環境税のヤードスティック税制に関する考察

A Yardstick Scheme as Environmental Taxation under Oligopoly

ネットワーク情報学部　河野敏鑑

School of Network and Information　Toshiaki KOUNO

Keywords: environmental taxation, yardstick competition, pollution abatement investment

Abstract

We investigate a yardstick scheme as environmental taxation under oligopoly. We consider a "yardstick competition" scheme based on the difference between a firm's marginal externality and the average marginal externality of the industry. In this paper, we investigate the condition that this scheme is more efficient than pigouvian tax. We show that the yardstick scheme is more efficient than pigouvian tax unless the marginal externality and the cost of pollution abatement investment are high.

1 はじめに

本稿の目的は、排出削減投資における戦略的相互依存関係を考慮に入れた上で、寡占の状況下における最適な環境税のあり方について論じることにある。

近年、環境問題に対する関心が高まり、それに対応する政策手段についても様々な論争が見られる。経済学の観点から環境問題を考える際には効率的な手段を用いることを考えなければならないが、そのためには市場メカニズムを活用することが重要であり、環境税や排出権取引はまさに市場メカニズムと整合的になりうるといえよう。

環境税に関する古典的な論文としては、Pigou(1920)が挙げられるだろう。彼の提唱した税制はピグー税と呼ばれ、環境税の代表例として知られている。しかしながら、ピグー税が効率的であるという命題は完全競争を暗黙のうちに仮定している。石油化学産業に代表されるように、公害の発生源は不完全競争下の企業であることも多く、この仮定は強すぎると思われる。

そこで、独占の状況下でかつ生産活動に負の外部性がある場合に関しては、Buchanan(1969)や Barnett(1980)で、寡占の状況下でかつ生産活動に負の外部性がある場合に関しては、Davis and Whinston(1962)や Damania(1996)で議論が展開されてきた。一般的に独占や寡占の状況下では完全競争の状況下と比べると総生産量は少なく、社会的には過少となる。一方で、負の外部性が存在する場合には、一般的には完全競争の状況下で決定される生産量は社会的には過大となる。この２つの効果は逆向きであり、両方とも考慮に入れると、独占や寡占によって生産量が抑制されると同時に負の外部性が縮小するので、むしろ独占や寡占の方が望ましいこともあることがこうした先行研究では指摘されてきた。

ところで、先行研究では考慮されていない要因が大きく２つある。１つは負の外部性に対応するために必ずしも生産量を低下させる必要はないことである。例えば、化学工場が有害物質を環境中に排出している状況を考えよう。この工場が発生させている負の外部性を低下させる方法としては生産量を減少させる以外に煙突や排水口に浄化装置を取り付けて有害物質が環境中に排出されないようにする方法がある。こうした浄化装置に対する投資をここでは排出削減投資と呼ぶが、排出削減投資まで考慮に入れた寡占の状況下での研究は私が調べたかぎりではない。

もう１つは、寡占の状況下ではプレイヤー間の戦略的相互依存関係が無視できないことである。環境経済学以外の分野では、Brander and Spencer(1983)などでこうした戦略的相互依存関係も含めた研究が進められてきた。しかし、環境経済学の分野で排出削減投資に関する戦略的相互依存関係が与える効果はほとんど考慮されていない。例外をいくつか挙げるが、Davis and Whinston(1962)では、支配戦略が存在することを前提とした考察が行われており、支配戦略が存在しない場合における均衡は考察されていない。また、Damania(1996)では、政府が投資を行う場合しか考察されていない。

本稿では、Buchanan(1969)や Barnett(1980)、Damania(1996)と同様に、second best な環境税について考察する。そして、Pigou(1920)などで伝統的に考えられてきた課税の方法とは異なり、企業における排出削減投資が与える戦略的な関係を利用した、新たな second best な環境税の体系を考察し、Pigou(1920)などで伝統的に考えられ

てきた課税よりも社会的に望ましくなる可能性があることを示したい。

本稿では戦略的関係、特に相対的なパフォーマンスをベースとした課税を考察するが、相対的なパフォーマンスをもとに規制や政策を行うというアイデアは実際に公共料金の規制で取り入れられたことがあり、ヤードスティック規制（比較基準方式）として知られている。既に公共料金の規制で取り入れられた方式を環境政策に応用するという研究は過去に存在しないわけではなく、例えば、Franckx et al. (2004)がある。しかし、この研究では、ヤードスティック競争を分析した論文であるが、企業が多数存在して、プライス・テイカーである状況下に限って分析するなど、企業間の戦略的な関係が十分に描写されているとは言えない。したがって、本稿において寡占の状況下で企業の戦略的関係を利用した環境税の課税の方法を考察することは十分な意味があると言えるだろう。

なお、本稿の２章以降の構成は以下の通りである。まず、２章でモデルを提示し、３章で企業の戦略と均衡、社会的厚生について考察する。4章で２つの税体系の比較を行い、５章がむすびである。

2 モデル

２企業が数量競争をするモデルで考える。まず、２つの企業は第一段階で、環境対策のための投資をするのか、しないのかを同時に決定する。投資を行わない場合には、生産量１単位あたり$\bar{d}$の外部性による損失が社会的に生じる。投資を行う場合には、Ｃだけ企業に投資のコストが生じるが、生産量１単位あたりの外部性による損失は、$\underline{d}$に減少する。企業ｉ（ｉ＝１，２）が選択することになった生産量１単位あたりの外部性による損失をd_iと書く。

