

韓国・日本各地域の CO₂ 限界削減費用の推定について

時 政 昂

(受付 2009 年 11 月 2 日)

は じ め に

二酸化炭素や二酸化硫黄は化石燃料を燃焼させることで発生する汚染物質であるが、世界的な環境問題の元になっている。これらの、汚染物質を削減する際に、効率的な削減方法つまり、対象地域全体の削減費用を最小化する方法が望まれる。たとえば、環境税や排出権取引を利用してどの程度削減費用を抑制できるかが問われたりする。このとき、汚染物質削減方法（どの地域・産業部門を対象にするか）のいろいろな選択肢から選んでいく際、たとえば、どの地域でどれだけ削減すべきかを定めるさいに、決定的に重要になるのが、各地域の限界削減費用である。

本論文では、中国・韓国・日本という東アジア地域の温暖化防止問題を考え、これら3国の中で、全体的に汚染を削減する目的を達成する際に不可欠となる、各国・各地域の CO₂ の限界削減費用を推定する方法を検討したい。ここで、中国に関しては、ほかの機会（時政・王・許（2009））にゆだね、韓国・日本の個別地域別ごとに CO₂ 汚染削減費用を推定する。

また、日本に関しても、すでに、CO₂ 1 トン当たり限界削減費用が356~3938ドル（IPCC（2001））という計測結果も出されている。そこで、本論文では、主に韓国の SO₂ 削減費用の推定を目的とし、あわせて、日本の地域別の SO₂ 限界削減費用の推定についても触れる。

以下、第1節で基本的な視点、第2節でデータと推計式、第3節で韓国の限界削減費用の推定、第4節で日本の地域別限界削減費用の計測結果、第5節でまとめを述べる。

第1節 基本的な考え方

限界削減費用の推計方法としては、2つの考え方がある。1つは直接各産業の大気汚染削減投資のデータから、削減資本支出額（厳密には、この資本支出額を耐用年数で除した減価償却費分が一年間の汚染削減投資額となる）を求め、これに汚染削減活動の経費（運行費）をプラスして、求める方法がある。この方法は、個別企業のケースか、産業別の大気汚染削減投資のデータが利用できる、中国などについて行うことができる。

第2の方法は、このようなデータがない日本や韓国のような場合、マクロの産業の粗付加価値や総営業余剰と汚染排出量のデータを用いて間接的に限界削減費用を推定する方法であ

る。つまり、汚染削減を、削減装置設置でなく、生産削減により達成しようとしたさいに失うであろう粗付加価値や営業余剰を削減費用と考える方法、つまり機会費用アプローチと言うべきものである。

企業や国は、ある汚染排出基準水準まで、排出量を削減することが求められたとき、削減装置を導入してその基準を達成することがむづかしいなら、企業はその産業から退出するか、一部事業所の閉鎖に踏み切るかなどの方法で、現状の排出量と基準排出量の差だけ生産の抑制を余儀なくされる。国はその分 GDP の生産を抑制して粗付加価値を失う。

この場合失うのは、現状排出量（BAU 排出量）の時の粗付加価値あるいは営業余剰と指令排出量のもとで得られる粗付加価値、または営業余剰の差と言うことになる。この粗付加価値または、営業余剰の差が、総削減費用を代理していると考えられる。

この点を図で説明してみよう。各産業は生産量や汚染排出量を増大させるとともに、利潤を増大させる。ただし汚染 1 単位当たり限界利潤は、完全競争下でも不完全競争下でも、私的限界費用が増大するので減少している。ところで現在の汚染水準 BAU (Business as usual) の排出水準から、汚染をあるレベルまで落とすことが要求されたときの限界削減費用とは、BAU のレベルから排出 1 単位削減するとき失う限界利潤と、排出を抑えた新しい指令汚染水準の時さらに 1 単位汚染削減が要求されたとき失う利潤（大きい限界利潤）の差と考えられる。現状である BAU 排出時の限界利潤を基準としてみるのである。なぜなら汚染を指令排出量から 1 単位減らすとき失う利潤が、BAU 時から汚染 1 単位減らすとき失う利潤を超える利潤分に削減量を乗ずれば総削減費用とみなすことができるからである。

