

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

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、CO₂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、工学モデルにおいては、技術進歩率の内生化は、CO₂の早期削減に正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、影響をもたらさないか負の影響を持つ可能性がある、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。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CO₂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鍵となる可能性がある。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CO₂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う。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セクターからなっている。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を行っているとして仮定する。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CO₂排出量が減少する可能性がある。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CO₂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・研究目的・研究方法

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内生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、CO₂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、CO₂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との乖離を許すような内生的成長理論の導入が長期のCO₂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CO₂排出削減経路にどのような影響を与えるのか、シミュレーションにより定量的に検証する。

2. 結果

(1) 平成16年度の成果

工学モデルにおいては、Gerlagh and van der Zwaan (2003)¹⁾、Grubler and Messener(1998)²⁾など、技術進歩率の内生化は、CO₂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)³⁾、Goulder and Schneider (1999)⁴⁾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内生化する場合、それがCO₂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と乖離しているかどうか鍵となる可能性がある。また、現在EU内で議論されている、2050年までにCO₂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。

経済モデルと工学モデルにおける技術進歩の内生化

新古典派的経済成長論を源とするトップダウン型一般均衡モデルでは、エネルギー効率向上など、技術進歩率を外生的に与えてきたため、環境税など政策導入は技術進歩率に影響を与えない。欠点は早くから指摘されてきたが、spilloverとして準公共財となってしまう技術を生み出す経済モデルを考えると、競争均衡の枠内で扱うことは難しいためモデル化が遅れた。また、エネルギーセクター最適化問題を解くボトムアップ型工学モデルでは、将来の生産構造をシミュレートという形で扱う。そのため新エネルギーの費用削減などを考える場合は、変数をやはり外生的に与えてきた。こうした欠点を補うため、近年Romer (1990)⁵⁾に端を発した技術進歩を内生化するいわゆる内生的成長理論の発展に触発され、気候変動の統合モデルにおいても、経済・工学の両側面から技術進歩を内生化しようとする動きが出てきた。こうしたモデルには、Gerlagh and van der Zwaan (2003)¹⁾、Grubler and Messener (1998)²⁾、Nordhaus (2002)³⁾、Goulder and Schneider (1999)⁴⁾、Buonanno et. al. (2003)⁶⁾などがある。

こうした内生的な技術革新モデルを大まかに分類すると、1) ETC(内生的技術変化): 最終財生産関数の技術進歩を内生化したモデルで、技術進歩率はR&D投資額に比例、2) LBD(学習効果): 最終財生産関数の技術進歩を内生化したモデルで、技術進歩率は設備投資の累積額に比例、3) ITC(誘発的技術変化): 新エネルギーや環境技術の技術進歩率を内生化、気候政策が導入された場合に、新エネ研究開発が行われ、技術進歩率は、環境政策の度合いに比例、の3つに分けられる。

経済モデルではETC、工学モデルではLBDが技術進歩の内生化に利用されることが多いが、両者は一定の条件下で同じことを示している。

モデル構造の違い

一方、モデルの生産関数などの特定化の段階で、経済・工学両モデルの間で違いが見られた。R&Dセクターについては、R&D重複率の有無、環境R&Dと他のR&Dとの位置づけであり、生産関数については、化石燃料と新エネルギーとの代替可能性と、その代替弾性値についてである。まずR&D重複率についてであるが、Nordhaus (2002)³⁾では研究開発が重複していて、R&Dが効率的ではないことを示しているが、モデルにはそれが明示されていない。

第二に、環境R&Dと他のR&Dとの位置づけである。R&Dセクターにおいて、環境R&Dが通常のR&Dをクラウドディングアウトするか否か、モデル上の設定が、CO₂削減に正負どちらの影響を及ぼすかにかかってくる。これは環境技術が他の技術と比較して一般性を持つものなのか、それとも非常に特殊な技術で他の技術とは別のものなのか、という技術に対する見方にも依存する。Nordhaus (2002)³⁾では、環境R&Dを行うと他のR&Dをクラウドディングアウトし、これがより大きな社会的収益率を損なっているということで、社会全体にとって研究開発投資の4倍の機会費用を生み出すと仮定されている。Goulder and Schneider (1999)⁴⁾では、ETCの導入が、現在のR&Dを将来に先送りすることを可能にしている。上記両モデルでは、私的企業がR&Dを行って特許をとり、それで独占的な利潤を得てスピルオーバーの存在する技術開発費用をまかなう、というモデルを明示的には導入していない。従って社会的最適解と市場均衡とは、乖離していない可能性があり、計算上の問題をさけるために、両者とも少なくとも長期では、競争均衡が成立し定常状態に到達する仮定をおいている。これにより、環境分野でR&Dを行うことは、他分野のR&Dを減らすことに繋がるといった負の影響を及ぼすことになる。

