Discussion Paper No.377

シュタッケルベルク複占モデルにおける面源汚染と環境課税

中央大学経済学部
佐藤　佑一

Nov 2022

INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH
Chuo University
Tokyo, Japan

シュタッケルベルク複占モデルにおける面源汚染と環境課税

The Effectiveness of Ambient Charges to Non-Point Source Pollution in a Stackelberg Duopoly

佐藤佑一

本論文は、面源汚染を減らすために、環境課税を用いてその効果を検証するものである。面源汚染は排出先が分からず、各企業に個別で課税をすることが難しい。故に、面源汚染を減らすために、環境課税という枠組みを用いて分析を行う。佐藤（2022）では、クールノー、ベルトラン、およびクールノー・ベルトラン混合複占モデルにおいて、環境課税が面源汚染を減らすことを示した。本論文では、シュタッケルベルク複占モデルにおいて環境課税の枠組みを導入し、環境課税が面源汚染を減らすかどうかを検証し、効果があることを示した。

キーワード：　面源汚染，環境課税，シュタッケルベルク複占、排出量削減、社会厚生

Keywords: Non-Point Source Pollution, Ambient charges, Stackelberg duopoly、Decresing emission, Social Welfare

JEL classifications: *D43, Q52, Q53*

Abstract

In this paper, we examine whether ambient charges can abate Non-Point Source (NPS) Pollution. Segerson (1988) shows that ambient charges are one of the best schemes to decrease NPS Pollution, in which schemes we can impose ambient charges on the total amount of NPS Pollution which is produced by the diffusion of pollutants produced by economic agents. Sato (2022) demonstrates that ambient charges can decrease NPS Pollution in a Cournot duopoly model, a Bertrand duopol one, and a Cournot-Bertrand mixed duopoly model. We extend Sakai (1992), who shows a Stackelberg duopoly model, to a version of the model with ambient charges and examines that ambient charges can decrease NPS Pollution in a Stackelberg case,

１.はじめに

本論文は、面源汚染（Non-Point Source Pollution）を減らすために、シュタッケルベルク均衡の枠組みにおいて環境課税を用いてその効果を検証する。面源汚染[2i]とは、ノンポイント汚染、非点源汚染ともいわれるが、当局が汚染源を特定できない環境汚染のことである[1]。どこからどの程度排出された分からない物質が空気中に漂い、それが面的に拡散し、地表に落ちて堆積した物質や、農業などから面的な広がりから出る窒素やリンなどの物質が、側溝や下水道などを通じて川に流れ、最終的に湖や海に流れ込む。これらの物質は、海や湖の富栄養化を招き、生態系の破壊や水質汚染を招くなどの悪影響を及ぼすものである。面源汚染は、伝統的な環境汚染の研究においてよく取り上げられる点源汚染（Point Source Pollution）とは異なり、どこにどの程度広がるか把握できない。よって、面源汚染を減らすためには、点源汚染と異なった対処方法が必要である。この方法について、様々な研究がなされてきた。その一つが、Segerson (1988)による、環境課税 (Ambient Charges) の導入である。Segerson（1988）は、政府などの規制当局があらかじめ基準排出量を決め、個別の汚染源が特定化されていなくても、汚染総量を当局が把握できるとき、汚染総量が規制当局の基準排出量を超えた場合には各企業に一律の税金をかけ、汚染総量が基準排出量を超えない場合には各企業に一律の補助金を出すという仕組み、すなわち環境課税を導入すれば、汚染者は汚染を減らすであろうということを想定した。企業側が税金を回避するというインセンティブが環境課税には存在するということである。

Segerson (1988)の研究以降、面源汚染と環境課税に関する様々な研究が行われてきた。H.Sato (2017)では、最も単純な 2 企業クールノー複占モデルにおいて、環境課税は面源汚染を減らすことを証明している。佐藤（2022）では、クールノー複占、ベルトラン複占、およびクールノー＝ベルトラン混合複占の各モデルにおいて、環境課税が面源汚染を減らすということを証明し、その社会厚生がどうなるかを示した。更には、動学的安定性分析を行った。本論文では、シュタッケルベルク複占モデルに拡張して、環境課税が面源汚染を減らすかどうか、またその時の社会厚生はどうなるかについて検証する。シュタッケルベルク複占への拡張および、シュタッケルベルク複占における社会厚生を求めるという試みについては、単純なモデルではあるが、新しい試みであるといえるであろう。

2.シュタッケルベルク静学複占モデルにおける環境課税の効果について

前節で述べたように、佐藤（2022）では、クールノー、ベルトラン、およびクールノー＝ベルトラン混合における各複占モデルにおいて、環境課税が面源汚染を減らすかどうかについて検証した。本節では、シュタッケルベルク複占に拡張し、環境課税が面源汚染を減らすかどうかを証明する。佐藤（2022）でも使用した通り、酒井（1992）の複占モデルをベースとした単純な複占モデルを仮定する。かつ、佐藤（2022）の仮定における、2 企業異質財モデルを引き続き使用する。これらの仮定を用いて、環境課税が面源汚染を減らすかどうかを検証し、その社会厚生の導出を試みる。

