

KIER DISCUSSION PAPER SERIES

KYOTO INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH

<http://www.kier.kyoto-u.ac.jp/index.html>

Discussion Paper No. 0703

“環境報告書を用いた温室効果ガスにかかる限界削減費用の推定”

一方井 誠治、石川 大輔、
大堀 秀一、佐々木 健吾

2007 年 4 月



KYOTO UNIVERSITY
KYOTO, JAPAN

京都大学経済研究所
Discussion Paper No. 0703

環境報告書を用いた温室効果ガスにかかる
限界削減費用の推定

一方井 誠治、石川 大輔、
大堀 秀一、佐々木 健吾

2007 年 4 月

要約

本研究の目的は、近年になって企業が作成・公開を進めている環境報告書のデータを用いて、日本における温室効果ガスの限界削減費用を推計することである。温室効果ガスの限界削減費用の算出についてはこれまでに様々な研究が行われてきた。それらの先行研究は、いずれも限界削減費用を経済理論に基づいて定量的に算出しており、地球温暖化防止にかかる建設的な政策議論を行うにあたり非常に有用な情報を提供している点で大変意義深い。しかしながら、いずれの研究においても、算出された限界削減費用は足下の数値ではなく、将来において温室効果ガスを目標値まで削減したと仮定した場合の数値であり、その意味ではシナリオ分析の枠を出ていない。言うまでもなく、経済政策を議論する場合には、それを発動した場合の将来の予測(シナリオ分析)とともに、足下の現状についても把握しておくことが重要である。

本研究では、この「足下」における限界削減費用を推定する。その他の本研究における特徴としては、i)削減費用関数を企業の最適化行動より理論的に導出し、回帰式に要素価格を明示的に含めていること、ii)パネルデータを使用することで、多くのデータセットを確保することに努めていること、iii)「環境投資に起因するエネルギー節約分の金額換算値」を温室効果ガス削減費用から控除した場合の分析も行っていること、等を挙げることができる。分析の結果、以下のような興味深い事実が明らかになった。

第1に、削減量のデータに、温室効果ガス排出量の前年の値から当年のそれを引くことによって得られた系列のうち正のものを使用した場合の限界削減費用は全業種平均で約14500円、また削減量のデータに、売上高の変動が温室効果ガス排出量に与える影響を考慮して得られた温室効果ガス削減量のうち正のものを使用した場合のそれは約4400円という推計結果を得た。

第2に、温室効果ガスの削減費用から「環境投資に起因するエネルギー節約分の金額換算値」を控除したデータを用いた場合、限界削減費用は全業種平均で約2200円となる。

第3に、どのようなデータを用いたとしても、限界削減費用が高い業種はビール製造、電気機械であり、低い業種は建設である。

第4に、上記の限界削減費用の数値を先行研究のそれと比較すると、おおむね同程度か、あるいはそれよりも低い。温室効果ガスの排出に対して何ら明示的なコストが課せられない現状においては、そもそも環境投資を行ったとしても企業にとってはエネルギー費用の節約以外のメリットはそれほど多くないと考えられ、コストをかけて温室効果ガスの削減を行うインセンティブが小さいことを考えれば、この結果は非常に自然であると言える。

環境報告書を用いた温室効果ガスにかかる 限界削減費用の推定

一方井 誠治*
石川 大輔**
大堀 秀一***
佐々木 健吾****

1. はじめに

本研究の目的は、近年になって企業が作成・公開を進めている環境報告書のデータを用いて、日本における温室効果ガス¹の限界削減費用を推計することである。日本における温室効果ガスの排出量は、2005年現在、京都議定書で規定された削減目標である90年比6%削減を大きく上回る8.1%の増加(2006年速報値)となっている。このような厳しい状況の中、日本が京都議定書の第一約束期間の最終年である2012年までに削減目標を達成し、その後もさらに同ガスの削減を進めていくとすれば、かなり思い切った国内対策の導入が必要になるものと考えられる。具体的にどのような施策が望ましいのかについては、既に様々な議論が行われてきているところではあるが、それらの中でも実効性や経済合理性を兼ね備えたものとして、EUで導入されているキャップ付きの排出量取引や環境税といった経済メカニズムを活用した施策が一つの選択肢として検討されている。

もし、このような経済メカニズムを活用した政策が導入されたとすると、温室効果ガスを現在から追加的に1単位削減するのに必要な費用、すなわち限界削減費用の把握が企業や行政にとって極めて重要な要素となってくる。企業においては、温室効果ガスの発生を伴う生産を行う際、排出権を購入するのか(環境税を払って温室効果ガスを排出するのか)、それとも自社内でコストをかけて同ガスを削減するのか、どちらがメリットになるのかの

* 京都大学経済研究所附属先端政策分析研究センター教授

** 京都大学経済研究所附属先端政策分析研究センター助教

*** 岐阜聖徳学園大学経済情報学部准教授

**** 京都大学経済研究所附属先端政策分析研究センター研究員

¹ ここでいう温室効果ガスとは、京都議定書によって規定されている6種類のガス、すなわち二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)、ハイドロフルオロカーボン(HFC)、パーフルオロカーボン(PFC)、六フッ化硫黄(SF₆)のことを指している。

