

研究種目：若手研究（B）
研究期間：2007～2009
課題番号：19730189
研究課題名（和文） 不確実性下における寡占企業の排出削減投資に対する環境政策の効果について
研究課題名（英文） The Effects of Environmental Policies on Pollution Abatement Investments of Oligopolistic Firms under Uncertainty
研究代表者
前鶴 政和（MAEZURU MASAKAZU）
大阪経済法科大学・経済学部・准教授
研究者番号：50351680

研究成果の概要（和文）：

本研究は、2 国が汚染物質を排出し、自国と外国の汚染物質が世界全体に蓄積されるような状況を想定した。また、汚染物質の蓄積過程に不確実性が生じるものとした。そのような状況で、各国政府間で行われる排出量ゲームを確率微分ゲームの枠組みで分析し、Markov 完全ナッシュ均衡解および協調均衡解を導出した。また、サブゲーム整合性を満たす配分方式を導出した。

その結果、生産技術水準がより高い国の方がより大きな瞬時の利得を得ることによって、サブゲーム整合解が与えられる、ということが分かった。また、価値関数で考えると、各国政府は、非協調均衡で得られる利得に加え、協調によって得られる総利得の増加分を均等に分け合うことによって、協調を維持することに合意するということが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to investigate a stochastic differential game of transboundary pollution and environmental policy. Emitted pollutants will remain in the environment adding to the existing pollution stock. Each government controls its amount of pollutant.

We formulate stochastic differential games, which need to be solved by two asymmetric governments involved, and derive unique Markov-perfect Nash and cooperative equilibrium solutions. Subsequently, we propose a mechanism for deriving the payoff distribution procedures of subgame consistent solutions in cooperative stochastic differential games of two governments, and a subgame consistent solution based on the Nash bargaining axioms is derived.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	600,000	0	600,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	300,000	1,900,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・応用経済学

キーワード：不確実性、環境政策、確率微分ゲーム、排出量規制、越境汚染

1. 研究開始当初の背景

近年、環境汚染が深刻となっており、1国内の環境汚染だけではなく、国境を越えて汚染物質が広がる越境汚染が問題となっている。また、汚染物質は長期にわたって蓄積されていくものであり、その蓄積過程には、不確実性が生じると考えられる。実際、地球温暖化の例を見ると、温室効果ガスの蓄積の予測、またそこからもたらされる地球の表面温度の上昇の予測に関して様々な値が報告されており、汚染物質の蓄積過程には不確実性が含まれていると考えることができる。したがって、越境汚染問題を考える際には、長期的視点で考察する必要があるため、静学モデルではなく、不確実性を考慮に入れた上で、動学モデルで分析しなければならない。動学モデルで考察することによって、汚染物質の蓄積の最適経路を求め、長期的に環境がどのような状態に向かっていくのかを分析することが可能になる。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的

1. で述べたような背景および問題意識にしたがって、本研究は、非対称な2国の政

府が汚染物質の排出量を規制する状況を考える。また、汚染物質は、ある国で発生すると国境を越えて世界全体に広がるものとし、自国の排出量と他国の排出量の合計が通時的に蓄積され、2国に環境損失を与えるものとする。その際、蓄積過程に不確実性が生じ、幾何 Brown 運動にしたがって変動すると仮定する。本研究の目的は、以上のような想定の下で、2国政府間の無限期間の確率微分ゲームを考えることによって、越境汚染と国際環境政策について考察することである。

(2) 先行研究との関連

本研究の分析は、以下に挙げるような先行研究に依存する。Dockner & Long(1993)は、確実性の下で、排出量を戦略変数として、微分ゲームの枠組みで地球温暖化問題を分析している。彼らの研究では、Markov 完全ナッシュ均衡と協調均衡を比較したときに、定常状態の汚染ストックは Markov 完全ナッシュ均衡の方が高いという結果が得られている。List & Mason(2001)は、確実性の下で、非対称な2地域の政府を仮定し、越境汚染の排出量規制が分権的に行わ

