

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

広島大学大学院 学生員 ○藤井秀道

広島大学大学院 正会員 金子慎治

横浜国立大学 非会員 馬奈木俊介

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。汚染強度の高いセクターの用水使用量増加と廃污水排出による水質汚染によって利用可能な水資源を圧迫することとなれば、ますます水不足問題が深刻化する。つまり工業化にともなう

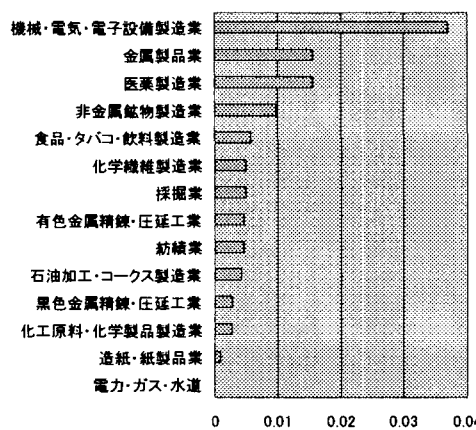


図-1 2002年度の付加価値/新規水使用量の値

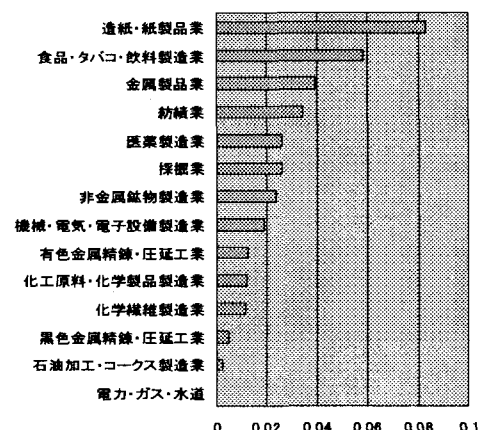


図-2 2002年度の排出基準値超過排水量/工業用水総使用量

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。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効率化されているかに着目する。工業セクターでは業種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。ここでは単純な指標によって現状を概観する。「付加価値/新規水使用量」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）。他方、「付加価値/新規水使用量」の値が高い業種は、機械・電気・電子製造業、金属製品業、医薬品製造業などである。また、廃水の水質にも業種によって大きな違いがある。「排出基準値超過排水量/総工業用水使用量（新規水使用量+重複水使用量）」によれば、石油加工・コークス製造業、電力・ガス・水生産供給業などは汚染型産業であると言える（図-2）。逆に、造紙・製紙品業、食品・煙草・飲料製造業、金属製品業などの業種は非汚染型、あるいは廃水処理対策の進んだ業種であると言える。このように中国工業では、業種によって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。そこで本研究では、工業用水の利用技術と廃水処理対策の変化、すなわち技術進歩の業種間比較を分析する。節水促進や廃水対策のために導入される政策がそれぞれの業種にとってどのような意味を持つか、あるいはどの程度積極的に取り組むかによってこうした技術進歩に違いが生じるものと考えられる。上記では、単純な指標を用いて効率性を評価したが、企業の最大の目的は経済性の追及である。経済性を無視した環境対策や節水対策はあり得ない。したがって、効率性の評価においても、経済効率や生産性にマイナスの影響を与えずに節水対策や環境対策が達成されたかどうかの問題となる。工業用水は生産に必要な投入要素（インプット）のひとつであり、工業廃水は工業生産過程から産出されるアウトプットのひとつであると考えられることができる。そうした考えに立てば、通常の投入要素である労働や資本と通常の生産財の投入・産出効率と併せて工業用水の利用技術の進歩を総合的に評価しなければならない。

