Osaka University of Economics Working Paper Series

No. 2006-7

環境技術の独占的供給下における最適な環境政策

Optimal Environmental Policy under Monopolistic Provision of Environmental Technology

大阪経済大学　経済学部　服部圭介

2007 年 2 月

Keisuke Hattori, Osaka University of Economics

環境技術の独占的供給下における最適な環境政策

大阪経済大学 経済学部
服部 圭介*

2007 年 2 月

概要

本稿は，完全競争/不完全競争汚染財市場と独占的に環境技術開発部門が存在する経済モデルを構築し，環境政策の技術開発誘因効果や，最適な資源配分を導く政策ミックスについて分析する．理論分析の結果として，環境税が環境技術開発を引き起こす条件として，汚染財の需要の価格弾力性が小さいことと，汚染財企業の限界費用に占める環境税の負担が小さいことが明らかになる．また，政府は適切な環境税と環境技術開発への補助という政策ミックスを用いることで，市場の競争状態に関わらず，最適な資源配分を達成できることが明らかになる．また，シミュレーション分析により，環境税収を環境技術開発の補助金に充てるという政策ミックスが，税収中立のもとでいわゆる二重の配当をもたらすための条件を探る．

1 はじめに

地球温暖化問題などに代表される環境問題に対して多くの一般的な関心が高まる中で，近年，環境政策と技術革新との相互関係が学術/政策的注目を集めている．これは，経済活動がもたらす環境への影響が技術革新によって左右されるという理由だけでなく，同時に環境政策それ自体が技術革新の障害や誘因を生み出すという側面があるという理由からである（Jaffe et.al (2002)）．言い換えれば，一時点での環境政策は汚染量の削減という短期的な影響を及ぼすだけでなく，環境技術の開発と普及という長期的な影響をも及ぼす可能性があるのである．

環境政策が環境技術の開発/普及や経済厚生に与える影響については，20 年以上もの間，多くの理論的研究がなされ，現在も大きな注目を集めている．これらの研究は，主に二つの別の視点からの研究の流れとして整理することができる．一つ目の研究の流れは，様々な環境政策（排出税，排出削減への補助，直接規制，排出権取引制度）のうち，どの政策が最も環境技術の開発インセンティブを引き起こすのかを比較するという研究である．このような視点では，Downing and White (1986) の先駆的研究以来 20 年の間，多くの理論的研究がなされている[*1]．

Downing and White (1986) では，排出税システムが最も技術開発の誘因効果が高く，直接規制が最も低いことが確認されたが，その後，Milliman and Prince (1989) は，政策のタイミングや技術の開発/普及という要素を理論的に組み込み，競売配布制の排出権取引システムの方が排出税システムよりも，高い技術開発誘因効果がある場合があることを示した．これは，排出権取引システムの下では，開発された新技術の採用/不採

* 本研究は環境省「地球環境研究総合推進費 (FS-053)」の助成を得た．

*1 これ以前の研究では，環境政策として，規制的手段よりも市場ベースの手段の方がより大きな環境技術開発の供給につながるということは明らかになっていたが（Kneese and Schultz, 1975; Magat, 1978 など），市場ベースの環境政策をそれぞれ詳細に比較したものを含めた系統だった研究は，Downing and White (1986) の研究が発端となったと考えられる．

用を考える各汚染財企業は，新技術を採用することで汚染削減費用の低下という便益だけでなく，排出権価格の低下という便益も享受できるので，新技術の採用インセンティブが排出税システムよりも大きくなるという考えから導かれるものであった．しかし，後に Fischer et.al (2003) で明らかになるように，この排出権価格の低下という便益は，新技術を採用しない汚染企業にも同様の便益をもたらすために，各汚染企業はその分だけ新技術採用の誘因が小さくなるので，技術の採用インセンティブは排出税システムの方が高くなる．よって，技術の開発/普及という総合的な視点からは，排出税システムの方が排出権取引システムよりも，より高い技術開発誘因効果があることが一連の研究によって明らかになってきた[*2]．

これらの「環境技術開発誘因効果の環境政策による比較」という一連の研究では主に，(a) 汚染財市場（及び排出権取引市場）が完全競争である，(b) 環境政策は，（技術革新前の）事前のピグー税水準に固定されるという点で，非戦略的なものである，(c) 政府の環境政策手段は一つであり，その他の政策との組合わせは考慮しない，という 3 つの特徴を持っている．これらの特徴は，分析の簡便性という視点からは望ましいものであるが，現実の環境政策を考えるときには，問題となることがしばしばある．汚染財市場の競争状態は．環境政策の対象とする市場に応じて様々であり，中には電力産業や自動車産業など完全競争を想定するのが難しい産業が存在する．また，環境政策の策定にあたっては，それがもつ技術開発誘因効果やその税収の使途も十分に考慮されることが予想される．本稿では，これらの問題点を考慮に入れた理論モデルを構築する．

環境政策と環境技術開発との関係を分析したもう一つの研究の流れとして，主に不完全競争下における環境政策と戦略的 R&D 投資との関係に主眼をおいた産業組織論的な一連の研究が存在する．この流れの既存研究の多くは，技術革新をもたらす環境 R&D 活動が，汚染産業内の各々の企業によって，排出削減費用を減少させる投資の形 (cost-reducing investment) で行われることを仮定している（Ulph (1997), Petrakis-Xepapadeas (1999), Montero (2002a, 2002b) など）．これらの研究では，各汚染財企業による環境 R&D 投資は，排出削減費用を減らす効果だけでなく，不完全競争下での自らの戦略的ポジションを変化させる効果も持つことが示された．様々な環境政策の技術開発誘因効果は，それら二つの影響を検討することで明らかになる．結果的に Montero (2002a) は，技術開発誘因効果が市場の構造（クールノー競争かベルトラン競争か）などに依存して決まることを明らかにした．

これらの「不完全競争下における環境政策と技術開発投資」という一連の研究では主に，上記の特徴 (b), (c) とともに，(d) 環境技術開発が汚染財企業によって個別になされ，技術の特許や保護という制度は存在しない，という特徴を持っている．しかし Lanjouw and Mody (2002) などの実証研究結果などに見られるように，例えば水質汚染の環境改善技術の 95 ～ 98% は，その産業で使用されるのではなく，他の産業で使用されることが明らかになっている．これは，環境技術が汚染財企業によって開発・供給される (inside supplier) のではなく，汚染市場外にいる主体によってなされる (outside supplier) ことを想定したモデル設定が必要になることを示唆していると思われる．

本稿では，これらの二つの流れの先行研究を踏まえ，環境技術開発が独占的な R&D 企業によって開発され，特許保護された技術を汚染財企業に供給するようなモデル (outside supplier のモデル）を構築し，環境政策が環境技術の開発・普及インセンティブや経済厚生に与える影響を分析する．さらに，汚染財市場が完全競争下にある場合と不完全競争下にある場合についてそれぞれ同様の分析を行う．我々が考察する環境政策は，環境税（排出税）とその財源を利用した環境技術への補助金との政策ミックスに焦点をしぼる．さらにここでの環境政策は，それが持つ技術開発誘因効果を考慮して決定されるという点で，より戦略的な環境政策で

[*2] ただし例外として，Fischer et.al (2003) は，技術開発の模倣効果が高い場合には，排出権取引システムが排出税システムよりも高い技術開発誘因効果があることが示されている．

ある．このようなモデルを用いて，どのような環境政策が，どのような経済環境の下で，適切な環境技術開発誘因効果を引き出し，さらに社会的最適な資源配分を達成できるのかという問題を考える．

