

地球温暖化と大気汚染を考慮した マルムクイスト生産性指数の推計

——1991-2005年の OECD 諸国を対象として——

森 脇 祥 太

I は じ め に

本研究の目的は1990年代初頭から2000年代中盤にかけての OECD 諸国を対象に desirable goods（＝望ましい財）と同時に undesirable goods（＝望ましくない財）を考慮したマルムクイスト生産性指数（＝TFP 指数）を推計することである。また幾つかの要因（効率性の指標，実質 GDP 成長率，対外開放度の成長率等）がマルムクイスト生産性指数の値に影響を与えるか否かをパネル・データを使用した推定を行うことによって確認する。

包絡分析法（＝Data Envelopment Analysis）や活動分析（＝Activity Analysis）のようなノンパラメトリックな方法によって環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数を推計する研究は1990年代後半以降，世界各国の企業，産業及び国レベルを対象として活発に行われている。以下ではそれらの先行研究の中から幾つかのものを紹介して本研究の貢献を明らかにしたい。

Färe et al. [2001] は1974～86年のアメリカの各州の製造業を対象として環境面を考慮に入れたマルムクイスト生産性指数を推計した。Färe et al. [2001] は生産要素として労働力と資本ストック，生産物として各地域の製造業の付加価値（＝望ましい財）に加えて硫黄酸化物（＝ SO_x ）と一酸化炭素（＝CO）の排出量（＝望ましくない財）を考慮した包絡分析法による推計を行っている。推計期間において環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数は考慮しない場

合の値を上回っており、技術変化の影響が相対的に大きいという結果が確認されている。またマルムクイスト生産性指数に影響を与える諸要因についての推定も行われており、フロストベルト地域の生産性の変化は他の地域よりも有意に高く、製造業の雇用の成長が生産性指数に正の影響を与えるという結果を確認できる。

Kumar [2006] も Färe et al. [2001] と同じ方法で1971～92年の世界41カ国を対象に環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数を推計した。Kumar [2006] は生産要素として労働力、資本ストック、エネルギー消費、生産物として世界各国の GDP (=望ましい財) に加えて二酸化炭素 (=CO₂) 排出量 (=望ましくない財) を使用した効率値の推計を行っている。その結果、環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数の値が環境面を考慮しない場合をわずかに上回っており、技術変化の影響が相対的に大きいという結果が確認されている。パネル推定では、非効率性の指標は生産性指数に有意に正の影響を与えている。またエネルギー効率性は有意に負、対外開放度は有意に正の影響を生産性指数に与えている。

Färe et al. [2007] は1985～95年のアメリカの石炭火力発電所を対象に環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数を推計した。Färe et al. [2007] は生産要素として労働力、資本ストック、石炭、石油、天然ガス等のエネルギー消費量、生産物として発電量 (=望ましい財) に加えて二酸化硫黄 (=SO₂) と窒素酸化物 (=NO_x) を考慮した活動分析による推計を行っている。推計期間において望ましい財のみを対象として推計されたマルムクイスト生産性指数の値は環境面を考慮した推計結果をわずかに上回る値となっている。

以上の先行研究サーベイによれば近年、ミクロ及びマクロレベルの双方を対象として様々な種類の望ましくない財を考慮したマルムクイスト生産性指数の推計が行われていることが確認できる。本研究では可能な限り多くの望ましくない財を考慮して OECD 諸国のマルムクイスト生産性指数を推計する。Kumar [2006] は CO₂ のみを望ましくない財としてマルムクイスト生産性指

数を推計したが、 CO_2 に加えて SO_x や NO_x を望ましくない財と定義した方が地球温暖化に加えて大気汚染や酸性雨等の影響をも考慮に入れた生産性指数を推計することができる。本研究では最近の傾向を観察できるように1990年代初頭以降2000年代中盤を推計期間とする。

OECD 諸国以外の国の CO_2 , SO_x , NO_x のデータを全て連続して得ることは現時点では困難である。また OECD 諸国の中でも資本ストックの推計のためのデータが長期にわたって得られない国も多く存在しており、推計対象は25カ国となった。

本研究では推計されたマルムクイスト生産性指数に影響を与えた諸要因についても確認したい。まずKumar [2006] と同様に OECD 諸国内で当初の効率性の指標とその後の生産性指数の関係を確認する。次に Färe et al. [2001] と同様に GDP の年平均成長率を各国における景気変動の代理変数として生産性指数との関係を確認する。また国際貿易の推進が生産性指数に与える影響を確認するために対外開放度 ($= (\text{実質輸出額} + \text{実質輸入額}) / \text{実質 GDP}$) の年平均成長率を説明変数とする。さらに2000年以前をゼロ、以降を1とするダミー変数を説明変数として生産性指数の変動に推計期間において構造変化が生じているか否かを確認する。説明変数のパラメータ推定にはパネル推定の方法を使用する。

II モ デ ル

1 環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数

本研究では環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数の推計に活動分析の方法を使用する。活動分析によって効率値を推計する方法は Pasurka [2001], Färe et al. [2007] 等で使用されている。 k 国の生産要素を x_k , 望ましい財を y_k , 望ましくない財を b_k としよう。 k' 国の y と同時に b を含んだ生産関数 f は以下のような線形計画法によって表すことができる¹⁾。

1) 以下の展開は Färe et al. [2007] の記述を参考にした。

$$\begin{aligned}
 f(x^{k'}, b^{k'}) &= \max \sum_{k=1}^K z_k y_k \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{k=1}^K z_k b_{kj} = b_{kj}, \quad j=1 \dots J \quad \dots\dots ① \\
 & \sum_{k=1}^K z_k x_{kn} \leq x_{kn}, \quad n=1 \dots N \\
 & z_k \geq 0, \quad k=1 \dots K
 \end{aligned}$$

