

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：12703

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22530220

研究課題名(和文)寡占的競争下の先渡し市場・スポット市場を考慮した排出権取引制度の研究

研究課題名(英文)An analysis on emissions trading with forward and spot markets under oligopolistic competition

研究代表者

田中 誠 (TANAKA, Makoto)

政策研究大学院大学・政策研究科・教授

研究者番号：10377137

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、近年注目を集める排出権取引の制度設計に関して、先渡し市場が存在する場合を考え、寡占競争下の二段階の内生的モデルを構築した。そして、初期配分の変更が、戦略的な先渡し取引を通じて、財取引市場と排出権取引市場の価格や数量などの均衡にどのような影響を及ぼすのかを明らかにした。CO₂の排出量の多い電力会社よりも排出量の少ない電力会社に排出権をより多く配分した場合、均衡において合計発電量が増大し電力価格が低下すること、さらには排出権価格も同時に低下することを示した。

研究成果の概要(英文)：Tradable allowances have received considerable attention in recent years. One emerging issue is their interaction with electricity markets. This paper extends the model of Allaz and Vila (1993) by incorporating emissions trading with forward and spot markets for electricity. We focus on the effects of strategic forward position and initial allowances allocation on the equilibrium outcomes. We find that firms with a dirty portfolio would have stronger incentives to take a long position in the forward market to raise the electricity price. Increasing the amount of allowances assigned to clean firms leads to a reduction in electricity and allowance prices.

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：環境政策 排出権取引 寡占競争 先渡し市場 スポット市場

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、多くの国・地域が、温室効果ガスを効率的に抑制するために排出権取引の導入を検討・実施するようになった。大規模な取り組みとしては、京都議定書で合意した温室効果ガス排出削減目標の達成に向けて、欧州連合 (EU) が EU 域内排出量取引制度 (EU-ETS: EU Emissions Trading Scheme) を 2005 年に既に開始している。

排出権取引の導入において問題となるのが、排出権の初期配分の仕方である。現実の排出権取引の導入時においては、過去の温室効果ガスの排出量実績等を基に、排出権が企業に無償で初期配分されることが多い (グランドファザリング)。この時、各企業への排出権の初期配分の組み合わせは無数にあり、実際に選択された初期配分の組み合わせが財取引市場や排出権取引市場の均衡にどのような影響を与えるのかを知ることが重要となる。

この問題に関して、財取引市場と排出権取引市場とがともに完全競争的であれば、排出権の初期配分の仕方は均衡に全く影響を与えないことがよく知られている (Montgomery, 1972)。この結果は、コースの定理そのものである。一方、いずれかの市場が不完全であれば、排出権の初期配分の仕方が均衡に影響を与えうることが示されている。例えば、Misiolek and Elder (1989) は排出権取引市場が不完全な場合、Malueg (1990) は財市場が不完全な場合を分析している。

(2) しかしながら、これまでの研究のほとんどは、先渡し契約の存在を考慮せず、財取引と排出権取引が同時的に行われる一段階 (one stage) の状況に限定された議論であった。換言すると、先渡し市場が存在せず、スポット市場に限定された分析であったといえる。ところが、現実の市場では、財取引と排出権取引の両方において先渡し契約が重要な役割を果たしている。温室効果ガスを大量に排出する電力産業を例にとると、多くの国・地域において、電力取引の 7~8 割が先渡し市場で行われているのが実情である。排出権取引についても、現実には先渡し取引が盛んに行われている。つまり、現実の市場は、先渡し取引とスポット取引で構成される少なくとも二段階 (two stage) の構造となっている。

寡占的競争下において企業はファースト・ムーバーの恩恵を得ようと先渡し取引を戦略的に行うインセンティブをもちうるため、少なくとも二段階の市場構造を想定して内生的な先渡し市場をモデル化する必要がある。しかし筆者の知る限り、財・排出権取引の分析に関して、先渡し市場とスポット市場を内生的にモデル化して十分な検討を行った研究は見当たらない。したがって、排出

