

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 14 日現在

機関番号：34304

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23530299

研究課題名(和文) 経済的手法利用による低炭素化技術促進・普及誘因の差異に関する実証的及び理論的研究

研究課題名(英文) Theoretical and empirical study on different effects of low-carbon technology promotion and diffusion incentives by various economic instruments

研究代表者

藤井 秀昭 (FUJII, Hideaki)

京都産業大学・経済学部・准教授

研究者番号：00550592

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、第一に、技術革新と経済の関係に関する経済学分野での1950年代以降の展望論文の作成をおこない、技術革新の生起条件、新古典派成長理論における外生的成長理論から内生的成長理論への展開、市場競争下の技術革新の促進・普及に関する学説の流れを捉えた。第二に、各種経済的手法利用が低炭素化技術開発の促進・普及誘因に与える大きさは技術種類別に異なるため、再生可能エネルギー利用発電技術の最新の技術仕様・生産量・生産費用等のデータ収集をおこなった。第三に、一般均衡モデル分析が前提とする資本財の生産関数の問題点及び再生可能エネルギー利用発電の波及効果分析を目的とする拡張産業連関分析の課題を再吟味した。

研究成果の概要(英文)：First, I surveyed literatures regarding relationship between innovation and economy in the field of economics since 1950s, and reviewed the doctrinal history of the sources of innovation, the development in neo-classical growth theory from exogenous growth model to endogenous growth model, the promotion and diffusion of innovation under market competition. Second, as there are different effects of low-carbon technology promotion and diffusion incentives to the type of technology by various economic instruments, I have collected data on technological specifications, production volume and production costs of generation technology used by renewable energy of low-carbon technology. Finally, I reviewed the problems about production function of capital goods in the general equilibrium model, and the issues of an extended input-output table to analyze spillover effects of renewable energy power generation.

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：経済政策 環境政策 低炭素化技術 経済的手法 省エネルギー 経済成長理論 技術進歩 生産関数

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 本研究に関連する国内・国外の研究動向及び位置づけ

環境経済学の標準テキスト(フィールド(2002)ほか)では、市場メカニズムに依拠する税(排出課徴金)及び譲渡可能排出許可証(排出量取引)は、環境規制(環境基準等)よりも技術開発を促進・普及させる効果が大いいと説明している。これは完全競争市場を前提とした費用便益分析のもとで、企業の規制感応的行動及び市場メカニズムに基づいた限界削減費用曲線の下方シフトがもたらす純便益(誘因の大きさを示す)の大きさで測ると、税及び譲渡可能排出許可証のほうが環境規制よりも大きいことを幾何学的に証明している。シンプルなミクロ経済理論の帰結からすると正しい解ではあるが、上記の各種経済的手法を、現実の環境政策において技術開発普及・促進誘因となるように設計するには、どの経済的手法及びそれらの組み合わせ(ポリシーミックス)がいかなる種類の技術開発を促進させるのに望ましいかを具体的に示すものではない。各種の低炭素化技術に備わる特性の差異は、本来、生産関数の基本構造に反映されなければならない点に関する研究や、現実の低炭素化技術開発の産業連関的波及メカニズムは、産業連関表で通常分析される前提と異なり、産業構造変化を伴い技術特性別に異なる波及メカニズムが起きるのではないかという点を実証分析する。

そこで本研究では、日本の既存の低炭素化技術を選定し、分野・技術開発項目・技術特性の別に分類した上で、日本の個別代表的な低炭素化技術開発の費用便益、生産関数での生産技術の表現方法及び産業連関的波及効果に関する文献調査やデータ及び情報収集・蓄積をもとに実証分析を行う。低炭素化技術の種類によっては、市場誘因依拠型政策よりも環境規制等のほうが費用効果的な政策選択となる可能性があること、もしくは市場誘因依拠型政策と環境規制等を組み合わせることが費用効果的な政策選択となりうることを示す結果が提供される可能性もある。本研究では、実証分析とどまらず、誘因メカニズムの理論的解明をも試みる。国内外の環境経済学者によって、技術を明示的に取り扱い、各種経済的手法の低炭素化技術開発の促進・普及誘因メカニズムを詳細に実証的及び理論的に研究した事例は現在のところ数が少ない。また、本研究により、低炭素化技術開発を促進・普及させるには、いかなる経済的手法とポリシーミックスが、いかなる技術に対して設計される必要があるかに関する基礎情報を提供することができる。