モデル分析の結果として，以下の結果が明らかになる．汚染財市場が完全競争状態であるならば，政府の課す環境税の上昇は，汚染財需要の価格弾力性が小さい場合，もしくは環境税導入の幅が小さい場合に，環境技術開発を促進させることが明らかになる．これは言い換えれば，環境税による短期的な生産量抑制効果が小さいほど，環境技術の改善による長期的な排出削減効果（効率性効果）が大きくなることを意味する．また，社会的最適な資源配分を達成するための，環境税と環境技術開発への補助金の政策ミックスが導出され，またその性質が明らかになる．我々のモデルにおいては，排出による負の外部性効果に起因する非効率性と，技術開発部門の独占的構造（または特許制度）に起因する非効率性の二つの歪みが存在するが，政府は適切な環境政策ミックスによって，二つの非効率性を是正し，社会的最適な資源配分を達成することができる．

さらにシミュレーション分析によって，最適な資源配分を達成する政策ミックスが，税収中立の下で達成できるのかどうかという点についても明らかにする．これは Goulder (1995)，Bovenberg-de Mooji (1994)，Goulder et. al (1999) などのいわゆる「環境税の二重の配当」の議論と類似している．つまり，環境税による税収を用いて，他の市場の歪み（ここでは技術開発部門の独占による非効率性）を解消することで，環境配当だけでなく他の配当が得られるという議論が，我々の枠組みで成立するかどうかという分析である．結果として，それが達成できるかどうかは市場構造や技術開発，環境被害の性質に関する様々なパラメータに依存することが明らかになる．

汚染財市場が不完全競争状態にある場合においても，政府は適切な環境税と環境技術開発補助政策を用いることにより，社会的最適を達成できることが明らかになる．完全競争の場合と比べ，それらの政策ルールはどのような性質を持つのかについても明らかになる．また，Ulph (1997) などの先行研究と異なり，汚染財企業数の増加が環境技術開発を促進させることが明らかになる．これは環境技術開発が，各汚染財企業によって独立的になされる (inside supplier モデル）か，もしくは汚染財市場外の独占的部門によってなされる (outside supplier モデル）かという違いに起因することが明らかになる．

本稿の構成は以下の通りである．次節では最初に，分析する経済モデルの概要を述べ，汚染財市場が完全競争状態にある場合の最適な環境政策について分析する．その後，導出された環境政策の水準や，それに必要な予算について分析するため，関数を特定化したシミュレーション分析を行う．その後に，汚染財市場が不完全競争状態である場合の同様の分析を行う．第 3 節では，本稿で明らかになった結果の政策的含意について述べ，第 4 節を結語とする．

2　モデル分析

n 社の同質的な汚染財企業と，独占的に環境技術を開発・供給する 1 つの R&D 企業，そして環境政策を行う規制主体（政府）が存在する経済を想定する．各主体の意思決定のタイミングは以下の通りである．最初に政府が環境政策として環境税（排出税）と（もし可能であれば）R&D に対する補助率（研究補助タイプ，もしくは汚染財企業への新技術の導入に対する補助タイプ) を設定する．政府の環境政策を所与として，次に独占的 R&D 企業が環境技術開発への投資量を決定し，開発された技術に対する特許料を設定する．最後に，各汚染財企業が，環境政策と新技術に対する特許料を所与として，その技術を採用するかどうかを決定した後で，生産量を決定する．ここでは．政府の意思決定が民間経済主体より前に行われることを仮定している．これは，政府による環境政策は，自らの政策が R&D 企業の行動や各汚染財企業の行動に及ぼす影響を考慮した上

で設定されることを意味する[*3]．また，生産物市場は同質的企業のベルトラン競争で近似した完全競争状態にある場合と，同じくクールノー競争による不完全競争状態にある場合の 2 つの状況を想定して分析を進める．

これらの理論モデルを用いて，以下のような問題を考察する．まず最初に，効率的資源配分が達成されるような最善（ファーストベスト）の環境政策が存在するかどうか，また存在するならば，そのような環境政策の持つ性質について分析する．また，政策手段が限られている場合も同様に考察する．次に，政府による環境政策が，環境技術開発をどれほど誘引するかという問題を考察する．最後に，汚染財市場の競争状態と，最善の（もしくは次善の）環境政策との関係を明らかにする．

2.1 完全競争汚染財市場における環境政策

ここでは，汚染財市場が限界費用一定のベルトラン競争で近似した完全競争下にある経済を想定する[*4]．需要の構造は需要関数 $X(P)$ または逆需要関数 $P(X)$ で与えられるとする．モデルは後ろ向きに解かれるので，まず汚染財企業の行動を分析する．

同質的な n 汚染財企業による生産の限界費用一定 c のベルトラン競争の帰結から，各汚染財企業の限界費用と価格は等しくなる．

結果として，汚染財企業の総生産量 X は，環境 R&D 企業が開発した新技術を採用しない場合とする場合のそれぞれで，以下のように求められる．

$$P(X) = c + e(0)t \tag{1}$$
$$P(X) = c + e(z)\,t + r \tag{2}$$

ここで，$P(\cdot)$ は逆需要関数を，X は総生産量を $(X = nx)$，x は各汚染財企業の生産量を，$e(\cdot)$ は生産物 1 単位当りの排出量を，z は R&D 企業の環境技術開発への投資量を，t は環境税率を，そして r は R&D 企業が設定する生産 1 単位当りの特許料を表す．

新技術を採用しない場合，汚染財企業は $e(0)$ という古い技術を使用することになり，新技術を採用する場合は，$e(z)$ という技術を採用する代わりに，1 単位の生産にあたり r という特許料を R&D 企業に払うことになる．

仮定 1 $\forall z \geq 0, 0 < e < \infty; e' < 0; e'' > 0$

仮定 1 は，生産 1 単位当りの排出技術（量）は，環境開発投資が増えると改善する（小さくなる）が，その効率性は投資量が増えるに連れて改善幅が小さくなることを意味している（関数 $e(\cdot)$ が凸関数）．

仮定 2 技術革新は非ドラスティック *(non-drastic)* である．すなわち

$$c + e(0)t < \underset{P}{\operatorname{argmax}} \{P\,X(P) - (c + e(z)t)X(P)\}$$

が成立する．

[*3] Milliman and Prince (1989), Fischer et al. (2003) などの研究では，政府は自らの政策が技術開発行動に及ぼす影響を無視した「事前の」ピグー税水準に設定されると仮定しているのとは対照的に，我々は技術開発誘因効果を考慮した政府の最適な政策を導出することに焦点を置いている．

[*4] ここでの完全競争汚染財市場における分析においては，Denicolò (1999) が構築した理論モデルに依拠している．

仮定 2 は，イノベーション後のコスト構造であるときの独占価格よりも，イノベーション前のコスト $(c+e(0)t)$，すなわち完全競争均衡価格が小さくなるということを意味している．

ここで，生産一単位あたりの特許権使用料 r は，Arrow (1962) に従って，汚染財企業にとって新技術を採用するかしないかが無差別になるような水準，

$$r = [e(0) - e(z)]t \tag{3}$$

と設定されるのが，R&D 企業にとって最適である．なぜならこの水準より大きな r を設定すれば，汚染財企業は全て技術を採用せず古い技術を使う方がベルトラン競争の過程において利潤を大きくすることができるからであり，また，仮定 2 の技術革新の非ドラスティック性により．この水準より小さな r を設定することは，R&D 企業の特許収入を小さくしてしまうからである．つまり最適な特許料価格は，上記の r と等しく（厳密にはそれより僅かに小さく）することになり，全ての汚染財企業は新技術を採用するという結果になる．