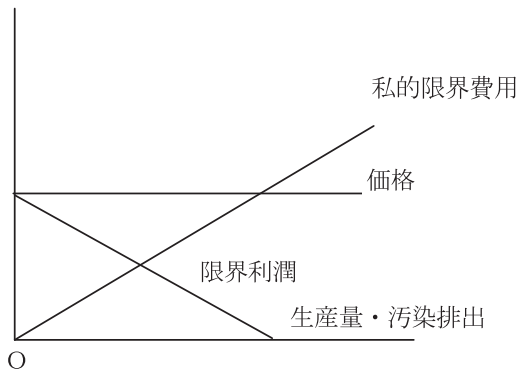


図-1 限界利潤の導出

別の言い方をすれば、汚染の限界利潤とは、ある水準から汚染を 1 単位増加させた生産物の限界価値（あるいはマクロレベルでは粗付加価値の増分）に対応するので、逆に汚染削減の限界費用とは、汚染を抑制することで失う限界生産物価値にみあう。なぜなら、汚染を 1

単位削減指令されたときに、企業が汚染を現在の生産を減らさないままで汚染削減をしようとすれば、汚染削減装置を設置する必要がある。企業や国は、汚染削減装置を設置して、従来の生産からの汚染排出を削減して生産を続ける方法がある。そのほかには、事業所の一部を閉鎖するなどの生産削減という方法がある。削減装置を設置するか、生産引き下げ行動に出るかは、汚染削減装置の設置による削減費用（年あたり削減量に対する費用としては削減装置の減価償却費と装置の運転費用の和）と生産削減により失う生産物価値の2つのどちらが大きいかによる。こうして、均衡において

削減装置を使う汚染1単位削減の費用 = 汚染1単位排出により得られる生産物の限界価値のBAU水準と削減水準のときの差、という関係が成り立つ。

したがって、汚染削減の限界費用を計測しようとするとき、各種削減技術や装置のコストを調査して汚染物質1単位当たりのコストを出す方法が困難なとき、汚染の生み出す限界付加価値を利用して削減コストを求めることができることになる。

汚染排出を説明変数とし粗付加価値を被説明変数とする生産関数を作ったとき、それを汚染排出量で微分したものが、汚染排出の限界価値とみなされる。言い換えるとこの生産関数の微分を作れば、これが汚染の限界利潤であり、汚染削減の限界費用にもなる。

なお、ここで注意すべきは、粗付加価値は、汚染排出つまり環境サービスの消費だけから生み出されるというよりも、投入労働量、資本量、土地量などの、生産要素による貢献部分も大きい。粗付加価値生産関数にはこれらの要因を入れる必要がある。ところが、これらの生産要素量の変化を明示的に入れると、問題の焦点が他の生産要素の働きに移ってしまう。そこで、A. Yiennaka et al (2001) や中野 (2004) のように、これらの一般の生産要素の投入量を時間の関数とみなして、一括することにする。つまりこれらの汚染物質以外の生産要素の投入量を、時間の関数で代用するのである。すると次のような粗付加価値生産関数を考えることができる。汚染以外の生産要素投入量が時間について指数的に増加すると考えるが、時間に関する2次か1次関数とする。

$$Y = e^{\alpha} E^b \exp(cT + dT^2) \quad (1)$$

ここで E は汚染排出量、 T は時間である。各産業や一国全体の全産業の粗付加価値が、二酸化炭素の排出 E によって生み出されていると想定するのである。

換言すると、

$$Y = e^{\alpha} E^b$$

という関数が T とともに上方シフトさせられていて、この $\exp(cT + dT^2)$ という上方シフトの要因が、時間 T とともに増加する投入する労働量、資本量、土地の変化や技術進歩を反映するとみるのである。したがって

$$\partial Y / \partial E = b e^{\alpha} E^{b-1} \exp(cT + dT^2) \quad (2)$$

がある汚染水準の場合の限界利潤となり、汚染削減の限界費用を測定するのに大きな役割を果たすのである。

さて、この生産関数の推定にあたって、(1)式の両辺の自然対数をとった式

$$\ln Y = \ln a + b \ln E + cT + dT^2 \quad (3)$$

を考えて

$$\ln Y = y, \ln a = \alpha, \ln E = e$$

とおくと、次のような1次式が得られる。

$$y = \alpha + be + cT + dT^2 \quad (4)$$

ここで b, c, d はパラメータ。この線形式を最小二乗推定して、(4)式のパラメータを推定し、汚染の限界利潤、限界削減費用の導出に持って行く。

第2節 データと推定方法

この(4)式を推定するのに必要となるデータは、一国全体または、各国地域別の粗付加価値と、CO₂ 排出量である。前者は、韓国・日本など各国「国民経済計算」から得られる。後者は OECD Environmental Data 1995, 1999, 2004 や各国政府のホームページなどから得られるエネルギー消費量データに CO₂ 排出係数を乗じて求める。

