

中国における環境効率改善の計測と評価： 工業用水の事例

藤井 秀道¹・金子 慎治²・馬奈木 俊介³

¹学生員 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)
h00fujii@hiroshima-u.ac.jp

²正会員 博(工) 広島大学大学院助教授 国際協力研究科(同上)
kshinji@hiroshima-u.ac.jp

³非会員 Ph.D(経済学)横浜国立大学助教授 経営学部(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-4)
managi@ynu.ac.jp

近年中国では急速な工業化により水質汚染、水資源不足問題が深刻化しており、工業用水利用の技術進歩がこれらの問題を解決するために重要となってきた。本研究ではDEAを用いたフロンティア分析によって、節水技術と廃水処理技術の技術進歩速度の業種間格差を計測・分析した。その結果、廃水処理技術の進歩では造紙・紙製品業、節水技術の進歩では機械・電気・電子製造業が1996年から2002年にかけて大きく進歩していることが分かった。

Key Words : China, Industrial water pollution, Environmental efficiency, DEA, Water resource

1. はじめに

近年、中国経済は急速な成長を続けている。この成長とともに中国の環境問題も年々深刻化しており、中国政府は環境対策に早急な対応を迫られている状態が続いている。特に水質汚染は水資源が乏しい中国において深刻な問題となっている。工業化にともなう経済成長を続ける中国にとって、工業セクター^{*}は今後の水資源問題と水質汚染問題の双方にとって重要な役割を担う。こうした背景から本研究では、中国工業セクターの水資源利用効率と廃水処理技術の双方が近年どの程度改善されつつあるかに着目する。工業セクターでは事業内容によって比較的水を多く必要とする業種や汚染された廃水が多く出やすい業種などがある。「新規水使用量1トン当たりの付加価値」の値が小さい業種、すなわち水資源集約型産業には造紙・紙製品業や電力・ガス・水の生産供給業などがある(図-1)。また、「総工業用水使用量(新規水使用量+重複水使用量)1単位当たりの排出基準値超過排水量」によれば、造紙・製紙品業、食品・煙草・飲料製造業、金属製品業などは水質汚染型産業であると言え

る(図-2)。このように工業セクターでは、業種特性によって水環境に対するパフォーマンスが大きく異なっている。その理由としては当然、業種による生産物や生産工程の違いによる工業用水の利用目的の違いが挙げられるが、その他にも業種ごとに環境基準達成のための取り組みや環境保全に対する技術力の違いなどが考えられる。

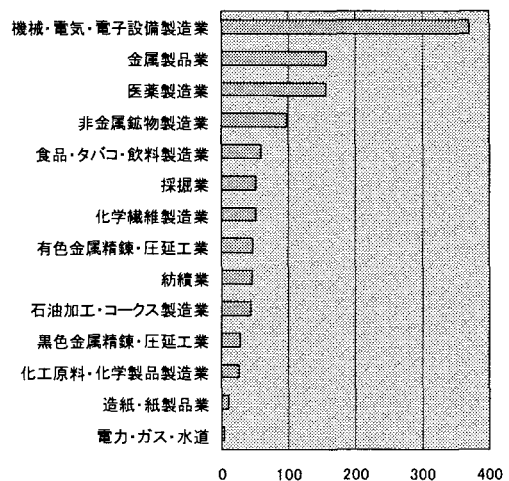


図-1 2002年度の新規水1トン投入当たりの付加価値
(元/トン、1999年価格)

*本稿では中国統計にしたがい、採掘業(鉱業)、製造業、電気・ガス・水道業をあわせて工業と称する。

ところで、こうした業種特性の違いが大きい工業セクターの水関連技術の進歩をどのように評価、計測できるであろうか？本研究では、生産フロンティア分析の手法を用い、まず 1)公表されている 1996 年から 2002 年まで(1998 年は除く)の統計データを用い、業種別水関連技術について毎年の技術フロンティアを同定し、2)工業セクター全体の毎年の技術フロンティアシフトを計測する、その上で 3)各業種が技術フロンティアに対して相対的にどの程度進歩したか、について計測・評価する。ここで水関連技術とは、節水技術と廃水処理技術を意味する。