第２段階で、２つの企業は、第１段階での行動を周知の事実として、生産量を同時に決定し、同質の財を生産し、数量競争を行う。なお、一般性を失うことなく、逆需要関数をＰ＝１－Ｑとし、（Ｐは財の価格、Ｑは２企業の総生産量。）生産にかかる費用は一定で０とする。ここで、企業ｉの生産量をq_iと書く。

ここで、両企業に外部性による損失に対してｔ≧０の課税を行うとすると、第ｉ企業の利潤は

$$
\begin{cases}
\pi_i = Pq_i - t\underline{d}q_i - C & d_i = \underline{d}\text{のとき} \\
\pi_i = Pq_i - t\bar{d}q_i & d_i = \bar{d}\text{のとき}
\end{cases}
$$

となる。（ｉ＝１，２）こうした税制を以下「ピグー税制」と呼ぶ。

一方、両企業の生産量１単位あたりの外部性による損失の平均を考え、平均を上回っている企業に対して、ｓ×（d_i－(平均)）×q_iの課税をし、下回っている企業に対してはｓ×（(平均)－d_i）×q_iの補助金支出を行うことを考え、この税制を以下、「ヤードスティック税制」と呼ぶ。（ｓ≧０）

このとき、$S_i = s\frac{d_i - d_j}{2}q_i$　（ｉ=1,2,　ｊ=1,2,　ｉ≠ｊ）

とすると、企業ｉの利潤は

$$
\begin{cases}
\pi_i = Pq_i - S_i - C & d_i = \underline{d}\text{のとき} \\
\pi_i = Pq_i - S_i & d_i = \bar{d}\text{のとき}
\end{cases}
$$

となる。

ピグー税制は、これまで一般的に考えられてきた環境税の課税の方法である。寡占状態にあるとき、ピグー税制を用いて環境対策のための投資を行わせるためには、税率をある程度大きい正の値にしなくてはならないが、このことは同時に、総生産量を減少させる。

ヤードスティック税制は、一定の条件の下では、実際に徴税することも、総生産量を変化させることもなく、環境対策のための投資を行わせることが可能である。

いずれの場合も各企業は、この利潤を最大化するべく行動する。

ここで、社会的な余剰をＷとおくと、

$W = \pi_1 + \pi_2 + CS + T - D$

と表せる。（ＣＳは消費者余剰、Ｔは税収－補助金、Ｄは外部性による損失）政府はこの社会的な余剰を最大化するように、両企業が投資の意思決定をする前に、ｔまたはｓを決定する。

なお、簡単のためいくつかの仮定を置く。

Assumption.1　$\frac{2}{3} > \bar{d} > \underline{d} > 0$

この研究では負の外部性のみを考える（$\underline{d}$＞０）。また、投資をすると外部性が増えては意味が無いので$\bar{d} > \underline{d}$も仮定した。さらに、$\bar{d}$が$\frac{2}{3}$以上の場合、通常のクールノー均衡（両企業とも$\frac{1}{3}$ずつ生産）において、すでにＷ≦０となる。ここまで極端に外部性が大きい場合は考えないこととし、$\frac{2}{3} > \bar{d}$を仮定した。

Assumption.2　$0 < C \leqq \frac{4(\bar{d}-\underline{d})^2}{9(2\bar{d}-\underline{d})^2}$

投資のコストが正という仮定は当然の仮定だが、逆に極端に投資のコストが高い場合、どちらか一方の企業が生産を停止しうる。本稿の目的は独占の状況下を分析することではないので、このような仮定を置いた。

Assumption.3　$0 \leqq t, t < \frac{1-3\sqrt{C}}{2\underline{d}-\bar{d}}, t < \frac{1}{2\bar{d}-\underline{d}}, 0 \leqq s < \frac{2}{3(\bar{d}-\underline{d})}$

ｔやｓが極端に高い場合はそもそもどちらか一方の企業が生産を停止しうる。本稿の目的は独占の状況下を分析することではないので、このような仮定を置いた。

さらに純粋戦略のみを考え、混合戦略は考えないこととする。

3 均衡

3.1. ピグー税制の下での企業の戦略

部分ゲーム完全均衡を考えるので、後方帰納法を用いる。ｔを所与として、クールノー競争を行うと、均衡における第ｉ企業の生産量ｑ$_{i}$は、

$q_i = \frac{1-2td_i+td_j}{3}$ となる。（ｉ=1,2,　ｊ=1,2,　ｉ ≠ ｊ）

したがって、相手の企業が投資をした場合、自社も投資をするときの生産量は$\frac{1-t\underline{d}}{3}$、自社が投資をしないときの生産量は$\frac{1-2t\bar{d}+t\underline{d}}{3}$となる。利潤はそれぞれ、$\frac{(1-t\underline{d})^2}{9}-C$, $\frac{(1-2t\bar{d}+t\underline{d})^2}{9}$となるので、

