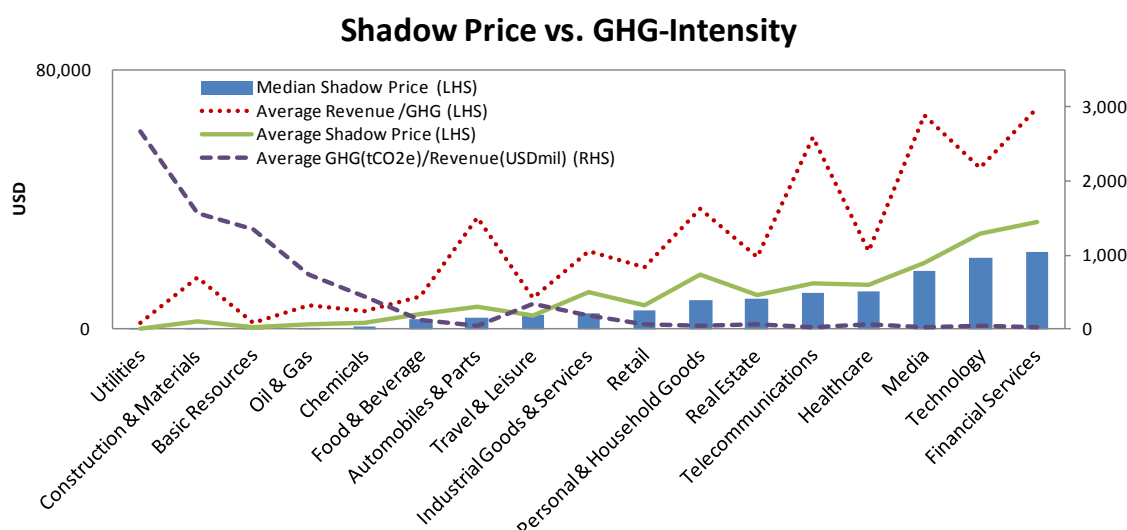


図 14 Shadow price と GHG-Intensity(炭素強度)の比較

図 14 より、売上高あたりの GHG 排出量(GHG/Revenue)の高い産業ほど Shadow price は低く、逆に売上高あたりの GHG 排出量の低い産業ほど Shadow price は高いことが分かる。Shadow price は、GHG 削減 1 トンあたりに犠牲となる売上高であるため、売上高あたり GHG 排出量の高い産業ほど、1 トンあたりに犠牲となる売上高は少なくなり、売上高あたりの GHG 排出量とは概ね負の相関関係が見られる。しかし Shadow price と GHG 排出量あたり売上高を比較すると、2 つは同じ傾向にあるが、この傾向は必ず当てはまるものではなく、また GHG 排出量あたり売上高 (Revenue/GHG)の方が Shadow price よりもずっと高いものであることが分かる。Shadow price と GHG 排出量あたり売上高に差があるのは、Shadow price が GHG だけでなく、Inefficiency score 同様、資本・労働・マテリアルのマネジメントを総合的に鑑みた数字であり、資本・労働・マテリアルの効果的利用で、GHG 排出抑制のより効果的な可能性を見出しているからである。Shadow price イコール GHG-Intensity ではないのである。

次に、非効率的経営を行っている企業が、フロンティア企業と同じ高い経営効率を達成した際に削減可能な GHG 排出量と期待できる売上高上昇額について説明する。図 15 に、これらポテンシャルの値を、図 16 に GHG 排出量と Inefficiency score を、産業別に示す。

### GHG Reduction & Revenue Increase Potentials

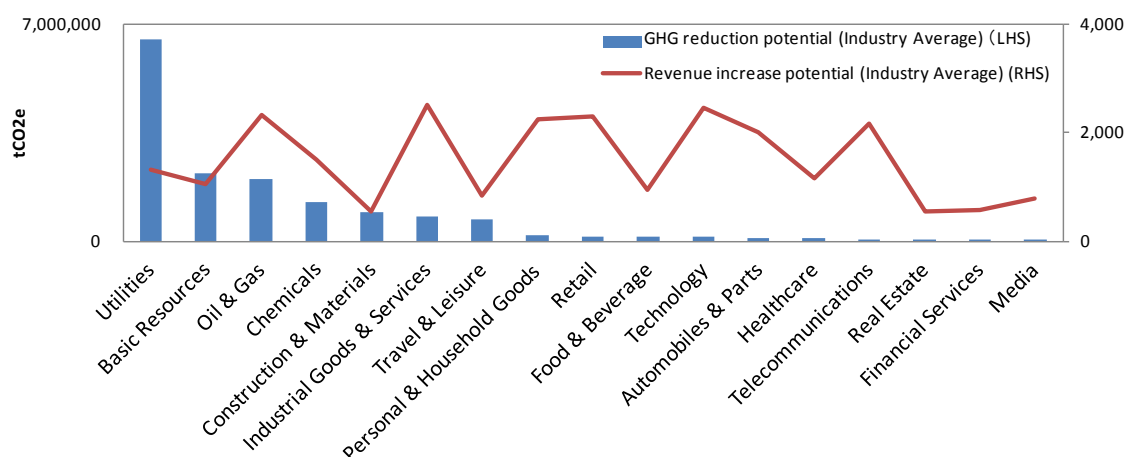


図 15 GHG 削減・売上上昇ポテンシャル産業別平均値

### GHG Emissions vs. Inefficiency Score

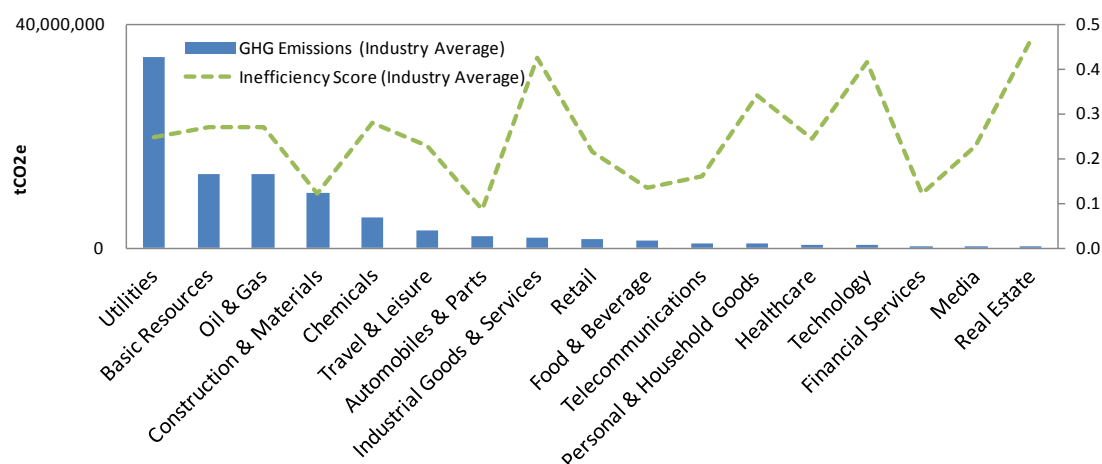


図 16 GHG 排出量と Inefficiency Score 産業別平均値

図 15 の GHG 削減・売上上昇ポテンシャルの数値は、前述の Inefficiency score に、各社の GHG 排出量と売上高をそれぞれ掛け合わせたものである。フロンティア企業の Inefficiency score はゼロなため、フロンティア企業の削減・上昇ポテンシャルはゼロとなり、フロンティアではない非効率企業ポテンシャルは、その企業が非効率であればあるほど高くなる。ただし、このポテンシャルの値は、必ずしも短期間に実現可能な数値ではないことに注意して頂きたい。それは、非効率企業がフロンティア企業と同等の効率性を達成するためには、ある程度の時間をかけて技術・マネジメントを進化させなければならないからである。

図 16 から、GHG 排出量が多く Shadow price の低い製造業の GHG 削減ポテンシャルは大きく、逆に GHG 排出量が少なく Shadow price の高いサービス産業のポテンシャルは小さいことが分かる。

ただし自動車産業など、そもそも **Inefficiency score** の低い産業に関しては、製造業であっても、ポテンシャルの値は低い。テクノロジー産業などでは、**GHG** 排出量は少ないが **Inefficiency score** は高いため売上上昇ポテンシャルの値が高いという結果になった。

この結果は、**GHG** の削減のみを考えた場合、電力公共業界を筆頭に、**GHG** 排出量の多い産業に注目すればよいが、昨今グリーン成長と呼ばれているような、環境を重視した産業育成や国内総生産(**GDP**)の増加を伴った国際競争力の強化を考えれば、**Inefficiency score** の高い、非効率な経営を行っている業界の底上げを図ることが重要であることを示唆する。つまり **Inefficiency score** は低い**GHG** 排出量の多い業界に関しては、業界内において、**Inefficiency score** の相対的に高い個別企業を対象に、一方で、**GHG** 排出量は少ないが **Inefficiency score** の高い業界に関しては、業界全体を対象とする政策を打ちだすことが有効であると考えられるのである。

## まとめ

産業間そして産業内においても、企業の **GHG** 限界削減費用(**Shadow price**)は大きく異なる。これは、排出量取引制度は業界間だけでなく業界内においても、また国内の一産業をターゲットにしたものであっても有意義に機能しえることを意味する。非効率企業・**Shadow price** の高い企業は各業界に存在するが、業界間で比較した際、**GHG** 排出を鑑みた経営効率は、自動車・部品、化学等の製造業で高く、テクノロジー、メディア業界等のサービス業で低い。**Shadow price** は、電力公共、資源素材業界等のエネルギー多消費型産業において低い一方で、テクノロジー、メディア業界等では高いことが明らかとなった。ただし、**GHG** 削減ポテンシャルは、やはり **GHG** 排出量の大きい製造業に多く、排出量の少ないサービス産業においては小さい。ただし自動車産業など、経営効率が極めて高い業界に関しては、製造業であっても、削減ポテンシャルの値は低い傾向にあることが分かった。

この結果は、**GHG** の排出削減の絶対量の確保のためには、電力業界など、**GHG** 排出量の多い産業に引き続き焦点を合わせることに効率的であるが、産業全体の国際競争力強化やグリーン成長を牽引するためには、エネルギー多消費型でない業界にも注目する必要があることを示唆している。特に **GHG** マネジメントに対する関心の低さが、これら業界の経営効率性の低さの背景にあると考えられるため、東京都排出量取引制度のようなエネルギーのデマンド・サイド・コントロール型の政策の存在意義は大きく、また各国に広く導入が検討されるべきといえる。また、炭素制約を導入し電力料金を引き上げ、これら業界の **Shadow price** と電気料金の差を縮めることにより、節電を行うメリットを拡大することも有効な施策と考えられる。加えて、環境投資の観点からは、エネルギー多消費型産業、イコール、**GHG** 排出を鑑みた経営効率が高い企業ではないため、これら産業を投資対象から外す傾向は是正される必要性が認められた。

次に、これら **Inefficiency Score** や **Shadow price** が、どのような企業活動や特徴により左右されるのかについて考察する。

## 回帰分析

表 10 に、Inefficiency score および Shadow price と、企業規模、収益性、研究開発、設備投資の関係を示す、回帰分析(計量分析)の結果を纏める<sup>45</sup>。Coefficient とは 各説明変数が 1 単位上昇した場合に、被説明変数である inefficiency score と shadow price が どれだけ変化するかを表した数値である。また、Standardized coefficient (Std. coefficient) とは、被説明変数及び説明変数を平均値 0、分散 1 に標準化した場合の Coefficient の数値を表す値である。Std. coefficient は、説明変数の単位に依存しないため、Coefficient よりも、より客観的に分析結果の考察を行うことが可能である。そのため、ここでは Std. coefficient と p-value に 着目した考察を行う。

	Inefficiency Score			Shadow Price		
	Coefficient	Std. Coefficient	P-value	Coefficient	Std. Coefficient	P-value
Enterprise value	-0.000	-0.211	0.000	-0	-0.025	0.072
EBIT/Enterprise value	-0.269	-0.089	0.000	-3,338	-0.184	0.125
Capital expenditure/Enterprise value	0.298	0.070	0.000	-186	-0.001	0.960
R&D expenditure/Enterprise value	-0.161	-0.036	0.008	1,120	0.004	0.783

表 10 Inefficiency score、Shadow price と、企業規模、収益性、研究開発、設備投資の関係<sup>46</sup>

本分析では、①企業規模(Enterprise value)の拡大は Inefficiency score と Shadow price を下げる方向に寄与するという結果が得られた<sup>47</sup>。つまり規模の大きい企業ほど、効率の良い経営を行え、かつ GHG の削減も低価格で達成できるということである。また②収益性の高い企業、また研究開発を積極的に行っている企業の経営効率は高い(Inefficiency score は低い)こと、しかし③設備投資(Capital expenditure)は、企業の効率性を下げる(Inefficiency score は高まる)。この設備投資と Inefficiency score との関係は、世界的にみて、効率的でない過剰投資が行われていることを示唆していると考えられる。

次に、日本企業のみをサンプルとして抽出し、企業規模などの要因に加えて、環境保全コスト等が、Inefficiency Score や Shadow price にどのように影響しているかについて考察を行う。

環境保全コストとは、環境負荷の発生の防止、抑制、回避、影響の除去、発生した被害の回復などに係る費用や投資を表す金額で、環境省が定める環境会計項目のひとつである。環境保全コストには、投資額と費用額があり、投資額は、環境保全対策に係る効果が長期間に亘って及ぶ環境保全対策への資金投入額を表す。また、費用額は、同じコストでも企業の毎期の費用の内、環境保全を目的とするものを指す。そして経済効果とは、環境保全対策を進めた結果、企業の利益に貢献したと企業が認める効果額を表す。

多くの企業が、これら数値を環境報告書に環境会計として記載している。そこで本研究においては、対象となった日本企業 101 社の 2002 年から 2009 年の 8 年分の環境報告書を手直し、そこに記載されている環境保全コストを抽出した。環境会計の導入に法的義務はなく、また監査も行

<sup>45</sup> 回帰分析の際には、Adjusted inefficiency score ではなく、Inefficiency score を用いた。これは Adjusted inefficiency score を推計するのに、capital, R&D や enterprise value を使用しているため、その推計値を被説明変数として、再度 capital, R&D, enterprise value を説明変数として推計するのは、整合的ではないためである。

<sup>46</sup> Regression 分析の際には、Trucost464 業種および産業ダミーを用い、業界特性を考慮した上で、Coefficient を計算している。Shadow price に関しては、Shadow price 推計の際にエラーとなり Drop された数値が多かったため(Violation 発生率、約 20%)、統計的に有意な結果が得られなかったと考える。

<sup>47</sup> Shadow price の P-value(0.07)に関しては、0.1 以下ではあるが、0.05 以上であるため、関係性は緩やかなものであると考えられる。

われていないため、環境省が環境会計ガイドラインを定めているものの、具体的集計方法に関しては、個別企業の裁量による部分が多い。そのため、この数字を用い企業間比較することは容易ではない。しかし、このように企業の環境に対する投資が金額として明示されているものは他に存在しないため、今回はこれら数値を用いた。表 11 に、回帰分析の結果を纏める。

	Inefficiency Score			Shadow Price		
	Coefficient	Coefficient Std.	P-value	Coefficient	Coefficient Std.	P-value
Ebit/ Enterprise value	-0.809	-0.160	0.204	-23,040	-1.065	0.036
Capital expenditure / Enterprise value	0.949	0.186	0.257	-18,712	-0.081	0.191
R&D expenditure / Enterprise value	-1.350	-0.274	0.284	-12,072	-0.055	0.463
環境保全コスト(合計)投資額/ Enterprise value	0.088	0.156	0.008	-2,324	-0.096	0.185
環境保全コスト(合計)費用額/ Enterprise value	0.005	0.026	0.641	751	0.096	0.173
経済効果(合計)/ Enterprise value	-0.004	-0.010	0.834	-3,172	-0.183	0.001

表 11 Inefficiency score、Shadow price と、企業規模、収益性、研究開発、設備投資、環境保全費用および経済効果の関係<sup>48</sup>

回帰分析より、環境保全コスト(投資額)は、Inefficiency scoreを上昇させ、投資による経済効果は、shadow priceを低減させるという結果が得られた<sup>49</sup>。これは、環境保全投資は生産性の改善よりも、GHG排出削減取組コストの低減に繋がっている可能性を示唆する。それ以外の要因に関しては、統計的有意性をもっては説明できない。これは、日本企業に限定することで、サンプル数が少なくなったためと考えられる。

## まとめ

規模の大きい企業ほど、効率的な経営を行え、かつ GHG の削減も低価格で達成することが可能である。また収益性が高く、研究開発を積極的に行っている企業の経営効率は高い。しかし、設備投資と経営効率には負の相関性がみられ、これは世界的に非効率な過剰投資が行われている可能性を示唆している。そして日本企業に関しては、環境投資は生産性の改善よりも、GHG 排出取組コストの低減に繋がっている可能性があることが明らかとなった。

次に、本研究により算出された Shadow price と既存研究の結果の比較し、本研究結果の検証を行う。

<sup>48</sup> Regression 分析の際には、産業ダミーを用い、業界特性を考慮した上で、Coefficient を計算している。

<sup>49</sup> 環境保全コスト(合計)投資額/Enterprise value の Inefficiency score と、経済効果(合計)/Enterprise value の Shadow price の値を参照のこと。



## 既存研究との比較

本研究では、世界 37 カ国、15 業種の Shadow price を算出した。しかし GHG の Shadow price の推計を行った先行研究は、主に電力業界を対象としており、その他の業種を対象としたものは見つからない(表 1 参照)。そこで本セクションでは、本研究において算出された電力公共業界の Shadow price の推計結果と既存研究の結果を比較し、本研究結果の検証とする。表 12 と図 17 に、本研究において算出された電力公共業界の Shadow price の推計結果を纏める。

	Average Shadow Price	Median Shadow Price	Shadow Price <20	Shadow Price <100	Shadow Price <180	# Obs.
UNITED STATES	233	25	42%	61%	74%	122
SPAIN	355	115	24%	49%	68%	37
JAPAN	198	121	19%	47%	72%	32
ITALY	113	35	25%	75%	85%	20
UNITED KINGDOM	210	73	12%	59%	88%	17
HONG KONG	41	10	62%	92%	92%	13
CANADA	510	159	17%	33%	50%	12
MALAYSIA	27	9	75%	88%	100%	8
AUSTRIA	46	11	63%	88%	100%	8
PHILIPPINES	1,265	1,100	0%	0%	0%	8
FRANCE	98	118	29%	43%	86%	7
GERMANY	126	99	17%	50%	67%	6
FINLAND	33	27	50%	100%	100%	6
THAILAND	39	31	40%	100%	100%	5
PORTUGAL	59	10	75%	75%	75%	4
CHINA	14	14	100%	100%	100%	2
INDIA	27	27	0%	100%	100%	1
AVERAGE	245	46	35%	60%	75%	

表 12 電力公共業界におけるShadow price推計結果<sup>50</sup>

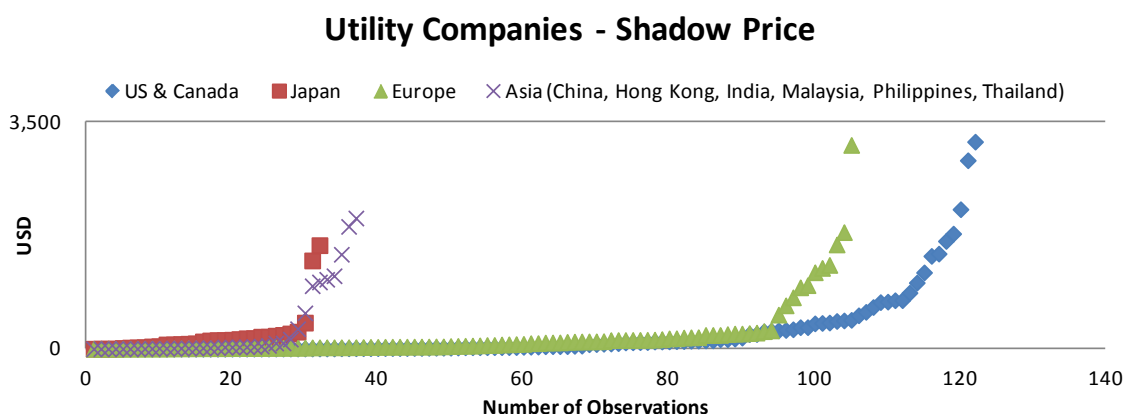


図 17 電力公共業界におけるShadow Price地域別比較<sup>51</sup>

<sup>50</sup> 全体での平均値は、全ての数値を用いての平均であり、表中で計算できる数値とは異なることに注意して頂きたい。本研究で対象となった日本企業は、東京電力、関西電力、中部電力、東京ガス、大阪ガスの 5 社である。

<sup>51</sup> 本図には、8 年分の結果を用いている。

先行研究では、Rezek and Campbell(2007)が米国の火力発電所 260 基のShadow priceをパラメトリック生産関数を用いて、Matsushita and Yamane (2011)が日本の電力会社 9 社<sup>52</sup>のShadow priceをノンパラメトリック生産関数を用いて算出している。これら研究においては、売上高をアウトプットとする本研究と異なり、まず犠牲となる発電量を推計し、それに電力価格を乗じて推計するという手法を用いている。対象期間は、Rezek and Campbell (2007)が 1998 年、Matsushita and Yamane (2011)が 2000 年から 2009 年であり、推計結果は、米国の火力発電所のShadow priceは 18-21 ドル、日本の電力会社の場合、6 -182 ドルとなった。Matsushita and Yamaneは、日米の電力会社のShadow priceの差について、日本電力企業の電源が米国等と異なっている点を挙げている。そして、火力発電重視の北海道電力のShadow priceは低く、東京電力・関西電力では液化天然ガスなど石炭よりも低炭素なエネルギー資源を既に導入済みであることから、追加的に一単位CO2を削減する場合に犠牲となる電力量(Shadow price)は大きくなる傾向にあると解釈している。

本研究による米国の電力公共業界のShadow priceの中央値は 25 ドルであり、日本は 73 ドル(電力会社に限定<sup>53</sup>)であり<sup>54</sup>、この研究結果は、概ね先行研究の結果と同じレンジにあるといえるであろう。本研究と米国Rezek and Campbellの研究において差が生じた理由としては、①本研究がノンパラメトリック生産関数を用いているのに対し、Rezek and Campbellはパラメトリック生産関数を用いており、より標準化された結果、言い換えればサンプルのユニークさを排除した結果を出しているということ、②Rezek and Campbellの結果が、火力発電所に限られたものであるのに対し、本研究においては、火力発電所だけでなく、電力ガスなどのエネルギー供給会社やエネルギー事業関連サービス提供会社など様々なエネルギー事業会社を対象としていること<sup>55</sup>、③Rezek and Campbellが、まず犠牲となる発電量を推計し、それに電力価格を乗じて推計するという手法を用いているのに対し、本研究では、直接売上高をアウトプットとして利用していることの、3 点が挙げられる。

Matsushita and Yamane (2011)と本研究は、同じノンパラメトリック手法を用い、また同一企業を対象としたことから、表 13 から分かる通り、推計結果の値は近い。これら先行研究と今回の研究結果が一致したことは、今回本研究において算出された他業種の Shadow price も確からしいことを示唆する。

	Matsushita et al. Shadow price	Average Shadow Price	Median Shadow Price	# Obs
Tokyo Electric Power	182	155	151	6
Kansai Electric Power	83	94	52	8
Chubu Electric Power	13	64	44	6

