

気候安定化政策の社会的便益の計測

中 嶋 一 憲¹

¹ 正会員 博(経済学) 東北大学助教 大学院生命科学研究所 (〒980-8579 仙台市青葉区川内 27-1)
E-mail: nakajima@econ.tohoku.ac.jp

本研究は、現在議論されている気候安定化政策の社会的便益を費用便益分析の観点から評価するために、政策による直接効果の計測だけでなく、等価的偏差を、政策実施により気温上昇に伴う被害が軽減されたことによる国民福祉向上を消費水準(貨幣ターム)で評価した福祉効果、生産量の変化による所得変化効果、および社会的費用を表す投資の変化分の各効果に分割できることを提示し、各効果をマクロ経済モデルを用いたシミュレーション分析によって計測することを目的とする。その結果、本研究で示された枠組みは、伝統的な費用便益分析の理論的枠組みと整合的であること、政策による各効果を数量的に捉えることができること、および効用関数へ気温変化に伴う影響を考慮した場合にも対応できることが示された。

Key Words : climate stabilization policy, macroeconomic model, cost-benefit analysis, equivalent variation

1. はじめに

近年、IPCC (2007)¹⁾を初めとして、温暖化の危険な水準や温室効果ガス(Greenhouse Gases: GHG)濃度安定化レベルの定量化に議論の焦点が当てられている。松岡(2005)²⁾は温暖化の危険な水準と GHG 濃度安定化レベルに関するレビューを通じて、「産業革命以前と比べて、全球平均気温の上昇が 2℃以上になるとときには重篤な影響を及ぼす」ことを挙げている。また松岡(2005)³⁾は気温上昇の閾値を 2℃と設定した場合、GHG 濃度は 500ppm 以下に抑える必要があるとしている。さらに、Stern(2006)⁴⁾では GHG 安定化のためには 450ppm から 550ppm に抑える必要があるとしている。このように大気中の GHG 濃度を抑え、気候の安定化を図るためには、各国または各地域で厳しい気候安定化政策を実施し、相当程度の負担を必要とすると考えられる。

一方、これまで気候変動対策の定量評価に関する研究が多いにもかかわらず、その対策の費用便益分析は 1990 年代を中心に行われて以降(Cline (1992)⁵⁾, Nordhaus (1993)⁶⁾, Nordhaus and Boyer (2000)⁷⁾など)、ほとんど行われていない。費用便益分析は、ミクロ経済理論に基づく応用一般均衡分析を用いた便益評価理論として体系的に確立してきた経緯があり(例えば、森杉(1997)⁸⁾を参照)、公共事業評価において用いられるだけでなく、その研究蓄積も膨大である。例えば、過去の事象を対象とした便益評価として、森杉・林山(1992)⁹⁾が挙げられる。これは

明治・大正期の鉄道網形成の社会的便益を、一般均衡分析を用いることにより直接効果だけでなく、所得の増大効果、福祉効果まで計測している。また、環境政策の費用便益分析として、鷲田(2004)¹⁰⁾が挙げられ、応用一般均衡モデルを用いた温暖化対策税の効果を評価している。これに対して、マクロ経済理論に基づく最適成長モデルを用いた費用便益分析は理論的未解決部分を残している。これはマクロ経済モデルを用いた分析において、便益や費用の定義が不明確であるため、理論的整合性のある費用便益分析を行うことができないと考えられる。例えば、Nordhaus and Boyer (2000)⁷⁾は RICE モデル(Regional dynamic Integrated model of Climate and the Economy)を用いて、様々な政策の各地域における費用便益分析を詳細に行っているものの、その費用便益分析において、二酸化炭素(CO₂)排出削減費用に関する定義が不明確であり、どのような定式化を用いて求められているのか明記されていない。また、Nakajima *et al.* (2008)¹¹⁾は修正 RICE モデルを用いて、各地域の費用便益分析を行っており、Nordhaus and Boyer (2000)⁷⁾とは異なる定式化を用いているものの、費用を純便益と政策による温暖化被害減少分として表わされる便益との差として定義しているため、政策による直接効果しか捉えることしかできず、また理論的に不十分であると考えられる。

