

PRTRデータとCO₂排出量による環境効率の計測 - 国内自動車製造企業の実証分析 -

藤井 秀道¹・金子 慎治²・川原 博満³・金原 達夫⁴

¹学生会員 広島大学大学院 国際協力研究科開発科学専攻 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: hidemichi-fujii@hiroshima-u.ac.jp

²正会員 広島大学大学院准教授 国際協力研究科 (同上)
E-mail: kshinji@hiroshima-u.ac.jp

³正会員 神奈川県環境科学センター (〒254-0014 神奈川県平塚市四之宮1-3-39)
E-mail: kawahara@k-erc.pref.kanagawa.jp

⁴非会員 広島大学大学院教授 国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: t-kimbara@hiroshima-u.ac.jp

本研究では複数の投入と複数の産出の間の包括的効率性を評価することが可能であるData Envelopment Analysis (DEA)とInverted DEAを用いたフロンティア生産性分析による環境効率評価方法を提案する。この分析方法を用いることで、非効率な企業にとっての最適戦略や目標とする企業を特定することが可能となる。実証分析として、日本の自動車製造業11社を対象にPRTR対象物質排出量とCO₂排出量を用いた統合環境効率の評価を2001年から2005年の期間で行った。その結果、自動車製造業の効率性は年々改善しており、統合環境効率を改善するためにはCO₂排出量の削減を重視することが効果的であることが分かった。

Key Words: data envelopment analysis, inverted DEA, eco-efficiency, PRTR, CO₂ emission

1. 背景と目的

企業の環境パフォーマンスを測る代表的な指標として、WBCSDが提唱する環境効率(eco-efficiency)がある¹⁾²⁾。環境効率とは「より少ない資源利用や環境汚染物質の排出で、より多くの財とサービスを創造すること」を念頭に計測される効率性指標である。具体的には資源投入量一単位当たりの生産量や、環境汚染物質の排出量一単位当たりの生産量で与えられ、環境効率が上昇することは資源生産性や環境汚染防止技術の向上を意味する。この環境効率を上昇させることが出来れば、生産量を減らすことなく資源消費量や環境汚染物質排出量を減らすことが可能となるため、環境効率は環境と経済を両立するための重要な指標であると考えられている。

現在多くの企業の環境報告書で、環境効率を積極的な企業努力の成果を社外に対して分かりやすく伝えるツールとして用いている。消費者や株主にも理解しやすい指標を用いることで、企業は目標に向けて実際に行動を起こし、具体的な環境負荷低減の成果を示す必要がある。従って環境効率を用いることにより、実践をともなう目標管理を実現することが期待できる。しかし、これら環

境効率の測定方法には次のような問題点が存在する。

Livio-DeSimone(1997)³⁾によれば「環境効率を用いる上での問題点は、ひとつの環境パラメータの改善により、別の環境パラメータの悪化が見逃される危険性がある。この問題は、主要パラメータのすべてをカバーする広範な個別測定値を用いることによって緩和できるが、専門家でない人々は詳細な情報を把握することが難しいため、環境影響と財・サービスの生産とを関連つける単一の測定値が求められる」とある。金原・金子(2005)⁴⁾は「特定の指標の環境効率が高いからといって、それが社会として環境負荷を削減し環境効率を高めるとは限らない。ひとつの指標の改善が他の指標を悪化させる危険があることにも注意しなければならない」と指摘している。

これに対し、多様な環境への影響をより包括的に評価するための統合化指標として、国内ではJEPIX⁵⁾やLIME⁶⁾、海外ではエコ・ポイント⁷⁾やエコ・インディケーター⁸⁾などが提案されている。これらの方法は地球温暖化、大気汚染、水質汚染、土壌汚染などによる環境への影響を重みづけし、総合的な環境影響度を単一指標で評価する方法である。利点としては、見る側にとって分かりやすく、企業間の比較が容易であるという利点がある。一方で、

得られる統合指標はウェイトの決定方法によって変化するため、地球温暖化や発がん性など影響の次元が異なる指標に対して、どのように重み付けするかが問題となる。

このような背景から、本研究では複数の投入と複数の産出の間の包括的効率性を評価することが可能である Data Envelopment Analysis (DEA) の可変ウェイトに着目した環境効率評価方法を提案する。DEA では各企業が効率性を最大化するために最も都合の良いようにウェイトを決定することができるため、ウェイトが一意に確定できない場合に効率性評価の平等性を保つ意味がある。また得られた分析結果から、各企業の相対的な優位性などを考察することも可能である。

