

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2013

課題番号：21330054

研究課題名(和文)炭素市場形成の長期的戦略に関する研究

研究課題名(英文)Economic analysis on carbon market and regulation strategies

研究代表者

前田 章(Maeda, Akira)

東京大学・総合文化研究科・教授

研究者番号：30317309

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円、(間接経費) 3,720,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、「炭素市場」を中心に市場形成と政策当局の役割について、経済分析を行うものである。分析手法としては、環境経済学と金融経済学・ファイナンスを統合し、対象とする政策としては、環境規制政策と市場競争政策を統合するものである。

主要な成果は以下の通りである。まず、価格変動を抑制する機能である「セーフティーバルブ」について考察し、その設定のルールを導出した。次に、環境・資源経済問題一般に対する金融工学的手法の適用について理論的枠組みの構築を行った。最後に、長期的な環境技術投資、特に、新技術の最適導入時期について分析した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research project is to conduct economic studies on carbon (and related) market formation and the role of governments. The analysis is based on techniques and ideas used in environmental economics and financial economics. The focus is centered around the integration of regulation and competition policies.

Main results are the following: First, safety valve mechanism, which is proposed to ease carbon price fluctuations and risks, is analyzed. A rule for trigger price setting is proposed. Second, a general framework for the application of financial engineering techniques to environmental and resource policies is discussed. Finally, concepts regarding technology investment strategy, in particular optimal timing for irreversible decisions are analyzed.

研究分野：経済政策

科研費の分科・細目：経済学・応用経済学

キーワード：経済政策 経済理論 エネルギー全般 環境政策 地球温暖化ガス排出削減 リスク 資産評価 実物資産

### 1. 研究開始当初の背景

気候変動(地球温暖化)問題への対応が世界共通の課題になった昨今、世界各国の経済的環境政策手段(MBI: Market-based Instruments = 環境税, 補助金, 排出許可証取引制度)のもとで、炭素排出を経済取引する各種の市場が形成されつつある。こうした市場の多くは、民間機関の主導のもとに各国政府・政策当局の意図と複雑に絡み合いながら、実質的な商品市場として発展しつつある。ここでは、世界各国の MBI のもとでなされる各種取引の総体を「炭素市場」と呼ぶことにする。その中核は排出権取引市場であるが、それに留まらない。

排出権取引や炭素税は、本来、一国あるいは一地域の環境政策のもとで MBI として実施されているはずのものである。しかし、現実には、今やその設計者たる規制当局の手を離れ、国境を越え、巨大かつ複雑な市場を形成しつつある。金融機関を中心に多くの民間企業が、制度の裏づけのありやなしやに関わらず、各種の排出権の取引を行い、商品取引や証券取引のように、先物やオプションなど多くの派生商品が飛び交っている。

そして、このような「炭素市場」の動きが、長期的に見て真に気候変動抑制に寄与するのか否か、すでに誰にもわからない状態になりつつある。(1)短期的な取引動機が長期環境政策と整合的か、(2)環境と表裏一体の関係にあるエネルギー政策と整合的か、さらには(3)各国において国内外の政治経済動向をかく乱することはないのか、取引当事者達はもちろんのこと、各国政策当局も明確な答えを出せない状態になっている。これは極めて不健全と言わざるを得ない。

以上のような問題意識のもと、炭素市場の設定、監視、長期育成について考察し、政策的インプリケーションを得ることが必要であると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、政府の意図と民間の自由取引とが複雑に絡み合いながら急速に発展する「炭素市場」の健全な市場形成に寄与することである。すなわち、最近の各国政府の手を離れて進行する国境のない「炭素市場」の現状の下で、長期環境政策との整合性、エネルギー政策との整合性、国内外の政治経済への配慮などの観点から、「健全」といえる市場形成を、政策当局がいかなる形で誘導すべきかについて、経済分析を行うものである。分析手法としては、環境経済学と金融経済学・ファイナンスを統合し、分析対象としては、環境規制政策と市場競争政策を統合するものである。

### 3. 研究の方法

前項のような研究目的のもと、本研究では「炭素市場」の形成に関わる政策を三つの局面に切り分けて取り扱った。それは、市場の

設定に関わるもの、市場の監視と制御に関わるもの、長期的な市場育成に関わるものである。具体的なサブトピックとして、次の3つの柱を立てた。

・市場の設定: 多様性と柔軟性のある排出権発行方式の研究

・監視と制御: 排出権デリバティブ市場規制政策の研究

・長期的育成: 制度移行長期計画の研究

以下に詳しく述べる。

市場の設定について

初等的な経済理論では、経済的手段(MBI)のひとつである排出許可証(権)取引制度において、排出権の初期的分布は経済効率性に影響を及ぼさないとされる(広義の「コースの定理」)。また、炭素税は、排出権を規制当局が独占的に保有している制度、と言い換えることができる。価格の決定方式を別にすれば、MBIの各手段は、排出権の初期的な保有の違いに過ぎないことになる。そしてその違いは、広義のコースの定理で考えれば、効率性に影響を及ぼさない。

