

KIER DISCUSSION PAPER SERIES

KYOTO INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH

Discussion Paper No. 1005

“企業における温室効果ガス削減費用計算の基本モデル”

一方井誠治

栗田郁真

堀勝彦

2010 年 5 月

(2010 年 8 月改訂版)



KYOTO UNIVERSITY

KYOTO, JAPAN

企業における温室効果ガス削減費用計算の基本モデル

一方井誠治

栗田郁真

堀勝彦

2010 年 8 月

要 旨

気候変動の地球規模での進行を背景に、世界各国における温室効果ガスの排出削減への取り組みが続いている。日本においても 2009 年の政権交代を機に、炭素税や排出量取引制度の導入が急速に政策課題となるなど、その取り組みが活発になってきている。今後、炭素税や排出量取引といった新たな温室効果ガスの削減対策が導入された場合には、各企業において、どれだけの温室効果ガスをどれほどの費用をかけて自ら削減すべきか、あるいは、削減する代わりにどれほど炭素税を支払ったり排出クレジットを市場から購入すべきかといった具体的な判断を迫られることが予想される。しかしながら、このような判断に資する個別企業の温室効果ガス削減費用の計算については、これまで標準的な計算式が確立されているとは言えない状況にある。

上記の現状に鑑み、本稿においては、筆者が平成 20 年度に提案した計算方法を出発点とし、企業における温室効果ガス削減費用について理論的な検討を行い、計算モデルの構築を試みた。本モデルの主な特徴は 3 点ある。第一に、一方井他(2009)で問題であった、削減費用計算の際に必要なではあったがその客観的・理論整合的な設定が困難だった按分係数を用いる代わりに、導入設備の費用の既存設備の費用からの増加分を用いた点である。第二に、そのような定式化によって、限界削減費用の理論に基づく定義と本質的に同じものとなっている点である。第三に、既存設備と導入設備との間の生産能力の違いが存在する場合を考慮し、その調整を行った点である。

企業における 温室効果ガス削減費用計算の基本モデル

一方井誠治

栗田郁真

堀勝彦

1. はじめに

気候変動の地球規模での進行を背景に、世界各国における温室効果ガスの排出削減への取り組みが続いている。日本においても 2009 年の政権交代を機に、炭素税や排出量取引制度の導入が急速に政策課題となるなど、その取り組みが活発になってきている。今後、炭素税や排出量取引といった新たな温室効果ガスの削減対策が導入された場合には、各企業において、どれだけの温室効果ガスをどれほどの費用をかけて自ら削減すべきか、あるいは、削減する代わりにどれほど炭素税を支払ったり排出クレジットを市場から購入すべきかといった具体的な判断を迫られることが予想される。しかしながら、このような判断に資する個別企業の温室効果ガス削減費用の計算については、これまで標準的な計算式が確立されているとは言えない状況にある。

上記の現状に鑑み、本稿は、平成 20 年度に京都大学経済研究所附属先端政策分析研究センターが実施した地球温暖化対策の経済的側面に関する調査研究の報告書(一方井他(2009))において提案した計算方法を出発点とし、2009 年度に実施した企業における温室効果ガス削減費用の計算についてのアンケート調査結果の紹介及び理論的な検討を行い、新たな計算モデルを提案する。以下、第 2 節でアンケート調査の結果を紹介し、第 3 節では、先行研究との関係について検討する。第 4 節では、一方井他(2009)で提案した計算方法の概要とその問題点を述べる。第 5 節で一方井他(2009)の計算式の問題点を改善した計算モデルを提案し、第 6 節で結論と今後の課題を述べる。

2. アンケート調査

企業の温室効果ガス削減費用の計算の実態を把握するため、企業に対してアンケート調査を行い、温室効果ガス排出量の把握状況、温室効果ガス排出の削減費用の把握状況と算出方法、温室効果ガス排出の削減費用の算出動機について尋ねた¹。このアンケート調査で

¹ 詳細については一方井他(2010)に譲る。

は、京都大学経済研究所が行った一方井他(2008)の調査において対象とした企業（一方井他(2007)の調査において環境会計を導入もしくは導入準備中と回答した企業、および2007年度調査において環境会計を導入している可能性が高いと判断した従業員数上位企業）のうち、現在も存続している企業（計798社）を対象とした。これらの企業に対し、2009年11月にアンケート用紙を送付した結果、179社（返答率22.4%）から有効回答を得た。

アンケート調査の結果、対象企業のうち、温室効果ガス削減費用を何らかの形で把握している企業は57%と過半数を占めたが、削減費用を個別設備・対策毎に把握している企業は全対象企業中28.5%であり、多くの企業は詳細には削減費用を算出していない状況が明らかになった。また個別設備・対策毎に削減費用を把握している企業に対して、その算出方法を尋ねたところ、自社独自の方法に依る企業が77.8%と圧倒的に多く、削減費用計算に関する統一した基準がないことが明らかとなった。

また削減費用を把握している企業に対して、その算出動機について尋ねた。その結果、算出動機として「かなり重要視している」または「重要視している」と答えた割合は、省エネメリットの把握（98.5%）、自社の温室効果ガス削減方針を決定するための基本情報（93.2%）、環境報告書への記載（88.8%）の順に高く、その算出動機が、企業活動の根幹である営利動機と強く結びついていることが明らかとなった。

