

生産削減と汚染処理を併用する 場合の効率的課税水準の導出法

あか し こういちろう
明 石 光 一 郎

1. はじめに
2. 先行研究のサーベイ
 - (1) 生産削減モデル
 - (2) 汚染処理モデル
 - (3) Hjalte らの統合モデル
 - (4) Pratt and Pearce の統合モデル

1. はじめに

一般的には環境汚染は小さければ小さいほど望ましいと考えられているが、経済学者の汚染に関する見解はやや異なっている。経済学者の代表的な見解として、英国の著名な環境経済学者 David Pearce らのものを紹介しよう。彼らによれば、経済学的な意味での汚染 (pollution) を、汚染物質の物的影響とそれに対する人間の反応からなるものと定義する (Pearce and Turner〔8〕)。物的影響には、生物学的なもの(種の変化、健康の悪化)、化学的なもの(酸性雨の建造物への影響)または物理的なもの(騒音等)がある。人間の反応とは、不快感、ストレス、不安等による厚生低下である。経済学的な汚染の水準は必ずしもゼロであることが社会的に望ましいのではない⁽¹⁾。社会全体として経済活動によりもたらされる便益から、それが不可避免的に生み出す汚染を処理するコストおよび汚染が発生することにより被る被害を控除したものの総和が最大になる汚染の水準が望ましいのである⁽²⁾。Pearce and Turner〔8〕はこのような汚染水準を最適汚染水準 (optimal level of pollution) とよんだ。要するに最適汚染水準とはパレート効率を達成する汚染水準である⁽³⁾。

- (5) Pearce and Turner の統合モデル
3. 統合モデルの提示
 - (1) モデルの数式による説明
 - (2) モデルの図形による説明
4. おわりに

一般に汚染物質を排出する生産者の活動を何らの規制も誘導もしないままに放置しておくならば、資源配分はパレート非効率となる。しかし当該生産者に課税等の措置を講ずることにより、汚染排出量を削減させて資源配分を効率的にできる。このような課税はビグー税として知られている。

現実の環境政策では排出される汚染物質に対して直接課税したり、汚染物質の排出基準を設定したりすることが一般的であるため、汚染を発生させている生産者は生産削減と汚染処理を併用することによって最小のコストで汚染排出量を削減させる⁽⁴⁾。したがって最適汚染量の決定に際しては、生産削減と汚染処理が併用される統合モデルによる分析がより現実的に即したものである。

生産削減と汚染処理の統合を最初に試みたのが Hjalte, Lidgren and Stahl〔6〕であったが⁽⁵⁾、彼らのモデルは、汚染処理の限界費用が一定であるという非現実的な仮定にもとづいていると Pratt and Pearce〔9〕により批判された。その後、Pratt and Pearce〔9〕、Pearce and Turner〔8〕は、汚染処理の限界費用が増加するというより現実的な仮定を設けたうえで、生産削減モデルと汚染処理モデルの統合を試みた。

しかし Pratt and Pearce〔9〕、Pearce and Turner〔8〕はともにそこで想定されている

最適化条件に問題があると思われる。

本稿では彼らの提示する税率がパレート効率の基準と整合的であるかどうか詳しく検討する。もしも彼らの提示する税率がパレート効率の基準をみたさないならば、彼らの提示するピグー税は資源配分を非効率にする。本稿では、まず2において先行研究を紹介し問題点を指摘する。とくに Pearce らの研究については詳細な検討がなされる。つぎに3において、Pearce らの研究と同じ前提条件のもとで本稿独自のモデルを作り、最適税率の導出を行うこととする⁽⁶⁾。

なお3における考察は、Pearce らの研究と同じ前提条件にたっているため、汚染処理の限界費用が生産量と独立である場合を仮定している。また、結合生産を考慮した場合や、多数の企業が多数の生産物を生産している一般的な分析は今後の課題としたい⁽⁷⁾。

注(1) 例えば自動車の排気ガスには窒素酸化物という汚染物質が含まれているが、この排出量はそれだけを考えるならば小さければいいほど望ましいことはいうまでもない。しかし現実には、排気ガス中の窒素酸化物をゼロにするためには莫大なコストが必要であり、この要素を考慮すればたとえ排出量がゼロであったとしても経済的に望ましい状態であるとは考えられない。