本研究では実証研究として製造業の中で最も大量の PRTR 対象物質(移動量を除く)を排出しており(図-1)、また、CO₂ 排出量データを集めるのが比較的容易であった自動車製造企業を対象に分析を行った。本研究ではより包括的な環境効率評価手法へと拡張可能な分析フレームを用いるが、企業の環境報告書などから得られるデータに制約があるため、事例として CO₂ 排出量、PRTR 対象物質排出による人の健康への影響と生態系への影響の、3 次元での環境効率評価を行う。以下本論文ではこの 3 次元をすべて考慮した全体の環境効率を統合環境効率と呼ぶ。具体的には次の 3 点について明らかにする。

1. 国内自動車製造業の CO₂ 排出と PRTR 対象物質排出という複数指標を考慮した統合環境効率の評価を行い、取り組みが先進的な企業と非効率な企業を明らかにする。
2. 各企業が CO₂ 排出量、PRTR 対象物質排出量の人の健康への影響、生態系への影響の 3 つの中で、相対的にどの指標に優位性を持っているか、さらにはどのような環境経営戦略をとることが、統合環境効率改善のために最適かを明らかにする。
3. 時系列分析を行い、環境効率の分布がどのように変化していったかを明確にし、今後どのような政策をとることが自動車製造業全体の統合環境効率を上昇させるために効果的であるかを提言する。

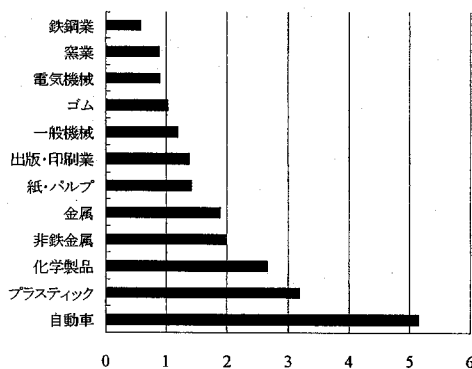


図-1 2005年度の製造業のPRTR対象物質排出量(万トン/年)⁹⁾

2. 分析方法

(1) Data Envelopment Analysis (DEA)

DEA は Farell のフロンティア効率の考え方をノンパラメトリック分析に応用したもので Charnes and Cooper¹⁰⁾らにより確立された手法である。生産性分析におけるフロンティア効率とは、生産可能集合において効率的生産を実現しているフロンティア生産集合と非効率生産集合との間で計測される相対的な非効率性をいう。DEA は複数の投入・産出要素を同時に扱うことが可能であり、これらの総合的な効率性を評価可能である点が特徴である。

今 N 個の企業からなる生産可能集合が P 種類の投入財によって Q 種類の財を産出する生産活動をしているとする。このとき、 k 番目の企業の生産可能集合に対する効率性 β_k ($0 \leq \beta_k \leq 1$) は以下の式(1)~(3)で表される。もし β_k が 1 であれば、 k 番目の企業は効率的でありフロンティアライン上に位置する。逆に 1 より小さい場合には $1 - \beta_k$ 分だけ非効率である。フロンティアラインとは、効率的と評価された企業によって規定される曲線を指す。

目的関数

$$\text{Max. } \beta_k = \sum_{q=1}^Q u_q y_{q,k} / \sum_{p=1}^P v_p x_{p,k} \quad (1)$$

制約式

$$\sum_{q=1}^Q u_q y_{q,i} / \sum_{p=1}^P v_p x_{p,i} \leq 1 \quad (2)$$

$$v_p \geq 0, u_q \geq 0, i = 1, 2, \dots, k, \dots, N \quad (3)$$

$x_{p,i}$ は $N \times P$ の投入データ行列 X の p 行 i 列番目の要素であり、 $y_{q,i}$ は $N \times Q$ の投入データ行列 Y の q 行 i 列番目の要素である。 u は投入データの変数ウェイト、 v は産出データの変数ウェイトである。この変数ウェイト u 、 v は各企業の効率性を最大化するように決定され、企業ごとに値が違ってよいとしている。効率性 β は可変ウェイトとデータの積(以下、ウェイト負荷データと呼ぶ)の比率尺度によって決定される。この分数計画問題は次の線形計画問題へと変形することが可能である。