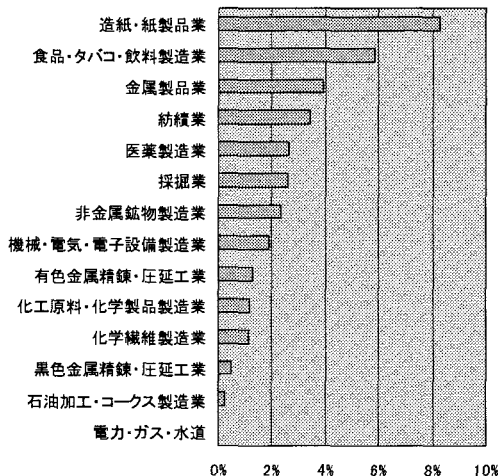


図-2 2002 年度の総工業用水使用量 1 単位当たりの排出基準値超過排水量の割合。

2. 目的

生産フロンティア分析では、分析対象をいくつかの構成する要素に細分化し、その中で生産フロンティアを形成する要素と非効率な要素とに分離することが必要となる。そこで、本研究の分析対象である中国工業セクターをいくつかの構成要素に細分化する必要があるが、中国で公表されている統計では、一般に工業セクターの統計は業種別かあるいは省別のいずれかに集計されている。この制約において工業セクターの評価を行う場合、工業セクター全体としての地域別格差に着目するか、もしくは全国レベルで業種別の違いに着目するかである。地域間の比較を行う場合、産業構造の変化が起こると効率性に影響が大きい。中国では特に沿海部と内陸部にみるように地域によって産業転換のスピードが異なっている。したがって、まず本研究では業種間の違いに着目して技術フロンティアを評価することとした。

本研究は生産フロンティア分析によって水関連技術の

進歩を計測しようとするものである。生産性分析手法のひとつである包絡曲線分析(DEA: Data Envelopment Analysis)の水環境分野への応用である。DEA は、複数の投入要素と複数の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ことが特徴である。この投入要素と環境汚染を含めた産出要素の組み合わせを変えることにより、生産技術の 1 つの側面としての節水技術と廃水処理技術の技術進歩を計測することを目的とする。ただし、格差の大きい業種間の比較であるため、ここでの主眼はあくまでも技術進歩の速度の計測と評価に置かれており、相互の効率性そのものを評価するものではない。

3. 分析方法

本研究では Managi *et al.*(2005)¹⁾ 及び Managi and Kaneko(2005)²⁾ を参考に、DEA を用いた生産性分析の手法を水環境分野に応用することによって、工業用水の利用効率と廃水処理効率を計測する。

(1) DEA (Data Envelopment Analysis)

DEA は Farrell のフロンティア効率(Frontier efficiency)の考え方を応用したものである³⁾。生産性分析におけるフロンティア効率とは、効率的生産を実現している生産集合(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。また、フロンティア生産集合が成す曲線をフロンティア生産曲線と呼ぶ。

今 n 個の生産主体からなる生産可能集合が 2 種類の投入財によって 2 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 番目の生産主体の生産可能集合に対する効率性 β_k は次のように表せる。

目的関数

$$\text{Max. } \beta_k = \frac{u_1 y_{1,k} + u_2 y_{2,k}}{v_1 x_{1,k} + v_2 x_{2,k}} \quad (1)$$

制約式

$$\frac{u_1 y_{1,j} + u_2 y_{2,j}}{v_1 x_{1,j} + v_2 x_{2,j}} \leq 1 \quad j = (1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$u_1, u_2 \geq 0 \quad v_1, v_2 \geq 0 \quad (3)$$

ここでは、もし β_k が 1 であれば、 k 番目の生産主体はフロンティア生産集合の 1 つであり、もし 1 より小さい場合には $1 - \beta_k$ 分だけ非効率である。 x_1, x_2 は n 次の投入ベクトル、 y_1, y_2 は n 次の産出ベクトル、 u は投入ベクトルへの可変ウェイト、 v は算出ベクトルへの可変ウェイトである。この可変ウェイトは各生産主体が最も効率的に評価されるように取ることが出来る。この分数量計画法は線形計画法に変換可能である^{4) 5)}。線形計画法

の双対形を次のように表すことができる。

目的関数

$$\text{Min. } \beta_k$$

制約式

$$-\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + \beta_k x_{ik} \geq 0 \quad (i=1, 2) \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{rk} \quad (r=1, 2) \quad (5)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