(2) したがって誰が汚染の加害者になるか、被害者になるかということは考慮されていない。また、個人的な便益やコストを単純に足し合わせて社会的な便益やコストを求めることが可能であることが仮定されている。

(3) 汚染物質が存在するために外部不経済が存在するときには、たとえ経済がパレート効率的であっても、当事者間に激しい利害の対立が存在することもある。しかし最適汚染水準の議論では社会のトータルとしての効率性が対象であり、社会を構成するメンバー各人の状態まで立ち入った考察を加えるものではない。

(4) 他にも生産工程の変更や遠隔投棄等の方法が考えられるが、本稿では扱わない。その理由は本稿でもサーベイするように、汚染処理が一般的な排出量削減の方法として経済学的考察の対象となってきたからである。

(5) Hjalte *et al.* [6] より一年前に刊行された Pearce [7] においては、統合についての考察は行われていない。

(6) 本稿は Akashi and Yabe [2] を加筆修正したものである。本稿のモデルを具体的な環境政策へ応用とした研究としては矢部他 [16]、矢部 [15] がある。

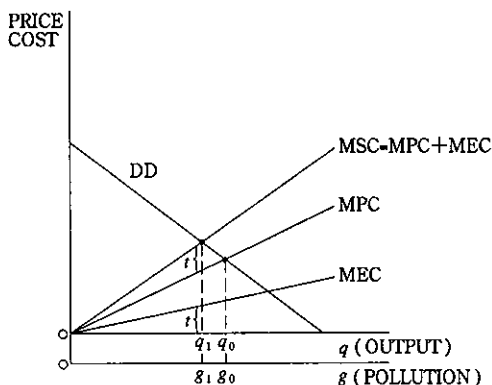
(7) 結合生産を考慮したより一般的なモデルとしては Baumol and Oates [3] や Whitcomb [13] 等がある。しかし、彼らのモデルは処理過程を明示的に考慮していないために、生産削減と汚染処理の量的関係についての明確な情報を与えてくれない。その他、部分均衡分析としては例えば、Adar and Griffin [1], Fishelson [5], Segerson [10], Watson and Rindker [12] などがある。

2. 先行研究のサーベイ

Pratt and Pearce [9] は、最適汚染水準の決定という問題に対して、環境経済学者は従来つぎの2通りの方法を取ってきたという。第1の方法は、汚染を発生させている生産者の生産物に課税することにより、その生産量を削減させ、パレート効率を達成しようとするものである。この方法を本稿では生産削減モデルとよぶことにする。第2の方法は、生産に伴い発生する汚染物質それ自体を処理し、除去することによりパレート効率を達成しようとするものである。この方法を本稿では汚染処理モデルとよぶことにする。

(1) 生産削減モデル

ある産業の生産活動に伴い汚染物質も発生し、それは全て無処理で環境中へ排出されているとする。第1図において、DD は生産物への社会的需要曲線である。限界外部費用 MEC (marginal external costs) は汚染物質



第1図 生産削減モデル

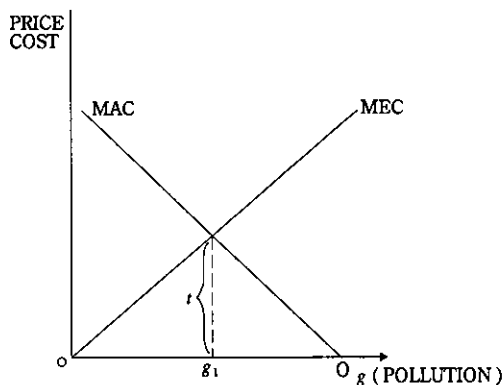
が社会へ及ぼす限界的な被害である。MPC (marginal private costs) は生産者の私的限界費用である。これは社会的限界費用 MSC (marginal social costs) よりも、MEC だけ下に位置している。したがって生産者に対してなんの規制もないときには、生産物（汚染物質）は q_0 (g_0) まで生産されることになるが、これはパレート効率的ではない。生産者に対して生産物 1 単位当たり t の課税を行うことにより、MPC を MSC に一致させると、生産量は q_1 へと削減されて最適汚染発存量 g_1 が達成される。この課税は Pigou により提起されたのでピグー税といわれている。