(3) 式を (2) 式に代入することで，均衡における総生産量は

$$X = X(c + e(0)t) \tag{4}$$

となり，同質的な各汚染財企業の生産量 x は $x = X(c+e(0)t)/n$ となることがわかる（$X(\cdot) = P^{-1}(\cdot)$ である）．ここで重要なのは，均衡生産量が，環境技術開発投資 z に依存しないことである．

次に R&D 企業の行動を分析する．R&D 企業の利潤は以下で定義される．

$$\Pi = \max_{z} \left\{ r\,X(c+e(0)t) - (1-s)\,z - F \right] \right\} \tag{5}$$

ここで，s は政府が設定する R&D 企業の環境技術開発投資に対する補助率を表し，F は R&D 活動に必要な固定費用である．(3) 式を使うと，この利潤最大化の一階条件として

$$-e'(z)\,t\,X(c+e(0)t) = 1 - s \tag{6}$$

が得られる[*5]．(6) 式の左辺は投資の限界収入を，右辺は限界費用を表している．これを比較静学することによって，R&D 企業の環境技術開発投資は以下のような性質を持つ事がわかる．

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dt} &= \frac{-e'\left[X + e(0)\,t\,X'\right]}{e''\,t\,X} \\ \frac{dz}{ds} &= \frac{1}{e''\,t\,X} > 0, \quad \frac{dz}{dc} = \frac{-e'\,X'}{e''\,X} < 0 \end{aligned} \tag{7}$$

これより，環境技術開発は，補助率に対して増加的であり，汚染財企業の限界費用に対して減少的であることが明らかになる．環境税率が技術開発に及ぼす影響 (7) を評価するために，以下の変数を新たに定義する．

$$\sigma \equiv \frac{e(0)t}{c+e(0)t} \in [0,1), \quad \epsilon \equiv -\frac{X'(P)\,P}{X} \in [0,\infty)$$

ここで σ は，汚染財企業の限界費用に占める環境税支払いの割合を表し，ϵ は汚染財の需要の価格弾力性を表している．これを使って (7) 式を整理すると

$$\frac{dz}{dt} = \frac{-e'}{e''\,t}\big(1 - \sigma\,\epsilon\big)$$

が得られる．

[*5] 二階条件は $-e''\,t\,X < 0$ であり，これは必要充分条件となる．

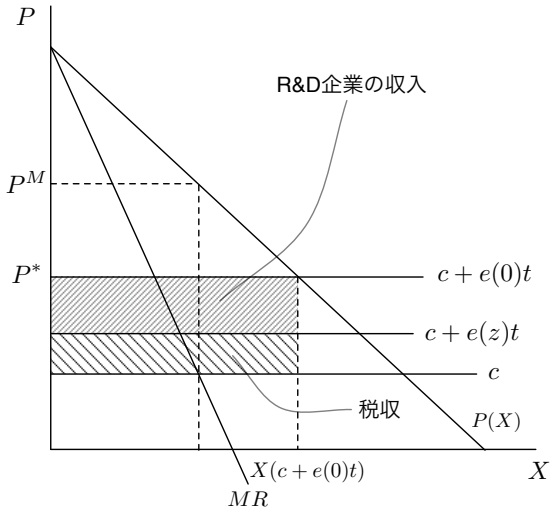

図 1　完全競争下における環境政策の効果と環境 R&D

命題 1

企業の限界費用に占める環境税額の割合 (σ) が小さい，または生産物の需要の価格弾力性 (ϵ) が小さい場合，環境税の増加は環境技術開発を促進させる．

この命題の直感的解釈は以下の通りである．生産物の需要の価格弾力性が大きな場合には，環境税の増加は均衡生産水準を大きく減らすことになる．R&D 企業の単位当り特許権使用料は税率の増加により大きくなるが，均衡生産量の大幅な減少により，R&D 企業の限界収入を減らすことになる．よって価格弾力性が大きい場合には，環境税の増加は環境技術開発投資量を減少させることになる．一方，需要の価格弾力性が小さな場合には，環境税の増加は均衡生産水準を大きく減らさないので，単位当り特許権使用料と均衡生産量の積である R&D 企業の収入を増加させるので，R&D のインセンティブを高めることになる．言い換えれば，需要の価格弾力性が小さく，環境税の水準が低いという「環境税のピグー的効果」が小さくなるような条件は，一方で，環境技術開発を大きく促進させる条件と一致するのである．

また，(7) 式はもう一つの定性的評価をすることができる．ここで環境税が存在せず（$t = 0$），生産物市場が独占状態にあるときを想定する．その場合，生産物市場での独占企業の利潤最大化の一階条件は $X(P^M_{t=0}) + (P^M_{t=0} - c)X'(P^M_{t=0}) = 0$ となる（$P^M_{t=0}$ は環境税が 0 である場合の独占価格を表す）．ここで，(1) 式で表される価格をこの $P^M_{t=0}$ に代入すると，ちょうど (7)$= 0$ と同じ条件が得られる．もし $P^M_{t=0} > P(X)$ であるならば，独占企業の一階条件を使うと (7)> 0 が得られる．つまり

命題 2

環境税が課された状態で達成する完全競争市場価格が，環境税が存在しない状態の市場の独占価格よりも小さい場合，つまり

$$c + e(0)t < \underset{P}{\operatorname{argmax}} \{P\,X(P) - c\,X(P)\}$$

のとき，環境税の増加は環境技術開発を促進させる．

この命題中の条件，$c + e(0)t < \underset{P}{\operatorname{argmax}} \{P\,X(P) - c\,X(P)\}$ は，環境税導入水準の非ドラスティック性を意味している．これはイノベーションに関する非ドラスティック性の条件である仮定 2 と類似した条件であ

る．つまり，この性質を満たす程大きくない環境税の導入は必ず環境技術開発誘因効果を持つことがこの命題より確認できる．

図 1 には，この経済の生産物市場の状況が描かれている．もし図中の P^M よりも課税後の汚染財企業の（特許料支払いを含む）限界費用（$c + e(0)t$）が小さい場合，環境税の増加は環境技術開発を促進させる．図 1 にはまた，政府の環境税収入と R&D 企業の収入とが描かれている．R&D 企業の収入は，技術開発部門が無いときに本来環境税収となる部分の一部分であることを見て取ることができる．

環境政策が R&D 企業の利潤に及ぼす影響は，(3), (5) 式と包絡線定理より，

$$\frac{d\Pi}{dt} = [e(0) - e(z)]\left[X^* + e(0)tX^{*\prime}\right]$$

が得られ，この正負を判定するための条件は命題 1 と 2 の条件と等しくなる．

ここで注意すべきは，環境 R&D 企業にかかる固定費用 F の存在である．(5) 式より，もし $t = 0$ であるなら $\pi = -F$ となり，R&D 企業は固定費を回収できないことになる．固定費用がサンクコストであるならば，環境技術開発を促すための下限の環境税率（$\underline{t}$ とする）が存在することになる．