表 13 日本の電力会社のShadow price先行研究との比較<sup>56</sup>

## まとめ

電力業界における先行研究と本研究による Shadow price の推計結果は同じ水準にある。この結果は、本研究による他業種の結果の確からしさを示唆する。

次に、産業別の GHG を鑑みた生産性の成長について考察を行う。

<sup>52</sup> Matsushita and Yamane(2011)によりカバーされている電力会社は北海道、東北、北陸、東京、中部、関西、中国、四国、九州電力の 9 社である。

<sup>53</sup> ガス会社(東京ガス、大阪ガス)含めた場合は、121 ドルである。

<sup>54</sup> 平均値ではなく、中央値を用いる理由は、図 16 から明らかな通り、平均値は Shadow price の極めて高い一部企業の結果によって引きずられる傾向にあるためである。

<sup>55</sup> 電力公共セクターにおける米国企業は、殆どがエネルギー事業会社であるが、1 社、水事業会社が含まれている。これは、水事業が FTSE 社の ICB 区分において、電力公共セクターに含まれるためである。

<sup>56</sup> Matsushita et al.(2011)による日本の電力会社 9 社の Shadow price は、北海道 9.1、東北 21.6、北陸 6.2、東京 182.2、中部 12.6、関西 83.2、中国 11.2、四国 15.6、九州 46.0 である。本研究では、これら全ての電力会社をカバーすることが出来なかったため、表中では本研究により算出可能であった、3 社のみを記載している。

## 生産性分析

本セクションでは、前述の Inefficiency score や Shadow price の議論に加え、産業別の GHG を鑑みた Productivity(生産性)の成長率を分析することにより、本研究対象期間である 2002-2009 年間の世界の GHG を鑑みた成長について考察する。図 18 に、Total Factor Productivity(全要素生産性)の成長を産業毎に示す。

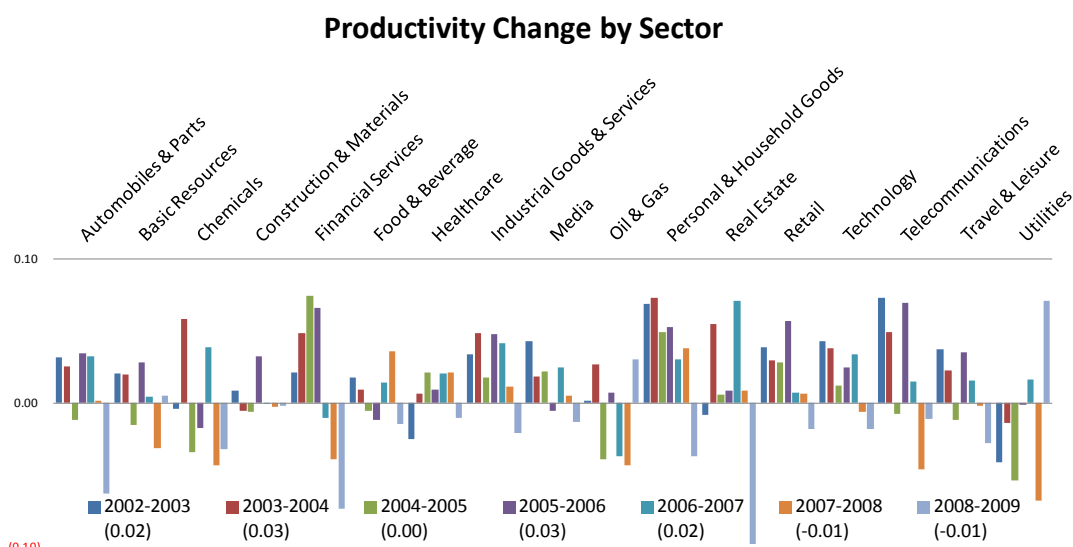


図 18 産業別Productivity Change<sup>57</sup>

図 18 から、GHG を鑑みた生産性は、2002 年から 2007 年にかけてプラスであり、全産業を通じて堅調な伸びをしめしたが、2007 年以降、特に 2008 年から 2009 年にかけて、ほぼ全てのセクターにおいて著しく低下したことが見受けられる。これは不動産、金融、自動車・部品業界において顕著であり、2007 年に発生したサブプライム問題そして翌年のリーマンショックの影響を受けた結果と考えられる。しかし生産性は、家電・家庭用品や、化学、旅行、小売、メディア業界などにおいても低下しており、金融危機の影響は幅広い産業に波及したと考えられる。一方で同期間に、電力公共、石油ガス、資源素材業界の生産性は上がった。これは資源価格の高騰により売上高が押し上げられたためであり、そして、この資源価格の高騰により、他産業の原材料費が上昇し収益率が悪化したため、他産業の生産性が更に押し下げられたものと考えられる。

図 19・20 に、同期間における技術変化(Technological change)と効率変化(Efficiency change)の値を表す。Technological change とは、フロンティアカーブ(フロンティア企業が作り上げる曲線)の伸縮を表す値であり、Efficiency change とは、個々の企業がフロンティアカーブに対し、どれだけキャッチアップしているかを示す値である。この値は、プラスであれば、前年度と比較し、非効率企業がよりフロンティア企業に近づいたことを、マイナスであれば、フロンティア企業により差をつけられたことを意味する。

<sup>57</sup> 表中年度の表記の下に記載されている数値は、各年度毎の全産業での平均の Productivity Change の値である。

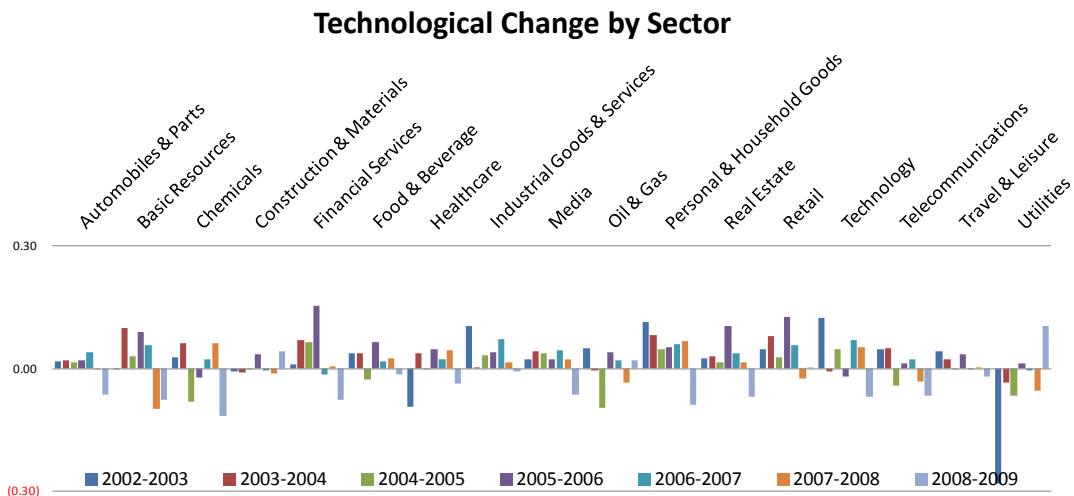


図 19 産業別 Technological Change

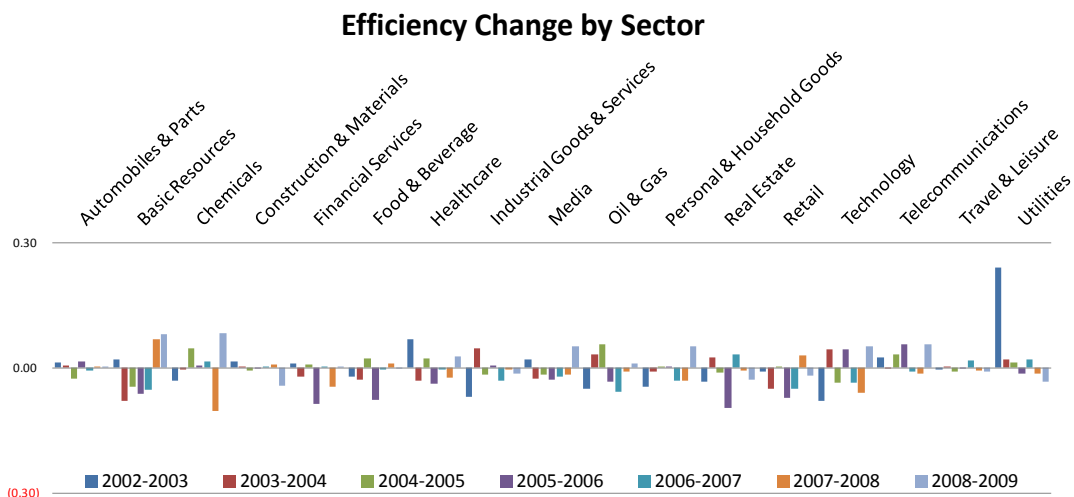


図 20 産業別 Efficiency Change

図 19 から、Technological change も Productivity と同様に、2008 年から 2009 年にかけて、電力公共セクターを除き、ほぼ全ての産業においてマイナスとなったことが分かる。Technological change の値がマイナスになるということは、各産業におけるフロンティア企業(最も効率的と評されるトップ企業)の効率性が下がったということである。つまり 2008 年から 2009 年にかけては、多くの産業において、一部の非効率な企業のパフォーマンスが下がったのではなく、トップ企業を含め業界全体のパフォーマンスが低下したことを意味する。

図 20 より、2008 年から 2009 年にかけて Efficiency change の値は、資源素材、化学業界などにおいてプラスであり、建設・建設資材、電力公共業界等では、マイナスであることが分かる。つまり、資源素材業界などでは、フロンティア企業と非効率企業の差が縮まった一方、電力公共業界などでは、差が広がったということである。同期間、資源価格高騰等のため、生産性は資源素材業界においても電力公共業界においても上昇した。しかし、資源素材業界のフロンティア企業の相対的パフォーマンスは下がり、フロンティア企業と非効率企業の差は縮まった一方で、電力公共業界においてはフロンティア企業のパフォーマンスが上がり、フロンティア企業と非効率企業との差は広がったことが、Productivity、Technology、Efficiency change の値の組み合わせから分かる。

これは言い方を変えれば、電力公共業界においては、資源価格の高騰を、一部のフロンティア企業が享受し、資源素材業界においては、業界全体で享受したということの意味する。

次に、前述の Productivity の結果より、サンプル数の多い米国、英国、日本の結果を抜粋し説明する。

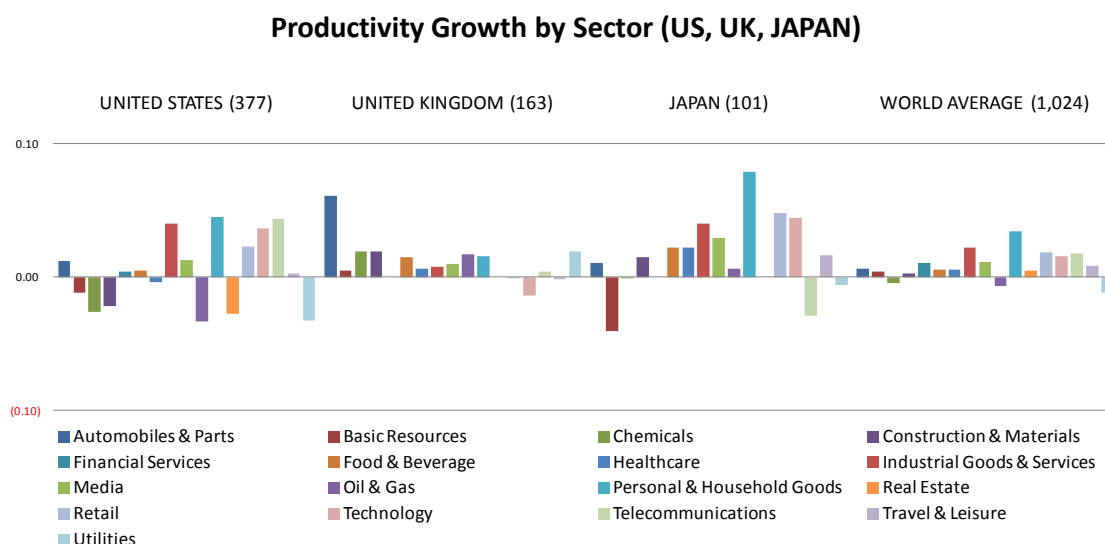


図 21 産業別生産性変化 (米国、英国、日本)<sup>58</sup>

図 21 より、資源素材とテレコム業界を除き、日本の生産性の成長率は総じてプラスであり、また、ほぼ全ての産業において世界平均より高いことが分かる。日本の生産性は、幅広い産業において成長しており、生産性の伸びに偏りのある米国や、成長率の小さい英国と比較し、堅調であることが伺える。加えて、日本の全産業を通じての生産性の成長の平均は、**0.023** であり、世界平均の **0.013**、米国の **0.013**、英国の **0.007** と比較し、底固いものであることが示唆される結果となった。

## まとめ

2008 年から 2009 年にかけて、電力公共、石油ガスなど一部業界を除き、ほぼ全ての産業において生産性は低下した。これは、資源価格高騰とサブプライム問題そしてリーマンショックの影響を受けた結果と考えられる。ただし業界内における効率性格差については様々であり、資源素材業界などでは差が収縮した一方、電力公共業界などでは差が増加した。日本の生産性に関し、2002 年から 2009 年の 8 年間、米国・英国そして世界と比較し、幅広い産業において堅調に成長しており、日本経済の基盤は健全であると考えられる。

次に、個別産業の事例として、自動車業界における企業の国際競争力に関する考察を行う。

<sup>58</sup> 各国名のカッコにある数値は、各国における企業数である。また本図の産業別生産性の値は、2002-2009 年の生産性の平均値である。

## 自動車業界 59

本セクションでは、個別産業の事例として自動車業界を取り上げ、炭素制約下における自動車メーカー各社の国際競争力について考察を行う。対象企業は、日本のトヨタ自動車(Toyota Motor)、本田技研工業(Honda Motor)、日産自動車(Nissan Motor)、スズキ(Suzuki Motor)、豊田自動織機(Toyota Industry)、ドイツの BMW、Daimler、Porsche、Volkswagen、フランスの Peugeot と Renault、イタリアの Fiat、米国の Ford と Harley-Davidson の 14 社である。図 22 に、自動車メーカー各社の Inefficiency score を国別に示す。

Automobile Companies -Inefficiency Score

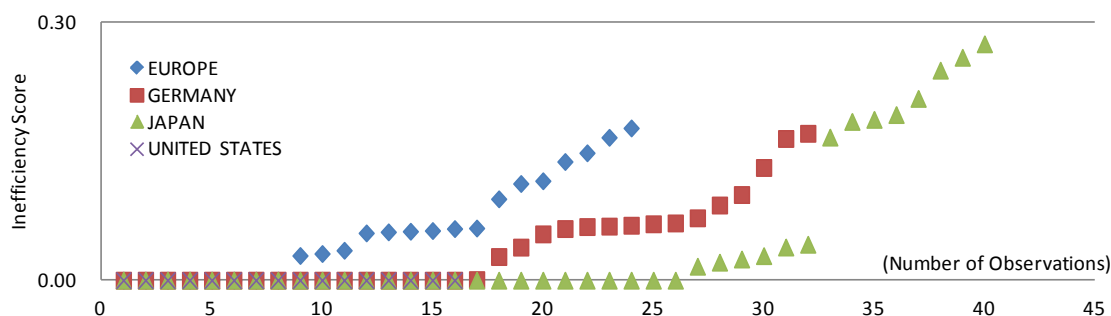


図 22 自動車メーカー14社のInefficiency Score国別比較<sup>60</sup>

図 22 より、日本の自動車メーカーの Inefficiency score は、世界の同業他社と同一のレベルにあること、また、多くの企業の Inefficiency score がゼロに近い値で推移していることが分かる。加えて、図 10 を参照することにより、他産業と比較し、自動車業界の GHG を鑑みた経営効率は極めて高く (Inefficiency score は低く)、業界内における競争は激しいことを伺い知ることができる<sup>61</sup>。表 14 に、Inefficiency score がゼロと評価されたフロンティア企業を、年度毎に示す。

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Peugeot (FRANCE)	*	*	*	*	*	*	*	*
Renault (FRANCE)								
BMW (GERMANY)			*			*		
Daimler (GERMANY)	*	*	*					
Porsche (GERMANY)	*	*	*	*	*	*	*	*
Volkswagen (GERMANY)	*	*	*					
Fiat (ITALY)								
Honda Motor (JAPAN)	*	*	*	*	*	*	*	*
Nissan Motor (JAPAN)	*				*	*	*	*
Suzuki Motor (JAPAN)			*	*	*	*	*	*
Toyota Industries (JAPAN)								
Toyota Motor (JAPAN)	*	*	*	*	*	*	*	*
Ford Motor (US)	*	*	*	*	*	*	*	*
Harley-Davidson (US)	*	*	*	*	*	*	*	*

表 14 自動車メーカー14社の年別フロンティア企業の一覧<sup>62</sup>

<sup>59</sup> 今回本報告書に記載している自動車業界の結果は、自動車・自動車部品メーカーの結果の内、自動車メーカーに特化したものである。モデル Run の際は、ICB-Super Sector のカテゴリ分けに沿い、自動車・自動車部品メーカーと一緒に纏めて行った。

<sup>60</sup> 本図には、8年分の結果を用いている。

<sup>61</sup> 本図において、比較的高い Inefficiency score を示しているのは、日本の豊田自動織機(8年)、ドイツの Volkswagen(3年)、イタリアの Fiat(3年)とフランスの Renault(2年)である。豊田自動織機の Inefficiency score が高い理由は、売上あたり GHG 排出量と売上あたりに必要とする資本のパフォーマンスが他社に比べて低いためである。

<sup>62</sup> アスタリスクの付いている箇所が、Inefficiency score がゼロと評価された年度である。本表では多くの自動車メーカーがフロンティア企業となっているため、殆どの企業がフロンティアラインを形成する企業と評価されたように思われ

表 13 より、自動車業界のフロンティア企業は、日本のトヨタとホンダ、フランスの Peugeot、ドイツの Porsche、米国の Ford と Harley-Davidson と分かる。Nissan は、小さいながらも非効率性を有しており、通年でのフロンティア企業とはならなかった。図 23 に、Inefficiency score を企業毎・年度毎に示す。

Automobile Companies - Inefficiency score by Year

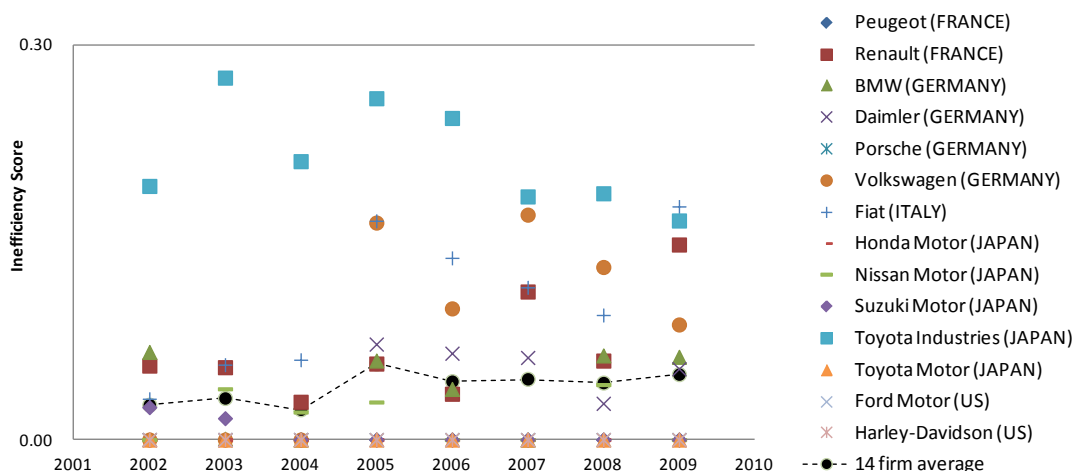


図 23 自動車メーカー14社の Inefficiency score 企業毎・年度毎比較

図 23 から、日本の豊田自動織機の値が高い水準にあるが、その値は 2005 年から 2009 年にかけて縮小傾向にあり、同社が年々、フロンティア企業群のパフォーマンス・スタンダードに追い付いている一方で、フランスの Renault の値は 2007 年以降上昇傾向にあり、フロンティア企業との差が拡大する傾向にあることが分かる。また 14 企業の平均値は、2002 年から 2004 年まで低い数値で推移した後、2004 年から 2005 年にかけて Fiat、Peugeot、Volkswagen、豊田自動織機らの値の上昇に伴い上昇したが、それ以降は、非常に低い値(0.05 程度)に留まっていることが分かる<sup>63</sup>。図 24 に、自動車メーカー14社の Shadow price を、国別に示す。

Automobile Companies - Shadow Price

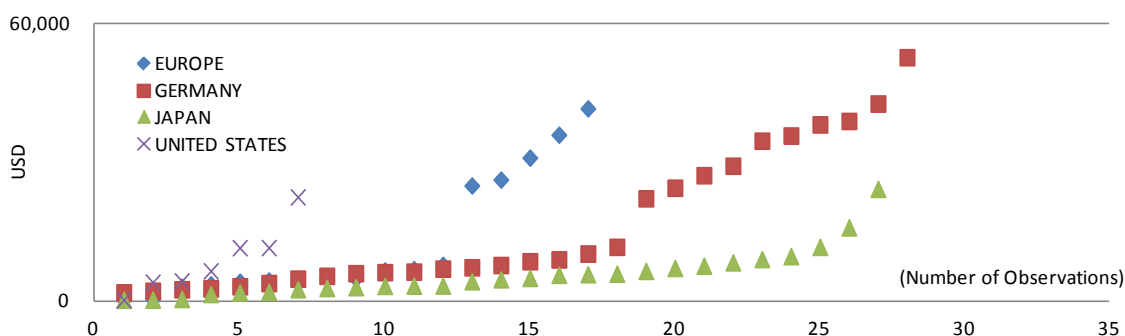


図 24 自動車メーカー14社の Shadow price 国別比較<sup>64</sup>

るかもしれないが、そのようなことはない。本報告書には記載していないが同時に評価を行った自動車部品メーカーの非効率性は、自動車メーカー各社と比較し高く、フロンティア企業と非効率企業の分布は適切な水準にあると考えられる。

<sup>63</sup> 4 社の値の上昇の理由は、Fiat と Peugeot の場合、資本と売上高のバランス(Capital/Revenue の増加)が、Volkswagen の場合 GHG と売上高のバランス(GHG/Revenue の増加)が、豊田自動織機の場合、それら両方の変化にあるということが、元データの検証から分かった。

<sup>64</sup> 本図には、8 年分の結果を用いている。

図 24 から、日本の自動車メーカーの Shadow price は、世界と比較し相対的に低いことが分かる。日本国においては、1990 年代後半から省エネ法・トップランナー方式や環境自主行動取組などが導入された。その結果、企業のエネルギー効率向上に関する意識が高まり、エネルギー費用を中心に製造コストを抑えるなどのプロセス改善が進み、Shadow price が他国と比較し低く抑えられた可能性がある。そしてこれは自動車業界において、これまで進められた GHG 削減に、費用削減効果があった可能性も示唆している。それはもしこれら削減努力が経営を圧迫するような過剰なレベルで行われておれば、Shadow price は上がる可能性が高いからである。しかし、現時点においてそのような上昇は見受けられない。加えて、日本企業の Shadow price にも差異は見られる。これは、上記制度の限界を示すものとも解釈できる。つまり上記制度により、業界レベルでのエネルギー効率の改善や GHG 排出量の抑制は一定レベル達成できたが、個別企業レベルにおいては、意識や努力の度合いをコントロールできなかった可能性があるということである。環境自主行動取組に関しては、あくまで自主的なものであり義務ではないため、業界内において意識や努力の差があっても、不思議ではない。