(2) 汚染処理モデル

ここでは生産者が、生産量は変化させずに発生した汚染物質をみずから処理するケースを考える。第2図において、横軸の右方向に環境へ排出される汚染物質の量が、左方向には処理される汚染物質の量がとられている。MAC は汚染物質の限界処理費用 (marginal abatement costs) であり、処理量が増えるに伴い逓増するのが一般的であるため左上がり描かれている。パレート効率が達成されるのは、MAC が MEC と一致するときであり、最適汚染排出量は g_1 で示されている。

(3) Hjalte らの統合モデル

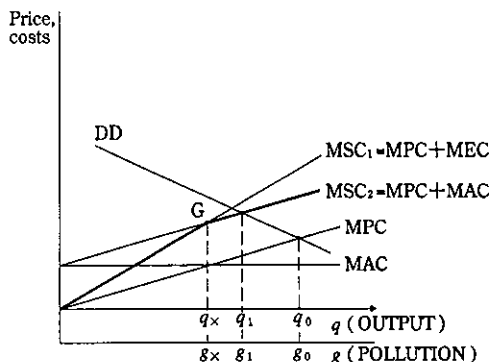
Hjalte *et al.* [6] はそれまで別個に構築されていた生産削減モデルと汚染処理モデルを統合したモデルを提示した。



第2図 汚染処理モデル

第3図において、MAC は一定と仮定されており、横軸に平行な直線で示されている。MSC₁ は MPC プラス MEC で定義され、発生した汚染物質を無処理で環境へ排出するときの社会的な限界費用である。MSC₂ は MPC プラス MAC で定義され、発生した汚染物質をすべて生産者が処理した場合の社会的な限界費用である。両者を考慮したときの社会的限界費用 MSC は G 点で折れ曲がる太線で示される。生産物への需要曲線は DD で表されている。社会的に最適な生産量、すなわち総余剰を最大化する生産量は q_1 であり、 $q_0 - q_1$ だけ規制がない場合よりも生産量が削減されている。 g_1 の汚染物質が発生するが、そのうち g_x は無処理で排出され、 $g_1 - g_x$ だけが処理される。

この Hjalte *et al.* [6] のモデルは、限界汚染処理費用が一定と仮定しているため、現実的ではないと Pratt and Pearce [9] に強く批判されている。しかしながら、Hjalte ら



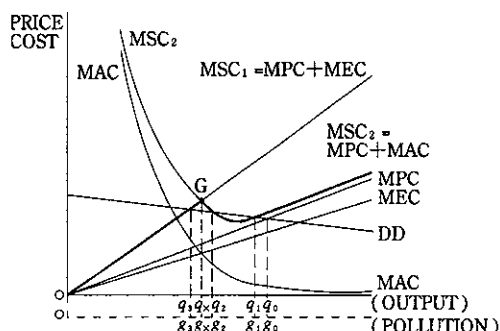
第3図 統合モデル: Hjalte (1977)

の研究は仮定に問題があるものの、とくに経済理論的な誤りを犯しているわけではない。初めて生産削減の問題と汚染処理の問題を一つのモデルで統一的に解決しようとした彼らの研究の先駆性は高く評価されるべきである。