目的関数

$$\text{Max. } \beta_k = \sum_{q=1}^Q u_q y_{q,k} \quad (4)$$

制約式

$$\sum_{p=1}^P v_p x_{p,k} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{q=1}^Q u_q y_{q,i} \leq \sum_{p=1}^P v_p x_{p,i} \quad (6)$$

$$v_p \geq 0, u_q \geq 0, i = 1, 2, \dots, k, \dots, N \quad (7)$$

この分数計画問題と線形計画問題が同義であることは Charnes and Cooper¹⁰⁾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。

目的関数

$$\text{Min. } \beta_k \quad (8)$$

制約式

$$\sum_{i=1}^N x_{p,i} \lambda_i \leq \beta_k x_{p,k} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N y_{q,i} \lambda_i \geq y_{q,k} \quad (10)$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, k, \dots, N) \quad (11)$$

λ は非効率な各企業が参照するフロンティアライン上の点を一意に決定するパラメータである。制約式の左辺はフロンティアラインを表しており、右辺は評価対象となるデータセットを用いる。このモデルでは各企業がフロンティアラインに対して、産出財 y を変化させずに投入財 x をどこまで削減できるかを測定しており、削減可能分は $1 - \beta$ で表される。この β が1未満のときは評価対象の企業には削減可能な余剰投入財が残っているため、非効率とみなされる。

(2) Inverted Data Envelopment Analysis (IDEA)

DEAは最も効率的な企業群で規定されるフロンティアラインを基準に効率性の評価を行う手法であるが、最も非効率な企業群で規定されるボトムラインを基準に効率性の評価を行う Inverted DEA という方法が提案されている^{11,12)}。IDEAの計算式は、DEAの計算式から不等号の向きと β の乗ずる場所を変えている。IDEAを解くことによって、どの企業が分析対象内で最も非効率かを評価することが可能である。計算式は下記で定義される。

目的関数

$$\text{Min. } \beta_k \quad (12)$$

制約式

$$\sum_{i=1}^N x_{p,i} \lambda_i \geq x_{p,k} \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^N y_{q,i} \lambda_i \leq \beta_k y_{q,k} \quad (14)$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, k, \dots, N) \quad (15)$$

IDEAでは各企業がボトムラインに対して、投入財 x を変化させずに産出財 y をどこまで削減できるかを測定しており、この β が1のときは評価対象の企業は最も非効率な企業と評価される。IDEAの特徴は、非効率と評価

された企業が効率性を改善するための、最適な戦略を提示できるという点である。IDEAを用いた企業の最適戦略を考察するという研究はこれまでほとんど行なわれていないことから、この点が本研究のユニークな部分であると考える。

(3) DEAによる環境効率評価

Tyteca(1996, 1997)¹³⁾¹⁴⁾やOlsthoorn(2001)¹⁵⁾は、環境パフォーマンス評価指標の比較を行っているが、両論文ともDEAを用いた環境パフォーマンス評価方法を使用することを勧めている。その理由として、統合化の方法に柔軟性を持っており、線形計画法を用いて計算していることから、得られた結果に対して頑健性がある点を挙げている。また、効率性は基準化されており、常に0から1の間を取るなので比較が容易である点も挙げられる。

Kousmanen(2004, 2005)¹⁶⁾¹⁷⁾はWBCSD¹⁾²⁾の環境効率の考え方にに基づき、DEAを用いて環境効率を測定している。DEAを用いた環境効率計測の利点は、経済価値を表す市場産出データと環境へのダメージを表す環境汚染物質データが複数ある場合でも、それらすべてのデータを用いて、ひとつの統合指標として環境効率を評価することが可能な点である。一般にCO₂排出量やPRTR対象物質排出量は産出要素とみなされる。しかし、これらは望ましくない産出要素であるため、効率性評価に組み込むときには、次の3通りの方法を用いる可能性がある。第一は逆数をとって産出に入れる、第二は符号を負として産出に入れる、第三は投入要素とみなす。これらの方法の違いは、分析結果のスコアを変化させるのみで、効率性もしくは非効率性の企業の特定には影響を及ぼさない。

環境効率の考え方にに基づけば、環境負荷と経済効果の比率尺度によって効率性が定義されるため、望ましくない産出要素を投入要素とみなす方法は環境効率の考え方にも沿っている。さらにフロンティアラインに対して、市場産出を変化させずに汚染投入量を何%削減可能かが分かるという点から、本研究では第三の方法を用いて分析を行うこととした。また本研究では効率性とウェイト・参照先企業の時間変化を考察するために、各年における企業パフォーマンスを独立した活動とみなして分析を行う Window 分析法を用いる¹⁸⁾。この分析法を用いることによって各企業の効率性やウェイトの時間変化を考察することが可能となる。さらにIDEAの結果から、企業の最適戦略が分析対象期間中にどのように変化しているのかを明らかにすることができる。以上の点を踏まえて、本研究では市場産出財と環境産出財を用いたDEA・IDEAによる統合環境効率の測定を行う。