①式では望ましくない財には弱ディスポーサビリティが、生産要素には強ディスポーサビリティがそれぞれ仮定されている²⁾。弱ディスポーサビリティが仮定されている場合、望ましい財と望ましくない財の双方が生産されており、生産要素の量が一定であるならば、望ましい財を減らさない限り、望ましくない財を減らすことはできない³⁾。一方、強ディスポーサビリティの場合は望ましくない財を減らす場合、望ましい財を減らす必要はない。弱ディスポーサビリティは何らかの規制が課せられており望ましくない財の削減にコストが生じるような場合の技術を表すのに適した概念である。

①式により導かれる生産フロンティアは望ましくない財の排出にコストが発生する場合のフロンティアを示している。また望ましくない財が考慮されない場合は以下のような線形計画法によって生産関数 g を表すことができる。

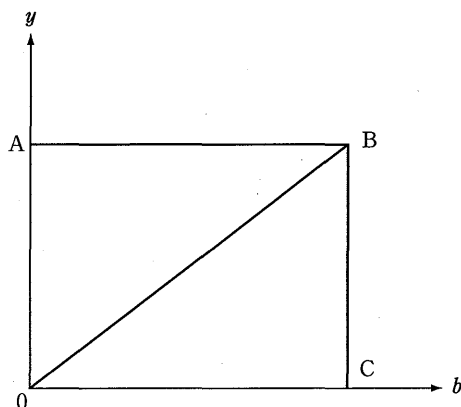
$$\begin{aligned}
 g(x^{k'}) &= \max \sum_{k=1}^K z_k y_k \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{k=1}^K z_k x_{kn} \leq x_{kn}, \quad n=1 \dots N \quad \dots\dots ② \\
 & z_k \geq 0, \quad k=1 \dots K
 \end{aligned}$$

①式と②式の z は intensity ベクトルであり、ここでは非負の条件が課されているため生産フロンティアは規模に関して収穫一定となる。また②式では望

2) またここでは望ましい財が生産される場合には必ず望ましくない財が生産されるという null-jointness の仮定が課されている。

3) 弱ディスポーサビリティと強ディスポーサビリティについて詳しくは Färe and Grosskopf [2003] の chapter2 を参照のこと。

図 1



ましい財と生産要素に関して強ディスポーサビリティが仮定されている。

図 1 は望ましくない財に強ディスポーサビリティと弱ディスポーサビリティを課したそれぞれの場合の生産フロンティアを表している。強ディスポーサビリティの場合は四角形 0ABC が生産フロンティアとなるが弱ディスポーサビリティの場合は三角形 0BC が生産フロンティアとなり、規制が課されたことによって生産フロンティアが縮小したことが確認できる。

①式より推計されるマルムクイスト生産性指数 M は以下のように書ける。

$$M_t^{t+1} = \frac{y^{t+1}/f(x^{t+1}; b^{t+1}, t+1)}{y^t/f(x^t; b^t, t+1)} \quad \dots\dots ③$$

M の値は生産フロンティアへのキャッチ・アップを意味する効率性変化 E と生産フロンティア自体のシフトを意味する技術変化 T に分解することができる。

$$M = E \times T \quad \dots\dots ④$$

効率性変化 E は以下のように書ける。

$$E_t^{t+1} = \frac{y^{t+1}/f(x^{t+1}; b^{t+1}, t+1)}{y^t/f(x^t; b^t, t)} \quad \dots\dots ⑤$$

技術変化 T は以下のように書ける。

$$T_{t+1} = \frac{y^t/f(x^t; b^t, t)}{y^t/f(x^t; b^t, t+1)} \quad \dots\dots ⑥$$

実際に活動分析によりマルムクイスト生産性指数の値を推計する場合、第 t 期と第 $t+1$ 期の生産関数を①式によってそれぞれ求めると同時に以下のような線形計画法によって $f(x^t; b^t, t+1)$ を求めればよい。

$$\begin{aligned} f(x''; b'', t+1) &= \max \sum_{k=1}^K z_k^{t+1} y_k^{t+1} \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{k=1}^K z_k^{t+1} b_{kj}^{t+1} = b_{kj}^t, \quad j=1 \dots J \quad \dots\dots ⑦ \\ &\sum_{k=1}^K z_k^{t+1} x_{kn}^{t+1} \leq x_{kn}^t, \quad n=1 \dots N \\ &z_k^{t+1} \geq 0, \quad k=1 \dots K \end{aligned}$$

活動分析の場合、マルムクイスト生産性指数の導出には3つの線形計画法を解けばよいことになり、4つの線形計画法が必要である包絡分析法よりも単純な推計方法と考えられる。

線形計画問題を解くに際してはウィンドー分析を行う。環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数を推計する場合、ウィンドー分析を行うことによって線形計画問題の不能解が導出される可能性を低下することが可能とされている⁴⁾。利用可能なデータは1991年～2005年であるが t 年の生産関数の推計に際しては $t-2$, $t-1$, t 年のデータを使用するため推計期間は1993年～2005年となる。

2 マルムクイスト生産性指数に影響を与える要因

本研究では1993年～2005年の OECD 諸国パネル・データを使用して以下のような式のパラメータを推定する。推定に際してはプール推定、固定効果モデ

4) Färe et al. [2001], Kumar [2006], Färe et al. [2007] 等でもウィンドー分析が行われている。

ル及び変量効果モデルによる推定をそれぞれ行う。

$$M_{it} = a_0 + a_1 y/f(x^t; b^t, t+1) + a_2 GY_{it} + a_3 GOP_{it} + a_4 D_1 + v_{it} \quad \dots\dots ⑧$$

$a_0 \sim a_4$: 推定すべきパラメータ, G : 年平均成長率,
 Y : 実質 GDP, OP : 対外開放度 (輸出 + 輸入/GDP),
 D_1 : 2000年以後を 1, 以前を 0 とするダミー変数,
 v : 攪乱項