本論文では、韓国全体と日本の地区別に（北海道・東北、関東、中部、近畿、中国・四国、九州・沖縄の6地域別）区分して推計した。地域別区分を取り上げたのは、近時、わが国では道州制の議論など地区別の経済政策が重視されるためである。サンプル期間は、韓国では1991年～2008年までとした。

この推定は、データを韓国政府（韓国エネルギー経済研究院）のホームページより韓国のエネルギー消費のデータに基づき、それに一定のC排出係数を乗じて求めた。1991年から2008年のC排出量を以下のように導出した。これと韓国のGDPデータを用いて回帰分析を行い導出したが、データの系列相関の存在が予想されるので、プレイス・ウィンステン変換をしたデータに対し回帰分析を適用する。

	C 排出 t
1991年	14146992
1992年	13574338
1993年	14669597
1994年	15285898
1995年	16076207
1996年	18436076
1997年	20252389

韓国・日本各地域の CO₂ 限界削減費用の推定について

1998年	20973444
1999年	22204882
2000年	24973291
2001年	26587080
2002年	28573327
2003年	29747733
2004年	30917483
2005年	31883545
2006年	32989279
2007年	34715970
2008年	38445785

こうして、回帰分析を行った結果を記すと以下のようなになる。

シフト項が T の 2 次式である場合次のようになる。() 内は t 値

パラメータ	国全体
α	0.729922 (0.384352)
b	0.663985 (6.345201)
c	0.00311 (0.315573)
d	0.001014 (2.87611)
R^2	0.923074

こうして韓国一国全体の場合

$$Y = e^{0.72992} E^{0.66398} \exp(0.00311T + 0.001014T^2)$$

が得られる。

限界削減費用

本節では 2 つのシナリオを考える。分析期間中、二酸化炭素排出量が現状どおりのケース、つまり、CO₂ 排出が現状どおり伸びて行く経路をたどる E_0 の場合の限界利潤つまり、生産関数を E で微分した式の E_0 の時の値と、何らかの削減シナリオ、ここでは 2025 年において、1991 年を基準にして、そのときの CO₂ 排出量から 30%、20%、10% 増加、0%、10%、20%、30% 削減が行われる経路に従わねばならない E_1 となるときの限界利潤、つまり生産関数を E で微分した式の E_1 のときの値を求め、両者の限界利潤の差が、限界削減費用を表すと考える。

すなわち限界削減費用の推定式はシフト項が T の 2 次式の場合で

$$MAC = ab (E_1^{b-1} - E_0^{b-1}) \exp (cT + dT^2) \quad (5)$$

となる。

勿論推定式のシフト項が T の 1 次式の時は

$$MAC = ab (E_1^{b-1} - E_0^{b-1}) \exp (cT) \quad (6)$$

となる。

こうして、様々の削減比率 E_1 のもとでの限界削減費用を導出することができる。

第 3 節 韓国の限界削減費用曲線の推定結果

ここでは、BAU 排出量の場合と、2025年において、1991年比プラス30%、20%、10%、0%、マイナス10%、20%、30%にした排出量に抑えることが要請される場合の2009年～2025年の汚染の限界利潤（さらに1単位の追加削減を必要とするときの費用）がどの程度多くなるかにより、各年の限界削減費用が表される。限界削減費用の2009年～2025年の平均値をとれば次の表のようになる。この表をグラフ化したものが、図-2 である。

韓国の限界削減費用

	10億ウォン	10億円	万円/C トン	万円/CO ₂ トン
30%削減	0.002458	0.00018811	18.81054	5.130147
20%削減	0.002072	0.00015856	15.85598	4.324358
10%削減	0.002093	0.00016016	16.01614	4.368039
0%削減	0.001946	0.00014897	14.89676	4.062751
10%増	0.001817	0.0001391	13.9096	3.793526
20%増	0.001702	0.00013029	13.02895	3.55335
30%増	0.001599	0.00012236	12.23577	3.337027