れるべきか中央集権的に行われるべきかを分析している。彼らの研究では、非協調均衡と協調均衡を比較したとき、便益関数が十分に異なっていて、初期の汚染ストックが十分に小さければ、共同利得は非協調均衡の方が大きいという結果が得られている。Jorgenson et al.(2005)は、非対称な2国間での排出量規制の問題を微分ゲームで分析している。彼らの研究では、プレイヤーが協調の利得を均等に分け合うことに合意するならば、協調が維持可能になるという結果が得られている。ただし、以上の研究では、不確実性の下での分析は行われていない。

また、Wirl(2004)及びWirl(2008)は、不確実性の下で、排出量を戦略変数として、確率微分ゲームの枠組みで地球温暖化問題を分析している。彼らの研究では、不確実性の増大によって、非協調均衡及び協調均衡の両方において排出量が減少するという結果が得られている。ただし、彼らの研究では、対称的な国々が仮定されている。Yeung(2006)、Yeung(2007)、Yeung & Petrosyan(2004) 及び Yeung & Petrosyan(2006)は、サブゲーム整合的な解をもたらす利得の配分方式について分析している。彼らの研究では、初期時点からのゲーム及び任意の時点以降のサブゲームにおいて協調による利得の増加分を2国間で分け合うことによって、サブゲーム整合解が得られるということを明らかにしている。ただし、彼らが扱っているのは資源採掘問題である。

以上のような先行研究に基づき、本研究では確率微分ゲームの枠組みを用いて排出量規制について分析し、Markov 完全ナッシュ均衡解及び協調均衡解を導出し、分散がどのような影響をもたらすかを明らかに

する。また、サブゲーム整合的な解をもたらす利得の配分方式について分析する。

3. 研究の方法

(1) 基本モデル

非対称な2国(第1国と第2国と呼ぶ)が、生産活動に伴って汚染物質を排出するものとする。ここでは、生産量に等しい汚染物質が排出されるものとする。両国は、便益関数に応じて、生産量にしたがって便益が生じるものとする。

第1国と第2国では、この便益関数のパラメータが異なっている。例えば、第2国の便益関数のパラメータが大きければ、第2国に便益をもたらすような生産技術水準が高まるということを表すと解釈することができる。

2国によって排出される汚染物質のうち、一部は自然浄化されるが、浄化されない部分は通時的に蓄積する。また、蓄積過程に不確実性が生じるものとする。

現実の汚染物質の蓄積過程から生じる結果は不確実であると考えられる。そこで、確率的要素として汚染物質の蓄積過程を表す動学方程式には幾何的 Brown 運動を表す項を導入している。

両国は、蓄積された汚染ストックによって、環境損失関数に応じて損失を被るものとする。このとき、両国の社会厚生関数は、便益関数から環境損失関数を差し引いた関数として表される。

(2) Markov 完全ナッシュ均衡

本節では、各国政府間の排出量ゲームに関する Markov 完全ナッシュ均衡を導出する。各国政府は、各時点において状態変数である汚染ストックに依存して排出量を決定する、Markov 戦略を採用するものと仮

定する。

各国政府は、汚染物質の蓄積過程を表す動学方程式の制約の下で、各国政府の社会厚生の期待割引現在価値を最大化するように、その排出量を選択するものとする。

ここで、不確実性の程度が増加すれば、同じ汚染ストックに対して、最適な排出量は減少する、ということが分かった。この結果は、Wirl(2004)のような対称的な場合と同様の結果である。

また、非対称性の程度と排出量の関係を見ると、第2国の生産技術水準が高くなるほど、第1国の最適な排出量は減少し、第2国の最適な排出量は増加する、ということが分かった。これは、第2国の生産技術水準が高くなるほど、第2国は活発に経済活動を進めることになり、第2国にとっての最適な排出量は増加することになるので、第1国の最適な排出量は減少することになると考えられる。これは、Wirl(2004)では得られていない新しい結果である。