一方RICEモデルを拡張したBuonanno et. al. (2003)⁶⁾では、研究開発によって生まれた技術は、環境技術、一般的な技術に関わらず、同じ知識資本として蓄積し、生産関数、エネルギー効率の向上に寄与するモデルとなっており、環境R&Dは他のR&Dをクラウドディングアウトすることはない。このようなモデルの設定では、ETCの導入はCO₂削減費用に対して、正の影響を及ぼす。

次に、生産関数については、化石燃料と新エネルギーとの代替可能性と、代替弾性値について述べる。Gerlagh and van der Zwaan (2003)¹⁾によると、モデル内で化石燃料と新エネルギーとの代替が可能で別セクターであることが重要である。Nordhaus (2002)³⁾では別になっていない。また別セクターになっていたとしても、化石燃料と新エネルギーの代替弾性性の仮定に大きな違いがある。Goulder and Schneider (1999)⁴⁾では $\sigma < 1$ で代替が困難であるとの仮定がおかれている。一方Gerlagh and van der Zwaan (2003)¹⁾では、 $1 < \sigma$ で代替が容易であるという仮定がおかれている。代替が困難であると、削減は難しくなるので、一般に削減費用は割高になる。

技術進歩の内生化とCO₂削減費用との関係

最後に、経済モデルにおいてETCの導入がCO₂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の一つの要因となる可能性がある。内生的成長理論においては、LBDなど技術を生み出すプロセスを簡略化したモデルと、企業行動メカニズムを明示的に表現したモデルがある。後者には、前者にはない社会的最適解と市場均衡とは乖離

する傾向がある。詳しく述べると、後者においては、研究開発部門は開発した技術で特許を得て、その技術を使って生産する中間財を独占的に販売する市場を得る。一方開発された技術は波及効果をとめない最終財生産の効率性を向上させる、というメカニズムになっており、私的企業が準公共財となってしまう技術を生み出すインセンティブが表現される。この場合、最終財生産セクターでは競争均衡を仮定するが、中間財セクターは独占的競争など不完全競争を仮定するため、政府がR&Dへの補助金などを与えて政策介入しない場合には、均衡におけるR&D活動水準は最適水準を下回ることが多い。理論上は一般均衡の枠内で不完全競争を扱うことは可能だが、経済・工学を問わずこの意味でのETCが導入されたモデルはまだ存在しない。不完全競争を導入した状態で環境税などの環境政策を導入すると、最終財生産から研究開発部門に構造変化がおきて、短期的にはGDPにマイナスの影響を与えるが、長期的には成長率が上昇する可能性がある(Nakada2004)⁷⁾。以上の知見が意味することは、不完全競争が導入されていると、CO₂削減にかかる費用は、マクロ経済的には環境政策は最終生産及び経済成長率にマイナスの効果を与える可能性があるが、長期的には経済は新しい均衡に移り成長率が上昇するので、ETCの導入は全体として削減費用を低減させる可能性があるということである。

技術進歩率と2050年におけるCO₂排出削減水準

EUでは、平均気温上昇を2℃以内に抑えるという目標を達成するため、京都以後の対策を検討している。den Elzen et. al. (2003)⁸⁾によると、提示されている多くの削減経路は、日本を含む多くのOECD諸国に対し、CO₂排出量を2050年までに1990年水準の80%に削減することを迫る、非常に厳しいものとなりうる。この厳しい目標は達成可能なのであろうか、内生的技術革新は急速なGHG排出削減をもたらすのであろうか。Nordhaus (2002)³⁾やGoulder and Schneider(1999)⁴⁾の結果より、単にETCを導入してもほとんど効果はない可能性がある。また、化石・新エネルギーの代替がない場合にはあまり効果はない。ボトムアップ型+一般均衡モデルでは、化石燃料と新エネルギーの代替を仮定している場合、新エネルギーにLBDを導入する場合と、効果がある可能性があるが、技術創出のミクロ的基礎が明確ではないことが課題としてあげられる。現時点では、そのどのモデルを導入しても、OECD諸国は2050年までにCO₂排出80%削減という厳しい目標を達成するのに十分な排出経路を描くことが出来るかどうかは、より詳細な検討が必要である。