ここで、 λ は非効率な各生産主体が参照するフロンティア生産曲線上の点を一意的に決定するパラメータである。この双対モデルに方向ベクトル(directional vector) g を導入した Directional Distance Function モデルを以下に示す。

目的関数

$$\text{Max. } \beta_k \quad (7)$$

制約式

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_k - g_{ix} \beta_k \quad (i=1, 2) \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_k + g_{ry} \beta_k \quad (r=1, 2) \quad (9)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

Directional Distance Functionモデルの効率性は、予め設定した方向ベクトルによって変化する。方向ベクトルはどのような効率性改善を目指すかに応じて変化させることができる。

(2) 水環境分析への応用

本研究では通常の生産関数にみられる生産要素の投入と産出の効率性を分析する市場モデル(Market Model)と市場モデルに環境に関係する投入要素や環境負荷発生を産出に加えて効率性を分析するジョイントモデル(Joint Model)の2つの DEA モデルを用いる。市場モデルは環境制約を明示的に考慮しないのに対し、ジョイントモデルは環境効率と経済効率の双方を総合的に評価している。ジョイントモデルで求めた技術進歩と市場モデルで求めた技術進歩を比較することによって、環境技術の進歩を計測することが可能となる。

市場モデルは次のように表せる。

目的関数

$$\text{Max. } \beta_k (= D(x, y | g_x, g_y)) \quad (11)$$

制約式

$$x_{ik} - \beta_k g_{ix} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, I) \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} + \beta_k g_{ry} \quad (r=1, 2, \dots, P) \quad (13)$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n \geq 0 \quad (14)$$

次に、産出要素のひとつとして環境汚染量などのバズ(bad outputs)ベクトル $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ と環境要素投入ベクトル $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ を導入した環境変数を含めたジョイントモデルを以下に示す。

目的関数

$$\text{Max. } \beta_k (= D(x, y, e, b | g_x, g_y, g_e, g_b)) \quad (15)$$

制約式は式(5)、式(6)、式(7)と

$$e_{qk} - \beta_k g_{eq} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j e_{qj} \quad (q=1, 2, \dots, Q) \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j / b_{rj} = 1/b_{rk} + \beta_k g_{rb} \quad (r=1, 2, \dots, R) \quad (17)$$

ここで、変数は以下のとおりである。

y : グッズベクトル(Market good outputs vector)

x : 投入ベクトル(Market inputs vector)

e : 環境要素投入ベクトル(Environmental input vector)

b : バズベクトル(Environmental bads outputs vector)

β : 非効率スコア(Inefficiency vector)

g : 方向ベクトル(Directional vector)

λ : 強度変数(Intensity variable)

本研究では方向ベクトルを

$$(g_x, g_y, g_e, g_b) = (0, y, 0, 1/b) \quad (18)$$

と定める。

(3) 技術進歩の計測

次に、計測主体の時系列の効率性変化を分析するために、output oriented Luenberger Index^{6, 7)} (以下、 L 指数とする)を用いて技術進歩を推定する。この指標はフロンティア生産曲線の時間的変化(フロンティアシフト)を踏まえた上で、個々の生産主体の効率性変化(技術進歩)を計測するための指標である。市場モデルの技術進歩は以下のように定義される。

$$\begin{aligned} L_{t, \text{market}}^{t+1} &= \frac{1}{2} \left(\triangle G^{t+1} + \triangle G^t \right) \\ &= \frac{1}{2} \left(\left[D^{t+1}(x^t, y^t; 0, y^t) \right] - \left[D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}; 0, y^{t+1}) \right] \right) \\ &\quad + \frac{1}{2} \left(\left[D^t(x^t, y^t; 0, y^t) \right] - \left[D^t(x^{t+1}, y^{t+1}; 0, y^{t+1}) \right] \right) \end{aligned} \quad (19)$$

ここで、 x^t は t 年の投入ベクトル、 x^{t+1} は $t+1$ 年の投

入ベクトル, y^t は t 年のグズベクトル, y^{t+1} は $t+1$ 年のグズベクトルである。 $D^t(x^t, y^t | 0, y^t)$ は t 年のデータを t 年のフロンティア生産曲線を基準に計測する非効率性を表す。同様に, $D^{t+1}(x^t, y^t | 0, y^t)$ は t 年のデータを $t+1$ 年のフロンティア生産曲線を基準に計測する非効率性を表す。図-3 は式(23)で計測する L 指数を説明するために 2 入力(x_1, x_2), 1 出力(y)のケースを図式化したものである。また、 Z は生産主体を示している。