次に政府の行動を分析する．まず最初に，政府が以下で定義される社会厚生を最大にするために，生産量水準 X と環境技術開発量 z を直接操作できる場合の効率的な資源配分（最善解）を導出する．社会厚生は

$$SW = \int_0^X P(h)dh - c\,X - z - F - D(e(z)\,X) \tag{8}$$

と定義する．右辺第一項は汚染財消費による消費者余剰を，最後の項は排出からの環境被害を金銭換算したものを表している．

仮定 3 $\forall\psi > 0,\ 0 \le D(\psi) < \infty; D' > 0; D'' > 0; D(0) = 0$

(8) 式最大化のための X と z の一階条件は

$$\frac{\partial SW}{\partial X} = 0 \ \leftrightarrow\ P(X) = c + e(z)D' \tag{9}$$

$$\frac{\partial SW}{\partial z} = 0 \ \leftrightarrow\ -e'(z)\,X\,D' = 1 \tag{10}$$

と導出される[*6]．(9) 式は，生産物の社会的限界便益と社会的限界費用が等しいという条件を表しており，(10) 式は，環境技術開発投資の社会的限界便益と限界費用が等しいという条件を表している．

次に分権的経済における政府の環境政策を考察する．政府は環境税率 t と環境 R&D 補助率 s を操作変数とし，(8) 式で定義された社会余剰を最大にするべく環境政策を実施する．最大化のための一階条件は

$$\frac{\partial SW}{\partial t} = \frac{dX}{dt}\left[e(0)t - e(z)D'\right] + \frac{dz}{dt}\left[\frac{1-s}{t}D' - 1\right] = 0 \tag{11}$$

$$\frac{\partial SW}{\partial s} = \frac{dz}{ds}\left[\frac{1-s}{t}D' - 1\right] = 0 \tag{12}$$

として導出される[*7]．

[*6] 両式ともに二階条件は負である．

[*7] 二つの条件ともに，二階条件は $dz/dt > 0$ である限り満たされる．

命題 3

この経済において，政府は

$$t^{FB} = \frac{e(z)}{e(0)} D' \tag{13}$$

$$s^{FB} = \frac{e(0) - e(z)}{e(0)} = \frac{\Delta e}{e} \tag{14}$$

で表される水準の環境税政策と環境 $R\&D$ 補助政策の組み合わせにより，最適な資源配分（最善解）を達成できる．

この命題は，この経済において，環境税と環境 R&D 補助という政策のミックスによって効率的な資源配分を達成できること示している．この最善の環境税水準は，(13) 式より，限界環境被害（D') よりも小さいことが確認できる．これは，環境税が持つ環境技術開発の誘因効果によるものである．また，(13) 式を (6) に代入したものと (12) 式を比較するとわかるように，R&D 企業の独占的構造より，環境技術開発投資への過少供給が存在する為に，(14) 式で表される技術開発補助が必要になるのである．そしてこの最善の政策における R&D 補助率はちょうど，環境投資が 1 単位当り排出水準に及ぼす効率性（つまり，z によって開発された新しい技術は，古い技術を何 % 改善させたか）と等しくなるという，極めてシンプルな補助ルールであることがわかる．

次に，政府の環境政策が，環境税の操作だけに限られている場合のセカンドベスト（次善）の政策について分析する．社会厚生最大化のための一階条件は (11) 式の $s = 0$ を代入したもので表される．ここで，

$$\frac{\partial SW}{\partial t}\Big|_{t=D'} = \frac{dX}{dt}\left[(e(0) - e(z))D'\right] < 0 \tag{15}$$

$$\frac{\partial SW}{\partial t}\Big|_{t=t^{FB}} = \frac{dz}{ds}\left[\frac{e(0)}{e(z)} - 1\right] > 0 \tag{16}$$

となることより，以下の命題が導かれる．

命題 4

この経済において，政府が環境政策手段として環境税のみを用いるとき，その次善の環境税水準 t^{SB} は

$$t^{FB} < t^{SB} < D'$$

という性質を満たす．

この命題の直感的解釈は以下の通りである．最善の環境政策の場合と同じく，R&D 補助が無い場合でも，最適な環境税率は限界環境被害（環境技術開発部門が存在しない場合のピグー税水準 D'）を下回る．これは環境税の技術開発誘因効果の存在による．しかし，R&D 補助政策が使えない場合には，R&D セクターの独占的構造による過少投資の非効率性は依然として残ってしまう．次善の環境税率は，この過少投資による非効率性を和らげるために，最善解水準より高くして，R&D 企業の限界収入を増やし，より投資のインセンティブを高めてやる必要があるのである．つまり環境 R&D の補助政策と組み合わせることにより，より低い税率で最適な資源配分を達成することが可能なのである．

最後に，最善の環境政策の組み合わせにより必要な予算 B を，環境政策予算（Environmental Policy Budget）と定義すると，それは以下で与えられる．

$$B = \left[e(0)t^{FB}X - s^{FB}z\right] \tag{17}$$

右辺第一項は政府の環境税収を表しており，第二項は環境 R&D 投資に対する補助金支出を表している．もしこの B が非負であるならば，環境税収を他の補助金へまわすことで税収中立（または黒字）の下で，環境の外部性を内部化するだけでなく，他の歪みも是正することができるという所謂一種の「二重の配当（Double Dividend)」の性質をもつ環境税政策であることがわかる．

次の小節では，上記の環境政策予算の正負や，その他の変数の最善環境政策下での性質を見るために，各関数型を特定したシミュレーション分析を行う．

2.2 シミュレーション分析

ここでは，最善の環境政策と，その政策下における環境政策予算の性質を調べるために，関数型を特定化したシミュレーション分析を行う．

関数型はそれぞれ，

$$P(X) = A - b\,X, \quad e(z) = e(0)\exp[-\alpha\, z], \quad D(\psi) = \beta\,\frac{\psi^2}{2}$$

と特定化する．A は市場規模を，b は逆需要関数の傾きを，α は R&D 投資関数の効率性を，β は限界被害の傾きを表したパラメータである．

基本の状態として，

$$A = 20,\ b = 1,\ c = 1,\ \alpha = 0.3,\ \beta = 0.1,\ e(0) = 1$$

の均衡を求め，そこから各パラメータを操作変数として，分析する．

まずはファーストベスト環境政策の性質と各パラメータとの関係を調べる．ここで環境税 t^{FB} は額であり，s^{FB} は率であるので，同じ尺度にするために，税は $\sigma = e(0)t^{FB}/(c + e(0)t^{FB})$，つまり各汚染財企業の限界費用に占める税の割合で表現する．

図 2 の左上図は市場規模（Market Size) を表すパラメータ A と最善の環境政策との関係である．生産量が十分に小さい程市場規模が小さいときには，R&D 企業にとって投資の限界収入が限界費用の 1 を下回ってしまうので，R&D 投資はなされず，よって最適な補助率はゼロとなる．市場規模が拡大するにつれて，生産量増加により環境税率は高くなり，それにより R&D 企業の技術開発のインセンティブが大きくなる．環境技術開発投資がなされるようになると，それと同時に独占的構造による過少投資の非効率性も大きくなるので，最善の補助率は上昇する．そして環境税率は，技術の向上による単位当り排出の減少により，市場規模の増大とともに低下する．

図 2 の右上図は，限界環境被害の傾き（β）の変化が及ぼす影響を表している．限界被害の傾きが増すにつれ，環境技術開発が行われていない時には，環境税率は高くなるが，環境技術開発が行われてからは，税率を変えず，補助率を上げる方が効率的であることがわかる．これは環境税率の上昇は生産量を減らすことによる消費者余剰の減少という負の効果がある一方，補助率の増加による環境 R&D 投資量の変化は，(4) 式からもわかるように，生産量水準を変化させないからであり，その負の効果がないことに起因する[*8]．