$a_1 < 0$ の場合, 当初の効率性指標 $y/f(x^t; b^t, t+1)$ が高い (低い) 国のマルムクイスト生産性指数は低い (高い) 値となり, 当初の効率性が低い国が高い国に対してキャッチ・アップするような状態が成立していることになる。 GY は景気変動, GOP は対外開放度の変化の代理変数である。近年, 地球環境問題への関心が国際的に高まっており, 二酸化炭素排出量については具体的な削減目標が示されるようになってきている。そのような近年の動きがマルムクイスト生産性指数に与える影響を捉えるためにダミー変数 D_1 を加えた推定を行う。

III データ

本研究では生産要素に労働力と資本ストック, 生産物に実質 GDP (=望ましい財) と CO_2 , SO_x , NO_x (=望ましくない財) を使用して活動分析を行い, マルムクイスト生産性指数を推計する。実証研究に使用するデータの出所及び作成方法は以下の通りである。

実質国内総生産 Y , 労働力 L , 実質輸出額 EX , 実質輸入額 IM :

世界銀行が提供している WDI (World Development Indicators) からデータを取得した。 Y , EX , IM は 2000 年ドル表示となっており, 国際比較可能な統計となっている。

資本ストック K :

World Bank [2006] で採用されている方法を参考に以下の式から t 年の資本ストック K_t を推計した。

$$K_t = \sum_{i=0}^{19} I_{t-i} (1-\delta)^i \quad \dots\dots ⑨$$

粗固定資本形成 I :

推計に際しては減価償却率 $\delta=0.05$ を全ての国に一律に仮定した。また⑨式では資本の耐用年数は20年と仮定されている。⑨式の推計に必要な粗固定資本形成については各国別に WDI から2000年ドル表示の長期的な系列を取得することが可能である。OECD 諸国の中でも長期的な系列を得ることが出来ない国も存在しており、その結果、推計対象となったのは25カ国（カナダ、アメリカ、日本、韓国、オーストラリア、ニュージーランド、オーストリア、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイスランド、アイルランド、イタリア、ルクセンブルグ、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、スイス、イギリス）である。

二酸化炭素排出量 CO_2 :

アメリカのオークリッジ国立研究所がホームページ上で一般公開しているエネルギー起源の二酸化炭素排出量のデータを使用した。

硫黄酸化物 SO_x 、窒素酸化物 NO_x :

OECD Environmental Compendium 2004 及び OECD Environmental Compendium 2006/7 に記載されている各国別のデータをそれぞれ使用した。韓国のデータのみ2005年の値が存在しないためトレンドにあてはめて推計した。

IV 実証分析の結果

1 マルムクイスト生産性指数

表1は環境面を考慮した方法による推計結果であり、表2は環境面を考慮し

表1 環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数, 効率性変化, 技術変化の推移

		1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	幾何平均
カナダ	M	1.0000	0.9948	0.9182	1.0405	0.9985	0.9910	1.0068	0.9818	0.9712	1.0153	0.9663	0.9600	0.9865
	E	1.0000	0.9948	0.9230	1.0891	0.9985	0.9917	1.0099	0.9818	0.9809	1.0285	0.9945	0.9878	0.9977
	T	1.0000	1.0000	0.9948	0.9554	1.0000	0.9993	0.9969	1.0000	0.9901	0.9872	0.9717	0.9719	0.9888
アメリカ	M	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9644	0.9797	0.9824	1.0025	1.0000	0.9940
	E	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9644	0.9904	1.0285	1.0179	1.0000	1.0000
	T	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9892	0.9552	0.9849	1.0000	0.9940
日本	M	1.0000	1.0000	1.0066	1.0000	1.0000	1.0000	1.0225	1.0000	1.0000	1.0123	1.0284	1.0170	1.0072
	E	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	T	1.0000	1.0000	1.0066	1.0000	1.0000	1.0000	1.0225	1.0000	1.0000	1.0123	1.0284	1.0170	1.0072
韓国	M	0.9798	0.9914	0.9753	1.1513	0.9315	1.2238	1.2125	1.0000	0.8078	1.1696	1.0000	1.0000	1.0299
	E	0.9612	0.9810	0.9682	1.5095	0.9315	1.2234	1.3706	1.0000	0.8078	1.2380	1.0000	1.0000	1.0660
	T	1.0193	1.0105	1.0074	0.7627	1.0000	1.0003	0.8847	1.0000	1.0000	0.9448	1.0000	1.0000	0.9662