判断を迫られことになるが、その際には限界削減費用にかかる正確な情報が必要になる。また、行政においても、温室効果ガスの排出枠や環境税率をできるだけ公平に設定するためには、企業側の限界削減費用にかかる情報はやはり必要不可欠のものになる²。

このような問題意識に基づき、温室効果ガスの限界削減費用の算出については様々な研究が行われてきた。それらを大別すると、①個別技術に注目し積み上げ計算によって直接費用を求める方法(ボトムアップ・アプローチ)、②マクロ経済モデルを用いたシミュレーション分析に基づく推計(トップダウン・アプローチ)がある。①のボトムアップ・アプローチによる研究のうち代表的なものとしては、環境省中央環境審議会地球環境部会(2001)がある。そこでは、日本における2010年の温室効果ガス排出量を90年比で5%削減する場合の限界削減費用が計算されているが、その値は約27000円/tCO₂と見積もられている³。②のトップダウン・アプローチによる研究をサーベイしたものとしては、同じく環境省中央環境審議会地球環境部会(2001)がある。そこでは、様々な前提条件の下、4つのマクロ経済モデルを用いたシミュレーション分析の結果がまとめられており、日本における2010年の二酸化炭素排出量を90年比で2%削減する場合の限界削減費用は、約3500円/tCO₂から9500円/tCO₂の範囲にあると見積もられている。

以上の先行研究は、いずれも限界削減費用を経済理論に基づいて定量的に算出しており、地球温暖化防止にかかる建設的な政策議論を行うにあたり非常に有用な情報を提供している点で大変意義深い。しかしながら、上記のいずれの研究においても、算出された限界削減費用は足下の数値ではなく、将来において温室効果ガスを目標値まで削減したと仮定した場合の数値であり、その意味ではシナリオ分析の枠を出ていない。言うまでもなく、経済政策を議論する場合には、それを発動した場合の将来の予測(シナリオ分析)とともに、足下の現状についても把握しておくことが重要である。

本研究は、この「足下」における限界削減費用を、企業が公開している環境報告書のデータを用いて直接推定しようとするものである。この分析により、不足していた足下の限界削減費用に関する情報が明らかになることが期待できる。その他の本研究における特徴としては、i)削減費用関数を企業の最適化行動より理論的に導出し、回帰式に要素価格を明示的に含めていること、ii)パネルデータを使用することで、多くのデータセットを確保することに努めていること、iii)「環境投資に起因するエネルギー節約分の金額換算値」を温室効果ガス削減費用から控除した場合の分析も行っていること、等を挙げることができる⁴。

² キャップ付き排出量取引制度、または環境税を導入した場合、企業間の限界削減費用は自動的に均等化されるため、政策にかかる効率性の達成のためには限界削減費用の情報は必要とならない。詳細は、Baumol and Oates (1988)を参照のこと。

³ 電力消費削減量を温室効果ガス削減量に換算する時の排出係数を火力平均排出係数とした場合。

⁴ 本研究と時期を同じくして、環境報告書のデータを用いて温室効果ガスにかかる限界削減費用を実証的に計測した朱(2007)が発表された。本研究が朱(2007)と異なっている点は、i)

本稿の構成は以下の通りである。2節では理論モデルを定式化し、削減費用関数を導出する。3節では本研究で扱うデータおよび実証分析の方法について説明する。4節では実証分析による推定を行い、限界削減費用を算出する。5節は、結びである。

2. モデル

本節では、温室効果ガスにかかる限界削減費用関数を理論的に導出し、同ガスの削減量に関する一階の偏微分係数を計算することで限界削減費用を求める。

ここでのモデルでは、企業は温室効果ガス削減にかかる費用を最小化するように行動していると想定する。また、全ての生産要素価格(賃金率、資本コスト)は外生変数であると仮定する⁵。このとき、企業の費用最小化問題は次のように定式化される。

$$\begin{aligned} \min_{\{K, L\}} : TC_{env} &= p_{env}^k K_{env} + p_{env}^l L_{env} \\ \text{s.t. } Q &\geq F(K_{env}, L_{env}) = e^{\mu} K_{env}^{\alpha} L_{env}^{\beta} \quad (\alpha + \beta = r) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 TC_{env} は温室効果ガス削減にかかる総費用、 p_{env}^k は資本のユーザーコスト、 K_{env} は温室効果ガス削減のための資本ストック、 p_{env}^l は賃金率、 L_{env} は温室効果ガス削減のための労働投入量、 Q は温室効果ガス削減量、 $F(K_{env}, L_{env})$ は温室効果ガス削減にかかる技術を表す関数(以下、削減関数という)である。また μ 、 α 、 β 、 r は定数である。