図 25 に、Shadow price を企業別・年別に示す。本図から、日本のトヨタの Shadow price は 2,400-11,600 ドル、日産は 5,600-24,200 ドル、本田は 160-4,900 ドルのレンジに収まり、また、米国 Ford は USD 4,000 程度で推移した一方で、イタリアの Fiat (USD280-41,600)、ドイツの BMW (USD 6,100-52,600) と、一部企業の Shadow price が高い値を示したことが見てとれる。

### Automobile Companies - Shadow price by Year

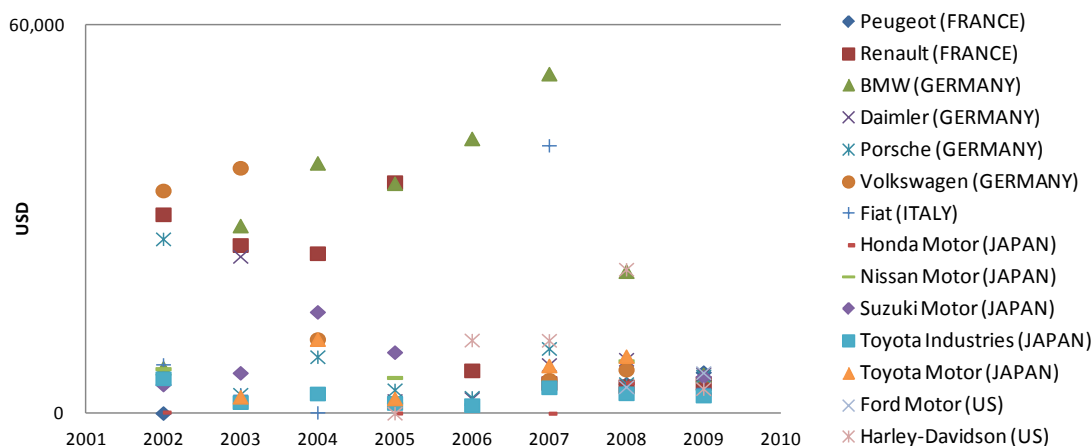


図 25 自動車メーカーShadow price の企業毎・年度毎比較

また図 25 より、企業の Shadow price は年度によって大きく異なることが分かる。この結果は、排出量取引制度等の排出量の総量削減を義務化する際には、企業が Shadow price の高い時期に無理な削減を迫る非効率を減らすため、期間を単年ではなく複数年度とすることが好ましいということを示唆する。加えて、この Shadow price の年度毎の増減は、これまで企業に対して具体的かつ義務的な炭素制約が課せられず、また炭素価格も明示されてこなかったため、個別企業において GHG 排出そして Shadow price をコントロールするインセンティブもベンチマークが欠如しており、Shadow price が、上手くコントロールされてこなかった可能性を示唆する。またこの傾向は、Shadow price のブレが大きい海外企業において顕著である。

次に、Shadow price の結果を Inefficiency score と共に、個別企業毎に検証する。これら数値の差異は、売上あたり GHG 排出量(GHG/Revenue)や売上あたりに必要とする資本・労働・マテリアル(COGS/Revenue、Capital/Revenue)量により説明が可能であるため、表 15 に、それら指標を纏める。



	Inefficiency Score	Shadow Price	GHG(tCO2)/ Rev(USDmil)	COGS/ Revenue	Capital/ Revenue	Revenue	GHG	Shadow Price (#obs)
Honda Motor	0.000	1,747	30	0.677	0.638	96,420	2,978,522	5
Ford Motor	0.000	5,329	45	0.741	0.770	159,375	7,190,845	2
Toyota Motor	0.000	6,654	34	0.781	0.806	205,600	6,926,935	5
Nissan Motor	0.016	6,997	32	0.737	0.563	87,556	2,751,392	3
Daimler	0.035	8,561	37	0.810	0.907	152,301	5,687,172	6
Volkswagen	0.082	16,384	38	0.832	0.870	122,869	4,821,793	6

表 15 大手自動車メーカー各社のInefficiency score、Shadow price及び各種指標<sup>65</sup>

表 15 の結果を鑑みるに、Inefficiency scoreとShadow priceの数値が高い企業の、売上あたりGHG排出量や売上あたりに必要とする資本・労働・マテリアル量が高い方向性にあることが分かる。つまり、GHG・資本・労働・マテリアルのマネジメント効率の良い企業のInefficiency scoreおよびShadow priceは低く、逆に、それら効率が悪ければ、指標の値は高くなるということである。この結果は、今回用いている手法のセオリー通りであり、上記結果が概ね確からしいことを示しているといえる<sup>66</sup>。図 26 は、上記結果のイメージ図である。

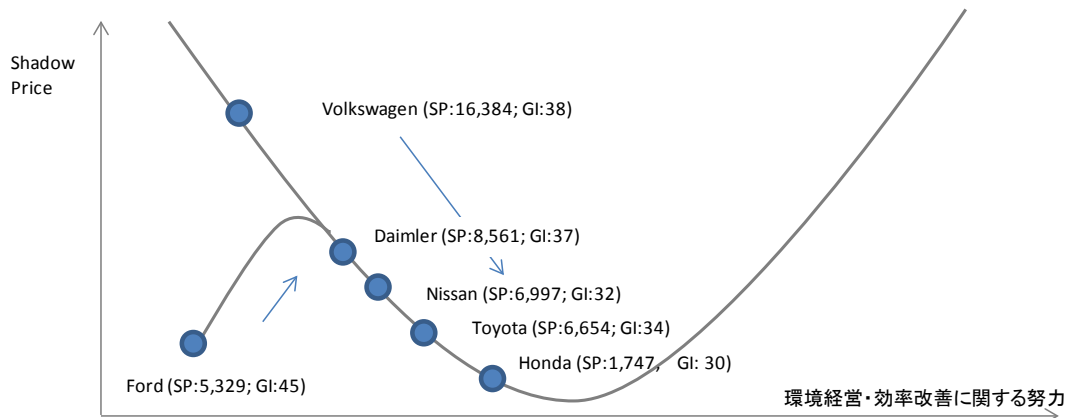


図 26 自動車産業におけるShadow priceの推移イメージ図<sup>67</sup>

本研究の結果からは、大手自動車メーカー6社の間では、日本のホンダ、トヨタ、日産の限界削減費用(Shadow price)が最も低く、欧州2社の値は高いことが分かった。そしてShadow priceとGHG-intensityの値から、米国のFordが、Shadow priceのU-shapeから外れた位置に存在していると推測される<sup>68</sup>。これは米国が京都議定書から脱退し、米国企業において環境を鑑みた経営や企業におけるGHG排出削減が進んでいない可能性を示唆する。炭素制約下におけるフェアな企業間競争を促すためには、このようにU-shapeから外れた企業を、まずは軌道に乗せることが重要であろう。そのためには、米国にも、日本や欧州と同等の炭素制約が課せられる必要があるのである。

<sup>65</sup> 上記数値は 2002-2009 年の 8 年間の数値の平均値であり個別に計算されていること、また Revenue、COGS、Capital の値は、2000 年価格にデフレートされた数値であることに注意して頂きたい。また Nissan Motor に関しては、2002、2005、2006、2008 年において Shadow price が観測されたが、2006 年の値は他の年の値から逸脱しておりエラーと推測されるため、同数値は割愛した。

<sup>66</sup> 例外的に Ford の Shadow price が、売上あたりの GHG 排出量の値と比較し低いことがみてとれるが、これは Shadow price の Observation 数が 2 と少ないためと考えられる。また日産の Shadow price が高いのは、2006 年の異常値に引きずられているためである。2006 年以外の Shadow price は、5,000-8,500 のレンジにある。

<sup>67</sup> 図表中、SP は Shadow price を、GI は GHG-Intensity を指す。Shadow price は炭素制約が課せられた際、必ずしも上がるというものではないことに注意して頂きたい。それは企業が経営を効率化できれば、Shadow price の値は高まらないからである。

<sup>68</sup> Ford 社の GI は 45 と、Volkswagen 等と比較しても高いのに対し、Shadow price は低くなっており、他社とトレンドに乖離があることが認められる。ただし Ford に関しては、Shadow price の観測数が 2 年分と限られているため、その結果、GI のレベルに相応しくない Shadow price の値になった可能性がある。

また今回、図の右側の「最も効率の良い状況を超え、非効率となっている状態」には、どの企業も当てはまらない。それは例えば、GHG-Intensity(GI)が 20 にもかかわらず、Shadow priceが 10,000 を超えるなど、Shadow priceとGIのトレンドに逆転の現象が見られないからである。

表 15 に、企業が GHG 排出(GHG 排出削減)を鑑み効率的な経営を行った場合に、削減可能な GHG 排出量と増加可能な売上高について記載する。これらポテンシャルの数値は、非効率な経営を行っている企業がフロンティア企業(効率的な企業)を模した場合、インプット(資本・労働・マテリアル)を増やすことなく、GHG をどれだけ削減できるか、また売上をどれだけ増加させられるかを表すものであり、前述の Inefficiency score に、それぞれ各社各年度の GHG 排出量および売上高をかけ合わせた数字である。Inefficiency score および Shadow price が高い企業ほど、GHG 削減ポテンシャルの値も大きくなる。今回は、大手自動車メーカー6 社中、Volkswagen のポテンシャルが GHG 削減・売上上昇ともに最も大きく、それに Daimler と日産が続く結果となった。トヨタ、ホンダ、Ford の 3 社は、フロンティア企業であり Inefficiency score がゼロなため、ポテンシャルの値もゼロとなった。これら数値が大きいか小さいかは、議論の分かれるところであろうが、これらはあくまで生産関数という経済学的手法を用いて算出された数字であり、技術的に可能か否かは、別途検証が必要となることに注意して頂きたい。次に、GHG を鑑みた生産性の推移から、自動車業界の動向を考察する。図 27 に、自動車メーカー14 社の生産性の推移を示す。

	GHG reduction potential	Revenue increase potential	GHG % to Total	Revenue % to Total	GHG	revenue
Volkswagen	510,362	10,831	11%	9%	4,821,793	122,869
Daimler	191,971	5,220	3%	3%	5,687,172	152,301
Nissan Motor	40,439	1,375	1%	2%	2,751,392	87,556
Ford Motor	0	0	0%	0%	7,190,845	159,375
Honda Motor	0	0	0%	0%	2,978,522	96,420
Toyota Motor	0	0	0%	0%	6,926,935	205,600

表 15 大手自動車メーカー各社の削減可能なGHG排出量と増加可能な売上高<sup>69</sup>

### Automobile Companies - Productivity, Efficiency & Technological Changes

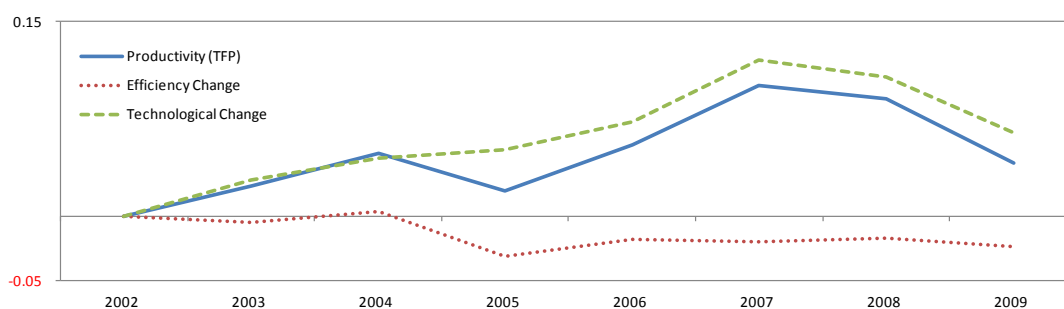


図 27 自動車メーカー14 社の生産性の推移(累計値)

図 27 から、自動車業界の GHG を鑑みた生産性は、2004 年から 2005 年にかけて一時的に下降したものの、その期間を除けば 2002 年から 2007 年まで上昇したことが分かる。これは、自動車

<sup>69</sup> 2002-2009 年の平均値であるため、年毎にみると、これら数字(%含む)はより大きな数字となる。% to total の数字は、同期間の平均 GHG 排出量に対するポテンシャルの割合を指す。また Revenue は 2000 年価格にデフレートされた 2002—2009 年の平均値であることに注意して頂きたい。

メーカー各社の GHG を鑑みた経営効率向上のための努力の結果を表していると言える。また 3 つの指標の動きから、この生産性の上昇は、主に **Technology change** の改善、つまりフロンティア企業の経営効率の上昇により牽引されたものであることが分かる。2007 年以降に、生産性が低下したのは、リーマンショックに伴う需要低下により売上高が減少する一方で、生産設備の稼働率の低下による資本生産性の悪化によって自動車業界全体で生産性が低下したためと解釈できる。この期間、**Technological change** が下がった(フロンティア企業のパフォーマンスが下がった)一方で、**Efficiency change** の推移に大きな変化は観測されなかった。これは、フロンティア企業と、非効率企業との効率性格差が大きく変化していないことを意味しており、リーマンショックの影響は、地域や企業規模を問わず、すべての企業に対して生産性悪化の影響を与えたと推測できる。

次に、大手自動車メーカー6社(トヨタ、ホンダ、日産、Daimler、Volkswagen、Ford)の生産性変化について分析する。図 28 に、これら 6 社の生産性変化を示す。本図より、2002 年から 2007 年にかけて生産性の値は概ねプラスであり、この期間に生産性が向上していることが分かる。しかし、そのタイミングは企業により様々であり、このことから、自動車業界は、需要の大きさや景気変動によって業界全体の生産性が変化するというよりも、激しい市場競争の中で、企業の経営努力の結果として生産性改善を勝ち取る構造にあることが伺える。この傾向は図 29 の **Technological change** にも顕著に表れており、Toyota Motor や Ford のようなフロンティア企業であっても、値が激しく増減していることから推測できる。

### Automobile Companies -Productivity Change

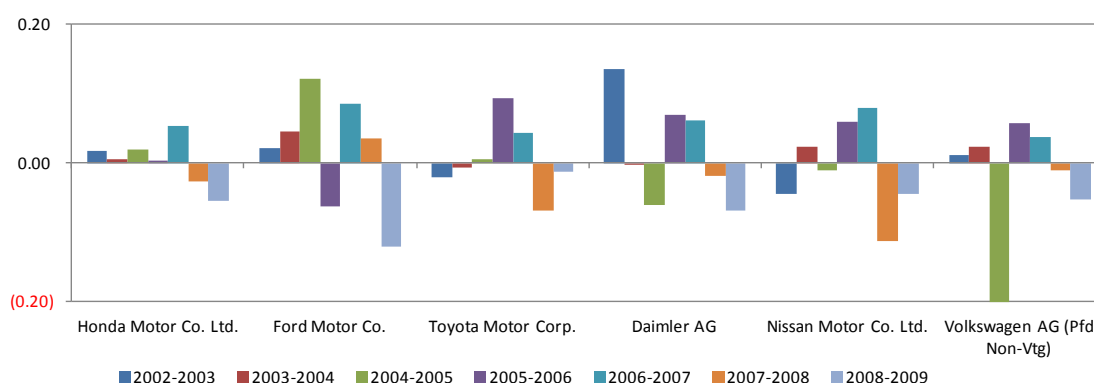


図 28 大手自動車メーカー6社の生産性の推移

### Automobile Companies -Technological Change

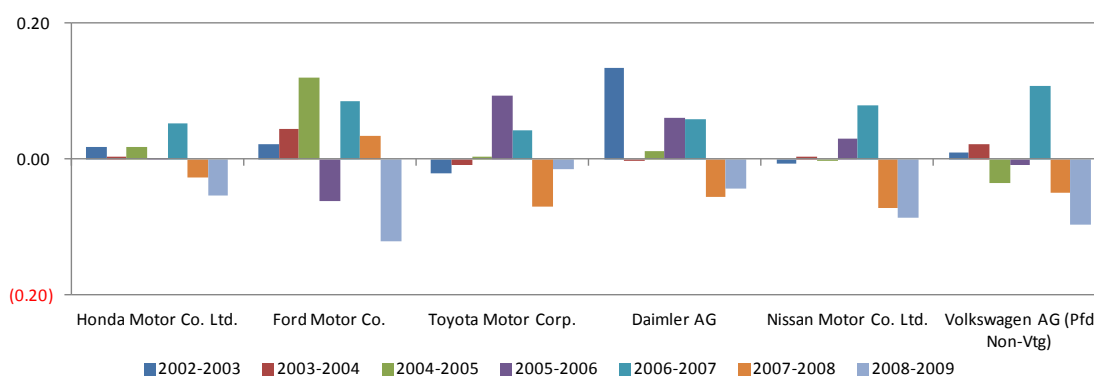


図 29 大手自動車メーカー6社の Technological Change の推移

## まとめ

日本の自動車メーカーの **Shadow price** は世界の同業他社と比較し低いこと、そして日本の自動車メーカーではトヨタとホンダが自動車業界のフロンティア企業であることが明らかとなった。自動車業界における競争は激しく、生産性は各社の経営努力によって向上している。日本の自動車メーカーの国際競争力の高さは、省エネ法などの導入により、エネルギー効率の改善に対する意識が高まったことが要因の一つであると推測される。そのため政策は、企業の継続的な努力を起因し国際競争力を高められるようなものが望ましいと考えられる。また、Fordをはじめとする米国企業には、日本や欧州企業と同等の炭素制約が課せられておらず、GHG 排出を鑑みた経営が浸透していない可能性があるため、米国にも他の先進国同等の GHG 削減義務が課せられることが、日本の自動車メーカーの強みを生かし、また自動車業界における GHG 排出を鑑みたフェアな戦いを促すには重要であると考えられる。加えて、年度によって企業の **Shadow price** は大きく異なることが明らかとなった。これは、排出量取引制度等の排出量の総量削減を義務化する際には、期間を単年ではなく複数年度とすることが望ましいことも意味する。そしてこれは、これまで企業に対して具体的かつ義務的な炭素制約は課せられず、また炭素価格も明示されてこなかったことにも要因があると考えられるため、各企業の炭素価格は明らかにされる必要があると考えられる。

次に鉄鋼業界について考察する。

## 鉄鋼業界 70

本セクションでは、個別産業の事例として鉄鋼業界を取り上げ、炭素制約下での鉄鋼メーカー各社の国際競争力について考察を行う。対象企業は、日本の JFE、新日本製鐵(Nippon Steel)、神戸製鋼(Kobe Steel)、韓国の POSCO、台湾の Tung Ho Steel、香港の Shougang Concord、インドの Tata Steel、ルクセンブルグの Arcelor Mittal、ドイツの Salzgitter、スペインの Acerinox、フィンランドの Outokumpu、スウェーデンの SSAB、米国の Allegheny Technologies、AK Steel、Nucor、United States Steel の 16 社である。図 30 に、鉄鋼メーカー各社の Inefficiency score を国別に示す。

Steel Companies - Inefficiency Score

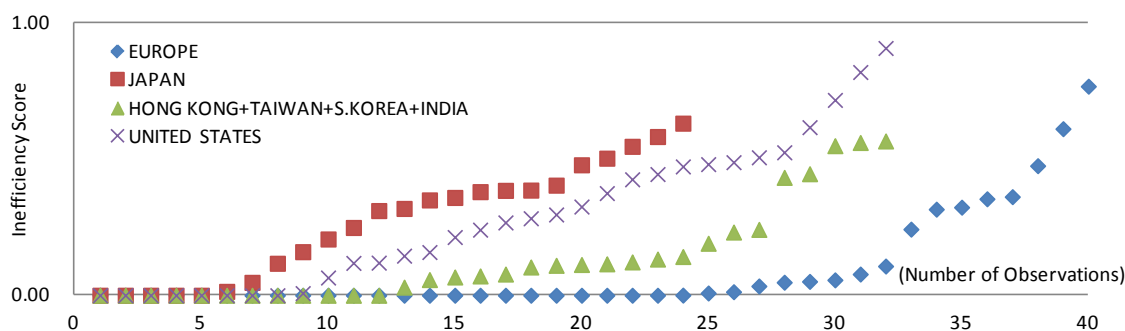


図 30 鉄鋼メーカー16社 Inefficiency score の国別比較<sup>71</sup>

図 30 より、日本の鉄鋼メーカーの Inefficiency score は、海外同業他社と比較し高く、日本の鉄鋼メーカーの競争力は、必ずしも高いとはいえない状況であることが分かる。この結果は、同業界を担当する証券アナリストのコメント通り、日本の鉄鋼メーカーの世界での銑鉄生産量のシェアは低下傾向にあり、また収益性も海外同業他社と比較し高いとは言えないという状況を、示しているといえる<sup>72</sup>。加えて、自動車業界の Inefficiency score と比較し(図 21 参照)、鉄鋼業界の値は高く、鉄鋼業界の GHG を鑑みた経営効率は必ずしも高くはないことが分かる。表 16 に、フロンティア企業を、年度毎に表す。

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
POSCO(SOUTH KOREA)	*	*	*	*	*	*	*	*
Salzgitter (GERMANY)	*	*	*	*	*	*	*	*
ArcelorMittal (LUXEMBOURG)	*	*	*	*	*	*	*	*
Acerinox (SPAIN)	*	*	*	*	*	*	*	*
Nucor (UNITED STATES)	*	*	*	*	*	*	*	*
Tata Steel (INDIA)	*	*	*	*	*	*	*	*
Nippon Steel (JAPAN)	*	*	*	*	*	*	*	*
United States Steel (UNITED STATES)	*	*	*	*	*	*	*	*
JFE Holdings (JAPAN)	*	*	*	*	*	*	*	*
Outokumpu (FINLAND)	*	*	*	*	*	*	*	*
AK Steel Holding (UNITED STATES)	*	*	*	*	*	*	*	*
SSAB (SWEDEN)	*	*	*	*	*	*	*	*
Allegheny Technologies (UNITED STATES)	*	*	*	*	*	*	*	*
Kobe Steel (JAPAN)	*	*	*	*	*	*	*	*
Shougang Concord International (HONG KONG)	*	*	*	*	*	*	*	*
Tung Ho Steel (TAIWAN)	*	*	*	*	*	*	*	*

表 16 鉄鋼メーカー16社の年別フロンティア企業の一覧

<sup>70</sup> 今回参考としている ICB-Super-Sector のカテゴリ分けにおいて、資源素材業界(Basic Resources)には、石炭・金・銀・銅・ニッケル・アルミニウム・ウラン等の資源採掘・金属鉱業会社、鉄鋼会社、紙パ企業等が含まれる。しかしこれら全ての企業の分析を一緒にすることはできないため、本報告書は鉄鋼を分析対象として選択した。

<sup>71</sup> 本図には、8年分の結果を用いている。

<sup>72</sup> 鉄鋼業界の動向に関しては、「トップ証券アナリストが説く日本の産業と環境」(石鍋渚著)を参考とした。

表 16 より、韓国の POSCO、ルクセンブルクの Arcelor Mittal、ドイツの Salzgitter らが、鉄鋼業界におけるフロンティア企業であることが分かる。日本の鉄鋼メーカーでは、新日本製鐵が 2002-2004 年にかけて、JFE が 2002-2003 年にフロンティア企業と評されたが、それ以降、非効率性は高まった。

表 17 は、大手鉄鋼メーカー6社の Inefficiency score、Shadow price、売上あたり GHG 排出量、売上あたりに必要とする資本・労働・マテリアル(COGS/Revenue、Capital/Revenue)の量などの纏めである。本表より、日本の鉄鋼メーカーの Inefficiency score の高さが、主に経済面での効率の低さ(売上あたりに必要とする資本・労働・マテリアルの量)に起因していることが分かる。