### (2) これまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯

平成21年度から22年度の環境省・環境経済の政策研究(研究課題:低炭素社会へ向けての各種経済的手法の短・中・長期的及びポ

リシーミックス効果の評価)において、「欧州諸国における経済的手法の二酸化炭素削減効果の評価」(藤井(2010))の研究項目を分担した。同研究において、欧州では2005年に導入されたEU ETS(EU Emissions Trading Scheme(System)、EU域内排出量取引制度)によるマクロ経済及び環境影響分析を試みた研究は数多く存在するが、排出量取引制度導入が、各国で既存の環境税等や環境規制と比べて、低炭素化技術開発に与える促進・普及誘因が大きいかが否か、さらには、いかなる種類の低炭素化技術開発に対して促進・普及誘因が作用したかについての研究は殆どみられないことが判明した。

こうして、低炭素経済社会システム移行に費用効果的な環境政策が設計されるには、各種経済的手法及びそれらの組み合わせが低炭素化技術開発に与える促進・普及誘因の差異に関する基礎情報が把握され、その誘因メカニズムが解明されることが重要であると判断した。このためには、低炭素化技術の種類別の誘因メカニズムの差異(生産関数、投資・制度・資金調達等を含めた社会技術)に関する実際データの収集蓄積、次いで、技術開発促進・普及誘因メカニズムの理論的解明(生産関数構造や産業連関的波及メカニズム)の展開が必要であると判断した。

## 2. 研究の目的

(1) 環境政策における経済的手法には環境規制(環境基準等)、税(排出課徴金)・補助金、譲渡可能排出許可証(排出量取引)があるが、これら各種経済的手法に期待される効果の一つは低炭素化技術開発を惹起させる効果である。ただし、各種経済的手法の技術開発促進・普及に与える効果には差異がみられ、適用対象技術の種類によっても異なると推察される。

(2) 本研究では、各種経済的手法利用が低炭素化技術開発の促進・普及誘因に与える大きさは技術種類別に異なるとの仮説を設定する。そこで最初に、日本の低炭素化技術を仔細に選定し、分野別、技術開発項目別、技術特性別への分類作業を行う。低炭素化技術開発を複数選択し、環境規制(環境基準等)、税(排出課徴金)・補助金、譲渡可能排出許可証(排出量取引)の各種経済的手法及びそれらの組み合わせが適用された場合の、日本企業(生産者)の標準的な費用便益に関する情報を収集する。各種経済的手法及びそれらの組み合わせによる技術種類別の低炭素化技術開発の促進・普及誘因の差異に関する実証分析を行う。次いで、各種経済的手法の「低炭素化技術開発の促進・普及誘因メカニズム」の理論的解明の展開を試みる。その範囲として、一般均衡モデル分析や産業連関分析等で前提とする資本財の生産関数構造の再吟味、低炭素化技術開発実現による長期n次波及の産業連関的波及効果の再検討に絞り、これらの点を考慮した場合の技術種類

別の低炭素化技術開発促進・普及誘因の差異を理論的に研究する。

### 3. 研究の方法

(1) 「技術革新と経済の関係」に関する経済学分野での1950年代以降の展望論文の作成をおこない、技術革新の生起条件、新古典派成長理論における外生的成長理論から内生的成長理論への展開、市場競争下の技術革新の促進・普及に関する学説の流れを捉えた。

(2) 低炭素化技術のうち「再生可能エネルギー利用発電技術」について、国内外の文献に基づいて、最新の技術仕様・生産量・生産費用等のデータ収集をおこなった。

(3) 各種経済的手法の「低炭素化技術開発の促進・普及誘因メカニズム」の分析手法である一般均衡モデル分析の前提とする資本財の生産関数の問題点及び再生可能エネルギー利用発電の波及効果を分析する目的の拡張産業連関表の分析における課題を再吟味した。

### 4. 研究成果

#### (1) 新古典派成長理論と技術進歩

経済学では「技術進歩と経済発展の関係」に関する理論・実証分析は古くからおこなわれている。A. Smithが『諸国民の富』の第1編第1章冒頭で分業との関係から機械類の発明の重要性を説いたのをはじめ、Pigouによる技術進歩の厚生への効果分析、Hicksによる技術進歩の分類や技術進歩と所得分配の議論、Harrodによる技術進歩の分類、J. Robinsonによる発明の分類などがあり、1950年代の新古典派成長理論の展開と軌を一にして技術進歩を巡る議論が活発になった(小林(1974))。

Solow(1956)とSwan(1956)に始まる新古典派成長理論での技術進歩の取り扱い、中立的な技術進歩を均衡成長の前提として考えており、労働分配率と資本分配率の比率を不変に保ち要素の限界生産力を等しく増大させる型をHicks的中立技術進歩、利子率を一定に保ちながら資本分配率を不変に保つ型をHarrod的中立技術進歩、労働分配率を不変に保つ型をSolow的中立技術進歩に区分した。Solow(1957)はアメリカ合衆国の成長会計を用いて技術進歩(Solow残差、全要素生産性(TFP)の成長率)の計測をおこなった。新古典派成長モデルでは技術進歩は外生的に与えられているにすぎず(外生的技術進歩)技術進歩率がどのように定まり、どのような政策が効果を持つかは分析されなかった(向山(1998))。