しかし、もう少し高度な経済理論で考えると結論は異なってくる。Weitzman (1974: RES) は不確実性と情報非対称性のもとでは、量による規制(許可証)と価格による規制(税)は効果が異なることを初めて明示した。また、Hahn (1984: QJE) は市場支配力の存在が影響を及ぼすと論じた。Maeda (2003: J. Reg. Econ.) は、そうした市場支配力の発生し得る排出権初期配分条件を導いている。さらには、時点間取引の規制方針と先物市場の可能性 (Maeda, 2004: Env. Econ. Policy St.) などを見ると、上記のような初等的な経済理論通りには行かなくなる。

以上の考えに基づき、政府がいかなる排出権(対象と条件)をいかなる形(方式)で初期発行するか、という点を深く理論分析する必要があると言える。

監視と制御について

排出権の経済的価値(価格)は限界排出削減費用となる、というのが初等的な経済理論である。しかしながら、現状はそれほど単純ではない。市場取引が盛んになるにつれて、排出権を原資とした派生商品(デリバティブ)が生まれてくる。最も単純なデリバティブは先物(先渡し取引)である。これは将来の取引価格を現時点で固定する取引であり、価格変動リスクのヘッジには不可欠なものと言えよう。将来価格の固定とともに、その取引行使に選択権を付与するものはオプションと呼ばれる。これらを基本にして、ほぼ無限のデリバティブが考案可能であり、現在の金融市場と商品市場は実際そのようなになっている。

デリバティブ取引はリスクヘッジツールを提供すると言う点で、資本主義社会のなかで極めて重要な役割を担っていることは言うまでもない。しかし、同時に、これが間違った使われ方をすると、経済社会を翻弄し、

危機に陥れる危険性をはらんでいる。それゆえ、排出権をはじめとする実物の資産とそのデリバティブの適正価格算定理論（プライシング）について理論構築を行うことが必要である。

長期的育成について

気候変動枠組み条約と京都議定書は、当初2008年～12年を「第一約束期間」、2013年～17年を「第二約束期間」と定義していた。EU-ETSは京都議定書に合わせて、2007年までを「第一期間」、2008年～12年を「第二期間」としている。米国SO<sub>2</sub>取引制度では、1995年からの5年間を「第一フェーズ」、それ以降を「第二フェーズ」と呼んでいる。

いずれの制度も、まず比較的緩い条件で「試行」を行い、条件を変えて次の段階に移行するという形を取っている。すなわち、長期的な政策として、特定の条件や制度を、いつの時点で導入あるいは変更するか、という議論が政策論争の中心課題の一つになっている。このような問題は、数学的には「最適停止問題（Optimal Stopping Problems）」と呼ばれている。

環境政策導入の最適時期や長期的な制度設計を、最適停止問題の観点から考察することは経済分析として極めて重要な課題であると言える。

#### 4. 研究成果

市場の設定

市場の設定については、まず、排出枠と価格変動の関係に注目し、価格変動を抑制する機能である「セーフティーバルブ」について、理論的な分析、特にセーフティーバルブ設定のルールについて検討を進めた。これは、セーフティーバルブ設定と総排出規制目標との最適な組合せを理論的に導くものであり、政策形成に寄与するものである。そうしたセーフティーバルブ設定の理論的根拠について、"Setting Trigger Price in Emissions Permit Markets Equipped with a Safety Valve Mechanism." *Journal of Regulatory Economics* 2012年、「排出許可証取引における市場価格規制」『経済政策ジャーナル』2010年をはじめとして、いくつかの国内外学会発表および論文として発表された。

次に、property right（財産権）の初期割当について、属性を持つ資産の価格付けについて検討した。具体的には、不動産の価格とリスクの評価モデルとその応用について分析を行い、市場設定への理論的基礎とした。それらは、「不動産価格評価の枠組みと政策的含意」『経済政策ジャーナル』2011年をはじめとして、いくつかの国内外学会発表および論文として発表された。

監視と制御

監視と制御については、排出許可証に関わる政策的論点を整理し、総括的な政策論を展開した。排出権デリバティブの適正価格算定

理論（プライシング）の構築、および、環境・資源経済問題一般に対する金融工学的手法の適用について検討を進めた。これを通して、環境経済学と金融経済学・ファイナンスの関わりについて汎用性の高い理論体系を考察した。この内容は、「排出権制度の経済理論と政策的含意」『環境経済・政策研究』2011年、「環境エネルギーに対する市場ベースの政策手段—市場安全弁メカニズムを中心に」2011年度中之島ワークショップをはじめとして、いくつかの国内外学会発表および論文として発表された。

さらに、そうした成果に基づき、環境・資源経済問題一般に対する金融工学的手法の適用について検討を進め、より汎用性の高い理論体系の構築について考察した。具体的には、方向性のある価格付けの理論と電力取引への適用について分析を行い、スマートグリッドにおけるデジタルオプションについて考察した。

長期的育成

長期的育成については、まず、長期的な環境技術投資について理論分析を進めた。これは、炭素排出を抑制する技術について最適導入タイミングを分析するものである。その内容は、「経済発展に伴う環境新技術の最適導入時期」『経済政策ジャーナル』2010年をはじめとして、いくつかの国内外学会発表および論文として発表された。

その上で、炭素のみならず「環境の質」や「エネルギーセキュリティ」の観点について検討を行った。具体的には、枯渇性資源消費と習慣形成の動学、気候変動政策モデルにおける世代内と世代間の衡平性について、理論モデルによる分析を行った。それらは、「気候変動政策モデルにおける世代内と世代間の衡平性」『経済政策ジャーナル』2013年、「枯渇性資源消費と習慣形成の動学」『経済政策ジャーナル』2013年をはじめとして、いくつかの国内外学会発表および論文として発表された。

また、新聞などのテキスト情報からセンチメントを抽出しインデックスを構築する手法、より高度な確率制御理論を用いた最適停止問題、特異制御問題等について基礎的な分析を行った。

上記～を統合した政策論として、『ゼミナール環境経済学入門』（日本経済新聞出版社：2010）が出版された。

#### 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20件）

(1) Akira Maeda and Makiko Nagaya. "A theory of directional pricing and its application to electricity policy."

- International Journal of Economics and Business Research 7(1): 1-16. 2014. (doi: 10.1504/IJEBR.2014.057952) 査読有
- (2) Hiroshi Ishijima and Akira Maeda. “Time series modelling of real estate prices.” *Global Business and Economics Review* 16(1): 26-45. 2014. (doi: 10.1504/GBER.2014.058075) 査読有
- (3) Akira Maeda. “Estimating the impact of emission reduction target-setting on the macroeconomy.” *Environmental Economics and Policy Studies* (Published online: April 18, 2013. Printed version: in press) 査読有
- (4) Hiroshi Ishijima and Akira Maeda. “Real estate pricing models: theory, evidence, and implementation.” *Asia-Pacific Financial Markets* (Published online: April 13, 2013. Printed version: in press) 査読有
- (5) Hiroshi Ishijima and Akira Maeda. “Real estate price modeling and empirical analysis.” *International Journal of Economic Policy Studies*. Vol. 7: 31-51, 2012. 査読有
- (6) 石島博, 前田章 「宅地価格時系列データの推計と投資収益性の計量分析」『*経済政策ジャーナル*』10(2): 28-31. 2013. 査読有
- (7) 前田章, 長屋真季子 「気候変動政策モデルにおける世代内と世代間の衡平性」『*経済政策ジャーナル*』10(2): 40-43. 2013. 査読有
- (8) 長屋真季子, 前田章 「枯渇性資源消費と習慣形成の動学」『*経済政策ジャーナル*』10(1): 17-30. 2013. 査読有
- (9) 石島博, 前田章, 谷山智彦 「個々の不動産に対する投資リターンの時系列の推定モデル」『*情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用*』Vol.6 No.1, 90-101. 2013. 査読有
- (10) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “The optimal timing of the transition to new environmental technology for economic growth.” *Modern Economy* Vol. 3: 263-274. 2012. (doi: 10.4236/me.2012.33036) 査読有
- (11) 長屋真季子, 前田章 「排出削減目標設定の影響評価と応用一般均衡モデルの役割」『*社会経済研究*』60: 3-13. 2012. 査読有
- (12) Akira Maeda. “Setting Trigger Price in Emissions Permit Markets Equipped with a Safety Valve Mechanism” *Journal of Regulatory Economics* 41(3): 358-379. 2012. (doi: 10.1007/s11149-011-9168-x) 査読有
- (13) 石島博, 前田章, 谷山智彦 「不動産の価格とリターンの時系列モデルと応用」『*情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用*』5(1): 74-85. 2012. 査読有
- (14) 石島博, 前田章 「不動産価格評価の枠組みと政策的含意」『*経済政策ジャーナル*』8(2): 95-98. 2011. 査読有
- (15) 石島博, 前田章 「不動産価格の統計モデルと実証」『*ジャフィー・ジャーナル: 金融工学と市場計量分析*」(巻: 「バリユエーション」) 166-195. 2011. 査読有
- (16) Masaaki Kijima, Akira Maeda and Katsumasa Nishide. “Equilibrium Pricing of Contingent Claims in Tradable Permit Markets.” *Journal of Futures Markets* 30(6): 559-589. 2010. 査読有
- (17) 前田章 「排出権制度の経済理論と政策的含意」『*環境経済・政策研究*』4(1): 1-11. 2011. 査読有
- (18) 石島博, 前田章, 谷山智彦 「不動産の価格とリスクの評価モデルとその応用」『*情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用*』4(2): 1-12. 2011. 査読有
- (19) 長屋真季子, 前田章 「経済発展に伴う環境新技術の最適導入時期」『*経済政策ジャーナル*』7(2): 10-13. 2010. 査読有
- (20) 前田章 「排出許可証取引における市場価格規制」『*経済政策ジャーナル*』7(1): 68-80. 2010. 査読有
- [学会発表](計65件)
- (1) Hiroshi Ishijima, Takuro Kazumi and Akira Maeda. “Creating a sentiment index that reflects stock market features.” The 12th International Conference of the Japanese Economic Policy Association. Sapporo University. October 27, 2013.
- (2) Akira Maeda and Makiko Nagaya. “Discounting and equity considerations in energy-climate policy modeling.” 13th IAEE European Energy Conference. International Association for Energy Economics. Hilton Dusseldorf Hotel, Dusseldorf, Germany. August 20, 2013.
- (3) Akira Maeda and Makiko Nagaya. “Directional pricing theory in electricity.” 32th USAEE/IAEE North American Conference. International Association for Energy Economics. Hotel Captain Cook, Anchorage, AK. July 29, 2013.
- (4) Akira Maeda and Makiko Nagaya. “Exhaustible resource use under endogenous time preference and habit formation.” 2013 Conference, Business & Economics Society International. Novotel Monte Carlo Hotel, Monte Carlo, Monaco. July 7, 2013.
- (5) Hiroshi Ishijima, Takuro Kazumi, and Akira Maeda. “Sentiment analysis for the Japanese stock market.” 2013 Conference, Business & Economics Society International. Novotel Monte Carlo Hotel, Monte Carlo, Monaco. July 8, 2013.
- (6) Motoh Tsujimura and Akira Maeda. “A combined model of classical and impulse controls for emission and stock abatement