そこで、本研究は現在議論されている気候安定化政策の社会的便益を評価するために、マクロ経済理論に基づく最適成長モデルの枠組みにおいて、気候安定化政策に

よる直接効果の計測だけでなく、等価的偏差(Equivalent Variation: EV)を福祉効果、所得変化効果、投資の変化分に分割できることを提示し、各効果の計測を行うことを目的とする。このように本研究は、伝統的な費用便益分析の枠組みに基づいて等価的偏差を福祉効果、所得効果、投資の変化分にそれぞれ分割することができること、および気温変化による非市場的影響を考慮することによって、政策実施による国民福祉向上を消費水準(貨幣ターム)で評価した福祉効果を計測することができることが本研究における特徴であり、これまで行われることが少なかったマクロ経済モデルを用いた費用便益分析の1つとして位置付けられる。

本研究の構成は、2. においてマクロ経済的な費用便益分析における社会的純便益と等価的偏差の関係から、等価的偏差を分割して各効果を計測することが可能であることを示す。3. では本研究で用いるモデルの概要およびシナリオを説明し、4. において、2. で定義したEVの各効果を気候安定化政策シナリオを用いたシミュレーション分析によって計測し、その結果と考察を行う。最後に、5. において本研究の取りまとめを行う。

2. 等価的偏差を用いた社会的便益の計測方法

ここでは、森杉・林山(1992)⁹⁾に倣い、社会的純便益と等価的偏差との関係から、等価的偏差を福祉効果、所得変化効果、投資の変化分に分割して計測することができることを提示する。

初めに、気候安定化政策によるマクロ経済的評価を行うために、社会的費用、社会的便益、および社会的純便益を以下で定義する。いま、消費を C^i 、生産を Q^i 、投資を I^i 、純便益を SNB とする。また、添字 i はシナリオの有無を表し、Business-as-Usual シナリオのとき $i = 0$ であり、その他の気候安定化政策シナリオのとき $i = 1$ とする。このとき、この経済における消費を、 $t = 0$ を基準年とする現在価値として式(1)のように定義する。また、以下では各変数について現在価値換算された変数として扱い、式(1)を式(2)のように示すものとする。なお、 r は割引率を表す。

$$\sum_{t=0}^T \frac{C^i(t)}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{Q^i(t)}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{I^i(t)}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$C^i = Q^i - I^i \quad (2)$$

ここで、生産量 Q^i は気温変化がない場合の生産 Y^i に

気温変化による生産への影響 Ω^i を乗じたものとして式(3)で表わされる。

$$Q^i = \Omega^i Y^i \quad (3)$$

また、式(3)を考慮すれば、BaU ケースおよび気候安定化政策ケースにおける消費は、式(2)および式(3)より式(4)で表わされる。

$$C^i = \Omega^i Y^i - I^i \quad (i = 0, 1) \quad (4)$$

さらに、社会的純便益を気候安定化政策シナリオの消費からBaU シナリオの消費の差分とすれば、社会的純便益は式(5)で表される。

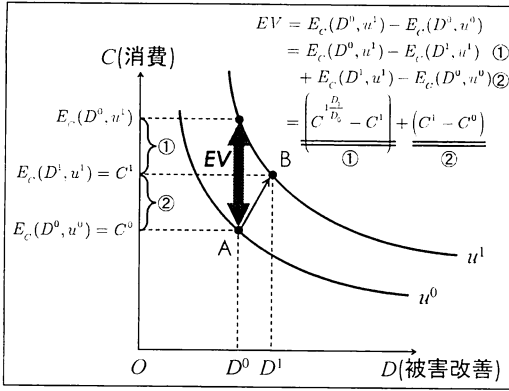
$$\begin{aligned} SNB &= C^1 - C^0 \\ &= (\Omega^1 Y^1 - \Omega^0 Y^0) - (I^1 - I^0) \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)の2つ目の等号において、右辺第1項は気候安定化政策による社会的便益を表し、政策実施による生産量の変化として表わされる。また右辺第2項は政策実施による社会的費用を表し、政策実施に要した投資の差として表される。したがって、式(5)は社会的便益 SB および社会的費用 SC を用いて式(6)として表わすことができる。

$$SNB = SB - SC \quad (6)$$

ここで、政策実施による生産量の変化が $\Omega^1 Y^1 - \Omega^0 Y^0 > 0$ であるとき、これは社会的便益を表し、一方、 $\Omega^1 Y^1 - \Omega^0 Y^0 < 0$ であるとき社会的費用を表す。同様に、政策実施に要した投資の差が $I^1 - I^0 > 0$ であるとき、これは社会的費用を表し、一方で $I^1 - I^0 < 0$ であるとき社会的便益を表す。なお、排出量取引を考慮する場合、排出量取引による収入の変化を式(5)の2つ目の等号における右辺第1項の生産量の変化に加えることにより、同様に表すことができる。