(4) Pratt and Pearce の統合モデル

Pratt and Pearce [8] は, Hjalte *et al.* [6] のモデルにおける MAC 一定の仮定を批判し, それが逓増するモデルを提示した。第4図において, MAC は汚染処理量が少ないときには小さいが処理量が多くなると逓増し, 処理能力の限界近くでは垂直に近い傾きをしている。MSC₁ は MPC プラス MEC で定義され, 発生した汚染物質を全て無処理で排出した場合の社会的限界費用を表している。MSC₂ は MPC プラス MAC で定義され, 発生した汚染物質をすべて処理した場合の社会的限界費用を表している。そのとき社会的限界費用 MSC は G 点で折れ曲がる太線となる。G 点より左側では MEC のほうが MAC より小さいので, 汚染物質は処理されずにそのまま環境へ排出される。G 点より右側では MAC のほうが MEC より小さいので g_x を超える汚染物質はすべて処理される。第4図のケースでは, MSC と需要曲線は3点で交わっており, 対応する生産量は q_1, q_2, q_3 である。しかし q_2 は最大化の2階の条件を満たさないから解とはなりえない。したがって最適生産量は q_1 または q_3 になる。生産者に対して規制がないときには生産量は q_0 となる。かりに生産量 q_1 が実現していれば, $q_0 - q_1$ だけ生産削減を受け, $g_1 - g_x$ だけが処理される。生産量 q_3 が選択されれば, $q_0 - q_3$ が生産削減を受け, 汚染処理は全く行われぬ。

Pratt and Pearce [9] のモデルは以下の3つの点でパレート効率と整合的ではない。第1は, MAC 曲線の起点が明示されていないことである。汚染処理が開始されるとき汚染発生量は q_0 であるから, MAC 曲線は q_0 を出発点として描かれなくてはならない。第2は, 彼らの MAC 曲線が汚染発生量に対し



第4図 統合モデル: Pratt and Pearce (1979)

て逓減的に描かれていることである。この場合の MAC 曲線は発生した汚染物質を全て処理した場合の限界的な費用であるから逓増的に描かれなくてはならない。第3は, 汚染処理と生産削減が同時並行的になされることを考慮していないことである。

(5) Pearce and Turner の統合モデル

Pearce and Turner [8] のモデルも Pratt and Pearce [9] のモデルと本質的には同じものである。また Pratt and Pearce [9] では生産者として競争的産業が想定されていたのに対して, Pearce and Turner [8] では完全競争下の企業が想定されている。

第5図において, MNPB (marginal net private benefit) は生産物を生産することによる企業の私的限界便益であり, 生産物価格マイナス私的限界費用で定義されている。ただし横軸には生産量ではなく汚染量がとられている。生産量が増えれば, 汚染量も増えることが仮定されていることはいうまでもない。この場合には汚染量削減を義務づけられた企業は最初は $MNPB > MAC$ であるため A 点より汚染処理によって汚染排出量を削減させ始め, G 点までは汚染処理で対応する。しかし汚染削減量がそれ以上になると, $MNPB < MAC$ であるため生産物生産量の削減で対応するようになる。したがって企業の汚染削減活動は, A 点から始まり G 点で折れ曲がる矢印のついた線上を移動するものとして表される。

例えば, 限界外部費用が MEC_1 のときには

汚染発生量は g_0 であり、 $g_0 - g_1$ だけが処理される。限界外部費用が MEC_2 まで上昇すると $g_0 - g_x$ だけが処理され $g_x - g_2$ は生産量の削減により削減される。

彼らのモデルによる解もパレート効率の基準と整合的ではない。その理由は生産削減量と汚染処理量が同時決定されるかたちで解が得られていないからである。彼らのモデルでは、第5図のG点より右側では企業は生産削減を全く行わずに汚染処理のみで対応し、G点より左側では追加的な汚染削減は全て生産削減で対応するという二段階の対応をとることになる。しかし企業が経済合理的に行動するならば、企業は限界的な単位の汚染削減について、汚染処理と生産削減のうちコストの小さいほうを採用することにより両者を併用しながら汚染排出量を削減させてゆくことになるために、二段階の対応をとることはありえない。

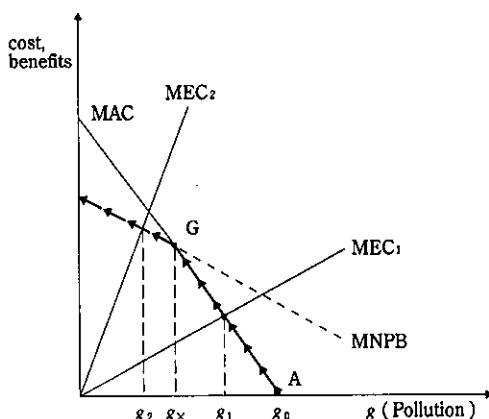
3. 統合モデルの提示

ここでは Pratt and Pearce〔9〕を修正することにより、産業についてのパレート効率基準をみたとす解を導くことのできるモデルを提示する。なお、Pearce and Turner〔8〕において扱われていた企業についてのモデルもほぼ同じ観点に立って修正できる。記号はとくに断わらない限りこれまでと同じである。