使用した計算式を下記に記す。ここではIDEAの計算式のみを載せている。ここで、 x_{CO_2} はCO₂排出量データ、

x_{man} はPRTR対象物質排出による人の健康へのリスクデータ, x_{eco} はPRTR対象物質排出による生態系へのリスクデータ, y は売上データを表す. v_{CO_2} , v_{man} , v_{eco} はそれぞれの環境負荷データにかかる可変ウェイト, u は売上のウェイトである. なお, 対象サンプル数は5カ年11社のプーリングデータより, 55サンプルである.

標準形

目的関数

$$Max. \beta_k = uy_k \quad (16)$$

制約式

$$v_{CO_2}x_{CO_2,k} + v_{man}x_{man,k} + v_{eco}x_{eco,k} = 1 \quad (17)$$

$$v_{CO_2}x_{CO_2,i} + v_{man}x_{man,i} + v_{eco}x_{eco,i} \geq uy_i \quad (18)$$

$$v_{CO_2}, v_{man}, v_{eco} \geq 0, u \geq 0, i = 1, 2, \dots, k, \dots, 55 \quad (19)$$

双対形

目的関数

$$Min. \beta_k \quad (20)$$

制約式

$$\sum_{i=1}^{11} x_{CO_2,i} \lambda_i \leq \beta_k x_{CO_2,k} \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^{11} x_{man,i} \lambda_i \leq \beta_k x_{man,k} \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^{11} x_{eco,i} \lambda_i \leq \beta_k x_{eco,k} \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^{11} y_i \lambda_i \geq y_k \quad (24)$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, k, \dots, 55) \quad (25)$$

3. 対象企業とデータ

本分析で用いる日本自動車製造企業のデータは, 売上は日本経済新聞社のNEEDS¹⁹⁾から, CO₂排出量は各企業が公表している環境報告書から得た. 複数の企業で物流や販売でのCO₂排出量データが得られなかったため, ここでは製造プロセスで排出されるCO₂排出量のみを対象とした. PRTRデータ²⁰⁾は経済産業省と環境省が公表した各年の排出量データに, 神奈川県が公表している評価対象物質の毒性評価表および毒性係数²¹⁾を用いて, 人の健康への影響の換算排出量(以下, PRTR_{人健康})と生態系への影響の換算排出量(PRTR_{生態系})を推計し使用した.

分析対象企業は国内自動車製造業の11社である. 対象年度はPRTRデータが利用可能な2001-2005年度の5年間とした. 使用データはすべて単体データであり, 売上は日本銀行の2000年基準企業物価指数でデフレートした.

A社からK社までの11社について, 表-2に売上/CO₂排出量(以下, EE_{CO2}), 表-3に売上/PRTR_{人健康}(以下, EE_{人健康}), 表-4に売上/PRTR_{生態系}(以下, EE_{生態系})と2001年から2005年にかけての変化率をまとめて示した. 表-2からJ社を除く10社で2001年から2005年にかけてEE_{CO2}が改善しており, A社やB社が高い環境効率を達成しているのが分かる. 表-3よりEE_{人健康}はすべての企業で増加しており, 特にC社が大きく改善している. 表-4からEE_{生態系}もE社, K社を除く9社で大きく改善しており, B社やC社が高い環境効率を達成している.

表-2 環境効率EE_{CO2}(売上/CO₂)の推移(億円/万トンCO₂)

	変化率	2001	2002	2003	2004	2005
A	18%	693	731	793	789	818
B	37%	505	547	583	603	691
C	17%	421	408	464	442	494
D	28%	438	486	502	490	561
E	10%	458	462	527	495	506
F	18%	414	444	472	515	489
G	19%	219	230	241	253	260
H	15%	504	493	533	547	578
I	18%	368	386	417	424	434
J	-21%	473	500	405	367	372
K	11%	287	309	347	313	318

表-3 環境効率EE_{人健康}(売上/PRTR_{人健康})の推移(億円/トン)

	変化率	2001	2002	2003	2004	2005
A	99%	885	1187	1602	1639	1766
B	141%	1330	1578	1673	2100	3210
C	290%	1081	4082	3655	6211	4211
D	68%	631	671	695	1085	1060
E	30%	591	647	707	657	767
F	100%	610	652	785	1114	1221
G	73%	457	749	650	826	789
H	103%	654	720	743	1123	1326
I	93%	453	667	709	863	872
J	169%	572	335	496	659	1541
K	8%	962	1043	1059	1003	1037