上記の費用最小化問題における技術制約式は、温室効果ガス削減量 Q が同ガス削減のための資本ストック K_{env} 及び労働投入 L_{env} によって決定されることを示している。 μ 、 α 、 β 、 r は削減技術の特徴付ける正の定数で、 $\alpha + \beta = r$ の制約を先験的に課す。ここで、 r は削減技術の規模に関する収穫性を表す定数であり、 $r = 1$ の場合はよく知られているように削減技術が規模に関して収穫一定であることを示している。

費用最小化問題(1)の一次条件(最適条件)は、次のようになる。

削減費用関数を企業の最適化行動より理論的に導出し、回帰式に要素価格(資本のユーザーコストと賃金率)を明示的に含めていること、ii) パネルデータを使用することで時系列的要素も考慮していること、iii) 「エネルギー節約分の金額換算値」を削減費用から控除した場合の分析(4.2節で詳説)も行っていること、等が挙げられる。

⁵ 賃金率は労働組合との交渉によって決定されることを考えれば、企業の経営者が短期において容易に変更することは難しいであろう。また、資本コストについても競争的な資本市場において決定されていると考えれば、これらの生産要素価格が外生変数であるという仮定は、それほど現実と違わないものと思われる。

$$\frac{\left(\frac{\partial F}{\partial K_{env}}\right)}{\left(\frac{\partial F}{\partial L_{env}}\right)} = \frac{p_{env}^k}{p_{env}^l} \quad (2)$$

最適条件式(2)と $Q = e^\mu K_{env}^\alpha L_{env}^\beta$ を連立させて K_{env} と L_{env} について解き、それらを式(1)の目的関数に代入して整理すると次の削減費用関数を得る。

$$TC_{env} = r \left(e^\mu \alpha^\alpha \beta^\beta \right)^{-1/r} Q^{1/r} \left(p_{env}^k \right)^{\alpha/r} \left(p_{env}^l \right)^{\beta/r}$$

$$\Leftrightarrow \ln(TC_{env}) = const + \frac{1}{r} \ln(Q) + \frac{\alpha}{r} \ln(p_{env}^k) + \frac{\beta}{r} \ln(p_{env}^l) \quad (3)$$

式(3)は、温室効果ガス削減費用は、削減量が多いほど、資本のユーザーコストが高いほど、賃金率が高いほど高くなることを示している。

最後に削減技術に関する制約式 $\alpha + \beta = r$ を代入すると、実証分析で用いられる削減費用関数を得る。

$$\ln(TC_{env}) = const + \frac{1}{r} \ln(Q) + \frac{\alpha}{r} \ln(p_{env}^k) + \frac{r-\alpha}{r} \ln(p_{env}^l)$$

$$\Leftrightarrow \ln(TC_{env}/p_{env}^l) = a_0 + a_1 \ln(Q) + a_2 \ln(p_{env}^k/p_{env}^l) \quad (4)$$

ただし、 $a_1 \equiv 1/r (> 0)$ 、 $a_2 \equiv \alpha/r (> 0)$ である。

限界削減費用 MAC は、式(4)を削減費用 TC_{env} について解き、それを削減量 Q で偏微分することにより、以下のように求めることが出来る。

$$MAC \equiv \frac{\partial TC_{env}}{\partial Q} = a_1 e^{a_0} Q^{a_1-1} \left(p_{env}^k / p_{env}^l \right)^{a_2} p_{env}^l \quad (5)$$

3. データと実証分析の方法

使用するデータは、企業が公表している環境報告書及び有価証券報告書より主に得た。時間的な制約もあり、今回は環境に関するデータが比較的良好に整備されている業種、具体的には、ビール製造、自動車、電気機械、建設、電力、ガスの6業種(業界)に属している企

業のデータに限って収集した。標本期間は 1999 年度から 2005 年度まで、タイムスパンは 1 会計年度である。データの種類はアンバランス・パネルデータである。

環境報告書は、作成・公表が法律で義務づけられているものではないため、その内容や仕様は基本的に各企業に任せられている。このような中、事業者の環境活動にかかる費用・効用の定量的な把握を支援するため、環境省は 1999 年 3 月に「環境会計ガイドライン」を作成した⁶。企業が環境会計を作成する場合には、この「環境会計ガイドライン」に依拠している場合が多い。今回の調査においては、データの統一性を確保するため、環境報告書中の環境会計が上記の「環境会計ガイドライン」に依拠している企業のみをデータ収集の対象とした。企業名は付録Aに記載されている。

温室効果ガス削減費用 TC_{env} は、環境報告書の環境会計に記載されている「地球環境保全コスト」（「環境会計ガイドライン」による項目）より得た。「地球環境保全コスト」は、温室効果ガスの削減費用、及びオゾン層破壊防止のための費用等で構成されている⁷。費用の細目は、設備にかかる減価償却費、人件費、一般経費等である。なお、上記コストが生産のための費用とオーバーラップする場合には、適当な差分・按分計算が求められている。単位は 100 万円である。