オーストラリア	M	1.0000	0.9442	1.0213	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9970
	E	1.1381	0.9442	1.0240	1.0343	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0108
	T	0.8786	1.0000	0.9974	0.9669	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9863
ニュージーランド	M	1.0376	1.0087	1.0176	1.0286	0.9532	1.0189	1.0000	1.0000	1.0000	0.9485	0.9538	0.9476	0.9924
	E	1.0079	1.0034	1.0092	1.0412	0.9532	1.0193	1.0292	1.0000	1.0000	0.9485	0.9601	0.9824	0.9958
	T	1.0295	1.0052	1.0083	0.9879	1.0000	0.9996	0.9717	1.0000	1.0000	1.0000	0.9934	0.9646	0.9966
オーストリア	M	1.0204	1.0088	1.1024	1.1353	1.1770	1.0332	1.0301	0.9747	0.9969	0.9809	1.2696	1.0957	1.0654
	E	0.9998	0.9865	1.0861	1.0000	1.0000	0.8907	0.9590	0.9664	0.9839	0.9812	1.2548	1.0000	1.0057
	T	1.0206	1.0227	1.0149	1.1353	1.1770	1.1599	1.0741	1.0086	1.0132	0.9997	1.0118	1.0957	1.0594
ベルギー	M	0.9789	1.0204	1.0205	1.0207	0.9992	0.9967	1.0017	0.9849	0.9872	1.0022	1.0036	0.9935	1.0007
	E	0.9652	1.0011	1.0155	1.0175	0.9951	0.9784	0.9709	0.9848	0.9879	1.0018	1.0033	0.9988	0.9932
	T	1.0142	1.0192	1.0050	1.0032	1.0041	1.0187	1.0317	1.0001	0.9993	1.0003	1.0003	0.9947	1.0075
デンマーク	M	1.0282	1.0000	0.9861	1.0340	1.0000	1.0048	1.0147	1.0000	1.0000	0.9340	0.9819	1.0000	0.9983
	E	1.0000	1.0000	0.9861	1.0141	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9340	1.0071	1.0632	1.0000
	T	1.0282	1.0000	1.0000	1.0196	1.0000	1.0048	1.0147	1.0000	1.0000	1.0000	0.9750	0.9406	0.9983
フィンランド	M	1.0302	1.0708	1.0345	1.0548	1.0277	1.0176	1.0319	0.9977	1.0046	1.0312	1.0012	0.9404	1.0197
	E	0.9878	1.0509	1.0300	1.0294	1.0300	1.0088	1.0267	1.0005	1.0132	1.0610	1.0083	0.9786	1.0185
	T	1.0430	1.0190	1.0044	1.0247	0.9977	1.0087	1.0051	0.9972	0.9915	0.9719	0.9929	0.9610	1.0012
フランス	M	1.0363	0.9932	0.9963	1.0153	1.0043	1.0193	1.0256	1.0097	1.0076	1.0068	1.0144	1.0067	1.0112
	E	1.0274	0.9773	0.9873	0.9995	0.9976	1.0034	0.9884	1.0035	0.9956	0.9992	0.9985	0.9856	0.9961
	T	1.0087	1.0162	1.0091	1.0158	1.0067	1.0159	1.0376	1.0062	1.0120	1.0076	1.0251	1.0214	1.0151
ドイツ	M	1.0218	1.0094	1.0076	1.0000	1.0018	1.0057	1.0280	1.0061	1.0134	1.0189	1.0149	1.0363	1.0136
	E	1.0067	1.0071	1.0079	1.0708	1.0000	0.8365	1.0215	1.0006	1.0143	1.0258	0.9713	1.0138	0.9965
	T	1.0150	1.0024	0.9997	0.9339	1.0018	1.2023	1.0063	1.0055	0.9991	0.9933	1.0449	1.0222	1.0172
ギリシャ	M	0.9474	1.0449	0.9684	0.9921	0.9893	1.0450	0.9436	1.0098	1.0247	1.0393	1.0000	0.9678	0.9971
	E	0.9814	1.0625	0.9918	0.9883	0.9958	1.0436	0.9713	1.0112	1.0633	1.0936	1.0000	0.9678	1.0135
	T	0.9653	0.9834	0.9764	1.0038	0.9934	1.0013	0.9714	0.9986	0.9637	0.9503	1.0000	1.0000	0.9838