$0 \leqq t \leqq \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})}$ のとき、

企業は投資をしないで、$\frac{1-2t\bar{d}+t\underline{d}}{3}$ の生産を行う。

$\frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})} \leqq t$ のとき、

企業は投資をして、$\frac{1-t\underline{d}}{3}$ の生産を行う。

相手の企業が投資をしない場合、自社が投資をする時の生産量は$\frac{1-2t\underline{d}+\bar{d}}{3}$、自社も投資をしないときの生産量は$\frac{1-t\bar{d}}{3}$となる。利潤はそれぞれ、$\frac{(1-2t\underline{d}+\bar{d})^2}{9}-C$, $\frac{(1-t\bar{d})^2}{9}$ となるので、

$0 \leqq t \leqq \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})}$ のとき、

企業は投資をしないで、$\frac{1-t\bar{d}}{3}$ の生産を行う。

$\frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})} \leqq t$ のとき、

企業は投資をして、$\frac{1-2t\underline{d}+\bar{d}}{3}$ の生産を行う。

以上まとめると、

$0 \leqq t \leqq \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})}$ のとき、

両企業とも投資をせず $\frac{1-t\bar{d}}{3}$ の生産を行う。

$\frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})} \leqq t$ のとき

両企業とも投資をして、$\frac{1-t\underline{d}}{3}$ の生産を行う。

の２種類の均衡がありえる。なお、

$\frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})} \leqq t \leqq \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})}$ のときは、両企業とも投資をする均衡と両企業とも投資をしない均衡の双方があり得るが、ここでは均衡選択の問題には立ち入らないこととする。

3.2. ピグー税制の下での社会的余剰

政府が２企業の意思決定を織り込んだ上で、社会的余剰を最大化するには、ｔをどのように定めればよいかを考えよう。

ｉ）$0 \leqq t \leqq \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})}$ で両企業とも投資しないとき、この時の社会的余剰は

$W = \frac{4}{9}-\frac{2}{3}\bar{d}+\frac{1}{9}\left(-2\bar{d}^2t^2+\left(-2\bar{d}+6\bar{d}^2\right)t\right)$

これを最大化するｔは、

$\frac{-1+3\bar{d}}{2\bar{d}} \leqq 0$ のとき、ｔ＝０

$0 \leqq \frac{-1+3\bar{d}}{2\bar{d}} \leqq \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})}$ のとき、

$t = \frac{-1+3\bar{d}}{2\bar{d}}$

$\frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})} \leqq \frac{-1+3\bar{d}}{2\bar{d}}$ のとき、

$t = \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})}$

つまり、ｉ）の範囲内で社会的余剰を最大化するには、

$-1+3\bar{d} \leqq 0$ のとき、ｔ＝０

$-1+3\bar{d} > 0$ かつ$\frac{1}{9\bar{d}^2}\left(\bar{d}-\underline{d}\right)\left(-1+3\bar{d}\right)\left(2\bar{d}+\underline{d}-3\bar{d}\underline{d}\right) \leqq C$

のとき、$t = \frac{-1+3\bar{d}}{2\bar{d}}$

$-1+3\bar{d} > 0$ かつ$\frac{1}{9\bar{d}^2}\left(\bar{d}-\underline{d}\right)\left(-1+3\bar{d}\right)\left(2\bar{d}+\underline{d}-3\bar{d}\underline{d}\right) > C$

のとき、$t = \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})}$

とｔを定めればよい。

ⅱ）$\frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})} \leqq t$ で両企業とも投資するとき、このときの社会的余剰は

$W = \frac{4}{9}-\frac{2}{3}\underline{d}-2C+\frac{1}{9}\left(-2\underline{d}^2t^2+\left(-2\underline{d}+6\underline{d}^2\right)t\right)$

これを最大化するｔは、

$$\begin{cases} \dfrac{\overline{d}-\underline{d}-\sqrt{\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2-9\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)C}}{2\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)} \leqq \dfrac{-1+3\underline{d}}{2\underline{d}} \text{ のとき、} t=\dfrac{-1+3\underline{d}}{2\underline{d}} \\ \dfrac{-1+3\underline{d}}{2\underline{d}} \leqq \dfrac{\overline{d}-\underline{d}-\sqrt{\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2-9\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)C}}{2\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)} \text{のとき、} \\ \qquad t=\dfrac{\overline{d}-\underline{d}-\sqrt{\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2-9\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)C}}{2\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)} \end{cases}$$

つまり、

$\frac{1}{9\underline{d}^2}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)\left(-1+3\underline{d}\right)\left(2\underline{d}+\overline{d}-3\overline{d}\underline{d}\right) > C$ かつ

$-1+3\underline{d} > 0$のとき、$t=\frac{-1+3\underline{d}}{2\underline{d}}$

$\frac{1}{9\underline{d}^2}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)\left(-1+3\underline{d}\right)\left(2\underline{d}+\overline{d}-3\overline{d}\underline{d}\right) \leqq C$ または

$-1+3\underline{d} \leqq 0$のとき、 $t = \frac{\overline{d}-\underline{d}-\sqrt{\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2-9\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)C}}{2\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)}$

3.3. ヤードスティック税制の下で企業の戦略と均衡

部分ゲーム完全均衡を考えるので、後方帰納法を用いてクールノー競争の均衡における生産量を求める。

相手の企業が投資をした場合、自社も投資をするときの生産量は$\frac{1}{3}$、自社が投資をしないときの生産量は$\frac{1}{3}-s\frac{\overline{d}-\underline{d}}{2}$となる。それぞれ利潤は$\frac{1}{9}-C$, $\frac{1}{9}(1-3s\frac{\overline{d}-\underline{d}}{2})^2$となるので、

$0 \leqq s \leqq \frac{2-2\sqrt{1-9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})}$ のとき、企業は投資をせず$\frac{1}{3}-s\frac{\overline{d}-\underline{d}}{2}$の生産をする。$\frac{2-2\sqrt{1-9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})} < s$のとき、企業は投資をして$\frac{1}{3}$の生産をする。

相手の企業が投資をしない場合、自社が投資をするときの生産量は$\frac{1}{3}+s\frac{\overline{d}-\underline{d}}{2}$、自社も投資をしないときの生産量は$\frac{1}{3}$となる。利潤はそれぞれ、$\frac{1}{9}(1+3s\frac{\overline{d}-\underline{d}}{2})^2-C$, $\frac{1}{9}$となるので、

$0 \leqq s < \frac{-2+2\sqrt{1+9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})}$ のとき、企業は投資をせず$\frac{1}{3}$の生産をする。$\frac{-2+2\sqrt{1+9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})} \leqq s$のとき、企業は投資をして$\frac{1}{3}+s\frac{\overline{d}-\underline{d}}{2}$の生産をする。

以上まとめると、均衡においては、$0 \leqq s < \frac{-2+2\sqrt{1+9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})}$ のとき、両企業とも投資をせず、共に$\frac{1}{3}$の生産をする。

$\frac{-2+2\sqrt{1+9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})} \leqq s \leqq \frac{2-2\sqrt{1-9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})}$ のとき、一方の企業は投資をして$\frac{1}{3}+s\frac{\overline{d}-\underline{d}}{2}$の生産をし、もう一方の企業は投資をせず、$\frac{1}{3}-s\frac{\overline{d}-\underline{d}}{2}$の生産をする。$\frac{2-2\sqrt{1-9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})} < s$のとき、両企業とも投資をして、共に$\frac{1}{3}$の生産をする。

なお、一方の企業が投資を行い、もう一方の企業が投資を行わない非対称均衡を分析する際には、どちらの企業が投資を行うのかが問題となるが、ここではその問題に立ち入らず、単純に一方の企業が投資を行い、もう一方の企業が投資を行わないとしよう。

3.4. ヤードスティック税制の下での社会的余剰

政府が２企業の意思決定を織り込んだ上で、社会的余剰を最大化するには、sをどのように定めればよいかを考える。

ｉ）$0 \leqq s < \frac{-2+2\sqrt{1+9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})}$ のとき

この時の社会的余剰はsの値に関わらず、$W=\frac{4}{9}-\frac{2}{3}\overline{d}$ となる。

ⅱ）$\frac{-2+2\sqrt{1+9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})} \leqq s \leqq \frac{2-2\sqrt{1-9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})}$ のとき

このときの社会的余剰は、

$W=\frac{4}{9}-\frac{1}{3}\left(\overline{d}+\underline{d}\right)-C+\frac{s}{2}(\overline{d}-\underline{d})^2$

これを最大化するsは、$\frac{2-2\sqrt{1-9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})}$であり、一方の企業のみ投資をするという制約のもとで、sに関して最大化される社会的余剰は

$W=\frac{4}{9}-\frac{1}{3}\left(\overline{d}+\underline{d}\right)-C+\frac{1}{3}(\overline{d}-\underline{d})(1-\sqrt{1-9C})$

$=\frac{4}{9}-\frac{2}{3}\underline{d}-C-\frac{1}{3}(\overline{d}-\underline{d})\sqrt{1-9C}$となる。

ⅲ）$\frac{2-2\sqrt{1-9C}}{3(\overline{d}-\underline{d})} < s$のとき

この時の社会的余剰はsの値に関わらず、

$W=\frac{4}{9}-\frac{2}{3}\underline{d}-2C$ となる。

4 ピグー税制とヤードスティック税制の比較

まず、$Wt(\overline{d},\overline{d},t) \equiv \frac{4}{9}-\frac{2}{3}\overline{d}+\frac{1}{9}(-2\overline{d}^2t^2+\left(-2\overline{d}+6\overline{d}^2\right)t)$,

$Wt\left(\underline{d},\underline{d},t\right) \equiv \frac{4}{9}-\frac{2}{3}\underline{d}-2C+\frac{1}{9}\left(-2\underline{d}^2t^2+(-2\underline{d}+6\underline{d}^2)t\right)$,

$Ws(\overline{d},\overline{d}) \equiv \frac{4}{9}-\frac{2}{3}\overline{d}$, $Ws\left(\underline{d},\underline{d}\right) \equiv \frac{4}{9}-\frac{2}{3}\underline{d}-2C$,

$Ws\left(\overline{d},\underline{d}\right) \equiv \frac{4}{9}-\frac{2}{3}\underline{d}-C-\frac{1}{3}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)\sqrt{1-9C}$ と定義する。さらにピグー税制の下でtに関して最大化される社会的余剰

をＷｔ、ヤードスティック税制の下で、ｓに関して最大化される社会的余剰をＷｓと定義すると、このとき、

Ｗｓ=max $\{$Ｗｓ$(\bar{d},\bar{d})$, Ｗｓ$(\bar{d},\underline{d})$, Ｗｓ$(\underline{d},\underline{d})\}$となる。

次に、Ｗｔ$(\bar{d},\bar{d}) \equiv \max_{t}$Ｗｔ$(\bar{d},\bar{d},t)$

$$\text{s.t. } 0 \leqq t \leqq \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\underline{d}(\bar{d}-\underline{d})}$$

Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d}) \equiv \max_{t}$Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d},t)$

$$\text{s.t. } \frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})} \leqq t$$

と定義すると、Ｗｔ= max $\{$Ｗｔ$(\bar{d},\bar{d})$, Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d})\}$となる。

Lemma 1

$9(\bar{d}-\underline{d})^2-24(\bar{d}-\underline{d})+4>0$のとき

$C \leqq \frac{-3(\bar{d}-\underline{d})^2+(\bar{d}-\underline{d})\sqrt{9(\bar{d}-\underline{d})^2+4}}{6}$ならば、Ｗｓ=Ｗｓ$(\underline{d},\underline{d})$

$\frac{-3(\bar{d}-\underline{d})^2+(\bar{d}-\underline{d})\sqrt{9(\bar{d}-\underline{d})^2+4}}{6} \leqq C \leqq \frac{-3(\bar{d}-\underline{d})^2+4(\bar{d}-\underline{d})-(\bar{d}-\underline{d})\sqrt{9(\bar{d}-\underline{d})^2-24(\bar{d}-\underline{d})+4}}{6}$ならば、

Ｗｓ= Ｗｓ$(\bar{d},\underline{d})$

$\frac{-3(\bar{d}-\underline{d})^2+4(\bar{d}-\underline{d})-(\bar{d}-\underline{d})\sqrt{9(\bar{d}-\underline{d})^2-24(\bar{d}-\underline{d})+4}}{6} \leqq C$ならば、

Ｗｓ=Ｗｓ$(\bar{d},\bar{d})$

$9(\bar{d}-\underline{d})^2-24(\bar{d}-\underline{d})+4 \leqq 0$のとき

$C \leqq \frac{-3(\bar{d}-\underline{d})^2+(\bar{d}-\underline{d})\sqrt{9(\bar{d}-\underline{d})^2+4}}{6}$ならば、Ｗｓ=Ｗｓ$(\underline{d},\underline{d})$

$\frac{-3(\bar{d}-\underline{d})^2+(\bar{d}-\underline{d})\sqrt{9(\bar{d}-\underline{d})^2+4}}{6} \leqq C$ならば、Ｗｓ=Ｗｓ$(\bar{d},\underline{d})$

証明：Appendix を見よ。

Lemma 2

$\underline{d} \leqq \frac{1}{3}$ のとき、Ｗｓ$(\underline{d},\underline{d})$>Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d})$

証明：

$\underline{d} \leqq \frac{1}{3}$ のとき、$\frac{-1+3\underline{d}}{2\underline{d}} \leqq 0$なので、

Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d})$ =Ｗｔ$\left(\underline{d},\underline{d},\frac{\bar{d}-\underline{d}-\sqrt{(\bar{d}-\underline{d})^2-9\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})C}}{2\bar{d}(\bar{d}-\underline{d})}\right)$ <Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d},0)$

ここで、Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d},0)=\frac{4}{9}-\frac{2}{3}\underline{d}-2C=$ Ｗｓ$(\underline{d},\underline{d})$であるので、Lemma 2 は示された。 (Q.E.D.)

Lemma 3

Ｗｓ$(\bar{d},\underline{d}) >$ Ｗｔ$(\bar{d},\bar{d})$

証明：

Ｗｓ$(\bar{d},\underline{d})-$ Ｗｔ$\left(\bar{d},\bar{d},\frac{-1+3\bar{d}}{2\bar{d}}\right)$

$=\frac{2}{3}(\bar{d}-\underline{d})-C-\frac{1}{3}(\bar{d}-\underline{d})\sqrt{1-9C}-\frac{(1-3\underline{d})^2}{18}$

を考える。これをＣで微分すると、

Ｗｓ$(\bar{d},\underline{d})-$ Ｗｔ$\left(\bar{d},\bar{d},\frac{-1+3\bar{d}}{2\bar{d}}\right)$ は、$C=\frac{1}{9}-\frac{(\bar{d}-\underline{d})^2}{4}$ のときに最小になることが分かる。

そこで、Ｗｓ$(\bar{d},\underline{d})-$ Ｗｔ$\left(\bar{d},\bar{d},\frac{-1+3\bar{d}}{2\bar{d}}\right)$ に$C=\frac{1}{9}-\frac{(\bar{d}-\underline{d})^2}{4}$ を代入すると$-\frac{1}{4}(\bar{d}-\underline{d})^2+\frac{2}{3}(\bar{d}-\underline{d})-\frac{1}{9}-\frac{(1-3\underline{d})^2}{18}$ となる。

$0<\bar{d}-\underline{d}<\frac{2}{3}, 0<\underline{d} \leqq \frac{2}{3}$より、

$$-\frac{1}{4}(\bar{d}-\underline{d})^2+\frac{2}{3}(\bar{d}-\underline{d})-\frac{1}{9}-\frac{(1-3\underline{d})^2}{18}$$

$$=-\frac{1}{4}\left\{(\bar{d}-\underline{d})-\frac{3}{4}\right\}^2-\frac{(1-3\underline{d})^2}{18}+\frac{5}{9}>-\frac{9}{64}-\frac{1}{18}+\frac{5}{9}>0$$

よって、Ｗｓ$(\bar{d},\underline{d})$ >Ｗｔ$\left(\bar{d},\bar{d},\frac{-1+3\bar{d}}{2\bar{d}}\right)$ ≧Ｗｔ$(\bar{d},\bar{d})$であるので、Lemma 3 は示された。 (Q.E.D.)

以下、Assumption.1 より、以下の３つのケースに場合分けを行って考える。

i) $\underline{d}<\bar{d} \leqq \frac{1}{3}$ のとき

ii) $\bar{d}>\frac{1}{3}$ かつ$\underline{d} \leqq \frac{1}{3}$ のとき

iii) $\frac{1}{3}<\underline{d}<\bar{d}$のとき

i) $\underline{d}<\bar{d} \leqq \frac{1}{3}$ のとき

Lemma2,Lemma3より、Proposition 1 が成り立つ。

Proposition 1

$\underline{d}<\bar{d} \leqq \frac{1}{3}$ のとき、Ｗｓ>Ｗｔ

ii) $\bar{d}>\frac{1}{3}$ かつ$\underline{d} \leqq \frac{1}{3}$ のとき

Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d},t)-$ Ｗｓ$(\underline{d},\underline{d})=\frac{1}{9}(-2\underline{d}^2t^2+(-2\underline{d}+6\underline{d}^2)t)$を考える。ここで、$\frac{-1+3\underline{d}}{2\underline{d}}<0$より、t>0 において、

Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d},t)-$ Ｗｓ$(\underline{d},\underline{d})$<0 が成り立つ。

よって、Ｗｔ$(\underline{d},\underline{d}) <$ Ｗｓ$(\underline{d},\underline{d})$となる。

これと Lemma 3 より、Proposition 2 が成り立つ。

Proposition２

$\overline{d} > \frac{1}{3}$ かつ$\underline{d} \leqq \frac{1}{3}$ のとき、Ｗｓ>Ｗｔ

iii) $\frac{1}{3} < \underline{d} < \overline{d}$のとき

$\frac{-3\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2+(\overline{d}-\underline{d})\sqrt{9(\overline{d}-\underline{d})^2+4}}{6} \geqq \frac{4(\overline{d}-\underline{d})^2}{9(2\overline{d}-\underline{d})^2}$は$\frac{1}{3} < \underline{d} < \overline{d}$において

必ず成り立つので、C$\leqq \frac{-3\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2+\left(\overline{d}-\underline{d}\right)\sqrt{9\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2+4}}{6}$となる。
よって、Lemma 1 より、Ｗｓ=Ｗｓ$\left(\underline{d},\underline{d}\right)$

次に

Ｗｔ$\left(\underline{d},\underline{d},t\right)-$ Ｗｓ$\left(\underline{d},\underline{d}\right) = \frac{1}{9}\left(-2\underline{d}^2t^2 + \left(-2\underline{d} + 6\underline{d}^2\right)t\right)$

なので、Ｗｔ$\left(\underline{d},\underline{d}\right) =$ Ｗｔ$\left(\underline{d},\underline{d},\frac{-1+3\underline{d}}{2\underline{d}}\right)$のとき、

Ｗｔ$\left(\underline{d},\underline{d}\right) >$ Ｗｓ$\left(\underline{d},\underline{d}\right)$

Ｗｔ$\left(\underline{d},\underline{d}\right) =$ Ｗｔ$\left(\underline{d},\underline{d},\frac{\overline{d}-\underline{d}-\sqrt{\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2-9\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)C}}{2\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)}\right)$のとき、

$\frac{\overline{d}-\underline{d}-\sqrt{\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2-9\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)C}}{2\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)} < \frac{-1+3\underline{d}}{\underline{d}}$ ならば、

Ｗｔ$\left(\underline{d},\underline{d}\right) >$ Ｗｓ$\left(\underline{d},\underline{d}\right)$

$\frac{\overline{d}-\underline{d}-\sqrt{\left(\overline{d}-\underline{d}\right)^2-9\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)C}}{2\overline{d}\left(\overline{d}-\underline{d}\right)} > \frac{-1+3\underline{d}}{\underline{d}}$ ならば、

Ｗｔ$\left(\underline{d},\underline{d}\right) <$ Ｗｓ$\left(\underline{d},\underline{d}\right)$

これらと Lemma 3 より、Proposition３が成り立つ。

Proposition３

$\frac{1}{3} < \underline{d} < \overline{d}$のとき、$\frac{4(\overline{d}-\underline{d})(-1+3\underline{d})(\overline{d}+\underline{d}-3\overline{d}\underline{d})}{9\underline{d}^2} < C$ のとき、