温室効果ガス削減量 Q (CO_2 トン換算値)については、環境報告書に記載されている温室効果ガス排出量の前年の値から当年のそれを引くことによって求めることを試みた。しかしながら、このようにして得られた削減量 Q の半数近くは負の値をとり、多くの企業で温室効果ガス排出は増加しているという結果を得てしまった。前節で導出した費用関数(3)（又はその対数形(4)）は、温室効果ガス削減量 Q について正の値を想定していることから、この点については何らかの対処が必要となるものと考えられる。今回は、以下の二つの対処法を考えた。

第一の対処法は、温室効果ガス削減量 Q が正の値をとるサンプルのみを採用することである。ただし、この方法を採用すると、サンプル数が 128 から 57 に減ってしまうというデメリットがある。この方法で算出される温室効果ガス削減量 Q を、以降は Q_0 と表記する。

第二の対処法は、温室効果ガス排出量が増加した原因を回帰分析によって明らかにし、説明変数(温室効果ガス排出量)からその影響(係数推定値×原因となる変数)を控除した系列を作成し、その系列の前年の値から当年のそれを引いて削減量 Q を求めることである。環境報告書の内容の分析、ならびにいくつかの企業に対して直接ヒアリングを行った結果、温室効果ガス排出量が増加した主な原因は、近年の景気回復によって売上高が増加したことである可能性が高いと判断された。そこで、温室効果ガス排出量を、売上高(単位: 百万円)、業種ダミー、年度ダミーに回帰させる分析を行った。この回帰分析においては、環境会計が連結企業(単体企業)を対象としている場合は、売上高も連結決算(単体決算)のデータ

⁶ 以降、2005 年度までに 2 回の改訂が行われている。

⁷ 大気汚染(酸性雨も含む)、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、悪臭、地盤沈下の防止のために発生する費用は、「公害防止コスト」に計上される。

を採用している。また、企業規模の大小が分散不均一性に与える影響を緩和するため、White による robust standard error を採用している。結果は表 1 のようになった。

表 1 売上高が温暖化ガス排出量に与える影響

変数	
売上高	0.687 (2.243)**
ビール製造ダミー	-2.563e+5 (-0.516)
自動車ダミー	-2.875e+6 (-2.171)**
電気機械ダミー	-1.265e+6 (-1.352)
建設ダミー	-3.338e+5 (-0.947)
電力ダミー	3.760e+7 (8.680)***
1999 年度ダミー	-9.944e+4 (-0.224)
2000 年度ダミー	-4.043e+5 (-0.149)
2001 年度ダミー	-4.538e+5 (-0.352)
2002 年度ダミー	-4.074e+5 (-0.230)
2003 年度ダミー	-1.284e+6 (-0.760)
2004 年度ダミー	2.454e+5 (0.119)
2005 年度ダミー	4.645e+5 (0.222)
サンプル数	160
R ²	0.70612

注: ()内は Robust t 統計量。有意水準(***1%、** 5%、* 10%)。

ガスダミーについては、多重共線性が発生するために落として推定している。

この分析の結果、売上高は温室効果ガス排出量に対して有意な正の影響を与えていることが明らかになった。そこで、上で説明したとおり、温室効果ガス排出量から売上高の影響($0.687 \times$ 売上高)を控除した系列を作成し、その系列の前年の値から当年のそれを引くことで、売上高の変動を考慮した温室効果ガス削減量を計算した。その結果、左記削減量が正の値をとるサンプルは 81 個であった。この方法で算出される温室効果ガス削減量 Q を、以降は Q_i と表記する。

温室効果ガス削減にかかる資本のユーザーコストと賃金率は、それらを計算するために必要なデータが存在しない。そこで今回の分析においては、それらの要素価格は会社全体におけるそれと等しいと仮定し計算することにした。

企業 i の資本のユーザーコスト p_i^k は、投資の調整費用が存在しない場合には、以下の式で近似できることが知られている(付録 B を参照)。

$$p_i^k = (rate_i + \delta_i - \pi^I) p^I \quad (6)$$

ここで、 $rate_i$ 、 δ_i 、 π^I 、 p^I は、それぞれ企業*i*の資金調達金利、減価償却率、マクロの資本財デフレーターの変化率、マクロの資本財デフレーターである。資金調達金利は、損益計算書に記載されている支払利息を、前年における短期借入金、1年以内返済予定長期借入金、1年以内償還予定社債、長期借入金、社債・転換社債(以上、貸借対照表の負債の部に記載)の合計額で割って求めた。減価償却率については、キャッシュフロー計算書に記載されている減価償却費を、有形固定資産とソフトウェア(以上、貸借対照表の資産の部に記載)の合計額で割って各年の減価償却率を算出し、それらを各企業で平均して求めた。従って、減価償却率は、各企業で1つ存在することになる。なお、以上のデータは連結決算のものを用いている(単体決算では欠損値が存在したため)。マクロの資本財デフレーターについては、日本銀行調査統計局「物価指数年報」に記載されている需要段階別・用途別指数のデータから、需要段階=最終財、用途別=資本財の系列(2000年を1とする指数)を採用した。