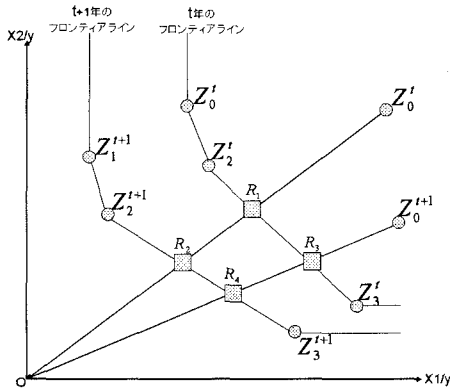


図3 2入力, 1出力の図

フロンティア生産曲線が時間的に変化している場合の個々の生産主体の効率性の変化は、次の2つの計測方法がある。まず、式(23)における $\angle G^{t+1}$ は図-3中の $|R_2 Z_0''| - |R_1 Z_0'|$ を表している。これは、 $t+1$ 年のフロンティア生産曲線を基準に t 年のデータの非効率性を評価したものから $t+1$ 年のフロンティア生産曲線を基準に $t+1$ 年のデータの非効率性を評価したものを引いたものである。 $\angle G^t$ は図-3中の $|R_1 Z_0'| - |R_3 Z_0''|$ を表している。

L 指数はこれら 2 つの計測方法によって得られた効率性変化の算術平均である。以上の方法を市場モデルに適用して得られた t 年から $t+1$ 年への技術進歩速度を L_{market} ジョイントモデルから得られた環境を考慮した技術進歩速度を L_{joint} とするとき、環境技術の進歩の速度 L_{env} を

$$L_{env} = L_{joint} - L_{market} \quad (24)$$

で定義する。

また L 指数は次の 2 つの指数、キャッチアップ指数 L_{model_CU} とフロンティアシフト指数 L_{model_FS} に分解することが出来る。ここで、 $model$ には $market, joint, env$ のそれぞれが入る。例として $market$ の場合を説明する。

$$L_{t,market_CU}^{t+1} = D^t(x^t, y^t | 0, y^t) - D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1} | 0, y^{t+1}) \quad (25)$$

$$L_{t,market_FS}^{t+1} = \frac{1}{2} \left(\frac{|D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1} | 0, y^{t+1})|}{|D^t(x^t, y^t | 0, y^t)|} + \frac{1}{2} \left(\frac{|D^{t+1}(x^t, y^t | 0, y^t)|}{|D^t(x^t, y^t | 0, y^t)|} \right) \right) \quad (26)$$

L_{market_CU} は t 年から $t+1$ 年にかけて各生産主体がどれだけフロンティア生産曲線に近づいたかを示す指標であり、

図-3 の $|Z_0' - R_1| - |Z_0'' - R_4|$ で表すことが出来る。

L_{market_FS} は t 年から $t+1$ 年にかけて各生産主体から見てフロンティア曲線がどれだけ移動したかを示す指標であり、 $\frac{1}{2}(|Z_0'' - R_4| - |Z_0'' - R_3|) + \frac{1}{2}(|Z_0' - R_2| - |Z_0' - R_1|)$ で表すことが出来る。

4. データ

本研究では投入ベクトルに労働者数(x_1), 資本(x_2), グズベクトルに付加価値(y)を用いた。ここで工業用水の節水技術と工業廃水処理技術の技術進歩を求めるために次の 2 つのケースを設定する。ひとつはパズベクトル(b)に総工業排水量, 環境要素投入ベクトル(e)に新規水使用量を用いたジョイントモデル 1, もうひとつはパズベクトル(b)に排出基準値超過排水量, 環境要素投入ベクトルに総工業用水使用量(e)を用いたジョイントモデル 2 である。ジョイントモデル 1 は工業用水の節水技術の進歩の分析, ジョイントモデル 2 は工業廃水の処理技術の進歩を計測することが目的である。本研究では、分析に公刊されている統計書で利用可能な 1996 年から 2002 年まで(1998 年は除く)の業種別(14 業種)のデータを用いた。付加価値(工業増加額), 資本(固定資産净值), 労働者数(全部職工年平均人数)は中国工業経済統計年鑑の値を用いた。中国環境年鑑には業種別の新規水使用量(万吨), 総排水量(万吨), 排出基準値内排水量(万吨)のデータが掲載されているが、中国環境年鑑はサンプル調査である。そこで、本研究は中国環境年鑑のデータから業種別工業生産高当りに基準化した新規水使用量, 総排水量, 排出基準値内排水量の値を求め、それらの値に中国工業経済統計年鑑の業種別の工業生産高を乗することによって総量に換算した。また、排出基準値超過排水量は「総排水量 - 排出基準値内排水量」として求めた。