表-4 環境効率EE_{生態系}(売上/PRTR_{生態系})の推移(億円/トン)

	変化率	2001	2002	2003	2004	2005
A	80%	21	25	36	36	38
B	216%	35	42	45	54	110
C	470%	14	56	45	97	80
D	91%	20	23	28	27	38
E	16%	22	26	28	22	25
F	75%	15	12	16	22	27
G	117%	9	11	10	17	19
H	171%	9	11	12	21	23
I	91%	10	10	12	17	18
J	95%	14	19	13	19	27
K	3%	19	21	21	19	20

4. 結果と考察

表-5にDEAとIDEAの分析結果を載せている。DEAの分析結果では「1.00」は最も効率的であることを示しており、数値が低ければ低いほどより非効率であることを示している。ここで1からDEAの分析結果を引いた値は、フロンティアライン上の企業に比べて、各企業が売上高を変化させずにCO₂排出量、PRTR_{人健康}、PRTR_{生態系}を同時にどれだけの割合削減可能かを表す。

表-5より、2004年のC社、2005年のA社とB社が効率的と評価されている。効率的と評価された3社の特徴を表-2、表-3、表-4で見ると、B社はEE_{CO₂}、EE_{人健康}、EE_{生態系}のすべてで高いパフォーマンスを達成しており、バランス型であると言える。A社はEE_{CO₂}に関してはすべての年で最も高い値をとっており、温暖化防止型であると言える。C社はEE_{人健康}とEE_{生態系}で高い値をとっていることから、汚染防止型と呼ぶことができる。

次にIDEAの分析結果について考察する。IDEAの場合「1.00」は最も非効率的であることを示しており、数値が低ければ低いほどより効率的であることを示している。表-5より、2002年のJ社、2001年のG社とH社が非効率的と評価されている。全体的に2001年から2005年にかけて非効率値が下がっており、ボトムラインから各企業が年々離れていったことが分かる。

表-5 DEAとIDEAの分析結果

	DEA					IDEA				
	2001	2002	2003	2004	2005	2001	2002	2003	2004	2005
A	0.85	0.89	0.97	0.96	1.00	0.48	0.37	0.28	0.28	0.27
B	0.66	0.73	0.78	0.83	1.00	0.43	0.40	0.38	0.36	0.32
C	0.54	0.83	0.86	1.00	0.95	0.64	0.54	0.47	0.49	0.44
D	0.54	0.60	0.64	0.62	0.74	0.64	0.59	0.57	0.45	0.41
E	0.56	0.59	0.66	0.60	0.63	0.66	0.61	0.56	0.60	0.53
F	0.51	0.54	0.58	0.63	0.62	0.68	0.72	0.57	0.42	0.45
G	0.27	0.31	0.31	0.34	0.35	1.00	0.95	0.91	0.87	0.84
H	0.62	0.60	0.65	0.67	0.72	1.00	0.79	0.71	0.42	0.38
I	0.45	0.47	0.51	0.52	0.53	0.98	0.85	0.73	0.54	0.52
J	0.58	0.61	0.49	0.46	0.53	0.74	1.00	0.84	0.66	0.59
K	0.39	0.42	0.46	0.42	0.43	0.76	0.71	0.63	0.70	0.69

次に各企業がEE_{CO₂}、EE_{人健康}、EE_{生態系}のどの部分に相対的な優位性を持っているかを明らかにする。ここでは分析はプーリングデータを用いているが、分析結果の表示は各年度で行なうこととする。表-6から表-10に、DEAとIDEAで推計された各企業にとっての最適なウェイト負荷データの組み合わせを表している。式(17)にもあるようにウェイト負荷データの総和は「1」であり、DEAモデルではウェイト負荷データの値が大きいデータ項目は、そうでないデータ項目に比べて効率的な企業との格差が小さいことを示している。従ってDEAのウェイト負荷データの値は、フロンティアラインに対するデータ間の優位性を示している。さらに双対形の分析結果から、

各企業がどの企業を参照先に選んでいるかを知ることが可能である。参照先企業は、各企業が効率的なパフォーマンスを行うために目標とする企業の組み合わせを表している。アルファベットの企業名を表しており、後ろについている数字は年度を表している(A05は2005年度のA社を表す)。

