

KIER DISCUSSION PAPER SERIES

KYOTO INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH

Discussion Paper No. 0803

“環境報告書を用いた温室効果ガスに係る限界削減
費用の推定－負の削減費用領域を考慮した分析”

一方井 誠治、石川 大輔、佐々木 健吾、大堀秀一

2008 年 5 月



KYOTO UNIVERSITY
KYOTO, JAPAN

環境報告書を用いた温室効果ガス
に係る限界削減費用の推定
- 負の削減費用領域を考慮した分析

一方井 誠治、石川 大輔、
佐々木 健吾、大堀秀一

2008 年 5 月

要旨

本論文の目的は、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、現時点での日本における温室効果ガスにかかる限界削減費用を推計することである。

本論文においては、温室効果ガスの削減費用から省エネによるエネルギー節約分を控除した後のネットの削減費用のデータを用いて限界削減費用が計算されているが、そのことにより現出する負の削減費用の領域についても分析対象に含めることを試みている。その他の本論文の特徴としては、i)企業が公開している環境報告書を用いることで、先行研究では算出されていない「現時点」における限界削減費用を推計していること、ii)温室効果ガスの削減量のデータを作成する際、売上高や有形固定資産の変動等、企業の削減努力の枠外からの影響については回帰分析を利用して取り除いていること、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。

- ① 温室効果ガス削減費用(地球環境保全コスト)から省エネルギーメリットを単純に控除した系列を計算すると、半数近く(51%)がマイナスとなる。
- ② 売上高と有形固定資産の変動の影響を調整した温室効果ガス削減量、及び温室効果ガス削減費用(地球環境保全コスト)から省エネルギーメリットを控除したネットの削減費用のデータを用いた場合、限界削減費用の全業種にわたる平均値は約-6,870 円/CO₂-tonとなる。
- ③ 業種ごとの限界削減費用の平均値については、それらを安い順に並べると、精密機械、陸海運(鉄道)、食品、非鉄金属、製薬、金属製品、建設、機械、輸送機械、電気機器、化学、製紙、窯業、繊維、鉄鋼、石油精製となる。
- ④ 本論文で得られた限界削減費用の数値は大部分の企業においてマイナス、すなわち日本全体としてみれば、環境設備投資を追加的に1単位増加させたとしても、省エネによる利益が環境投資費用を上回る状況となっている可能性が高い。

特に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。「日本の企業が温室効果ガスを削減することは、絞りきった雑巾をさらに絞るようなものであり、かなり難しい」ということを主張する論者もいるが、本論文の分析結果は、その点の真偽については実証結果に基づく慎重な議論が必要であることを示唆している。

環境報告書を用いた温室効果ガス に係る限界削減費用の推定 一負の削減費用領域を考慮した分析

一方井 誠治*

石川 大輔**

佐々木 健吾**

大堀 秀一***

1. はじめに

本論文の目的は、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、現時点での日本における温室効果ガス¹にかかる限界削減費用を推計することである。本論文においては、温室効果ガスの削減費用から省エネによるエネルギー節約分を控除した後のネットの削減費用のデータを用いて限界削減費用が計算されているが、そのことにより現出する負の削減費用の領域についても分析対象に含めることを試みている。

日本における温室効果ガスの排出量は、2006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6.4%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

* 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研究員

*** 岐阜聖徳学園大学経済情報学部准教授

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。

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、どちらの方がコスト的に割安なのかについての判断に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(2001)³がある。そこでは、日本における 2010 年の温暖化ガス排出量を 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 27,000 円/tCO₂と見積もられている⁴。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(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 3,500 円/tCO₂から 9,500 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。

このような問題意識のもと、一方井他(2007)においては、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及び有価証券報告書のデータを用いて直接推計す

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, W. and W. Oates (1988), "The Theory of Environmental Policy," Cambridge University Press.を参照のこと。

³ 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。

⁴ 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。

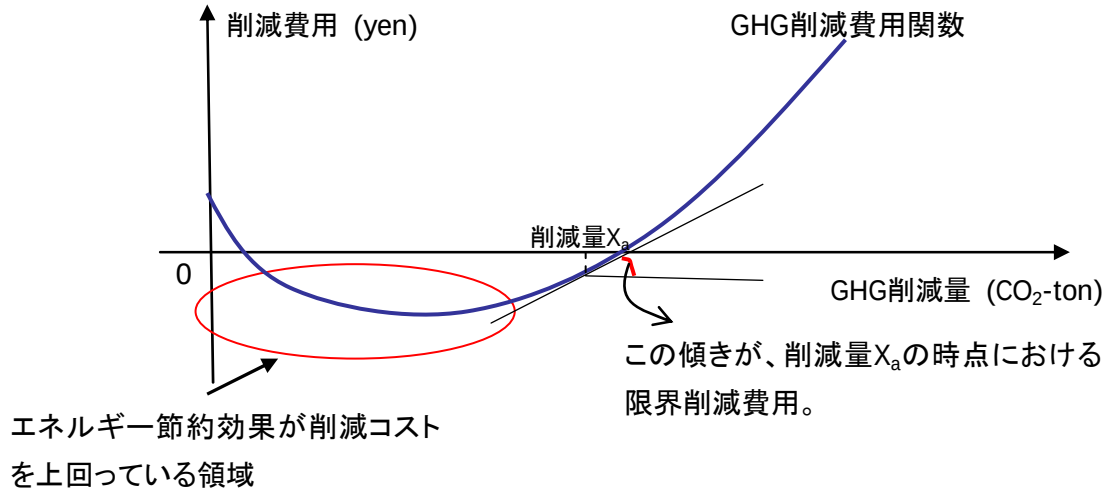
ることが試みられている。調査の対象とされた業種は、環境会計が比較的良好に整備されていると思われるビール製造(4社)、自動車製造(6社)、電機機器(9社)、建設(5社)、電力(9社)、ガス(3社)の6業種(計36社)であり、サンプル総数は160となっている。一方井他(2007)で得られた結果は、以下のようにまとめられる。まず、温室効果ガスの排出削減量が単純にプラスとなった企業のみに限界削減費用は全業種平均で約14,500円、排出量のデータに対して売上高の変動による影響を調整した上でなお、削減量がプラスとなった企業の限界削減費用の平均は約4,400円となった。しかしながら、この4,400円という数値は削減費用から省エネ投資によるエネルギー節約分を差し引いていないデータを用いて推計されたものである。そのため、同費用からさらにエネルギー節約効果の貨幣換算値を控除し、そのようにして得られたデータのうち正のものを用いて再推計した結果、限界削減費用は全業種平均で約2,200円となった。