図 2 の左下図は，線形の逆需要関数の傾きと，最善の環境政策との関係である．b が小さいほど，需要の価格弾力性が大きいことを意味するので，最適な環境税率は小さくなる．また，価格弾力性が大きくなるにつれて（b が小さくなるほど)，最適な補助率は大きくなる．これは，b が小さいほど，税による生産量減少効果が大きいので，R&D 企業の投資のインセンティブが小さくなってしまうからである．

[*8] ここで注意すべきは，環境 R&D が行われているからといって，政府の最適な環境政策が R&D 補助金だけにはならないことである．なぜなら環境税率がゼロになると，汚染財企業は新技術を採用するインセンティブを持たないからである．

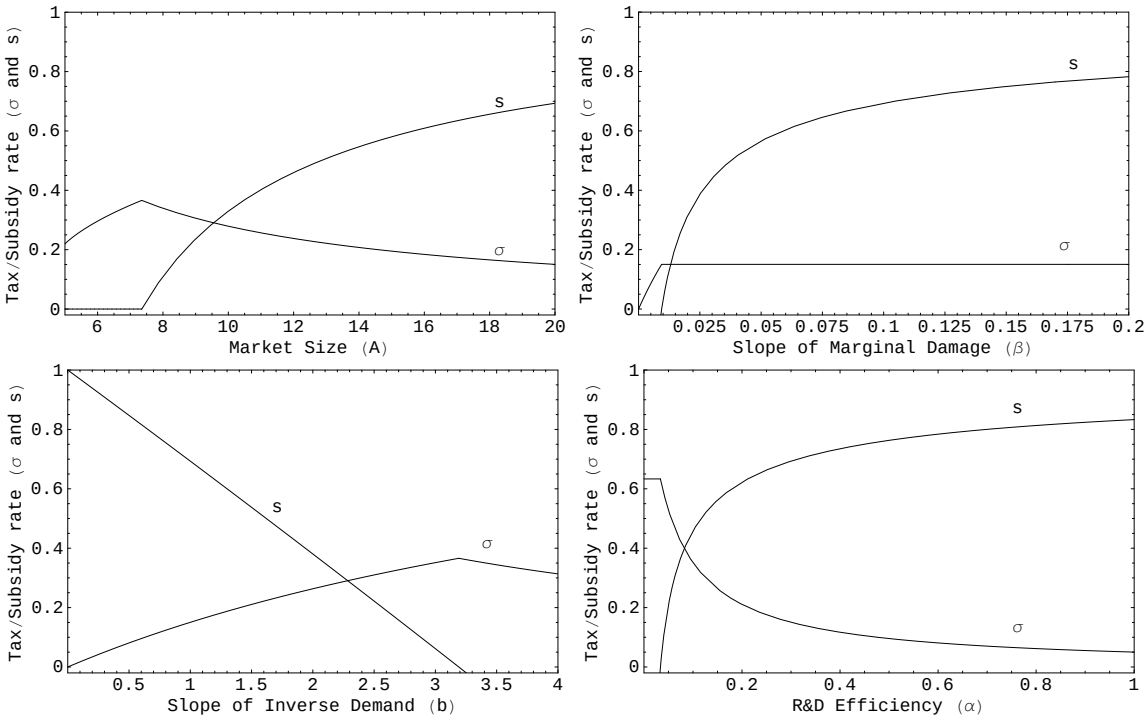

図 2　最善の環境政策の性質

図 2 の右下図は，R&D 投資関数の効率性（α）の変化が及ぼす影響を表している．投資が効率的（α が大きい）ほど，政府は最適な資源配分を達成するための政策手段を税から補助に切り換えることが図には示されている．これは，上に述べたように，税には生産量減少の負の効果があるのに対して，補助にはそれがないからである．

次に，前小節で定義した環境政策予算（B）の，各パラメータに対する性質を分析する．

図 3 の左上図は，環境政策予算と市場規模との関係を表している．市場規模が大きくなるにつれ，均衡生産水準（X），環境技術開発量（z），補助率 (s）はそれぞれ大きくなるが，税率（σ）が減少するので，政府の税収入に対する補助支出は増大することになり，いずれ赤字に転ずることになる．

図 3 の右上図は，限界環境被害の傾き（β) との関係を表している．環境技術開発が行われないほど β が小さいときには，環境被害の評価が大きくなる程税率は高まり，政府の収入は増加する．しかし，環境技術開発が正の水準で行われ，政策が税よりも補助にシフトするにつれて，B は減少することになる．

図 3 の左下図は，b と B との関係を表している．需要の価格弾力性が小さいほど（b が大きいほど），環境政策予算は黒字になる．

図 3 の右下図は，α と B との関係を表している．R&D 投資の効果が大きい程，政府は環境税よりも補助による外部性の内部化を測る方が好ましいので，その効果の増加とともに，政府収支は赤字化することになる．

図 3 のそれぞれの図において，環境政策予算が黒字である（$B \geq 0$）範囲は，言い換えれば，一種の「二重の配当」が達成されていると考えることができる．つまり，政府は環境税による税収を，環境技術開発への補助に回すことによって，排出による負の外部生を緩和するだけでなく，技術開発部門の独占的構造による非効率性も解決することができるのである．同様の結果は，本稿では考察しなかったが，技術開発部門の開発した

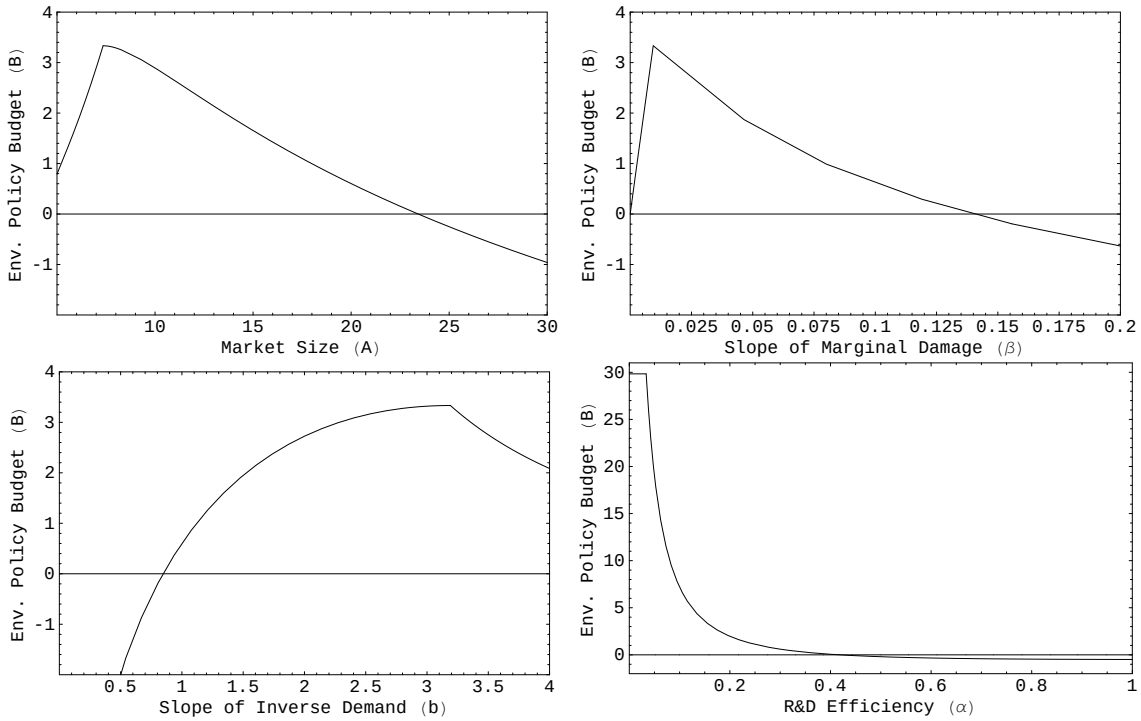

図 3　最善の環境政策下における環境政策予算の性質

技術に正の漏出効果がある場合にも，当てはまる議論であろう．なぜなら，技術の正の漏出効果は，正の外部性の問題であり，本稿で考察したものと同じような過少投資の問題に突き当たるからである．