他方、温室効果ガスの削減費用の計算に関するガイドラインに対して尋ねたところ、「良いものがあれば参考にしたい」と答えた企業が全企業中87.7%を占め、削減費用の算出方法に対するニーズが非常に高いことが明らかとなった。以上のアンケート調査結果を踏まえ、本稿の第5節において企業のCO₂削減費用を把握するための計算モデルを提案する。

3. 先行研究²

限界削減費用の計算の手法は、マクロデータを用いて推計を行うトップダウン分析と個別のミクロデータを積み上げて推計を行うボトムアップ分析に大きく分類できる。このうちトップダウン分析に基づく推計の例として、米国 Battelle 研究所の SGM や東京理科大学 MARIA (Mori (2003)) などがある³。他方、ボトムアップ分析に基づく推計としては、EU の分析 (Joosen and Blok (2001)) や中央環境審議会地球環境部会「目標達成シナリオ小委員会」における分析などがある。しかし、これらの分析は個別企業の経営判断に資することより、経済又は産業全体の限界削減費用を求めることに主眼をおいており、この点で本稿の目的とは異なる。

² 現在、環境管理会計の手法として様々なものが提案されているが、本稿では環境対策に関連する設備投資のみを対象とする。

³ その他、OECD の GREEN、米国 Purdue 大学の GTAP、Nordhaus の DICE、Manne と Richels の MERGE、EU の PRIMES 等がある。またトップダウン分析とボトムアップ分析の折衷型として、国立環境研究所及び京都大学の AIM、東京大学の GDMEEM 等がある。詳しくは、例えば一方井(2008)第2章等を参照してほしい。

他方、企業の環境対策に関する意志決定を支援するためのツールの開発に関しては、環境会計の分野で様々な形で行われている。例えばアメリカ環境保護庁(EPA)は 1992 年から「環境会計計画」を実施し、その取り組みを通じてトータルコストアセスメント手法を開発・提案している。国連持続可能開発部(UNSD)でも環境管理会計手法の開発と普及に努めており、その成果は「環境管理会計の手続きと原則」等にまとめられている(Jasch (2001))。日本においても環境省 (2005)や産業環境管理協会環境会計委員会(2002)が提供されており、環境管理会計の手法開発を進めている。しかしこれらは、環境対策のみを目的とする設備投資を念頭に置いている一方、実際の設備投資は環境対策のみを目的としているものばかりではなく、環境対策と同時にその他の営利的な目的を持つものも多い⁴。本稿の第 5 節で提案する計算モデルは、このようなケースにおいて環境対策なканずく温室効果ガスの削減対策の経済性を評価することを目的としたものである。

上記の事情を踏まえ、一方井他(2009)において個別企業の経営判断に資することを目的とした温室効果ガス削減費用計算式の提案を行った。とりわけ、この計算式は地球温暖化防止以外の目的を含む設備投資に伴う個別企業の削減費用の算出を目的としたものとなっており、投資設備に含まれる削減対策に係わる費用を算出する際に、客観的に算定することが困難な按分係数を用いている。それに対して、本稿では一方井他(2009)で提案した削減費用計算式を出発点としつつ、上記のような客観的な算定の難しい按分係数を利用しない、合理的な削減費用の計算式を提案する。次節で、一方井他(2009)で提案された計算式を簡単に紹介した後、第 5 節で按分係数を用いない削減費用の計算式の提案を行う。

4. 平成 20 年度報告書における温室効果ガス削減費用の計算式

一方井他(2009)において、企業における温室効果ガスの削減費用の実用的な計算モデルの提案を行った。計算モデルは以下の通りである。

⁴ 環境省(2005)では、このようなその他の営利目的を含む環境投資を「複合コスト」として、差分集計及び按分集計の方法を提案している。しかし、環境省は(2005)内部会計のみを目的としたものではない。また差額集計については、その他の営利目的に投じられる金額と環境対策に投じられる金額が明確に把握できる場合のみを対象としている。それに対し、本稿では、①個別企業の営利目的に資することが主目的となっている、②このような分離が明確にできない場合を取り扱っている、という点で異なる。

$$A = \frac{\alpha \times C_{\text{dep}} + C_{\text{run}} - M}{R}$$

- A : 個別設備の CO₂ の削減費用 (円/CO₂-ton)
 α : 按分係数
 C_{dep} : 個別設備の初期投資費用の年価 (円/年)
 C_{run} : その設備の年間人件費・維持管理費用 (円/年)
 M : その設備による年間エネルギー節約効果 (円/年、BaU 比)
 R : その設備による年間 CO₂ 排出削減量 (CO₂-ton/年、BaU 比)

上式で、C_{dep}は個別設備の初期投資費用の年価を表しており、以下のように定義される。

$$C_{\text{dep}} = \frac{I}{T}$$

- I : 個別設備の初期投資費用の年価 (円)
 T : 個別設備の耐用年数

またC_{run}は、設備の年間人件費・維持管理費用を表しているが、この中にはエネルギー使用量は含まれていない。最後に、按分係数αであるが、これは0以上1以下の値をとり、個別設備への投資総額のうちCO₂削減に対する費用の割合を表している。上記のような削減費用の計算式の定式化の問題点は、①この按分係数αを客観的・理論整合的に定める方法が存在せず、計算を行う当事者の主観的な判断・基準に頼らざるを得ない、②既存設備が未償却であっても、それが削減費用に反映されない、という点であった。そこで本稿の第5節において、特に上述①で挙げた問題を改善した以下の計算モデルを提案する。