ウェイト負荷データ値の組み合わせと参照先の企業と比較すると、参照先の企業が2005年度のA社のみの場合はCO₂のウェイト負荷データの値が「1」であり、他のデータにかかるウェイトは「0」となっている。従って、これらの企業はEE_{CO₂}の方がEE_{人健康}やEE_{生態系}に比べて先進的な企業との格差が小さいことを表しており、さらにA社はEE_{CO₂}では、他のどの企業よりも優位性を持つことを表している。

逆にIDEAのウェイト負荷データの値が大きいデータ項目は、小さいデータ項目に比べて最も非効率な企業との格差が小さいことを示している。従ってIDEAのウェイト負荷データの値は、ボトムラインに対する各データの劣位性を示すものである。参照先の企業が2001年度のG社のみの場合はCO₂排出のウェイト負荷データ値が「1」であり、他のデータにかかるウェイトは「0」となっている。従って、これらの企業はEE_{人健康}やEE_{生態系}に比べてEE_{CO₂}のほうが、ボトムライン上に位置する非効率な企業との格差が小さいことを表している。

つまり、DEAの分析結果よりフロンティアラインに対する各企業の長所が、Inverted DEAの分析結果よりボトムラインに対する各企業の短所が明らかとなる。また非効率な企業にとって、短所となるデータ項目を改善することが、効率性改善を達成するための最適戦略となる。

表-6から表-10より、DEAでは全体的にCO₂排出のウェイト負荷データの値が大きい企業が多いことが分かる。従って自動車製造業ではEE_{人健康}やEE_{生態系}にくらべてEE_{CO₂}のほうが、フロンティアラインとの格差が出にくいことを示唆している。一方で図-2より、2001年から2005年にかけて年々CO₂のウェイト負荷データが下がり、人健康のウェイトが上昇している。従って、フロンティアラインと各企業とのEE_{CO₂}、EE_{人健康}、EE_{生態系}の相対的格差は、EE_{人健康}が狭まり、EE_{CO₂}が拡大する傾向にあるのが分かる。また、図-3と表-6から表-10のIDEAの分析結果より、ウェイト負荷データの分布が年々PRTR_{人健康}、PRTR_{生態系}からCO₂排出量に移っている。よってボトムラインと各企業のEE_{CO₂}の差は、EE_{人健康}、EE_{生態系}と比較して狭まってきていると言える。

これら分析結果は、非効率な企業にとってCO₂排出量を削減することがフロンティアラインに近づき、ボトムラインから離れるために効果的であり、統合環境効率を改善するための最適戦略であることを示唆している。

表-6 ウェイト負荷データの値と参照先の企業(2001年)

	DEA				Inverted DEA			
	CO2	人健康	生態系	参照先	CO2	人健康	生態系	参照先
A	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.64	0.36	G01,J02
B	0.84	0.00	0.16	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
C	0.74	0.26	0.00	A05,B05	0.05	0.00	0.95	G01,H01
D	1.00	0.00	0.00	A05	0.31	0.69	0.00	G01,J02
E	0.78	0.00	0.22	A05,B05	0.29	0.71	0.00	G01,J02
F	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.65	0.35	G01,J02
G	1.00	0.00	0.00	A05	1.00	0.00	0.00	G01
H	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.08	0.92	H01
I	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.61	0.39	G01,J02
J	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.64	0.36	G01,J02
K	0.79	0.21	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01

表-7 ウェイト負荷データの値と参照先の企業(2002年)

	DEA				Inverted DEA			
	CO2	人健康	生態系	参照先	CO2	人健康	生態系	参照先
A	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.61	0.39	G01,J02
B	0.85	0.00	0.15	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
C	0.65	0.35	0.00	C04,B05	1.00	0.00	0.00	G01
D	0.78	0.00	0.22	A05,B05	0.30	0.70	0.00	G01,J02
E	0.81	0.00	0.19	A05,B05	0.30	0.70	0.00	G01,J02
F	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.11	0.89	G01,H01
G	0.79	0.21	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
H	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.09	0.91	G01,H01
I	1.00	0.00	0.00	A05	0.04	0.00	0.96	G01,H01
J	1.00	0.00	0.00	A05	0.17	0.83	0.00	J02
K	0.79	0.21	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01

表-8 ウェイト負荷データの値と参照先の企業(2003年)

