

国際複占競争における関税政策と汚染量との 関係についてのゲーム理論分析： シュタツケルベルグモデル¹

福田 勝 文
大内田 康 徳

概要

本稿は、貿易自由化が環境汚染排出に与える影響について、クールノー型国際複占競争モデルを用いて分析したBeladi and Oladi (2011) [*Resource and Energy Economics* 33 (1): 172-78] の研究をシュタツケルベルグ競争モデルに拡張した。得られた結果は以下のとおりである。貿易自由化が自国企業の汚染排出量を減少させ、その一方で外国企業の汚染排出量を拡大させる。結果として、世界全体の汚染排出量を拡大・減少させることになる。特に、外国企業の汚染排出技術が自国企業の同技術よりも効率的であれば、貿易の自由化は世界全体の汚染排出量を減少させる。本稿での分析の結果、クールノー競争や外国企業が先手の場合に比べて、自国企業が先手の場合、より広いパラメータ領域において世界全体の汚染排出量が減少することが明らかになった。

1. はじめに

現代の技術であっても企業の生産にともなって化石燃料や電力などが消費され、結果として汚染物質が排出される。さらに、Levinson (2010, p.63) が指摘するように、国際貿易が地球環境に影響をもたらす。環境政策も国際貿易に影響をもたらす。この数十年の国際貿易を振り返れば、構造的でしかも大幅な変化が生じ、引いては企業の立地や関税政策（あるいは貿易自由化）が越境汚染や企業のサプライチェーンにも大きな影響を与えるようになった。

貿易自由化が環境汚染に与える影響について、これまで実証・理論の両面から多くの研究が行われてきた。その中で、実証研究においては、必ずしも統一的な見解が得られているわけではない。例えば、Liddle (2018)、Managi, Hibiki, and Tsurumi (2009)、Le, Chang, and Park (2016)、そしてGumilang, Mukhopadhyay, and Thomassin (2011) は、貿易自由化が汚染量減少・増大両方の結果を示す。一方、Frankel and Rose (2005)、Roy (2017)、そしてCherniwchan (2017) は汚染量が減少するとの結果を示し、逆にAklin (2016) やLi, Xu, and Yuan (2015) は汚染量が増大するという結果を示した。

理論研究として代表的なもののひとつがBeladi and Oladi (2011) による分析である。² Beladi and Oladi (2011) の構築したゲームモデルでは、自国だけに市場が存在し、自国の企業1は自国市場に供給し、さらに第2国の企業2は関税を支払って自国市場に供給する。このとき、各企業

¹ 本稿は、科研費（基盤研究C）[No. 16K03627] による助成を受けている。

の生産量と汚染技術に応じて各排出量が決定する。第1国の関税率の削減を貿易自由化とみなし、貿易自由化が世界全体の汚染排出量を増大・減少させることを示した。さらに、外国（自国）企業の汚染排出技術が自国（外国）企業に比べて優れているときに、貿易自由化が世界全体の汚染排出量を減少（増大）させること、さらに自由貿易が最も汚染排出量を少なくさせることを示した。

本稿はBeladi and Oladi (2011)の分析枠組みをシュタッケルベルグ競争モデルに拡張し、以下の2つのゲームモデル（ゲームAとゲームB）を考察した。ゲームAは自国企業が財市場において先手、外国企業が後手企業となる。ゲームBは自国企業が後手企業、外国企業が先手企業となる。得られた結果は以下のとおりである。まず、外国企業の汚染排出技術が相対的に優れていれば汚染排出量が削減するという定性的な結果は変わらないことを示した。また、ゲームAはBeladi and Oladi (2011)やゲームBに比べて、外国企業と自国企業の汚染排出技術の差が小さくても、貿易自由化は世界全体の汚染排出量を減少（増大）させること、自由貿易が最も汚染排出量を少なくさせることを示した。最後に、ゲームBはBeladi and Oladi (2011)と全く同じ条件で、貿易自由化は世界全体の汚染排出量を減少（増大）させること、自由貿易が最も汚染排出量を少なくさせることを示した。