(2) 平成17年度の成果

前年度の分析結果により、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CO₂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と乖離しているかどうか鍵となる可能性があることが分かった。従って平成17年度においては、市場均衡と社会的最適との乖離を許すような内生的成長理論の導入が長期のCO₂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た後シミュレーションを行う。

本モデルはシュンペーター的成長モデル(Aghion and Howitt 1992)⁹⁾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。最終生産セクターの企業はエネルギーと労働を投入して生産を行う。エネルギー生産セクターでは、労働を投入してエネルギーを生産する。政府は上流に位置するエネルギー供給企業に対し、CO₂排出単位あたりに炭素税を課税するが、その税収でエネルギーR&D企業に対して研究開発の補助金を与

える。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を行っているとは仮定する。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と仮定する(Hart 2004)¹⁰⁾。消費は異時点点において代表的個人が消費から得るプラスの、CO₂排出から得るマイナスの効用を最大化する。CO₂はエネルギーを利用することから排出されると仮定すると、t期におけるCO₂排出量は、 $P_t = Z_t E_t$ と表される。但し、 P_t はCO₂排出量、 Z_t は炭素集約度、 E_t はエネルギー利用水準である。

最終生産セクター

最終生産セクターは競争的で、企業はエネルギーと労働を投入して生産を行う。生産関数はコブ＝ダグラス型であり、 $Q \equiv Q(E_t, L_t) = A_t E_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$ となる。但し A_t は生産性を表すパラメータ、 L_t は労働投入、 $\alpha \in (0,1)$ となる。人口は一定と仮定する。各生産要素に対する一階条件は、

$$p_t^e = \alpha A_t E_t^{\alpha-1} L_t^{1-\alpha}, \quad (1)$$

$$w_t = (1-\alpha) A_t E_t^\alpha L_t^{-\alpha}, \quad (2)$$

となる。但し、 p_t^e はエネルギー価格、 w_t は賃金率である。

エネルギー供給セクター

エネルギー供給企業は、労働を投入し独占的な市場でエネルギーを最終生産セクターに供給する。線形の生産関数を仮定し、 $L_t^E = E_t$ とする。政府は上流部門であるエネルギー企業に対し、炭

素一単位あたりに炭素税を課す。t期の利潤は、 $\pi_t = p_t^e E_t - w_t E_t - h_t Z_t E_t$ となる。但し $h \in (0,1)$

は炭素税率で $p_t^e > h_t$ を仮定する。一階条件は次の通り： $p_t^e \left[1 + \frac{dp_t^e}{dE_t} \frac{E_t}{p_t^e} \right] = w_t \left(1 + \frac{h_t Z_t}{w_t} \right)$ 。単純

化のため、政府は炭素税を労働単位のパラメータ $\psi = \frac{h_t Z_t}{w_t}$ に沿って課税すると仮定する。賃金率

は生産水準に比例するため、政府はGDPの水準に比例するように炭素税を課税することになる(Verdier 1995¹¹⁾, Nakada 2004⁸⁾)。均衡において一階条件は以下ようになる、

$$p_t^e = \frac{w_t}{\alpha} (1+\psi). \quad (3)$$

このときエネルギー供給企業の総利潤は、 $\pi_t = A_t \frac{1-\alpha}{\alpha} \omega_t (1+\psi) E_t$ となる。但し $\omega_t = w_t / A_t$ は効率賃金を表す。

エネルギーR&Dセクター

研究開発企業はエネルギー技術に関する技術開発を行い、エネルギー供給企業に提供する。Hart (2004)¹⁰⁾を参考に、発見された技術的知識は経済全体の生産性 A_t を上昇させるだけでなく、平均的な炭素集約度 Z_t を低下させる可能性がある。本分析では、2タイプのエネルギー技術が存在すると仮定する。一つは一般的なエネルギー技術で、生産性のみ上昇させ、炭素集約度は変化させない。もう一つは低炭素技術で、前者ほど生産性を上昇させないが、炭素集約度を低下させる。炭素税がない場合、研究開発企業は、もし成功すれば一般的なエネルギー技術を開発するが、

炭素税がある場合には、低炭素技術を開発する。つまり $h=0$ のとき、 $\frac{\dot{A}_t}{A_t} = \lambda n_t \ln \gamma$ 、 $\dot{Z}_t = 0$ で

あるが、 $h>0$ のときは、

$$\frac{\dot{A}_t}{A_t} = \lambda n_t \ln \gamma, \quad (4)$$

$$\frac{\dot{Z}_t}{Z_t} = -\lambda n_t \ln \gamma + \zeta,$$

となる。但し、 $\gamma^0 > \gamma > 1$ 、 $\zeta > 0$ である。 λ は R&D の効率性、 ζ はイノベーションの大きさ、

は低炭素技術の維持費用で、一般的なエネルギー技術より維持に費用がかかることを示す。特許取得による独占的な利潤は、収益率とイノベーションの成功率に依存する(Aghion and Howitt

1992)⁹⁾ので、技術革新の割引期待価値は、次の通り： $V_t = \int_t^\infty e^{-\int_t^\tau r_u du} e^{-\int_t^\tau \lambda n_u du} \pi_\tau d\tau$ 。

消費者と政府

代表的個人は、所得制約下で消費から正の、CO₂ 排出から負の効用を異時点間で最大化するので、 $\max \int_0^\infty e^{-\delta t} (\ln Y_t - \ln P_t) dt$ となる。 $\delta > 0$ は主観的割引率。分権的経済における最適条件、

$$g \equiv \dot{Y}_t / Y_t = r_t - \delta, \quad (5)$$

と横断面条件が満たされるとする。政府は炭素税収入でエネルギーR&D 企業に補助金 $s \in (0,1)$ を与えるので、通時的な政府の予算制約式は以下になる。

$$\begin{aligned} \int_0^\infty s \omega_\tau n_\tau e^{-\int_0^\tau r_u du} d\tau &= \int_0^\infty \psi \omega_\tau E_\tau e^{-\int_0^\tau r_u du} d\tau \\ &= \int_0^\infty h_\tau Z_\tau E_\tau e^{-\int_0^\tau r_u du} d\tau. \end{aligned} \quad (6)$$

均斉成長経路

均斉成長経路においては、利子率と R&D の水準が一定、つまり $r_t \equiv r$ 、 $n_t \equiv n$ となる。人口成長は一定なので、生産水準の成長率は生産性のパラメータの成長率と等しくなる。つまり $g = g_A$ となるので、効率賃金も一定となる $\omega_t \equiv \omega$ 。R&D セクターにおける自由参入条件は、限界費用とイノベーションの現在価値が等しくなることだが、政府が補助金を与えているので、 $(1-s)w = \lambda V$ となる。但し $V = \frac{\pi}{r + \lambda n}$ である。これより R&D の裁定条件は、

$$1 = \frac{\lambda \frac{1-\alpha}{\alpha} \Psi E}{r + \lambda n}, \quad (7)$$

となる。但し $\Psi = \frac{1+\psi}{1-s}$ 。 (1) と (2) を (3) に代入すると、最終生産セクターの労働需要が導かれ、

$$L = \frac{1-\alpha}{\alpha^2} (1+\Psi) E, \text{ となるので、労働市場の均衡条件は、}$$

$$1 = L + L^E + n = \Phi E + n, \quad (8)$$

となる。但し、 $\Phi = \frac{1-\alpha}{\alpha^2} (1+\Psi) + 1$ 。均斉成長経路においては、政府の予算制約式は均衡している

ことが求められるので、 $\psi E = sn$ となるが、補助金率 s が一定となるためには $\psi = \frac{h_t Z_t}{w_t}$ が一定と

なる必要があるので、 $g_w = g = g_h$ となる。 $g = g_A$ 、(4) と (5) より、 $\lambda n \ln \gamma = r - \delta$ となる。こ

の式と裁定条件 (7)、労働市場の均衡条件 (8) 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。

炭素税導入と構造変化がCO₂に与える影響

ここでは、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、CO₂ 排出にどのような影響を与えうるのか、シミュレーションを行う。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。課税による各均衡を表 1 に示す。

表 1 が示唆することは、上記の設定の下では、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。

表1: 炭素税導入が均衡に与える影響

	N	E	r	ln	g	gz
No Tax	0.09	0.07	0.057	1	0.027	0
Tax	0.104	0.063	0.061	0.7	0.025	0.015

次に、炭素税が CO₂ 排出量に与える影響を図 1 に示す。

図 1 炭素税導入による CO₂ 排出量の変化と、構造変化の寄与分

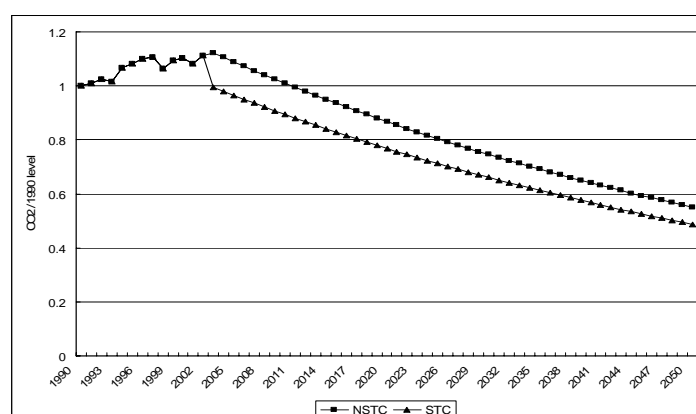


表 1 では、影響に構造変化が含まれる一般的な場合を STC、仮に構造変化が含まれない場合を NSTC と示している。この内 STC が示唆することは、1990 年の CO₂ 排出水準を 1 とすると、2050 年までに 0.49 まで削減されるということである。NSTC と STC との差は、炭素税導入によって、エネルギーセクターから他のセクターへと産業が構造変化するが、その寄与分を表す。この設定においては、構造変化の寄与分は 0.13 であり、残りの 0.36 が低炭素技術の進歩による寄与分となる。

3. 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されているが、低炭素技術の進歩率は外生的に与えられている。このため CO₂ 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 CO₂ 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。

4. 本研究により得られた成果

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 CO₂ 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産関数に内生化する場合、それが CO₂ 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CO₂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CO₂排出量が減少する可能性がある。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CO₂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。

本分析は、エネルギーセクターとエネルギーR&Dセクターに焦点を当てているため、資本が投入要素として入っていないなど単純化されたものであり、炭素集約度のパラメータは生産性パラメータに依存しており、内生化されていない。以上の限界点に関して、今後の研究課題としたい。

5. 引用文献

- 1) Gerlagh, R. and B. van der Zwann (2003), "Gross World Product and Consumption in a Global Warming Model with Endogenous Technological Change," *Resource and Energy Economics*, 25, 35-57.
- 2) Grubler and Messener (1998), "Technological Change and the Timing of Mitigation Measures," *Energy Economics*, 20, 495-512.
- 3) Nordhaus, W. (2002), "Modeling Induced Innovation in Climate Change Policy," in Grubler, Nakićenović and Nordhaus eds. *Modeling Induced Innovation in Climate Change Policy*, Resource for the Future.
- 4) Goulder L. and S. Schneider (1999), "Induced Technological Change and the Attractiveness of CO₂ Abatement Policies," *Resource and Energy Economics*, 21 211-253.
- 5) Romer P. (1990), "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102.
- 6) Buonanno, P., et.al. (2003), "Endogenous Induced Technical Change and the Costs of Kyoto," *Resource and Energy Economics*, 25, 11-34.
- 7) Nakada, M. (2004), "Does Environmental Policy Necessarily Discourage Growth," *Journal of Economics*, 81, 3, 249-275.
- 8) den Elzen, et.al (2003) *Exploring Climate Regimes for Differentiation of Commitments to Achieve the EU Climate Target*, RIVM report 728001023.
- 9) Aghion, P. and P. Howitt. *A Model of Growth through Creative Destruction*. *Econometrica*, 60(2):323-351, 1992.
- 10) Hart, R. *Growth, Environment and Innovation, A Model with Production Vintages and Environmentally Oriented Research*. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48:1078-1098, 2004.
- 11) Verdier, T. *Environmental Pollution and Endogenous Growth*. In C. Carraro and J. A. Filar, editors, *Control and Game-Theoretic Models of the Environment*, pages 175 200. Birkhauser, 1995.

6. 国際共同研究等の状況

なし

7.研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり) >

M. Nakada: Journal of Economics, 81, 3, 249-275(2004) “Does Environmental Policy Necessarily Discourage Growth.”

M. Nakada: Resource and Energy Economics, 27, 4, 306-320(2005) “Deregulation in an Energy Market and its Impact on R&D for Low-carbon Energy Technology.”

<学術誌 (査読なし) >

なし

<書籍>

なし

<報告書類等>

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) 受賞等

なし

(6) 一般への公表・報道等

なし

8.成果の政策的な寄与・貢献について

CO₂削減については、ポスト京都議定書を脱んで2050年までの長期的な目標を立てる必要に迫られているが、対策が長期に渡るため、技術変化をどのように考えるかは非常に重要となる。本研究は、モデル分析において外生的に与えてきた生産性に関する技術進歩率を内生化する事で、よりCO₂削減についてより詳細な分析を行う際の基礎的な知見を与える。