(1) モデルの数式による説明

産業の生産物と汚染発生量の間に1対1の対応関係があるとする。そのとき生産量 q は汚染発生量 g の増加関数として $q = f(g)$ と表されるから、通常の産業の私的生産費用とその生産物への逆需要関数は汚染発生量の関数としてそれぞれ $TPC(g)$ 、 $DD(g)$ と表される。また汚染物質を処理する費用、そのまま排出した場合の被害額はそれぞれ $TAC(a)$ 、 $TEC(e)$ と表される。ここに a 、 e は処理量と排出量を表すものとする。

さらに、



第5図 統合モデル：Pearce and Turner (1990)

$$TPC'(g) = MPC(g) > 0, \quad MPC'(g) > 0$$

$$TAC'(a) = MAC(a) > 0, \quad MAC'(a) > 0$$

$$TEC'(e) = MEC(e) > 0, \quad MEC'(e) > 0$$

を仮定しておく。

以上の準備のもと、まず一旦発生した汚染物質 g を処理と無処理排出の両者を併用することにより社会的に最小の費用で処分する問題を考える。

$$\min TAC(a) + TEC(e) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } a + e = g \quad (2)$$

$$\text{s.t. } a \geq 0, e \geq 0 \quad (3)$$

ラグランジアンを L とする。

$$L = TAC(a) + TEC(e) + \lambda(g - a - e) \quad (4)$$

一階の条件を求める。Kuhn-Tucker の定理より以下の式を得る。

$$\begin{aligned} MAC(a) - \lambda &\geq 0 \\ \text{and } a(MAC(a) - \lambda) &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} MEC(e) - \lambda &\geq 0 \\ \text{and } e(MEC(e) - \lambda) &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

$$g - a - e = 0 \quad (7)$$

仮定より二階の条件は充されているから式(5)、(6)、(7)の解は式(1)、(2)、(3)の解となる。それらを a^m 、 e^m 、 λ^m とする。以下、内点解の場合と端点解の場合にわけて考察する。

1) 内点解の場合

a^m 、 e^m 、 λ^m についてつぎの関係式が成立する。

$$MAC(a^m) - \lambda^m = 0 \quad (8)$$

$$MEC(e^m) - \lambda^m = 0 \quad (9)$$

$$g - a^m - e^m = 0 \quad (10)$$

陰関数定理より a^m, e^m, λ^m はパラメータ g の関数として表される。

$$a^m = a^m(g) \quad (11)$$

$$e^m = e^m(g) \quad (12)$$

$$\lambda^m = \lambda^m(g) \quad (13)$$

したがって

$$\begin{aligned} \text{MAC}(a^m(g)) &= \text{MEC}(e^m(g)) \\ &= \lambda^m(g) \end{aligned} \quad (14)$$

ゆえに目的関数の最小化された値 TDC (total disposal costs) は g の関数として表される。

$$\begin{aligned} \text{TDC}(g) &= \text{TAC}(a^m(g)) \\ &+ \text{TEC}(e^m(g)) \end{aligned} \quad (15)$$

ここで $\text{TDC}'(g) = \text{MDC}(g)$ と定義する。ここに MDC (marginal disposal costs) とは、発生した汚染物質を処理と排出を併用することにより社会的に最小の費用で処分するとき、処分するための限界費用を発生した汚染物質の量の関数として表したものである。

つぎに包絡面定理を用いると以下の式が得られる⁽¹⁾。

$$\text{MDC}(g) = d\text{TDC}(g)/dg = \lambda^m(g) \quad (16)$$

したがって式(14)、(16)より、すべての $g (\geq 0)$ に対して

$$\begin{aligned} \text{MDC}(g) &= \text{MAC}(a^m(g)) \\ &= \text{MEC}(e^m(g)) \end{aligned} \quad (17)$$