本稿は以下のように構成される。第2節では基本モデルを解説し、続く第3節では2種類の2段階ゲームの解を求める。そして、第4節では関税率が経済全体の総汚染量に与える影響を考察するとともに先行研究との比較も行う。最後の第5節では、得られた結論をまとめ、そして今後の課題を示す。

2. 基本モデル

本稿では、Beladi and Oladi (2011)が構築した国際複占モデルの拡張を行う。また、分析と比較を容易にするため、Beladi and Oladi (2011, Appendix)の分析枠組みを一部特定化したモデルを採用する。

2.1 企業と市場

経済には国1（自国）と国2（外国）の2つの国が存在し、各国に1つの企業が存在している。

² 関連する理論研究としては以下の文献があげられる。Oladi, Caplan, and Gilbert (2018)は非対称2国と政府が異時点間の効用を最大化するように汚染削減投資を行うことを想定した微分ゲームモデルを用いて最終財と越境汚染取引の開始が両国の厚生を増大させることを示した。Oladi and Beladi (2015)は微分ゲームを用いた非対称2国からなるリカード貿易モデルを構築し、北から南への援助は、財貿易がなければ汚染集約的な財の消費を増大させ、そして厚生が下がることを明らかにした。また、北から南への援助は、財貿易があれば汚染排出量と汚染ストック、汚染集約的な財の生産、GDPを減少させ、さらに厚生をも減少させることを示した。Batra and Beladi (2012)は、ヘクシャー・オリーン (Heckscher-Ohlin)モデルを用いて、世界全体の汚染量が各国の輸入量とGDPに依存するとき、資本の自由貿易は財の自由貿易に比べて厚生を高めること、資本（財）の貿易は汚染量を削減（増大）させることを示した。それらに加えて、Wan, Nakada, and Takarada (2018)は以下のような2国モデルを構築した。各国において、環境に良い物品・サービスである最終財（クールノー競争、各国固定企業数）、汚染排出を伴う中間財（完全競争）の垂直構造を導入し、中間財には汚染税、最終財には関税がそれぞれかかる。Wan, Nakada, and Takarada (2018)は、そのようなモデルを用いて汚染税や関税が排出量などに与える効果を分析した。

また両企業は同質財を生産している。さらに、市場は国1（自国）のみに存在する。国1に存在する企業1は自国の市場に財を供給するのに対して、外国企業（企業2）は国1に財を輸出していると仮定する。両企業は国1に存在する市場において、生産量を戦略としてシュタッケルベルグ競争を行っている。

自国政府は、自国に輸出される企業2の生産量1単位に対して重量関税 t を課す。本稿では、重量関税 t の値は外生的なパラメータとして分析を行う。本稿ではBeladi and Oladi（2011）に倣い、重量関税が $t=0$ となることを自由貿易と呼ぶ。

各企業は労働を生産要素として財を生産している。各社の生産関数は、それぞれ

$$q_1 = \alpha_1 L_1, q_2 = \alpha_2 L_2 \quad (1)$$

と定義されるとしよう。ただし、 α_1 と α_2 は生産性を表わすパラメータで、 $\alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0, \alpha_1 \neq \alpha_2$ であるとする。各社とも労働1単位あたりの賃金を $w (> 0)$ と仮定する。

また、各企業の生産にともなって汚染量が発生する。2社の汚染排出に関して差異がある。各社の汚染排出関数を、それぞれ

$$E_1 = \frac{q_1}{\beta_1}, E_2 = \frac{q_2}{\beta_2} \quad (2)$$

とする。 $\beta_1 > 0$ と $\beta_2 > 0$ は汚染排出係数であり、その値が大きいほど低汚染型のクリーンな技術を有している企業であることを表わしている。