表1 環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数, 効率性変化, 技術変化の推移(続き)

		1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	幾何平均
ハンガリー	M	0.9981	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0208	1.0000	1.0000	1.0016
	E	1.1110	1.0019	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0090
	T	0.8984	0.9981	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0208	1.0000	1.0000	0.9927
アイスランド	M	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9974	1.0061	1.0000	1.0000	1.0026	1.0000	1.0005
	E	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9974	1.0026	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	T	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0036	1.0000	1.0000	1.0026	1.0000	1.0005
アイルランド	M	1.0928	0.9951	0.9856	1.0863	1.0183	1.0000	1.0000	0.9984	1.0010	0.9995	0.9941	0.9966	1.0134
	E	1.1018	1.0046	1.0004	1.0352	1.0000	1.0000	1.0000	0.9984	1.0016	0.9995	0.9872	0.9999	1.0103
	T	0.9918	0.9906	0.9852	1.0493	1.0183	1.0000	1.0000	1.0000	0.9994	1.0000	1.0070	0.9968	1.0031
イタリア	M	1.0204	1.0072	0.9952	1.0138	0.9974	1.0115	1.0311	1.0053	1.0098	0.9783	1.0129	1.0009	1.0069
	E	0.9962	0.9951	0.9918	1.0007	0.9808	0.9937	1.0022	1.0006	0.9967	0.9740	0.9931	0.9929	0.9931
	T	1.0243	1.0121	1.0034	1.0131	1.0168	1.0180	1.0288	1.0047	1.0132	1.0043	1.0200	1.0081	1.0139
ルクセンブルグ	M	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	E	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	T	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
オランダ	M	1.0187	1.0000	1.0113	1.0000	1.0000	0.9162	0.9969	0.9912	0.9881	0.9812	1.0079	0.9914	0.9916
	E	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9162	0.9630	0.9914	0.9876	0.9909	1.0096	1.0098	0.9887
	T	1.0187	1.0000	1.0113	1.0000	1.0000	1.0000	1.0352	0.9998	1.0005	0.9902	0.9983	0.9818	1.0029
ノルウェー	M	1.0000	1.0103	1.0238	1.0036	1.0000	1.0000	1.0000	1.0029	1.0000	0.9956	1.0056	1.0000	1.0035
	E	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9956	1.0044	1.0000	1.0000
	T	1.0000	1.0103	1.0238	1.0036	1.0000	1.0000	1.0000	1.0029	1.0000	1.0000	1.0012	1.0000	1.0035
ポルトガル	M	0.9525	0.9934	0.9727	1.0043	1.0083	0.9282	0.9754	0.9815	0.9485	0.9253	0.9847	0.9775	0.9707
	E	0.9709	0.9927	0.9893	1.0009	1.0149	0.9194	0.9801	0.9860	0.9708	0.9561	0.9847	0.9825	0.9788
	T	0.9810	1.0007	0.9832	1.0034	0.9935	1.0095	0.9952	0.9954	0.9770	0.9678	1.0000	0.9949	0.9917
スペイン	M	0.9507	0.9336	0.9860	1.0007	0.9503	0.9752	0.9535	0.9966	0.9827	0.9350	0.9763	0.9722	0.9675
	E	1.0027	0.9365	0.9973	1.0083	0.9605	0.9697	0.9653	0.9956	0.9970	0.9515	0.9764	0.9771	0.9779
	T	0.9482	0.9968	0.9887	0.9925	0.9894	1.0056	0.9878	1.0010	0.9857	0.9827	1.0000	0.9950	0.9893
スウェーデン	M	1.0156	1.0338	1.0000	1.0248	1.0194	1.0306	1.0199	1.0000	1.0000	1.0000	1.0198	1.0000	1.0136
	E	1.0070	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0006
	T	1.0086	1.0338	1.0000	1.0248	1.0194	1.0306	1.0199	1.0000	1.0000	1.0000	1.0198	1.0000	1.0130
スイス	M	1.0000	1.0000	1.0000	1.0059	1.0000	1.0000	1.0247	1.0000	1.0000	1.0000	1.0108	1.0000	1.0034
	E	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	T	1.0000	1.0000	1.0000	1.0059	1.0000	1.0000	1.0247	1.0000	1.0000	1.0000	1.0108	1.0000	1.0034
イギリス	M	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0028	1.0000	1.0002
	E	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	T	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0028	1.0000	1.0002
全平均	M	1.0047	1.0021	1.0007	1.0237	1.0023	1.0075	1.0117	0.9964	0.9880	0.9981	1.0088	0.9957	1.0033
	E	1.0098	0.9973	1.0000	1.0297	0.9941	0.9898	1.0079	0.9955	0.9907	1.0068	1.0053	0.9975	1.0020
	T	0.9950	1.0048	1.0007	0.9942	1.0082	1.0179	1.0038	1.0009	0.9973	0.9914	1.0035	0.9983	1.0013