ただし、一方井他(2007)については、主として二つの問題点を指摘できる。第一に、分析に用いられた理論モデルが対数線形型の費用関数であり、省エネによるエネルギー節約分を差し引くことにより温室効果ガスの削減費用がマイナスとなるケースを対象にできなかったことである。実際には、各企業は省エネ設備の導入によりエネルギーの節約分の利益が生じ、一年あたりに直した同費用がマイナスとなるケースが多く見られることから、この点を分析できる理論モデルが必要と判断されよう。第二に、企業のサンプル数が比較的少数であったことである。言うまでもなく、より信頼性の高い結果を得るためには、サンプル数を出来るだけ増やすことが必要である。

それらの問題点を克服するため、本論文では、まず、理論モデルとして、削減費用関数の推定式を、温室効果ガスの削減量が増加すると費用(正の領域に限る)が単調に増加するという対数線形関数ではなく、下に凸の二次曲線で近似することを試みる。すなわち、企業にとって、最初のうちは省エネ設備を導入することにより、燃料費等の節約分を差し引いたネットの削減費用はマイナスとなるものの、削減量が多くなってくるにしたがって、同費用はやがてプラスに転ずるという考え方である(図1)。これは、現実の状況により近いものであると考えられ、省エネ効果を差し引いたネットの削減費用がマイナスの場合でもプラスの場合でも分析対象とできるというメリットがある。また、データのカバレッジに関しては、分析対象の業種を、食料品、繊維製品、パルプ・紙、化学、医薬品、石油製品、窯業、鉄鋼、非鉄金属、金属製品、機械、電気機器、輸送用機器、精密機器、陸海運業、建設業にまで広げ、企業数にして約200社について、公表されている環境報告書並びに有価証券報告書から1999年から2006年までの約1,100のパネルデータを収集している。

以降、本論文は以下のように構成される。第2節では、削減費用関数を定式化する。第3節では、実証分析の方法について説明する。第4節では、削減費用関数の推定を行い、限界削減費用を算出する。第5節では、本論文のまとめを行う。

図1 削減費用関数の概念図



2. モデル

本論文では、温室効果ガスにかかる削減費用関数を定式化し、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関数を求める。

本論文における削減費用関数は、以下のような2次曲線で近似される。

$$net_cost_{env} = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 + a_3 p_{env}^k + a_4 p_{env}^l \quad (1)$$

ここで、 net_cost_{env} は省エネメリット控除後の温室効果ガス削減費用(負値でも可)、 Q は温室効果ガス削減量、 p_{env}^k は環境投資にかかる資本のユーザーコスト、 p_{env}^l は環境対策に携わる労働者の賃金率、そして $a_0 - a_4$ はそれらの説明変数にかかる係数値である。なお、全ての生産要素価格(資本コスト、賃金率)は外生変数であると仮定する⁵。

通常想定されるように費用関数 net_cost_{env} が削減量 Q に関して逓増するものとすれば、 $a_2 > 0$ が期待される。それと同時に、二次曲線 net_cost_{env} の極小値が図1のように $Q > 0$ の領域に存在するとすれば、 $a_1 < 0$ が必要とされる。また、資本のユーザーコスト p_{env}^k が高いほど、賃金率 p_{env}^l が高いほど上記費用 net_cost_{env} は高くなると想定され、 $a_3 > 0$ 、 $a_4 > 0$ が期待される。

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、それほど現実と合わないものと思われる。

表1 ネットの削減費用net_cost_{env}にかかる記述統計量

変数	Obs	平均値	標準偏差	最小値	最大値
net_cost _{env}	719	-10.1	1,204.6	-7,811	12,204
net_cost _{env} (≥0)	354	487.7	1,216.5	0	12,204
net_cost _{env} (<0)	365	-492.8	975.9	-7,811	-1

注: Obs はサンプル数。単位は 100 万円である。

限界削減費用MACは、式(1)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。

$$MAC \equiv \frac{\partial(\text{net_cost}_{\text{env}})}{\partial Q} = 2a_2 Q + a_1 \quad (2)$$