2. 方法論

そこで、本研究では複数の投入と複数の産出の間の総合的効率性を評価することが可能な包絡分析法(DEA)を用いて工業用水利用と工業廃水処理の2つについて各業種での技術進歩を計測することを目的とする。DEAは、複数の入力要素と複数の出力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。DEAの中にフロンティア生産曲線上の参照主体をフレキシブルに変えることができる方向ベクトルを導入したDirectional Distance Function モデルがある。このモデルを用いると、参照するフロンティア曲線上の点をフレキシブルに選ぶことが可能となる。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と市場モデルに環境負荷発生に關係する投入要素や環境負荷発生を加えて効率性を分析するジョイントモデルの2つのDEAモデルを用いる。両者とも基本的には生産の効率性を分析することを目的とするが、市場モデルは環境制約を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することができる。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。ここで、次の2つの性質(weak disposabilityとnull hypothesis)を仮定する。前者はバズを減らす時には必ずグズも減らさなければならないことを意味する。つまり、グズの減少なしにバズを減らすことは出来ない。後者はバズの生産なしでグズの生産は行えないことを意味する。次に各生産主体の生産効率が時間的にどのように変化したかによって、技術の進歩を計測することとする。ここでは、時系列の効率性変化を分析するために、Luenberger Index (以下、L指数とする)を用いて技術進歩を推定した。これらはいずれも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。市場モデルの効率性変化は以下のように表すことが出来る。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、図-3中の $|R_2Z_0^t| - |R_4Z_0^t|$ 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。図-3中の $|R_1Z_0^t| - |R_3Z_0^t|$ は、t年のフロンティア生産曲線を基準として、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。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。本研究ではManagi and Kaneko¹⁾を参考に「ジョイントモデルのL指数(技術進歩)」-「市場モデルのL指数(技術進歩)」=「環境技術の進歩」として計算した。

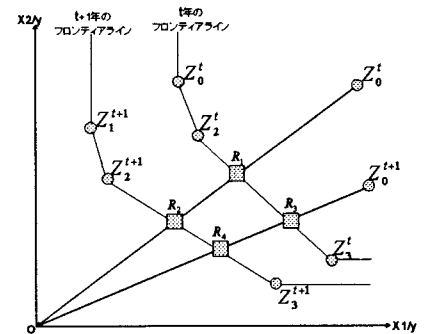


図-3 2入力、1出力の2期間でのフロンティアシフトの図

3. 結果と考察

次に単純な効率性評価と総合的な効率性評価の順位付けに違いがあるかを検証するために、スピアマンの相関係数を計算した。結果はどの期間でも相関は高いとは言えず、2変数が独立であるとされる帰無仮説がすべての期間で10%有意水準でも棄却されなかった。従って、DEAを用いて求めた環境効率の技術進歩は単純比較での環境効率の評価と方法が異なると言える。以下環境技術の進歩の計算結果を表-1と表-2にまとめた。①1996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。②1996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。背景としては、機械・電気・電子設備製造業は最も外資が参入しやすい業種であり、そのため海外から新しい技術を得やすいという点がある。

表-1 廃水処理技術の進歩

		1997	1998	2000	2001	2002
採掘業	1988年=0	0.2%	-0.4%	-3.5%	5.0%	6.0%
	前年度=0	0.2%	-0.6%	-3.1%	8.5%	1.0%
食品・タバコ・飲料製造業	1988年=0	45.7%	-8.4%	-4.5%	24.0%	13.7%
	前年度=0	45.7%	-54.1%	3.9%	28.5%	-10.3%
紡績業	1988年=0	0.0%	-1.8%	-4.9%	10.7%	12.2%
	前年度=0	0.0%	-1.8%	-3.1%	15.6%	1.5%
造紙・紙製品業	1988年=0	6.4%	21.1%	50.4%	67.8%	72.2%
	前年度=0	6.4%	14.7%	29.3%	17.4%	4.4%
石油加工・コークス製造業	1988年=0	-29.3%	-26.6%	4.2%	10.6%	-0.4%
	前年度=0	-29.3%	2.7%	30.8%	6.4%	-11.0%
化工原料・化学製品製造業	1988年=0	-4.4%	-9.0%	-19.7%	-17.1%	-22.8%
	前年度=0	-4.4%	-4.6%	-10.7%	2.6%	-5.5%
医薬製造業	1988年=0	3.4%	4.7%	6.4%	6.0%	10.1%
	前年度=0	3.4%	1.3%	1.7%	-0.4%	4.1%
化学繊維製造業	1988年=0	1.3%	12.8%	14.5%	9.7%	9.5%
	前年度=0	1.3%	11.5%	1.7%	-4.8%	-0.2%
非金属鉱物製造業	1988年=0	-0.5%	0.7%	1.3%	19.2%	23.1%
	前年度=0	-0.5%	1.2%	0.6%	17.9%	3.9%
黑色金属精錬・圧延工業	1988年=0	-5.1%	-21.1%	-37.7%	-33.5%	-34.2%
	前年度=0	-5.1%	-16.0%	-16.6%	4.2%	-0.7%
有色金属精錬・圧延工業	1988年=0	-5.4%	-5.9%	-12.2%	6.5%	8.1%
	前年度=0	-5.4%	-0.5%	-6.3%	16.7%	1.6%
金属製品業	1988年=0	-26.0%	-51.3%	-26.4%	6.4%	27.9%
	前年度=0	-26.0%	-25.3%	24.9%	32.8%	21.5%
機械・電気・電子設備製造業	1988年=0	43.8%	-3.0%	-12.2%	-30.7%	-9.2%
	前年度=0	43.8%	-46.8%	-9.2%	-18.5%	21.5%
電力・ガス・水道	1988年=0	-14.7%	-20.7%	-35.3%	-45.4%	-48.6%
	前年度=0	-14.7%	-6.0%	-14.6%	-10.1%	-3.2%