(3) 協調均衡

本節では、各国政府が、汚染物質の蓄積過程の動学方程式の制約の下で、各国政府の社会厚生の和の期待割引現在価値を最大化するようにその排出量を選択するものとする。

ここで、不確実性の程度が増加すれば、同じ汚染ストックに対して、最適な排出量は減少する、ということが分かった。この結果は、Wirl(2004)のような対称的な場合と同様の結果である。

また、非対称性の程度と排出量の関係を見ると、Markov 完全ナッシュ均衡と同様に、第2国の生産技術水準が高くなるほど、第1国の最適な排出量は減少し、第2国の最適な排出量は増加する、ということが分

かった。これは、第2国の生産技術水準が高くなるほど、第2国は活発に経済活動を進めることになり、第2国にとっての最適な排出量は増加することになるので、第1国の最適な排出量は減少することになると考えられる。これも、Wirl(2004)では得られていない新しい結果である。

また、定常状態における Markov 完全ナッシュ均衡と協調均衡の総排出量の期待値を比較すると、Markov 完全ナッシュ均衡の方が大きいということが分かった。さらに、定常状態における Markov 完全ナッシュ均衡と協調均衡の価値関数の期待値を比較すると、協調均衡の方が大きいということが分かった。

これは、次のように考えることができる。各国が個別の社会厚生の期待割引現在価値を最大化する Markov 完全ナッシュ均衡では、自国の利益を最優先しようとするため、自国の排出量を減らそうとする誘因が働きにくいが、社会厚生の和の期待割引現在価値を最大化する協調均衡の場合には、世界全体の利益を考えるために排出量を減らそうとする誘因が強く働き、その結果、総排出量が小さく、汚染ストックも小さく、価値関数は大きくなると考えられる。

(4) サブゲーム整合解

本節では、Yeung & Perosyan(2006)にしたがって、確率微分ゲームにおいて動学的に安定な協調解であるサブゲーム整合解を求める。サブゲーム整合解とは、初期時点から開始されるゲームの最適戦略によってもたらされる任意の状態変数を有するような、後の時点にゲームが開始されるサブゲームにおいて、初期時点から開始される元のゲームの最適戦略が依然として最適であるような協調解のことである (Yeung &

Petrosyan(2006), p.133)。ここで、相手国政府が協調戦略を採用しているとき、自国政府は協調戦略から逸脱した方が社会厚生は高くなるので、協調均衡が長期的に維持可能になるような（すなわち、協調から逸脱しないような）解が必要であり、それが以下で見ていくサブゲーム整合解である。なお、各国政府間で社会厚生が譲渡可能（国民所得が移転可能）であると仮定する。

以下では、各国政府が、協調均衡における利得（社会厚生のとに関する期待割引現在価値の配分）と、非協調均衡（Markov 完全ナッシュ均衡）における社会厚生のとに関する期待割引現在価値との差の積を最大化するような、すなわちナッシュ交渉解を満足するような配分方式について、サブゲーム整合的な解を示す。ナッシュ交渉解は、個人合理性、パレート最適性などを満たす標準的な交渉解であり、本研究でもこのナッシュ交渉解を採用する。

まず、初期時点から開始するゲームを考える。このゲームで、各国政府が、協調均衡において得られる社会厚生のとに関する期待割引現在価値を分配することに合意するような配分方式を導出する。この配分方式は、初期時点から開始するゲームのみならず、ゲームの途中の時点から開始するサブゲームにおいても、同様に各国政府が合意するような（すなわち、逸脱しないような）配分方式でなければならない。そこで、以下では、ゲームの初期時点から開始するゲームにおいて各国政府が合意する配分方式が、ゲームの途中の時点から開始するサブゲームにおいても各国政府が合意する配分方式であるかどうか、すなわち配分方式がサブゲーム整合解であるかどうかを検討する。