Capital/Revenue の値の高さは、利益を生みださない資産を抱えている可能性、また過剰なレベルでの設備投資を行って可能性を、そして COGS/Revenue の高さは、鉄鋼石や石炭等の原材料の調達価格や人件費の高さを示唆する。日本の鉄鋼メーカーは、GHG 排出面での効率は高い(Shadow price 及び売上あたり GHG 排出量は低い)が、経済面での効率が低いため、競争力は低いという結果になった。これは言い方を変えれば、経済的効率性を向上させることができれば、もしくは世界に強い炭素制約が導入された際には、優位に立てることを表す。

	Inefficiency Score	Shadow Price	GHG2(tCO2)/ Rev(USDmil)	COGS/ Revenue	Capital/ Revenue	Revenue	GHG	Shadow Price (#obs)
US Steel	0.287	29	5,070	1.127	0.721	10,147	51,037,589	2
ArcelorMittal	0.010	67	4,777	0.930	0.920	35,146	144,664,376	3
POSCO	0.000	71	4,524	0.775	0.711	21,660	88,889,713	5
Nippon Steel	0.173	82	3,031	1.241	1.177	25,762	77,423,667	7
Kobe Steel	0.387	85	2,280	1.223	1.136	11,357	25,712,439	5
JFE Holdings	0.244	104	3,675	1.172	1.249	20,800	76,746,972	5

表 17 大手鉄鋼メーカー6社の Inefficiency score、Shadow price 及び各種指標<sup>73</sup>

図 31 に、鉄鋼メーカー16社の Shadow price を、国別に示す。この図より、鉄鋼業界の Shadow price は、自動車業界と比較し飛躍的に安価であり、また日本企業の Shadow price が極めて低い水準に留まっていることが分かる。本グラフにおいて USD2,000 以上の高い数値を表しているのは、フィンランドの Outokumpu(2007年、2008年)、ドイツの Salzgitter(2004年、2007年、2008年)、スペインの Aserinox(2009年)、台湾の Tung Ho Steel(2002年、2009年)であり、それ以外は概ね USD2,000 以下の数値に収まった。図 32 に、同じ結果を企業別・年別に示す。

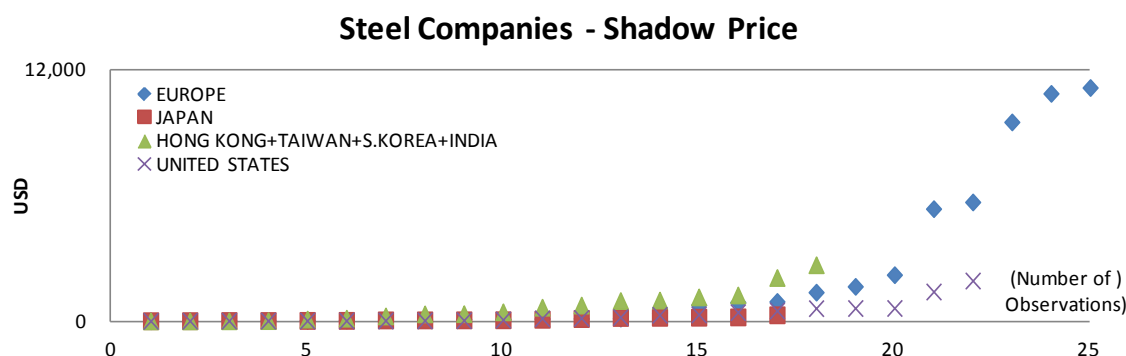


図 31 鉄鋼メーカー16社の Shadow price 国別比較

<sup>73</sup> 上記数値は 2002-2009 年の 8 年間の数値の平均値であり個別に計算されていること、また Revenue の値は、インフレ調整後の数値であることを注意して頂きたい。

前述の通り、Outokumpu、Salzgitter、Tung Ho Steelの値が高いこと、そしてこれら4社を除く12社のShadow priceが概ね同じ水準に留まっていることが、本図より分かる。ただしTung Ho Steelに関しては事業規模の小ささが、Outokumpu<sup>74</sup>に関しては事業内容の差が、Shadow priceに影響を与えている可能性があることに注意が必要である。図33に、inefficiency scoreの企業別年別の分布を示す。

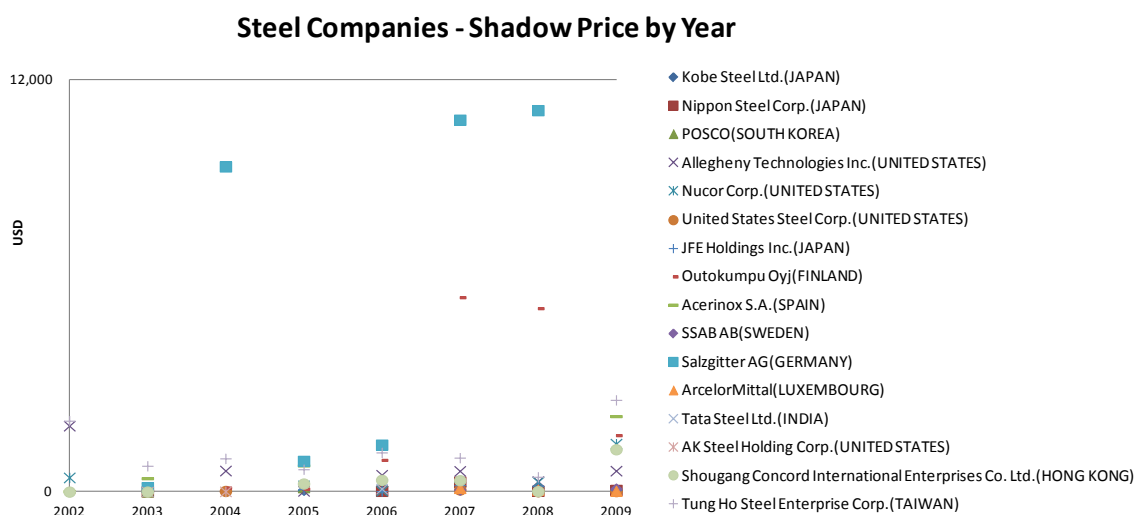


図32 鉄鋼メーカー16社のShadow price 企業毎・年度毎比較

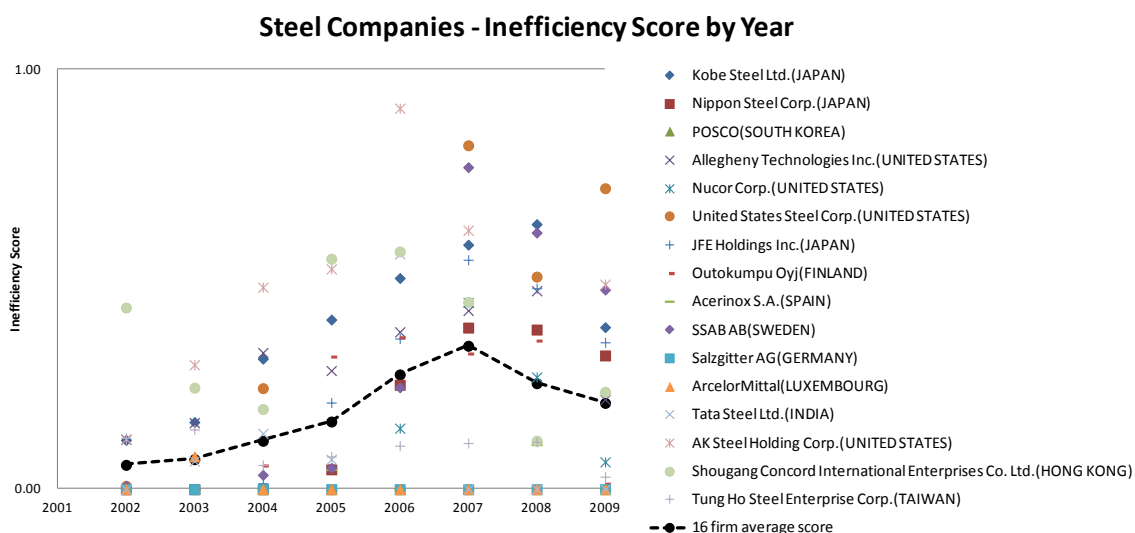


図33 鉄鋼メーカー16社のInefficiency score 企業年度毎比較

図33より、各社のInefficiency scoreは、2002年から2007年にかけて上昇し、非効率的な企業と効率的な企業群との生産効率性格差が拡大したことが、しかし2008年以降、その格差は縮小傾向にあることが分かる。この傾向は、大規模で効率的な企業がリーマンショックによる需要減に伴い生産調整を余儀なくされ、生産効率性、特に資本生産性が悪化したことが要因として考えられ

<sup>74</sup> Outokumpu は、ステンレス・スチールの製造メーカーである。

る。また神戸製鋼、新日本製鐵、JFEの3社は、いずれも高いInefficiency scoreを有しており、また、その変化は16社平均値と同じ傾向を示していることが分かる。従って、これら3社は、独自の戦略によって積極的に非効率性の改善を推し進めるというよりも、業界全体の傾向(鋼材需要)に影響を受けながら生産効率性を変化させているものと考えられる。一方でTata Steelは2003年から2006年までは非効率だと評価されていたが、2007年以降では効率的と評価されている。その要因として、積極的なM&Aによる経営戦略が挙げられる<sup>75</sup>。合併前後のパフォーマンスを比較すると、2006年と2007年のCapital/Revenueはそれぞれ1.276から0.483に減少しており、資本生産性が大幅に上昇していることが分かる。こうした積極的な戦略により同社は、業界全体のInefficiency scoreが上昇傾向にある2006年から2007年にかけて、同社は値を下げることに成功したと考えられる。

図34に、鉄鋼メーカー大手6社の生産性の時系列での推移を示す。

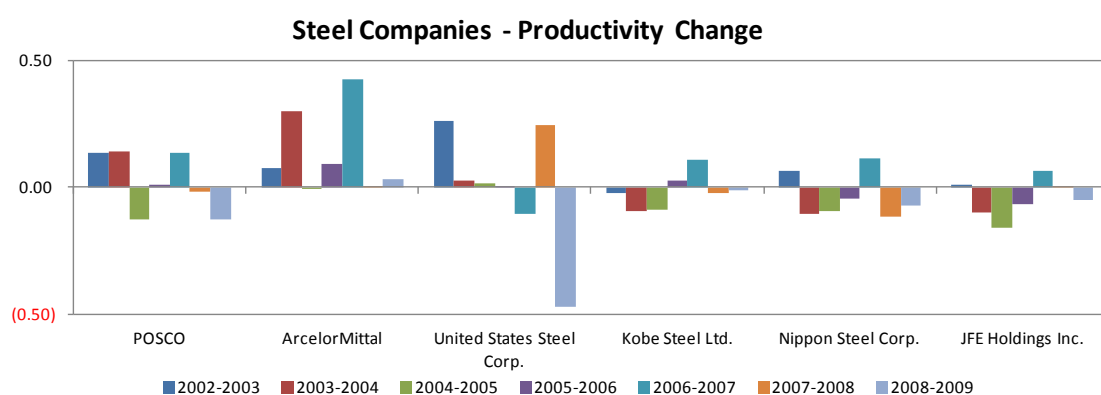


図34 鉄鋼メーカー大手6社の生産性の推移

図34より、United States Steelの生産性が、2008年から2009年にかけて大幅に低下していることが分かる。これはリーマンショックに加えてGeneral Motorの経営破綻が影響していると考えられる。自動車メーカーは鉄鋼メーカーにとって最大の顧客の一つであり、自動車メーカーとの鋼材価格や供給量は経営パフォーマンスに直結するためである。その自動車メーカーの中でも最大手のGeneral Motorが経営破綻したことで、供給量の調整や供給価格交渉を通じて、関連する鉄鋼メーカー、特に米国内の企業に大きな影響を与えたと考えられるのである。

またArcelor Mittalの生産性が大きく上昇していることも注目すべきポイントであろう。同社もTata steelと同様に積極的なM&Aを行い、生産パフォーマンスを改善することで市場競争力を獲得する戦略を展開している。特に大幅に生産性が改善している2003年から2004年、2006年から2007年では二つの大規模なM&Aを行い、生産設備稼働率の効率化や原材料及び供給に関する価格交渉力を強化し、Capital/RevenueやCOGS/Revenueの低下を達成している。一方、日本企業はArcelor Mittalらと比較すると生産性の変化は小さく、さらに同業他社と比較してCOGS/Revenueが上昇し、生産性が低下しているケースが多くみられる。これは中国の粗鋼生産量の拡大によって石炭及び鉄鉱石価格が上昇し、その影響を受けたものと考えられる<sup>76</sup>。

<sup>75</sup> 2007年に粗鋼生産量世界第8位の鉄鋼メーカーであったCorus社を買収して、粗鋼生産量で世界第5位の生産規模に成長した。

<sup>76</sup> Nippon steel、JFE holdingsはそれぞれ2002年から2009年にかけてCOGS/Revenueが0.876から1.513、0.830から1.474に上昇している。一方でArcelor Mittalは同期間においてCOGS/Revenueは0.902から0.926の変化であり、価格交渉力に差が生じていると言えよう。



最後に、鉄鋼メーカーの生産性の構造を、16社の平均値から考察する。

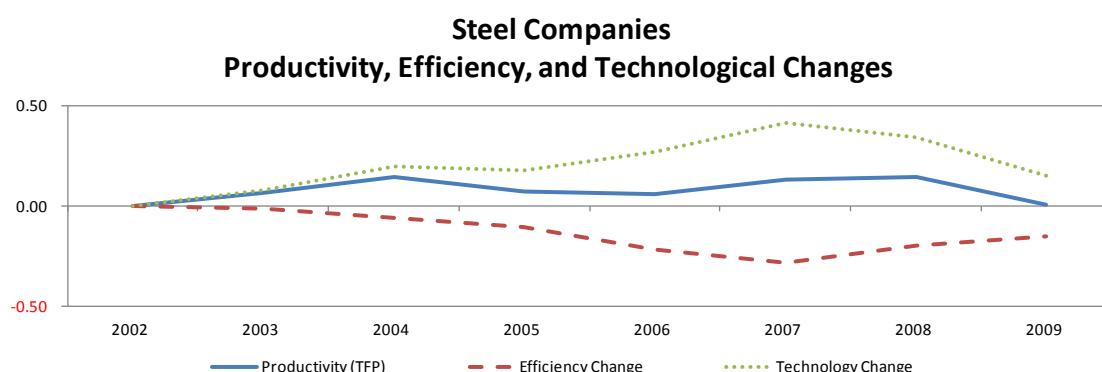


図 35 鉄鋼業界生産性の推移

図 35 より、鉄鋼メーカー2002年から2007年にかけて生産性はTechnology changeに牽引される形で上昇し、この間Efficiency Changeが低下していることから、非効率的企業は効率的企業の技術進歩のスピードに追い付けず、生産効率性格差が拡大している構造となっていることが見受けられる。しかし2007年以降は、リーマンショックやGeneral Motorの経営破綻によって鉄鋼メーカーは大きく影響を受け、特に効率的な生産を行っていた企業群において生産設備稼働率の低下から生産性が下降する結果となった。

## まとめ

鉄鋼業界のShadow priceは自動車業界と比較し、飛躍的に安価であり、またShadow priceのばらつきも少ない。そして日本企業のShadow priceは、世界の鉄鋼業界において最も低いことが明らかとなった。これは市場に強い炭素制約が導入された際、日本企業に優位性があることを意味する。一方で、日本の鉄鋼メーカーの経営効率は、世界と比較し決して高いとは言えない。これは主に資本・労働・マテリアルのマネジメントの低さから生じており、M&A等を通じて、積極的に経営効率・生産性を向上させている海外企業との差が明示される結果となった。

次に、本研究の纏めと今後の研究方針について記載する。

# 本研究のまとめ & 今後の研究方針

本研究では、世界 37 カ国 17 業種 1,024 社の、GHG の限界削減費用(Shadow price)、GHG を鑑みた企業の経営効率(Inefficiency score)と生産性(Productivity)、そして企業が GHG 排出削減を鑑み効率的に経営を行った場合に削減可能な GHG 排出量と増加可能な売上高を明らかにした。その結果、企業の GHG を鑑みた経営効率および Shadow price は、各国・各産業・各産業内・各年度において大きく異なることが判明した。これにより、①排出量取引制度は国家間・業界間だけでなく業界内においても、また国内の一産業をターゲットにしたものであっても有意義に機能しえること、更に、②同制度の導入の際には、Shadow price が高い年度に過度な GHG 排出削減努力をする非効率を避けるため、期間を単年ではなく複数年とすることが望ましいことが定量的に示された。また年度により Shadow price が異なるのは、これまで企業に対して具体的かつ義務的な炭素制約は課せられず、かつ炭素価格も明示されてこなかったことが要因のひとつとして考えられるため、各企業の炭素価格は明らかにされる必要があることも示唆された。加えて、世界の GHG の排出抑制を図るためには、各国が企業の GHG 排出を鑑みた経営を推進する必要があること、そして業界の GHG を鑑みた経営効率の底上げを図るためには、非効率企業・Shadow price の高い企業の特徴を捉えた政策を導入することが有効であることが示された。

GHG 排出を鑑みた経営効率は、自動車、化学等の製造業で高く、テクノロジー、メディア業界等のサービス業で低い。Shadow price は、電力業界等のエネルギー多消費型産業において低い一方で、テクノロジー、メディア業界等において高い。ただし、GHG 削減ポテンシャルは、やはり GHG 排出量の大きい製造業に大きく、そして排出量の少ないサービス産業においては小さい。ただし自動車産業など、経営効率が極めて高い業界に関しては、製造業であっても、削減ポテンシャルの値は低い

傾向にある。これら結果により、GHG の排出削減の絶対量の確保のためには、電力業界など、GHG 排出量の多い産業に引き続き焦点を合わせることが効率的であるが、産業全体の国際競争力強化やグリーン成長を牽引するためには、エネルギー多消費型でない業界にも注目する必要があることが明らかとなった。エネルギーのデマンド・サイド・コントロールとしては、東京都排出量取引制度のような政策や、電力料金の引き上げが有効と推測される。そして環境投資の観点からは、エネルギー多消費型産業、イコール、GHG 排出を鑑みた経営効率が高い企業ではないため、これら産業を投資対象として嫌う傾向は是正される必要性が認められた。

日本企業の Shadow price は相対的に低く、また GHG を鑑みた経営効率と生産性の成長率の高さは世界のトップレベルにあることから、炭素制約下における日本企業の相対的優位性は高いと考えられる。そしてこの結果は、各国の限界削減費用が一定のレベルになるように、GHG の削減割当量が設定された場合、日本国の削減量が他国と比較し飛躍的に高まる可能性を示唆している。次期気候変動枠組み交渉において、限界削減費用の均一化に過度に重点をおいた議論には注意が必要であろう。また本研究においては、アジアを含む世界の新興国企業における生産性のマイナス成長が確認された。新興国には成長段階の非効率企業が多く存在しており、日本の GHG マネジメント技術・ノウハウが CDM 等の枠組みを通じ、世界の非効率企業に提供されれば、世界の GHG 排出の抑制に繋がると解釈できる定量的結果が導き出された。

自動車業界における企業間競争は激しい。しかし激しい競争の中でも、各社は経営努力により生産性の向上を達成しており、そして日本の自動車メーカーは世界で最も低いレベルの Shadow price を達成している。これはエネルギー効率の改善に対する意識の高さが要因の一つとして挙げられ、このことから、政策は、個別企業の継続的な努力を起因し国際競争力を高められるようなものが望ましいと考えられる。Ford をはじめとする米国企業には、日本や欧州企業と同等の炭素制約が課せられておらず、GHG 排出を鑑みた経営が浸透していない可能性があるため、米

国にも他の先進国同等の GHG 削減義務が課せられることが、日本の自動車メーカーの強みを生かし、また自動車業界において GHG を鑑みたフェアな戦いを促すためには必要であろうと考えられる。

鉄鋼業界の Shadow price に関しては、自動車業界と比較し飛躍的に安価で、かつ価格のブレも少なく、また日本の鉄鋼メーカーの Shadow price が、世界で最も低いことが明らかとなった。これは世界市場に強い炭素制約が導入された際、日本の鉄鋼メーカーに優位性があることを意味する。一方で、日本の鉄鋼メーカーの経営効率は、世界と比較し決して高いとは言えない。これは主に資本・労働・マテリアルのマネジメントの低さから生じており、M&A 等を通じて、積極的に経営効率・生産性を向上させている海外企業との差が明示される結果となった。炭素制約下においても、GHG マネジメント以外の経営効率の向上は非常に重要といえる。

このように本研究では、日本企業の限界削減費用は他国と比較し高いとする国立環境研究所(NIES)や地球環境産業技術研究機構(RITE)らによる既存研究とは異なる結果が見出された。この差異は主に、本研究が 2002-2009 年という過去から現在の企業レベルの MAC を示しているのに対し、既存研究においては将来シナリオに基づいた将来の MAC を国・技術レベルで示しているためと考えられる。今後は、データの更なる精度向上を目的とし、証券アナリストらと連携し、証券会社の持つ企業財務データに基づき Shadow price を再計算する他、投資家等とも協議を重ね、本研究により算出された Inefficiency score や Shadow price が、環境投資指標として利用されるように、指標の研究開発を続けたい。加えて、本研究において算出された結果を自動車業界同様に、紙パルプ、セメント業界等に関しても、詳細に分析することで、更なる政策提言に繋げたいと考えている。

# Appendix A 研究手法

## 生産関数を用いた Shadow price の推計

指向性距離関数(DDF: Directional Distance Function)を用いた環境産出財の経済価値の推計方法は、Boyd et al. (1997)、Lee et al. (2002)、Maradan et al. (2005)や Färe et al. (2006)などによって開発・発展されてきた。以下に、本研究で用いる環境産出財の価格推計方法を説明する。

本研究では、従来の生産性分析に用いる労働、資本などの投入要素(以下、市場投入財)と売上、製品生産量などの望ましい産出(以下、市場産出財)に加えて、環境汚染などの望ましくない産出(以下、環境産出財)を用いた生産非効率性の評価が可能である Directional Distance Function (DDF) を適用し、効率性評価を行う。市場投入財  $x$ 、市場産出財  $y$ 、環境産出財  $b$  を用いて生産可能集合  $P(x)$  を次のように定義する。

$$P(x) = \{(y, b) \mid x \text{ can produce } (y, b)\} \quad (1)$$

生産可能集合  $P(x)$  内に存在するサンプルの非効率性  $D(x, y, b \mid g_x, g_y, g_b)$  は、サンプルと効率的な生産を達成しているサンプル群で生成されるフロンティアラインとの距離  $\beta$  と、非負の方向ベクトル  $(g_x, g_y, g_b)$ <sup>77</sup> を用いることによって、次のように定義する。

$$D(x, y, b \mid g_x, g_y, g_b) = \text{Sup} \{ \beta \mid (y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in P(x - \beta g_x) \} \quad (2)$$

上記のように  $D(x, y, b \mid g_x, g_y, g_b)$  を定義することで、式(3)が成立する。

$$(y, b) \in P(x) \text{ if and only if } D(x, y, b \mid g_x, g_y, g_b) \geq 0 \quad (3)$$

次に、完全競争下での市場産出財  $y$  の価格を  $p > 0$ 、環境産出財  $b$  の価格を  $q < 0$  としたとき、各サンプルの環境産出財も含めた総産出額を  $R(x, p, q)$  と置く。 $x$  は市場投入財である。 $R(x, p, q)$  は  $p$  と  $q$  の関数であり、生産可能集合の中には任意の  $p$  と  $q$  に対して「 $py + qb$ 」を最大化するような  $(y^*, b^*) \in P(x)$  の組み合わせが存在する。従って、 $R(x, p, q)$  は次のように表すことが出来る。ここで  $D(x, y, b \mid g_x, g_y, g_b)$  は式(2)で与えられる生産非効率性であり、以下簡略化のために  $D(\cdot)$  と表す。

$$R(x, p, q) = \text{Max}(y^*, b^*) \{ py^* + qb^* \mid (y^*, b^*) \in P(x) \} \quad (4)$$