現在、市場には 2 つの企業が存在する（i=1,2)。両企業は異質財を生産すると仮定する。この時、第 i 企業の産出量を x_i、その単位価格を p_i とする。各産出量 x_i を操作変数、各産出量価格 p_i を従属変数とする需要方程式を酒井（1992)のように線形であると仮定する。すなわち、

$$p_1 = \alpha_1 - \beta_1 x_1 - \gamma x_2 \tag{1.1}$$

$$p_2 = \alpha_2 - \gamma x_1 - \beta_2 x_2 \tag{1.2}$$

となる。ここで、酒井（1992）の仮定と同様に、$\alpha_1>0$、$\alpha_2>0$、$\beta_1>0$、$\beta_2>0$ という仮定をおく。更に、β_1 と β_2 および、γ に関して次の仮定を置く。

仮定 1.　$\beta_1\beta_2>\gamma^2$ [3]

この仮定をおくことで、γ の値が制約され結論に影響することとなる、次に環境課税を考慮した利潤最大化行動の式を求める。2 企業の汚染排出量 $e_i x_i$ と政府が定めた環境基準 $\overline{E}$ の差に環境課税 m を掛けた式を導入した利潤関数を、第 1 企業、第 2 企業ともに求める。この時、第 1 企業、第 2 企業ともに、数量設定型のクールノー型企業であり、数量戦略を採用すると仮定する。シュタッケルベルク複占を本論文では、第 1 企業がリーダーとして行動し、第 2 企業がフォロワーとして行動すると仮定する。この時、シュタッケルベルク複占において環境課税が面源汚染を減らすかどうかを検証する。まず、リーダーとして動く第 1 企業の利潤関数は、

$$\pi_1 = p_1 x_1 - c_1 x_1 - m(e_1 x_1 + e_2 x_2 - \bar{E}) \tag{1.3}$$

となる。c_1 は第 1 企業の平均費用であり、一定であるとする。次にフォロワーである第 2 企業の利潤関数を次のように置く。

$$\pi_2 = p_2 x_2 - c_2 x_2 - m(e_1 x_1 + e_2 x_2 - \bar{E})\,. \tag{1.4}$$

c_2 は第 2 企業の平均費用であり、一定であるとする。ここで、(1.4)式を変形する。すなわち、(1.2)式を（1.4）式に代入して、

$$\begin{aligned}\pi_2 &= p_2 x_2 - c_2 x_2 - m(e_1 x_1 + e_2 x_2 - \bar{E})\\ &= (p_2 - c_2 - me_2)x_2 - me_1 x_1 + m\bar{E}\\ &= \{(\alpha_2 - \gamma x_1 - \beta_2 x_2) - c_2 - me_2\}\ x_2 - me_1 x_1 + m\bar{E}\end{aligned} \tag{1.5}$$

とする。(1.5)式より、第2企業の利潤最大化の場合の一階の条件は、

$$\frac{\partial \pi_2}{\partial x_2} = \alpha_2 - \gamma_1 - 2\beta_2 x_2 - c_2 - me_2 = 0 \tag{1.6}$$

となる。更に、二階の条件は、

$$\frac{\partial^2 \pi_2}{\partial \pi_2{}^2} = -2\beta_2 < 0 \tag{1.7}$$

となり、最大化の条件を満たす。よって、第2企業における反応関数は、x_2に関して、x_1を用いた式で表すことができる。すなわち、

$$x_2(x_1; m) = \frac{1}{2\beta_2}(-\gamma x_1 + \alpha_2 - c_2 - me_2) \tag{1.8}$$

となる。したがって、第2企業の反応関数は線形関数となる。他方、リーダーである第1企業の反応関数を考える。(1.3) 式に、(1.1) 式を代入して解くと、

$$\begin{aligned}
\pi_1 &= p_1 x_1 - c_1 x_1 - m(e_1 x_1 + e_2 x_2 - \bar{E}) \\
&= (p_1 - c_1 - me_1)x_1 - me_2 + m\bar{E} \\
&= \{(\alpha_1 - \beta_1 x_1 - \gamma x_2) - c_1 - me_1)\}x_1 - me_2 + m\bar{E} \\
&= \{\alpha_1 - c_1 - me_1 - \beta_1 x_1\}x_1 - (\gamma + me_2)x_2 + m\bar{E}
\end{aligned} \tag{1.9}$$

(1.9) 式に、(1.8) 式を代入すると、

$$\begin{aligned}
\pi_1 &= \{\alpha_1 - c_1 - me_1 - \beta_1 x_1\}x_1 - (\gamma + me_2)\{\frac{1}{2\beta_2}(-\gamma x_1 + \alpha_2 - c_2 - me_2)\} + m\bar{E} \\
&= \{\alpha_1 - c_1 - me_1 - \beta_1 x_1 + (\gamma + me_2)\frac{1}{2\beta_2}\}x_1 - (\gamma + me_2)(\alpha_2 - c_2 - me_2) + m\bar{E}
\end{aligned} \tag{1.10}$$