まず、環境政策（排出量）ゲームの協調均衡において得られた両国政府全体の価値

関数を、パレート最適性の条件と個人合理性の条件を満たすように各国政府に配分することによって、各国政府が逸脱することなく協調均衡が維持される。

次に、ナッシュ交渉解の下でのサブゲーム整合解について考える。初期時点から開始されるゲームで、各国政府は協調均衡における社会厚生のとに関する期待割引現在価値を最大化し、ナッシュ交渉解を満足するような協調均衡における社会厚生のとに関する期待割引現在価値を分配することに合意する。

ここで、各国政府が協調における社会厚生のとに関する期待割引現在価値を分配することに合意し、各時点において各国政府が得る瞬時の利得を求め、第1国と第2国で比較する。すると、第2国が第1国より生産技術水準が高ければ、第2国がより大きな瞬時の利得を得ることになる、ということが分かった。

4. 研究成果

(1) 分析結果

本研究は、2国が汚染物質を排出し、自国と他国の汚染物質が世界全体に蓄積されるような状況を想定した。また、汚染物質の蓄積過程に不確実性が生じるものとした。そのような状況で、各国政府間で行われる排出量ゲームを確率微分ゲームの枠組みで分析し、Markov 完全ナッシュ均衡解および協調均衡解を導出した。また、サブゲーム整合性を満たす配分方式を導出した。

本研究の分析によって、以下のようなことが明らかになった。まず、不確実性の程度が増加すれば、非協調均衡においても協調均衡においても最適な排出量は減少する、ということが分かった。次に、協調均衡解の場合、協調から逸脱する誘因が生じるため、協調が長期的に有効であるためには、

協調に参加することが有利であるような保証が必要である。そこで、ナッシュ交渉解を用いて、各国政府が協調行動に合意し、協調均衡における利得を分配する配分方式を示し、さらに、その配分方式によって得られるサブゲーム整合的な協調均衡解を導出した。

その結果、生産技術水準がより高い国の方がより大きな瞬時の利得を得ることによって、サブゲーム整合解が与えられる、ということが分かった。また、価値関数で考えると、各国政府は、非協調均衡で得られる利得に加え、協調によって得られる総利得の増加分を均等に分け合うことによって、協調を維持することに合意するということが明らかになった。さらに、サブゲーム整合解における配分が非協調均衡における社会厚生期待割引現在価値を上回るための条件を導出した。

(2) 政策的含意

現実の排出問題を考える際には、先進国と発展途上国の対立がある。本研究の分析に照らし合わせると、先進国は生産技術水準を表すパラメータが大きく、発展途上国は小さい。すると、Markov 完全ナッシュ均衡において先進国は排出量が大きく、発展途上国は排出量が小さい。すなわち、先進国は環境規制が緩く、発展途上国は環境規制を厳しく設定することになる。ただし、サブゲーム整合解においては、協調均衡が維持されるような配分を実現するように、適切な所得移転がなされなければならない。

参考文献

Dockner, E. and N. V. Long,
“International Pollution Control:

Cooperative versus Non-cooperative Strategies,” *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.25, 1993, pp.13-29.

Jorgenson, S., Martin-Herran, G. and G. Zaccour, “Sustainability of Cooperation Overtime in Linear –Quadratic Differential Games,” *International Game Theory Review*, vol.7, No.4, 2005, pp.395-406.

List, J.A. and C.F. Mason, “Optimal Institutional Arrangements for Transboundary Pollutants in a Second-Best World: Evidence from a Differential Game with Asymmetric Players,” *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 42, 2001, pp.277-296.

Wirl, F., “International Greenhouse Gas Emissions when Global Warming is a Stochastic Process,” *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, vol.20, 2004, pp.95-114.

Wirl, F., “Tragedy of the Commons in a Stochastic Game of a Stock Externality,” *Journal of Public Economic Theory*, vol.10, 2008, pp.99-124.