次に、等価的偏差を福祉効果、所得変化効果、投資の変化分に分割するために、上述した社会的純便益と等価的偏差との関係を示す。ここでの等価的偏差は、政策実施によって気温上昇を抑えるという変化があったとき、変化後の効用水準を保つという条件下において、その変化を諦めるために家計が必要と考える最小補償額である。それゆえ、等価的偏差 EV は効用 u^i および気温変化による影響 D^i を用いて式(7)として表わされる。



図－1 効用、消費、被害、等価的消費、EV の関係

$$\begin{aligned} EV &= E_c(D^0, u^1) - E_c(D^0, u^0) \\ &= E_c(D^0, u^1) - E_c(D^1, u^1) \\ &\quad + E_c(D^1, u^1) - E_c(D^0, u^0) \end{aligned} \quad (7)$$

ここで $E_c(\bullet)$ は効用関数の等価的消費を表す。いま、効用は消費および気温変化による影響 D^i から成るものと仮定し、効用関数を式(8)で表す。また、気温変化による影響は政策実施後に被害が軽減した場合 $D^0 < D^1$ であり、反対に被害が増大した場合 $D^0 > D^1$ であるとする。

$$u^i = u(D^i, C^i) = D^i \ln C^i \quad (8)$$

式(7)および式(8)より、等価的消費は政策実施の有無による効用および被害で表わされているものの、効用は消費に依存することから、生産や投資のような経済活動を含むことは明らかである。ここで、気温変化による非市場的被害あるいは非市場的便益を考えるために、 $D^1 \ln C^1 = u = D^0 \ln x$ を満足するような x を考えれば、 x は式(9)のように求められる。また、式(8)より $E_c(D^i, u^i) = C^i$ である。

$$x = C^1 \frac{D^1}{D^0} \quad (9)$$

したがって、式(7)で表される EV を式(5)で定義した社会的純便益を用いて改めると、式(10)として表わすことができる。

$$\begin{aligned} EV &= \left(C^1 \frac{D^1}{D^0} - C^1 \right) + SNB \\ &= \left(C^1 \frac{D^1}{D^0} - C^1 \right) + (C^1 - C^0) \\ &= \left(C^1 \frac{D^1}{D^0} - C^1 \right) + (\Omega^1 Y^1 - \Omega^0 Y^0) - (I^1 - I^0) \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、式(10)の3つ目の等号における右辺第1項は、政策実施により気温上昇に伴う被害が軽減されたことによる国民福祉向上を消費水準(貨幣ターム)で評価した福祉効果を、右辺第2項は生産量の変化による所得変化効果、そして右辺第3項は社会的費用を表す投資の変化分をそれぞれ示している。また、生産量や投資といった経済活動全体の変化は政策実施の有無による消費の差で示された $(C^1 - C^0)$ の項で表わされるのに対して、福祉効果は政策実施による消費レベル C^1 での気温変化に伴う被害の変化を表すと言うこともできる。図－1は効用、消費、被害、等価的消費、EV の関係を示しており、縦軸は消費を、横軸は被害軽減の程度、つまり右に行くほど、被害軽減の程度は大きくなることを表している。ここで、福祉効果は図－1の①、所得変化効果および投資の変化分の和は図－1の②でそれぞれ示される。

以上のように、本研究の社会的便益の計測方法は、政策実施の有無による消費、生産量および投資の差分から定義された社会的純便益と、政策実施前の状況下において、政策実施後の効用水準を維持するために必要な消費水準として定義された等価的偏差との関係を用いることにより、伝統的な費用便益分析の理論的枠組みと整合的であることを示している。また、気温変化による効用関数への影響を考慮することは気温変化による非市場的影響を考慮することを意味しているため、これによって、等価的偏差を福祉効果、所得変化効果、および投資の変化分に分割し計測できること、および政策実施による国民福祉向上を消費水準(貨幣ターム)で評価した福祉効果を計測できることを示している。

3. モデルの概要とシナリオの設定

(1) モデルの概要

本研究では、上述した気候安定化政策の各効果を計測するために Nordhaus and Boyer (2000)⁷⁾による RICE モデルを拡張した動学的最適化モデルを用いる。このモデルは温室効果ガスのうち CO_2 の排出に焦点を当て、また CO_2 の排出源である化石燃料を1つのエネルギー財に集