このとき、式(3)の関係性から関数  $R(x, p, q)$  は

$$R(x, p, q) = \text{Max}(y^*, b^*) \{ py^* + qb^* \mid D(\cdot) \geq 0 \} \quad (5)$$

とすることが可能である。ここで式(5)は任意の  $(y, b) \in P(x)$  について成立するので、式(2)に  $(y^*, b^*) = (y + D(\cdot)g_y, b - D(\cdot)g_b)$  を代入する。

$$\begin{aligned} R(x, p, q) &= \text{Max}_{(y, b)} [p\{y + D(\cdot)g_y\} + q\{b - D(\cdot)g_b\} \mid D(\cdot) \geq 0] \\ &\geq [p\{y + D(\cdot)g_y\} + q\{b - D(\cdot)g_b\} \mid D(\cdot) \geq 0] \\ &= \{py + qb + (pg_y - qg_b) \times D(\cdot) \mid D(\cdot) \geq 0\} \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)より

<sup>77</sup> 方向ベクトル  $(g_x, g_y, g_b)$  は、分析目的に応じて変化させることが可能であり、用いる方向ベクトルの組み合わせによって非効率性は変化するが、効率的と評価される企業の選定には影響を与えない。

$$0 \leq D(\cdot) \leq \{R(x, p, q) - (py + qb)\} / (pg_y - qg_b) \quad (7)$$

また、 $R(x, p, q)$ は $p$ と $q$ の関数であることから、任意の $(y, b) \in P(x)$ について次の式を満たすような価格 $p$ と $q$ が存在する。

$$D(\cdot) = \text{Min}_{(p, q)} [\{R(x, p, q) - (py + qb)\} / (pg_y - qg_b)] \quad (8)$$

式(8)の両辺を $b$ と $y$ でそれぞれ偏微分すると式(9)、(10)が得られる。

$$\frac{\partial D(\cdot)}{\partial b} = \frac{-q}{pg_y - qg_b} \geq 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial D(\cdot)}{\partial y} = \frac{-p}{pg_y - qg_b} \leq 0 \quad (10)$$

式(9)の左辺は環境産出財 $b$ を1単位増やしたときに非効率性 $D(\cdot)$ がどれだけ上昇するかを示しており、式(10)の左辺は市場産出財 $y$ を1単位増やしたときに、非効率性 $D(\cdot)$ がどれだけ削減できるかを示している。式(9)と式(10)より式(11)が成立する。

$$\frac{q}{p} = \frac{\partial D(\cdot) / \partial b}{\partial D(\cdot) / \partial y} \quad (11)$$

従って環境産出財の価格 $q$ は、市場産出財の価格 $p$ を用いて式(12)のように表すことが可能である。

$$q = p \times \frac{\partial D(\cdot) / \partial b}{\partial D(\cdot) / \partial y} \quad (12)$$

ここで、計算に用いた市場産出財が金額データである場合は $p=1$ として計算することが可能である。環境産出財の価格 $q$ は、生産主体が生産規模を縮小させることで環境産出財を1単位削減した場合に、減少する市場産出財の価値を反映している。

Lee et al. (2002)では、式(12)で得られる Shadow price には各企業の非効率性の違いが反映されておらず、現実的ではないと述べており、式(12)に非効率性要素 $\sigma_y$ と $\sigma_b$ を乗じることで新しい Shadow price の計算式を開発した。

$$q = p \times \frac{\partial D(\cdot) / \partial b}{\partial D(\cdot) / \partial y} \times \frac{\sigma_b}{\sigma_y} \quad (13)$$

ここで、 $(y^*, b^*)$ は評価対象の生産主体が非効率性を計測するときに参照先とする点であり、フロンティアラインと Directional Vector の交点である。さらに $\sigma_y$ と $\sigma_b$ は非効率要素を示しており、それぞれ式(14)で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{1}{1 - D(\cdot) \frac{g_b}{b^*}}, \quad \sigma_y = \frac{1}{1 - D(\cdot) \frac{g_y}{y^*}} \quad (14)$$

本分析では異なる生産非効率性の企業間では、汚染物質を一単位削減するために生産規模を縮小し犠牲にする財の価値は異なると仮定し、各生産主体の非効率性を Shadow price に反映させる手法を用いることとし、式(13)を用いて Shadow price の推計を行った。

### Shadow Price と限界削減費用

次に、環境産出財の価格  $q$  と限界削減費用の関係について整理する。一般に、生産主体が環境産出財の削減を達成するには、(1)生産規模の縮小と、(2) 追加費用での削減取り組みの2つの手段をとることが可能である。ここで生産主体が利潤最大化を達成するには、規模縮小に伴う経済損失が、削減取り組みを行った場合の追加費用よりも大きい場合、生産主体は削減取り組みを採用すると考える。本分析では、個別の企業での削減取り組み費用データを得ることは出来なかったため、すべての生産主体は、環境産出財の価格  $q$  と同等の追加費用を削減取り組みに使用すると仮定し、限界削減費用= $q$ とした。

### 生産関数の推計方法と全要素生産

生産性とは、投入と産出の比によって与えられる効率性であり、投入一単位当たりの産出量が増えれば生産性は向上したと評価される。生産性については、労働投入当たりの生産量で定義される労働生産性や、資本投入当たりの生産量で定義される資本生産性、さらにはすべての投入要素と産出量の関係によって定義される全要素生産性(Total Factor Productivity: TFP)がある。全要素生産性とは、産出の増加が労働や資本などの投入要素の増加で説明できない部分を反映しており、一般に「技術進歩」を表す指標として経済学分野を中心に用いられている。

今日用いられている TFP 計測手法は、Solow(1957)と Farrell(1957)の考え方が基本となっている。前者はソロー残差としてマクロな TFP の計測方法として、後者はフロンティア非効率性評価方法として確立したものである。フロンティア非効率性とは、最も効率的な企業群によって構成されるフロンティアラインを参照することにより、各サンプルの非効率性を評価する手法である。この手法を用いる際には、フロンティアラインを特定する必要があり、その特定方法にはコブダグラス型関数やトランスログ型関数を用いるパラメトリックな手法と、線形計画法を応用したノンパラメトリック関数による手法に分類される。前者は Aigner and Chu (1968)らによって確率的フロンティア分析法(Stochastic Frontier Analysis: SFA)として、後者は Charnes et al. (1978)らによって包絡曲線分析法(Data Envelopment Analysis: DEA)として発展した。そしてこれら分析法を用いた生産性分析の研究は、1990年代に入り急速に増加している。

これまで上記2つの手法によって生産性分析に関する研究が数多く発表されたが、温室効果ガス排出量などの環境汚染物質の削減取り組みを、明示的に生産性に反映させた研究はほとんど行なわれてこなかった。その理由のひとつとして SFA や DEA では、環境汚染物質を用いた効率性評価が理論的に難しかったという問題があった。しかしこの問題に対して、Chung et al. (1997)は DEA の考え方を応用し、環境汚染排出量を用いた場合でも効率性評価が可能な指向性距離関数(Directional Distance Function: DDF)という評価方法を提唱した。Tyteca(1996)や Olsthoorn et al. (2001)は、環境汚染を考慮した生産性評価方法の比較を実施した結果として、線形計画法を用いたノンパラメトリックな評価方法を勧めている。線形計画法を用いての計算された結果は、頑健性があり、さらに効率性指標の統合化の方法に柔軟性を持つこと等が理由として挙げられる。そ

のため本研究でも、CO2 排出量を考慮した生産性評価を行うために、ノンパラメトリックな DDF 手法を用いて計算を行った。

## 関数形の設定

DDF の手法を用いることで、前述した式(2)は、Charnes et al. (1997)によって次のように定式化される。ここでは  $k$  番目のサンプルについての計算式を示す。

目的関数

$$\text{Max. } \beta_k \quad (= D_k(x_k, y_k, b_k | g_x, g_y, g_b)) \quad (15)$$

制約式

$$\sum_{i=1}^N y_{q,i} \lambda_i \geq y_{q,k} + g_y \beta_k \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^N b_{r,i} \lambda_i = b_{r,k} - g_b \beta_k \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{p,i} \lambda_i \leq x_{p,k} - g_x \beta_k \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \leq 1 \quad (19)$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, k, \dots, N) \quad (20)$$

$x_{p,i}$  は  $P \times N$  の市場投入財データ行列  $X$  の  $p$  行  $i$  列番目の要素であり、 $y_{q,i}$  は  $Q \times N$  の市場産出財データ行列  $Y$  の  $q$  行  $i$  列番目の要素である。また  $b_{r,i}$  は  $R \times N$  の環境産出財データ行列  $B$  の  $r$  行  $i$  列番目の要素である。制約式(16)、(17)、(18)の左辺はフロンティアラインを表しており、 $\lambda_i$  は非効率なサンプルが参照するフロンティア曲線上の点を一意的に決定するパラメータである。制約式(16)、(17)、(18)右辺は評価対象となるデータセットを用いている。式(19)は、各サンプル企業の生産が収穫逓減(Decrease return to Scale)で行われているとする仮定である。 $\beta$  は非効率性を表し  $\beta=0$  は評価対象のサンプルが効率的であることを意味する。

## 生産性の推計(Luenberger Productivity Indicator)

DDF の分析結果を用いて全要素生産性(Total Factor Productivity: TFP)の推移を計算する手法として Chambers et al.(1998)によって発展してきた Luenberger productivity indicator を利用する。TFP は以下の計算式で定義され、生産性変化の要因を技術変化(Technical Change:TECHCH)と効率性変化(Efficiency Change: EFFCH)に分解することが可能である。

$$\text{TFP}_t^{t+1} = \text{TECHCH}_t^{t+1} + \text{EFFCH}_t^{t+1} \quad (21)$$

$$\text{TECHCH}_t^{t+1} = \frac{1}{2} \left\{ \bar{D}^{t+1}(x_t, y_t, b_t) + \bar{D}^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1}) \right. \\ \left. - \bar{D}^t(x_t, y_t, b_t) - \bar{D}^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1}) \right\} \quad (22)$$

$$\text{EFFCH}_t^{t+1} = \bar{D}^t(x_t, y_t, b_t) - \bar{D}^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1}) \quad (23)$$

ここで TFP の説明を図 1 を用いて行う。図 1 では縦軸に市場産出財  $y$  を、横軸に環境産出財  $b$  をとり、 $t$  年と  $t+1$  年の二期間を考え、4 つの生産主体 A、B、C、K が生産を行い、A、B、C が効

率的と評価されているケースである。この場合、フロンティアラインは A、B、C により形成され、K はフロンティアラインを参照することで、生産非効率性の計測が可能となる。

以下、K に焦点を当て TFP の説明を行う。点 O と点 P は、K から伸ばした方向ベクトルとフロンティアラインとの交点を意味する。式(22)、(23)中の  $D^t(x_t, y_t, b_t)$  は図 1 中の線分  $|K_t O_t|$  の距離であり、この距離が大きいほど K は非効率と評価される。また、 $D^{t+1}(x_t, y_t, b_t)$  は t+1 年のフロンティアラインで t 年の生産を評価した場合の非効率性であり、図 1 中の線分  $|K_t O_{t+1}|$  である。ここで、前述した TECHCH を図 1 中の記号を用いて表すと、 $TECHCH = (|K_t O_{t+1}| + |K_{t+1} P_{t+1}| - |K_t O_t| - |K_{t+1} P_t|) / 2 = (|O_t O_{t+1}| + |P_t P_{t+1}|) / 2$  となり、 $K_t$  と  $K_{t+1}$  から観測したフロンティアシフトの算術平均となる。EFFCH は図 1 中の  $|K_t O_t| - |K_{t+1} P_{t+1}|$  で表される。EFFCH > 0 であれば、それまで非効率であった生産主体がフロンティアラインに近づいていることを表しており(キャッチアップ)、効率性の改善を意味する。逆に EFFCH < 0 のときは生産主体とフロンティアラインの距離が拡大していることを表しており、効率性が悪化していることを意味する。また、TECHCH > 0 ならば、フロンティアラインがより効率的な方向へシフトしており、TECHCH < 0 の場合は非効率な方向へシフトしていることを表している。TFP は TECHCH と EFFCH の和であり、フロンティアシフトを考慮した生産効率性変化を意味する。

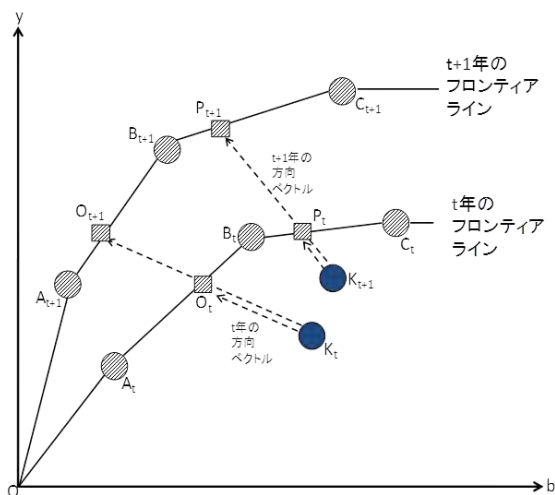


図 1 Luenberger Productivity Indicator の説明

本研究では Luenberger(1992)、Chambers et al.(1998)らの研究を参考に時系列分析に対応するため、方向ベクトルを  $(gx, gy, gb) = (0, y, b)$  と定めて計算を行う。この場合、k 番目のサンプルについての計算式は以下になる。

目的関数

$$Max. \beta_k \quad (24)$$

制約式

$$\sum_{i=1}^N y_{q,i} \lambda_i \geq (1 + \beta_k) y_{q,k} \quad q = revenue \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{p,i} \lambda_i \leq x_{p,k} \quad p = cogs, capital \quad (26)$$

$$\sum_{i=1}^N b_{r,i} \lambda_i = (1 - \beta_k) b_{r,k} \quad r = CO2 emissions \quad (27)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \leq 1 \quad (28)$$



$$\lambda_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, k, \dots, N) \quad (29)$$

上記のモデルでは評価対象のサンプルがフロンティアラインに対して、市場投入財を増やすことなくどれだけ市場産出財を増加し、環境産出財を削減出来るかを測定しており、増減可能な割合は  $\beta$  で表される。 $\beta > 0$  であれば、評価対象の企業には増加可能な市場産出財と削減可能な環境産出財が存在するため、非効率とみなされる。これら生産非効率性の時間変化を Luenberger productivity indicator によって計算することで、生産性変化が推計可能である。

# Data Envelopment Analysis による 効率性評価について

## 1-1. 包絡曲線分析法とは

包絡曲線分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)は 1978 年にテキサス大学の Charnes 教授と Cooper 教授らによって提唱された相対的な効率性評価手法である。DEA の適用範囲は農業や工業などの生産性分析や、企業などの経営効率、学校や政府といった公共の事業体の効率性評価にも用いることが可能であり、非常に広い。効率性の評価には絶対尺度と相対尺度が考えられる。自然科学などの分野では絶対尺度を用いた比較が容易であるが、企業や国家などの組織評価を行う社会科学では、絶対尺度を用いることは難しい。従って、組織評価には相対尺度を用いた比較が必要となる。DEA はこの相対尺度に基づいて考えられている。一般的に相対尺度を用いるときは、各生産主体の比率を用いて評価する。DEA では、複数の投入財で複数の産出財を生産している主体に対して、より少ない投入でより大きな産出を達成している主体を、より効率的と考える。

## 1-2. 比率尺度を用いた効率性

効率性は一般に投入当たりの産出量(産出額)によって決定される。この効率性の決定方法は比率尺度と呼ばれ、投入量一単位当たりの産出量が大きければ大きいほど、もしくは産出量一単位当たりの投入量が少なければ少ないほど効率性は高いと考えられている。以下、例題を用いて説明する。いま、6つの製造所があり、従業員数と付加価値額が表 1-1 のようになっている。

表 1-1 1 産出 1 投入のデータ

製造所名	A	B	C	D	E	F
従業員数	3	4	4	6	7	2
付加価値額	7	2.5	1	9	1	2
労働生産性	2.33	0.63	0.25	1.50	0.14	1.00

労働生産性は労働者一人当たりの付加価値額を表しており、製造所 A が最も高い値をとっている。いま得られるデータが付加価値額と労働者数しかない場合には、生産効率性は労働生産性によって判断される。この表を見ると、製造所 A が最も効率的であり製造所 D が最も非効率的な製造所だということが分かる。図 1-1 は縦軸に付加価値額、横軸に従業員数をとったグラフである。この図の各点から原点への直線の傾きは労働生産性を表している。製造所 A を通る直線の傾きが最も大きく、すべての製造所はこの直線の下側にある。ここで、製造所 A を通る直線(最も傾きが大きい直線)をフロンティアラインと定義する。このフロンティアラインとの比較によって各製造所の効率値を求めることが出来る。フロンティアラインは効率的なパフォーマンスを行っている製造所を通る。図 1 より、製造所 A は効率的な製造所であるが、他の製造所は製造所 A に比べると非効率的な生産を行っている。ここで、効率的な製造所 A の効率値を 1 と基準化するために、非効率的な製造所の効率値を次のように定義する。

$$\text{非効率的な製造所の効率値} = \frac{\text{非効率的な製造所の労働生産性}}{\text{製造所Aの労働生産性}}$$

すると、各製造所の効率値は表 1-2 のようになる。

表 1-2 1 産出 1 投入の効率性

製造所名	A	B	C	D	E	F
労働生産性	2.33	0.63	0.25	1.50	0.14	1.00
効率値	1.00	0.27	0.11	0.64	0.06	0.43

表 1-2 より効率値が高い順に  $A > D > F > B > C > E$  となり、製造所 C や E においては製造所 A の 10% 程度の効率で製造を行っているということが分かる。次に非効率な製造所を効率的にするための改善策を、製造所 F を例にとって考える。図 1-1 は各製造所のパフォーマンスをグラフ化したものであり、傾きは労働生産性を表している。製造所 F をフロンティアライン上に移動させるための方法として、労働者数を減らしてフロンティアラインに移動させるという案がある(図 1-1 中の F を P2 に移動させる方法)。これは、労働者数(投入要素)を削減することで効率化を測る方法である。一方、付加価値額を増やすことによって製造所 F をフロンティアライン上に移動させることも可能である(図 1-1 中の F を P1 に移動させる方法)。こちらは付加価値(産出要素)を増加させることによって効率化を測る方法である。その他にも製造所 F をフロンティアラインに移動させる方法は線分 P1P2 上の点であれば、どの点に移動しても良い。非効率な製造所 F の効率性や効率的にするための改善案はフロンティアラインを決定している製造所 A のパフォーマンスに依存している。この場合の製造所 A のような、非効率な事業体から参照されている事業体は参照集合と呼ばれる。

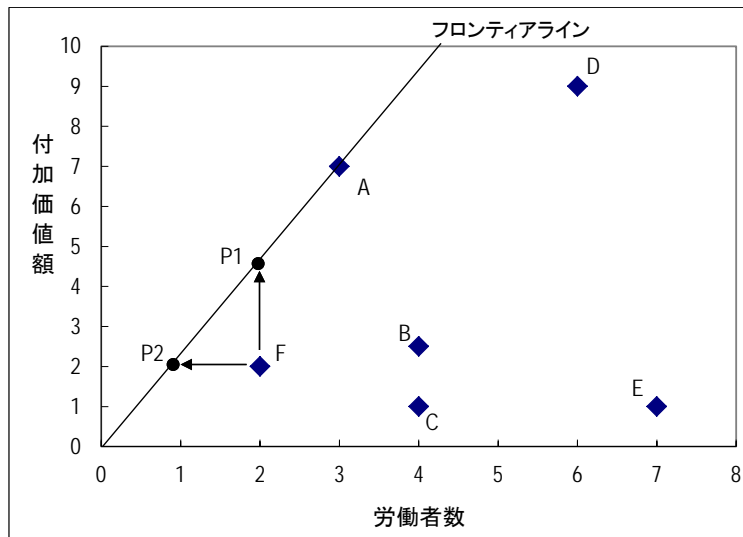


図 1-1 1 投入 1 産出の場合

### 1-3.2 産出 2 投入の例題

次に 2 投入 2 産出の場合を考える。先ほどの 6 つの製造所のデータに資本ストックと生産量を加えたものが表 1-3 である。

表 1-3 2 投入 2 産出の場合

製造所名	A	B	C	D	E	F
従業員	3	4	4	6	7	2
資本ストック	6	6	5	7	4	4
付加価値額	7	2.5	1	9	1	2
生産量	30	20	20	60	15	40

付加価値 / 労働	2.3	0.6	0.3	1.5	0.1	1.0
付加価値 / 資本ストック	1.2	0.4	0.2	1.3	0.3	0.5
生産量 / 労働	10.0	5.0	5.0	10.0	2.1	20.0
生産量 / 資本ストック	5.0	3.3	4.0	8.6	3.8	10.0

付加価値/労働は労働者一人当たりの付加価値額で、付加価値/資本は資本ストック一単位当たりの付加価値額、生産量/労働は労働者一人当たりの生産量で生産量/資本は資本ストック一単位当たりの生産量である。この場合、効率性をどのように評価すれば良いだろうか？この場合は、先ほどの1産出1投入の場合のような単純な比率尺度での比較はできなくなる。しかし、投入/産出という比率尺度で効率性を評価するために、これら多投入多産出データをそれぞれ仮想的総投入、仮想的総産出に統合化することによって計算可能となる。複数の投入産出データに関してウェイトをかけて加えることによって仮想的総投入、仮想的総産出を計算する。各投入財へのウェイトを $v_i$ で、各産出財へのウェイトを $u_r$ で表す。 $i$ は投入財、 $r$ は産出財の名前を表す。この2産出2投入の場合は次のように仮想的総投入、仮想的総産出を定義する。

$$\begin{aligned} \text{仮想的総投入} &= v_{\text{従業員数}} \times \text{従業員数} + v_{\text{資本ストック}} \times \text{資本ストック} \\ \text{仮想的総産出} &= u_{\text{付加価値}} \times \text{付加価値} + u_{\text{生産量}} \times \text{生産量} \end{aligned}$$

以下、従業員数のウェイトを $v_L$ 、資本ストックのウェイトを $v_K$ 、付加価値のウェイトを $u_v$ 、生産量のウェイトを $u_p$ で表す。この2産出2投入の場合の比率尺度は次のように表せる。

$$\text{比率尺度} = \frac{\text{仮想的総産出}}{\text{仮想的総投入}} = \frac{u_v \times \text{付加価値} + u_p \times \text{生産量}}{v_L \times \text{従業員数} + v_K \times \text{資本ストック}}$$

ここで問題となってくるのが、産出ウェイト $u_v, u_p$ と投入ウェイト $v_L, v_K$ をどのようにして決めるかということである。DEAでは、このウェイトに各生産主体によって値が変化する可変ウェイトを用いている。この可変ウェイトに対して固定ウェイトという重み付けの方法がある。固定ウェイトは生産主体ごとに値は変化せず、各変数によってウェイトを決定するウェイトである。この固定ウェイトは効率性評価分析では個々の特色を無視した一律のウェイトであると考えられる。刀根によれば「固定ウェイトを単純に平均コストの比で決めたり、統計的な回帰分析などで決めるような場合には、平均的な生産主体が効率的と評価され、ある一部分のみに優れた生産主体は外れものとしての扱いを受けかねない。実際に役立つ分析は優れた生産主体が構成する効率的フロンティアを基準とした評価であろう」とある。DEAはこれらをふまえて、次のように可変ウェイトを決定する。