5. 計算モデル

本節では、企業において実際に計算が可能となる削減費用計算モデルを提案する。本節で提案する計算モデルは、第4節で用いられた客観的に算定することの難しい按分係数を用いず、かつ経済理論とも整合的な計算モデルとなっている⁵。ただし、次の点が前提となっていることに留意する必要がある。すなわち、第一に、設備の生み出す財・サービスの量は、既存設備・導入設備の間で一定であること、第二に、温室効果ガスの削減量は正の値をとることである。前者については、詳細は補論に譲るが、大要、以下の理由からである。つまり、経済理論上、限界費用と排出価格が一致するところで企業利潤は最大となる。

⁵ 経済理論上導かれる削減費用との関係については補論で詳述する。

しかし、既存設備と導入設備の間で財・サービスの産出量が異なる場合、その財・サービスの調整により生じる収入の変化も考慮して限界費用式を定義しなければ、上記の結果とは整合的なものとはならない。例えば、省エネ設備を導入すると同時に財の生産量を増加させるという場合が考えられる。この場合、温室効果ガスの排出を抑制するか抑制するかの判断は、省エネ効果を控除した対策費用額だけではなく、財の生産量の上昇による収益の上昇の大きさにも影響する。しかし、このような財・サービスから得られる収入の変化を客観的に求めるのは難しいため、本稿の計算式では、この点を考慮せず、その代わりに財・サービスの生産量は既存設備・導入設備間で一定であるという前提をおいている。後者については、削減量が負の値を取った場合、削減費用の値の解釈に混乱が生じることを避けるためである。以下、具体的に計算モデルを提案する。

$$A = \frac{(C_{\text{dep}} + C_v) - (D_{\text{dep}} + D_v)}{R}$$

- A : 導入設備の CO₂ の削減費用 (円/CO₂-ton)
C_{dep} : 導入設備の初期投資費用の年価 (円/年)
C_v : 導入設備の年間人件費・維持管理及びエネルギー費用 (円/年)
D_{dep} : 既存設備の初期投資費用の年価 (円/年)
D_v : 既存設備の年間人件費・維持管理及びエネルギー費用 (円/年)
R : 設備導入による年間 CO₂ 排出削減量 (CO₂-ton/年)

以下で、これらの変数の計算方法について詳述するとともに、その計算例を示す。計算例として、ボイラーの交換を考える。

■ 導入設備の初期投資費用の年価C_{dep}の求め方

導入設備の初期投資費用の年価C_{dep}は、以下の式で求められる。

$$C_{\text{dep}} = \frac{I_N}{T_N}$$

- I_N : 導入設備の初期投資費用の年価 (円)
T_N : 導入設備の実勢又は法定耐用年数 (年)

◇計算例

項目	記号	値
導入ボイラーの初期投資額(円)	I_N	2000万円
導入ボイラーの耐用年数(年)	T_N	10年
導入ボイラーの初期投資費用の年価(円/年)	C_{dep}	200万円/年

■ 導入設備のエネルギー費を含む年間人件費・維持管理費用 C_v の求め方

導入設備の年間人件費・維持管理及びエネルギー費用 C_v は、以下の式で求められる。

$$C_v = C_{run} + \sum_{i \in \Omega} W_i \times E_{Ni}$$

C_{run} : 導入設備の年間人件費・維持管理費用 (円/年)

W_i : エネルギー i の単価 (円/kWh)

E_{Ni} : 導入設備利用に伴うエネルギー i の年間使用量 (kWh/年)

Ω : 使用エネルギーの種類に関する添字集合

ここで C_v は、平成 20 年度における設備の年間人件費・維持管理費用 C_{run} と異なり、エネルギー使用に伴う費用を含んでいることに注意する必要がある。またエネルギー使用量を表す単位となる kWh はその使用エネルギーによってℓや m^3 ともなり得る。

◇計算例

項目	記号	値
導入ボイラーの年間人件費・維持管理費用 (円/年)	C_{run}	400万円
エネルギー(重油)単価(円/kl)	W_i	4万円/kl
導入ボイラーのエネルギー(重油)使用量(kl/年)	E_{Ni}	100kl/年
導入ボイラーの人件費・維持管理及びエネルギー費用 (円/年)	C_v	800万円/年

■ 既存設備の初期投資費用の年価 D_{dep} の求め方

既存設備の初期投資費用の年価 D_{dep} は、以下の式で求められる。

$$D_{\text{dep}} = q \times \frac{I_0}{T_0}$$

I_0 : 既存設備の初期投資費用の年価 (円)