表-2 節水技術の進歩

		1997	1998	2000	2001	2002
採掘業	1988年=0	-0.0%	0.2%	-1.3%	8.6%	9.2%
	前年度=0	-0.0%	0.2%	-1.5%	9.9%	0.6%
食品・タバコ・飲料製造業	1988年=0	0.2%	0.7%	5.8%	22.6%	18.9%
	前年度=0	0.2%	0.5%	5.1%	16.8%	-3.7%
紡績業	1988年=0	-0.1%	-0.3%	-2.3%	12.0%	14.8%
	前年度=0	-0.1%	-0.2%	-2.0%	14.9%	2.2%
造紙・紙製品業	1988年=0	8.9%	29.8%	59.0%	76.6%	81.8%
	前年度=0	8.9%	20.9%	29.2%	17.6%	5.2%
石油加工・コークス製造業	1988年=0	-24.9%	-36.3%	-29.6%	-26.3%	-26.3%
	前年度=0	-24.9%	-11.4%	6.7%	3.3%	-0.0%
化工原料・化学製品製造業	1988年=0	-4.5%	-8.8%	-18.3%	-9.9%	10.3%
	前年度=0	-4.5%	-4.3%	-9.5%	8.4%	20.2%
医薬製造業	1988年=0	-0.6%	1.5%	4.2%	7.7%	10.7%
	前年度=0	-0.6%	2.1%	2.7%	3.5%	3.0%
化学繊維製造業	1988年=0	-16.5%	-11.4%	-14.8%	-27.0%	-35.3%
	前年度=0	-16.5%	5.1%	-3.4%	-12.2%	-8.3%
非金属鉱物製造業	1988年=0	-0.1%	0.8%	1.6%	21.8%	26.6%
	前年度=0	-0.1%	0.9%	0.8%	20.2%	4.6%
黑色金属精錬・圧延工業	1988年=0	-8.6%	-21.0%	-34.0%	-27.2%	-28.8%
	前年度=0	-8.6%	-12.4%	-13.0%	6.8%	-1.6%
有色金属精錬・圧延工業	1988年=0	5.5%	-19.3%	-46.3%	-35.2%	-31.7%
	前年度=0	5.5%	-24.8%	-27.0%	11.1%	3.5%
金属製品業	1988年=0	-27.4%	-41.3%	-52.0%	-39.1%	-44.1%
	前年度=0	-27.4%	-13.9%	-10.7%	12.9%	-5.0%
機械・電気・電子設備製造業	1988年=0	43.8%	90.7%	132.5%	168.9%	215.9%
	前年度=0	43.8%	46.8%	41.8%	36.4%	47.0%
電力・ガス・水道	1988年=0	-5.9%	-11.0%	-14.4%	-25.3%	-29.6%
	前年度=0	-5.9%	-5.1%	-3.4%	-10.9%	-4.3%

1) Managi, S. and S. Kaneko: *Productivity of Market and Environmental Abatement*, Draft epar, 2005.