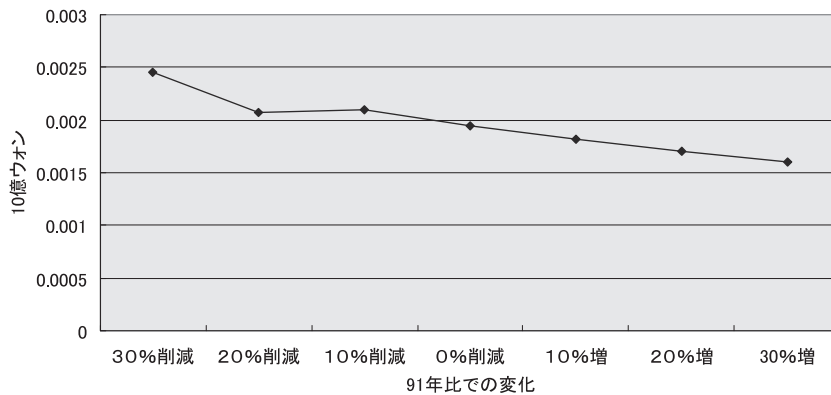


図-2 2009～2025年の限界削減費用の平均値

韓国・日本各地域の CO₂ 限界削減費用の推定について

こうして汚染削減水準に応じて C トン当たり 250 万～160 万ウォンの限界削減費用になるが、CO₂ トンあたりでは、60 万ウォン～44 万ウォンである。円表示では、CO₂ トンあたりで 5.1～3.3 万円に相当する。

このような大きい削減費用が現れるのは、91 年比で 30% 削減をした場合、2025 年において、現状の 2008 年比で 69% 削減、0% の場合でも 51% の削減、30% 増加の場合でも 43% の削減となるからである。

次にこれらの限界削減費の時系列的な動向を見て行くと、次の図に示すように、毎年の限界削減費用の負担は、時間の経過とともに単調増加して行くことがわかる。とくに、2016 年、2017 年ころより限界削減費用が急増を始め 2009 年の 10 倍のオーダーになること、また、抑制基準の違いによる限界削減費用の格差が広がって行くこと、つまりマイナス 20%、30% という厳しい抑制が掛かると急激に上昇することが見て取れる。つまり 1991 年比の削減目標が、プラス 30%、0%、マイナス 30% と汚染抑制基準が厳しくなるにつれ、限界削減費用はグラフの上方シフトが拡大して行くことが観察される。

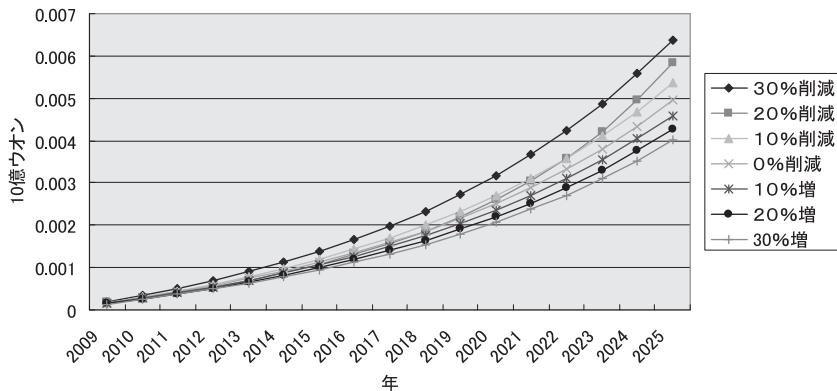


図-3 韓国の CO₂ 限界削減費用

第 4 節 日本各地域の限界削減費用の推計について

ここでは、韓国の値と比較するため日本の限界削減費用の推計結果について述べる。推計の方法としては、わが国で資源エネルギー庁から公表されている地域別（北海道・東北、関東、中部、近畿、中国・四国、九州・沖縄）エネルギー消費データ、特に C 単位での消費データと、各地域の GDP のデータを用いて、上で述べた韓国の場合と同様にして、汚染による生産関数を推定する。この場合も時間に関する 1 次あるいは、2 次のシフト項を導入した。さらに、データの系列相関の恐れのため、プレイス・ウィンステン変換を入れて、一般