T_0 : 既存設備の実勢又は法定耐用年数 (年)

q : 導入設備と既存設備の生産能力比

ここで q は上記の通り、導入設備と既存設備の生産能力比を表し、既存設備の費用を導入設備の生産能力当たり単位に調整するための係数となっている。これは式で表すと以下の通りである。

$$q = \frac{\text{導入設備の生産能力}}{\text{既存設備の生産能力}}$$

ここで対象設備の生産能力とは、設備 1 台当たりの財・サービスの生産量であり、財・サービスの単位は、その用途に応じて様々に定義される。

D_{dep} を求める際に生産能力比 q を乗じているのは、産出する財・サービスの量は既存設備・導入設備間で一定であるという前提があるためである。導入設備 1 台と同じ財・サービスを得るためには、既存設備はその q 倍の台数が必要である。そこで、既存設備の初期投資費用も既存設備一台当たりの q 倍になる。もし既存設備と導入設備の生産能力が同じであれば q は 1 となり、 D_{dep} は文字通りの既存設備に対する初期投資費用の年価となる。しかし両者の生産能力が異なる場合、生産性の差を考慮せずに削減費用を求めてしまうと、必然的に新規設備の導入が財・サービスの生産量の変化を意味することになり、本計算モデルを適用する際に置かれるべき前提が崩れてしまう。そこで導入設備と既存設備の生産能力が異なる場合であっても削減費用の計算を可能とするため、その生産能力比を乗じて生産量のずれを調整し、計算の前提と整合的なものとなるようにしている。

◇計算例

項目	記号	導入するボイラー
導入ボイラーの生産能力(kg/h)		200kg/h
既存ボイラーの生産能力(kg/h)		100kg/h
生産能力比	q	2
既存ボイラーの初期投資額(円)	I_o	1000万円
既存ボイラーの耐用年数(年)	T_o	10年
既存ボイラーの初期投資費用の年価(円/年)	D_{dep}	200万円/年

■ 既存設備のエネルギー費を含む年間人件費・維持管理費用 D_v の求め方

既存設備の年間人件費・維持管理及びエネルギー費用 D_v は、以下の式で求められる。

$$D_v = q \times \left(D_{run} + \sum_{i \in \Omega} W_i \times E_{oi} \right)$$

D_{run} : 既存設備の年間人件費・維持管理費用 (円/年)

E_{oi} : 既存設備の利用に伴うエネルギー i の年間使用量 (kWh/年)

ここで D_v は、平成 20 年度における設備の年間人件費・維持管理費用 C_{run} と異なり、エネルギー使用に伴う費用を含んでいることに注意する必要がある。この点は C_v を求める場合と同様である。またエネルギー使用量を表す単位となる kWh はその使用エネルギーによって ℓ や m^3 ともなり得ることも C_v を求める場合と同様である。

◇計算例

項目	記号	値
生産能力比	q	2
既存ボイラーの年間人件費・維持管理費用（円/年）	D_{run}	200万円
エネルギー（重油）単価（円/kl）	W	4万円/kl
既存ボイラーのエネルギー（重油）使用量（kl/年）	E_o	200kl/年
既存ボイラーの人件費・維持管理及びエネルギー費用（円/年）	D_v	2000万円/年

■ 設備導入による年間 CO₂ 排出削減量Rの求め方

設備導入による年間 CO₂ 排出削減量Rは、以下の式で求められる。

$$R = q \times \sum_{i \in \Omega} U_i \times E_{O_i} - \sum_{i \in \Omega} U_i \times E_{N_i}$$

U_i : エネルギーiの CO₂ 排出係数（CO₂-ton/kWh）

エネルギー使用量を表す単位となる kWh はその使用エネルギーによって ℓ や m³ ともなり得ることは、 C_v や D_v を求める場合と同様である。

ここで、排出量削減量の定義式に生産能力比 q が現れているのは、既存設備の台数を導入設備の財・サービスの生産量と同じとなるように調整して排出量を計算しているためである。また排出削減量Rの値が正となることを前提としていることにも注意する必要がある。これは排出削減量が負となる場合、最終的に得られる削減費用の値の符号の解釈に混乱が生じることを避けるためである。最後にこの計算式では、電力会社から購入したエネルギーの供給に伴う排出も当該企業の排出として計算している点にも注意する必要がある。今後の制度設計によっては、電力会社のエネルギー生産に伴う排出を電力会社の排出として計算する可能性もあり、この場合は、上記の計算式の修正が必要となる。

◇ 計算例

項目	記号	値
生産能力比	q	2
CO ₂ 排出係数 (CO ₂ -ton/kWh)	U	2
導入ボイラーのエネルギー(重油)使用量(kl/年)	E _N	100kl/年
既存ボイラーのエネルギー(重油)使用量(kl/年)	E _O	200kl/年
年間 CO ₂ 排出削減量 (CO ₂ -ton/年)	R	600t/年

■ 計算例（まとめ）

これまでの計算例をまとめると、この例のボイラー交換に伴う温室効果ガスの削減費用は以下のように求めることができる。

項目	記号	値
導入ボイラーの初期投資費用の年価（円/年）	C _{dep}	200万円/年
導入ボイラーの人件費・維持管理及びエネルギー費用（円/年）	C _v	800万円
既存ボイラーの初期投資費用の年価（円/年）	D _{dep}	200万円/年
既存ボイラーの人件費・維持管理及びエネルギー費用（円/年）	D _v	2000万円/年
年間 CO ₂ 排出削減量 (CO ₂ -ton/年)	R	600t/年
導入設備の CO ₂ の削減費用（円/CO ₂ -ton）	MAC	－2万円/t