権の初期配分の仕方が戦略的な先渡し取引を通じて最終的な均衡にどのような影響を与えるのかは未だ明らかにされておらず、現実には有意な政策的含意が得られていない。

2. 研究の目的

(1) 温室効果ガスを効率的に抑制するための排出権取引の制度設計では、排出権の初期配分の仕方が問題となる。現実には先渡し市場が重要な役割を果たすため、これをモデル化した上で初期配分の問題を分析する必要があるが、先行研究では十分な検討が行われておらず、有意な政策的含意が得られていない。そこで、本研究では、先渡し取引が存在する場合を明示的に考え、寡占競争下の二段階の内生的モデルを構築する。このようなモデルは複雑となることが予想されるが、従来に比べより現実に近いモデル化が見込める。

(2) そして、上記のモデルを用いて、排出権の初期配分の仕方が、企業間の戦略的な先渡し取引を通じて、最終的な均衡にどのような影響を与えるのか詳細に分析する。特に、グランドファザリング方式において、初期配分の変更が、財取引市場と排出権取引市場の価格と数量にどのような影響を及ぼすのか、また社会的厚生をどのように変化させるのか、という点を詳細に明らかにする。

(3) 次に、現実の産業を想定したシミュレーション分析を行い、構築したモデルの妥当性を検証する。特に、温室効果ガスを大量に排出すること、財取引が寡占的競争下にあること等の特徴を考慮して、電力産業を事例として取り上げシミュレーション分析を試みる。

(4) 本研究は、財・排出権取引に関して、寡占的競争下で先渡し市場が果たす役割を明らかにするという学術上の新しい貢献が見込まれる。そして、より現実に近いモデルを用いて社会的に望ましい排出権の初期配分のメカニズムを明らかにすることで、政策応用上の貢献も期待される。

(5) さらに、現実の環境政策では、外部性のコントロールに関連して様々な規制オプションが存在する。規制オプションは、例えば、再生可能エネルギーに係る RPS 制度 (Renewables Portfolio Standard) など多岐に渡る。こうした現実の規制オプションも想定して、上記の理論モデルと実証・シミュレーション分析のさらなる拡張・発展を図る。これにより、環境政策のさらに豊かな含意を得ることが期待される。

3. 研究の方法

(1) 不完全競争下において先渡し契約が果

たす役割については、Allaz and Vila (1993) が先駆的な研究を行っている。彼らは、一般財の市場を対象として、危険中立的な複占企業によるクールノー競争を考え、先渡し契約とスポット取引を内生的にモデル化する研究を行った。彼らの分析によれば、各企業は、ファースト・ムーバーとなりスポット取引で有利な立場に立つために、戦略的に先渡し契約にコミットしようとする。しかし実際には、一社だけでなく全ての企業が先渡し契約にコミットすることが可能なので、囚人のジレンマの状況が発生する。その結果、クールノー均衡では、市場価格が低下し、各企業の利潤は減少する。囚人のジレンマの状況は、企業の利潤を低下させる一方で、消費者の便益を増大させ、合計では社会的余剰を増加させることを彼らは示した。

(2) しかし、Allaz and Vila (1993) では、財取引のみを対象としており、排出権取引はモデル化されていない。また、様々な単純化が行われており、現実の産業のシミュレーション分析にはそのまま適用できない。そこで、本研究では、Allaz and Vila (1993) をベースとしつつ、排出権取引を内生的にモデルに組み込み、さらに現実の産業のシミュレーション分析に適用できるようモデルの精緻化を行う。

具体的には、時間の流れとして、先渡し市場は第一期、スポット市場は第二期となる。この二段階のモデルを後方から解く。まず、財取引と排出権取引の両方に関して、スポット市場における均衡条件を相補性条件 (complementarity conditions) により表現する。次に、先渡し市場における各企業の行動をモデル化する。各企業は、スポット市場の均衡を予想しながら、利潤の最大化を図る。換言すると、各企業は、スポット市場の均衡条件を制約条件とした最適化問題を解く。この問題は、数理計画法の観点からは、均衡制約をもつ数理計画問題 (MPEC: Mathematical Program with Equilibrium Constraints) として位置づけることができる (Luo et al., 1996)。さらに、各企業の利潤最大化のもとで得られる均衡を求める問題は、均衡制約をもつ均衡問題 (EPEC: Equilibrium Problem with Equilibrium Constraints) として定式化することができる。これらの問題は解析的に解くのが困難であるため、適切なアルゴリズムを用いて数値計算により解くことを検討する。

4. 研究成果

(1) 温室効果ガスを効率的に抑制するための排出権取引の研究では、先渡し市場の機能に関する検討が従来十分行われておらず、有意な政策的含意が得られていない。初年度の研究では、財取引に関して先渡し市場が存在する場合を考え、寡占競争下の二段階の内生

的モデルを構築した。時間の流れとしては、先渡し市場は第一期、スポット市場は第二期となる。この二段階のモデルを後方から解いた。

まず、財取引と排出権取引の両方に関して、スポット市場における均衡条件を相補性条件により表現し、次に、先渡し市場における各企業の行動をモデル化した。各企業は、スポット市場の均衡を予想しながら、利潤の最大化を図る。換言すると、各企業は、スポット市場の均衡条件を制約条件とした最適化問題に直面する。これらの問題は複雑であり解くのが困難であるが、需要や費用に関して線形の関数を仮定して、解析的な分析を試みた。その結果、温室効果ガスの排出率の高い企業は、先渡し市場を利用して製品価格を上げインセンティブを持ちうることを示唆された。また、温室効果ガスの排出率の低い企業に初期の排出権をより多く配分すると、製品価格と排出権価格両方の低下をもたらす可能性があることが示唆された。

(2) 2011 年度は、財取引市場と排出権取引市場の基本モデルを、「一産業モデル」から「複数産業モデル」へ拡張・発展させた。この拡張モデルでは、それぞれ異なる財を生産する複数の産業を考え、一つは寡占競争、他方は完全競争が行われている状況を想定した。そして、寡占産業の企業が財取引市場と排出権取引市場の両方で市場支配力を有する場合について、寡占企業の戦略的行動と産業間の相互作用の分析を行った。特に、排出権の初期配分の仕方が、企業間の戦略的行動を通じて、両産業の均衡にどのような影響を与えるのか詳細に分析した。

理論分析から得られた主要な結果は次のとおりである。グランドファザリング方式のもとで、寡占産業の企業への排出権の初期配分を増加させると、これらの企業の生産量を増大させる。そして、温室効果ガスの排出量の多い寡占企業 (e.g. 石炭中心の発電会社) から排出量の少ない寡占企業 (e.g. 天然ガス中心の発電会社) に排出権を再配分した場合、排出率に関する一定の条件のもとでは、(a) 寡占産業の財価格、(b) 完全競争産業の財価格、(c) 排出権価格のすべてを同時に低下させることができることが示された。理論分析の結果は、数値シミュレーションでも確認された。さらに、初期の排出権の最適配分の仕方についても、社会厚生観点から議論した。この分析結果は、規制当局が排出権を配分する際には、財取引市場と排出権取引市場の相互作用、寡占産業と完全競争産業の相互作用に十分に注意しなければならないことを示唆している。

(3) 2012 年度は、理論モデル (排出権取引を含む寡占競争下における先渡し市場・スポット市場の二期間モデル) をさらに深化させつつ、さらに米国カリフォルニア州の現実の

電力市場データを用いて実証・シミュレーション分析を行った。具体的には、まず供給サイドとして、カリフォルニア州の主要な電力供給者に着目して、燃料費のデータなどをもとに発電の限界費用を推定した。これらの供給者の CO2 排出量に関しては、米国の Continuous Emissions Monitoring System (CEMS) から入手したデータを用いた。次に需要サイドについては、カリフォルニア州の気象条件や季節的要素も考慮して、回帰分析により需要曲線を推定した。特に、年間をピークやオフピークなど 10 ほどの期間ブロックに分けてそれぞれの期間の需要曲線を導出した。

こうして得られたデータを用いて、排出権取引を含む寡占競争下における先渡し市場・スポット市場の二期間モデルに基づき、年間を通じたシミュレーション分析を実施した。本分析により得られた主要な結果は以下のとおりである。まず、理論分析から、CO2 の排出量の多い電力会社（石炭中心の発電会社等）よりも排出量の少ない電力会社（天然ガス中心の発電会社等）に排出権をより多く配分した場合、均衡において合計発電量が増大し電力価格が低下すること、さらには排出権価格も同時に低下することを示した。背後にあるメカニズムとしては、排出権配分の変化により CO2 排出量の少ない電力会社が先渡し市場にコミットする割合が増えることの結果であることを明らかにした。次に、カリフォルニア州電力市場のシミュレーション分析を行い、CO2 排出量の多い電力会社から排出量の少ない電力会社へと全排出権の 6% を再配分した場合、電力会社間の戦略的な先渡し取引を通じて電力価格が 4%、排出権価格が 14% 低下することを示した。