化最小二乗法で回帰式を推定した。この地域 GDP の汚染に関する回帰式を微分して、汚染の限界費用を導出したが、その微係数の値について、BAU 経路に沿ったものと、CO₂ を 10%、20%、30%、40%、50%カットした量に抑えることが要請される経路に沿った場合との差によって、限界削減費用を導出する。これが、従来の排出量より排出がそれぞれ、10%、20%、30%、40%、50%カットした量に抑えることが要請されている場合とで、限界粗付加価値逸失額（さらに 1 単位の汚染削減を必要とするときの費用）がどの程度高くなるかを求め、限界削減費用の値を推計することが考えられる。ただし、日本の場合、パラメータ b の値がマイナスとなる地域が現れる場合がある。これは関東などでは、省エネなど汚染排出削減努力が実を結び、汚染排出の限界粗付加価値生産が、排出量が減少するにつれ増加するという状態にあるからである。この場合は、粗付加価値生産関数が時間経過とともにシフトする大きさが急激に高く現れる。そのような地域で同様の傾向が今後とも続くと期待するのは難しい。これは、削減目標が強化されればされるほど、限界 GDP が増える形になるが、それは環境サービス以外の労働・資本の投入が増えたからだと考える必要がある。しかし、過去の動きと同様の傾向を期待するには無理があり、そこで過去において、汚染の投入が少なくなつて資本や・労働の投入が伸びたと思われる地域では、労働・資本などを代理する、時間の項を 2 次ではなく 1 次式と見て推定を行った。そこで、限界削減コストを、BAU 排出量の場合と新基準排出量の場合の限界粗付加価値生産力の差と考えよう。このように定義した限界削減費用はそれぞれ次のようになる。

すなわち

$$MAC = ab (E_1^{b-1} - E_0^{b-1}) \exp (cT + dT^2) \quad (5)$$

また推定式のシフト項が T の 1 次式の時

$$MAC = ab (E_1^{b-1} - E_0^{b-1}) \exp (cT) \quad (6)$$

となる。

さて、地域別の推定式を掲示するのは、別の機会に譲り、ここでは結果だけ述べる。

日本の地域別限界削減費用 (90年比25%削減の場合)

	北海道・東北	関 東	中 部	近 畿	中国・四国	九州・沖縄
2007年	0.0115	0.0034	0.0088	0.0007	0.002555	0.0040
2008年	0.0238	0.0070	0.0178	0.0014	0.005247	0.0083
2009年	0.0369	0.0106	0.0271	0.0022	0.008083	0.0128
2010年	0.0509	0.0143	0.0366	0.0030	0.011068	0.0177
2011年	0.0659	0.0181	0.0463	0.0038	0.014208	0.0228
2012年	0.0819	0.0220	0.0562	0.0047	0.01751	0.0282
2013年	0.0989	0.0260	0.0664	0.0056	0.02098	0.0339
2014年	0.1171	0.0301	0.0768	0.0065	0.024626	0.0400
2015年	0.1364	0.0343	0.0875	0.0075	0.028453	0.0464

韓国・日本各地域の CO₂ 限界削減費用の推定について

2016年	0.1569	0.0386	0.0985	0.0086	0.03247	0.0531
2017年	0.1788	0.0430	0.1096	0.0096	0.036684	0.0603
2018年	0.2019	0.0475	0.1211	0.0107	0.041103	0.0678
2019年	0.2266	0.0521	0.1328	0.0119	0.045736	0.0758
2020年	0.2527	0.0569	0.1448	0.0131	0.05059	0.0842
2021年	0.2804	0.0617	0.1571	0.0143	0.055674	0.0930
2022年	0.3098	0.0667	0.1697	0.0156	0.060998	0.1023
2023年	0.3409	0.0719	0.1825	0.0170	0.066571	0.1122
2024年	0.3739	0.0771	0.1957	0.0184	0.072403	0.1225
2025年	0.4088	0.0825	0.2092	0.0198	0.078503	0.1334
平均（億円／千トン）	0.1765	0.0402	0.1023	0.0092	0.035445	0.0589
限界削減費用（万円／トン）	17.6520	4.01888	10.23487	0.91833	3.54453	5.886685

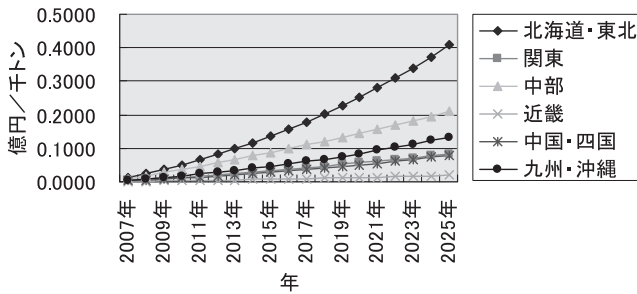


図-4 日本の地域別 CO₂ 限界削減費用

以上の推定結果から、日本各地区の C の限界削減費用は、排出削減量が90年比25%の場合1000トンあたり92万円から1760万円の間にあること、つまり1トンあたり0.9万円から17.6万円の間、平均で約7万円となることが確認できる。CO₂ 1トン当たりに換算するとこれは、0.9万円から4.8万円となり、平均で1.9万円に相当する。

地区別の特徴としては、もっとも低い値は近畿であり、続いて中国・四国、関東と続き、最も高いのは、北海道・東北であり、北海道・東北は、近畿の19倍の限界削減費用が掛かることになる。これは北海道・東北、中部の高い限界削減費用の地域ではエネルギー消費と汚染排出の成長率がこれまでプラスであったのに対し、近畿や中国・四国ではマイナスであった。このため、汚染削減による、GDP 抑制の影響が、プラス地域の北海道・東北、中部で、強く出るのに、マイナスの近畿や中国・四国では弱いと考えられる。

第5節 おわりに

本論文では、環境汚染抑制の経済政策手段として用いられる排出権取引や環境税のシステ

ムを設計したり、そのシステムの利益を推定する際に重要となる、限界削減費用について述べた。この場合、韓国のように、汚染排出の増加とともに、粗付加価値が増大する関係がある国の場合（これが通常のケースと考えられるが）と、日本の関東地区のように、汚染排出と粗付加価値生産の時系列的変化が逆相関にある国や地域の場合で、限界削減費用の計算方法を変える必要があることを示した。

推定結果として、韓国の CO₂ 削減コストは250万～160万ウォン、すなわち日本円に換算して CO₂ 1トンあたりで5.1～3.3万円になる。また、日本一国の場合、0.9万円から4.8万円となり、平均で1.9万円に相当する。

ただし限界削減費用を測定するもとなる、削減率は、韓国の場合1991年比でプラス30%からマイナス30%の間での一国レベルの値であるのに対し、日本の場合は、このたびの政府の公約も考慮して、90年比マイナス25%の削減を地区別に達成する時の限界削減費用を導出した。日本について地区別の推計を行った理由は、わが国において道州制の議論が唱えられ、地域格差が叫ばれるようになってきた現状から、温暖化対策としての政府の公約がどの程度の地域負担になるかを測定する目的もある。

もちろん、CO₂ 限界削減費用の推定は、環境税を実施するときの政府の基本データであり、また、筆者がかって SO₂ の場合に行ったように、排出権取引の利益推定の際に不可欠の道具である。排出権取引への適用に関しては、序で述べたように、日本、中国、韓国の間での排出権取引の分析に利用した結果を、ほかの機会に報告することにしたい。

参 考 文 献

- IPCC (2001), Climate Change 2001: Mitigation
 OECD, OECD Environmental Data compendium 2004, 1999, 1995 OECD Publishing
 OECD (2001), National Accounts of OECD Countries Vol. 1
 Ministry of Republic of Korea, 2005 ENVIRONMENTAL STATISTICS YEARBOOK
 時政 昺・王鵬飛・許磊 (2009)「日中韓の CO₂ 排出権取引利益の推定」日本応用経済学会秋季大会報告論文内閣府「国民経済計算年報」各年版
 中野牧子 (2004)「地球温暖化対策としての経済的手段と規制的手段の費用比較」『国民経済雑誌』190巻5号, pp 73-83
 羅朝揮・時政 昺 (2009)「中国各地域, 日本, 韓国間 SO₂ 排出権取引の便益推定」時政 昺・細江守紀編『応用経済学の課題と展開』勁草書房, pp 166-184
 Yiennaka, A., H. Furtan, and R. Gray (2001), "Implementing the Kyoto Accord in Canada: Abatement Costs and Policy Enforcement Mechanisms", Canadian Journal of Agricultural Economics 49, pp 105-126

[付記]

本研究の遂行に当たり、広島修道大学羅星仁教授より韓国の統計データに関する種々のご教示をいただいた。御礼申し上げます。また一部の計算を手伝ってくれた広島修道大学大学院経済学研究科王鵬飛氏に感謝する。