	DEA				Inverted DEA			
	CO2	人健康	生態系	参照先	CO2	人健康	生態系	参照先
A	1.00	0.00	0.00	A05	0.38	0.62	0.00	G01,J02
B	0.85	0.00	0.15	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
C	0.59	0.41	0.00	C04,B05	1.00	0.00	0.00	G01
D	0.81	0.00	0.19	A05,B05	0.30	0.70	0.00	G01,J02
E	0.80	0.00	0.20	A05,B05	0.29	0.71	0.00	G01,J02
F	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.61	0.39	G01,J02
G	0.75	0.25	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
H	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.10	0.90	G01,H01
I	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.10	0.90	G01,H01
J	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.65	0.35	G01,J02
K	0.78	0.22	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01

表-9 ウェイト負荷データの値と参照先の企業(2004年)

	DEA				Inverted DEA			
	CO2	人健康	生態系	参照先	CO2	人健康	生態系	参照先
A	1.00	0.00	0.00	A05	0.39	0.61	0.00	G01,J02
B	0.80	0.20	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
C	0.56	0.24	0.20	C04	1.00	0.00	0.00	G01
D	0.80	0.00	0.20	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
E	1.00	0.00	0.00	A05	0.29	0.71	0.00	G01,J02
F	0.71	0.29	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
G	0.79	0.21	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
H	1.00	0.00	0.00	A05	0.06	0.00	0.94	G01,H01
I	1.00	0.00	0.00	A05	0.00	0.11	0.89	G01,H01
J	0.79	0.00	0.21	A05,B05	0.36	0.64	0.00	G01,J02
K	0.78	0.22	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01

表-10 ウェイト負荷データの値と参照先の企業(2005年)

	DEA				Inverted DEA			
	CO2	人健康	生態系	参照先	CO2	人健康	生態系	参照先
A	0.75	0.11	0.14	A05	1.00	0.00	0.00	G01
B	0.89	0.06	0.05	B05	1.00	0.00	0.00	G01
C	0.61	0.39	0.00	C04,B05	1.00	0.00	0.00	G01
D	0.84	0.00	0.16	A05,B05	0.37	0.63	0.00	G01,J02
E	0.79	0.00	0.21	A05,B05	0.32	0.68	0.00	G01,J02
F	0.74	0.26	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
G	0.77	0.23	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
H	0.72	0.28	0.00	A05,B05	0.06	0.00	0.94	G01,H01
I	1.00	0.00	0.00	A05	0.38	0.62	0.00	G01,J02
J	0.82	0.18	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01
K	0.79	0.21	0.00	A05,B05	1.00	0.00	0.00	G01

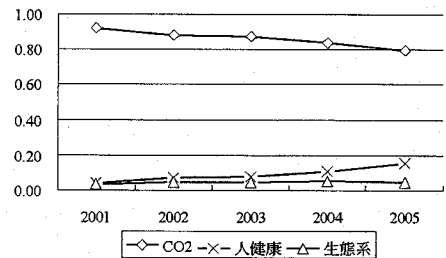


図-2 DEAのウェイト負荷データ11社平均値の推移

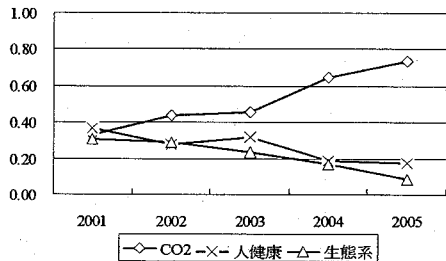


図-3 Inverted DEAのウェイト負荷データ11社平均値の推移

5. 結論

本研究は企業の複数指標を用いた環境パフォーマンス評価手法の開発とその実証例を示した。結論を以下にまとめる。

- 2001年から2005年にかけての国内自動車製造業では、売上高に対するPRTR対象物質排出量とCO₂排出量は減少傾向にあり、多くの企業で改善が見られた。その中でもA社、B社、C社は高い環境パフォーマンスを達成している。
- DEAの分析結果から2001年から2005年にかけて、ほとんどの企業で効率性改善が達成されている。また多くの企業で、EE_{人健康}、EE_{生態系}に比べて、EE_{CO2}の方がフロンティアラインに対して優位性を持っていることが明らかになった。
- IDEAの分析結果より、ウェイト負荷データの分布が年々PRTR_{人健康}、PRTR_{生態系}からCO₂排出量に移っていることが分かる。従って非効率企業の統合環境効率を改善し、ボトムラインから離れるためにはCO₂削減を重視することが効果的であると言える。
- DEA・IDEAを用いた複数指標を用いた統合環境効率指標を利用することにより、消費者や株主に企業の環境パフォーマンスの全体像がより分かりやすく示すことが可能である。さらに非効率な企業にとっては、自社と他社の違いを明確にすることによって、将来的な環境経営の意思決定で、参考にすることができる。