企業*i*の賃金率 p_i^I については、給与・福利厚生費(業務費及び一般管理費にかかる明細表に記載)と労務費(製造原価にかかる明細表に記載)の合計を、従業員数で割って求めた。なお、以上のデータは単体決算のものを用いている(連結決算では欠損値が存在したため)。以上で述べたデータの記述統計量は、表2にまとめられている。

表 2 記述統計量

変数	Obs	平均値	標準偏差	最小値	最大値
売上高	160	2.75e+6	3.40e+6	4.28e+4	2.10e+7
資金の調達金利	160	0.0188	0.0083	0.0031	0.0414
減価償却率	160	0.1325	0.0759	0.0316	0.2754
賃金率	160	10.51	2.48	5.14	16.28
資本財デフレーター	160	0.8960	0.0437	0.8510	1.0220
資本のユーザーコスト	160	0.1625	0.0699	0.0490	0.3303
温室効果ガス削減費用	160	1676.81	2194.05	1	9980
温室効果ガス <u>排出量</u>	160	8.68e+6	1.95e+7	1.20e+4	1.09e+8
温室効果ガス削減量(0)	57	2.56e+5	7.86e+5	4.27e+2	5.31e+6
温室効果ガス削減量(1)	81	3.05e+5	6.93e+5	1.64e+3	5.27e+6
エネルギー節約分の 金額換算値	108	3260.81	10346.08	-1900	84400
〈業種ダミー〉					
ビール製造	160	0.0813	0.2741	0	1
自動車	160	0.1813	0.3864	0	1
電気機械	160	0.2813	0.4510	0	1
建設	160	0.1688	0.3757	0	1
電力	160	0.2125	0.4104	0	1
ガス	160	0.0750	0.2642	0	1
〈年度ダミー〉					
1999 年度	160	0.0063	0.0791	0	1
2000 年度	160	0.0500	0.2186	0	1
2001 年度	160	0.1313	0.3387	0	1
2002 年度	160	0.1688	0.3757	0	1
2003 年度	160	0.2000	0.4013	0	1
2004 年度	160	0.2250	0.4189	0	1
2005 年度	160	0.2188	0.4147	0	1

注：Obs はサンプル数。単位は、売上高、賃金率、温室効果ガス削減費用、エネルギー節約分の金額換算値については 100 万円、温室効果ガス排出量、温室効果ガス削減量については「CO₂換算トン」である。

次に、実証分析の方法について説明する。今回の分析ではパネルデータが用いられていることから、企業の個別効果について考慮する必要がある。すなわち、Hausman検定により説明変数と誤差項との間に相関があることが確認されれば、係数推定値は一致性を失い、推定の信頼性が大きく揺らぐことになるためである。この問題に対する通常の解決策は、各変数の企業別平均値を回帰式から差し引いたり(個別効果モデル)、前年との差分をとったりすることで個別効果を除去することである⁸。しかしながら、今回の分析の主目的は、仮説検定を行うことというよりも、むしろ限界削減費用を求めることであるから、同費用の算出を難しくするような回帰式の加工はできるだけ避けたい。そこで、今回の分析においては、企業の個別効果は同一業種内では等しいという仮定をおき、業種ダミーを推定式に付加することで企業の個別効果をコントロールする方法を採用する。また、年度ごとの個別効果については、推定式に年度ダミーを付加することで対処する。以上より、今回の実証分析で使用する回帰式は以下のようになる。

$$\ln(TC_{env}/p^l) = a_1 \ln(Q_x) + a_2 \ln(p^k/p^l) + \sum_j a_j \times dm_j + \sum_t a_t \times dm_t + \varepsilon \quad (7)$$

ただし、 dm_j は業種 j のダミー変数を、 dm_t は年度 t のダミー変数を、 ε は誤差項を表す。なお、符号条件については、2節でも述べたように $a_1 > 0$ 、 $a_2 > 0$ である。

4. 実証分析

本節では、以上で議論した回帰式およびデータを用いて、温室効果ガスの限界削減費用の推定を行う。

4.1 実証分析の結果 (1)

回帰式(7)の推計結果は表3にまとめられている。なお、推計においては、企業規模の大小が分散不均一性に与える影響を緩和するため、Whiteによるrobust standard errorを採用している(以下、全ての推定でWhite標準誤差を採用している)。また、温室効果ガス削減量 Q_x については、3節で述べた二つの系列、すなわちi)温室効果ガス排出量の前年の値から当年のそれを引くことによって得られた系列のうち正のもの(Q_0)、ii)売上高の変動が温室効果ガス排出量に与える影響を考慮して得られた温室効果ガス削減量のうち正のもの(Q_1)、が用いられていることに注意されたい。

⁸ もしくは、企業ダミーを付加して推定を行うことも考えられる。しかしながら、今回の分析ではサンプル数が比較的少数であるため、企業ダミーを付加する方法では説明変数の自由度が不足してしまうという問題が発生する。従って、この方法を採用することは難しい。

推計結果は良好である。第一に、 $\ln(Q_x)$ にかかる係数については、全ての場合で有意に正となっており、符号条件と整合的である。第二に、 $\ln(p^k/p^l)$ にかかる係数については、有意ではなかったものの全ての場合で正の値をとっており、符号条件と整合的である。