5. 結果と考察

図4 と図5 では、節水技術ケース, 廃水処理技術ケースのそれぞれについて、 $L_{market}, L_{joint}, L_{env}$ の変化を比較した。どちらも市場モデルとジョイントモデルの L 指数に大きな差は見られなかった。これは、生産技術の進歩に対して環境技術の進歩が相対的に小さいことを意味している。また、環境技術進歩は節水技術も廃水処理技術も 2000 年までは進歩が見られるものの、それ以降はむしろ環境技術は後退している。

図6 と図7 には L_{env} 指数を L_{env_CP} と L_{env_FS} 指数に分解し

た結果を示した。また、図-6 中には図-1 で示した指標を1996 年=1 として基準化した指標を、図-7 中には図-2 で示した指標を1996 年=1 として基準化したもの(ここでは逆数で示した)を併せて比較した。図-6 と図-7 ともに技術進歩の多くがキャッチアップ指数の変化と関連が強い。すなわち、2000 年以前については、非効率生産主体のキャッチアップが進んだことにより全体の技術改善がもたらされ、2000 年以降についてはキャッチアップ指数の後退のため全体の技術進歩を後退している。

表-1 にジョイントモデル1 で計測した環境技術の進歩と図-1 で使用した単純指標の推移を、表-2 にジョイントモデル2 で計測した環境技術の進歩と図-2 で使用した単純指標の推移を載せている。表-1 における「図-1 の指標」とは、1996 年の値を基準(=1)にした場合の新規水使用量1 単位当たりの付加価値の変化を示している。表-2 における「図-2 の指標」とは、1996 年の値を基準(=1)にした基準超過排水排出割合の逆数の変化を示している。従って、1 より大きい場合に基準超過排水排出割合が減少したことを示している。

分析結果を見ると、節水技術では機械・電気・電子設備製造業や造紙・紙製品業、黑色金属精錬圧延工業が大きく進歩を遂げている。また、石油加工・コークス製造業や有色金属精錬・圧延工業の節水技術は1996 年に比べて大きく後退していた。廃水処理技術では造紙・紙製品業や金属製品業、非金属鉱物製造業が他業種に比べて大きく進歩を遂げている。一方、食品・タバコ・飲料製