2.3　不完全競争汚染財市場における環境政策

ここでは，汚染財市場が n 社の同質的なクールノー（Cournot) 競争による不完全競争下にある場合を想定して分析する．その他のモデル構造や仮定はこれまでの設定と同じであるとする．

汚染財企業 i $(i = 1, \cdots, n)$ の利潤は以下のように定義される．

$$\pi^N = \max_x \Big\{ P(x + (n-1)\bar{x})\, x - c\, x - e(0)\, t\, x \Big\}$$
$$\pi^A = \max_x \Big\{ P(x + (n-1)\bar{x})\, x - c\, x - e(z)\, t\, x - r\, x \Big\}$$

π^N は R&D 企業が開発した技術を採用しないときの利潤を表し，π^A は採用する場合の利潤を表している．

利潤最大化の一階条件は

$$m(x,\, n) \equiv P(nx) + x\, P'(nx) = c + e(0)t \tag{18}$$
$$m(x,\, n) \equiv P(nx) + x\, P'(nx) = c + e(z)t + r \tag{19}$$

となる．ここで (18) 式は技術を採用しないときの一階条件を，(19) 式は技術を採用するときの一階条件をそれぞれ表しており，どちらも限界収入と限界費用が等しくなるという一般的な条件である．ここで限界収入 $m(x,\, n)$ に $m_x < 0$, $m_n < 0$ という一般的な仮定を課す．

ここで前節と同じく，独占的に環境技術開発投資を行う R&D 企業は，汚染財企業が技術を採用した場合としない場合とが無差別になるように（つまり (18) 式と (19) 式が等しくなるように）特許料 r を設定するので，$r = [e(0) - e(z)]t$ という，前節と同じルールになることがわかる．よって，各汚染財企業の生産量 x は，(18) 式より $x = x(c + e(0)t,\, n)$ と表すことができる（$x_t = e(0)/m_x < 0$, $x_n = -m_n/m_x < 0$）．また，$m_x < 0$ より，総生産量 $X = X(c + e(0)t,\, n) = n\,x$ は，$X_t < 0$, $X_n > 0$ という性質を満たすことが確認できる．ここで重要な点は，完全競争の場合と同じく，生産物市場が不完全競争下にあっても，R&D 企業の環境投資量 (z) は，各企業（及び市場全体）の生産水準に影響を及ぼさないという点である．

R&D 企業の利潤は

$$\Pi = [e(0) - e(z)]\, t\, n\, x - (1 - s)z - F$$

と定義され，利潤最大化の一階条件として

$$-e'(z)\, t\, n\, x(c + e(0)t,\, n) = 1 - s$$

を得る．ここで，上式を比較静学することにより

$$\frac{dz}{dt} = \frac{-e'\big[x + t\, x_t\big]}{e''\, t\, x} \tag{20}$$

$$\left.\frac{dz}{dn}\right|_{\text{fixed } t} = \frac{-e'\,[X_n]}{e''\, X} > 0 \tag{21}$$

を得る．ここで (20) 式を評価するために以下の変数を定義する．

$$\sigma \equiv \frac{e(0)t}{c + e(0)t} \in [0, 1), \quad \epsilon_m \equiv -\frac{m_x\, x}{m} \in [0, \infty)$$

ここで ϵ_m は限界収入の弾力性を表している．これを使うと，(20) 式は

$$\frac{dz}{dt} = \frac{-e'}{e''\, t}\left(1 - \frac{\sigma}{\epsilon_m}\right)$$

とまとめることができる．

命題 5

生産物市場が不完全競争状態にある場合，企業の限界費用に占める環境税額の割合が，限界収入の弾力性より小さい場合（$\sigma < \epsilon_m$），環境税の増加は環境技術開発を促進させる．

限界収入の弾力性（ϵ_m）は，需要の価格弾力性と逆の関係にあるので[*9]，この命題は，前節と同じく，生産物市場が不完全競争にある場合でも，需要の価格弾力性が小さい，または企業の限界費用に占める環境税額の割合が小さいほど，環境税の引き上げによる環境技術開発誘因効果は大きいことが示されている．

また，(21) 式より，以下の命題が得られる．

命題 6

環境政策が固定されている場合，不完全競争下にある汚染財企業の増加は，環境技術開発投資を増加させる．

[*9] 例えば，$P = A - b(n\,x)$ という線形の逆需要関数の場合，限界収入の弾力性は $(n+1)b\,x/(A - (n+1)b\,x)$ となり，この場合の需要の価格弾力性 $(A - b\,n\,x)/b\,n\,x$ とは大凡逆の関係にある．また，$P = -(n\,x)^{-1/\epsilon}$ という，価格弾力性が一定（ϵ）の需要関数の場合，限界収入の弾力性はちょうど $1/\epsilon$ となり，命題 5 の条件は命題 1 の条件と全く等しくなる．

汚染財企業数の増加は，総生産量 X を増加させるので，R&D 企業の収入を増やすことになり，環境技術開発投資量（z）を増加させるのである．この結果は，不完全競争下の汚染財市場での環境技術開発を分析した Ulph (1997) の結果と対照的である．彼の研究では，環境税に直面した不完全競争下にある汚染財企業の数が増えると，環境技術開発投資量は減少することが示された．この結果の相違は，環境 R&D が，市場の内部の主体によって供給されるか（inside supplier），市場の外部の主体によって供給されるか（outside supplier）に決定的に依存して決まるのである．Ulph (1997) では，不完全競争状態にある汚染財企業それぞれが，戦略的（または非戦略的に），環境 R&D 投資量を決定する．そこでは，企業数の増加は各企業の均衡生産量を減少させ，R&D 投資の効果が薄れてしまうために，投資量を減少させることになる一方，我々の外部による技術開発／供給を前提とすると，企業数の増加は均衡総生産量を増加させるので，R&D による限界収入を増やすことになり，環境技術がより開発されることになるのである．

次に政府の環境政策について分析する．前節と同様の分析をすることにより（詳しい証明は補論で行う），以下の命題を得る．

命題 7
この経済において，政府は

$$\begin{aligned}\hat{t}^{FB} &= \frac{e(z)}{e(0)}D' + \frac{X\,P'(X)}{e(0)\,n} \\ &= \frac{e(z)}{e(0)}D' - \frac{P-MC}{e(0)} \qquad (22)\\ \hat{s}^{FB} &= \frac{e(0)-e(z)}{e(0)} - \frac{X\,P'(X)}{e(0)\,n\,D'} \\ &= \frac{e(0)-e(z)}{e(0)} + \frac{P-MC}{e(0)\,D'} \qquad (23)\end{aligned}$$