1. 投入ウェイト、産出ウェイトは評価対象の生産主体毎に異なってもよいとする。
2. 投入ウェイト、産出ウェイトは評価対象である生産主体にとって、最も好都合となるように決定する。つまり、ある生産主体Kの効率性を評価するとき、生産主体Kにとって苦手とする項目に小さいウェイトを付け、得意とする項目に大きいウェイトを付けても良い。ただし、そのウェイトは他の生産主体の比率尺度が1を超えないように設定する必要がある。その上で仮想投入と仮想産出を計算し、その比率尺度から生産主体Kの効率性を評価しなければならない。

このウェイトの決定方法で、非効率と評価された生産主体は自分に最も都合のいいようにウェイトを設定したにも関わらず、仮想投入と仮想産出の比率尺度が他の生産主体よりも悪いということなので、納得をせざるを得ない。このウェイトの決定方法によって、評価の公平性を保っている。

#### 1-4. DEA を用いた分析

複数の生産主体について比率尺度を用いて効率性を測定していく。今  $n$  個の生産主体があるとす。対象になっている生産主体を  $k$  番目の生産主体とする。また、投入財を  $x$ 、産出財を  $y$  で表す。 $k$  番目の生産主体の効率値を求める計算式の一般形は次のように表される。

$$\begin{aligned} \text{目的関数 } \quad & \text{MAX. } \theta_k = \frac{u_1 y_{1,k} + u_2 y_{2,k} + \dots + u_R y_{R,k}}{v_1 x_{1,k} + v_2 x_{2,k} + \dots + v_I x_{I,k}} \\ \text{制約式 } \quad & \frac{u_1 y_{1,j} + u_2 y_{2,j} + \dots + u_R y_{R,j}}{v_1 x_{1,j} + v_2 x_{2,j} + \dots + v_I x_{I,j}} \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ & v_1, v_2, \dots, v_I \geq 0, \quad u_1, u_2, \dots, u_R \geq 0 \\ & x \text{ は } (I \times n) \text{ の投入データ, } y \text{ は } (R \times n) \text{ の産出データ} \\ & v \text{ は投入ウェイト, } u \text{ は産出ウェイトを表す} \end{aligned}$$

この計算式では、制約式によって仮想的総産出/仮想的総投入が 1 以下に制限されている。その上で、 $k$  番目の生産主体の比率尺度  $\beta_k$  を最大化するようにウェイトを決めている。従って、この計算式で求まる比率尺度は 1 かそれ以下となる。最も高い比率尺度の値で計測対象の生産主体の比率尺度を割ることによって効率値を求めていたのが、この分数計画問題では比率尺度の最大値は 1 となるため、各生産主体の比率尺度そのものを効率性とみなすことができる。効率値は効率的な生産主体ならば 1 をとり、より非効率になればなるほど 1 から 0 に近づいていく。この分数計画問題は次のように線形計画問題へと変形することが可能である。

$$\begin{aligned} \text{目的関数 } \quad & \text{Max. } \theta_k = u_1 y_{1,k} + u_2 y_{2,k} + \dots + u_R y_{R,k} \\ \text{制約式 } \quad & v_1 x_{1,k} + v_2 x_{2,k} + \dots + v_I x_{I,k} = 1 \\ & u_1 y_{1,j} + u_2 y_{2,j} + \dots + u_R y_{R,j} \leq v_1 x_{1,j} + v_2 x_{2,j} + \dots + v_I x_{I,j} \\ & v_1, v_2, \dots, v_I \geq 0, \quad u_1, u_2, \dots, u_R \geq 0 \end{aligned}$$

この分数計画問題と線形計画問題が同値であることは Charnes.(1978)によって証明されている。この線形計画問題の双対形は次のように書ける。

$$\begin{aligned} \text{目的関数 } \quad & \text{Min. } \beta_k \\ \text{制約式 } \quad & \sum_{j=1}^n x_{i,j} \lambda_j \leq \beta_k x_{i,k} \quad (i = 1, 2, \dots, I) \\ & \sum_{j=1}^n y_{r,j} \lambda_j \geq y_{r,k} \quad (r = 1, 2, \dots, R) \\ & \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

$\lambda$  は非効率な各生産主体が参照するフロンティアライン上の点を一意的に決定するパラメータである。これら線形計画問題とその双対形の目的関数値は双対定理によって一致し、それぞれの目的関数の最適値は等しくなる ( $\text{Max. } \theta_k = \text{Min. } \beta_k$ )。

#### 1-5.2 投入 2 産出のデータを用いた例題

実際に先ほどの 2 投入 2 産出のデータを、DEA を用いて計算してみる。ここでは、生産主体 B についての効率性を求める。データを線形計画問題に当てはめると以下ようになる。

$$\begin{aligned}
& \text{目的関数} \quad \text{Max. } \theta_B = 2.5u_V + 20u_P \\
& \quad \quad \quad 4v_L + 6v_K = 1 \\
& \text{制約式} \quad 7u_V + 30u_P \leq 3v_L + 6v_K \quad (A) \\
& \quad \quad \quad 2.5u_V + 20u_P \leq 4v_L + 6v_K \quad (B) \\
& \quad \quad \quad u_V + 20u_P \leq 4v_L + 5v_K \quad (C) \\
& \quad \quad \quad 9u_V + 60u_P \leq 6v_L + 7v_K \quad (D) \\
& \quad \quad \quad u_V + 15u_P \leq 7v_L + 4v_K \quad (E) \\
& \quad \quad \quad 2u_V + 40u_P \leq 2v_L + 4v_K \quad (F) \\
& \quad \quad \quad u_V, u_P \geq 0 \quad , \quad v_L, v_K \geq 0
\end{aligned}$$

この線形計画問題の解は  $v_L = 0.13157, v_K = 0.078947, u_V = 0.078947, u_P = 0.0105263$  となり生産主体 B の効率値は  $\theta_B = 0.407895$  となる。この値はすべての生産主体の比率尺度が 1 を超えないウェイトの組み合わせの中で、生産主体 B の比率尺度が最大となる組み合わせで計算したときの結果である。

次に双対問題によって生産主体 B の効率値を計算する。2 投入 2 産出データを双対問題に当てはめると以下のような計算式になる。標準形から双対形への式変形は補足で説明する。

$$\begin{aligned}
& \text{目的関数} \quad \text{Min. } \beta_B \\
& \text{制約式} \quad 3\lambda_A + 4\lambda_B + 4\lambda_C + 6\lambda_D + 7\lambda_E + 2\lambda_F \leq 4\beta_B \\
& \quad \quad \quad 6\lambda_A + 6\lambda_B + 5\lambda_C + 7\lambda_D + 4\lambda_E + 4\lambda_F \leq 6\beta_B \\
& \quad \quad \quad 7\lambda_A + 2.5\lambda_B + \lambda_C + 9\lambda_D + \lambda_E + 2\lambda_F \geq 2.5 \\
& \quad \quad \quad 30\lambda_A + 20\lambda_B + 20\lambda_C + 60\lambda_D + 15\lambda_E + 40\lambda_F \geq 20 \\
& \quad \quad \quad \lambda_A, \lambda_B, \lambda_C, \lambda_D, \lambda_E, \lambda_F \geq 0
\end{aligned}$$

ここで  $\lambda_A$  は製造所 A にかかるウェイトを表している。この双対形の解は  $\lambda_A = 0.0947, \lambda_D = 0.1632, \lambda_F = 0.1842, \lambda_B, \lambda_C, \lambda_E = 0, \beta_B = 0.407895$  である。これらの解は次のことを表している。

$$\begin{aligned}
& 0.407895 \times B \text{ の投入} \geq 0.0947 \times A \text{ の投入} + 0.1632 \times D \text{ の投入} + 0.1842 \times F \text{ の投入} \\
& B \text{ の産出} \leq 0.0947 \times A \text{ の産出} + 0.1632 \times D \text{ の産出} + 0.1842 \times F \text{ の産出}
\end{aligned}$$

この場合、製造所 B は製造所 A、D、F を参照した仮想的フロンティア生産主体によって非効率と評価されている。なぜなら、この仮想的生産主体は製造所 B よりも産出財を多く生産しながら、投入財を製造所 B の 40.7895% 以下に削減することが可能だからである。またこの結果は、製造所 B が付加価値と生産量を減らすことなく労働者数と資本ストックを現状の 40.7895% まで削減可能であることを示している。一方で参照されている製造所 A、D、F はどのような仮想的生産主体からでも非効率と評価することが出来ない。従って、これらの製造所は効率的と評価することが出来る。つまり、DEA での効率的という評価は非効率的であるとは評価出来ないことを指している。フロンティアラインは、仮想的フロンティア生産主体の集合と見ることが出来る。

## 1-6. 産出を対象としたモデル

先ほどの計算では、産出を減らさずにどれだけ投入を減らすことが出来るかという尺度を用いて、製造所の効率値を測定した。しかし、効率値の測定には投入を増やさずにどれだけ産出を増やすことが可能かという尺度でも計測することが出来る。その計算式は先ほどの投入を対象とした式を変形することによって求めることが可能である。

$\omega = \lambda/\beta$ 、 $\eta = 1/\beta$  とおくと上記の双対問題は次のような計算式へと変形できる。

$$\begin{aligned}
 & \text{目的関数 } \text{Max. } \eta_B \\
 & \text{制約式 } \begin{aligned}
 & 3\varpi_A + 4\varpi_B + 4\varpi_C + 6\varpi_D + 7\varpi_E + 2\varpi_F \leq 4 \\
 & 6\varpi_A + 6\varpi_B + 5\varpi_C + 7\varpi_D + 4\varpi_E + 4\varpi_F \leq 6 \\
 & 7\varpi_A + 2.5\varpi_B + \varpi_C + 9\varpi_D + \varpi_E + 2\varpi_F \geq 2.5\eta_B \\
 & 30\varpi_A + 20\varpi_B + 20\varpi_C + 60\varpi_D + 15\varpi_E + 40\varpi_F \geq 20\eta_B \\
 & \varpi_A, \varpi_B, \varpi_C, \varpi_D, \varpi_E, \varpi_F \geq 0
 \end{aligned}
 \end{aligned}$$

この式変形より、産出を対象としたモデルの最適解と投入を対象としたモデルの最適解が等しくなることが分かる。このモデルでの計算結果は

$$\varpi_A = 0.2323, \varpi_D = 0.4000, \varpi_F = 0.4516, \varpi_B, \varpi_C, \varpi_E = 0, \eta_B = 2.45163 \text{ であった。}$$

これらの解は次のことを表している。

$$\begin{aligned}
 & 2.45163 \times B \text{の産出} \leq 0.2323 \times A \text{の産出} + 0.4000 \times D \text{の産出} + 0.4516 \times F \text{の産出} \\
 & B \text{の投入} \geq 0.2323 \times A \text{の投入} + 0.4000 \times D \text{の投入} + 0.4616 \times F \text{の投入}
 \end{aligned}$$

この場合、製造所 B は製造所 A、D、F を参照することによって、労働者数と資本ストックを増やすことなく、付加価値と生産量を現状の 245.163%まで増やすことが可能であることを示している。

#### 1-7. Directional Distance Function (DDF)

これまで説明した DEA では、産出財に付加価値や製品生産量などの産出が望ましい財（以下、市場産出財）を用いてきた。しかし、生産活動の産出財には廃水や排ガス、廃棄物などといった産出が望ましくない財も生産される（以下、環境産出財:b で表す）。この環境産出財生産性を評価するためには、フロンティアラインに対して次のように非効率性を評価する基準が考えられる。

1. 投入財と環境産出財を変化させずに、市場産出財をどれだけ増加できるか。
2. 投入財と市場産出財を変化させずに、環境産出財をどれだけ削減できるか。
3. 市場産出財と環境産出財を変化させずに、投入財をどれだけ削減できるか。
4. 市場産出財を変化させずに、投入財と市場産出財をどれだけ削減できるか。
5. 投入財を変化させずに、どれだけ市場産出財を増加させ、環境産出財を減少できるか。
6. 環境産出財を変化させずに、どれだけ市場産出財を増加させ、投入財を減少できるか。
7. どれだけ市場産出財を増加させ、投入財と環境産出財を減少できるか。

最初の 4 つの方法であればこれまでの DEA で評価できるが、5、6、7 番目の評価基準では DEA を用いて評価するのは難しい。理由としては、線形計画法では目的関数に最大化もしくは最小化のどちらかの最適解を探すための命令を出さなければならないが、投入財や環境産出財を対象とすると最小化の命令になり、市場産出財を対象とすると最大化の命令での最適解となってしまう。この最適化を同時に行うことは出来ないため、計算式を変更する必要がある。特に、企業にとっては市場産出財を増やすことは最優先の目標であり、環境産出財を減らすことはこれからの持続的な発展を達成するためには不可欠な目標である。従って、これらを同時に評価する基準が重要であると考えられる。これまでの先行研究では、5 番目の評価基準を DEA で用いるために、環境産出財データを逆数で用いて産出が望ましい財として扱う方法などを提案している。しかし、それらのモデルには問題が多く実用的とはいえない。これらの問題を解決したのが Chung et al. (1997) によって考案された directional distance function (DDF) である。この DDF は生産可能集合 P を用いて、次のように定義される。

目的関数  $Max. \beta_k \quad (= D(x, y, b | g_x, g_y, g_b))$

$$\begin{aligned} \text{制約式} \quad & \sum_{j=1}^n x_{i,j} \lambda_j \leq x_{i,k} - \beta_k g_x \quad (i=1,2,\dots,I) \\ & \sum_{j=1}^n y_{i,j} \lambda_j \geq y_{r,k} + \beta_k g_y \quad (r=1,2,\dots,R) \\ & \sum_{j=1}^n b_{l,j} \lambda_j \leq b_{l,k} - \beta_k g_b \quad (l=1,2,\dots,L) \\ & \lambda_j \geq 0 \quad (j=1,2,\dots,n) \end{aligned}$$

$x$ は投入財,  $y$ は市場産出財,  $b$ は環境産出財,  $g_x$ はinput directional vector  
 $g_y$ はdesirable output directional vector,  $g_b$ はundesirable output directional vector  
 $\beta$ は非効率性を表す。

以下、このような計算式で求められる非効率性の値を  $D(x, y, b | g_x, g_y, g_b)$  と表す。このモデルは市場産出財と環境産出財に用いるベクトルの符号を変えることによって、市場産出財の最大化問題と環境産出財の最小化問題を同時に計算することが可能となる。また、directional vector ( $g_x, g_y, g_b$ ) を変化させることによって、効率性を評価する基準を選択することが可能である。つまり directional vector の決定は評価基準の決定となる。次に例題と図表を用いながら説明する。DDFを用いて、先ほどの表 1-3 の 2 投入 2 産出データに環境産出財として廃棄物データを追加した表 1-4 のデータで環境生産性の評価を行う。

表 1-4 2 投入 2 市場産出 1 環境産出のデータ

製造所名	A	B	C	D	E	F
従業員	3	4	4	6	7	2
資本ストック	6	6	5	7	4	4
付加価値額	7	2.5	1	9	1	2
生産量	30	20	20	60	15	40
廃棄物	5	8	13	20	6	4
付加価値 / 廃棄物	1.40	0.31	0.08	0.45	0.17	0.5
生産量 / 廃棄物	6	3	2	3	3	10

各生産主体の評価基準には 5 番目の基準を用いて directional vector を  $(g_x, g_y, g_b) = (0, y, b)$  と設定すると、 $k$  番目の生産主体の非効率性は次の式で計算できる。

目的関数  $D(x, y, b | 0, y, b) = Max. \beta_k$

$$\begin{aligned} \text{制約式} \quad & \sum_{j=A}^F \lambda_j x_{ij} \leq x_{ik} \\ & \sum_{j=A}^F \lambda_j y_{rj} \geq (1 + \beta) y_{rk} \\ & \sum_{j=A}^F \lambda_j b_{lj} \leq (1 - \beta) b_{lk} \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

$l$  は環境産出財の名前を表している。この DDF の解を以下に示す。ここでは製造所 B の結果だけ載せている。製造所 B についての計算結果は



$\lambda_A = 0.4138, \lambda_F = 0.4483, \lambda_B, \lambda_C, \lambda_D, \lambda_E = 0, \beta = 0.5172$  である。これらの解は次のことを表している。

$$\begin{aligned} & B \text{の投入財} \geq 0.4138 \times A \text{の投入財} + 0.4483 \times F \text{の投入財} \\ & (1 + 0.5172) \times B \text{の市場産出財} \leq 0.4138 \times A \text{の市場産出財} + 0.4483 \times F \text{の市場産出財} \\ & (1 - 0.5172) \times B \text{の環境産出財} \geq 0.4138 \times A \text{の環境産出財} + 0.4483 \times F \text{の環境産出財} \end{aligned}$$

この場合、製造所 B は製造所 A と F を参照することによって、労働者数と資本ストックの値を変化させずに、環境産出財である廃棄物の量を現状の 51.72%削減可能しながら、同時に付加価値と生産量を現状の 51.72%増やすことが可能であることを示している。

### 1-8. DDF を用いた時系列分析

これまでは単年でのデータを用いての効率性の分析を行ってきたが、本節では投入財と市場産出財の複数年のデータを用いた時系列分析を行う。DDF では時系列のデータを扱うことによって、各年で計算された非効率性から、技術進歩を計算することが可能である。時系列分析を行うにあたって、 $t$  年の生産可能集合  $P^t$  と  $t+1$  年の生産可能集合  $P^{t+1}$  を用いて、次のように距離関数を定義する。 $x^t, x^{t+1}$  はそれぞれ  $t$  年、 $t+1$  年の投入財を表す。以下、左辺の directional vector の表記を省略している。

$$\begin{aligned} d^t(x_t, y_t) &= \sup(\{\beta : (x_t - \beta g_x, y_t + \beta g_y) \in P^t\}) \\ d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) &= \sup(\{\beta : (x_{t+1} - \beta g_x, y_{t+1} + \beta g_y) \in P^{t+1}\}) \\ d^{t+1}(x_t, y_t) &= \sup(\{\beta : (x_t - \beta g_x, y_t + \beta g_y) \in P^{t+1}\}) \\ d^t(x_{t+1}, y_{t+1}) &= \sup(\{\beta : (x_{t+1} - \beta g_x, y_{t+1} + \beta g_y) \in P^t\}) \end{aligned}$$

$d^t(x_t, y_t)$  は  $t$  年のフロンティアラインで各生産主体の  $t$  年での生産活動を評価していることを表しており、 $d^{t+1}(x_t, y_t)$  は  $t+1$  年のフロンティアラインで各生産主体の  $t$  年での生産活動を評価していることを表している。

以下、図表を用いて説明する。図 1-2 は  $t$  年と  $t+1$  年での 1 投入 1 産出の場合について描いたものである。この図 1-2 は  $P^t$  が  $t$  年のフロンティアライン、 $P^{t+1}$  が  $t+1$  年のフロンティアラインを表しており、生産主体 A の  $t$  年での生産が  $A^t = (x^t, y^t)$ 、 $t+1$  年での生産が  $A^{t+1} = (x^{t+1}, y^{t+1})$  であることを表している。また、点  $A^t$  から  $y$  軸に下ろした線分と  $P^t$  との交点を  $R_t^t$  とおき、 $P^{t+1}$  との交点を  $R_t^{t+1}$  とおく。同様に、点  $A^{t+1}$  から  $y$  軸に下ろした線分と  $P^t$  との交点を  $R_{t+1}^t$  とおき、 $P^{t+1}$  との交点を  $R_{t+1}^{t+1}$  とおく。さらに Directional vector を  $(g_x, g_y) = (x, 0)$  と設定して、投入削減のみに注目した場合に上の 4 つの距離関数の求める値は図表の点を用いて次のように表される。 $|A^t R_t^t|$  は点  $A^t$  から点  $R_t^t$  への距離を表す。 $d^t(x_t, y_t) = |A^t R_t^t|$ 、 $d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) = |A^{t+1} R_{t+1}^{t+1}|$ 、 $d^{t+1}(x_t, y_t) = |A^t R_t^{t+1}|$ 、 $d^t(x_{t+1}, y_{t+1}) = |A^{t+1} R_{t+1}^t|$ 。

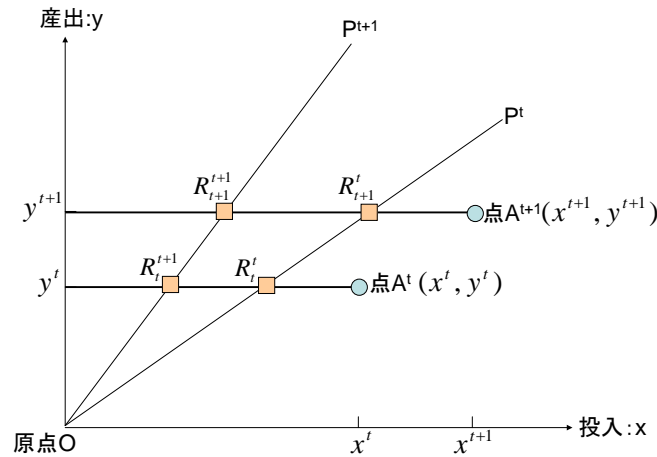


図 1-2 DDF を用いた時系列分析の図

Chambers(1998)は DDF の結果から Luenberger productivity indicator を用いることによって、フロンティアシフトを考慮した技術進歩指標(TFP)とフロンティアシフト指標(TECHCH)、キャッチアップ指標(EFFCH)の 3 つの指標の推計が可能であると提案している。TECHCH とはフロンティアラインが  $t$  年から  $t+1$  年にかけてどれほどシフトしたかを表す指標である。値がプラスならフロンティアラインは技術が進歩している方向へシフトしており、値がマイナスならば技術が後退している方向へシフトしていることを示す。EFFCH とは、非効率な生産主体が  $t$  年から  $t+1$  年にかけてどれほどフロンティアラインに近づくことができたかを表す指標である。値がプラスならその非効率な生産主体はフロンティアラインに近づいており、値がマイナスならばフロンティアラインから遠ざかっていることを示す。TFP は  $TFP = TECHCH + EFFCH$  で与えられる。それぞれの指標は次で定義されている。

$$TFP = \frac{1}{2} \{d^{t+1}(x_t, y_t) - d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) + d^t(x_t, y_t) - d^t(x_{t+1}, y_{t+1})\}$$

$$TECHCH = \frac{1}{2} \{d^{t+1}(x_t, y_t) - d^t(x_t, y_t) + d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) - d^t(x_{t+1}, y_{t+1})\}$$

$$EFFCH = d^t(x_t, y_t) - d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})$$

これらの指標を図 1-2 の点を用いて表すと分かりやすい。

$$TFP = \frac{1}{2} \{ |A^t R_t^{t+1}| - |A^{t+1} R_{t+1}^{t+1}| + |A^t R_t^t| - |A^{t+1} R_{t+1}^t| \}$$

$$TECHCH = \frac{1}{2} \{ |A^t R_t^{t+1}| - |A^t R_t^t| + |A^{t+1} R_{t+1}^{t+1}| - |A^{t+1} R_{t+1}^t| \}$$

$$EFFCH = |A^t R_t^t| - |A^{t+1} R_{t+1}^{t+1}|$$

これらの式から、各指標を次のように見ることが出来る。TECHCH は  $A^t$  から測ったフロンティアシフトの割合と  $A^{t+1}$  から測ったフロンティアシフトの割合の算術平均であり、EFFCH は  $A^t$  と  $t$  年のフロンティアラインの距離から  $A^{t+1}$  と  $t+1$  年のフロンティアラインの距離を引いたものである。一般的には、これらの指標の生産主体全体の平均をとることで、その分析対象全体の技術進歩指標としている。