2.2 ゲームのタイミング

Beladi and Oladi（2011）は、同時手番のクールノー型国際複占競争を考察したのに対して、本稿では、以下の2種類の2段階ゲームを考察する。

（ゲームA）

ステージ1：企業1が自社の利潤を最大にするように生産量 q_1 を決める。

ステージ2：企業2が自社の利潤を最大にするように生産量 q_2 を決める。

（ゲームB）

ステージ1：企業2が自社の利潤を最大にするように生産量 q_2 を決める。

ステージ2：企業1が自社の利潤を最大にするように生産量 q_1 を決める。

3. ゲームの解

本節では、2.2節で紹介した2種類のゲームを、後ろ向き帰納法を用いて解を導出する。均衡概念として部分ゲーム完全ナッシュ均衡を用いる。

3.1 企業1が先手の場合

まず、ゲームAの解を求める。ステージ2において、企業2はライバルである企業1の生産量を所与として自社の利潤を最大にするように生産量 q_2 を決める。このとき、企業2の利潤は、 π_2

$= \{a - q_1 - q_2\} q_2 - (w/\alpha_2) q_2 - tq_2$ である。

利潤最大化のための1階の条件は、 $\partial \pi_2 / \partial q_2 = a - (w/\alpha_2) - t - q_1 - 2q_2 = 0$ となる。よって、ステージ2での均衡生産量は、

$$q_2(q_1) = \{a - (w/\alpha_2) - t - q_1\} / 2 \quad (3)$$

と求められる。

この生産量を企業1の利潤関数に代入して整理すると、ステージ1における企業1の利潤が $\pi_1 = (a - q_1 - q_2) q_1 - (w/\alpha_1) q_1 = \{a + (w/\alpha_2) - (2w/\alpha_1) + t - q_1\} q_1 / 2$ と求められる。企業1にとっての利潤最大化のための1階の条件は、 $\partial \pi_1 / \partial q_1 = \{a + (w/\alpha_2) - (2w/\alpha_1) + t\} (1/2) - q_1 = 0$ となる。したがって、各企業の均衡生産量は以下のように導出される

$$\begin{aligned} q_1^* &= \{a + (w/\alpha_2) - (2w/\alpha_1) + t\} / 2, \\ q_2^* &= \{a - (3w/\alpha_2) + (2w/\alpha_1) - 3t\} / 4. \end{aligned} \quad (4)$$

このとき、各企業の均衡汚染量は、

$$\begin{aligned} E_1^* &= q_1^* / \beta_1 = \{a + (w/\alpha_2) - (2w/\alpha_1) + t\} / 2\beta_1 \\ E_2^* &= q_2^* / \beta_2 = \{a - (3w/\alpha_2) + (2w/\alpha_1) - 3t\} / 4\beta_2 \end{aligned} \quad (5)$$

と求められることから、ゲームAでの経済全体の均衡総汚染量は、

$$E^A = E_1^* + E_2^* = \frac{a(\beta_1 + 2\beta_2) + 2\beta_2\{(w/\alpha_2) - (2w/\alpha_1)\} - \beta_1\{(3w/\alpha_2) - (2w/\alpha_1)\} + t(2\beta_2 - 3\beta_1)}{4\beta_1\beta_2} \quad (6)$$

となる。

3.2 企業2が先手の場合

本小節では、ゲームBの解を求める。まず、ステージ2において、企業1がライバルである企業2の生産量を所与として自社の利潤を最大にするように生産量 q_1 を決める。このとき、企業1の利潤は、 $\pi_1 = \{a - q_1 - q_2\} q_1 - (w/\alpha_1) q_1$ である。

利潤最大化のための1階の条件は、 $\partial \pi_1 / \partial q_1 = a - (w/\alpha_1) - 2q_1 - q_2 = 0$ となる。よって、ステージ2での均衡生産量は、

$$q_1(q_2) = \{a - (w/\alpha_1) - q_2\} / 2 \quad (7)$$

と求められる。

この生産量を企業2の利潤関数に代入して整理すると、ステージ1における企業2の利潤が $\pi_2 = \{a - q_1 - q_2\} q_2 - (w/\alpha_2) q_2 - tq_2 = \{a - (2w/\alpha_2) + (w/\alpha_1) - 2t - q_2\} q_2 / 2$ と求められる。そして、企業2にとっての利潤最大化のための1階の条件は、 $\partial \pi_2 / \partial q_2 = \{a - (2w/\alpha_2) + (w/\alpha_1) - 2t\} (1/2) - q_2 = 0$ となる。したがって、各企業の均衡生産量は以下のように導出される。

$$\begin{aligned} q_1^* &= \{a + (2w/\alpha_2) - (3w/\alpha_1) + 2t\} / 4 \\ q_2^* &= \{a - (2w/\alpha_2) + (w/\alpha_1) - 2t\} / 2 \end{aligned} \quad (8)$$