表2 マルムクイスト生産性指数, 効率性変化, 技術変化の推移

		1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	幾何平均
カナダ	M	1.0260	1.0110	0.9976	1.0123	1.0116	1.0221	1.0186	0.9854	0.9951	0.9827	0.9966	0.9907	1.0041
	E	1.0200	1.0085	0.9965	1.0172	1.0129	1.0221	1.0233	0.9919	0.9994	0.9970	1.0108	0.9945	1.0078
	T	1.0059	1.0025	1.0011	0.9952	0.9988	1.0000	0.9954	0.9934	0.9957	0.9857	0.9859	0.9961	0.9963
アメリカ	M	1.0063	0.9941	1.0024	1.0023	1.0000	1.0000	0.9884	0.9672	0.9806	0.9907	1.0019	0.9962	0.9941
	E	1.0000	0.9941	1.0024	1.0035	1.0000	1.0000	0.9870	0.9684	0.9912	1.0186	1.0180	1.0140	0.9997
	T	1.0063	1.0000	1.0000	0.9987	1.0000	1.0000	1.0015	0.9987	0.9893	0.9726	0.9841	0.9824	0.9944
日本	M	1.0053	1.0157	1.0190	1.0063	0.9787	1.0020	1.0326	1.0023	1.0097	1.0142	1.0248	1.0161	1.0105
	E	0.9784	0.9784	1.0190	0.9726	0.9322	0.9492	0.9887	0.9734	1.0018	1.0100	1.0148	1.0268	0.9867
	T	1.0275	1.0381	1.0000	1.0347	1.0500	1.0556	1.0444	1.0297	1.0079	1.0041	1.0098	0.9896	1.0241
韓国	M	0.9733	0.9767	0.9622	0.9597	0.8911	1.0441	1.0257	0.9872	1.0159	0.9813	1.0003	0.9975	0.9838
	E	0.9676	0.9722	0.9606	0.9597	0.8911	1.0441	1.0335	0.9968	1.0184	0.9984	1.0199	1.0072	0.9883
	T	1.0059	1.0046	1.0017	1.0000	1.0000	1.0000	0.9924	0.9903	0.9976	0.9829	0.9807	0.9903	0.9955
オーストラリア	M	1.0165	1.0104	1.0080	1.0043	1.0028	1.0105	0.9939	0.9901	1.0039	0.9882	0.9926	0.9814	1.0002
	E	1.0106	1.0089	1.0074	1.0127	1.0050	1.0105	0.9991	0.9965	1.0143	1.0099	1.0076	0.9917	1.0062
	T	1.0059	1.0014	1.0007	0.9917	0.9937	1.0000	0.9948	0.9937	0.9898	0.9786	0.9851	0.9895	0.9940
ニュージーランド	M	1.0316	1.0095	0.9984	0.9794	0.9732	1.0117	0.9840	0.9981	1.0044	0.9825	0.9831	0.9668	0.9934
	E	1.0256	1.0049	0.9967	0.9794	0.9732	1.0117	0.9915	1.0078	1.0068	0.9996	1.0025	0.9763	0.9979
	T	1.0059	1.0046	1.0017	1.0000	1.0000	1.0000	0.9924	0.9903	0.9976	0.9829	0.9807	0.9903	0.9955
オーストリア	M	1.0017	0.9997	1.0110	1.0028	1.0170	1.0133	1.0105	0.9875	0.9961	0.9848	1.0084	1.0033	1.0030
	E	0.9951	0.9997	1.0110	1.0021	1.0124	1.0090	1.0049	0.9887	1.0062	1.0126	1.0245	1.0207	1.0072
	T	1.0066	1.0000	1.0000	1.0007	1.0045	1.0043	1.0055	0.9988	0.9900	0.9726	0.9843	0.9829	0.9958
ベルギー	M	1.0141	1.0067	0.9967	1.0157	0.9960	1.0055	1.0121	0.9873	0.9910	0.9876	1.0019	0.9850	0.9999
	E	1.0064	1.0067	0.9967	1.0135	0.9924	1.0028	1.0100	0.9887	1.0017	1.0154	1.0179	1.0010	1.0044
	T	1.0077	1.0000	1.0000	1.0022	1.0036	1.0027	1.0021	0.9986	0.9893	0.9726	0.9843	0.9840	0.9955
デンマーク	M	1.0364	1.0008	0.9989	0.9958	0.9824	0.9888	0.9949	0.9711	0.9710	0.9773	0.9939	0.9996	0.9924
	E	1.0303	1.0000	0.9986	1.0066	0.9850	0.9888	1.0004	0.9754	0.9842	1.0047	1.0095	1.0158	0.9998
	T	1.0059	1.0008	1.0003	0.9892	0.9974	1.0000	0.9945	0.9955	0.9867	0.9727	0.9845	0.9840	0.9926
フィンランド	M	1.0513	1.0463	1.0389	1.0549	1.0355	1.0214	1.0316	1.0064	1.0025	1.0044	1.0189	1.0119	1.0268
	E	1.0438	1.0463	1.0389	1.0534	1.0361	1.0214	1.0373	1.0128	1.0150	1.0282	1.0344	1.0224	1.0324
	T	1.0072	1.0000	1.0000	1.0014	0.9995	1.0000	0.9945	0.9937	0.9877	0.9769	0.9850	0.9897	0.9946
フランス	M	1.0137	1.0106	0.9990	1.0120	1.0190	1.0118	1.0135	0.9928	0.9877	0.9892	1.0009	0.9937	1.0036
	E	1.0039	1.0106	0.9990	1.0140	1.0200	1.0118	1.0190	0.9990	1.0010	1.0137	1.0163	1.0054	1.0094
	T	1.0097	1.0000	1.0000	0.9980	0.9990	1.0000	0.9947	0.9938	0.9867	0.9758	0.9849	0.9884	0.9942
ドイツ	M	1.0083	1.0011	0.9927	1.0020	1.0022	1.0029	1.0128	0.9956	0.9878	0.9893	1.0014	1.0002	0.9997
	E	0.9978	1.0011	0.9927	0.9983	1.0011	1.0029	1.0121	0.9971	1.0011	1.0166	1.0171	1.0133	1.0042
	T	1.0105	1.0000	1.0000	1.0037	1.0012	1.0000	1.0007	0.9986	0.9867	0.9731	0.9846	0.9871	0.9955
ギリシャ	M	1.0196	1.0203	1.0182	1.0290	1.0211	1.0133	1.0113	1.0077	0.9984	0.9984	0.9916	0.9888	1.0097
	E	1.0137	1.0157	1.0165	1.0290	1.0211	1.0134	1.0191	1.0175	1.0008	1.0158	1.0110	0.9985	1.0143
	T	1.0059	1.0046	1.0017	1.0000	1.0000	1.0000	0.9924	0.9903	0.9976	0.9829	0.9807	0.9903	0.9955