#### (2) 外生的(exogenous)と内生的(endogenous)

技術進歩の起源(生起条件)をどう考えるか。Schumpeter(1934)は、技術革新(innovation)の生起条件として企業者による科学技術プッシュ仮説を打ち立て、新古典派成長理論が主張する均衡成長を前提とせず(均衡の近傍

の状態が望ましい(伊達(1992))、もしくは創造的破壊(creative destruction)という不均衡が資本主義経済の発展に不可欠とした。一方、Schmookler(1966)の需要プル仮説では、需要変動に反応的な投資変動を技術進歩の起源とする。1950年代の新古典派成長モデルでは技術進歩を外生的に取り扱ったが、1990年代以降、技術革新(innovation)を研究開発(R&D)活動への投入の増加関数で表現することにより内生的技術革新として取り扱う内生的成長理論が展開されている(Romer(1990)、Grossman and Helpman(1991)、Aghion and Howitt(1992))。

#### (3) 学習曲線(Learning Curve)

日本において、住宅用太陽発電導入量が殆どなかった1993年時点の1kWあたりの太陽光発電システム価格が370万円、その後、累積導入量の増加につれて2003年時点で同86万円、2011年時点で同53万円まで低下した。日本の住宅用太陽光発電の発電コスト(2011年)は33~38円/kWh(メガソーラー発電は30~46円/kWh)とされ、太陽光発電システム価格(太陽電池価格、付属機器価格、設置工事価格からなる)が高いことや日照条件の違いから欧米よりも高い。太陽光発電システム価格の動向は、通常の工業製品と同様に、累積生産量の増加に応じて低下する学習曲線の原理が当て嵌まる。

学習曲線は、多くの工業製品に関する実測結果から導出されたものであり、「累積生産量が2倍になるとき、生産コストや生産に要する時間が一定割合低下する」という原理である。次のように定式化される(Krawiec et al.(1980)、Tsuchiya(1989)、槌屋(1999))。

$$Y_n = AX^{\beta}$$

ここで、 $Y_n$ : n番ユニットの単位あたり生産コスト

$X$ : 1からn番ユニットまでの累積生産量

$A$ : 第1番ユニットの生産コスト

$\beta$ : 累積生産に伴う生産コストの減少割合

さらに、異なる二つの時期で $X_b$ が $X_a$ の累積生産量の2倍になるとき、

$$X_b = 2X_a$$

ここで、進歩指数(Progress Rate)  $F$ を次のように定義する。

$$F = Y_b / Y_a = X_b / X_a = 2 - \beta$$

このとき、

$$\beta = -\log F / \log 2$$

すなわち、進歩指数 $F$ は累積生産量が2倍になるときのコストの低下度合いを示しており、資本集約的産業では小さく、労働集約的産業では大きいことが知られている。この学習曲線モデルは、当該エネルギー導入の生産コストが比較的高い初期段階の分析に用いられ、他の既存エネルギー供給価格と競合できる水準となる普及開始時期ではロジスティック曲線モデルが用いられることが多い。

#### (4) 拡張産業連関表

現在、日本では科学技術イノベーション政策や再生可能エネルギー固定価格買取制度等の政策支援を受けて、新たに太陽光発電等の再生可能エネルギー産業が創出されることが期待されている。この新産業が、経済と環境に対して、どれほどの大きさの直接及び間接的な波及効果（生産誘発額・雇用誘発数・エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量）をもたらすかを定量的に推計する方法が多く研究されている。

投入係数表を拡張した拡張産業連関表を利用する産業連関分析である。産業連関表（input-output table）は、ワシリー・レオンティエフにより考案された経済統計表であり、経済の生産活動をいくつかの部門に分割し、部門間の財・サービスの取引を記述したものである。しかし、総務省『産業連関表』では、再生可能エネルギーに関係する産業が独立した部門として記述されていないため、当該産業の財・サービスの生産活動（アクティビティ）を特定し、投入係数表を作成する必要がある。ただし、産業連関分析には、その固有問題である投入・産出の固定的な量的依存関係に制約される問題、投入係数表の追加・修正方法の数学的問題（岩崎(1980)）、投入係数及び資本係数の決定が技術選択問題に置換されてしまう問題等（小林・追田(1994)）がある。

この分野の最近の研究例としては、松本・本藤(2011)、白石他(2012)、文部科学省科学技術・学術政策研究所(2013)などがある。

産業連関表における国内外の雇用誘発数等は、最終需要ベクトルにレオンティエフ逆行列を乗じて部門別誘発生産額を求め、それに雇用係数ベクトルを乗じて求める方法で推計される。ここで、 $X$ : 部門別誘発生産額、 $I$ : 単位行列、 $A$ : 投入係数行列、 $f$ : 最終需要ベクトル、 $L$ : 国内外の雇用誘発数、 $l$ : 雇用係数ベクトル、 $L_d$ : 国内での雇用誘発数、 $L_m$ : 国外での雇用誘発数、 $M$ : 部門別輸入係数の対角行列、とする。部門別誘発生産額（ $X$ ）、国内外の雇用誘発数（ $L$ ）、国内での雇用誘発数（ $L_d$ ）、国外での雇用誘発数（ $L_m$ ）は次のそれぞれの式で求められる。

$$X = (I - A)^{-1} f$$

$$L = l(I - A)^{-1} f$$

$$L_d = l[I - (I - M)A]^{-1} f$$

$$L_m = L - L_d$$

また、文部科学省科学技術・学術政策研究所(2013)では、拡張産業連関表を用いて経済・環境への波及効果に関する分析をおこなっており、再生可能エネルギー発電施設建設（発電容量 1kW あたり）の波及効果を直接効果と間接効果に分けて試算している。

#### (参考文献)

[1]Arrow,K.J.,1962."The Economic Implications of Learning by Doing," *Review of Economic*

*Studies*, vol.29, pp.155-73.

- [2]Aghion,P.,Howitt,P.,1992."A Model of Growth through Creative Destruction," *Econometrica*, 60:323-51.
- [3]Grossman,G.M., and Helpman,E., 1991. *Innovation and Growth in the Global Economy*, Cambridge, Mass.:MIT Press.
- [4]Krawiec Frank, John Thornton, Michael Edesess,1980. *AN INVESTIGATION OF LEARNING AND EXPERIENCE CURVE*, Prepared for the U.S. Department of Energy, Contract No.EG-77-C-O1 4042,Solar Energy Research Institute.
- [5]Romer,P.M.,1990."Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, 98(5) part2:71-102.
- [6]Schumpeter, J.A., 1934. *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press.
- [7]Solow, R.M.,1956."A Contribution to the Theory of Economic Growth",*Quarterly Journal of Economics*,vol.70.No.1.
- [8]Swan,T.W.,1956."Economic Growth and Capital Accumulation", *Economic Record*, vol.32,No.62.
- [9]Tsuchiya, Haruki, 1989. "Photovoltaic Cost Analysis Based on Learning Curve", Solar World Congress, Kobe, Japan.
- [10]岩崎俊夫、1980。「産業連関分析と経済予測:RAS 方式による投入係数修正の妥当性について」北海道大学『経済学研究』30(1): 121-142.
- [11]小林潔司・追田一喜、1994。「技術革新を内生化した動的産業連関モデルに関する研究」土木学会論文集、No.482/ -22、pp.57-696.
- [12]小林好宏、1974。「技術進歩と生産関数：文献展望」北海道大学『経済学研究』24(1):293-344.
- [13]白石浩介・奥田章順・木村文勝・志村雄一郎・田中宏・森重彰浩・東暁子・赤羽淳・鈴木達也、2012。「技術予測産業連関表の作成による革新的技術の評価」『三菱総合研究所 所報』No.55、2012年3月.
- [14]伊達邦春、1992.『シュンペーター・企業行動・経済変動』早稲田大学出版部.
- [15]槌屋治紀、1999。「学習曲線による新エネルギーのコスト分析」日本太陽エネルギー学会『太陽エネルギー』25(6)、37-41、1999-11-30.
- [16]バリー・C・フィールド、2002.『環境経済学入門』秋田次郎・猪瀬秀博・藤井秀昭訳、日本評論社.
- [17]藤井秀昭、2010。「欧州諸国における経済的手法の二酸化炭素削減効果の評価」(藤井秀昭) 環境省「平成 21 年度 環境経済の政策研究」(低炭素社会へ向けての各種経済的手法の短・中・長期的及びポリシーミックス効果の評価) 報告書、pp.90 - 230.
- [18]松本直樹・本藤祐樹、2011。「拡張型産業

「連関表を利用した再生可能エネルギー導入の雇用効果分析」 *Journal of the Japan Institute of Energy*, 90, pp.258-267.

[19]向山敏彦、1998.「R&Dに基づいた経済成長モデルにおける模倣と競争」大蔵省財政金融研究所『フィナンシャル・レビュー』 July-1998.

[20]文部科学省 科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センター、2013.「拡張産業連関表による再生可能エネルギー発電施設建設の経済・環境への波及効果分析」 Discussion Paper No.96、2013年8月.

## 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)

〔図書〕(計1件)

藤井秀昭、日本評論社、『入門・エネルギーの経済学』、2014年、176頁

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

藤井秀昭 (FUJII, Hideaki)

京都産業大学・経済学部・准教授

研究者番号：00550592