次に、これらの係数推定値及び式(5)を用いて、業種ごとの限界削減費用の平均値を算出したのが表4である。削減量のデータに Q_0 を使用した場合、限界削減費用の全業種平均は約14500円であり、業種ごとの限界削減費用はビール製造、電気機械、ガス、自動車、建設、電力の順に高かった。削減量のデータに Q_1 を使用した場合、限界削減費用の全業種平均は約4400円であり、業種ごとの限界削減費用はガス、ビール製造、電気機械、電力、自動車、建設の順に高かった。

削減量のデータが Q_0 と Q_1 の場合を比較すると、限界削減費用の絶対値については Q_0 (売上高の変動による影響を調整していない系列)の場合の方が全般的に高い。ところが、業種ごとの傾向については両者でほぼ共通しており、限界削減費用が高い業種はビール製造、電気機械であり、低い業種は建設となっている。

表3 削減費用関数の推定

変数	削減量のデータに Q_0 を使用	削減量のデータに Q_1 を使用
$\ln(Q_x)$	0.262 (2.355)**	0.244 (2.042)**
$\ln(p^k/p^l)$	1.034 (1.416)	0.429 (0.877)
ビール製造ダミー	0.269 (0.706)	1.200 (1.918)*
自動車ダミー	-1.335 (-2.789)***	0.160 (0.201)
電気機械ダミー	-1.199 (-1.319)	0.676 (0.721)
建設ダミー	-1.356 (-2.086)**	-0.718 (-0.897)
電力ダミー	0.240 (0.429)	1.362 (1.804)*
2000年度ダミー	5.862 (1.594)	1.859 (0.781)
2001年度ダミー	5.900 (1.708)*	1.833 (0.788)
2002年度ダミー	7.127 (2.070)**	2.870 (1.265)
2003年度ダミー	6.388 (1.823)*	2.732 (1.193)
2004年度ダミー	6.406 (1.811)*	2.812 (1.250)
2005年度ダミー	7.033 (1.970)*	3.121 (1.357)
サンプル数	57	81
R^2	0.94274	0.94477

注：()内はRobust t統計量。有意水準(***1%、** 5%、* 10%)。ガスダミーについては、多重共線性が発生するために落として推定している。 Q_0 は温室効果ガス排出量の前年の値から当年のそれを引くことによって得られた系列のうち正のもの、 Q_1 は売上高の変動が温室効果ガス排出量に与える影響を考慮して得られた温室効果ガス削減量のうち正のものである。

表 4 業種ごとの限界削減費用の平均値

業種	削減量のデータに Q_0 を使用		削減量のデータに Q_1 を使用	
	平均値	Obs	平均値	Obs
全業種平均	14497 (5716)	57	4427 (762)	81
ビール製造	58302 (40868)	7	9263 (1701)	5
自動車	5082 (1272)	10	1485 (348)	21
電気機械	17804 (8235)	16	7046 (1718)	28
建設	4181 (902)	12	1339 (375)	12
電力	1585 (312)	11	1502 (332)	11
ガス	14898 (-)	1	12800 (5881)	4

注：単位は「円/CO₂換算トン」。Obsはサンプル数。()内は標準偏差を表す。削減量 Q_0 、 Q_1 の説明については、表 3 の注を参照。

4.2 実証分析の結果 (2) (エネルギー節約費用を控除した場合)

環境省中央環境審議会地球環境部会(2001)における報告書によれば、環境投資に起因するエネルギー費用の節約が発生している場合には、それは温室効果ガス削減費用から控除されるべきであるとしている。そこで本節においては、温室効果ガスにかかる削減費用 TC_{env} から、環境会計に記載されている「(環境投資に起因する)エネルギー節約分の金額換算値」⁹を控除した系列 TC_{env_mrt} を作成し、その系列を用いて限界削減費用を推定することを試みる。 TC_{env_mrt} に関する記述統計量は、表 5 に示されている。

⁹ 記述統計量については表 2 を参照のこと。

表 5 エネルギー節約費用を控除した削減費用に関する記述統計量

変数	Obs	平均値	標準偏差	最小値	最大値
TC_{env}	124	1795	2331	5	9980
TC_{env_mrt}	85	-840	9222	-79700	11600
$TC_{env_mrt} (>0)$	46	1695	2975	27	11600
$TC_{env_mrt} (\leq 0)$	39	-3831	12670	-79700	0

注: Obs はサンプル数。単位は 100 万円である。

表 5 をみると、 TC_{env_mrt} の全サンプル数は 85 であり、それが正の値をとっているものは 46 サンプル、負の値をとっているものは 39 サンプルとなっている¹⁰。これは、温室効果ガスにかかる削減費用は、「(環境投資に起因する)エネルギー節約分の金額換算値」を差し引けば約半数の企業でマイナスとなることを示している。これを換言すれば、大半の企業は「エネルギーが節約されるというメリット」を狙って環境投資を行っているということになるのかもしれない。以下の推計においては、「 TC_{env_mrt} 」及び「温室効果ガス削減量 Q_x 」