よって、リーダーである第1企業の利潤最大化の一階の条件は、

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial x_1} = \alpha_1 - c_1 - me_1 - 2\beta_1 x_1 + (\gamma + me_2)\frac{\gamma}{2\beta_2} = 0 \tag{1.11}$$

また、二階の条件は、

$$\frac{\partial^2 \pi_1}{\partial \pi_1{}^2} = -2\beta_1 < 0 \tag{1.12}$$

となり、最大化の条件を満たす。よって、第 1 企業の m に関する関数は、(1.11) 式を再び用いて変形すると、

$$2\beta_1 x_1 = \alpha_1 - c_1 - me_1 + (\gamma + me_2)\frac{\gamma}{2\beta_2} = 0$$

$$x_1(m) = \frac{1}{2\beta_1}\{\alpha_1 - c_1 + \frac{\gamma^2}{2\beta_2} - me_1 + \frac{m\gamma}{2\beta_2}e_2\}$$

$$= \frac{1}{2\beta_1}\{\alpha_1 - c_1 + \frac{\gamma^2}{2\beta_2} - (e_1 - \frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)m\}$$

(1.13)

となる。

この (1.13) 式を再び、(1.8) 式に代入すると、

$$x_2(m) = \frac{1}{2\beta_2}[-\gamma\{\frac{1}{2\beta_1}(\alpha_1 - c_1 + \frac{\gamma^2}{2\beta_2} - (e_1 - \frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)m)\} + \alpha_2 - c_2 - me_2]$$

$$= \frac{1}{2\beta_2}[-\frac{\gamma}{2\beta_1}(\alpha_1 - c_1 + \frac{\gamma^2}{2\beta_2}) + (\alpha_2 - c_2) + \frac{\gamma}{2\beta_1}(e_1 - \frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)m\} - e_2 m]$$

$$= \frac{1}{2\beta_2}[-\frac{\gamma}{2\beta_1}(\alpha_1 - c_1 + \frac{\gamma^2}{2\beta_2}) + (\alpha_2 - c_2) + \frac{\gamma}{2\beta_1}(e_1 - \frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)m\} - \frac{2\beta_1\gamma}{2\beta_1\gamma}e_2 m]$$

$$= \frac{1}{2\beta_2}[-\frac{\gamma}{2\beta_1}(\alpha_1 - c_1 + \frac{\gamma^2}{2\beta_2}) + (\alpha_2 - c_2) + \frac{\gamma}{2\beta_1}(e_1 - \frac{\gamma}{2\beta_2}e_2 - \frac{2\beta_1\gamma}{\gamma}e_2)m]$$

$$= \frac{1}{2\beta_2}[-\frac{\gamma}{2\beta_1}(\alpha_1 - c_1 + \frac{\gamma^2}{2\beta_2}) + (\alpha_2 - c_2) + \frac{\gamma}{2\beta_1}(e_1 + \frac{-(4\beta_1\beta_2 + \gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)m].$$

(1.14)

よって、環境課税に関しての計算が可能になり、環境課税 m が増加したときに、企業 1 と企業 2 の総排出量は。

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial(e_1x_1+e_2x_2)}{\partial m}=e_1\frac{\partial x_1(m)}{\partial m}+e_2\frac{\partial x_2(m)}{\partial m}\\
&=e_1\{\frac{-1}{2\beta_1}(e_1-\frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)\}+e_2[\frac{1}{2\beta_2}\times\frac{1}{2\beta_1}(e_1+\frac{-(4\beta_1\beta_2+\gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)]\\
&=\frac{-1}{2\beta_1}e_1^2+\frac{\gamma}{4\beta_1\beta_2}e_1e_2+\frac{\gamma}{4\beta_1\beta_2}e_1e_2+\frac{\gamma}{4\beta_1\beta_2}(\frac{-(4\beta_1\beta_2+\gamma^2)}{2\beta_2\gamma})e_2^2\\
&=-\frac{1}{8\beta_1\beta_2^2}(4\beta_2^2e_1^2-4\beta_2\gamma e_1e_2+(4\beta_1\beta_2+\gamma^2)e_2^2)
\end{aligned}
$$

（1.15）

となる。ここで、（1.15）のカッコの中身を $V(e_1)$ として、e_1 のみを動かすとすると、

$V(0)=(4\beta_1\beta_2+\gamma^2)e_2^2>0, V'(e_1)=8\beta_2^2e_1-4\beta_2\gamma e_2, V'(0)=-4\beta_2\gamma e_2<0$ となり、また、