が成立する。式(10)、(17)は MDC が図形的には MAC と MEC を水平方向に足し合わせて得られることを示している。

つぎに g を余分に 1 単位発生させることによる社会的な費用 MSC は

$$\text{MSC}(g) = \text{MDC}(g) + \text{MPC}(g) \quad (18)$$

となる。式(18)は MSC が図形的には MDC と MPC を垂直方向に足し合わせて得られることを示している。社会的に最適な汚染発生水準 g^* はつぎの最大化問題を解くことにより求められる。

$$\max S^0_g \cdot \text{DD}(x) dx - S^0_g \cdot \text{MSC}(x) dx \quad (19)$$

一階の条件を充す g^* は

$$\text{DD}(g^*) = \text{MSC}(g^*) \quad (20)$$

式(20)は最適汚染発生量 g^* が図形的には MSC と需要曲線 DD の交点より求められることを示している。この g^* を式(11)、(12)へ代入することにより最適汚染処理量 a^* 、汚染排出量 e^* も決定される。

さらにこの最適汚染水準を達成するための最適税率 t^* も

$$\begin{aligned} t^* &= \text{MDC}(g^*) = \text{MAC}(a^*) \\ &= \text{MEC}(e^*) \end{aligned} \quad (21)$$

として与えられる。

2) 端点解の場合

① $a^m = 0$ の場合

a^m, e^m についてつぎの関係式が成立する。

$$\text{TDC}(g) = \text{TEC}(e^m) \quad (22)$$

$$\text{MDC}(g) = \text{MEC}(e^m) \leq \text{MAC}(a^m) \quad (23)$$

$$e^m = g, a^m = 0 \quad (24)$$

したがって、式(10)、(15)、(17)の代わりに式(22)、(23)、(24)を使用して議論を進めてゆけばよい。

② $e^m = 0$ の場合

a^m, e^m についてつぎの関係式が成立する。

$$\text{TDC}(g) = \text{TAC}(a^m) \quad (25)$$

$$\text{MDC}(g) = \text{MAC}(a^m) \leq \text{MEC}(e^m) \quad (26)$$

$$a^m = g, e^m = 0 \quad (27)$$

したがって、式(10)、(15)、(17)の代わりに式(25)、(26)、(27)を使用すればよい。

(2) モデルの図形による説明

上で説明した統合モデルを使うと、処理と生産削減を併用した場合の最適汚染量とピグー税は以下に述べる簡単な図形的処理により求められる(第6図参照)。なお、ここでは上の数式モデルで内点解に対応するケースのみを対象とし、端点解のケースはとくにとりあげなかった。その理由は内点解が解の構造を一般型として提示しており、端点解はその特殊ケースとして理解されるからである。ただし端点解の場合を図形的に表示することは、もちろん可能である。

① MAC と MEC を水平方向に足し合わせ、MDC (marginal disposal costs) を得る。

ここに MDC は、発生した汚染物質を処理と排出を併用することにより社会的に最小の費用で処分するとき、処分するための限界費用を発生した汚染物質の量の関数として表したものである。

② MDC と MPC を足し合わせて MSC を得る。

③ MSC と需要曲線 DD の交点より最適汚染発生量 g^* および最適税率 t^* を得る。

なお、最適汚染発生量 g^* が求まれば、最適汚染処理量 a^* および排出量 e^* も第 6 図より即座に求められる。

注(1) 包絡面定理については例えば、西村〔14〕、Berck and Sydsaeter〔4〕等を参照されたい。

4. おわりに

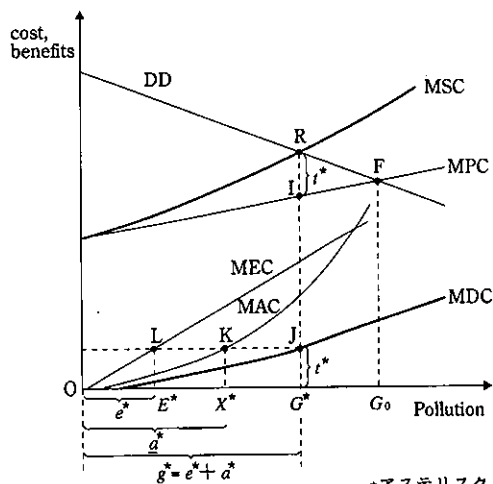
環境汚染が深刻な場合に、政策当局は汚染者に対して課税等の措置を講じて汚染排出量の削減をはかることができる。汚染者が汚染排出量を削減するのに際して、生産削減と汚染処理の 2 つの方法を使用する場合に、いかなる課税水準が効率的であるかについて考察した。この問題については、Pratt and Pearce〔9〕、Pearce and Turner〔8〕らにより分析がなされてきた。本稿ではまず、彼らの提