で表される水準の環境税政策と環境 $R\&D$ 補助政策の組み合わせにより，最適な資源配分（ファーストベスト）を達成できる．

この命題における最善の排出税水準 ((22) 式) は，Ebert (1992) と同様の条件である．Ebert (1992) は，企業による汚染削減活動が存在しない場合，排出が完全に生産量に依存して決定されるような不完全競争の汚染産業への課税においては，唯一排出税だけの政策手段で社会的最適が達成されることを明らかにしている．これは，生産と汚染が完全にリンクしているので，汚染を削減するための手段である環境税を通じて，不完全競争の歪みを是正するための生産両調整も同時に行うことができるからである．本稿では，彼らの枠組みに加えて，環境技術開発を行う独占的部門が存在する場合においても，適切な排出税と環境技術開発補助金の政策ミックスで社会的最適が達成されることを明らかにしている．

この命題が明らかにするのは，汚染財市場が不完全競争状態にある場合の最適な排出税水準は，完全競争状態にあるそれよりも小さなルールで行われるのが最適だというものである．これは不完全競争による財の過少供給からの死荷重損失が，税の増加により大きくなってしまうことに起因する．一方，最適な環境 R&D 補助率は，不完全競争の場合，完全競争の場合のルールよりも大きくなる．これは完全競争のケースに比べ，総生産量が小さく，さらに税率も小さいので，R&D 企業の収入が小さくなり，それが技術の過少供給問題をより深刻にするからである．

前節と同様に，政府が環境政策として環境税の設定だけに限られる場合の次善（セカンドベスト）の環境税

水準は,

$$\frac{\partial S\hat{W}}{\partial t}\Big|_{t=D'} = \frac{dX}{dt}\left[(e(0)-e(z))D' - X\,P'\right] < 0$$
$$\frac{\partial S\hat{W}}{\partial t}\Big|_{t=\hat{t}^{FB}} = \frac{dz}{ds}\left[-1+\frac{e(0)\,D'}{e(z)\,D'+X\,P'}\right] > 0$$

より，次善の環境税率 $\hat{t}^{SB}$ は汚染財市場が不完全競争下にある場合も同じく，$\hat{t}^{FB} < \hat{t}^{SB} < D'$ という性質を満たす.

ここでの結果として，汚染財市場が不完全競争状況にあるときには，最適な環境税率は完全競争状況の場合に比べて小さく，そして最適な環境 R&D 補助率は大きくなることが得られた．つまり，前節で定義した環境政策予算 B は，市場が不完全競争下にある場合には負の値をとりやすくなることも容易に想像できよう．つまり，政策のミックスによる社会的最適の達成は均衡環境政策予算のもとでの実施することが困難になることが推測できる.

3 政策的含意

本稿で導出した結果は，環境関連税の導入や，それを含む政策パッケージの設定という問題に対して，いくつかの重要な政策的含意を持っている.

一般的に，環境税の導入には政治的な不支持を受けることが多くの国において見られ，その理由として以下のようなものが挙げられる．一つは国の産業競争力の低下が懸念されるという国際的な問題である．国内的側面からは，汚染財は短期的な需要の価格弾力性が小さいケースが多く，環境税導入による価格上昇の排出抑制効果は小さく効果が少ないという理由である[*10]．もう一つは，価格弾力性の小ささから，効率的な汚染削減を達成するには相当に高い税率を必要とし，企業の負担を考えると現実には小さな税率をつけざるを得ず，その排出抑制効果を疑問視するものである.

我々の理論分析の結果から，環境税による環境技術開発誘因効果は，市場の競争状態に依存せず，需要の価格弾力性が小さい程，または，環境税の汚染企業に対する負担率が小さい程，大きくなるということが明らかになった．つまり，たとえ汚染財の需要の価格弾力性が小さく，環境税増大による価格上昇の排出抑制効果が小さくとも，さらに環境税率が低率の場合であっても，その場合には環境技術の向上による排出抑制効果が大きくなるということを意味している．つまり，環境税による直接的なピグー効果が小さい場合には，逆に環境技術開発による間接的な排出抑制効果が大きくるのである．環境関連税の導入や設定にあたっては，この点も十分に考慮すべきである.

また，環境税と環境技術開発投資への補助金（または，より環境に優しい技術の採用に対する補助金）政策ミックスにより，所謂「二重の配当」が達成される可能性があることが明らかになった．つまり，この政策パッケージが税収中立（または黒字）の下で，外部性の内部化という環境配当と，技術開発の特許制に起因する独占の非効率性の解消という二つの厚生増に貢献するというものである[*11]．またある条件の下では，その政策ミックスにより，社会的最適な資源配分を導く可能性があることも，本稿で明らかになった重要な政策含

[*10] 現在，実際に実施されているほとんどの環境関連税の対象であるエネルギー部門や運輸部門において，短期的な価格弾力性は非常に小さいことが知られている．この詳細については OECD (2006) を参照されたい.

[*11] EIEP (2000) によると，日本において，炭素税とその税収を大規模エネルギー節約的技術への投資に充てる補助金との政策ミックスによって，純粋な炭素税政策に比べてより効率的な CO_2 削減が達成されることをシミュレーション分析によって明らかにしている.

意であると思われる．

4 結語

本稿では，環境技術が独占的な技術開発部門によって内生的に供給されるような経済において，社会的最適を達成するような最適な排出税と環境技術開発補助金の政策ミックスを分析した．汚染財市場が同質的な企業のベルトラン競争による完全競争状態にある場合，政府の課す環境税の上昇は，需要の価格弾力性が小さい，または汚染財企業の限界費用に占める環境税支払いの割合が小さい一般的な場合において，環境技術開発を促進させることが明らかになった．また，政府は適切な環境税と環境技術開発への補助金の政策ミックスによって，社会的最適な資源配分を達成できることが確認された．そこでは社会的最適を達成するための技術開発補助は，新技術が排出効率を改善させた率と同率の割合で補助するというルールが導かれた．また，そのような環境政策が，税収中立の下で行われるかどうかについて，シミュレーション分析によって明らかにした．これは環境税による税収を他の市場の歪みを解消する為にもちいることで税収中立のもとで二重の厚生の改善を齎すといういわゆる「二重の配当」と類似した議論である．慣例的な関数の特定化とパラメータ設定のもとで，様々な市場や技術，環境被害のパラメータの大小が，環境政策予算に及ぼす影響の一例が明らかになった．

さらに，汚染財市場が同質的な企業のクールノー競争による不完全競争状態にある場合の分析も行った．環境 R&D が，汚染市場外部の独占的企業によってなされる場合には，市場内部の企業によって行われる場合（先行研究）と違って，企業数の増加は環境 R&D を促進させることが確かめられた．言い換えれば，汚染財市場への参入規制が環境技術の改善に及ぼす効果は，環境技術開発主体が，汚染財企業であるのか汚染財市場外の企業なのかによって決定的に異なるのである．汚染財市場が不完全競争状態であっても，政府は適切な環境税と環境技術開発への補助金の政策ミックスによって，社会的最適な資源配分を達成することができる．その税-補助のルールは，完全競争のケースよりも，税は小さく，補助は大きくなることが確認された．前者は不完全競争による歪みの影響により，後者は環境税の小ささと汚染企業の生産水準の過少性からの，技術への支払い意思の減少による．これにより，完全競争の場合よりも税率中立的な環境政策の実行はより困難になることが予想される．

本稿で構築したモデルは，いくつかの拡張の余地がある．一つは，環境技術開発部門での競争を取り込むことである．本稿では，独占的に技術を供給する R&D 企業を考察したが，実際には独占レントを獲得せんとする企業による開発競争が行われていると考えられる．その場合，所謂 R&D 競争による R&D の重複性による非効率性が発生する可能性がある．補助金政策はその種の非効率性を高めてしまう可能性もある．