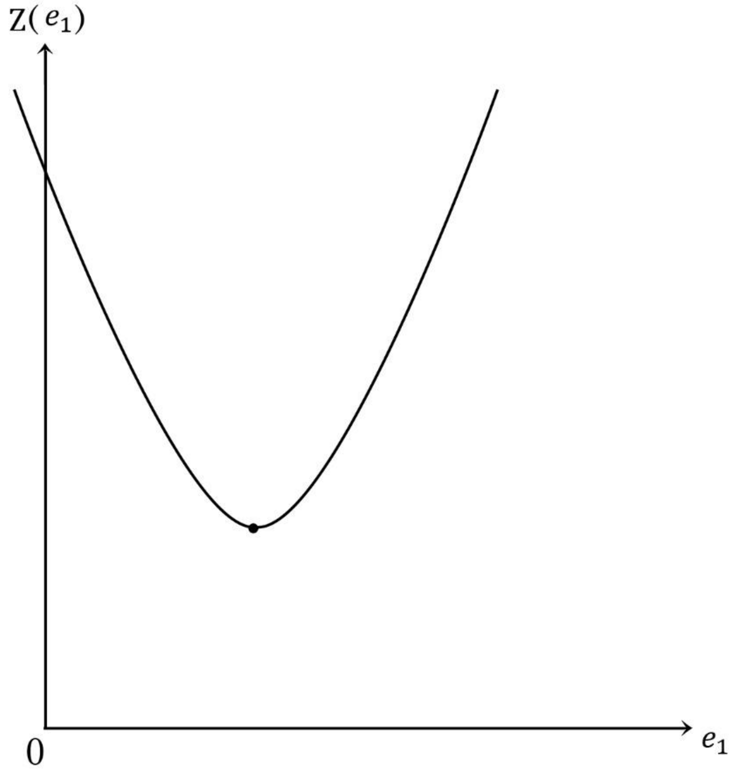
$V(e_1)$ の判別式 D は、$\beta_1>0$、$\beta_2>0$ という仮定を考慮すると、

$$
\begin{aligned}
&D=16\beta_2^2\gamma^2e_2^2-4(4\beta_2^2)(4\beta_1\beta_2+\gamma^2)e_2^2\\
&=16\beta_2^2\gamma^2e_2^2-64\beta_1\beta_2^3e_2^2-16\beta_2^2\gamma^2e_2^2\\
&=-64\beta_1\beta_2^3e_2^2<0
\end{aligned}
$$

（1.16）

となる。これは、以下の図 1 のようになる。

図 1



よって、判別式を考慮に入れると、最終的に、

$$\frac{\partial(e_1x_1+e_2x_2)}{\partial m}<0$$

となり、環境課税mを増やすと、2 企業の排出量は減ることが証明されるのである。ゆえに、環境課税は面源汚染を減らす効果があるということが、数式上から証明できるのである。

第 3 節　シュタッケルベルク静学複占モデルにおける社会厚生の導出

次に、環境課税を用いた時の社会厚生がどうなるかについての導出を行う。社会厚生のしきについては社会厚生を SB と表すことにすると、

$$SB=\pi_1+\pi_2+T+CS_1+CS_2-D \tag{2.1}$$

と表せる。(2.1)において、π は各企業の利潤、T は環境課税（政府余剰）、CS は消費者余剰、D＝$e_1x_1+e_2x_2$ は汚染を表す。(2.1)に、第 1 節より具体的な数式を導入すると、シュタッケルベルグ複占市場における社会厚生の式は、次のように表すことができる。すなわち、

$$\begin{aligned}SB&=\pi_1+\pi_2+T+CS_1+CS_2-D\\&=p_1x_1-c_1x_1-m(e_1x_1+e_2x_2-\bar{E})+p_2x_2-c_2x_2-m(e_1x_1+e_2x_2-\bar{E})+2m(e_1x_1+e_2x_2-\bar{E})+CS_1+CS_2-D\\&=p_1x_1+p_2x_2-c_1x_1-c_2x_2+CS_1+CS_2-D\end{aligned} \tag{2.2}$$

ということになる。次に SB に関して、m の式を考える。(2.2) に関して変数 m を考えた式なので、

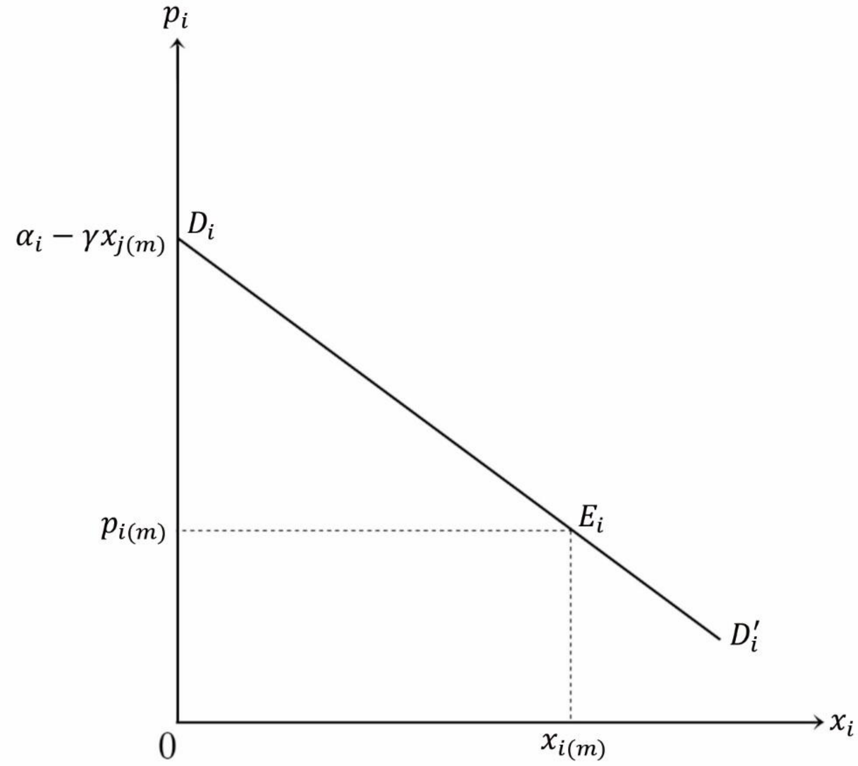
$$\begin{aligned}SB(m)&=p_1(m)x_1(m)+p_2(m)x_2(m)-c_1(m)x_1(m)-c_2(m)x_2(m)\\&+CS_1(m)+CS_2(m)-e_1(m)x_1(m)-e_2(m)x_2(m)\end{aligned} \tag{2.3}$$

となる。ここで、消費者余剰 CS_i については、

$$
\begin{aligned}
CS_i(m) &= \int_0^{x_i(m)} p_i(x_1, x_2)dx_i - p_i(m)x_i(m) \\
&= \frac{1}{2}(\alpha_i - \gamma x_j(m) - p_i(m))x_i(m), i, j = 1, 2, i \neq j
\end{aligned}
\tag{2.4}
$$

とおける。これは CS が図 2[4] のようになっていることを示しており、

図 2



となることを示している。よって、SB の $x_1(m), x_2(m)$ に関する式を考えると、

$$SB(x_1(m), x_2(m)) = \frac{1}{2}[\{\alpha_1 - \gamma x_2(m) + p_1(m)\}x_1(m) + \{\alpha_2 - \gamma x_1(m) + p_2(m)\}x_2(m)]$$
$$-c_1(m)x_1(m) - c_2(m)x_2(m) - e_1(m)x_1(m) - e_2(m)x_2(m)$$

(2.5)

となっている。$x_1(m), x_2(m)$ に、(1.1)と(1.2)を代入すると、

$$SB(x_1(m), x_2(m)) = \frac{1}{2}[2\alpha_1 x_1(m) - \beta_1(x_1(m)^2) - 2\gamma x_1(m)x_2(m)$$
$$+2\alpha_2 x_2(m) - \beta_2(x_2(m)^2) - 2\gamma x_1(m)x_2(m)] - c_1(m)x_1(m) - c_2(m)x_2(m) - e_1x_1(m) - e_2x_2(m)$$
$$= -\frac{1}{2}\beta_1(x_1(m)^2) + (\alpha_1 - c_1 - e_1)x_1(m) - 2\gamma x_1(m)x_2(m) - \frac{1}{2}\beta_2(x_2(m)^2) + (\alpha_2 - c_2 - e_2)x_2(m)$$

(2.6)

となる。(2.6)に関して、SB をmで微分してゼロとおいた SB 最大化の 1 階の条件について、

$$\frac{dSB}{dm} = \frac{\partial SB}{\partial x_1} \times \frac{dx_1}{dm} + \frac{\partial SB}{\partial x_2} \times \frac{dx_2}{dm}$$
$$= [-\beta_1(x_1(m)) - 2\gamma x_2(m) + (\alpha_1 - c_1 - e_1)] \times \frac{-1}{2\beta_1}(e_1 - \frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)$$
$$+[-\beta_2(x_2(m)) - 2\gamma x_1(m) + (\alpha_2 - c_2 - e_2)] \times \frac{\gamma}{4\beta_1\beta_2}(e_1 + \frac{(-4\beta_1\beta_2 + \gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)$$
$$= Bm + C = 0.$$

(2.7)

とする。ここで、B は m の係数を表し、C は定数項の部分を表すとする。すると、SB 最大化の 2 階の条件は、

$$\frac{d^2SB}{dSB^2} = B < 0$$

（2.8）

と表すことができる。

もし、B<0 かつ C>0 ならば、SB を最大にする $m^* = -\dfrac{C}{B} > 0$ が存在することになる。

$x_1(m), x_2(m)$ に関する式、すなわち（1.13）および(1.14)式を用いて、(2.7)式の動きを考える。(2.7)式を考えるうえで、係数 B を含む項 Bm と、定数項 C とに分けて、動きを考える。まず、Bm に関しては、

$$Bm = [-\beta_1 x_1(m) - 2\gamma x_2(m)] \times \frac{-1}{2\beta_1}(e_1 - \frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)$$
$$+[-\beta_2 x_2(m) - 2\gamma x_1(m)] \times \frac{\gamma}{4\beta_1\beta_2}(e_1 + \frac{-(4\beta_1\beta_2 + \gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)$$

（2.9）

となる。ここに、$x_1(m), x_2(m)$ に関する式である（1.13）および(1.14)式を代入して整理する。すると、最終的には Bm の項に関して、

$$Bm = \frac{-1}{4\beta_1^2}m[\beta_1(e_1 - \frac{\gamma}{2\beta_2})^2 - \frac{2\gamma^2}{\beta_2}(e_1 - \frac{\gamma}{2\beta_2})(\frac{-(4\beta_1\beta_2 + \gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)$$
$$+\frac{\gamma^2}{4\beta_2}(e_1 + \frac{-(4\beta_1\beta_2 + \gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)]$$

（2.10）

となる。ここで、$\gamma = 0$ のとき、β_1>0、β_2> 0 および、仮定 1（$\beta_1\beta_2 > \gamma^2$）を考慮すると、(2.10)式は、

$$Bm = \frac{-1}{4\beta_1}[e_1^2]m < 0. \tag{2.11}$$

という式に集約される。結果として、m の係数 B は負になる。したがって、関数の連続性を考慮に入れれば、たとえ $\gamma \neq 0$ であっても $|r|$ が十分に小さければ、B は負になることが分かる。

次に、定数項 C について検討する。(2.7)式と同様に計算すると、

$$C=[-\beta_1(\overline{x_1(m)})-2\gamma\overline{x_2(m)}+(\alpha_1-c_1-e_1)]\times\frac{-1}{2\beta_1}(e_1-\frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)$$
$$+[-\beta_2(\overline{x_2(m)})-2\gamma\overline{x_1(m)}+(\alpha_2-c_2-e_2)]\times\frac{\gamma}{4\beta_1\beta_2}(e_1+\frac{(-4\beta_1\beta_2+\gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)$$

(2.12)

となる。これを展開して整理すると、

$$C=\frac{1}{2}(\frac{1}{2\beta_1}(\alpha_1-c_1+\frac{\gamma^2}{2\beta_2}))+\{(e_1-\frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)-\frac{\gamma^2}{4\beta_1\beta_2}(e_1+\frac{-(4\beta_1\beta_2+\gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)\}$$
$$+\frac{\gamma}{\beta_1}[\frac{1}{2\beta_2}\{\frac{-\gamma}{2\beta_1}(\alpha_1-c_1+\frac{\gamma^2}{2\beta_2})+(\alpha_2-c_2)\}][(e_1-\frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)-\frac{1}{4}(e_1+\frac{-(4\beta_1\beta_2+\gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)]$$
$$+(\alpha_1-c_1-e_1)\times\frac{-1}{2\beta_1}(e_1-\frac{\gamma}{2\beta_2}e_2)+(\alpha_2-c_2-e_2)\times\frac{\gamma}{4\beta_1\beta_2}(e_1+\frac{-(4\beta_1\beta_2+\gamma^2)}{2\beta_2\gamma}e_2)$$

(2.13)

となる、ここで、次の仮定を置く。

仮定 2

(2.13)式において、$\alpha_1 \simeq \alpha_2 = \alpha, \beta_1 \simeq \beta_2 = \beta, e_1 \simeq e_2 = e, c_1 \simeq c_2 = c$ であり、かつ、同時に、γ は十分にゼロに近いとする。($\gamma = 0$).

もし、$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha, \beta_1 = \beta_2 = \beta, e_1 = e_2 = e, c_1 = c_2 = c, \gamma = 0$ ならば、C は以下のようになる。

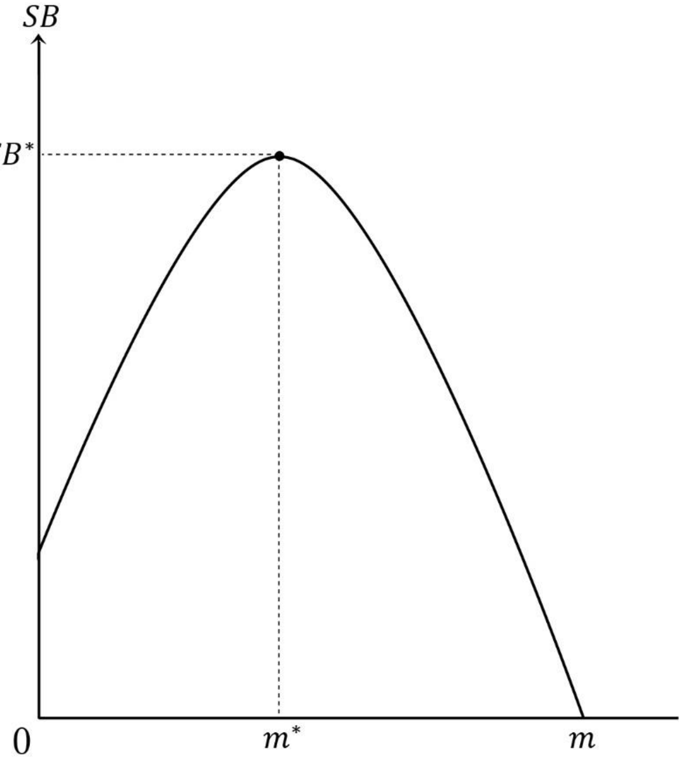
$$C = \frac{1}{2}(\frac{1}{2\beta}(\alpha - c))e + (\alpha - c - e) \times -\frac{1}{2\beta}e$$
$$= \frac{1}{4\beta}(\alpha - c)e - \frac{2}{4\beta}(\alpha - c - e)e$$
$$= \frac{1}{4\beta}e(c - \alpha + 2e)$$

（2.14）

ここで、条件として、価格＞平均費用（$p_i > c_i$）を使うとする。この条件は、利潤を求める式より必然的に得られるものとする。すると、αとcの大きさにより、（2.14）において、2つのパターンが存在する。

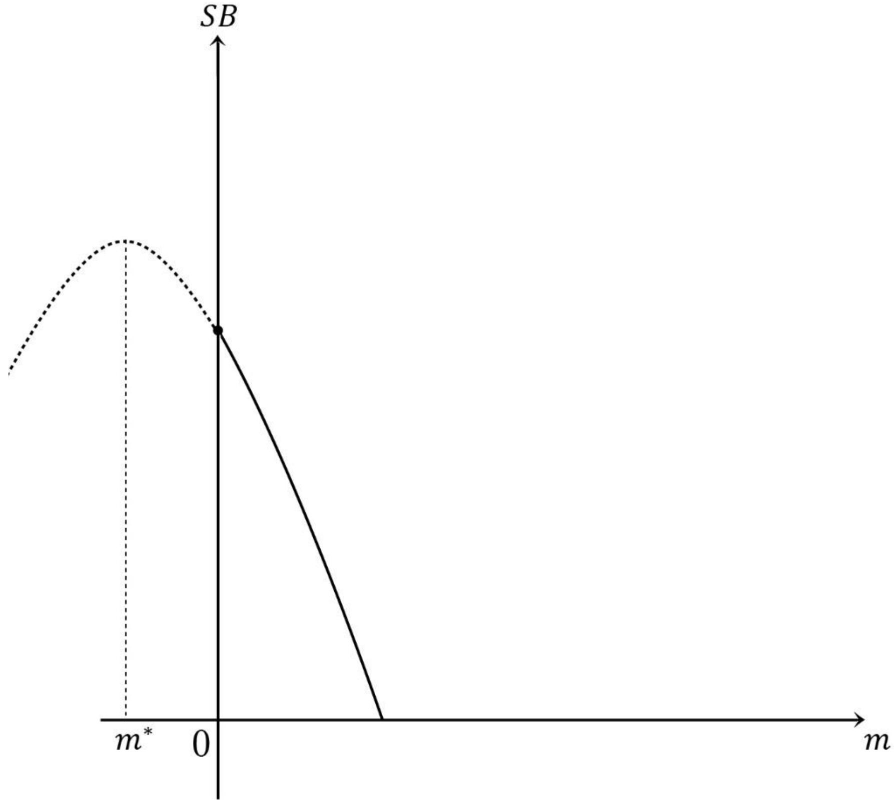
パターン1　c－α＞0の場合、$e > \frac{\alpha - c}{2}$という条件の下で次の図3が社会厚生として成り立つ。この図3は内点解の場合を示すものである。

図 3



パターン２　c－α＜０の場合、$e < \frac{\alpha - c}{2}$ という条件の下で次の図４が社会厚生として成り立つ。この図４はコーナー解の場合を示すものである。

図４　コーナー解の場合



以上の結果、m の係数 B は負、定数項 C は場合分けにより、環境課税と社会厚生の関係を考慮して、次の命題が成り立つ。

命題１ $\dfrac{\partial(e_1x_1+e_2x_2)}{\partial m}<0$ および、仮定２の下で、社会厚生 SB を最大化する有限の $m^*>0$ が存在する。

$$m^*>0$$

尚、次の分析を行うこともできる。図 4 の場合は、社会厚生が最適な状態の時にコーナー解が発生するため、環境税を課さない方が良いという結論に達する。また、図 3 の場合においても、$m*$を超えて環境課税をかけ続けた場合、汚染は減るものの、社会厚生も減少していくことが判明する。しかし、政府は市場に関する完全な情報を持たない以上、いずれにしても社会厚生が最大となる m^* を政府が実際には選ぶことができないであろうと結論付けることができる。