このとき、各企業の均衡汚染量は、

$$\begin{aligned} E_1^* &= q_1^* / \beta_1 = \{a + (2w/\alpha_2) - (3w/\alpha_1) + 2t\} / 4\beta_1 \\ E_2^* &= q_2^* / \beta_2 = \{a - (2w/\alpha_2) + (w/\alpha_1) - 2t\} / 2\beta_2 \end{aligned} \quad (9)$$

図1は、 (β_1, β_2) 平面においてこの結果を図示と求められることから、ゲームBでの経済全体の均衡総汚染量は、

$$E^B = E_1^* + E_2^* = \frac{a(2\beta_1 + \beta_2) + \beta_2\{(2w/\alpha_2) - (3w/\alpha_1)\} - 2\beta_1\{(2w/\alpha_2) - (w/\alpha_1)\} + 2t(\beta_2 - 2\beta_1)}{4\beta_1\beta_2} \quad (10)$$

と求められる。

4. 関税政策と総汚染量との関係

本節では、自国政府が決める関税率が総汚染量に与える影響を考察する。まず、企業1が先手の場合を考える。(6)式で求めたゲームAでの均衡総汚染量を重量関税率 t で微分すると、次のような結果を得る。

$$dE^A/dt = \frac{2\beta_2 - 3\beta_1}{4\beta_1\beta_2} \quad (11)$$

したがって、 $\beta_2 < (>) (3/2)\beta_1$ のとき、 $dE^A/dt < (>) 0$ の結果が求められる。

逆に、企業2が先手の場合、(10)式で求めたゲームBでの均衡総汚染量を重量関税率 t で微分すると、

$$dE^B/dt = \frac{\beta_2 - 2\beta_1}{2\beta_1\beta_2} \quad (12)$$

となる。したがって、 $\beta_2 < (>) 2\beta_1$ のとき、 $dE^B/dt < (>) 0$ の結果が求められる。図1は、 (β_1, β_2) 平面においてこれらの結果が成り立つ領域を図示している。

ここで、Beladi and Oladi (2011) における主要帰結を確認しよう。Beladi and Oladi (2011) の (17) 式より、 $\beta_2 < (>) 2\beta_1$ のときに

$$dE^B/dt < (>) 0$$

との結果が得られていた。つまり、 $\beta_2 > 2\beta_1$ のときに関税の減少が汚染の削減をもたらし、自由貿易（関税のない状態）のときにもっとも総汚染量が小さくなるという帰結が得られていた。

そのため、図1を確認すると容易に理解できるように、ゲームAではBeladi and Oladi (2011) の主要帰結と同一のパラメータ領域において、関税の減少が汚染の削減をもたらし、自由貿易（関税のない状態）がもっとも総汚染量が小さくなることがわかった。逆に、ゲームBにおいては、より広いパラメータ領域（ $\beta_2 = (3/2)\beta_1$ よりも上の領域）において、関税の減少が汚染の削減をもたらし、自由貿易（関税のない状態）がもっとも総汚染量が小さくなることがわかった。

