Chukyo University Institute of Economics
Discussion Paper Series

March 2017

No. 1614

ノンポイント汚染に対する環境課金政策の有効性*
Effective Ambient Charge to Nonpoint Source Pollution

中京大学　経済学部　　中山惠子
中央大学　経済学部　　松本昭夫
龍谷大学　経済学部　　西垣泰幸

要旨

本稿は，Cournot 競争の寡占市場における個別企業の汚染と市場全体の総汚染に対してなされる環境課金によって引き起こされる汚染減少への効果を理論的に分析する．生産物が差別化されているn個の企業を想定し，それらの利潤最大化行動を定式化し，環境課金が産業汚染を軽減させるという静学的結果を導出する．また，動学的結果としては，連続時間の下では Cournot 均衡は常に安定であるが，離散時間の下では，企業数が 4 以上の場合には局所的不安定になることを示す．

キーワード：ノンポイント汚染，Cournot競争，環境課金

* 本稿は，中京大学特定研究助成（中山），中央大学共同研究費（松本・西垣），文科省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 2013-2017 および科研費(16K03556)（松本）による研究成果の一部である．ここに謝意を表する．

ノンポイント汚染に対する環境課金政策の有効性

Effective Ambient Charge to Nonpoint Source Pollution

中京大学　経済学部　　中山惠子
中央大学　経済学部　　松本昭夫
龍谷大学　経済学部　　西垣泰幸

1　はじめに

本稿では，n企業から構成される Cournot 寡占市場において，企業の排出する汚染に環境課金がなされた場合，汚染水準や均衡にいかなる影響を及ぼすかを考察する．

その際，本稿では，汚染の中でも汚染物質の排出源が面的に散在し，特定が困難なノンポイント汚染源(nonpoint source)に着目する．一般の工場，事務所，家庭など汚染物質の発生源を点（ポイント）で特定できる特定汚染源に対して，ノンポイント汚染源は，面源や非特定汚染源とも称され，農業排水，山林からの雨天時流出水，都市の舗装道路からの雨天時流出水などがあげられる．近年は，都市化に伴う不浸透面の拡大により，土地系ノンポイント汚染による負荷量の増加も問題となっている．

行政官庁もノンポイント汚染への対策に取り組んでいる．環境庁は 1990 年には「非特定汚染源負荷量調査マニュアル」を，2000 年には「湖沼等の水質汚濁に関する非特定汚濁源負荷対策ガイドライン」を，2002 年には国土交通省が「市街地のノンポイント対策に関する手引き（案）」を公表した．さらに，2005 年には 1984 年に制定された湖沼水質保全特別措置法が改正され，点源への規制の見直しや面源負荷対策の推進等が明記された．これを受けて国土交通省，農林水産省，林野庁，環境省の 4 省庁が連携して「湖沼水質のための流域対策検討会」を設置し，湖沼の水質保全を図るべくノンポイント汚染に関する調査分析や対策を行うこととなった．

一般に，汚染を管理したい政府にとって，汚染の総水準を計測することは可能であろうが，個別企業が排出する汚染量を把握することは困難であろう．通常，汚染源が既知の工場や企業はポイント汚染源として扱われるが，いくつかの先行研究では，汚染源は特定できるが，汚染量の特定できない場合をノンポイント汚染として扱っている．そこで，本稿は，これら先行研究の定義にしたがい，汚染源は特定できるが汚染量の特定できない汚染をノンポイントの特殊ケースとして考察する．Segerson(1988)は，政府が全汚染にカットオフレベル,すなわち最大許容水準を設定するような政策を採用するよう提言した.但し，政策の実施には至っていない．さらに，実際の総汚染水準がカットオフレベルを上回るならば，個別企業はその排出量に関わらず，均一な環境課金を課されるが，逆に下回る場合

には，やはり全企業は同一の補助金を得られるというルールを同時に設定するというものである．Ganguli and Raju(2012)は，Bertrand 複占市場においては，環境課金の増加がより大きな環境汚染をもたらすという通常とは逆の効果を示した．他方，Raju and Ganguli(2013)は，Cournot 複占のフレームワークで同様の問題を考察し，環境課金が汚染を減少させるという有効な結果を得た．そこで，本稿では，次の 2 点において先行研究の結果の拡張を試みる．まず，課金政策の有効性が Cournot 複占市場で得られているので，これを一般n企業よりなる産業に拡張する．次に，先行研究で仮定されていた財の同質性を，財が差別化されている場合へと拡張する．

本稿の構成は，以下のとおりである．第 2 節で基本的な数学モデルを提示し，第 3 節では，企業全体が排出する汚染とともに各企業の排出する汚染に対する環境課金の効果を考察する．さらに第 4 節は，離散時間，連続時間の双方における Cournot 均衡の安定性を論議する．

2　Cournot モデル

寡占市場において，差別化された生産物を産出するn個の企業が存在する．第k企業の生産量と価格はそれぞれq_kとp_kで表す．第k財の線形価格関数を，

$$p_k = \alpha - q_k - \gamma \sum_{i \neq k}^{n} q_i \qquad (k = 1,2,\dots,n) \tag{1}$$

と定める．但し，$n \geq 2$および$0 < \gamma < 1$，すなわち，各財は代替的である．また，第k企業は，生産量の$e_k > 0$倍である$e_k q_k$の汚染量を発生する．政府は総排出量を測定するとともに，環境標準$\bar{\mathbf{E}}$を外生的に決定する．さらに政府は，総汚染量と環境標準の差である$(\sum_{k=1}^{n} e_k q_k - \bar{\mathbf{E}})$の符号が正ならば企業に課金を行い，負ならば補助金を与える．第k企業の利潤は，

$$\pi_k = (p_k - c) q_k - m\left(\sum_{i=1}^{n} e_i q_i - \bar{\mathbf{E}}\right) \tag{2}$$

で与えられる．ここでcは，各企業に共通な限界生産費用である．Cournot 競争では，第k企業は，他企業の生産量を予想し，利潤を最大化するような生産量を決定する．内点解を仮定し，一階の条件を解けば，第k企業の最善解は，

$$q_k = \frac{\alpha - c_k}{2} - \frac{\gamma}{2} \sum_{i \neq k}^{n} q_i \qquad (k = 1,2,\dots,n). \tag{3}$$

ここで，第k企業の限界費用を$c_k = c + m e_k$と表す．また，負の最適生産量を排除すべく，任意のkに対して，$\alpha - c_k > 0$が保てるよう十分大きなαを仮定する．二階の条件を満足することは，容易に確認される．第k企業の Cournot 均衡生産量は，n次元連立方程式，

$$q_k + \frac{\gamma}{2}\sum_{i\neq k}^{n} q_i = \frac{\alpha - c_k}{2} \qquad (k = 1,2,\dots,n) \tag{4}$$

の解として求められる．(4)を行列表記すれば，

$$\boldsymbol{Bq} = \boldsymbol{A}.$$

但し，

$$\boldsymbol{q} = (q_i)_{(n,1)},$$

$$\boldsymbol{A} = \left(\frac{\alpha - c_i}{2}\right)_{(n,1)},$$

$$\boldsymbol{B} = (B_{ij})_{(n,n)}, \quad B_{ii} = 1 \text{ および } B_{ij} = \frac{\gamma}{2} \qquad (i,j = 1,2,\dots,n,;i \neq j).$$

$\boldsymbol{B}$は正則行列であるので，Cournot 生産量ベクトルは，$\boldsymbol{q} = \boldsymbol{B}^{-1}\boldsymbol{A}$で求められる．逆行列$\boldsymbol{B}^{-1}$の対角要素と非対角要素はそれぞれ，

$$\frac{2(2+(n-2)\gamma)}{(2-\gamma)(2+(n-1)\gamma)}, \qquad -\frac{2\gamma}{(2-\gamma)(2+(n-1)\gamma)}$$

である．それゆえ，第k企業の Cournot 均衡生産量は，

$$q_k^C = \frac{(\alpha - c_k)(2+(n-1)\gamma) - \gamma\sum_{i=1}^{n}(\alpha - c_i)}{(2-\gamma)(2+(n-1)\gamma)} \qquad (k = 1,2,\dots,n) \tag{5}$$

で与えられる．

次に，Cournot 生産量の非負条件を検討する．(5) を書き改めれば，

$$q_k^C = \frac{(\alpha - c_k)}{(2-\gamma)(2+(n-1)\gamma)}\{(2-\gamma) + n\gamma(1-\beta_k)\}. \tag{6}$$

を得る．β_kを

$$\beta_k = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\alpha - c_i)}{\alpha - c_k}$$

と定め，この定義に$c_k = c + me_k$を代入するとβ_kは，

$$\beta_k = \frac{\alpha - c - m\bar{e}}{\alpha - c - me_k}$$

と変形される．ここで，新たに，排出係数の平均値$\bar{e}$を$\bar{e} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_i$と定めると，以下の関係，

$$\beta_k \gtreqless 1 \Leftrightarrow e_k \gtreqless \bar{e}$$

が導出される．したがって，企業の排出水準と平均排出水準から以下の分類，

$\beta_k < 1$（低水準）　⇒　低汚染企業
$\beta_k = 1$（同一水準）　⇒　平均汚染企業
$\beta_k > 1$（高水準）　⇒　高汚染企業

がなされる．(6)から，$\beta_k \leq 1$が$q_k^C > 0$を意味することは明らかである．高汚染企業($\beta_k > 1$)の生産量の符号は確定されないため，(6)を

$$q_k^C = \frac{(\alpha - c_k)(\beta_k - 1)\gamma}{(2-\gamma)(2+(n-1)\gamma)} \left\{\frac{2-\gamma}{\gamma(\beta_k - 1)} - n\right\} \tag{7}$$

に変形する．(7)から，もし，$\beta_k > 1$ および $n < \frac{2-\gamma}{\gamma(\beta_k - 1)}$ならば，$q_k^C > 0$が導かれる．この結果は，以下の定理に集約される．

定理１　第k企業が低汚染，もしくは平均汚染企業であるか，あるいは，高汚染企業であり，$n < \frac{2-\gamma}{\gamma(\beta_k - 1)}$を満足するならば，第$k$企業の Cournot 生産量は正である．

3　環境課金

本節では，環境課金が個別企業の生産と総汚染量に及ぼす効果を考察する．$c_k = c + me_k$を(5)に代入・整理すると，

$$q_k^C = \frac{(\alpha - c)(2-\gamma) + m[\gamma \sum_{i=1}^{n} e_i - (2+(n-1)\gamma)e_k]}{(2-\gamma)(2+(n-1)\gamma)}. \tag{8}$$

さらに(8)をmについて微分し，

$$\frac{\partial q_k^C}{\partial m} = \frac{\gamma \sum_{i=1}^{n} e_i - (2+(n-1)\gamma) e_k}{(2-\gamma)(2+(n-1)\gamma)}. \tag{9}$$

(9)の右辺の分子は，

$$n\gamma(\bar{e} - e_k) - (2-\gamma)e_k$$

と変形される． $\bar{e} \leq e_k$の場合には，換言すれば，第k企業が高汚染企業または平均汚染企業であれば，$n\gamma(\bar{e} - e_k) - (2-\gamma)e_k$は負となる．逆に，$\bar{e} > e_k$の場合には，符号は確定できない．しかし，$n\gamma(\bar{e} - e_k) - (2-\gamma)e_k$は，$\tilde{e}_k = \frac{n\gamma + (2-\gamma)e_k}{n\gamma}$と定めれば，$n\gamma(\bar{e} - e_k)$とも表現できるので，$m$の増加は，$\bar{e} < \tilde{e}_k$ならば負の効果を，$\bar{e} > \tilde{e}_k$ならば正の効果を与えることとなる．それゆえ，個別企業の生産水準に及ぼす環境課金の効果は，定理 2 で記される．

定理 2　環境課金の増加は，高汚染企業，もしくは平均汚染企業の生産を減少させ，第k低汚染企業の生産は，$\bar{e}$と$\tilde{e}_k$の大小関係，　$\bar{e} < \tilde{e}_k$，$\bar{e} > \tilde{e}_k$，$\bar{e} = \tilde{e}_k$に応じて，減少する，増加する，あるいは変化しない．