4.まとめ

本稿では、面源汚染を減らすためにシュタッケルベルク複占モデルにおいて、環境課税を用いて考察を行った。結果として、シュタッケルベルク複占モデルにおいても、クールノー複占モデルとどうように、いかなる場合であっても、環境課税が面源汚染を減らすというインプリケーションを得ることができた。更に一定の追記的仮定のもとでは、環境課税を掛けた場合、社会厚生を最大化する有限の m の値 m^* が存在することも判明した。ただし、クールノー＝ベルトラン混合複占の社会厚生のように、コーナー解が発生する場合も見られた。また、クールノー複占やベルトラン複占の場合と同様に、m^* を超えて環境課税をかけ続けた場合に、汚染は減るものの、社会厚生も減少していくということが判明した。しかし、政府は市場に関する完全な情報を持たない以上、社会厚生が最大となる m^* を政府が実際に選ぶことはできないであろうという結論に達した。

注）

1 本節における面源汚染の定義や先行研究、対処方法は、主に佐藤（2022）の第 1 章の文章から引用している。佐藤（2022）の第 1 章では、Xepapadeas (2011)や中山（2021）を引用して、面源汚染についての詳細や現状をまとめている。同様に、本稿全体が複占モデルを扱っている佐藤（2022）に依拠しているところが多く、記述部分を引用しているところがある。

2 これに対し、点源汚染（Point Source Pollution）というのは、特定の工場などから排出されている汚染量が分かっている汚染のことであり、直接排出元に対して、特定の排出制限を掛けることができる対象となる。

3　γ は x_1 と x_2 の代替・補完の程度を表し、γ が正の場合には 2 財は代替財、γ が 0 ならば 2 財は独立財、γ が負ならば 2 財は補完財であると定義する。ここで、(1.1）式、(1.2) 式を変形すると、

$$\begin{bmatrix} \beta_1 & \gamma \\ \gamma & \beta_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -p_1 + \alpha_1 \\ -p_2 + \alpha_2 \end{bmatrix}$$

となる。上記の式をクラメールの公式を用いてと解くと、x_1 と x_2 について、

$$x_1 = \frac{-\beta_2 p_1 + \gamma p_2 + (\alpha_1\beta_2 - \alpha_2\gamma)}{\beta_1\beta_2 - \gamma 2}$$

$$x_2 = \frac{-\beta_1 p_2 + \gamma p_1 + (\alpha_2\beta_1 - \alpha_1\gamma)}{\beta_1\beta_2 - \gamma 2}$$

となる。すなわち γ が正の場合には、一方の財の価格の増大により、他方の財の生産量が増大する。γ が 0 の場合は、価格の変化と生産量の増減に関係がない。γ が負ならば、一方の価格の増大により、他方の財の生産量は減少する。いずれも、(1.1）式、(1.2）式において、のちに定義される。また、仮定 1 の経済的意味は、市場の需要構造において、いわゆる事故効果が交叉効果を上回るものであると定義する（佐藤（2021）において、酒井（1992)、p.31、より数式番号を一部改変して引用)。

4　図 2 の中の D_i および D_i' は、需要関数を表すものであり、汚染（社会的損失）を表す D とは異なる。

参考文献

酒井泰弘 （1992）, 「クールノー・ベルトラン混合複占―数量戦略と価格戦略―」『筑波大学経済学論集』, (27), pp. 27-61.

佐藤佑一（2022）, 「面源汚染と環境課税に関する研究―寡占・複占モデルを用いて」中央大学経済学研究科博士論文.

中山恵子（2021）, 『中京大学経済学研究叢書第 29 輯　わが国の森林環境税―恒久的な水源涵養の保全に向けて―』　勁草書房.

Segerson. K. （1988）, "Uncertainty and Incentives for Non-Point Pollution Control". *Journal of environmental economics and management*, (15), pp. 87-98.

Sato, H. （2017）, "Pollution from Cournot Duopoly Industry and the Effect of Ambient Charges. " *Journal of Environmental Economics and Policy*, 6 (3), pp. 305-308.

Xepapadeas, A. （2012）, "The Economics of Nonpoint Source Pollution," *Annual Review of Resource Economics*, (3), pp. 355-373.

中央大学経済研究所
(INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH, CHUO UNIVERSITY)
代表者　林　光洋　(Director: Mitsuhiro Hayashi)
〒192-0393　東京都八王子市東中野　742-1
(742-1 Higashi-nakano, Hachioji, Tokyo 192-0393　JAPAN)
TEL: 042-674-3271　　+81 42 674 3271
FAX: 042-674-3278　　+81 42 674 3278
E-mail: keizaiken-grp@g.chuo-u.ac.jp
URL: https://www.chuo-u.ac.jp/research/institutes/economic/