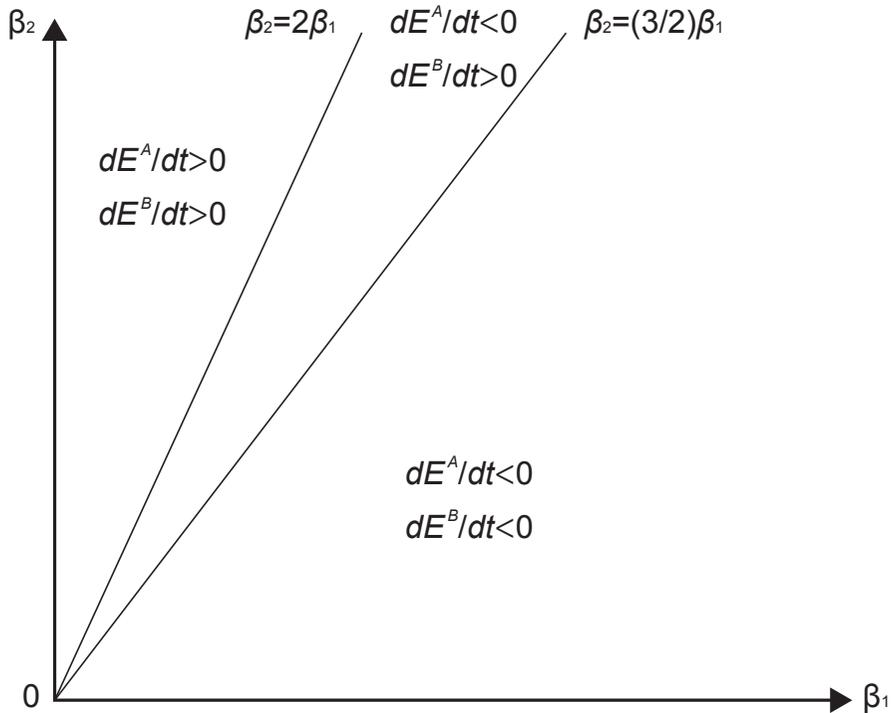


図 1：関税が総汚染量に与える効果

以下では、この結果の直観的な説明を行う。その前に、本稿では、 β_1 と β_2 の値が大きくなるにつれて企業がより低公害型の技術をもつことを再確認しておこう。Beladi and Oladi (2011) による主要結果は、貿易自由化が自国企業の生産量の削減と外国企業の生産量の拡大をもたらすことを明らかにした。前者の削減量は後者の拡大量の半分である。それゆえ、貿易自由化が世界全体の排出量を削減するためには外国の汚染排出技術が自国の技術に比べて少なくとも 2 倍効率的である必要がある。この性質はゲーム B と同一である。一方、ゲーム A でも貿易自由化が自国企業の生産量の削減と外国企業の生産量の拡大をもたらす。前者の削減量は後者の拡大量の 2/3 倍である。それゆえ、貿易自由化が世界全体の排出量を削減するためには外国の汚染排出技術が自国の技術に比べて少なくとも 1.5 倍効率的である必要がある。以上から、ゲーム B とクールノー競争を分析した Beladi and Oladi (2011) は全く同じパラメータ領域で貿易自由化が汚染排出を削減させ、ゲーム A はより広いパラメータ領域において貿易自由化が汚染排出を削減させるのである。

5. おわりに

本稿では、Beladi and Oladi (2011) が構築した国際複占モデルを用いてシュタツケルベルゲモデルへの拡張研究を行った。その結果、次の主要な結果を得た。(1) 自国企業（企業 1）が先手で、外国企業（企業 2）が後手の場合、Beladi and Oladi (2011) の主要帰結と同一のパラメータ領域において、貿易自由化が汚染削減をもたらす、自由貿易（関税のない状態）がもっとも総汚

染量が小さくなることがわかった。(2) 外国企業（企業2）が先手で、自国企業（企業1）が後手の場合、より広いパラメータ領域において、貿易自由化が汚染削減をもたらし、自由貿易（関税のない状態）のもとにおいて経済全体での総汚染量がもっとも小さくなることがわかった。

本稿の分析結果は、2つの企業の手番が逐次出番の場合であっても、Beladi and Oladi (2011)の主要帰結は頑健であるものの、外国企業の手番が先手である場合にはBeladi and Oladi (2011)の主要帰結が導出されるパラメータ領域が変化することを示している。このことは、関税政策の汚染発生量への影響が企業の手番によって変化することを示唆していると同時に、自国政府が汚染規制下にある場合には特に見逃すことができない理論的知見でもある。