Yeung, W.K.D., “Subgame Consistent Dormant-firm Cartels,” in A. Haurie and G. Zaccour(ed.), *Dynamic Games: Theory and Applications*, pp.255-271, Springer, 2005.

Yeung, W.K.D., “Solution Mechanisms for Cooperative Stochastic Differential Games,” *International Game Theory Review*, vol.8, no.2, 2006, pp.309-326.

Yeung, W.K.D., “Dynamically Consistent

Cooperative Solution in a Differential Game of Transboundary Industrial Pollution,” *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol.134, 2007, pp.143-160.

Yeung, W.K.D. and L.A. Petrosyan, “Subgame Consistent Cooperative Solutions in Stochastic Differential Games,” *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol.120, no.3, 2004, pp.651-666.

Yeung, W.K.D. and L.A. Petrosyan, *Cooperative Stochastic Differential Games*, Springer, 2006.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ①前鶴政和、不確実性下における越境汚染と環境政策について、応用経済学研究、査読有、第 2 巻、2008、pp.133-142
- ②前鶴政和、不確実性下における排出削減投資と環境政策について、大阪経済法科大学経済学論集、査読無、第 31 巻第 2・3 号、2008、pp.27-44
- ③前鶴政和、不確実性下の国際寡占市場における排出削減 R&D について、地域学研究、査読有、第 38 巻第 2 号、2008、pp.295-309
- ④前鶴政和、不確実性下における越境汚染と国際環境政策の動学分析について、大阪経済法科大学経済学論集、査読無、第 32 巻第 2・3 号、2009、pp.59-72
- ⑤前鶴政和、不確実性下における環境政策の国際協調について、応用経済学研究、査読有、第 3 巻、2010、pp.12-26

[学会発表] (計 12 件)

- ①前鶴政和、不確実性下における排出削減投資と環境政策について、2007 年度日本経済学会春季大会、2007 年 6 月 2 日、大阪学院大学
- ②前鶴政和、不確実性下の国際寡占市場における排出削減投資と環境政策について、第 44 回日本地域学会年次大会、2007 年 10 月 6 日、九州大学

③ Masakazu Maezuru, Stochastic Differential Game of International Environmental Policy, The First China-Japan Joint Seminar on Applied Regional Science, October 21, 2007, Beijing University

④前鶴政和、不確実性下における越境汚染と環境政策について、2007 年度日本応用経済学会秋季大会、2007 年 11 月 17 日、中央大学

⑤前鶴政和、不確実性下における越境汚染と国際環境政策の動学分析、2008 年度日本経済学会春季大会、2008 年 6 月 1 日、東北大学

⑥ Masakazu Maezuru, Stochastic Differential Game of International Pollution Control, The 48th European Congress of the Regional Science Association International, August 29, 2008, University of Liverpool

⑦前鶴政和、越境汚染と国際環境政策の確率微分ゲーム分析、第 44 回日本地域学会年次大会、2008 年 10 月 25 日、はこだて未来大学

⑧前鶴政和、不確実性下における環境政策の国際協調について、2008 年度日本応用経済学会秋季大会、2008 年 11 月 22 日、金沢大学

⑨前鶴政和、環境規制の国際協調に関する確率微分ゲーム分析、2009 年度日本経済学会春季大会、2009 年 6 月 7 日、京都大学

⑩ Masakazu Maezuru, Cooperative Stochastic Differential Game of Global Environmental Management, The 49th European Congress of the Regional Science Association International, August 27, 2009, University of Lodz

⑪前鶴政和、国家間の非対称性と環境規制の国際協調について、第 46 回日本地域学会年次大会、2009 年 10 月 12 日、広島大学

⑫前鶴政和、非対称な国家間の環境政策に関する国際交渉について、2009 年度日本応用経済学会秋季大会、2009 年 11 月 23 日、神戸大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前鶴 政和 (MAEZURU MASAKAZU)
大阪経済法科大学・経済学部・准教授
研究者番号：50351680

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし