

S-3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案  
手法の確立に関する総合研究プロジェクト

1. 温暖化対策評価のための長期シナリオ研究

(1) 中長期温暖化対策シナリオの構築に関する研究

2) 内生的技術革新によるGHG排出削減可能性の検討

滋賀大学 経済学部

中田 実

[要旨] 内生的技術進歩は、CO<sub>2</sub>削減技術の変化にどのような影響を与えうるか、経済モデル、工学モデルを比較検討した後、理論モデルを構築しシミュレーションを行う。

平成16年度に行った既存研究サーベイによると、技術進歩率の内生化が、CO<sub>2</sub>の早期削減に正か負どちらの影響を持つかどうかは、経済モデルか、もしくは工学モデルかというモデルの構造上の問題よりむしろその他の生産関数・研究開発活動(R&D)における仮定や生み出される技術の想定の違いによるもの大きいことが分かった。平成17年度には、市場均衡と社会的最適解との乖離を許すような内生的成長理論の導入が長期のCO<sub>2</sub>排出削減経路にどのような影響を与えうるのか、モデル構築とシミュレーションを行った。シュンペーター型成長モデルを拡張、競争的な最終財生産セクター、独占的なエネルギーセクターとエネルギーR&Dセクターからなる経済を仮定する。エネルギーR&Dセクターでは、研究開発企業が新エネルギーのR&Dを行っているとする。炭素税が無ければ、エネルギーR&D企業は一般的なエネルギー技術を開発するが、炭素税課税下では、低炭素エネルギー技術を開発する。上記の設定の下では、炭素税を課税するとエネルギーセクターからR&Dセクターへの構造変化が起き、新エネルギー技術が開発されCO<sub>2</sub>排出量が減少する可能性があることが分かった。シミュレーションでは、2050年までに1990年水準から5割程度までCO<sub>2</sub>が削減され、このうち構造変化の寄与分が1割程度となる可能性があることが示唆された。平成18年度の研究においては、2050年までに90年水準の70%CO<sub>2</sub>の排出削減をする場合、低炭素技術が年率で2.7%改善することが必要となってくるということが分かった。これは、構造変化の寄与分比べて、低炭素技術の進歩による寄与分が4倍程度となることを意味し、構造変化と比較して低炭素技術の寄与分がかなり大きくなる可能性があることが示唆される。

[キーワード] 環境政策、内生的技術進歩、気候変動、削減費用、学習曲線

1. はじめに

(1) 先行研究

工学モデルにおいては、Gerlagh and van der Zwaan (2003)<sup>1)</sup>、Grubler and Messener(1998)<sup>2)</sup>など、技術進歩率の内生化は、CO<sub>2</sub>の早期削減にプラスの影響を持つ可能性がある、とした研究結果があるが、経済モデルにおいてはNordhaus (2002)<sup>3)</sup>、Goulder and Schneider (1999)<sup>4)</sup>など、マイナスの影響を持つ可能性がある、もしくはほとんど影響をもたらさない、とするモデルがある。この違いは経済・工学モデルにおいて技術変化の内生化方法、という点での根本的な違いに由来するものではない。むしろその他の生産関数・研究開発活動(R&D)における仮定や生み出される技術の想定の違いによるもの大きい。また、経済モデルにおいて技術進歩率を内生化す

る場合、それがCO<sub>2</sub>削減に要する費用を低減させるかどうかは、モデル内で市場均衡が社会的最適解と乖離しているかどうかを鍵となる可能性がある。

## (2) 平成17年度に得られた成果と平成18年度に得られた成果の違い

平成17年度の研究では、内生的成長理論の導入が長期のCO<sub>2</sub>排出削減経路にどのような影響を与えうるのか、理論モデルを構築した後シミュレーションを行った。本モデルでは、炭素税を課税するとエネルギーセクターからR&Dセクターへの構造変化が起き、新エネルギー技術が開発されCO<sub>2</sub>排出量が減少する可能性があり、シミュレーションによると、2050年までに1990年水準から5割程度までCO<sub>2</sub>が削減され、構造変化の寄与分が1割程度となる可能性があることが示唆された。

平成18年度の研究では、京都議定書後の削減目標に関する最近の議論をふまえ、2050年において、1990年水準からCO<sub>2</sub>を70%削減するために必要な条件について検討する。その他の条件は一定とし、イノベーションの大きさと、低炭素技術の維持費用に関するパラメータのみ変更する。

## 2. 研究目的

気候変動モデルでは、その多くの場合技術進歩率は外生的に与えられてきたが、近年の内生的技術進歩理論の発展により、エネルギー効率係数や、生産関数の効率係数などの進歩率を生産化する動きが広まっている。工学モデルにおいては、技術進歩率の内生化は、CO<sub>2</sub>の早期削減にプラスの影響を持つ可能性がある、とした研究結果があるが、経済モデルにおいてはマイナスの影響を持つ可能性がある、もしくはほとんど影響をもたらさない、とする分析結果がある。この違いはどこからくるのか、また内生的技術進歩は、CO<sub>2</sub>削減技術の変化にどの程度影響を与えうるのか、各モデルを比較検討する。その後、市場均衡と社会的最適解との乖離を許すような内生的成長理論の導入が長期のCO<sub>2</sub>排出削減経路にどのような影響を与えうるのか、理論モデルを構築した後シミュレーションを行う。具体的には、シュンペーター型成長モデルを拡張し、独占的なエネルギーセクターとエネルギーR&Dセクターを明示的に導入、エネルギーR&Dセクターでは、炭素税が無ければ、エネルギーR&D企業は一般的なエネルギー技術を開発するが、炭素税課税下では、低炭素エネルギー技術を開発すると仮定する。上記の場合、内生的成長理論の導入が長期のCO<sub>2</sub>排出削減経路にどのような影響を与えうるのか、シミュレーションにより定量的に検証する。

## 3. 研究方法

### (1) 研究の概要

工学モデルにおいては、Gerlagh and van der Zwaan (2003)<sup>1)</sup>、Grubler and Messener (1998)<sup>2)</sup>など、技術進歩率の内生化は、CO<sub>2</sub>の早期削減にプラスの影響を持つ可能性がある、とした研究結果があるが、経済モデルにおいてはNordhaus (2002)<sup>3)</sup>、Goulder and Schneider (1999)<sup>4)</sup>など、マイナスの影響を持つ可能性がある、もしくはほとんど影響をもたらさない、とするモデルがある。この違いは経済・工学モデルにおいて技術変化の内生化方法、という点での根本的な違いに由来するものではない。むしろその他の生産関数・研究開発活動(R&D)における仮定や生み出される技術の想定の違いによるものが大きい。また、経済モデルにおいて技術進歩率を生産化する場合、それがCO<sub>2</sub>削減に要する費用を低減させるかどうかは、モデル内で市場均衡が社会的最適解と乖離しているかどうかを鍵となる可能性があることが判明している。また、現在EU内で議論され

ている、2050年までにCO<sub>2</sub>排出80%減という目標が、ETCの導入で達成可能なのかについては、慎重に検討すべきであることが、これまでの研究成果より分かっている。

モデル分析では、市場均衡と社会的最適解との乖離を許すような内生的成長理論の導入が長期のCO<sub>2</sub>排出削減経路にどのような影響を与えるのか、理論モデルを構築し、シミュレーションを行った。その結果、炭素税の導入によって、エネルギー投入水準が約1割減少し、R&D水準が16%上昇する。しかし、イノベーションの大きさが小さくなるので成長率は0.2%減少する。導入前は、炭素集約度は一定だが、導入後は年率1.5%で減少することになる。しかし、2050年までにCO<sub>2</sub>排出70~80%減という目標が、ETCの導入で達成可能な条件については、分かっていない。

## (2) 平成18年度の成果

### 1) モデルの概要

今年度は、京都議定書後を見据えた最近の議論を踏まえ、2050年において、1990年水準からCO<sub>2</sub>70%削減に必要な条件について検討する。モデルは前年度の構築したシュンペーター的成長モデルを元に、イノベーションと低炭素技術進歩率に関するパラメータを変更する。Aghion and Howitt 1992<sup>9)</sup>を基本に、競争的な最終財生産セクター、独占的なエネルギーセクターとエネルギー-R&Dセクターからなっていると仮定する。

成長率とR&D市場の裁定条件、労働市場の均衡条件より、下記の均衡が得られる。

$$n = \frac{\lambda \frac{1-\alpha}{\alpha} \Psi - \Phi \delta}{\lambda [\Phi (\ln \gamma + 1) + \frac{1-\alpha}{\alpha} \Psi]}, \quad E = \frac{\lambda (\ln \gamma + 1) + \delta}{\lambda [\Phi (\ln \gamma + 1) + \frac{1-\alpha}{\alpha} \Psi]}, \quad r = \frac{\lambda \frac{1-\alpha}{\alpha} \Psi \ln \gamma + (\Phi + \frac{1-\alpha}{\alpha} \Psi) \delta}{\Phi (\ln \gamma + 1) + \frac{1-\alpha}{\alpha} \Psi}.$$

均斉成長経路に焦点を当てているので、 $\lambda \frac{1-\alpha}{\alpha} \Psi - \Phi \delta > 0$ 。よって  $n > 0$  となる。

### 2) 炭素税導入と構造変化がCO<sub>2</sub>に与える影響

ここで、前年度での結果を簡単にまとめると、上記モデルの各パラメータに一般的な数値を当てはめて、炭素税導入と構造変化が、CO<sub>2</sub>排出にどのような影響を与えるのか、シミュレーションする。各パラメータの数値は、既存研究を参考にしつつ  $n > 0$  という条件を満たすように設定する。具体的には、エネルギーの投入シェアは  $\alpha = 0.2$ 、R&Dの生産性は  $\lambda = 0.3$ 、炭素税率は  $\psi = 0.1$ 、主観的割引率は  $\delta = 0.03$ 、低炭素技術の維持費用は  $\zeta = 0.01$  である。

影響に構造変化が含まれる一般的な場合をSTC、仮に構造変化が含まれない場合をNSTCと示すと、この内STCが示唆することは、1990年のCO<sub>2</sub>排出水準を1とすると、2050年までに0.49まで削減されるということである。NSTCとSTCとの差は、炭素税導入によって、エネルギーセクターから他のセクターへと産業が構造変化するが、その寄与分を表す。この設定においては、構造変化の寄与分は0.13であり、残りの0.36が低炭素技術の進歩による寄与分となる。

### 3) 2050年において、1990年水準からCO<sub>2</sub>70%削減に必要な条件

一方、2050年において1990年のCO<sub>2</sub>排出水準から70%を削減することは可能なのであろうか。またその削減水準を達成するために必要な条件とはどのようなものであろうか。その他の条件は一定とし、イノベーションの大きさと、低炭素技術の維持費用に関するパラメータのみ変更して、

検討する。まずは、イノベーションに関するパラメータであるが、これまでの分析では  $\ln \gamma$  を、環境税導入前の  $\ln \gamma=1$  から、 $\ln \gamma=0.7$  としていたが、環境税導入後も、イノベーションの大きさにそれほど変化はない、と仮定し、 $\ln \gamma=0.8$  とする。次に、低炭素技術の維持費用であるが、これは非常に低いと仮定し、 $\zeta = 0.002$  とする。

#### 4. 結果・考察

##### (1) 分析結果

前述のパラメータ設定の上でシミュレーションを行うと、表1に示すような均衡解が得られる。

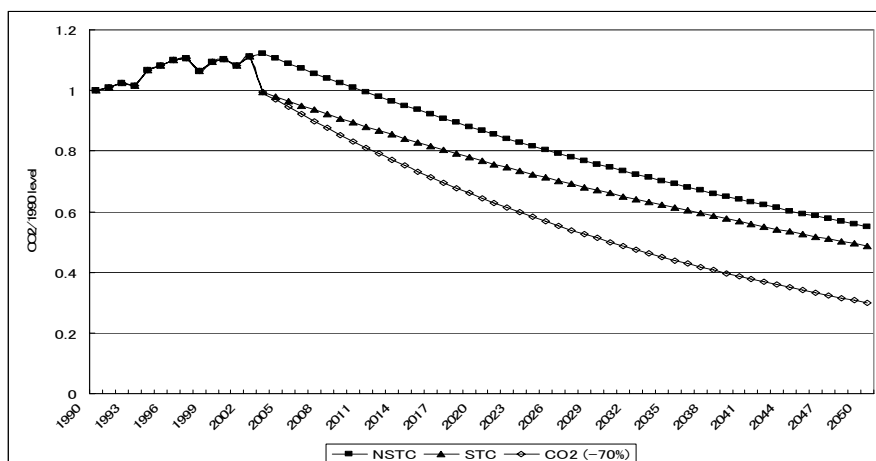
表1: 2050年までに1990年のCO<sub>2</sub>排出水準の70%削減達成のための条件

	N	E	r	$\ln \gamma$	g	gz
No Tax	0.09	0.07	0.057	1	0.027	0
Tax	0.104	0.063	0.061	0.8	0.0273	0.027

課税後イノベーションの大きさが小さくなっているにも関わらず成長率は大きくなっている。これは、環境税の課税によって最終財生産セクターの生産が少なくなり、生産要素需要が減ってR&Dの収益率が減る、いわゆる環境税課税が成長にもたらす負の効果が、課税によって生産要素の価格弾力性が高くなりR&Dの収益率が改善する正の効果と、財の生産からR&Dへと構造変化する一般均衡効果(正)によって相殺される(Nakada 2004)からである。また、低炭素技術の維持費用を非常に低いと仮定していることから、経済成長率=全要素生産性上昇率と、環境技術の上昇率がほぼ等しくなっている。

図1では、2050年までに90年水準の70%までCO<sub>2</sub>排出が削減される場合を表している(一番下のグラフ)。

図1 70%削減時のCO<sub>2</sub>排出量の変化：構造変化が含まれる場合



この設定においては、構造変化の寄与分は0.13である一方、残りの0.57が低炭素技術の進歩による寄与分となり、これが年率で2.7%改善することが必要となってくる。低炭素技術の寄与分がかなり大きくなるのが前提となる。

## (2) 考察

本モデルでは、生産性上昇に関する技術進歩率は内生化するが、低炭素技術の進歩率は引き続き外生的に与えられている。このためCO<sub>2</sub>削減量の内、構造変化の寄与分については内生的に解かれているが、その後のCO<sub>2</sub>排出量削減量についてはこの外生的なパラメータの与え方で削減量が大きく変化する。従って、低炭素技術の進歩率も内生化することが望ましいが、いまだ理論化されておらず方法論的に難しい。少なくとも両者の関係を何らかの方法で関係づける必要がある。今後の課題としたい。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

平成16年度の検討より、モデルによって、内生的技術進歩の導入がCO<sub>2</sub>削減技術の変化に与える影響が異なる原因は、経済・工学モデルにおいて技術変化の内生化方法、という点で根本的に異なることにあるわけではなく、むしろその他の生産関数・研究開発活動(R&D)における仮定や生み出される技術の想定の違いによるものが大きいことが分かった。また、経済モデルにおいて技術進歩率を生生化する場合、それがCO<sub>2</sub>削減に要する費用を低減させるかどうかは、モデル内で市場均衡が社会的最適解と乖離しているかどうかを鍵となることが分かった。

従って平成17年度の研究では、内生的成長理論の導入が長期のCO<sub>2</sub>排出削減経路にどのような影響を与えうるのか、理論モデルを構築した後シミュレーションを行った。本モデルでは、炭素税を課税するとエネルギーセクターからR&Dセクターへの構造変化が起き、新エネルギー技術が開発されCO<sub>2</sub>排出量が減少する可能性がある。

### (2) 地球環境政策への貢献

平成18年度後半から、平成19年度に渡って行われたシミュレーションによると、2050年までに1990年水準から5割程度までCO<sub>2</sub>が削減され、構造変化の寄与分が1割程度となる可能性があることが示唆される。また、2050年までに90年水準の70%CO<sub>2</sub>の排出削減をする場合、低炭素技術が年率で2.7%改善することが必要となってくる。進歩構造変化の寄与分に比べて、低炭素技術の進歩による寄与分が4倍程度となり、低炭素技術の寄与分がかなり大きくなるが必要となる。

## 6. 引用文献

- 1) R. Gerlagh, and B. van der Zwann, “Gross World Product and Consumption in a Global Warming Model with Endogenous Technological Change”, *Resource and Energy Economics*, 25, 35-57, 2003
- 2) Grubler and Messener, “Technological Change and the Timing of Mitigation Measures,” *Energy Economics*, 20, 495-512, 1998
- 3) W. Nordhaus, “Modeling Induced Innovation in Climate Change Policy”, *Modeling Induced Innovation in Climate Change Policy* (in Grubler, Nakićenović and Nordhaus eds.), *Resource for the Future*, 2002
- 4) L. Goulder and S. Schneider, “Induced Technological Change and the Attractiveness of CO<sub>2</sub> Abatement Policies”, *Resource and Energy Economics*, 21, 211-253, 1999
- 5) Romer, “Endogenous Technological Change”, *Journal of Political Economy*, 98, S71-102, 1990

- 6) P. Buonanno, et.al. , “Endogenous Induced Technical Change and the Costs of Kyoto”, Resource and Energy Economics, 25, 11-34, 2003
- 7) M. Nakada, “Does Environmental Policy Necessarily Discourage Growth”, Journal of Economics, 81, 3, 249-275, 2004
- 8) D. Elzen, et.al , “Exploring Climate Regimes for Differentiation of Commitments to Achieve the EU Climate Target”, RIVM report, 728001023, 2003
- 9) P. Aghion, and P. Howitt, “A Model of Growth through Creative Destruction”, Econometrica, 60(2), 323-351, 1992
- 10) R. Hart, “Growth’Environment and Innovation - A Model with Production Vintages and Environmentally Oriented Research”, Journal of Environmental Economics and Management, 48, 1078-1098, 2004
- 11) T. Verdier, “Environmental Pollution and Endogenous Growth”, In C. Carraro and J. A. Filar, editors, Control and Game-Theoretic Models of the Environment, 175-200. Birkhauser, 1995

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

なし

<査読付き論文に準ずる成果発表>

なし

<その他誌上発表>

なし

(2) 口頭発表 (学会)

なし

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への好評・報道等

なし

(6) その他

なし