もう一つは，環境政策のオプションとして，排出税だけでなく数量規制や排出権取引市場の構築の効果を考えることである．これらは Downing-White (1986), Milliman-Prince (1989), Fischer et. al (2003) などが分析対象としているが，これらは全て汚染市場が完全競争状況にある場合で，かつ技術開発への補助といった政策の効果は分析されていない．また，これらの研究での環境政策は，環境政策の技術開発誘因効果を考慮しないという意味で，本稿で考察した戦略的な環境政策とは異なるものである．これらについては今後の研究課題となるだろう．

補論

補論 I: 環境技術の採用に対する補助政策

本稿で分析対象とした環境技術開発への補助金は，汚染企業の新技術の採用行動に対する補助金（adoption subsidy）としても，得られた結論は変わりがないことが確認できる[*12]．汚染財企業が，環境 R&D 企業が開発した技術を採用した場合には，特許料支払いの一定割合を補助するような補助金の場合，環境 R&D 企業のつける特許料金は (3) ではなく，

$$\tilde{r} = \frac{((e(0) - e(z))t}{1 - s}$$

として得られる．これにより，汚染財企業の生産量・価格は両政策で違いはない．環境 R&D 企業の利潤は

$$\tilde{\Pi} = \frac{((e(0) - e(z))t}{1 - s} X - z - F$$

となり，利潤最大化の一階条件は (6) 式と等しくなり，これにより，このような補助金制度との政策ミックスであっても，本稿で得られた結果は同じように成立することが確認できた．

補論 II: 不完全汚染市場下における最適な政策ミックスの導出

社会厚生は，

$$S\hat{W} = \int_0^{nx} P(h)dh - n\,c\,x - z - F - D(e(z)n\,x)$$

で与えられる．最善の資源配分は以下の一階条件

$$\frac{\partial S\hat{W}}{\partial x} = P(n\,x) - c - e(z)\,D' = 0$$
$$\frac{\partial S\hat{W}}{\partial z} = -1 - e'(z)\,n\,x\,D' = 0$$

を満たす．ここで分権的意思決定経済において，政府が環境税と環境技術開発補助金政策を政策変数として上記の社会厚生を最大化するならば，その一階条件は，

$$\frac{\partial S\hat{W}}{\partial t} = \frac{dx}{dt}\,n\Big[P(n\,x) - c - e(z)\,D'\Big] + \frac{dz}{dt}\Big[-1 - e'(z)\,n\,x\,D'\Big] = 0$$
$$\frac{\partial S\hat{W}}{\partial z} = \frac{dz}{ds}\Big[-1 - e'(z)\,n\,x\,D'\Big] = 0$$

となる．ここで汚染財企業と環境 R&D 企業それぞれの利潤最大化の一階条件を使って上式を整理すると，

$$\frac{\partial S\hat{W}}{\partial t} = \frac{dx}{dt}\,n\Big[e(0)t - e(z)D' - \frac{X\,P'}{n}\Big] + \frac{dz}{dt}\Big[-1 + \frac{1-s}{t}D'\Big] = 0$$
$$\frac{\partial S\hat{W}}{\partial z} = \frac{dz}{ds}\Big[-1 + \frac{1-s}{t}D'\Big] = 0$$

[*12] このようは補助金は，例えば環境に優しい技術の採用に対しては，環境税の還付措置を講じるような環境税の一制度として捉えることもできる．

が得られる．よって，

$$\hat{t}^{FB} = \frac{e(z)}{e(0)} D' + \frac{X\,P'(X)}{e(0)\,n}$$
$$\hat{s}^{FB} = \frac{e(0) - e(z)}{e(0)} - \frac{X\,P'(X)}{e(0)\,n\,D'}$$

をつけることで，分権的意思決定経済における資源配分は，社会的最適配分と一致する．

参考文献

[1] K. Arrow, (1962) “Economic welfare and the allocation of resources for invention”, in R. Nelson (ed.), *The rate and direction of innovative activity*, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J.

[2] A.L. Bovenberg and R.A. de Mooji, (1994) “Environmental Levies and Distortionary Taxation”, *American Economic Review* 84, 1085-1089.

[3] V. Denicolò, (1999) “Pollution-Reducing Innovations under Taxes or Permits”, *Oxford Economic Papers* **51** 184-199.

[4] P.B. Downing and L.J. White, (1986) “Innovation in Pollution Control”, *Journal of Environmental Economics and Management* **13** 81-29.

[5] . Ebert, (1992) “Pigouvian Taxes and Market Structure: The Case of Oligopoly and Different Abatement Technologies” *Finanzarchiv* 49, 154-166.

[6] EIEP, (2000) *The Carbon Tax to Reduce GHGs Emission.* Report to the Study Group on Economic Instruments in Environmental Policies.

[7] C. Fischer, I.W.H. Parry and W. Pizer, (2003) “Instrument Choice for Environmental Protection when Technological Innovation is Endogenous”, *Journal of Environmental Economics and Management* **45** 523-545.

[8] L.H. Goulder, (1995) “Environmental Taxation and the Double Dividend: A Reader’s Guide”, *International Tax and Public Finance* 2, 157-183.

[9] L.H. Goulder, I.W.H. Parry, R.C. Williams III and D. Burtraw, (1999) “The Cost-Effectiveness of Alternative Instruments for Environmental Protection in a Second-Best Setting”, *Journal of Public Economics* **72** 329-360.

[10] A.B. Jaffe, R.G. Newell and R.N. Stavins, (2002) “Environmental Policy and Technological Change”, *Environmental and Resource Economics* **22** 41-69.

[11] Y. Katsoulacos and A. Xepapadeas, (1996) “Emission taxes and market structure” in C. Carraro, Y. Katsoulacos and A. Xepapadeas, (ed.), *Environmental Policy and Market Structure*, Dordrecht, Kluwer.

[12] A. Kneese and C. Schultz, (1975) *Pollution, Price and Public Policy,* Brookings Institution, Washington, USA.

[13] J.O. Lanjouw and M. Ashoka, (1996) ”Innovation and the International Diffusion of Environmentally Responsive Technology,” *Research Policy* 25, pp. 549-71.

[14] D.R. Lee, (1975) “Efficiency of Pollution Taxation and Market Structure” *Journal of Environmental Economics and Management* 2, 69-72.

[15] W.A. Magat, (1978) "Pollution Control and Technological Advance: A Dynamic Model of the Firm", *Journal of Environmental Economics and Management* **5** 1-25.

[16] S.R. Milliman and R. Prince, (1989) "Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control", *Journal of Environmental Economics and Management* **17** 247-265.

[17] J.-P. Montero, (2002a) "Market Structure and Environmental Innovation", *Journal of Applied Economics* **5** 293-325.

[18] J.-P. Montero, (2002b) "Permits, Standards, and Technology Innovation", *Journal of Environmental Economics and Management* **44** 23-44.

[19] OECD, (2006) *The Political Economy of Environmentally Related Taxes*, OECD, Paris.

[20] E. Petrakis and A. Xepapadeas, (1999) "Does Government Precommitment Promote Environmental Innovation?", in E. Petrakis, E.S. Sartzetakis and A. Xepapadeas (ed.), *Environmental Regulation and Market Power*, Edward Elgar Pub., M.A.

[21] D. Ulph, (1997), "Environmental Policy and Technological Innovation", in C. Carraro and D. Siniscalco, (ed.), *New Directions in the Economic Theory of the Environment*,Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.