が両方とも正の値をとるサンプルを対象として分析を行う。

TC_{env_mrt} のデータを用いた回帰式(7)の推計結果は表 6 にまとめられている。第一に、 $\ln(Q_x)$ にかかる係数については、削減量に Q_0 を用いた場合には有意に正、削減量に Q_1 を用いた場合には有意ではないものの符号は正となっており、両者とも符号条件と整合的である。第二に、 $\ln(p^k/p^l)$ にかかる係数については、全ての場合において有意ではなく、削減量に Q_0 を用いた場合には符号は負、削減量に Q_1 を用いた場合には符号は正となり、後者のみが符号条件と整合的となっている。

次に、これらの係数推定値及び式(5)を用いて、業種ごとの限界削減費用の平均値を算出したのが表 7 である。ただし、削減量に Q_0 を用いた推計においては符号条件が満たされなかったため、その推計結果に基づいた計算は行っていない。削減量のデータに Q_1 を使用した場合、限界削減費用の全業種平均は約 2200 円であり、業種ごとの限界削減費用はビール製造、ガス、電気機械、自動車、電力、建設の順に高かった。

¹⁰ なお、 TC_{env_mrt} のサンプル数は 85 となっており、 TC_{env} のサンプル数 124 から 39 減少している。これは、「(環境投資に起因する)エネルギー節約分の金額換算値」を報告していない企業が 39 社あったことを反映している。

表 6 削減費用関数の推定（エネルギー節約費用を控除した場合）

変数	削減量のデータに Q_0 を使 用	削減量のデータに Q_1 を使 用
$\ln(Q_x)$	0.386 (2.501)**	0.145 (1.123)
$\ln(p^k/p^l)$	-0.461 (-0.429)	0.579 (0.558)
ビール製造ダミー	-0.257 (-0.302)	0.386 (0.747)
自動車ダミー	0.617 (0.472)	-0.889 (-0.790)
電気機械ダミー	0.085 (0.078)	-0.350 (-0.254)
建設ダミー	-1.613 (-2.572)**	-2.823 (-4.408)***
電力ダミー	-0.185 (-0.352)	1.146 (1.280)
2001 年度ダミー	-3.789 (-0.745)	3.231 (0.670)
2002 年度ダミー	-1.849 (-0.355)	4.974 (1.017)
2003 年度ダミー	-1.835 (-0.347)	4.994 (1.004)
2004 年度ダミー	-1.621 (-0.323)	5.179 (1.039)
2005 年度ダミー	-1.424 (-0.275)	5.240 (1.080)
サンプル数	19	26
R^2	0.98233	0.96999

注：（ ）内は Robust t 統計量。有意水準 (***1%、** 5%、* 10%)。ガスダミーについては、多重共線性が発生するために落として推定している。2000 年度のサンプルがなかったため、同年度ダミーは落として推定している。削減量 Q_0 、 Q_1 の説明については、表 3 の注を参照。

表 7 業種ごとの限界削減費用の平均値
(エネルギー節約費用を控除した場合)

業種	削減量のデータに Q_1 を使用	
	平均値	Obs
全業種平均	2158 (804)	26
ビール製造	4855 (1374)	2
自動車	1380 (396)	6
電気機械	2461 (1853)	11
建設	47 (-)	1
電力	1069 (372)	4
ガス	3354 (830)	2

注: 単位は「円/CO₂換算トン」。Obsはサンプル数。()内は標準偏差を表す。削減量 Q_1 の説明については、表 3 の注を参照。

5. おわりに

本研究では、企業が公開している環境報告書のデータを用いて、日本における温室効果ガスの限界削減費用を推計した。その結果、以下のような興味深い事実が明らかになった。

- ① 削減量のデータに Q_0 (温室効果ガス排出量の前年の値から当年のそれを引くことによって得られた系列のうち正のもの)を使用した場合の限界削減費用は全業種平均で約 14500 円、削減量のデータに Q_1 (売上高の変動が温室効果ガス排出量に与える影響を考慮して得られた温室効果ガス削減量のうち正のもの)を使用した場合のそれは約 4400 円となる。ただし、これらの数値は環境省中央環境審議会地球環境部会(2001)による限界削減費用の定義とは整合的でないことに注意が必要である。
- ② 温室効果ガスの削減費用から「環境投資に起因するエネルギー節約分の金額換算値」を

控除した TC_{env_mrt} のデータを用いた場合、限界削減費用は全業種平均で約 2200 円となる(削減量のデータには Q_1 を使用)。

- ③ どのようなデータを用いたとしても、限界削減費用が高い業種はビール製造、電気機械であり、低い業種は建設である。
- ④ 上記の限界削減費用の数値を先行研究のそれと比較すると、おおむね同程度か、あるいはそれよりも低い。