## 1-9. TFP の計算方法

TFP は次の4つの距離関数で計算された非効率性を算術平均することによって求めることが出来る。

$$\begin{aligned}
 d^t(x_t, y_t) &= \text{Max.}\beta \\
 &\sum_j \lambda_j x_{ji}^t \leq x_i^t - \beta g_x \\
 &\sum_j \lambda_j y_{jr}^t \geq y_r^t + \beta g_y \\
 &\lambda \geq 0 \\
 d^t(x_{t+1}, y_{t+1}) &= \text{Max.}\beta \\
 &\sum_j \lambda_j x_{ji}^t \leq x_i^{t+1} - \beta g_x \\
 &\sum_j \lambda_j y_{jr}^t \geq y_r^{t+1} + \beta g_y \\
 &\lambda \geq 0 \\
 d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) &= \text{Max.}\beta \\
 &\sum_j \lambda_j x_{ji}^{t+1} \leq x_i^{t+1} - \beta g_x \\
 &\sum_j \lambda_j y_{jr}^{t+1} \geq y_r^{t+1} + \beta g_y \\
 &\lambda \geq 0 \\
 d^{t+1}(x_t, y_t) &= \text{Max.}\beta \\
 &\sum_j \lambda_j x_{ji}^{t+1} \leq x_i^t - \beta g_x \\
 &\sum_j \lambda_j y_{jr}^{t+1} \geq y_r^t + \beta g_y \\
 &\lambda \geq 0
 \end{aligned}$$

この節では、前回使用した2産出2投入のデータをt年とし、次のようにt+1年のデータを設定する。Directional vector を  $(g_x, g_y) = (x, 0)$  として計算を行う。

表 1-5 t 年の 2 投入 2 産出のデータ

製造所名	A	B	C	D	E	F
従業員	3	4	4	6	7	2
資本ストック	6	6	5	7	4	4
付加価値額	7	2.5	1	9	1	2
生産量	30	20	20	60	15	40
付加価値 / 労働	2.3	0.6	0.3	1.5	0.1	1.0
付加価値 / 資本ストック	1.2	0.4	0.2	1.3	0.3	0.5
生産量 / 労働	10.0	5.0	5.0	10.0	2.1	20.0
生産量 / 資本ストック	5.0	3.3	4.0	8.6	3.8	10.0

表 1-6 t+1 年の 2 投入 2 産出のデータ

製造所名	A	B	C	D	E	F
従業員	2.5	3	4	6	8	2.4
資本ストック	5	4	5	7	4.5	4.7
付加価値額	6.5	2	1	9	2	4
生産量	28	19	20	60	17	50
付加価値 / 労働	2.6	0.7	0.3	1.5	0.3	1.7
付加価値 / 資本ストック	1.3	0.5	0.2	1.3	0.4	0.9
生産量 / 労働	11.2	6.3	5.0	10.0	2.1	20.8
生産量 / 資本ストック	5.6	4.8	4.0	8.6	3.8	10.6

製造所 A、B はリストラなどによる投入要素削減によって、資本生産性や労働生産性を高めようとしている。一方、製造 E、F は規模の拡大によって資本生産性や労働生産性を高めようとしている。また、製造所 C、D は t 年と t+1 年でまったく同じ生産をしているとし、製造所 D は t 年と t+1 年で効率的な生産しているとする。このとき、TFP は次の4つの計算式を解くことによって求めることが出来る。ここでは製造所 A についての計算式のみを紹介する。

$$\begin{aligned}
d^t(x_t, y_t) &= \text{Max.}\beta \\
\sum_j 3\lambda_A + 4\lambda_B + 4\lambda_C + 6\lambda_D + 7\lambda_E + 2\lambda_F &\leq 3 \times (1 - \beta) \\
\sum_j 6\lambda_A + 6\lambda_B + 5\lambda_C + 7\lambda_D + 4\lambda_E + 4\lambda_F &\leq 6 \times (1 - \beta) \\
\sum_j 7\lambda_A + 2.5\lambda_B + \lambda_C + 9\lambda_D + \lambda_E + 2\lambda_F &\geq 7 \\
\sum_j 30\lambda_A + 20\lambda_B + 20\lambda_C + 60\lambda_D + 15\lambda_E + 40\lambda_F &\geq 30 \\
\lambda &\geq 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) &= \text{Max.}\beta \\
\sum_j 2.5\lambda_A + 3\lambda_B + 4\lambda_C + 6\lambda_D + 8\lambda_E + 2.4\lambda_F &\leq 2.5 \times (1 - \beta) \\
\sum_j 5\lambda_A + 4\lambda_B + 5\lambda_C + 7\lambda_D + 4.5\lambda_E + 4.7\lambda_F &\leq 5 \times (1 - \beta) \\
\sum_j 6.5\lambda_A + 2\lambda_B + \lambda_C + 9\lambda_D + 2\lambda_E + 4\lambda_F &\geq 6.5 \\
\sum_j 28\lambda_A + 19\lambda_B + 20\lambda_C + 60\lambda_D + 17\lambda_E + 50\lambda_F &\geq 28 \\
\lambda &\geq 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d^{t+1}(x_t, y_t) &= \text{Max.}\beta \\
\sum_j 2.5\lambda_A + 3\lambda_B + 4\lambda_C + 6\lambda_D + 8\lambda_E + 2.4\lambda_F &\leq 3 \times (1 - \beta) \\
\sum_j 5\lambda_A + 4\lambda_B + 5\lambda_C + 7\lambda_D + 4.5\lambda_E + 4.7\lambda_F &\leq 6 \times (1 - \beta) \\
\sum_j 6.5\lambda_A + 2\lambda_B + \lambda_C + 9\lambda_D + 2\lambda_E + 4\lambda_F &\geq 7 \\
\sum_j 28\lambda_A + 19\lambda_B + 20\lambda_C + 60\lambda_D + 17\lambda_E + 50\lambda_F &\geq 30 \\
\lambda &\geq 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d^t(x_{t+1}, y_{t+1}) &= \text{Max.}\beta \\
\sum_j 3\lambda_A + 4\lambda_B + 4\lambda_C + 6\lambda_D + 7\lambda_E + 2\lambda_F &\leq 2.5 \times (1 - \beta) \\
\sum_j 6\lambda_A + 6\lambda_B + 5\lambda_C + 7\lambda_D + 4\lambda_E + 4\lambda_F &\leq 3 \times (1 - \beta) \\
\sum_j 7\lambda_A + 2.5\lambda_B + \lambda_C + 9\lambda_D + \lambda_E + 2\lambda_F &\geq 6.5 \\
\sum_j 30\lambda_A + 20\lambda_B + 20\lambda_C + 60\lambda_D + 15\lambda_E + 40\lambda_F &\geq 28 \\
\lambda &\geq 0
\end{aligned}$$

これらの計算式の解は次のようである。ここでは、すべての製造所について載せている。この結果を考察する。

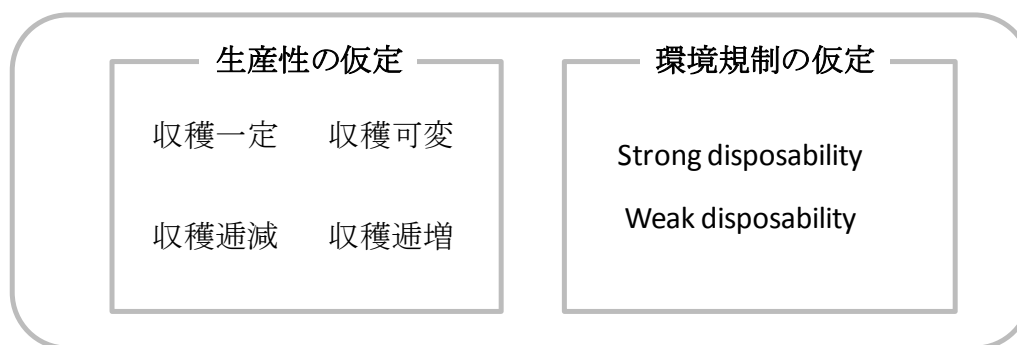
表 1-6 DDF を用いた時系列分析の計算結果

	A	B	C	D	E	F
$d^t(x_t, y_t)$	0.000	0.592	0.600	0.000	0.615	0.000
$d^t(x_{t+1}, y_{t+1})$	-0.116	0.481	0.600	0.000	0.580	-0.226
$d^{t+1}(x_t, y_t)$	0.102	0.627	0.624	0.000	0.647	0.040
$d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})$	0.000	0.515	0.624	0.000	0.599	0.000

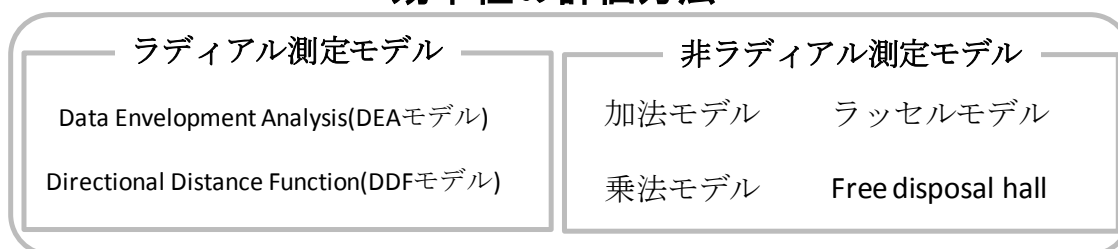
TFP	0.109	0.112	0.000	0.000	0.042	0.133
TECHCH	0.109	0.034	0.024	0.000	0.026	0.133
EFFCH	0.000	0.077	-0.024	0.000	0.016	0.000

製造所 A、D、F は  $d^t(x_t, y_t) = d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) = 0$  より、 $t$  年、 $t+1$  年において、これらの製造所の生産は効率的であると評価されており、その他の製造所は非効率であると評価されている。また、製造所 A、F では  $d^t(x_{t+1}, y_{t+1})$  が負の値をとっている。これは、製造所 A、F の  $t+1$  年での生産効率は  $t$  年のフロンティアライン  $P^t$  を超えていることを示している ( $t$  年のフロンティアラインの外側に位置している)。つまり、 $t+1$  年での製造所 A、F の技術は  $t$  年の生産技術の限界を超えていることを意味する。次に TFP、TECHCH、EFFCH の値について説明する。製造所 A、B、E、F が TECHCH の値が正であるのに対して、製造所 C、D は 0 の値をとっている。これは、前者は  $t$  年から  $t+1$  年にかけて技術が進んでおり、後者は生産技術に変化がないことを示している。次に TECHCH の値について述べる。TECHCH は各製造所から見た視点でのフロンティアラインのシフトを表している。製造所 D 以外は正の値をとっているため、製造所 D 以外の製造所から見たフロンティアラインは技術が進歩している方向へシフトしていると評価されている。一方で製造所 D から見たフロンティアシフトは 0 となっているが、これは製造所 D が  $t$  年から  $t+1$  年にかけて生産に変化がなく、しかも  $t$  年と  $t+1$  年の両方の年で効率的と評価されているためである。次に EFFCH の値について述べる。 $t$  年と  $t+1$  年の両方の年で効率的と評価されている製造所 A、D、F は EFFCH の値は 0 である。EFFCH は  $t$  年と  $t+1$  年にかけてのフロンティアラインからの距離の差を表しているが、製造所 A、D、F は両年ともにフロンティアライン上に位置しているため、距離は 0 となる。従って、製造所 A、D、F の  $EFFCH = d^t(x_t, y_t) - d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) = 0 - 0 = 0$  となる。製造所 B、E が正の値をとっているのに対して、製造所 C は負の値をとっている。これは  $t$  年から  $t+1$  年にかけて製造所 B、E ではフロンティアラインとの距離が縮まっており、製造所 C では差が広がっていることを示している。製造所 C については、TECHCH と EFFCH が相殺されて TFP が 0 となっているが、これは「製造所 C から見たフロンティアラインのシフト」と「フロンティアラインから見た製造所 C の相対的な動き」の和が 0 であることを示している。これらの分析方法を用いて、生産性の効率と技術進歩の計測が可能となる。

## フロンティア生産曲線の同定方法(生産活動の前提条件や仮定)



## 効率性の評価方法



## 効率値を用いた技術進歩指標

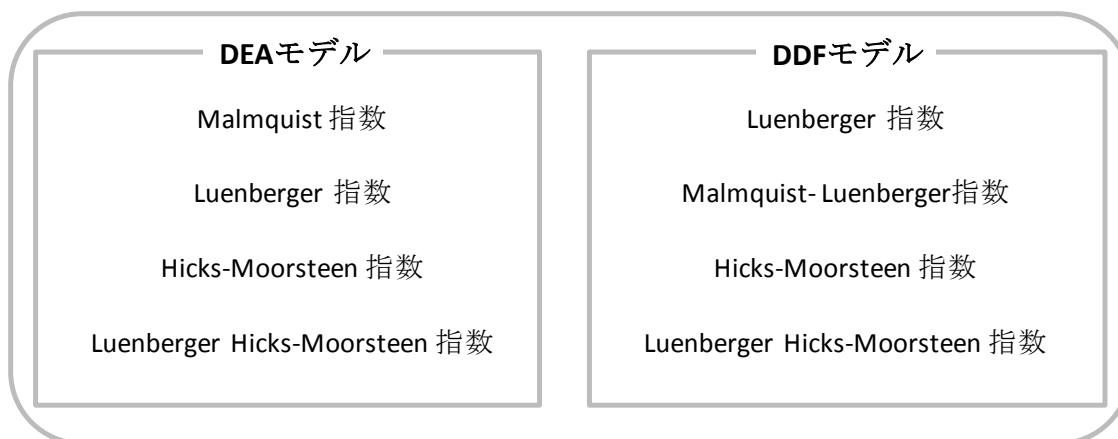


表 1-7 DEA 分析法の概略

# Appendix C:技術積上型モデルとの比較における注意点

本セクションでは、本研究により算出された Shadow price と花岡(2008)などに代表される技術積上型モデルによる MAC を比較する際の注意点を、基本的コンセプト、推計方法などの観点から整理する。

	Evidence-based MAC (Shadow price) 本研究	技術積上型-MAC NIES 花岡(2008)
1. 基本 コンセプト (限界削減 費用)	GHG の排出量を追加的に 1 単位削減するために犠牲となる売上高であり、経済合理性を鑑みた MAC。経済合理性を鑑みた際、Shadow price=MAC の最大値。  企業は経済合理性に則り行動するため、技術導入費用などの GHG 削減のための対策費用が、売上高を超えた場合、売上高を犠牲とする(生産を縮小する)ことを選択。	GHG の排出量を追加的に 1 単位削減するために必要な対策技術の費用増加分。  対策費用は、個々の技術を導入する際に必要な初期費用および燃料費用や運転費用などの運転費用の合計値。対策費用に関し、金額の上限設定は無い。
2. 基本 コンセプト (GHG 削減ポ テンシャル)	非効率企業が効率企業と同様レベルの効率性(GHG・資本・労働・マテリアルのマネジメント)を達成した際、削減可能となる GHG 削減量。  GHG 削減ポテンシャルには、技術だけでなくソフト面含めた企業全体の経済活動における削減ポテンシャルを表す。	分析の対象年、対象地域、対象部門にて、技術の普及(シェアや効率など)が基準年の導入状況と同様としたときと比較し、新たな対策技術の導入による削減量。  GHG 削減ポテンシャルは、前提条件に設定した技術によりのみ算出され、ソフト面や、設定外の技術は含まれない。
3. 試算方法 概要 (限界削減 費用)	最適化アルゴリズムを用い、各社毎の正のアウトプット(売上高)を生産するのに必要なインプット(資本・労働・マテリアル)と負のアウトプット(GHG 排出量)の割合を算出。その割合から、GHG 排出量を 1 単位削減するために犠牲となる売上高を計算。  アウトプットは、売上高ではなく、生産量・付加価値等でも代替可能。	GHG 排出要因となる民生家庭・業務部門の活動量、各技術の導入費用・設置量を設定。ベースライン(基準年における技術導入量など)の値と比較し、追加的技術を導入した際の費用と比較し、GHG 排出量を 1 単位当たり削減する際の削減費用を計算。

4. 分析可能レベル	企業	技術
	<p>プラントや国・地域毎のShadow priceを算出することも可能(先行研究にて分析済)。技術に関しても、技術毎の費用・売上・GHG排出量などのデータを入手することができれば、試算可能<sup>78</sup>。</p>	<p>技術を国・地域別に積み上げ、国・地域別の技術導入・運転に係る費用を算出することは可能。企業レベルの分析は、不可能。</p>
5. 時間軸	<p>2002年-2009年のデータを用い、同期間における年度毎のShadow priceを算出。</p> <p>財務・GHGデータは、毎年報告されるので、毎年アップデートが可能。</p>	<p>2000年を基準年とし、2020年を分析対象年とする。</p>
6. 前提条件	<p>なし</p>	<p>将来シナリオ作成の際、人口動態、経済成長率を設定。また対策技術・技術毎の導入費用・投資回収年数・設備量などを設定。</p>
7. 推計手法に係る限界	<p>将来予測を目的としたモデルではないため、将来予測は可能であったとしても、2-3年程度に留まる。</p> <p>財務データは、上場企業であれば世界各国全社を対象とすることが可能であるが、GHG排出データは、途上国を中心に整備途中であり、対象範囲が狭くなる。(将来的にデータが整備されれば、対象範囲を拡充することは可能)</p> <p>前提条件を設定する構造にないため、シナリオ分析は困難。例えば、エネルギー価格の高騰を、原価の高騰と見なし、全社一律に高めることは可能であるが、各社のエネルギーコスト(費用に占めるエネルギー費用の割合)・調達ルート・コストは様々なため、実態にそぐわない推計結果が算出される可能性がある。</p> <p>民生部門(需要)モデルや水・大気・生態系などモデルとの統合は、現時点において困難。</p>	<p>将来シナリオ及び前提条件次第で、推計結果は大幅に変化する。</p> <p>実用化されている既存の技術が対象とされており、将来の革新的技術は考慮されていない。またデータの制約により考慮されていない既存の対策技術もある。よって、分析対象年における削減ポテンシャルが過小に評価され、対策ケースの排出量が課題に見積もられる可能性がある。</p> <p>(注)2050年等の長期を予測する際には、CCS等将来期待できる画期的技術も考慮しているが、花岡(2008)では2020年と比較的近未来であったため既存技術のみを対象としている。</p> <p>技術固定ケースを基準としているため、分析対象年に基準となる排出量やその基準に対する削減ポテンシャルは過大に評価されている可能性がある。</p> <p>企業レベルの分析を行うことは不可能。</p>

表 1 本研究と花岡(2008)との差異

<sup>78</sup>技術レベルでの売上高や付加価値を把握している企業は稀と考えられるが、部門やプラントレベルでの数値を把握している企業は存在していると考えられるため、部門やプラント毎のShadow priceを算出することの実現可能性は高い。



## Appendix D 参考文献

- Akimoto, K., Sano, F., Homma, T., Oda, J., Nagashima, M., Kii, M. (2010). Estimates of GHG emission reduction potential by country, sector, and cost. *Energy Policy* 38: 3384-3393
- Aigner, D.J. and Chu, S.F. (1968). On estimating the industry production function. *American Economic Review* 58: 826-836.
- Barker, T., I. Bashmakov, A. Alharthi, M. Amann, L. Cifuentes, J. Drexhage, M. Duan, O. Edenhofer, B. Flannery, M. Grubb, M. Hoogwijk, F. I. Ibitoye, C. J. Jepma, W.A. Pizer, K. Yamaji, 2007: Mitigation from a cross-sectoral perspective. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Boyd G., Molburg J. C. and Prince R. (1996). Alternative methods of marginal abatement cost estimation: Nonparametric distance functions. *Proceedings of the USAEE/IAEE 17th Conference*: 86-95.
- Chambers R.G., Chung Y.H. and Färe R. (1998). Profit, directional distance functions, and nerlovian efficiency. *Journal of Optimization Theory and Applications* 98(2): 351-364.
- Charnes, A., Cooper, C.C. and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2(6): 429-444.
- 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.
- Chung YH, Färe R. and Grosskopf S. (1997). Productivity and undesirable output: A directional distance function approach. *Journal of Environmental Management* 51: 229-240.
- Färe, R., Grosskopf, S. and Weber, W.L. (2006). Shadow prices and pollution costs in U.S. agriculture. *Ecological Economics*, 56: 89-103.
- Färe, R., Martins-Filho, C. and Vardanyan, M. (2010). On functional form representation of multi-output production technologies. *Journal of Productivity Analysis*, 33: 81-96.
- Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of Royal Statistical Society* 120(3): 253-290.
- Fisher, B.S., N. Nakicenovic, K. Alfsen, J. Corfee Morlot, F. de la Chesnaye, J.-Ch. Hourcade, K. Jiang, M. Kainuma, E. La Rovere, A. Matysek, A. Rana, K. Riahi, R. Richels, S. Rose, D. van Vuuren, R. Warren, 2007: Issues related to mitigation in the long term context, In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge
- Jorgenson, D.W. and Griliches, Z. (1967). The explanation of productivity change. *Review of Economic Studies* 34: 249-283.
- Kumar, S. and S. Managi. (2010). Sulfur dioxide allowances: Trading and technological progress." *Ecological Economics*, 69, 623-631.
- Kumar, S. and S. Managi. (2011). Non-Separability and Substitutability among Water Pollutants: Evidence from India. *Environment and Development Economics*, 16(6), 709-733.
- Lee, J.D., Park, J.B. and Kim, T.Y. (2002). Estimation of the shadow prices of pollutants with production/environment inefficiency taken into account: A nonparametric directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, 64, 365-375.
- Lee, M. (2011). Potential cost savings from internal/external CO<sub>2</sub> emissions trading in the Korean electric power industry. *Energy Policy*, 39(10), 6162-6167.
- Luenberger, D. G. (1992). Benefit function and duality. *Journal of Mathematical Economics* 21: 461-481.
- Managi, S. (2008). "Technological Change and Environmental Policy: A Study of Depletion in the Oil and Gas Industry." Edward Elgar Publishing Ltd, Cheltenham, UK.
- Managi, S. (2011). "Technology, Natural Resources and Economic Growth: Improving the Environment for a Greener Future." Edward Elgar Publishing Ltd, Cheltenham, UK.