■ 温室効果ガス削減費用の計算に必要なとなるデータ

最後に温室効果ガス削減費用を計算する際に必要となるデータを以下にまとめておく。

I_N :	導入設備の初期投資費用の年価 (円)
T_N :	導入設備の実勢又は法定耐用年数 (年)
C_{run} :	導入設備の年間人件費・維持管理費用 (円/年)
E_{Ni} :	導入設備の年間エネルギー使用量 (kWh/年)
I_O :	既存設備の初期投資費用の年価 (円)
T_O :	既存設備の実勢又は法定耐用年数 (年)
D_{run} :	既存設備の年間人件費・維持管理費用 (円/年)
E_{Oi} :	既存設備の年間エネルギー使用量 (kWh/年)
W_i :	エネルギー単価 (円/kWh)
U :	CO ₂ 排出係数 (CO ₂ -ton/kWh)
q :	導入設備と既存設備の生産能力比

6. 結論及び今後の課題

先述したとおり、一方井他(2009)において提案した温室効果ガスの削減費用の定義式では、導入設備の温室効果ガス削減への寄与度を表すための按分係数 α を用いた。しかし、按分係数 α を客観的・理論整合的に設定することは困難であるという問題点が存在した。本稿においては、この問題点を解決するものとして、一方井他(2009)の計算モデルのように按分係数を用いるのとは異なり、導入設備の温室効果ガス削減への寄与度を（生産量が一定であるという前提の下で）導入設備の費用の既存設備の費用からの増加分を用いることによって抽出している。このような定式化によって、一方井他(2009)の計算モデルと比べ、より客観的・理論整合的に温室効果ガスの削減費用の計算を行うことができるようになっている。

さらに本稿の計算モデルにおいては、既存設備と導入設備との間の生産能力の違いが存在する場合を考慮し、その調整を行った計算式となっている。一方井他(2009)では、このような生産能力の違いについても、すべて按分係数で調整されていた。それに対して本稿の計算モデルでは生産能力の違いを合理的な裏付けを持った形で調整を行っている。その点も、一方井他(2009)の計算モデルから改善された点である。

しかし、本稿の計算モデルにも以下のような課題が残されている。第一に、本稿の計算モデルから求められる温室効果ガスの削減費用は、生産量が一定という前提の下でのものである。その結果、この計算モデルでは、財の生産量の調整を伴うような対策に対する温室効果ガスの削減費用を求めることはできない。他方、現実には生産活動を抑制することにより排出削減を行ったり、省エネ設備を導入すると同時に生産活動を高めたりするなどの、生産量の変化を伴った対策を行うことがあり得る。このように排出削減対策を行うと同時に財の生産量の調整を行うことが合理的な判断となるような状況下では、本稿の計算モデルから得られる温室効果ガスの削減費用と温室効果ガスの排出価格とを一致させることは、合理的な行動とはならない。このような点についても、今後検討すべきであると言

えよう。

第二に、本稿の削減費用計算モデルを用いて計算を実際に行う際には、様々な工夫が必要となる場合がある。例えば、一見して更新の対象とすべき既存設備が存在しないと思われる場合でも、設備の生み出す財・サービスの量が一定であるという前提から何らかの設備を代替していると見なす必要があるだろう。オフィスにおける二重窓はその一例と考えられるが、この場合は、これまで利用していた暖房設備などがその代替設備と考えられる。また CCS のように温室効果ガス削減以外のサービスを提供しない設備の導入の場合は、もともとのサービスが存在しないのであるから、その意味で代替設備は存在せず、既存設備に掛かる費用及び排出は 0 となり、CCS の負の排出と正の費用のみが計算の対象となると考えられる。このように、考えられる様々なケースにおいても計算式が容易に利用できるよう、今後検討をしていくことも必要だろう。

第三に、第二の点とも関係するが、データを利用する際、どの値の利用が適切か判断するのが難しい場合がある。例えば、耐用年数は、法定と実勢では値が大きく異なる。同様に、既存設備の初期投資費用額も、取替原価・取得原価・売却時価のいずれを用いるかで値が大きく異なってくる。その他、エネルギー費用や人件費の取り扱い、生産能力比の与え方、修繕費の取り扱いなど、具体的なデータの当てはめ方について様々な困難が生じる。これらの問題についても、データの入手可能性、客観性、正確性などを考慮して、できるだけ統一した基準を与えることが必要だろう。

第四に、本稿のモデルも一方井他(2009)の計算モデルと同様に、既存設備が未償却であってもそれが削減費用に反映されていない。しかし、実際には、排出削減対策を早め、既存設備の償却が終了する以前に前倒しで新設備の導入を行う、ということがあり得る。この点について、今後改善すべき点と言える。

第五に、第四の点とも関連するが、本稿の計算モデルは、ある時点における削減費用の計算モデルであり、時間を通じた排出削減対策の実施について考慮していない。

ある時点における限界削減費用の計算は、どれだけの排出削減対策を行うことが最適かを判断する際の重要な目安となる。しかし、排出削減対策の実施を決定する際、ある時点において「どれだけの対策を行うべきか」だけでなく、「いつの時点で排出削減対策を行うべきか」の判断を行うことも重要である。このような時点の異なる削減対策の比較・実施の判断を行う際の目安となる指標の検討についても今後重要となる可能性がある。