- policies.” 51st Meeting of The Euro Working Group on Financial Modelling (EWGFM), ESCP Europe London Campus, London, May 16, 2013.
- (7) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “Discounting and equity considerations in energy-climate policy modeling.” The 11th International Conference of the Japanese Economic Policy Association. Nagoya Gakuin University, Aichi, October 20, 2012.
- (8) Hiroshi Ishijima, Akira Maeda. “Implied capital returns on investment in less-marketed assets.” The 11th International Conference of the Japanese Economic Policy Association. Nagoya Gakuin University, Aichi, October 20, 2012.
- (9) Akira Maeda, Motoh Tsujimura. “A combined model of classical and impulse controls for emission and stock abatement policies” Institute for Operations Research and the Management Sciences Annual Meeting. Phoenix Convention Center, Arizona, USA, October 16, 2012.
- (10) Akira Maeda, Motoh Tsujimura. “A combined model of classical and impulse controls for emission and stock abatement policies.” 12th IAEE European Energy Conference. International Association for Energy Economics. Ca’Foscari University of Venice, Italy, September 12, 2012.
- (11) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “A theory of directional pricing for the feed-in-tariff policy in electricity.” 12th IAEE European Energy Conference. International Association for Energy Economics. Ca’Foscari University of Venice, Italy, September 12, 2012.
- (12) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “A theory of directional pricing and its application to feed-in-tariff policy in electricity.” 2012 Conference, Business & Economics Society International. The Crowne Plaza Hotel Salzburg, Austria, July 9, 2012.
- (13) Hiroshi Ishijima, Akira Maeda. “Time series modeling of real estate prices and its application.” 2012 Conference, Business & Economics Society International. The Crowne Plaza Hotel Salzburg, Austria, July 9, 2012.
- (14) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “On inter- and intra-generational equities in energy-climate policy modeling.” 35th Annual IAEE International Conference. International Association for Energy Economics. Perth Convention and Exhibition Centre, Australia, June 25, 2012.
- (15) Hiroshi Ishijima, Akira Maeda. “Log-mean variance portfolio selection subject to regime switching cross-correlation risks.” 7th Bachelier Finance Society World Congress 2012. Hilton Sydney Conference Centre, Australia, June 21, 2012.
- (16) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “On intra- and intergenerational equities in energy-climate policy modeling” International Energy Workshop 2012. University of Cape Town, South Africa, June 20, 2012.
- (17) Akira Maeda. “Perspectives on Double Sustainability in Japan: Environmental Aspects and Long term Economic Dynamics” 8th ESDN Workshop: Financial Markets, Institutions and Policies in the Context of Sustainable Development—Dimensions, Issues and Actors of an Emerging Arena. European Economic and Social Committee, Brussels, November 22, 2012. (招待講演)
- (18) Hiroshi Ishijima, Akira Maeda. “On the Estimation of Stochastic House Price Processes” Quantitative Methods in Finance 2011. Sydney, Australia. December, 16, 2011.
- (19) Hiroshi Ishijima, Akira Maeda. “Real Estate Price Modeling and Empirical Analysis” The 10th Int’l Conference, the Japanese Economic Policy Association. Kwansai Gakuin University (Hyogo), November 20, 2011.
- (20) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “Resource Use and Technological Change with Endogenous Time Preference” International Energy Workshop 2011. Stanford University (USA), July 7, 2011.
- (21) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “Habit Formation of Resource Use and Technological Change” 34th IAEE International Conference, International Association for Energy Economics. Stockholm (Sweden), June 22, 2011.
- (22) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “Habit Formation of Resource Consumption.” The 9th International Conference of the Japan Economic Policy Association. Waseda University, Tokyo. November 27, 2010.
- (23) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “Resource Use under Endogenous Time Preference.” 29th USAEE/IAEE North American Conference. International Association for Energy Economics. Calgary, Canada. October 16, 2010.
- (24) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “Estimation of the Impact of GHG Target-Setting on the Macroeconomy and Its Policy Implications.” 11th IAEE European Conference, International Association for Energy Economics. Vilnius, Lithuania. August 26, 2010.
- (25) Akira Maeda. “Estimating the Impact of GHG Target-Setting on the

- Macroeconomy.” International Energy Workshop 2010. The Royal Institute of Technology, Stockholm. June 22, 2010.
- (26) Hiroshi Ishijima, Akira Maeda and Tomohiko Taniyama. “Financial Modeling of House Price Dynamics.” Quantitative Methods in Finance 2010. Sydney. December 16, 2010.
- (27) Hiroshi Ishijima, Akira Maeda. “A General Framework for Pricing Real and Financial Assets.” 9th Columbia-JAFEE Conference, New York. March 3, 2010.
- (28) Hiroshi Ishijima, Akira Maeda. “Real Estate Prices: Theory and Empirical Analysis.” Quantitative Methods in Finance 2009 Conference. Sydney. December 18, 2009.
- (29) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “Technological Change in Environmental Quality and Economic Growth.” The 8th International Conference of the Japan Economic Policy Association. November 28, 2009.
- (30) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “The Optimal Timing of Transition to New Environmental Technology in Economic Growth.” 10th IAEE European Conference, International Association for Energy Economics. Vienna. September 9, 2009.
- (31) Akira Maeda. “Emissions Permit Markets Equipped with a Safety Valve Mechanism.” 2009 Far East and South Asia Meeting of the Econometric Society. Tokyo. August 5, 2009.
- (32) Akira Maeda, Makiko Nagaya. “The Optimal Timing of Transition to New Environmental Technology in Economic Growth.” International Energy Workshop 2009. Venice. June 17, 2009.
- (33) 前田章「環境エネルギーに対する市場ベースの政策手段—市場安全弁メカニズムを中心に」 2011年度中之島ワークショップ 『金融工学・数理計量ファイナンスの諸問題 2011』(大阪大学(大阪府) 2011年12月3日)(招待講演)  
(他国内学会発表 32件)

〔図書〕(計1件)

- (1) 前田章 『ゼミナール 環境経済学 入門』  
日本経済新聞出版社(2010年9月) 306pp.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前田章 (MAEDA, Akira)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：30317309