- Maradan, D. and Vassiliev, A. (2005). Marginal costs of carbon dioxide abatement: Empirical evidence from cross-country analysis. *Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik* 141(3): 377-410.
- Matsushita, K. and Yamane, F. (2011). Pollution from the electric power sector in Japan and efficient pollution reduction. *Energy Economics*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2011.09.011>.
- Nakano, M. and Managi, S. (2007). Regulatory reforms and productivity: An empirical analysis of the Japanese electricity industry. *Energy Policy* 38(2008): 201-209.
- Nakano, M. and Managi, S. (2010). The Productivity Analysis with CO<sub>2</sub> Emissions in Japan. *Pacific Economic Review* 15(5): 708-718.
- Pandey, M. and Dong, X.Y. (2009). Manufacturing productivity in China and India: The role of institutional changes. *China Economic Review* 20: 754-766.
- Park, H. and Lim, J. (2009). Valuation of marginal CO<sub>2</sub> abatement options for electric power plants in Korea. *Energy Policy*, 37,1834-1841.
- Solow, R.M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*, 39, 312- 320.
- 秋元圭吾(2010). 『排出削減に関するコスト面からの分析』  
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100913bj08.pdf>
- 石鍋渚(2010). 『トップ証券アナリストが説く日本の産業と環境：鉄鋼・非鉄、エネルギー、化学、自動車、紙パ・ガラス、太陽電池・半導体、家電、不動産、建設、運輸、IT.』地球環境戦略研究機関  
[http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/2925/attach/iges\\_ishinabe\\_summary\\_201010.pdf](http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/2925/attach/iges_ishinabe_summary_201010.pdf)
- 環境省(2012) 『国内排出量取引制度について』  
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/det/capandtrade/about1003.pdf>
- 財務省 『日本の財政関係資料』 [http://www.mof.go.jp/budget/fiscal\\_condition/related\\_data/](http://www.mof.go.jp/budget/fiscal_condition/related_data/)
- 地球環境産業技術研究機構(2009). 『世界各国の中期目標の分析』地球環境産業技術研究機構  
[http://www.rite.or.jp/Japanese/labosysken/about-global-warming/download-data/Comparison\\_midtermtarget.pdf](http://www.rite.or.jp/Japanese/labosysken/about-global-warming/download-data/Comparison_midtermtarget.pdf)
- 花岡達也, 明石修, 日比野剛, 長谷川知子, 藤野純一, 松岡譲, 甲斐沼美紀子 (2008). 『世界地域別の温室効果ガス排出削減量と削減費用の評価』, エネルギー・資源学会論文誌 29(4): 36-42.
- 藤井秀道、金子慎治 (2008). 『中国鉄鋼業の二酸化炭素排出削減戦略-限界削減費用を考慮した地域別最適戦略-』, 環境システム研究論文集 36: 59-67.
- 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CO<sub>2</sub>排出量を考慮した生産性分析』, 環境情報科学論文集 24: 457-462.
- 藤井秀道、金子慎治、金原達夫、馬奈木俊介(2006) 『CO<sub>2</sub> 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 34: 175-181.
- 松野裕, 植田和弘 (1995). 『公健法賦課金制度の経済分析』, 経済セミナー 486: 115-123, 日本評論社.
- 諸富徹 『排出量取引制度におけるオークション方式の検討』  
<http://www.jbaudit.go.jp/effort/study/mag/pdf/j41d06.pdf>
- 山口敦(2008). 『鉄鋼』 日本経済新聞社

# Appendix E Trucost 464 業種

---

1. Oilseed farming
2. Grain farming
3. Vegetable and melon farming
4. Fruit farming
5. Tree nut farming
6. Greenhouse, nursery, and floriculture production
7. Tobacco farming
8. Cotton farming
9. Sugarcane and sugar beet farming
10. All other crop farming
11. Cattle ranching and farming
12. Dairy cattle and milk production
13. Animal production, except cattle and poultry and eggs
14. Poultry and egg production
15. Forest nurseries, forest products, and timber tracts
16. Logging
17. Fishing
18. Hunting and trapping
19. Support activities for agriculture and forestry
20. Crude Petroleum and Natural Gas Extraction
21. Tar Sands Extraction
22. Natural Gas Liquid Extraction
23. Bituminous Coal and Lignite Surface Mining
24. Bituminous Coal Underground Mining
25. Iron ore mining
26. Bauxite Mining
27. Gold Ore Mining
28. Other Metal Ore Mining
29. Copper Mining
30. Nickel Mining
31. Lead Ore and Zinc Ore Mining
32. Uranium-Radium-Vanadium Ore Mining
33. Stone mining and quarrying
34. Sand, gravel, clay, and ceramic and refractory minerals mining and quarrying
35. Other nonmetallic mineral mining and quarrying
36. Drilling oil and gas wells
37. Support activities for oil and gas operations
38. Support activities for other mining
39. Hydroelectric Power Generation
40. Coal Power Generation
41. Natural Gas Power Generation
42. Petroleum Power Generation
43. Nuclear Electric Power Generation
44. Solar Power Generation
45. Wind Power Generation
46. Geothermal Power Generation
47. Wave & Tidal Power Generation
48. Biomass Power Generation
49. Landfill Gas Power Generation
50. Other Electric Power Generation
51. Electric Power Distribution
52. Electric Bulk Power Transmission and Control
53. Natural gas distribution
54. Water, sewage and other systems
55. Nonresidential commercial and health care structures
56. Nonresidential manufacturing structures
57. Other nonresidential structures
58. Residential permanent site single- and multi-family structures
59. Other residential structures
60. Nonresidential maintenance and repair
61. Residential maintenance and repair
62. Dog and cat food manufacturing
63. Other animal food manufacturing
64. Flour milling and malt manufacturing
65. Wet corn milling
66. Soybean and other oilseed processing
67. Fats and oils refining and blending
68. Breakfast cereal manufacturing
69. Sugar cane mills and refining
70. Beet sugar manufacturing
71. Chocolate and confectionery manufacturing from cacao beans
72. Confectionery manufacturing from purchased chocolate
73. Nonchocolate confectionery manufacturing
74. Frozen food manufacturing
75. Fruit and vegetable canning, pickling, and drying
76. Fluid milk and butter manufacturing
77. Cheese manufacturing
78. Dry, condensed, and evaporated dairy product manufacturing
79. Ice cream and frozen dessert manufacturing
80. Animal (except poultry) slaughtering, rendering, and processing
81. Poultry processing
82. Seafood product preparation and packaging
83. Bread and bakery product manufacturing
84. Cookie, cracker, and pasta manufacturing
85. Tortilla manufacturing
86. Snack food manufacturing
87. Coffee and tea manufacturing
88. Flavoring syrup and concentrate manufacturing
89. Seasoning and dressing manufacturing
90. All other food manufacturing
91. Soft drink and ice manufacturing
92. Breweries
93. Wineries
94. Distilleries
95. Tobacco product manufacturing
96. Fiber, yarn, and thread mills
97. Broadwoven fabric mills
98. Narrow fabric mills and schiffli machine embroidery
99. Nonwoven fabric mills
100. Knit fabric mills
101. Textile and fabric finishing mills
102. Fabric coating mills
103. Carpet and rug mills
104. Curtain and linen mills
105. Textile bag and canvas mills
106. All other textile product mills
107. Apparel knitting mills
108. Cut and sew apparel contractors
109. Men's and boys' cut and sew apparel manufacturing
110. Women's and girls' cut and sew apparel manufacturing
111. Other cut and sew apparel manufacturing
112. Apparel accessories and other apparel manufacturing
113. Leather and hide tanning and finishing
114. Footwear manufacturing

115. Other leather and allied product manufacturing
116. Sawmills and wood preservation
117. Veneer and plywood manufacturing
118. Engineered wood member and truss manufacturing
119. Reconstituted wood product manufacturing
120. Wood windows and doors and millwork
121. Wood container and pallet manufacturing
122. Manufactured home (mobile home) manufacturing
123. Prefabricated wood building manufacturing
124. All other miscellaneous wood product manufacturing
125. Pulp mills
126. Paper mills
127. Paperboard Mills
128. Paperboard container manufacturing
129. Coated and laminated paper, packaging paper and plastics film manufacturing
130. All other paper bag and coated and treated paper manufacturing
131. Stationery product manufacturing
132. Sanitary paper product manufacturing
133. All other converted paper product manufacturing
134. Printing
135. Support activities for printing
136. Petroleum refineries
137. Asphalt paving mixture and block manufacturing
138. Asphalt shingle and coating materials manufacturing
139. Petroleum lubricating oil and grease manufacturing
140. All other petroleum and coal products manufacturing
141. Petrochemical manufacturing
142. Industrial gas manufacturing
143. Synthetic dye and pigment manufacturing
144. Alkalies and chlorine manufacturing
145. Carbon black manufacturing
146. All other basic inorganic chemical manufacturing
147. Other basic organic chemical manufacturing
148. Plastics material and resin manufacturing
149. Synthetic rubber manufacturing
150. Artificial and synthetic fibers and filaments manufacturing
151. Fertilizer manufacturing
152. Pesticide and other agricultural chemical manufacturing
153. Medicinal and botanical manufacturing
154. Pharmaceutical preparation manufacturing
155. In-vitro diagnostic substance manufacturing
156. Biological product (except diagnostic) manufacturing
157. Paint and coating manufacturing
158. Adhesive manufacturing
159. Soap and cleaning compound manufacturing
160. Toilet preparation manufacturing
161. Printing ink manufacturing
162. All other chemical product and preparation manufacturing
163. Plastics packaging materials and unlaminated film and sheet manufacturing
164. Unlaminated plastics profile shape manufacturing
165. Plastics pipe and pipe fitting manufacturing
166. Laminated plastics plate, sheet (except packaging), and shape manufacturing
167. Polystyrene foam product manufacturing
168. Urethane and other foam product (except polystyrene) manufacturing
169. Plastics bottle manufacturing
170. Other plastics product manufacturing
171. Tire manufacturing
172. Rubber and plastics hoses and belting manufacturing
173. Other rubber product manufacturing
174. Pottery, ceramics, and plumbing fixture manufacturing
175. Brick, tile, and other structural clay product manufacturing
176. Clay and nonclay refractory manufacturing
177. Flat glass manufacturing
178. Other pressed and blown glass and glassware manufacturing
179. Glass container manufacturing
180. Glass product manufacturing made of purchased glass
181. Cement manufacturing
182. Ready-mix concrete manufacturing
183. Concrete pipe, brick, and block manufacturing
184. Other concrete product manufacturing
185. Lime and gypsum product manufacturing
186. Abrasive product manufacturing
187. Cut stone and stone product manufacturing
188. Ground or treated mineral and earth manufacturing
189. Mineral wool manufacturing
190. Miscellaneous nonmetallic mineral products
191. Iron and steel mills and ferroalloy manufacturing
192. Steel product manufacturing from purchased steel
193. Alumina refining and primary aluminum production
194. Secondary smelting and alloying of aluminum
195. Aluminum product manufacturing from purchased aluminum
196. Primary smelting and refining of copper
197. Primary smelting and refining of nonferrous metal (except copper and aluminum)
198. Copper rolling, drawing, extruding and alloying
199. Nonferrous metal (except copper and aluminum) rolling, drawing, extruding and alloying
200. Ferrous metal foundries
201. Nonferrous metal foundries
202. All other forging, stamping, and sintering
203. Custom roll forming
204. Crown and closure manufacturing and metal stamping
205. Cutlery, utensil, pot, and pan manufacturing
206. Handtool manufacturing
207. Plate work and fabricated structural product manufacturing
208. Ornamental and architectural metal products manufacturing
209. Power boiler and heat exchanger manufacturing
210. Metal tank (heavy gauge) manufacturing
211. Metal can, box, and other metal container (light gauge) manufacturing
212. Ammunition manufacturing
213. Arms, ordnance, and accessories manufacturing
214. Hardware manufacturing
215. Spring and wire product manufacturing
216. Machine shops
217. Turned product and screw, nut, and bolt manufacturing
218. Coating, engraving, heat treating and allied activities
219. Valve and fittings other than plumbing
220. Plumbing fixture fitting and trim manufacturing
221. Ball and roller bearing manufacturing
222. Fabricated pipe and pipe fitting manufacturing
223. Other fabricated metal manufacturing
224. Farm machinery and equipment manufacturing
225. Lawn and garden equipment manufacturing
226. Construction machinery manufacturing
227. Mining and oil and gas field machinery manufacturing
228. Other industrial machinery manufacturing
229. Plastics and rubber industry machinery manufacturing
230. Semiconductor machinery manufacturing
231. Vending, commercial, industrial, and office machinery manufacturing

232. Optical instrument and lens manufacturing  
233. Photographic and photocopying equipment manufacturing  
234. Other commercial and service industry machinery manufacturing  
235. Air purification and ventilation equipment manufacturing  
236. Heating equipment (except warm air furnaces) manufacturing  
237. Air conditioning, refrigeration, and warm air heating equipment manufacturing  
238. Industrial mold manufacturing  
239. Metal cutting and forming machine tool manufacturing  
240. Special tool, die, jig, and fixture manufacturing  
241. Cutting tool and machine tool accessory manufacturing  
242. Rolling mill and other metalworking machinery manufacturing  
243. Turbine and turbine generator set units manufacturing  
244. Speed changer, industrial high-speed drive, and gear manufacturing  
245. Mechanical power transmission equipment manufacturing  
246. Other engine equipment manufacturing  
247. Pump and pumping equipment manufacturing  
248. Air and gas compressor manufacturing  
249. Material handling equipment manufacturing  
250. Power-driven handtool manufacturing  
251. Other general purpose machinery manufacturing  
252. Packaging machinery manufacturing  
253. Industrial process furnace and oven manufacturing  
254. Fluid power process machinery  
255. Electronic computer manufacturing  
256. Computer storage device manufacturing  
257. Computer terminals and other computer peripheral equipment manufacturing  
258. Telephone apparatus manufacturing  
259. Broadcast and wireless communications equipment  
260. Other communications equipment manufacturing  
261. Audio and video equipment manufacturing  
262. Electron tube manufacturing  
263. Bare printed circuit board manufacturing  
264. Semiconductor and related device manufacturing  
265. Electronic capacitor, resistor, coil, transformer, and other inductor manufacturing  
266. Electronic connector manufacturing  
267. Printed circuit assembly (electronic assembly) manufacturing  
268. Other electronic component manufacturing  
269. Electromedical and electrotherapeutic apparatus manufacturing  
270. Search, detection, and navigation instruments manufacturing  
271. Automatic environmental control manufacturing  
272. Industrial process variable instruments manufacturing  
273. Totalizing fluid meters and counting devices manufacturing  
274. Electricity and signal testing instruments manufacturing  
275. Analytical laboratory instrument manufacturing  
276. Irradiation apparatus manufacturing  
277. Watch, clock, and other measuring and controlling device manufacturing  
278. Software, audio, and video media reproducing  
279. Magnetic and optical recording media manufacturing  
280. Electric lamp bulb and part manufacturing  
281. Lighting fixture manufacturing  
282. Small electrical appliance manufacturing  
283. Household cooking appliance manufacturing  
284. Household refrigerator and home freezer manufacturing  
285. Household laundry equipment manufacturing  
286. Other major household appliance manufacturing  
287. Power, distribution, and specialty transformer manufacturing  
288. Motor and generator manufacturing  
289. Switchgear and switchboard apparatus manufacturing  
290. Relay and industrial control manufacturing  
291. Storage battery manufacturing  
292. Primary battery manufacturing  
293. Communication and energy wire and cable manufacturing  
294. Wiring device manufacturing  
295. Carbon and graphite product manufacturing  
296. All other miscellaneous electrical equipment and component manufacturing  
297. Automobile manufacturing  
298. Light truck and utility vehicle manufacturing  
299. Heavy duty truck manufacturing  
300. Motor vehicle body manufacturing  
301. Truck trailer manufacturing  
302. Motor home manufacturing  
303. Travel trailer and camper manufacturing  
304. Motor vehicle parts manufacturing  
305. Aircraft manufacturing  
306. Aircraft engine and engine parts manufacturing  
307. Other aircraft parts and auxiliary equipment manufacturing  
308. Guided missile and space vehicle manufacturing  
309. Propulsion units and parts for space vehicles and guided missiles  
310. Railroad rolling stock manufacturing  
311. Ship building and repairing  
312. Boat building  
313. Motorcycle, bicycle, and parts manufacturing  
314. Military armored vehicle, tank, and tank component manufacturing  
315. All other transportation equipment manufacturing  
316. Wood kitchen cabinet and countertop manufacturing  
317. Upholstered household furniture manufacturing  
318. Nonupholstered wood household furniture manufacturing  
319. Metal and other household furniture manufacturing  
320. Institutional furniture manufacturing  
321. Office furniture manufacturing  
322. Custom architectural woodwork and millwork manufacturing  
323. Showcase, partition, shelving, and locker manufacturing  
324. Mattress manufacturing  
325. Blind and shade manufacturing  
326. Laboratory apparatus and furniture manufacturing  
327. Surgical and medical instrument manufacturing  
328. Surgical appliance and supplies manufacturing  
329. Dental equipment and supplies manufacturing  
330. Ophthalmic goods manufacturing  
331. Dental laboratories  
332. Jewelry and silverware manufacturing  
333. Sporting and athletic goods manufacturing  
334. Doll, toy, and game manufacturing  
335. Office supplies (except paper) manufacturing  
336. Sign manufacturing  
337. Gasket, packing, and sealing device manufacturing  
338. Musical instrument manufacturing  
339. All other miscellaneous manufacturing

- 340. Broom, brush, and mop manufacturing
- 341. Grocery and Related Product Wholesalers
- 342. Electrical and Electronic Goods Wholesalers
- 343. Apparel, Piece Goods, and Notions Wholesalers
- 344. Lumber and Other Construction Materials Wholesalers
- 345. Petroleum, Chemical, and Allied Products Wholesalers
- 346. Motor Vehicle and Machinery, Equipment, and Supplies Wholesalers
- 347. Miscellaneous Durable Goods Wholesalers
- 348. Miscellaneous Nondurable Goods Wholesalers
- 349. Motor Vehicle and Parts Dealers
- 350. Furniture and Home Furnishings Stores
- 351. Electronics and Appliance Stores
- 352. Building Material and Garden Equipment and Supplies Dealers
- 353. Food, Beverage, Health, and Personal Care Stores
- 354. Gasoline Stations
- 355. Clothing and Clothing Accessories Stores
- 356. General Merchandise Stores
- 357. Miscellaneous Store Retailers
- 358. Nonstore Retailers
- 359. Air transportation
- 360. Rail transportation (Electric)
- 361. Rail transportation (Diesel)
- 362. Water transportation
- 363. Truck transportation
- 364. Transit and ground passenger transportation
- 365. Pipeline transportation
- 366. Support activities for transportation
- 367. Couriers and messengers
- 368. Warehousing and storage
- 369. Newspaper publishers
- 370. Periodical publishers
- 371. Book publishers
- 372. Directory, mailing list, and other publishers
- 373. Software publishers
- 374. Motion picture and video industries
- 375. Sound recording industries
- 376. Radio and television broadcasting
- 377. Cable and other subscription programming
- 378. Internet publishing and broadcasting
- 379. Telecommunications
- 380. Internet service providers and web search portals
- 381. Data processing, hosting, and related services
- 382. Other information services
- 383. Monetary authorities and depository credit intermediation
- 384. Nondepository credit intermediation and related activities
- 385. Securities, commodity contracts, investments, and related activities
- 386. Insurance carriers
- 387. Insurance agencies, brokerages, and related activities
- 388. Funds, trusts, and other financial vehicles
- 389. Real estate
- 390. Owner-occupied dwellings
- 391. Automotive equipment rental and leasing
- 392. General and consumer goods rental except video tapes and discs
- 393. Video tape and disc rental
- 394. Commercial and industrial machinery and equipment rental and leasing
- 395. Lessors of nonfinancial intangible assets
- 396. Legal services
- 397. Accounting, tax preparation, bookkeeping, and payroll services
- 398. Architectural, engineering, and related services
- 399. Specialized design services
- 400. Custom computer programming services
- 401. Computer systems design services
- 402. Other computer related services, including facilities management
- 403. Management, scientific, and technical consulting services
- 404. Environmental and other technical consulting services
- 405. Scientific research and development services
- 406. Advertising and related services
- 407. All other miscellaneous professional, scientific, and technical services
- 408. Photographic services
- 409. Veterinary services
- 410. Management of companies and enterprises
- 411. Office administrative services
- 412. Facilities support services
- 413. Business support services
- 414. Investigation and security services
- 415. Services to buildings and dwellings
- 416. Other support services
- 417. Employment services
- 418. Travel arrangement and reservation services
- 419. Waste management and remediation services
- 420. Elementary and secondary schools
- 421. Junior colleges, colleges, universities, and professional schools
- 422. Other educational services
- 423. Offices of physicians, dentists, and other health practitioners
- 424. Medical and diagnostic labs and outpatient and other ambulatory care services
- 425. Home health care services
- 426. Hospitals
- 427. Nursing and residential care facilities
- 428. Individual and family services
- 429. Community food, housing, and other relief services, including rehabilitation services
- 430. Child day care services
- 431. Performing arts companies
- 432. Spectator sports
- 433. Promoters of performing arts and sports and agents for public figures
- 434. Independent artists, writers, and performers
- 435. Museums, historical sites, zoos, and parks
- 436. Amusement parks, arcades, and gambling industries
- 437. Other amusement and recreation industries
- 438. Fitness and recreational sports centers
- 439. Bowling centers
- 440. Hotels and motels, including casino hotels
- 441. Other accommodations
- 442. Food services and drinking places
- 443. Automotive repair and maintenance, except car washes
- 444. Car washes
- 445. Electronic and precision equipment repair and maintenance
- 446. Commercial and industrial machinery and equipment repair and maintenance
- 447. Personal and household goods repair and maintenance
- 448. Personal care services
- 449. Death care services
- 450. Dry-cleaning and laundry services
- 451. Other personal services
- 452. Religious organizations
- 453. Grantmaking, giving, and social advocacy organizations
- 454. Civic, social, professional, and similar organizations

- 455. Private households
- 456. Postal service
- 457. Federal electric utilities
- 458. Other Federal Government enterprises
- 459. State and local government passenger transit
- 460. State and local government electric utilities
- 461. Other state and local government enterprises
- 462. General Federal defense government services
- 463. General Federal nondefense government services
- 464. General state and local government services

## 著者紹介

### 石鍋渚 (いしなべ なぎさ)

地球環境戦略研究機関気候変動グループ研究員

コーネル大学ホテル経営学部(BS)卒業、コーネル大学公共政策大学院(MPA)修了。UBS証券会社投資銀行本部アナリスト、国連開発計画スリランカ事務所環境・エネルギーチーム・コンサルタントを経て、2009年より現職。

主著:「トップ証券アナリストが説く日本の産業と環境:鉄鋼・非鉄、エネルギー、化学、自動車、紙パ・ガラス、太陽電池・半導体、家電、不動産、建設、運輸、IT」(地球環境戦略研究機関、2010年)、「グリーン共同購入パートナーシップ」による低炭素機器・次世代自動車普及戦略の提案:日本のマイナス25%目標達成とアジアでの低炭素型発展を目指して」(地球環境戦略研究機関、2010年)

### 藤井秀道(ふじい ひでみち)

東北大学大学院環境科学研究科 日本学術振興会特別研究員(PD)

広島大学理学部数学科卒業、広島大学大学院国際協力研究科修士課程修了、広島大学大学院国際協力研究科博士課程修了。テキサス大学オースティン校 IC2 institute 客員研究員などを経て、2010年より現職。

主著:「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」(共著、環境情報科学論文集、2010年)、「Changes in environmentally sensitive productivity and technological modernization in China's iron and steel industry in the 1990s」 Environment and Development Economics, vol.15, pp.485-504,2010, Cambridge University Press

### 馬奈木俊介(まなぎ しゅんすけ)

地球環境戦略研究機関 フェロー

東北大学大学院環境科学研究科准教授

九州大学工学部飛び級中退、九州大学大学院工学研究科修士修了、米国ロードアイランド大学大学院博士課程(PhD)修了。サウスカロライナ州立大学ビジネススクール講師、東京農工大学大学院助教授、横浜国立大学経営学部准教授などを経て、2010年より現職。

主著:「環境経営の経済分析」(中央経済社、2010年)、馬奈木俊介「環境政策とビジネス—環境経営学入門—」(共著、昭和堂、2011年)、「Does Trade Openness Improve Environmental Quality?」 Journal of Environmental Economics and Management 58 (3): 346-363.、「Decomposition of the Environmental Kuznets Curve: Scale, Technique, and Composition Effects」, Environmental Economics and Policy Studies 11 (1): 19-36.



本研究は、環境省「平成 23 年度排出量取引制度等の炭素制約及び国際競争力への影響に係る調査検討事業」委託事業費(期間 2011 年 8 月—2012 年 3 月)の支援を得て実施されました。

本稿の内容は、著者の見解であり、IGES または環境省の見解を述べたものではありません。また内容の正確さには万全を期していますが、筆者や IGES は、本稿の利用により被った損害・損失に対していかなる場合でも、一切の責任を負いません。本稿に関するご意見等は、cc-info@iges.or.jp まで、ご連絡下さい。また本稿は、IGES ウェブサイトよりダウンロード可能です。