この結果は，個別企業の生産では通常とは逆の効果(perverse effect)が低汚染産業に対しては生じ得ることを意味する．

Cournot 均衡における総汚染量に関しては，

$$\mathbf{E}^C = \sum_{k=1}^{n} e_k\, q_k^C.$$

ゆえに，次の定理を得る．

定理 3　すべてのkに対して$e_k > 0$ならば，政策パラメータmの上昇は，汚染総排出量を減少させる．

（証明）$\mathbf{E}^C$をmに関して微分し，(9)を代入すれば，

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathbf{E}^C}{\partial m} &= \sum_{k=1}^{n} e_k \frac{\partial q_k^C}{\partial m} \\ &= \frac{\gamma(\sum_{k=1}^{n} e_k)^2 - (2+(n-1)\gamma)\sum_{k=1}^{n} e_k^2}{(2-\gamma)(2+(n-1)\gamma)}.\end{aligned}$$

定義より，分母は正である．分子を$S(\gamma)$で表せば，

$$S(\gamma) = \gamma\left(\sum_{k=1}^{n} e_k\right)^2 - (2 + (n-1)\gamma)\sum_{k=1}^{n} e_k^2.$$

そのとき，

$$S(0) = -2\sum_{k=1}^{n} e_k^2 < 0$$

および

$$S(1) = \left(\sum_{k=1}^{n} e_k\right)^2 - (1+n)\sum_{k=1}^{n} e_k^2 < 0.$$

ここで，$S(1)$の不等式の方向は，以下のように示される．Cauchy 不等式は，

$$\left(\sum_{k=1}^{n} e_k \cdot 1\right)^2 \leq \sum_{k=1}^{n} e_k^2 \cdot \sum_{k=1}^{n} 1^2.$$

よって，

$$\left(\sum_{k=1}^{n} e_k\right)^2 \leq n\sum_{k=1}^{n} e_k^2.$$

上記不等式を利用すれば，

$$S(1) = \left(\sum_{k=1}^{n} e_k\right)^2 - (1+n)\sum_{k=1}^{n} e_k^2 < \left(\sum_{k=1}^{n} e_k\right)^2 - n\sum_{k=1}^{n} e_k^2 \leq 0.$$

それゆえ，$S(1) < 0$を得る．$S(\gamma)$はγに関して線形で$S(0)$と$S(1)$はともに負であるから，$S(\gamma)$もまた任意の$\gamma \in (0,1)$に対して負となる．したがって，

$$\frac{\partial \mathbf{E}^C}{\partial m} < 0$$

が導かれる．　（証明終）

4　安定性

本節では，Cournot 均衡の安定性を論議する．ナイーブな期待形成を仮定する．すなわち，期待の最も簡単な形で，第k企業は他のすべての企業が前期と同様な生産量を維持すると予想する．離散時間では，最善の反応(3)は，線形動学体系，

$$q_k(t+1) = \left(\frac{\alpha - c_k}{2} - \frac{\gamma}{2}\right)\sum_{i \neq k}^{n} q_i(t) \qquad (k = 1,2,\dots,n) \tag{10}$$

をもたらす．この体系の係数行列$\boldsymbol{J}_D$は，

$$\boldsymbol{J}_D = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{\gamma}{2} & \cdots & -\frac{\gamma}{2} \\ -\frac{\gamma}{2} & 0 & \cdots & -\frac{\gamma}{2} \\ . & . & \cdots & . \\ -\frac{\gamma}{2} & -\frac{\gamma}{2} & \cdots & 0 \end{pmatrix},$$

対応する特性方程式は,

$$|\boldsymbol{J}_D - \lambda \boldsymbol{I}| = (-1)^n \left(\lambda - \frac{\gamma}{2}\right)^{n-1} \left(\lambda + \frac{(n-1)\gamma}{2}\right) = 0$$

と表される．ここで，$\boldsymbol{I}$はn次単位行列である．したがって，$(n-1)$個の同一な特性値と 1 個のそれとは異なった特性値が存在する．一般性を失うことなく，最初の$(n-1)$個の特性値が同一と仮定しよう．よって,

$$\lambda_1^D = \lambda_2^D = \ldots = \lambda_{n-1}^D = \frac{\gamma}{2} \quad \text{および} \quad \lambda_n^D = -\frac{(n-1)\gamma}{2} \ .$$