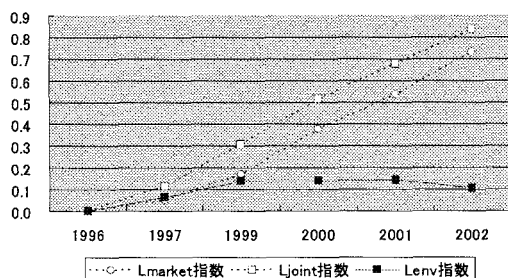


図-4 節水技術ケースのL指数の推移

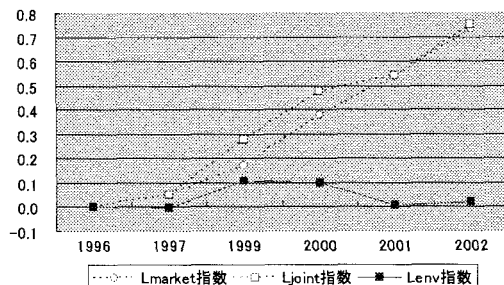


図-5 廃水処理技術ケースのL指数の推移

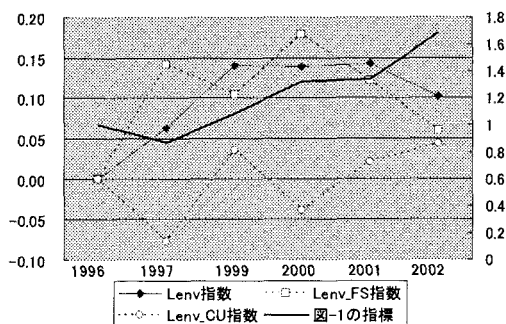


図-6 中国工業セクターの節水技術指標の推移

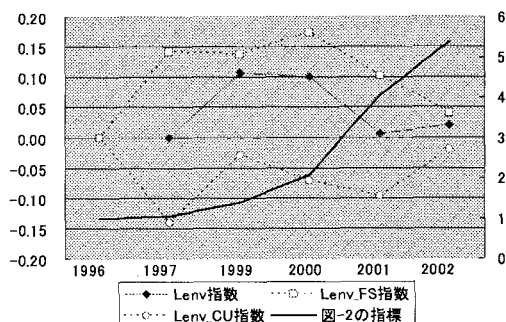


図-7 中国工業セクターの廃水処理技術指標の推移

表-1 節水技術の進歩

		1997	1999	2000	2001	2002
採掘業	L_{env} 指数	0.00	0.10	0.09	0.09	0.09
	図-1の指標	1.03	1.21	1.18	1.44	1.67
食品・タバコ・飲料製造業	L_{env} 指数	-0.06	0.11	0.16	0.16	0.17
	図-1の指標	1.31	1.53	2.02	1.86	1.64
紡績業	L_{env} 指数	0.02	0.17	0.15	0.15	0.15
	図-1の指標	1.10	1.27	1.28	1.11	1.13
造紙・紙製品業	L_{env} 指数	0.05	0.22	0.51	0.72	0.81
	図-1の指標	0.92	1.28	1.33	1.39	1.60
石油加工・コークス製造業	L_{env} 指数	-0.09	-0.15	-0.18	-0.44	-0.72
	図-1の指標	0.91	0.36	0.43	1.63	1.61
化工原料・化学製品製造業	L_{env} 指数	0.11	0.18	0.08	0.04	0.00
	図-1の指標	1.22	1.66	2.10	1.85	2.51
医薬製造業	L_{env} 指数	0.04	0.08	0.09	0.10	0.04
	図-1の指標	1.42	1.98	2.51	3.03	3.26
化学繊維製造業	L_{env} 指数	-0.10	-0.28	-0.35	-0.07	-0.21
	図-1の指標	1.12	1.44	1.41	1.88	3.71
非金属鉱物製造業	L_{env} 指数	0.04	0.25	0.25	0.26	0.26
	図-1の指標	1.24	1.47	1.82	2.15	2.26
黑色金属精錬・圧延工業	L_{env} 指数	-0.02	0.05	-0.08	-0.19	-0.28
	図-1の指標	1.06	1.28	1.64	1.92	2.66
有色金属精錬・圧延工業	L_{env} 指数	0.26	0.14	-0.25	-0.48	-0.63
	図-1の指標	0.81	2.11	3.04	3.73	3.47
金属製品業	L_{env} 指数	0.21	0.41	0.43	0.17	-0.10
	図-1の指標	1.32	1.70	1.98	1.91	1.70
機械・電気・電子設備製造業	L_{env} 指数	0.47	0.84	1.25	1.72	2.16
	図-1の指標	1.15	1.57	1.93	2.37	2.99
電力・ガス・水道	L_{env} 指数	-0.03	-0.14	-0.18	-0.23	-0.29
	図-1の指標	0.75	1.02	1.20	1.13	1.38

表-2 廃水処理技術の進歩.