示するピグー税を採用した場合、資源配分はパレート効率とはならないことを明らかにした。つぎに、Pearce らのモデルを修正することにより、パレート効率な資源配分を達成する税率を求める手法を提示した。

これまで誤った税率の導出法が一部のジャーナルや大学レベルのテキストに掲載されてきた事情を考慮すると、本稿の提示した手法は実用面のみならず、pedagogic な観点からも有用であると思われる。

〔引用文献〕

- 〔1〕 Adar, z. and Griffin J.M., "Uncertainty and Choice of Pollution Control Instruments", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.3, 1976, pp.178-188.
- 〔2〕 Akashi, K. and Yabe, M., "A Note on the Optimal Level of Pollution", *Research Paper No.12*, National Research Institute of Agricultural Economics, 1994.
- 〔3〕 Baumol, W.J. and Oates, W.E., *The Theory of Environmental Policy*: Second edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.
- 〔4〕 Berck, P. and Sydsaeter, K., *Economists' Mathematical Manual*, Second Edition, Springer-Verlag, 1991, (鈴木興太郎監訳, 丹野忠晋訳「エコノミスト数学マニュアル」日本評論社, 1995年)。
- 〔5〕 Fishelson, G., "Emission Control Policies Under Uncertainty", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.3, 1976, pp.189-197.
- 〔6〕 Hjalte, K., Lidgren K. and Stahl I., *Environmental Policy and Welfare Economics*, Cambridge University Press, 1977.
- 〔7〕 Pearce, D., *Environmental Economics*, Longman, 1976.
- 〔8〕 Pearce, D and Turner, K., "Economics of Natural Resources and the Environment", Harvester Wheatsheaf, 1990, pp.88-91.
- 〔9〕 Pratt, R. and Pearce, D., "Pareto Optimality and Pollution Abatement: A pedagogic Note", *International Journal of Social Economics*, Vol.6, No.3,



第 6 図 統合モデル

1979, pp.121-127.

- [10] Segerson, K., "Uncertainty and Incentives for Nonpoint Pollution Control", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.15, 1988, pp.87-98.
- [11] Turner, K., Pearce, D and Bateman, I., *Environmental Economics*, Harvester Wheatsheaf, 1994.
- [12] Watson, W.D. and Rindker, R.G., "Losses from Effluent Taxes and Quotas under Uncertainty", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.11, 1984, pp.310-326.
- [13] Whitcomb, D.K., *Externalities and Welfare*, Colombia University Press, 1972.
- [14] 西村和雄『経済数学早わかり』日本評論社, 1982 年。
- [15] 矢部光保「公的汚染処理と環境税が経済厚生に及ぼす効果」(『農総研季報』No.30,

1996 年) 1～9 ページ。

- [16] 矢部光保, 明石光一郎, 本間孝弥「環境税と公的汚染処理」(『水資源・環境研究』第7号, 1994 年)。

〔付記〕

本研究所の矢部光保氏および本間孝弥氏には本稿を完成させるにあたり必要不可欠な数式展開において多大な協力を受けた。東京大学の荏開津典生教授(当時)には貴重なコメントを頂いた。一橋大学経済研究所の鈴木興太郎教授には、本稿をゼミで発表する機会を与えて下さり、ピグー税適用について情報収集の観点から貴重なコメントを頂いた。また、東京大学の生源寺真一教授からは、本稿の全般にわたり丁寧なご指導と貴重なコメントを頂いた。ここに深謝の意を表したい。ただし、ありうべき誤りはすべて筆者のみの責任である。