今後の課題としては、まず、企業数を一般化した n 企業モデルへの拡張や最適関税率の内生的決定などがあげられる。また、マクロ経済学モデルへの拡張も重要な課題である。Oladi, Caplan, and Gilbert (2018) や Oladi and Beladi (2015) は微分ゲームを用いて貿易自由化が汚染排出に与える分析を行った。しかし、彼らの分析は定常状態のみに限られている。移行過程に与える影響も分析し、長期（定常状態）と短期（移行過程）に与える影響を比較検討することは重要なテーマの一つであると思われる。さらに、定常状態において成長が生じない新古典派成長モデルを用いての分析であった。例えば、物的資本や人的資本や知識資本などの蓄積に強い外部性が発生すると仮定することにより、長期（定常状態）における成長率に与える影響も分析することが可能である。これらの分析により、マクロ経済学に与える影響を分析することができる。

参考文献

- Aklin, Michaël. 2016. "Re-Exploring the Trade and Environment Nexus through the Diffusion of Pollution." *Environmental and Resource Economics* 64: 663-82.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10640-015-9893-1>.
- Batra, Ravi, and Hamid Beladi. 2012. "International Capital Mobility and Free Trade Once Again." *Review of International Economics* 20 (1): 59-71.
DOI:10.1111/j.1467-9396.2011.01007.x
- Beladi, Hamid, and Reza Oladi. 2011. "Does Trade Liberalization Increase Global Pollution?" *Resource and Energy Economics* 33 (1): 172-78.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.reseneeco.2010.04.009>.
- Cherniwchan, Jevan. 2017. "Trade Liberalization and the Environment: Evidence from NAFTA and U.S. manufacturing." *Journal of International Economics* 105: 130-49.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jinteco.2017.01.005>.
- Frankel, Jeffrey A, and Andrew K Rose. 2005. "Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting Out the Causality." *Review of Economics and Statistics* 87 (February): 85-91.
<https://doi.org/10.1162/0034653053327577>
- Gumilang, Howard, Kakali Mukhopadhyay, and Paul J Thomassin. 2011. "Economic and Environmental Impacts of Trade Liberalization: The Case of Indonesia." *Economic Modelling* 28 (3): 1030-41.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2010.11.015>.
- Le, Thai-ha, Youngho Chang, and Donghyun Park. 2016. "Trade Openness and Environmental Quality: International Evidence." *Energy Policy* 92: 45-55.

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.030>.
- Levinson, Arik. 2009. "Offshoring Pollution: Is the United States Increasingly Importing Polluting Goods?" *Review of Environmental Economics and Policy* 4 (1): 63-83.
<https://doi.org/10.1093/reep/rep017>.
- Li, Zhigang, Nan Xu, and Jia Yuan. 2015. "New Evidence on Trade-Environment Linkage via Air Visibility." *Economics Letters* 128: 72-74.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2015.01.014>.
- Liddle, Brantley. 2018. "Consumption-Based Accounting and the Trade-Carbon Emissions Nexus." *Energy Economics* 69: 71-78.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.11.004>.
- Managi, Shunsuke, Akira Hibiki, and Tetsuya Tsurumi. 2009. "Does Trade Openness Improve Environmental Quality?" *Journal of Environmental Economics & Management* 58 (3): 346-63.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2009.04.008>.
- Oladi, Reza, and Hamid Beladi. 2015. "On Foreign Aid, Pollution and Abatement." *Environment and Development Economics* 20 (6): 797-812.
Doi:10.1017/S1355770X15000066
- Oladi, Reza, Arthur J. Caplan, and John Gilbert. 2018. "Sequestration and the Engagement of Developing Economies in a Global Carbon Market." *Resource and Energy Economics* 52: 50-63.
<https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2017.11.003>.
- Roy, Jayjit. 2017. "On the Environmental Consequences of Intra-Industry Trade." *Journal of Environmental Economics and Management* 83: 50-67.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2016.12.006>.
- Wan, Rui, Minoru Nakada, and Yasuhiro Takarada. 2018. "Trade Liberalization in Environmental Goods." *Resource and Energy Economics* 51: 44-66.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.reseneeco.2017.11.001>.