		1997	1999	2000	2001	2002
採掘業	L_{env} 指数	0.01	0.09	0.07	0.06	0.06
	図-2の指標	0.88	1.16	2.03	2.58	3.42
食品・タバコ・飲料製造業	L_{env} 指数	-0.46	-0.04	-0.54	-1.08	-0.62
	図-2の指標	1.10	1.00	1.45	3.07	4.42
紡績業	L_{env} 指数	0.03	0.19	0.16	0.15	0.14
	図-2の指標	0.94	0.61	0.99	2.68	3.47
造紙・紙製品業	L_{env} 指数	0.04	0.22	0.51	0.66	0.72
	図-2の指標	1.17	1.16	1.61	4.37	5.96
石油加工・コークス製造業	L_{env} 指数	-0.10	-0.04	0.27	0.21	-0.05
	図-2の指標	1.06	1.84	5.02	7.81	5.04
化工原料・化学製品製造業	L_{env} 指数	-0.07	-0.05	-0.15	-0.20	-0.24
	図-2の指標	1.20	1.95	3.33	4.94	6.14
医薬製造業	L_{env} 指数	0.03	0.02	0.04	0.04	0.07
	図-2の指標	1.10	1.95	3.64	4.61	4.98
化学繊維製造業	L_{env} 指数	0.00	-0.05	-0.03	0.11	0.12
	図-2の指標	1.13	1.91	2.42	2.94	5.88
非金属鉱物製造業	L_{env} 指数	0.05	0.33	0.32	0.33	0.32
	図-2の指標	1.03	1.90	2.54	3.37	4.29
黑色金属精錬・圧延工業	L_{env} 指数	-0.01	0.04	-0.13	-0.29	-0.34
	図-2の指標	0.98	1.53	2.67	4.48	5.10
有色金属精錬・圧延工業	L_{env} 指数	0.02	0.24	0.16	0.15	0.09
	図-2の指標	1.20	2.33	2.77	3.42	3.69
金属製品業	L_{env} 指数	0.30	0.61	0.88	0.64	0.42
	図-2の指標	0.72	1.38	2.52	2.22	2.33
機械・電気・電子設備製造業	L_{env} 指数	0.18	0.06	0.12	-0.36	0.07
	図-2の指標	0.99	15.90	2.55	3.52	3.69
電力・ガス・水道	L_{env} 指数	-0.02	-0.13	-0.28	-0.34	-0.49
	図-2の指標	1.25	1.63	5.21	7.06	16.32

どの排水処理技術が1996年に比べて後退している。

表-1の環境技術指標と図-1の単純指標を各年でスピアマンの順位相関係数の有意性検定を行ったが、各年とも2変数間に相関がないという帰無仮説を棄却することは出来なかった。表-1と同じように表-2の環境技術指標と図-2の単純指標を各年で検定したが、同様の結果が得られた。従って、本研究のDEAによって生産性分析に基づいて評価された環境技術進歩指標は、単純指標による評価とは異なる。これらの違いの解釈について今後さらに詳細に分析を深める必要がある。

6. 結論

本研究の結論を以下にまとめる。

1. 1996年から2002年の間で節水技術が最も進歩した業種は機械・電気・電子設備製造業である。
2. 1996年から2002年の間で廃水処理技術が最も進歩した業種は造紙・紙製品業である。

謝辞：本研究は、科学技術振興機構の戦略的創造推進事業「水の循環系モデリングと利用システム(代表：楠田哲也)」の一環として行ったものである。改めて記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Managi, S., J.J. Opaluch, D.Jin, and T.A. Grigalunas.: Environmental Regulations and Technological Change in the Offshore Oil and Industry, *Land Economics*, Vol. 81(2), 2005.
- 2) Managi, S. and S. Kaneko.: *Productivity of Market and Environmental Abatement*, Draft eperd, 2005.
- 3) Färe, R., Grosskopf S.: *Intertemporal Production Frontiers*. Boston: Kluwer-Nijhoff Publishing, 1996.
- 4) Chung, Y., Rolf Färe, and Shawna Grosskopf.: Productivity and Undesirable outputs: A Directional Function Approach, *Journal of Environmental Management*, Vol. 51, 1997.
- 5) Chames, 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.
- 6) Chambers, R.G., Chung, Y. and Fare, R. Profit, Directional Distance Functions, and Nerlovian Efficiency, *Journal of Optimization Theory and Applications* 98:351-364, 1998.
- 7) Luenberger, D.G. *Microeconomic Theory*, McGraw-Hill, New York, 1995

MEASURING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY IMPROVEMENT IN CHINA: THE CASE OF INDUSTRIAL WATER

Hidemichi FUJII, Shinji KANEKO and Shunsuke MANAGI

In recent years, China is beset with serious environmental problems including water pollution and shortage of water resource. Technological progress in industrial water use is needed to resolve these problems. In this study, we estimate the progress in waste water treatment technology and in save water technology by type of business using frontier analysis, called Data Envelopment Analysis. Our results show that paper product industry achieve the most advanced progress in waste water treatment technology while electric machine product industry achieve the most advanced progress in save water technology during 1996-2002.