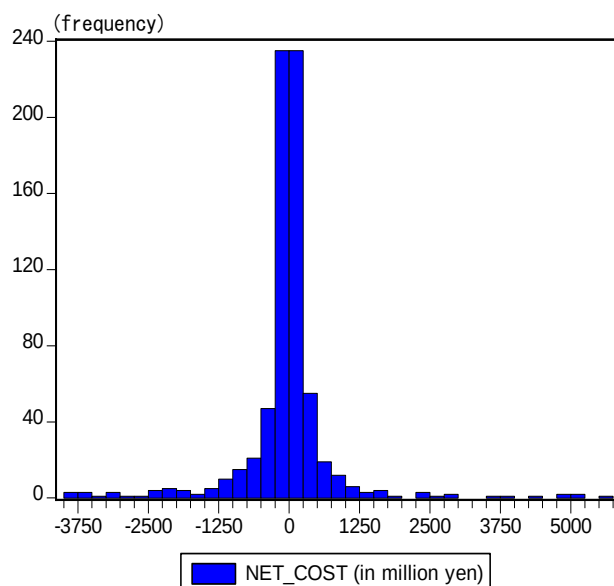
3. 実証分析の方法

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得た。今回の分析対象となった業種は、食料品、繊維製品、パルプ・紙、化学、医薬品、石油製品、窯業、鉄鋼、非鉄金属、金属製品、機械、電気機器、輸送用機器、精密機器、陸海運業、建設業である。電力、ガスについては公共性が高い業種であることから、今回の分析対象からは除外している。

データの収集は、i) 東証1部に株式が上場されている、ii) 資本金(連結)が上記各業種内で上位30である、iii) 環境報告書に環境会計(削減費用)及び温室効果ガス排出量を公表している、という三つの基準を全てクリアーしている企業について行われた。なお、iii)の環境報告書については、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、環境会計については、統一的なフォーマットである「環境会計ガイドライン」が1999年3月に環境省により作成されている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。今回の分析においては、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。サンプル期間は1999年度から2006年度まで、タイムスパンは1会計年度であり、データの種類はアンバランス・パネルデータである。また、分析の対象となった企業は約200社となり、それらの企業名は付録Aに記載されている。

⁶ 以降、2005年度までに2回の改訂が行われている。

図2 ネットの削減費用 $\text{net_cost}_{\text{env}}$ にかかるヒストグラム



次に、データの作成方法について説明する。ネットの温室効果ガス削減費用 $\text{net_cost}_{\text{env}}$ は、「地球環境保全コスト」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」を控除した系列として求めた。これらのデータは、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」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。「地球環境保全コスト」と「(環境投資に起因する)エネルギー節約分の金額換算値」の両者のデータが存在し、ネットの削減費用 $\text{net_cost}_{\text{env}}$ が計算できるサンプルは719、それらのうち正のものは354、負のものは365であった。

ネットの削減費用 $\text{net_cost}_{\text{env}}$ にかかる記述統計量は表1、ヒストグラム(上下5位のサンプルを除いたもの)は図2に示されている。図2のヒストグラムを観察すると、ネットの削減費用は0を中心とする対称的な分布となっている。このことは、日本においては炭素の排出に明示的な価格がついていないことから、環境設備投資の水準が省エネによって利益が出る範囲($\text{net_cost}_{\text{env}}$ が負の領域)にとどまっている企業が比較的多いことを示唆している。

温室効果ガスの削減量 Q (CO_2 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が考えられる。しかしながら、このようにして計算される削減量は、売上高や有形固定資産残高の変動などの企業の削減努力の枠外からの影響を大きく受けてしまう可能性がある。この問題に対処す

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。

るため、今回は以下のような方法を考えた。それは、温室効果ガス排出量の単純変化率のうち、売上高や有形固定資産残高等の変化率で説明できる部分を取り除いた調整済の排出量変化率の系列を作成し、それを前年の排出量に掛け合わせることで削減量 Q を求めるというものである。

そこで、温室効果ガス排出量の変化率を、売上高(連結)の変化率、有形固定資産残高(連結)の変化率、業種ダミー、年度ダミーに回帰させる分析を行った。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。散布図については図 3-1 と図 3-2 に、推計結果は表 3 に示されている。

分析の結果、売上高変化率、有形固定資産残高変化率は、温室効果ガス排出量変化率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変化率から、売上高及び有形固定資産残高の変化率に起因する部分($0.159 \times \text{売上高変化率} + 0.088 \times \text{有形固定資産残高変化率}$)を控除した系列を作成し、それを前年の排出量に掛け合わせて削減量 Q を求めることで、売上高及び有形固定資産残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 461 個であった。本分析でいう温室効果ガス削減量 Q とは、このような方法で算出される削減量のことを指す。

図 3-1 売上高伸び率 (gr_sale) と
温室効果ガス排出量伸び率 (gr_emit0) の散布図

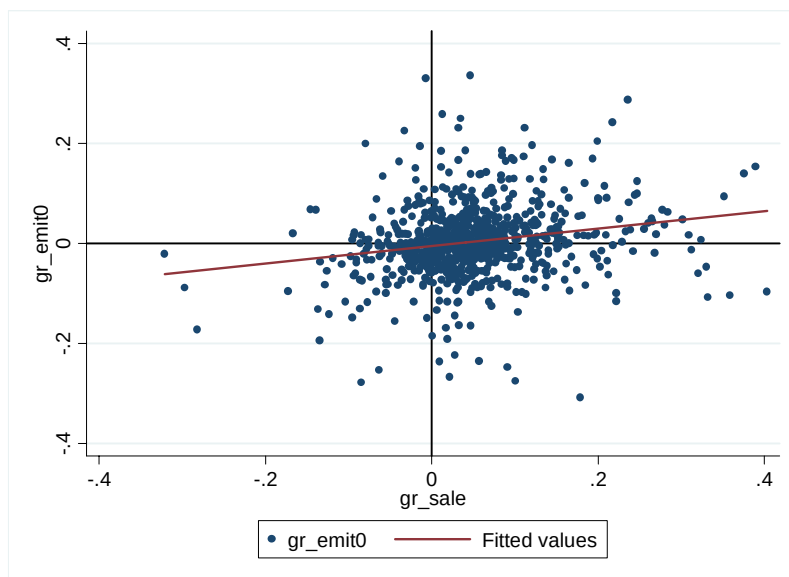


図 3-2 有形固定資産残高伸び率 (gr_asset) と
温室効果ガス排出量伸び率 (gr_emit0) の散布図

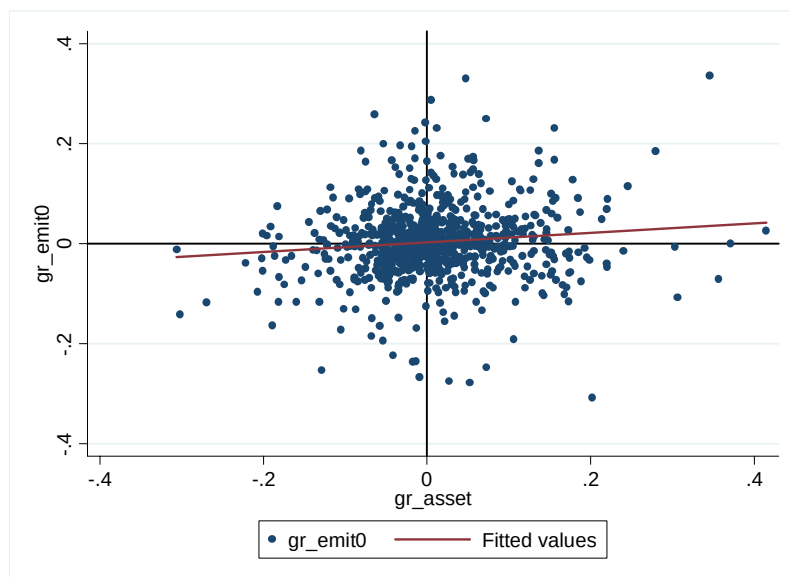


表 2 売上高伸び率や有形固定資産伸び率が
温室効果ガス排出量伸び率に与える影響

変数	
売上高伸び率	0.159 (3.742)***
有形固定資産伸び率	8.750e-2 (1.893)*
食料品ダミー	-3.878e-2 (-2.381)**
繊維ダミー	-3.566e-2 (-1.627)
紙・パルプダミー	-4.821e-2 (-2.781)***
化学ダミー	-3.829e-2 (-2.385)**
製薬ダミー	-2.883e-2 (-1.698)*
石油精製ダミー	-3.925e-2 (-2.198)**
窯業ダミー	-2.624e-2 (-1.537)
鉄鋼ダミー	-5.617e-2 (-2.568)**
非鉄金属ダミー	-3.891e-2 (-2.028)**
金属製品ダミー	-3.416e-2 (-1.978)**
機械ダミー	-2.405e-2 (-1.123)
電気機器ダミー	-1.878e-2 (-1.097)
輸送機械ダミー	-3.862e-2 (-2.190)**
精密機械ダミー	-2.983e-2 (-1.796)*
陸海運ダミー	-1.065e-2 (-0.578)
建設ダミー	-3.756e-2 (-1.586)
2001 年ダミー	1.301e-2 (0.754)
2002 年ダミー	4.982e-2 (2.998)***
2003 年ダミー	3.612e-2 (2.193)**
2004 年ダミー	4.538e-2 (2.736)***
2005 年ダミー	1.218e-2 (0.758)
2006 年ダミー	1.413e-2 (0.880)
サンプル数	812
R ²	0.10670

注：被説明変数は温室効果ガス排出量伸び率。()内はRobust t 統計量。

有意水準(***1%、** 5%、* 10%)。2000 年ダミーについては、多重共線性が発生するために落として推定している。

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企業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)。

$$p_i^k = (rate_i + \delta_i - \pi^I) p^I \quad (3)$$

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。なお、以上のデータは連結決算のものを用いている。ただし、そのようにして計算された値が、①同一企業内平均値(当該値を除く)の5倍以上、②15%以上、又は、③支払利息が0、④前年借入額が0、となる場合は異常値とみなし、それらは同一企業内平均値(当該値を除く)で置き換えられている。そのようなサンプルは60あった。

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(存在しない場合は減価償却実施額)を、有形固定資産から土地を控除したもの(以上、貸借対照表の資産の部に記載)で割って各年の減価償却率を算出した。なお、以上のデータは連結決算のものを用いている。ただし、そのようにして計算された値が、①同一企業内平均値(当該値を除く)の5倍以上、②100%以上、又は、③減価償却費が0、となる場合は異常値とみなし、それらは同一企業内平均値(当該値を除く)で置き換えられている。そのようなサンプルは4あった。

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^l 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多く存在したため)。ただし、そのようにして計算された値が、①同一企業内平均値(当該値を除く)の2倍以上、②2500万円以上、③150万円以下、となる場合は異常値とみなし、それらは同一企業内平均値(当該値を除く)で置き換えられている。そのようなサンプルは36あった。以上で述べられたデータの記述統計量は、表3にまとめられている。

表 3 記述統計量

変数	Obs.	平均値	標準偏差	最小値	最大値
ネットの GHG 削減費用 (net_cost _{env})	719	-10	1,205	-7,811	12,204
GHG 削減費用 (省エネメリット控除前)	959	563	1,498	0	15,200
省エネメリット	719	500	1,038	-2,111	10,198
調整済 GHG 削減量 (Q)	812	9	208	-2,707	3,322
調整済GHG <u>排出量</u>	1011	1,682	6,208	5	65,800
調整済 GHG 排出量伸び率	812	-0.0051	0.0713	-0.3537	0.3277
単純 GHG 削減量	812	-9	202	-3,200	2,500
単純GHG <u>排出量</u>	1011	1,707	6,342	5	67,400
単純 GHG 排出量 伸び率 (gr_emit0)	812	0.0034	0.0727	-0.3077	0.3368
売上高	1011	1,119,487	2,003,380	27,127	23,900,000
売上高伸び率 (gr_sale)	812	0.0496	0.0839	-0.3212	0.4033
有形固定資産	1011	358,487	604,039	9,912	8,060,519
有形固定資産伸び率 (gr_asset)	812	0.0075	0.0830	-0.3063	0.4145
資本コスト (pk)	1011	19.9	7.0	6.4	61.1
賃金率 (pl)	1011	9.5	2.4	3.0	23.4
<業種ダミー>					
食料品ダミー	1011	0.122	0.327	0	1
繊維ダミー	1011	0.037	0.188	0	1
紙・パルプダミー	1011	0.036	0.185	0	1
化学ダミー	1011	0.164	0.371	0	1
製薬ダミー	1011	0.076	0.265	0	1
石油精製ダミー	1011	0.014	0.117	0	1
窯業ダミー	1011	0.051	0.221	0	1
鉄鋼ダミー	1011	0.031	0.172	0	1
非鉄金属ダミー	1011	0.035	0.183	0	1
金属製品ダミー	1011	0.035	0.183	0	1
機械ダミー	1011	0.049	0.217	0	1
電気機器ダミー	1011	0.140	0.348	0	1
輸送機械ダミー	1011	0.106	0.308	0	1

精密機械ダミー	1011	0.049	0.217	0	1
陸海運ダミー	1011	0.031	0.172	0	1
建設ダミー	1011	0.025	0.155	0	1
〈年度ダミー〉					
1999 年ダミー	1011	0.016	0.125	0	1
2000 年ダミー	1011	0.062	0.242	0	1
2001 年ダミー	1011	0.107	0.309	0	1
2002 年ダミー	1011	0.141	0.349	0	1
2003 年ダミー	1011	0.161	0.368	0	1
2004 年ダミー	1011	0.182	0.386	0	1
2005 年ダミー	1011	0.181	0.385	0	1
2006 年ダミー	1011	0.149	0.357	0	1

注: Obsはサンプル数。単位は、ネットのGHG削減費用、GHG削減費用、省エネメリット、売上高、有形固定資産、については100万円、調整済GHG削減量、調整済GHG排出量、単純GHG削減量、単純GHG排出量については「CO₂換算千トン」、資本コストについては%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。

$$net_cost_{env} = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 + a_3 p_{env}^k + a_4 p_{env}^l + \sum_j a_j \times dm_j + \sum_t a_t \times dm_t + \varepsilon \quad (4)$$

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、第2節でも述べたように、 $a_1 < 0$ 、 $a_2 > 0$ 、 $a_3 > 0$ 、 $a_4 > 0$ が期待される。

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。

4. 実証分析の結果

ネットの削減費用 $\text{net_cost}_{\text{env}}$ と調整済GHG削減量 Q の散布図は図 4 に、式(4)の推定結果は表 4 にまとめられている。推定 1 は要素価格を含めた推計、推定 2 は要素価格を含めない推計である。式(4)を推計する際には、調整済GHG削減量 Q が正のサンプルのみを採用している。又、推定の安定性を担保するため、ネットの削減費用 $\text{net_cost}_{\text{env}}$ と調整済GHG削減量 Q の上下位 5 つのサンプルについても除外されている。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。

推計結果は良好である。第一に、調整済GHG削減量の一次項 Q にかかる係数については、全ての推計で有意に負となっており、符号条件と整合的である。第二に、調整済GHG削減量の二乗項 Q^2 (2 次項)にかかる係数についても、全ての推計で有意に正となっており、符号条件と整合的である。

資本コスト p^k にかかる係数については、有意に正となっており、符号条件と整合的である。しかし、賃金率 p^l にかかる係数については、有意ではないが負となっており、符号条件と整合的でない。賃金率 p^l にかかる係数が符号条件と整合的でない理由は、以下の二つが考えられる。第一に、通常のエconomic理論が想定する費用関数は Σ (要素価格 $\times$ 最適要素投入量)として定義されるが、炭素排出に明示的な価格がついていない日本においては、そもそも企業はGHG排出削減にかかる資本ストック投入や労働投入について最適化を行っていないのかもしれない。また、今回の削減費用関数は、省エネメリットを控除した後のデータを用いており、通常のエconomic理論が想定する費用関数とは概念的にかなり異なったものであることが推計結果に悪影響を及ぼしている可能性が考えられる。第二に、日本においては終身雇用制度が定着していること等から雇用調整が緩慢である可能性が高く、賃金率 p^l にかかる変動が小さくなっており、そのことが推計結果に悪影響を及ぼしている可能性が考えられる。実際、資本コスト p^k と賃金率 p^l について(標準偏差)/(平均値)を計算してみると、前者については 0.35、後者については 0.25 となっている。

ダミー変数については、推計 1 と 2 では石油精製ダミーが、推計 2 では鉄鋼ダミーが有意に正となっている。このことは、石油業界、鉄鋼業界においては、ネットの削減費用についても既にかかなり高い水準まで来ていることを示唆している。

図4 調整済 GHG 削減量(Q)と
ネットの削減費用($\text{net_cost}_{\text{env}}$)の散布図

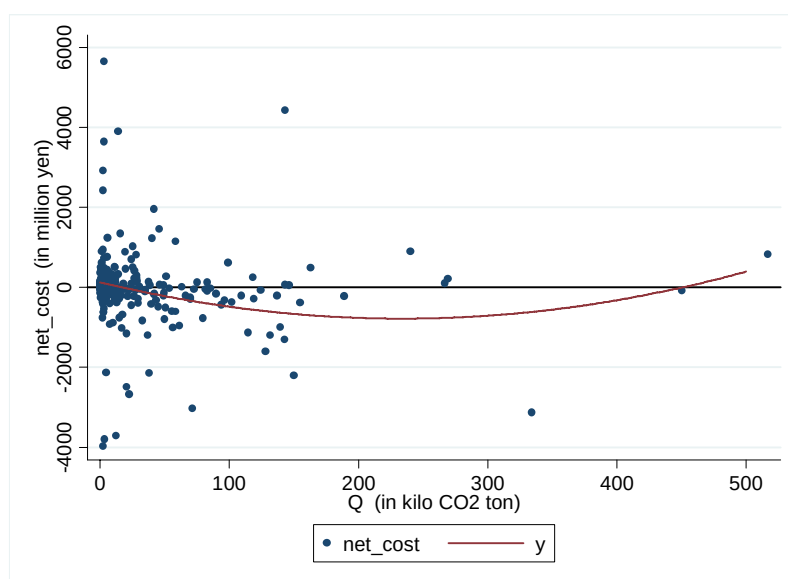


表4 ネットの温室効果ガス削減費用関数の推定

変数	推定 1	推定 2
	(要素価格を含めた場合)	(要素価格を含めない場合)
調整済 GHG 削減量 (Q)	-7.733 (-3.587)***	-7.768 (-3.442)***
調整済GHG削減量の二乗項 (Q^2)	1.703e-2 (3.482)***	1.661e-2 (3.448)***
資本コスト (pk)	18.06 (2.035)**	
賃金率 (pl)	-37.10 (-1.458)	
食料品ダミー	25.29 (0.067)	48.90 (0.243)
繊維ダミー	1.373e+2 (0.408)	3.467e+2 (1.232)
紙・パルプダミー	1.397e+2 (0.382)	1.647e+2 (0.705)
化学ダミー	1.346e+2 (0.350)	3.189e+2 (1.323)
製薬ダミー	-2.687e+2 (-0.759)	-1.131e+2 (-0.573)
石油精製ダミー	5.487e+3 (10.397)***	5.227e+3 (14.694)***
窯業ダミー	-2.882e+2 (-0.746)	-2.031e+2 (-0.821)
鉄鋼ダミー	3.820e+2 (0.966)	5.228e+2 (1.726)*
非鉄金属ダミー	-66.87 (-0.174)	21.51 (0.109)
金属製品ダミー	-46.50 (-0.130)	74.92 (0.368)
機械ダミー	-1.433e+2 (-0.342)	69.20 (0.315)
電気機器ダミー	-4.263e+2 (-1.022)	-1.462e+2 (-0.679)

輸送機械ダミー	-2.221e+2 (-0.600)	-47.28 (-0.219)
精密機械ダミー	-1.829e+2 (-0.482)	14.55 (0.079)
陸海運ダミー	-5.109e+2 (-0.968)	-4.928e+2 (-1.101)
建設ダミー	2.449e+2 (0.606)	1.946e+2 (0.829)
2001 年ダミー	33.56 (0.158)	-28.25 (-0.138)
2002 年ダミー	-15.77 (-0.060)	-94.56 (-0.387)
2003 年ダミー	2.520e+2 (1.102)	1.286e+2 (0.586)
2004 年ダミー	2.734e+2 (0.984)	1.175e+2 (0.482)
2005 年ダミー	2.161e+2 (0.916)	50.84 (0.246)
2006 年ダミー	2.828e+2 (1.276)	1.029e+2 (0.529)
サンプル数	329	329
R ²	0.19218	0.17258

注：被説明変数はネットの温室効果ガス削減費用関数である。()内は Robust t 統計量。有意水準 (**1%、** 5%、* 10%)。2000 年ダミーについては、多重共線性が発生するために落として推定している。調整済 GHG 削減量 (Q) のデータについては、それが正のもののみを採用している。

次に、推定 2 (要素価格を含めていない推定)における係数推定値及び式(2)を用いて業種ごとの限界削減費用の平均値を算出したものが表 5、限界削減費用直線をプロットしたものが図 5 である。なお、異常値等を除く過程でサンプルが落ちた結果、陸海運業については鉄道会社のみが残っている点に注意を払われない。

まず表 5 を見てみると、限界削減費用の全業種にわたる平均値は約 -6,870 円/CO₂-ton であり、業種ごとの限界削減費用の平均値については、それらを安い順に並べると、精密機械、陸海運(鉄道)、食品、非鉄金属、製薬、金属製品、建設、機械、輸送機械、電気機器、化学、製紙、窯業、繊維、鉄鋼、石油精製となっている。ただし、業種ごとの限界削減費用の平均値については、業種によってはサンプル数が非常に少ない場合があるため、参考程度にとどめておくことが賢明かもしれない。

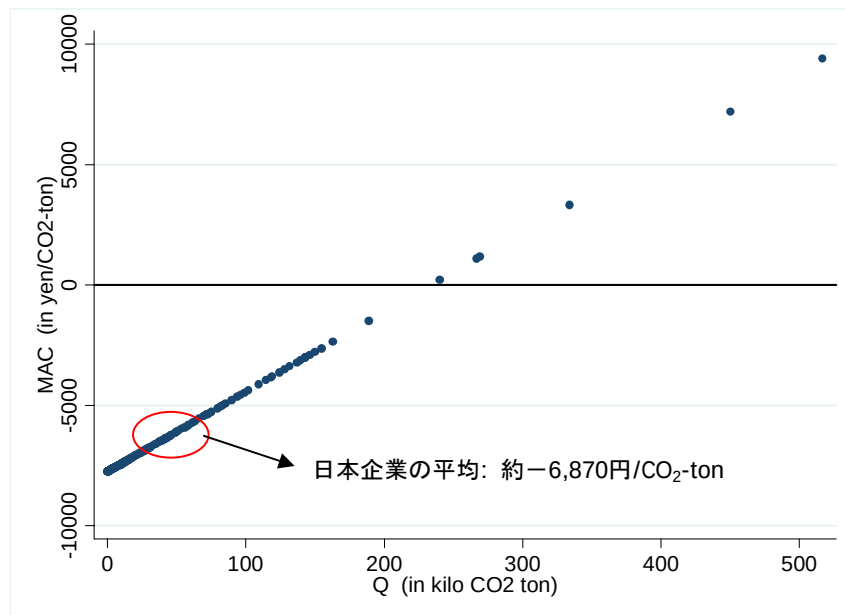
次に図 5 を見ると、ほとんどのサンプルで限界削減費用はマイナスの領域に集中している。このことは、日本の大多数の企業においては、環境設備投資を追加的に 1 単位増加させたとしても、省エネによる利益が投資費用を上回る状況となっていることを示唆している。日本においては、炭素の排出に明示的な価格がついていないことから、このような結果が得られたのはある意味自然なのかもしれない。

表 5 業種ごとの限界削減費用の平均値

業種	平均値	Obs.
全業種平均	−6,867 (105)	329
食品	−7,564 (36)	50
繊維	−4,501 (1,163)	7
紙パルプ	−6,008 (419)	14
化学	−6,405 (307)	64
製薬	−7,447 (99)	29
石油精製	−3,008 (−)	1
窯業	−5,585 (1,545)	11
鉄鋼	−3,774 (1,638)	4
非鉄金属	−7,558 (67)	12
金属製品	−7,408 (160)	9
機械	−7,024 (369)	12
電気機器	−6,882 (232)	51
輸送機械	−6,944 (203)	40
精密機械	−7,712 (13)	16
陸海運(鉄道)	−7,566 (50)	5
建設	−7,112 (358)	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。サンプルが落ちた結果、陸海運業については鉄道会社のみが残っている。

図5 ネットの限界削減費用直線



5. 結論

本論文では、企業が公開している環境報告書及び有価証券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。

- i) 環境投資費用(地球環境保全コスト)から省エネルギーメリット(エネルギー節約分の金額換算値)を単純に控除した系列を計算すると、半数近く(51%)がマイナスとなる。
- ii) 売上高と有形固定資産の変動の影響を調整した温室効果ガス削減量、及び環境投資費用から省エネルギーメリットを控除したネットの削減費用のデータを使用した場合、限界削減費用の全業種にわたる平均値は約-6,870 円/CO₂-tonとなる。
- ii) 業種ごとの限界削減費用の平均値については、それらを安い順に並べると、精密機械、陸海運(鉄道)、食品、非鉄金属、製薬、金属製品、建設、機械、輸送機械、電気機器、化学、製紙、窯業、繊維、鉄鋼、石油精製となっている。
- iv) 本論文で得られた限界削減費用の数値は大部分の企業においてマイナス、すなわち日本全体としてみれば、環境設備投資を追加的に1単位増加させたとしても、省エネによる利益が環境投資費用を上回る状況となっている可能性が高い。

なお、iv)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。「日本の企業が温室効果ガスを削減することは、絞りきった雑巾をさらに絞るようなものであり、かなり難しい」ということを主張する論者もいるが、本論文の分析結果は、その点の真偽については実証結果に基づく慎重な議論が必要であることを示唆している。

最後に、将来における課題について述べる。第一に、環境対策費用に関連するデータの統一性である。今回の分析においては、環境報告書における環境会計が、環境省による「環境会計ガイドライン」に従っている企業のみを対象とすることで、データの統一性を担保することを試みた。しかしながら、上記の「環境会計ガイドライン」については、良い悪いは別として、実際にはデータの作成方法等にかかなりの恣意性が残っており、本当に統一的なデータとして使用できるのかという問題がある。第二に、温室効果ガスの削減量のデータを作成する際、売上高や有形固定資産の変動等、企業の削減努力の枠外からの影響をどのように取り除くかという問題である。実際、計算された調整済削減量のデータのうち半数近くはマイナス、すなわち半数近くのサンプルで調整済排出量は増加していたという結果を得てしまった。この原因としては、図 3-1 と図 3-2 を見ると分かるように、GHG 排出量伸び率のうち売上高及び有形固定資産の伸び率で説明できる部分が小さいということが考えられる。この点を解決するには、サンプルを比較的同質なもの(例えば同一業種内の企業)に限定して分析を行うということが有効かもしれない。いずれにしても、これらの点を解決するには、さらなる研究の継続が必要である。

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。

一方井誠治、石川大輔、大堀秀一、佐々木健吾(2007)、「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」、*KIER Discussion Paper Series* No.0703, Kyoto Institute of Economic Research.

[付録 A] 企業名

○食料品 (23 社)

アサヒビール

キリンビール

サッポロビール

サントリービール

日本たばこ産業

味の素

ヤクルト本社

ニチレイ

明治製菓

日清食品

日本ハム

キューピー

明治乳業

伊藤ハム

森永乳業

森永製菓

日清オイリオグループ

宝酒造

不二製油

カルピス

日本製粉

カゴメ

キッコーマン

○繊維 (7 社)

クラレ

帝人

三菱レイヨン

東洋紡

グンゼ

ユニチカ

住江織物

○パルプ・紙 (10 社)

王子製紙

日本製紙グループ本社

三菱製紙

大王製紙

北越製紙

レンゴー

中越パルプ工業

東海パルプ

紀州製紙

巴川製紙所

○化学(ゴム製品を含む) (31 社)

三菱化学株式会社

信越化学工業

昭和電工

旭化成

三井化学

積水化学工業

住友化学

花王

大日本インキ化学工業

資生堂

宇部興産

三菱ガス化学

東ソー

富士フイルム

電気化学工業

ダイセル化学工業

ライオン

カネカ

日本ペイント

住友ベークライト

太陽日酸

日本曹達

関西ペイント

東洋インキ製造

日本ゼオン

J S R

旭電化工業

ブリヂストン

横浜ゴム

東洋ゴム工業

東海ゴム工業

○製薬 (15 社)

アステラス製薬

中外製薬

武田薬品工業

エーザイ

田辺製薬

大正製薬

協和発酵工業

塩野義製薬

ツムラ

小野薬品工業

大日本住友製薬

エスエス製薬

持田製薬

参天製薬

日本新薬

○石油精製 (2 社)

新日本石油

コスモ石油

○窯業 (11 社)

日本ガイシ

太平洋セメント

日本特殊陶業

住友大阪セメント

日本板硝子

TOTO

東芝セラミックス

日本電気硝子

ノリタケカンパニーリミテド

ニチアス

デイ・シイ

○鉄鋼 (6 社)

新日本製鐵

住友金属工業

J F E ホールディングス

栗本鐵工所

日立金属

淀川製鋼所

○非鉄金属 (7 社)

三菱マテリアル

住友電気工業

同和鋁業

古河機械金属

日立電線

昭和電線電纜

三菱電線工業

○金属製品 (7 社)

トステム株式会社

ノーリツ

ニッパツ

三協・立山ホールディングス

東洋製罐

リンナイ

日東精工

○機械 (13 社)

三菱重工業

クボタ

コマツ
荏原
NTN
小森コーポレーション
住友重機械工業
ダイキン工業
マキタ
キッツ
ブラザー工業
日立工機
椿本チエイン

○電気機器 (26 社)

松下電器
東芝
シャープ
三菱電機
三洋電機
NEC
ソニー
富士通
キヤノン
京セラ
セイコーエプソン
リコー
松下電工
ローム
村田製作所
ファナック
ミネベア
沖電気工業
オムロン
東京エレクトロン
大日本スクリーン製造
パイオニア
富士電機ホールディングス

カシオ計算機

東芝テック

イビデン

○輸送用機械（19 社）

トヨタ

マツダ

ダイハツ

スズキ

三菱自動車

ホンダ

デンソー

富士重工業

川崎重工業

豊田自動織機

日野自動車

ヤマハ発動機

日産ディーゼル工業

三井造船

いすゞ自動車

カルソニックカンセイ

東海理化

K Y B

曙ブレーキ工業

○精密機械（9 社）

オリンパス

テルモ

ニコン

シチズン時計

島津製作所

トプコン

セイコー

HOYA

ペンタックス

○陸海運（9 社）

東京急行電鉄

西日本旅客鉄道

近畿日本鉄道

名古屋鉄道

東武鉄道

小田急電鉄

京王電鉄

日本郵船

商船三井

○建設（4 社）

鹿島建設

大成建設

清水建設

大林組

〔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。

$$Max: V_t \equiv E_t \left[\sum_{i=0}^{\infty} \frac{Div_{t+i}}{(1+\xi_t + \pi_t)^i} \right] \quad (5)$$

s.t.

$$Div_t(K_t, I_t, L_t) = P_t F(K_t, L_t) - W_t L_t - P_t^I I_t$$

$$K_t = I_t + (1-\delta)K_{t-1}$$

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(5)の K_t に関する一次条件は、以下のようになる。

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

$$\cong \frac{P_t^I}{P_t} \left[(\xi_t + \pi_t) + \delta - \pi_t^I \right] \quad (6)$$

ただし、

π_t : 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。

$$\text{Max: } \Pi_t = P_t F(K_t, L_t) - W_t L_t - P_t^K K_t \quad (7)$$

最適化問題(7)の K_t に関する一次条件は、以下のようになる。

$$F_K(K_t, L_t) = \frac{P_t^K}{P_t} \quad (8)$$

式(6)と式(8)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。

$$P_t^K = P_t^I (\text{rate}_t + \delta - \pi_t^I) \quad (9)$$