表2 マルムクイスト生産性指数, 効率性変化, 技術変化の推移(続き)

		1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	幾何平均
ハンガリー	M	1.0268	1.0187	1.0119	1.0403	1.0332	1.0220	1.0236	1.0082	1.0027	1.0010	1.0016	0.9928	1.0152
	E	1.0208	1.0140	1.0102	1.0403	1.0332	1.0220	1.0314	1.0181	1.0051	1.0184	1.0213	1.0025	1.0197
	T	1.0059	1.0046	1.0017	1.0000	1.0000	1.0000	0.9924	0.9903	0.9976	0.9829	0.9807	0.9903	0.9955
アイスランド	M	1.0380	0.9969	1.0393	1.0323	1.0171	1.0034	1.0004	1.0033	0.9833	1.0007	1.0251	0.9960	1.0112
	E	1.0300	0.9969	1.0393	1.0329	1.0177	1.0034	1.0025	1.0078	0.9977	1.0272	1.0411	1.0096	1.0171
	T	1.0077	1.0000	1.0000	0.9994	0.9994	1.0000	0.9979	0.9955	0.9855	0.9742	0.9847	0.9866	0.9942
アイルランド	M	1.0374	1.0616	1.0365	1.0561	1.0171	1.0300	1.0157	0.9938	0.9988	0.9835	0.9774	0.9852	1.0157
	E	1.0314	1.0601	1.0357	1.0641	1.0191	1.0300	1.0209	1.0001	1.0103	1.0071	0.9924	0.9971	1.0221
	T	1.0059	1.0014	1.0007	0.9925	0.9980	1.0000	0.9949	0.9937	0.9886	0.9765	0.9848	0.9880	0.9937
イタリア	M	1.0187	1.0193	0.9954	1.0055	0.9988	1.0042	1.0159	0.9972	0.9808	0.9804	0.9932	0.9837	0.9993
	E	1.0083	1.0193	0.9954	1.0043	0.9989	1.0042	1.0186	1.0034	0.9944	1.0054	1.0085	0.9950	1.0046
	T	1.0103	1.0000	1.0000	1.0012	0.9999	1.0000	0.9973	0.9938	0.9864	0.9751	0.9849	0.9886	0.9947
ルクセンブルグ	M	1.0015	1.0000	0.9926	1.0201	1.0198	1.0193	1.0302	1.0000	1.0000	1.0000	1.0110	1.0016	1.0079
	E	1.0000	1.0000	0.9926	1.0075	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	T	1.0015	1.0000	1.0000	1.0125	1.0198	1.0193	1.0302	1.0000	1.0000	1.0000	1.0110	1.0016	1.0079
オランダ	M	1.0104	1.0069	1.0033	1.0082	1.0022	1.0037	0.9997	0.9824	0.9712	0.9789	0.9975	0.9947	0.9965
	E	1.0045	1.0063	1.0030	1.0190	1.0046	1.0037	1.0051	0.9886	0.9828	1.0016	1.0127	1.0046	1.0030
	T	1.0059	1.0006	1.0003	0.9894	0.9976	1.0000	0.9947	0.9937	0.9882	0.9771	0.9850	0.9901	0.9935
ノルウェー	M	1.0469	1.0362	1.0393	1.0327	0.9960	0.9987	1.0128	1.0039	1.0004	0.9986	1.0166	0.9992	1.0150
	E	1.0492	1.0362	1.0393	1.0383	0.9879	0.9889	1.0047	1.0068	1.0068	1.0269	1.0336	1.0221	1.0191
	T	0.9978	1.0000	1.0000	0.9946	1.0082	1.0099	1.0148	0.9992	0.9936	0.9724	0.9835	0.9776	0.9959
ポルトガル	M	0.9827	1.0084	0.9994	0.9959	0.9942	0.9842	0.9870	0.9735	0.9697	0.9643	0.9828	0.9790	0.9850
	E	0.9770	1.0038	0.9977	0.9959	0.9942	0.9843	0.9945	0.9830	0.9721	0.9811	1.0021	0.9886	0.9895
	T	1.0059	1.0046	1.0017	1.0000	1.0000	1.0000	0.9924	0.9903	0.9976	0.9829	0.9807	0.9903	0.9955
スペイン	M	1.0057	1.0025	0.9983	1.0094	1.0060	1.0014	1.0006	0.9874	0.9785	0.9799	0.9805	0.9817	0.9943
	E	0.9998	0.9979	0.9966	1.0094	1.0060	1.0015	1.0072	0.9970	0.9798	0.9970	0.9998	0.9913	0.9986
	T	1.0059	1.0046	1.0017	1.0000	1.0000	1.0000	0.9934	0.9903	0.9986	0.9829	0.9807	0.9903	0.9957
スウェーデン	M	1.0390	1.0322	1.0045	1.0151	1.0209	1.0239	1.0185	0.9887	1.0027	1.0007	1.0241	1.0077	1.0147
	E	1.0310	1.0321	1.0045	1.0269	1.0237	1.0239	1.0240	0.9950	1.0141	1.0235	1.0395	1.0176	1.0213
	T	1.0078	1.0001	1.0001	0.9885	0.9973	1.0000	0.9946	0.9937	0.9888	0.9778	0.9851	0.9902	0.9936
スイス	M	0.9969	0.9860	0.9872	1.0025	1.0080	0.9937	1.0151	0.9939	0.9866	0.9850	1.0071	1.0033	0.9971
	E	0.9998	0.9860	0.9872	1.0107	0.9976	0.9806	0.9956	0.9945	0.9909	1.0130	1.0243	1.0305	1.0008
	T	0.9971	1.0000	1.0000	0.9919	1.0104	1.0134	1.0197	0.9995	0.9957	0.9723	0.9832	0.9737	0.9963
イギリス	M	1.0231	1.0063	1.0017	1.0000	0.9960	0.9928	1.0004	0.9864	0.9845	0.9955	1.0012	0.9896	0.9981
	E	1.0172	1.0017	1.0000	1.0000	0.9960	0.9928	1.0046	0.9930	0.9867	1.0087	1.0154	0.9927	1.0007
	T	1.0059	1.0046	1.0017	1.0000	1.0000	1.0000	0.9958	0.9933	0.9978	0.9869	0.9860	0.9969	0.9974
全平均	M	1.0171	1.0110	1.0059	1.0116	1.0012	1.0089	1.0099	0.9918	0.9921	0.9895	1.0013	0.9938	1.0028
	E	1.0103	1.0079	1.0053	1.0122	0.9980	1.0047	1.0090	0.9959	0.9992	1.0100	1.0157	1.0055	1.0061
	T	1.0067	1.0031	1.0006	0.9994	1.0032	1.0041	1.0009	0.9959	0.9928	0.9798	0.9858	0.9883	0.9967

ない方法による推計結果である。それらの推計結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 推計期間において環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数の幾何平均が下落しているのはカナダ、アメリカ、オーストラリア、ニュージーランド、デンマーク、ギリシャ、オランダ、ポルトガル、スペインである。
- (2) 推計期間において環境面を考慮しない方法によるマルムクイスト生産性指数の幾何平均が下落しているのはアメリカ、韓国、ニュージーランド、ベルギー、デンマーク、ドイツ、イタリア、オランダ、ポルトガル、スペイン、スイス、イギリスである。
- (3) 推計期間において環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数の幾何平均が環境面を考慮しない値を上回っているのは韓国、オーストリア、ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、イタリア、スイス、イギリスである。
- (4) 推計期間において環境面を考慮した効率性変化の幾何平均が環境面を考慮しない値を上回っているのはアメリカ、日本、韓国、オーストラリア、デンマーク、ルクセンブルグである。
- (5) 推計期間において環境面を考慮した技術変化の幾何平均が環境面を考慮しない値を上回っているのはニュージーランド、オーストリア、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、アイスランド、アイルランド、イタリア、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、スイス、イギリスである。

環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数の幾何平均は1993年～2005年において16カ国で上昇している。一方、環境面を考慮しない推計結果でも13カ国で上昇している。OECD 諸国においては地球温暖化、酸性雨、大気汚染等の影響を考慮してもマルムクイスト生産性指数が近年、上昇するような傾向を示していることが確認できる。また環境面を考慮した場合のマルムクイスト生産