補論. 限界削減費用の導出

温室効果ガスの限界削減費用は、一般に「温室効果ガスの排出量を一単位削減するために必要な費用」として定義される。しかしより具体的な限界削減費用の定義については、①何を費用と考えるか、②基準となる排出量をどのように設定するか、などの点で、文献により様々に定義される。

①費用の設定

- i) 財の生産量が一定という前提で企業利潤を最大とする（費用を最小とする）下での、限界削減費用
- ii) 財の生産量の調整を含め企業利潤を最大とする下での、限界的な機会費用（温室効果ガス削減により失う限界利潤）

②基準となる排出量の設定

- i) 排出量取引が導入されていない（温室効果ガス排出の価格が 0 の）状況で、企業利潤が最大となるような温室効果ガス排出量
- ii) ある特定の方法により求められた排出量（ベースライン）
- iii) ある基準年度における排出量

以上の分類のうち本節では、①費用の設定に関して理論的な検討を行う。

■ 費用の設定について

まず i) 削減により生じる実際の費用を非常に簡単なモデルを用いて計算してみたい。今、企業は清浄な大気の投入（温室効果ガスの排出）と清浄な大気以外の集散的生産要素の投入のみにより財・サービスを生産しているとすると、この企業の生産関数は以下の様になる。

$$Y = F(E, N) \quad (1)$$

$Y \in [0, \infty)$: 財の生産量

$E \in [0, \infty)$: 温室効果ガスの排出量

$N \in [0, \infty)$: 温室効果ガス以外の生産要素の投入量

また、この企業のこの財を生産するために必要な費用は以下のように定式化できる。

$$C = P_N N \quad (2)$$

$P_N \in [0, \infty)$: 温室効果ガス以外の生産要素の投入量

A. 1 財の生産量が一定という前提の下での限界削減費用

まず、財の生産量が一定の下での限界削減費用について考える。上記の設定では、生産量と温室効果ガス排出量を与えてしまうと、それに対応して温室効果ガス以外の生産要素投入量が決まってしまうため、企業の利潤最大化・費用最小化問題を考える必要はないことに注意をしておきたい。

今、一定とする財の生産量を $\bar{Y}$ とし、(1)を温室効果ガス以外の生産要素投入量について解くと、以下が得られる。

$$N = N(E, \bar{Y}) \quad (3)$$

よって上式を(2)に代入すれば、財の生産量が $\bar{Y}$ で一定の下で、E単位の温室効果ガスの排出を行うときの費用が求められる。

$$\begin{aligned} C &= N(E, \bar{Y}) \\ &= C(E, \bar{Y}; P_N) \end{aligned} \quad (4)$$

よって上式をEで微分することにより、温室効果ガス排出の限界費用 $MC_E(E, \bar{Y})$ を求めることができる。

$$MC_E(E, \bar{Y}) = \frac{\partial C}{\partial E}(E, \bar{Y}; P_N)$$

よって温室効果ガス削減費用は温室効果ガス排出の限界費用にマイナスを掛けたものと等しくなることを考慮すると、財の生産量が $\bar{Y}$ で一定の下での温室効果ガス削減費用は以下の様に求められる。

$$\begin{aligned} MAC(E, \bar{Y}) &= -MC_E(E, \bar{Y}; P_N) \\ &= -\frac{\partial C}{\partial E}(E, \bar{Y}; P_N) \end{aligned} \quad (5)$$

この温室効果ガス限界削減費用の定式化の理論的な妥当性を確認するため、排出量取引が導入された場合に、この企業が財を $\bar{Y}$ 単位生産する場合の費用を考えてみる。このとき、企業の利潤 π_E は以下のようにあらわすことができる。

$$\begin{aligned}\pi_E &= P\bar{Y} + P_E(\bar{E} - E) - P_N N \\ &= P\bar{Y} + P_E(\bar{E} - E) - C(E, \bar{Y}; P_N)\end{aligned}$$

$\bar{E} \in [0, \infty)$: 温室効果ガス排出枠の無償配分量

$P_E \in [0, \infty)$: 温室効果ガス排出価格

$P \in [0, \infty)$: 財の価格

よって企業が財を $\bar{Y}$ 単位生産するという前提の下での、利潤最大化条件は次のように書くことができる。

$$\frac{\partial \pi_E}{\partial E} = -P_E - \frac{\partial C}{\partial E}(E, \bar{Y}; P_N) = 0$$

よって、企業の利潤最大化条件は

$$P_E = \text{MAC}(E, \bar{Y}; P_N)$$

と書くことができる。上式は、財の生産量が一定という条件の下で、温室効果ガスの排出価格と温室効果ガスの限界削減費用が等しくなることを示している。

■ 生産量が一定の下での温室効果ガス削減費用定義の特徴について

以上では、財の生産量が一定という前提の下での温室効果ガス削減費用を求めた。また同じ前提の下で、企業が費用最小化をおこなうならば、この温室効果ガス限界削減費用と温室効果ガスの排出価格が等しくなることを見た。しかし、実際には企業は生産量も同時に利潤が最大となるように調整している。そこでもし温室効果ガスの削減対策を行うと同時に生産量の調整が行われるならば、厳密にはこの点も考慮して温室効果ガス削減費用を求めなければならない。この生産量の調整を考慮しない場合の限界削減費用の実際上の問題点としては、例えば新しい生産設備の導入による温室効果ガスの削減費用については求めることができるが、生産量の調整を伴うような対策については、その費用を求めることができないということがある。例えば、温室効果ガスの排出価格が高騰したとき、企業の工場を一つ閉鎖し、生産を抑制するといった場合の温室効果ガスの限界削減費用を求めることはできない。こういった点からすれば、本節の冒頭で示した①－ii)は、より理論的に整合的で望ましい定式化と言える。

以下では、本節でみた①－i)の定式化との関連にも注意しつつ①－ii)の定式化についてみる。

A. 2 財の生産量が可変的な下での限界削減費用

①-i)において、企業が財の生産量を変化させないという前提の下での温室効果ガスの限界削減費用を求めた((4)式)。次にこれまでの分析を下に生産量の調整を考慮した場合の温室効果ガスの限界削減費用についてみていきたい。ここで、本節の定式化では前節とは異なり、温室効果ガスを限界的に削減することにより生じる機会費用（すなわち、限界的に失われる利潤）と実際に生じる費用とは一致しないという点に注意しておきたい。これは生産量の調整は収入の変化に直結しているからである。そこで本節において限界削減費用とは、より理論的な定式化と考えられる定式化、つまり、温室効果ガスを限界的に削減することによって失う利潤として定義する。

この定式化に基づく温室効果ガスの限界削減費用を求めるため、生産量が可変的である場合の企業の利潤最大化問題を考える。このとき企業の利潤 $\hat{\pi}$ は、次のように表すことができる。

$$\hat{\pi} = PY - C(E, Y; P_N) \quad (6)$$

よって上記の利潤を最大とする財の生産量は以下の一階条件を満たす。

$$\frac{\partial \hat{\pi}}{\partial Y} = 0$$

すなわち、

$$P = \frac{\partial C}{\partial Y}(E, Y; P_N)$$

上式は、完全競争市場において、財の生産量は価格と限界費用が等しくなるように決まるということを示している。上式を Y について解くと

$$Y = Y(E; P, P_N) \quad (7)$$

を得る。よって、上式を(4)式に代入すると

$$\begin{aligned} C &= C(E, Y(E; P, P_N); P_N) \\ &= \hat{C}(E; P, P_N) \end{aligned}$$

を得る。さらに上式及び(7)式を(6)式に代入することで、企業利潤を以下のように求めることができる。

$$\begin{aligned} \hat{\pi} &= PY(E; P, P_N) - \hat{C}(E; P, P_N) \\ &= \hat{\pi}(E; P, P_N) \end{aligned}$$

そこで温室効果ガス排出の限界利潤は

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{\pi}}{dE}(E; P, P_N) &= P \frac{dY}{dE}(E; P, P_N) - \frac{d\hat{C}}{dE}(E; P, P_N) \\ &= \left(P - \frac{\partial C}{\partial Y}(E, Y(E; P, P_N); P_N) \right) \frac{dY}{dE}(E; P, P_N) - \frac{\partial C}{\partial E}(E, Y(E; P, P_N); P_N) \end{aligned}$$

と書ける。ここで、温室効果ガス削減費用が温室効果ガス削減から得られる負の限界利潤として定義されていること及び温室効果ガス削減から得られる限界利潤が温室効果ガス排出の負の限界利潤と等しいことに注意すると、温室効果ガスの限界削減費用 $\widehat{MAC}(E; P, P_N)$ は、以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \widehat{MAC}(E; P, P_N) &= \frac{d\hat{\pi}}{dE}(E; P, P_N) \\ &= MAC(E, Y(E; P, P_N); P_N) + \left(P - \frac{\partial C}{\partial Y}(E, Y(E; P, P_N); P_N) \right) \frac{dY}{dE}(E; P, P_N) \end{aligned}$$

上式から分かるように、得られる温室効果ガス排出の限界削減費用は、先に求めた財の生産量が一定という条件の下での温室効果ガス排出の限界削減費用に、生産量の変化の影響を加えたものとなる。

先に財の生産量が一定という条件の下で温室効果ガスの排出価格と限界削減費用が一致することを見たが、これと同様に、この温室効果ガス限界削減費用の定式化の理論的な妥当性を確認する。そのため、排出量取引が導入された場合のこの企業の利潤を考える。これは以下のようにあらわすことができる。

$$\hat{\pi}_E = P_E(\bar{E} - E) + \hat{\pi}(E; P, P_N)$$

よって企業の利潤最大化条件は次のように書くことができる。

$$\frac{d\hat{\pi}_E}{dE} = -P_E + \frac{d\hat{\pi}}{dE}(E; P, P_N) = 0$$

よって、企業の利潤最大化条件は、以下のように書き改めることができる。

$$\begin{aligned} P_E &= \widehat{MAC}(E; P, P_N) \\ &= MAC(E, Y(E; P, P_N); P_N) + \left(P - \frac{\partial C}{\partial Y}(E, Y(E; P, P_N); P_N) \right) \frac{dY}{dE}(E; P, P_N) \end{aligned} \quad (8)$$

上式は、温室効果ガスの排出価格と温室効果ガスの限界削減費用が等しくなることを示している。また同時に上式から、財の生産量が一定という条件の下で導出した温室効果ガスの限界削減費用とは一致しないということも分かる。⁶ これは最後の行の右辺第2項で現れているように生産量の変化に伴う収入と費用の変化が利潤の大きさに影響を与えているためである。

■ 財の生産量が可変的な下での限界削減費用の特徴について

以上で見たように、企業が財の生産量を調整することを考慮した下でも、完全競争市場の下では、温室効果ガスの限界削減費用とその排出価格が等しくなることを見た。しかし同時に、財の生産量が一定という条件の下で導出した温室効果ガスの限界削減費用とは一致しないという結果も得られた。これは大要以下の様に解釈できる。限界費用と排出価格が一致するところで企業利潤は最大となるが、既存設備と導入設備の間で財・サービスの産出量が異なる場合、その財・サービスの調整により生じる得られる収入の変化も考慮しなければ、上記の結果と整合的なものとはならない。例えば、省エネ設備を導入すると同時に財の生産量を増加させるという場合が考える。この場合、企業の利潤が最大となるのは、省エネ効果を控除した対策費用額に加えて、財の生産量の上昇による収益の上昇分も

⁶ (8)式の右辺の第二項には

$$P - \frac{\partial C}{\partial Y}(E, Y(E; P, P_N); P_N)$$

が含まれているため、一見、企業の利潤最大化条件から(8)式の右辺第二項は0となり、二つの温室効果ガスの限界削減費用は一致するように見える。しかし、上式の第二項 $\partial C / \partial Y$ は温室効果ガスの排出量が一定の下での財生産の限界費用であり、標準的な意味での財生産の限界費用とは異なることに注意する必要がある。

考慮して排出価格と比較しなければならない。そこでこのような場合には、財の生産量の変化に伴う収益の変化を考慮せず定義された限界削減費用と排出価格が一致しても、企業の利潤は最大とはならず、単純には限界費用＝価格という公式は成り立たなくなる。他方、このような財・サービスから得られる収入の変化を客観的に求めることは難しいため、本稿の計算式では、この点を考慮していない。

そこで理論的にはA. 1節において定義される限界削減費用より、A. 2節において定義される限界削減費用を用いる方が望ましいと言える。しかし、実際における計算上の問題として、利潤を最大とするような生産量を求めることは難しい。またもし削減対策が財の生産量に影響を与えないならば、A. 1節において定義される限界削減費用とA. 2節において定義される限界削減費用は一致する。そこで実際上の計算としては、A. 1節において定義される温室効果ガスの限界削減費用をA. 2節で定義される温室効果ガスの限界削減費用のある種の「代理変数」として用いることも考えられよう。このような考え方に立つならば、温室効果ガスの限界削減費用は、次の計算式で近似することができる。

$$\text{MAC}(E, Y) \approx -\frac{\Delta C}{\Delta E} = \frac{\Delta C}{R} \quad (9)$$

$R \in [0, \infty)$: 温室効果ガス削減量

本稿の第5節で提案した計算モデルにおいて $(C_{\text{dep}} + C_v) - (D_{\text{dep}} + D_v)$ は新規設備の生産性で調整した導入設備と既存設備に関する費用の差であることを踏まえると、計算式は(9)式と本質的に同じものであることが分かる。

【引用文献】

〔邦文〕

- 一方井誠治『低炭素化時代の日本の選択 環境経済政策と企業経営』岩波書店（2008）
- 一方井誠治、石川大輔、大堀秀一『平成 18 年度 地球温暖化対策の経済的側面に関する調査研究報告書』京都大学経済研究所附属先端政策分析研究センター（2007）
- 一方井誠治、石川大輔、佐々木健吾『平成 19 年度 地球温暖化対策の経済的側面に関する調査研究報告書』京都大学経済研究所附属先端政策分析研究センター（2008）
- 一方井誠治、石川大輔、佐々木健吾『平成 20 年度 地球温暖化対策の経済的側面に関する調査研究報告書』京都大学経済研究所附属先端政策分析研究センター（2009）
- 一方井誠治、堀勝彦、栗田郁真『平成 21 年度 地球温暖化対策の経済的側面に関する調査研究報告書』京都大学経済研究所附属先端政策分析研究センター（2010）
- 環境省「環境会計ガイドライン 2005 年版」環境省（2005）
- 産業環境管理協会環境会計委員会「環境管理会計ワークブック」経済産業省（2002）
- 中央環境審議会地球環境部会「「目標達成シナリオ小委員会」中間とりまとめ」（2001）

〔英文〕

- Edmonds, J.A. and Pitcher, H.M. and Barns, D. and Baron, R. and Wise, M.A. " Modeling future greenhouse gas emissions: the second generation model description," In *Modelling Global Change*, Kline, L. R. ed.
- Jasch, C., "Environmental management accounting: Procedures and principles," UN Divisions for Sustainable Development (2001).
- Joosen, S., and K. Blok (2001) "Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change. Economic Evaluation of CO2 Emission Reduction in the Household and Services Sectors in the EU. Bottom-up Analysis," European Commissions by Ecofys.
- Mori, S. "Energy and Technology Strategies in Long-Term Global Views: Simulations of the Integrated Assessment Model MARIA" In *International frameworks and technological strategies to prevent climate change*, Sawa, T. ed. (2003)