(4) 最終年度には、2 つの方向で研究を実施した。第一は、これまでに構築した個々の理論モデルを統合し、シミュレーション分析も踏まえ、望ましい環境規制に関する政策的含意を吟味した。第二は、これまでの分析を発展させて、さらなる環境政策のオプションを考慮したモデルとシミュレーションの拡張を試みた。

これまでの研究において、財取引市場と排出権取引市場に関して、「一産業モデル」から「複数産業モデル」に拡張を行い、寡占競争下における「先渡し市場・スポット市場モデル」を構築した。これらの理論・シミュレーションを統合した分析から一貫して得られた結果は次のとおりである。すなわち、温室効果ガスの排出量の多い寡占企業（例：石炭中心の発電会社）よりも、排出量の少ない寡占企業（例：天然ガス中心の発電会社）に対してより多くの排出権を配分する場合、一定の条件のもとでは、戦略的行動への影響を通じて寡占産業の財価格、完全競争産業の財価格、排出権価格のすべてを同時に低下させることができる。こうした結果は、現実の排

出権配分の仕組みをつくる際の基本的かつ重要な視座を与える。

現実の環境政策では、排出権取引に関連して様々な規制オプションが存在する。そこで、規制オプションの一つである再生可能エネルギーに係る RPS 制度（Renewables Portfolio Standard）について、理論モデルと実証・シミュレーションの点から発展的な分析を行った。特に、既存のドミナントな発電会社と新規参入のフリンジの発電会社を想定するモデルを考察した。その結果、ドミナントな企業の電源構成が主に非再生可能エネルギーである場合、この企業は戦略的に再生可能エネルギー・クレジット (REC: renewable energy credit) の価格を下げるように操作する一方、電力価格を吊り上げる操作をする誘因があることが、理論と定量分析から明らかになった。

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 6 件)

Tanaka, M., and Y. Chen (2013) "Market Power in Renewable Portfolio Standards," *Energy Economics*, 39: 187-196. **査読有**
DOI: 10.1016/j.eneco.2013.05.004

Tanaka, M., and T. Ida (2013) "Voluntary Electricity Conservation of Households after the Great East Japan Earthquake: A Stated Preference Analysis," *Energy Economics*, 39: 296-304. **査読有**
DOI: 10.1016/j.eneco.2013.05.011

Tanaka, M., and Y. Chen (2012) "Emissions Trading in Forward and Spot Markets for Electricity," *Energy Journal* 33(2): 195-221. **査読有**
DOI: 10.5547/01956574.33.2.9

Tanaka, M., and Y. Chen (2012) "Market Power in Emissions Trading: Strategically Manipulating Permit Price through Fringe Firms," *Applied Energy*, 96: 203-211. **査読有**
DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.08.049

Tanaka, M. (2012) "Multi-Sector Model of Tradable Emission Permits," *Environmental and Resource Economics*, 51(1): 61-77. **査読有**
DOI: 10.1007/s10640-011-9488-4

Tanaka, M. (2011) "The Effects of Uncertain Divestiture as Regulatory Threat," *Journal of Industry,*

Competition and Trade 11(4): 385-397. 査
読有
DOI: 10.1007/s10842-010-0089-7

〔学会発表〕(計2件)

Tanaka, M., and Y. Chen “Emissions Trading in Forward and Spot Markets for Electricity,” presented at INFORMS Annual Meeting, Charlotte Convention Center, Charlotte, North Carolina, November 15, 2011.

Tanaka, M. “The Effects of Uncertain Divestiture as Regulatory Threat,” presented at the 8th Annual International Industrial Organization Conference, University of British Columbia, Vancouver, Canada, May 16, 2010.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.grips.ac.jp/jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 誠 (TANAKA, Makoto)

政策研究大学院大学・政策研究科・教授

研究者番号: 10377137