謝辞：本研究は科学研究費補助金基盤研究(B)「環境効率と経済パフォーマンスに関する日本、米国、欧州の国際比較」(代表：金原達夫，研究課題番号 18330081)の一環として行ったものである。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) WBCSD, Eco-efficiency : Creating More Values with Less Impact, WBCSD, 2000.
- 2) WBCSD, Measuring Eco-efficiency : A Guide to Reporting Company Performance, WBCSD, 2000.
- 3) DeSimone, L. D. and F. Popoff (山本良一監訳) : エコ・エフィシエンシーへの挑戦, 日科技連, 1998.
- 4) 金原達夫, 金子慎治 : 環境経営の分析, 白桃書房, 2005.
- 5) 科学技術振興事業団 : JEPiX 報告書, 2003.
- 6) 伊坪徳宏, 稲葉敦 : ライフサイクル環境影響評価手法 LIME-LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法・データベース, 産業環境管理協会, 2005.
- 7) Brand, G., Braunschweig, A., et al. : Weighting in Ecobalances with the Ecoscarcity Method—Ecofactor 1997, BUWAL (SAFEL) Environment Series No. 297, Bern, 1998.
- 8) Goedkoop, A., Spriensma R. : The Eco-indicator 99—A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Product ecology consultants, 2001.
- 9) 環境省, PRTR インフォメーション広場, <http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html> (2007/03/28 アクセス).
- 10) Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. L. : Measuring the Efficiency of Decision Making Units, European Journal of Operational Research, Vol. 2, pp. 429-444, 1988.
- 11) 山田善靖, 松井知己, 杉山学 : DEA モデルに基づく新たな経営効率性分析法の提案, Journal of the Operations Research Society of Japan, Vol. 37: pp. 158-168, 1994.
- 12) Entani, T., Y. Maeda, et al. : Dual model of interval DEA and its extension to interval data, European Journal of Operational Research, Vol. 136: pp. 32-45, 2002.
- 13) Tyteca, D. : On the Measurement of the Environmental Performance of Firms—A Literature Review and a Productive Efficiency Perspective, Journal of Environmental Management, Vol. 46: pp. 281-308, 1996.
- 14) Tyteca, D. : Linear Programming Models for Measurement of Environmental Performance of Firms—Concepts and Empirical Result, Journal of Productivity Analysis, Vol. 8: pp. 183-197, 1997.
- 15) Olsthoorn, X., D. Tyteca, et al. : Environmental indicators for business: a review of the literature and standardization methods, Journal of Cleaner Production Vol. 9: pp. 453-463, 2001.
- 16) Kousmanen, T. and M. Kortelainen. : Measuring Eco-efficiency of Production—A Frontier Approach, EconWPA Working Paper at WUSTL, No. 0411004, 2004.
- 17) Kousmanen, T. and M. Kortelainen : Measuring Eco-Efficiency of Production with Data Envelopment Analysis, Journal of Industrial Ecology, Vol. 9(4): pp. 59-72, 2005.
- 18) 刀根薫 : 経営効率性の測定と改善, 日科技連出版社, 1993.
- 19) 日本経済新聞社, NEEDS データベース.
- 20) 経済産業省・厚生労働省 : 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律第 11 条に基づく開示ファイル記録事項, 平成 13 年—17 年.
- 21) 神奈川県環境農政部大気水質課 : 化学物質の自主管理のために, 2005.

ECO-EFFICIENCY MEASUREMENTS USING CO₂ AND PRTR DATA: AN EMPIRICAL ANALYSIS FOR THE CASE OF 11 AUTOMOBILE MANUFACTURE COMPANIES IN JAPAN

Hidemichi FUJII, Shinji KANEKO, Hiromitsu KAWAHARA, Tatsuo KIMBARA

This study proposes the application method for evaluating integrated environmental efficiency using the Data Envelopment Analysis (DEA) and Inverted DEA that can deal with multiple inputs and outputs data. It becomes possible for identifying the optimal strategy for the inefficiency enterprise by using this analysis. We analyze and compare 11 automobile manufacturing companies in Japan for the 5 year period from 2001 to 2005. The dataset consists of total sales as market variable and the amount of chemical substances discharged which are registered in PRTR and the CO₂ emissions as environmental variables. We find that most of companies have improved the integrated environmental efficiency year by year. In particular, it is also found that relatively better performance on CO₂ emission control leads higher score in integrated environmental efficiency.