このとき$0 < \gamma < 1$に注意すれば，最初の$(n-1)$個の特性値は 1 より小さく，それゆえ Cournot 生産量の安定性は，n個目の特性値λ_n^Dの値に依存する．$n = 2$と$n = 3$に対して，$|\lambda_n^D| < 1$は明らかである．$n > 3$に対しては，$\lambda_n^S > -1$を解けば安定条件,

$$n < 1 + \frac{2}{\gamma}$$

が導出される．但し，$0 < \gamma < 1$に対して$1 + \frac{2}{\gamma} > 3$である．この安定性に関する結果は,次の定理にまとめられる．

定理 4　離散時間における Cournot 生産量は，企業数が 3 を超えなければ安定，超える場合には，企業数が$1 + \frac{2}{\gamma}$より小さい，等しい，大きいに応じて，安定，限界的に安定，不安定となる．

もし，連続時間が仮定され，(10)における$q_k(t+1) - q_k(t)$が$\dot{q}_k(t) = dq_k(t)/dt$に置き換えられれば，動学システム(10)は,

$$\dot{q}_k(t) = \frac{\alpha - c_k}{2} - q_k(t) - \frac{\gamma}{2} \sum_{i \neq k}^{n} q_i(t) \qquad (k = 1,2,\ldots,n) \tag{11}$$

に変更される．(11)の定常状態は，(10)のそれと同一である．Jacobi 行列は,

$$\boldsymbol{J}_C = \begin{pmatrix} -1 & -\frac{\gamma}{2} & \cdots & -\frac{\gamma}{2} \\ -\frac{\gamma}{2} & -1 & \cdots & -\frac{\gamma}{2} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ -\frac{\gamma}{2} & -\frac{\gamma}{2} & \cdots & -1 \end{pmatrix} = \boldsymbol{J}_D - \boldsymbol{I}$$

と表される．$\boldsymbol{I}$は単位行列であるから，$\lambda_i^C = \lambda_i^D - 1\ \ (i = 1,2,\ldots,n)$，それゆえ，

$$\lambda_1^C = \lambda_2^C = \ldots = \lambda_{n-1}^C = -1 + \frac{\gamma}{2} \quad < 0 \text{および} \quad \lambda_n^C = -1 - \frac{(n-1)\gamma}{2} < 0.$$

この結果を表したのが，次の定理である．

定理 5　連続時間における Cournot 生産量は，企業数と財の代替性の程度に関わらず安定である．

定理 4 は，離散時間における安定性が，市場に存在する企業数にのみ依存することを意味しており，これはしばしば Theocharis 問題とも呼ばれる．一方，**定理 5** は，任意の企業数に対する Cournot 生産量の安定性を示している．**定理** 4 と**定理** 5 から，安定性が，離散時間，連続時間の選択に敏感に反応することは明らかである．

5　結び

本稿では，Cournot 寡占における総汚染に対する環境課金効果を考察した．最初に Cournot 均衡が決定され，企業の個々の生産水準が正となる条件が与えられた．環境課金の増加は，生産水準にさまざまな効果をもたらす．もし企業が高い，もしくは平均的な汚染排出を伴っていれば，そのとき，生産量は減少する．低汚染企業の生産量は，本稿で導出した単純な条件に依存して，増加，減少，あるいは不変の何れにもなり得るが，総排出量は，政策パラメータを増加させることにより，必ず減少する．

動学モデルは，離散時間，連続時間の何れにおいてもナイーブな期待形成に基づき構築された．離散時間の場合には，安定性は企業数に依存し，その結果は Theocharis の古典的定理に集約される．他方，連続時間の場合には，常に均衡の安定性は保証される．

本稿では，通常のノンポイント汚染の特殊ケースを扱ったが，各企業から一律に環境課金を徴収する一方，各企業に一律に補助金を与えるという現行の方法は，汚染を排出していなくても課金される，もしくは環境浄化に何ら寄与していなくても補助金を受け取る企業への配慮に欠けると言わざるを得ない．モラルハザードの生じない政策が，今後の課題である．

参考文献

Raju S. and S. Ganguli(2013), Strategic firm interaction, returns to scale, environmental regulation and ambient charges in a Cournot duopoly, *Technology and Investment*, 4, 113-122.

Segerson, K.(1988), Uncertainty and incentives for non-point pollution control, *Journal of Environmental Economics and Management*, 15, 87-98.

Theocharis, R. D.(1960), On the stability of the Cournot solution on the oligopoly problem, *Review of Economic Studies*, 27,133-134.