なお、④の結果は、温室効果ガスの排出に対して何ら明示的なコストが課せられない現状においては、そもそも環境投資を行ったとしても企業にとってはエネルギー費用の節約以外のメリットはそれほど多くないと考えられ、コストをかけて温室効果ガスの削減を行うインセンティブが小さいことを考えれば、この結果は非常に自然であると言える。

最後に、将来における課題について述べる。第一に、今回は時間的な制約もあり、多くのデータを集めることができなかったが、今後の研究においては、できるだけ多くのサンプルを集めることで推計の信頼性を上げ、様々な業種の特性を浮かび上がらせることに努めることである。第二に、売上高の変動が排出量に与える影響については、今回は単純に回帰分析を行いその影響を取り除いたが、この点に関しても改善が必要となろう。

【参考文献】

Baumol, W. and W. Oates (1988), *The Theory of Environmental Policy*, Cambridge University Press, Cambridge.

環境省中央環境審議会地球環境部会(2001)、「目標達成シナリオ小委員会 中間とりまとめ」、環境省。

朱(2007)、「環境会計データを用いた二酸化炭素の限界削減費用の推定」神戸大学修士論文。

【付録 A】 企業名

○ビール製造 (4 社)

アサヒビール

麒麟ビール

サッポロビール

サントリー

○自動車 (6 社)

トヨタ

マツダ

ダイハツ

スズキ
三菱自動車
ホンダ

○電気機械 (9 社)

松下電器産業
東芝
シャープ
三菱電機
三洋電機
NEC
富士通
京セラ
リコー

○建設 (5 社)

鹿島建設
大成建設
清水建設
大林組
竹中工務店

○電力 (9 社)

東北電力
東京電力
中部電力
北陸電力
関西電力
中国電力
四国電力
九州電力
沖縄電力

○ガス (3 社)

東京ガス
大阪ガス

【付録 B】 資本のユーザーコストの算出方法

企業は設備投資を行い、資本ストックを蓄積しているものとする。企業(株主)の目的が、企業価値(配当の将来にわたる和の現在割引価値)の最大化であるとするならば、企業の最適化問題は以下のようなものとなる。

$$\begin{aligned} \max: \quad V_t &\equiv E_t \left[\sum_{i=0}^{\infty} \frac{Div_{t+i}}{(1+\xi_t+\pi_t)^i} \right] \\ \text{s.t.} \quad Div_t(K_t, I_t, L_t) &= P_t F(K_t, L_t) - W_t L_t - P_t^I I_t \quad (\text{B-1}) \\ K_t &= I_t + (1-\delta)K_{t-1} \end{aligned}$$

ただし、

V_t : 企業価値 (名目)

Div_t : 企業が株主に支払う配当 (名目)

ξ_t : 債券利回り (実質)

π_t : 一般物価のインフレ率

P_t : 一般物価水準

$F(K_t, L_t)$: 生産高 (実質)

K_t : 資本ストック (実質)

L_t : 労働投入量

W_t : 賃金率 (名目)

P_t^I : 資本財デフレーター

I_t : 設備投資額 (実質)

δ : 資本ストックの減価償却率 (実質)

最適化問題(B-1)の K_t に関する一次条件は、以下のようになる。

$$\begin{aligned} F_K(K_t, L_t) &= \frac{P_t^I}{P_t} \left[1 - \left(\frac{1}{1+\xi_t+\pi_t} \right) \left(\frac{P_{t+1}^I}{P_t^I} \right) (1-\delta) \right] = \frac{P_t^I}{P_t} \left[1 - \frac{(1+\pi_t^I)(1-\delta)}{1+\xi_t+\pi_t} \right] \\ &\cong \frac{P_t^I}{P_t} \left[1 - \frac{1-\delta+\pi_t^I}{1+\xi_t+\pi_t} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\cong \frac{P_t^I}{P_t} \left[1 - (1 - \delta + \pi_t^I)(1 - \xi_t - \pi_t) \right] \\
&\cong \frac{P_t^I}{P_t} \left[(\xi_t + \pi_t) + \delta - \pi_t^I \right] \quad (\text{B-2})
\end{aligned}$$

ただし、

π_t^I : 資本財デフレーターの変動率

さて、もし企業が資本ストック K_t を自分で保有せず、それをレンタル市場で自由に調達しているとすると、それにかかるレンタル料はいくらになるだろうか。そのレンタル料(資本のユーザーコスト)を P_t^K とおくと、企業の利潤最大化問題は以下のような静学的な問題に帰着できる。

$$\max : \Pi_t = P_t F(K_t, L_t) - W_t L_t - P_t^K K_t \quad (\text{B-3})$$

最適化問題(B-3)の K_t に関する一次条件は、以下のようになる。

$$F_K(K_t, L_t) = \frac{P_t^K}{P_t} \quad (\text{B-4})$$

式(B-2)と式(B-4)を比較すると、資本のユーザーコスト P_t^K が以下のように得られる。ただし、 $\xi_t + \pi_t = \text{rate}_t$ (名目金利)と置き直している。

$$P_t^K = P_t^I (\text{rate}_t + \delta - \pi_t^I) \quad (\text{B-5})$$