Ｗｓ>Ｗｔ

$\frac{4(\overline{d}-\underline{d})(-1+3\underline{d})(\overline{d}+\underline{d}-3\overline{d}\underline{d})}{9\underline{d}^2} > C$ のとき、

Ｗｔ>Ｗｓ

Proposition１、Proposition２、Proposition３で証明されたことをそれぞれまとめると、$\underline{d}$が$\frac{1}{3}$以下であれば、ピグー課税よりはヤードスティック課税の方が望ましく、それを超えた場合でも、投資の費用が高い場合であれば、ピグー課税よりはヤードスティック課税の方が望ましいということである。以下、これらの命題の含意を直感的に説明したい。

まず、通常のクールノー均衡においては、両企業とも$\frac{1}{3}$ずつ生産し価格は$\frac{1}{3}$となる。したがって、投資の費用を無視して考えた場合、外部性が生産物１単位あたり$\frac{1}{3}$を下回るときは、社会的にみて生産が過少である。つまり、$\underline{d}$が$\frac{1}{3}$以下になる場合は、むしろ生産量を大きくする方が社会的に望ましい。ところが、ピグー課税は生産量を減少させてしまうため、社会的な生産量の減少が生じないヤードスティック課税の方が望ましくなると言える。一方で、外部性が生産物１単位あたり$\frac{1}{3}$を上回るときは、社会的にみて生産が過大である。つまり、$\underline{d}$が$\frac{1}{3}$以上になる場合は、生産量を小さくする方が社会的に望ましい。そこで先ほどとは話が逆になり、社会的な生産量は変わらないヤードスティック課税よりも、生産量が減少するピグー課税の方が社会的に望ましくなるのである。

ただし、以上のストーリーは投資の費用が無視できる場合に成り立つ話である。もし、投資の費用がある程度大きい場合は、ピグー課税によって投資を引き出すためには、税率をある程度以上に引き上げなければならず、$\underline{d}$が$\frac{1}{3}$以上になる場合であってもピグー課税による生産量の減少が過大になる。こうしたケースについてはヤードスティック課税の方が望ましくなる。

5 むすび

本稿では、排出削減投資とこの投資が与える戦略的相互依存関係に注目した。ピグー税制の下では、投資を行わせるために税率を引き上げた場合、排出量も減少するが、同時に総生産量が減少してしまうという問題点があった。

一方、ヤードスティック税制は、ピグー税制と同じく second best な税制である。しかし、税率を他の企業の投資水準にも依存させることで、実際に徴税することなく、あるいは、総生産量を減少させることなく、投資水準をコントロールすることが可能である。

こうした他の企業・プレイヤーの戦略に依存した課税方法は一般論として有益な可能性がある。松村(2012)で紹介されているように、他のプレイヤーの利潤に依存して自らの利得が決まる相対利潤アプローチにおいては、たとえプレイヤー数が少ない場合であっても、プレイヤーが戦略的に行動することによって、社会的余剰が大きくなることが指摘されている。本研究では、課税や補助金において他のプレイヤーの行動を反映させる、例えば、明示的に利得に他の企業の戦略を組み込ませる、あるいは間接的に他の企業の利潤を組み込ませることで、財政的な負担を少なくして最適な生産量や投資行動を引き出すことが可能であることを示した。

もちろん、ｄが大きい場合やＣが小さい場合など、言い

換えると外部性がそもそも大きい場合や排出削減投資に関するコストが小さい場合は、Proposition 3 で示されたように、総生産量を減少させた上で投資を行わせることが可能なピグー税制の方が望ましくなることもある。

本稿で扱ったモデルは、生産に伴う外部性を２つのレベルの中から選択するという離散的なモデルであった。外部性や投資に伴うコストが連続的なモデルは構築するに至らなかった。また、静学的なモデルであり、繰り返しゲームといった動学的なモデルに拡張した場合については考察しなかった。また、政府と企業の間で情報が非対称になるケースについても考察しなかった。こうした方面での拡張が、今後の研究課題となろう。

おわりに

本稿の執筆に当たっては東京大学社会科学研究所の松村敏弘教授および匿名の査読者からは有益なアドバイスを頂いた。ここに記して謝意を呈する。なお、いうまでもなく、本稿の誤りの責は筆者に帰属する。

参考文献

[1] Barnett,A.H. "The Pigouvian Tax Rule Under Monopoly" The American Economic Review, Vol.70(1980), pp.1037-41
[2] Buchanan,J.M. "External Diseconomies, Corrective Taxes, and Market Structures" The American Economic Review, Vol.59(1969), pp.174-77
[3] Brander,J.A and Spencer,B.J "Strategic Commitment with R&D :the Symmetric Case" Bell Journal of Economics, Vol.14(1983), pp.225-35
[4] Davis,O.A and A.Whinston "Externalities, Welfare and the Theory of Games" Journal of Political Economy, Vol.70(1962), pp.241-62
[5] Damania,D "Pollution Taxes and Pollution Abatement in an Oligopoly Supergame" Journal of Environmemtal Economics and Management, Vol.30(1996), pp.323-36
[6] Franckx L., D'Amato, A., Brose I. “Multi Pollutant Yardstick Schemes as Environmental Policy Tools” Energy Transport & Environment Working Paper Series, n 2004-16 (2004)
[7] 松村敏弘(2012)　相対利潤アプローチが拓く新しい（？）産業組織　現代経済学の潮流２０１２　pp.65-92
[8] Pigou, A. C. The Economics of Welfare, Macmillan (1920)