表 3 OECD 諸国の幾何平均値

		1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	幾何平均
環境面を考慮した場合	M	1.0047	1.0021	1.0007	1.0237	1.0023	1.0075	1.0117	0.9964	0.9880	0.9981	1.0088	0.9957	1.0033
	E	1.0098	0.9973	1.0000	1.0297	0.9941	0.9898	1.0079	0.9955	0.9907	1.0068	1.0053	0.9975	1.0020
	T	1.0050	1.0048	1.0007	0.9942	1.0082	1.0179	1.0038	1.0009	0.9973	0.9914	1.0035	0.9983	1.0013
環境面を考慮しない場合	M	1.0171	1.0110	1.0059	1.0116	1.0012	1.0089	1.0099	0.9918	0.9921	0.9895	1.0013	0.9938	1.0028
	E	1.0103	1.0079	1.0053	1.0122	0.9980	1.0047	1.0090	0.9959	0.9992	1.0100	1.0157	1.0055	1.0061
	T	1.0067	1.0031	1.0006	0.9994	1.0032	1.0041	1.0009	0.9959	0.9928	0.9798	0.9858	0.9883	0.9967

性指数の値が考慮しない場合を上回るような傾向を示すのは 9 カ国のみであり、多くの国では後者が前者を上回ることが確認できる。しかし 9 カ国の中でもオーストリアは 6.2%、韓国は 4.6% と大きく上回っている。また効率性変化では 6 カ国が、技術変化では 15 カ国が環境面を考慮した値が考慮しない値を上回っている。効率性変化が環境面を考慮する場合としない場合のマルムクイスト生産性指数の大小に強く影響していると考えられる。

表 3 は推計対象となった全ての国の各年における幾何平均を示している。環境面を考慮した場合、考慮しない場合の双方で推計期間中のマルムクイスト生産性指数の値はほぼ等しい値であり、わずかに上昇している。効率性変化については環境面を考慮した場合が考慮しない場合を下回っているが、技術変化については上回っており、相互に打ち消しあったために双方の値がほぼ等しい値となった。また 1993 年～2000 年までは環境面を考慮した場合、しない場合の双方についてマルムクイスト生産性指数が 1 を上回っているが、2000 年～2005 年については 1 を下回るようになっている。

2 マルムクイスト生産性指数に影響を与える要因

マルムクイスト生産性指数に影響を与える要因に関する推定結果は以下の表 4 のように表される。

表 4 によれば効率性指標 $y/f(x^t; b^t, t+1)$ の推定パラメータの値は全ての推定方法で有意に負の値となっている。当初の効率性が低い水準である場合、マ

表4 環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数の説明要因の推定結果

説明変数	プール推定	固定効果モデル	変量効果モデル
$y/f(x^t; b^t, t+1)$	-0.11 *** (-4.03)	-0.24 *** (-5.51)	-0.17 *** (-4.99)
GY	0.26 ** (2.20)	0.34 ** (2.38)	0.34 *** (2.61)
GOP	0.11 (1.54)	0.04 (0.51)	0.06 (0.84)
D_1	-0.004 (-0.75)	-0.005 (-1.18)	-0.005 (-1.02)
定数項	1.09 *** (43.05)		1.15 *** (34.39)
$\bar{R}^2$	0.0900	0.2849	0.0802

(注) () 内は t 値。*** は 1% 水準 (両側検定) で, ** は 5% 水準で, * は 10% 水準でそれぞれ有意である。 $\bar{R}^2$ は自由度修正済決定係数。

マルムクイスト生産性指数は高い値となり, より高い効率性の水準へと到達することが可能である。また実質 GDP の年平均成長率の値はマルムクイスト生産性指数に有意に正の影響を与えており, 景気変動と生産性指数が正の相関関係にあることが確認できる。対外開放度の変化率は全ての推定方法で有意ではなく OECD 諸国では国際貿易を推進することが必ずしも環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数を上昇させることにはつながらないことが確認できる。ダミー変数の推定パラメータの値は全ての推定方法で有意ではなく, 2000年以前と以後でマルムクイスト生産性指数の大きさに構造変化は観察されない。

V 研究のまとめ

本研究の結果は以下のようにまとめられる。

- (1) OECD 加盟25カ国の中で16カ国の環境面を考慮したマルムクイスト生産性指数の値が1993年～2005年の期間に平均して上昇している。
- (2) 環境面を考慮しない場合でも13カ国のマルムクイスト生産性指数の値が推計期間に平均して上昇している。

- (3) OECD 加盟25カ国のマルムクイスト生産性指数の幾何平均は環境面を考慮した場合と考慮しない場合に関わらず推計期間においてほぼ等しい値となっている。
- (4) 2000年以後、OECD 加盟25カ国のマルムクイスト生産性指数の幾何平均は環境面を考慮した場合と考慮しない場合に関わらず低下することが多く観察されるようになった。
- (5) 効率性指標の推定パラメータの値は有意に負、実質 GDP 成長率の推定パラメータの値は有意に正となっている。

参考文献

- Färe, Rolf and Shawna Grosskopf, *New Directions: Efficiency and Productivity*, London, Kluwer Academic Pub., 2003.
- Färe, Rolf, Shawna Grosskopf and Carl Pasurka, "Accounting for Air Pollution Emissions in Measures of State Manufacturing Productivity Growth," *Journal of Regional Science*, 2001, vol. 41 (3), pp. 381-409.
- Färe, Rolf, Shawna Grosskopf and Carl Pasurka, "Pollution Abatement Activities and Traditional Productivity," *Ecological Economics*, 2007, vol. 62 (3-4), pp. 673-682.
- Kumar, Surender, "Environmentally Sensitive Productivity Growth: A Global Analysis Using Malmquist-Luenberger Index," *Ecological Economics*, 2006, vol. 56 (2), pp. 280-293.
- Pasurka, Carl, "Technical Change and Measuring Pollution Abatement Costs: An Activity Analysis Framework," *Environmental and Resource Economics*, 2001, vol. 18 (1), pp. 61-85.
- World Bank, *Where Is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century*, Washington, D. C.: World Bank, 2006.