Appendix

Lemma 1の証明

W s $(\underline{d},\underline{d}) -$ W s $(\overline{d},\overline{d}) = -2C - \frac{2}{3}\underline{d} + \frac{2}{3}\overline{d}$

よって、$\frac{\overline{d}-\underline{d}}{3} \leqq C$ のとき、W s $(\underline{d},\underline{d}) \leqq$ W s $(\overline{d},\overline{d})$

$\frac{\overline{d}-\underline{d}}{3} > C$ のとき、W s $(\underline{d},\underline{d}) >$ W s $(\overline{d},\overline{d})$

さて、W s $(\underline{d},\underline{d}) -$ W s $(\overline{d},\underline{d}) = -C + \frac{(\overline{d}-\underline{d})\sqrt{1-9C}}{3}$ を C で偏微分すると、$-1 + \frac{3}{2}\frac{\overline{d}-\underline{d}}{\sqrt{1-9C}} < 0$ なので、

W s $(\underline{d},\underline{d}) -$ W s $(\overline{d},\underline{d})$ は C に関して単調減少である。

ここで、C=0 のとき、W s $(\underline{d},\underline{d}) -$ W s $(\overline{d},\underline{d}) = \frac{\overline{d}-\underline{d}}{3} > 0$

C$=\frac{\overline{d}-\underline{d}}{3}$ のとき、W s $(\underline{d},\underline{d}) -$ W s $(\overline{d},\underline{d})$

$$= \frac{\overline{d}-\underline{d}}{3}\left(-1 + \sqrt{1-3(\overline{d}-\underline{d})}\right) < 0$$

C$=\frac{-3(\overline{d}-\underline{d})^2 + (\overline{d}-\underline{d})\sqrt{9(\overline{d}-\underline{d})^2+4}}{6}$ のとき、

W s $(\underline{d},\underline{d}) -$ W s $(\overline{d},\underline{d}) = 0$

したがって、

C$\leqq \frac{-3(\overline{d}-\underline{d})^2 + (\overline{d}-\underline{d})\sqrt{9(\overline{d}-\underline{d})^2+4}}{6}$ のとき、W s $(\underline{d},\underline{d}) \geqq$ W s $(\overline{d},\underline{d})$, W s $(\underline{d},\underline{d}) \geqq$ W s $(\overline{d},\overline{d})$ より、W s =W s $(\underline{d},\underline{d})$

$\frac{-3(\overline{d}-\underline{d})^2 + (\overline{d}-\underline{d})\sqrt{9(\overline{d}-\underline{d})^2+4}}{6} \leqq C \leqq \frac{\overline{d}-\underline{d}}{3}$ のとき、W s $(\overline{d},\overline{d}) <$ W s $(\underline{d},\underline{d}) <$ W s $(\overline{d},\underline{d})$ より、W s =W s $(\overline{d},\underline{d})$

$\frac{\overline{d}-\underline{d}}{3} \leqq C$のとき、W s $(\underline{d},\underline{d}) \leqq$ W s $(\overline{d},\underline{d})$ より

W s $= max$ {W s $(\overline{d},\overline{d})$, W s $(\overline{d},\underline{d})$}

そこで、以下、$\frac{\overline{d}-\underline{d}}{3} \leqq C$のとき、W s $(\overline{d},\overline{d}) -$ W s $(\overline{d},\underline{d})$ を考える。 W s $(\overline{d},\overline{d}) -$ W s $(\overline{d},\underline{d})$

$$= -\frac{2}{3}(\overline{d}-\underline{d}) + C + \frac{1}{3}(\overline{d}-\underline{d})\sqrt{1-9C}$$

ここで、 $9(\overline{d}-\underline{d})^2 - 24(\overline{d}-\underline{d}) + 4 \leqq 0$のとき、
W s $(\overline{d},\overline{d}) \leqq$ W s $(\overline{d},\underline{d})$が成り立つが、
$9(\overline{d}-\underline{d})^2 - 24(\overline{d}-\underline{d}) + 4 > 0$のときは、

$C \leqq \frac{-3(\overline{d}-\underline{d})^2 + 4(\overline{d}-\underline{d}) - (\overline{d}-\underline{d})\sqrt{9(\overline{d}-\underline{d})^2 - 24(\overline{d}-\underline{d}) + 4}}{6}$ならば、

W s $(\overline{d},\overline{d}) <$ W s $(\overline{d},\underline{d})$

$\frac{-3(\overline{d}-\underline{d})^2 + 4(\overline{d}-\underline{d}) - (\overline{d}-\underline{d})\sqrt{9(\overline{d}-\underline{d})^2 - 24(\overline{d}-\underline{d}) + 4}}{6} \leqq C$ならば、

W s $(\overline{d},\underline{d}) <$ W s $(\overline{d},\overline{d})$

となる。以上より、Lemma 1 は示された。　(Q.E.D.)