表－１ 被害関数のパラメータ設定値

地域	λ_1	λ_2
米国 (USA)	-0.0026	0.0017
高所得地域 (OHI)	-0.007	0.003
欧州 (ERU)	-0.001	0.0049
ロシア・東欧 (EE)	-0.0076	0.0025
中所得地域 (MI)	0.0039	0.0013
中低所得地域 (LMI)	0.0022	0.0026
低所得地域 (LI)	0.01	0.0027
中国 (CHN)	-0.0041	0.002
日本 (JPN)	-0.0042	0.0025

約しているため、CO₂を排出するエネルギー財に関する詳細な分析は行うことができないものの、モデルの定式化やそのモデルプログラムが全て公開されているため、極めて透明性及び操作性が高いモデルと行うことができる。このモデルの構造は経済活動及びそれに伴うCO₂排出量を表す経済モデルと、大気中のCO₂濃度及び気温上昇、さらには気温上昇に伴う経済活動への影響を表す気候モデルから成る。Nordhaus and Boyer (2000)⁷⁾のRICEは世界を8地域(米国(USA)、高所得地域(OHI)、欧州(EUR)、ロシア・東欧(EE)、中所得地域(MI)、中低所得地域(LMI)、低所得地域(LI)、中国(CHN))に分割しているが、本モデルは高所得地域から日本(JPN)を抜き出した9地域分割の修正RICEとしている。なお、単純化のために排出権取引は行わないものとする。

RICE および本研究のモデルは、経済および気候に関する制約条件の下、各地域の効用関数の和から成る社会厚生関数の割引現在価値の総和を最大化する。ここで、本研究における各地域の効用関数は相対的危険回避度一定型(Constant Relative rate of Risk Aversion)として定義されるが、単純化のために対数型効用関数を用いる。

一方、各地域の生産量は資本、労働、エネルギーサービスを生産要素とした Cobb-Douglas 型生産関数からエネルギーサービス費用を引いたものとして定義される。このとき、エネルギーサービスの利用に伴いCO₂が発生する。また、生産関数における資本・労働分配率を表すパラメータは各地域同一であり0.3とするものの、エネルギーサービスの分配率を表すパラメータは各地域異なり、本モデルにおいてはRICEの値を援用している。

気温変化に伴う被害は各地域で異なるものとする。気温変化による被害率を表す被害関数 $d_j(t)$ は全球平均気温の変化 $T(t)$ を変数とする2次多項式として式(11)で表される。そして気温変化による影響係数 $\Omega_j(t)$ は式(12)で表され、式(3)のようにこれを生産関数に乗じることによって、生産量の減少として表現される。なお、式(7)から式(10)で用いられる D^i は式(12)とする。

$$d_j(t) = \lambda_{1j}T(t) + \lambda_{2j}T(t)^2 \quad (11)$$

$$\Omega_j(t) = D_j(t) = \frac{1}{1 + d_j(t)} \quad (12)$$

ここで、 λ_{1j} 、 λ_{2j} は被害関数における地域固有のパラメータである。被害関数のパラメータの値は、改善の余地があり、パラメータ推定が今後の重要な課題として挙げられるものの、本研究においてはRICEの値を援用し、表－1に本研究で用いる被害関数のパラメータ設定値を示す。なお、気候モデルの構造やその他のパラメータ設定値の詳細に関してはNordhaus and Boyer (2000)⁷⁾およびNakajima *et. al.* (2008)¹¹⁾を参照されたい。

本研究における割引率に関しては、Ramsey モデルと呼ばれる最適成長モデルの枠組みに基づいて設定する。この最適成長モデルにおいては、人口を1と基準化し、1人当たりの消費の成長率が一定となる定常状態において式(13)が成り立つことが知られている。

$$r^* = \rho + \alpha g^* \quad (13)$$

ここで r^* は定常状態における資本収益率(実質利子率)、 ρ は純粋時間選好率(Pure Rate of Time Preference: PRTP)、 α は消費に関する限界効用の弾力性(Elasticity of Marginal Utility of Consumption)、 g^* は定常状態における1人あたり消費の成長率をそれぞれ表す。阪田・林山(2002)¹²⁾によれば、これは異時点間の消費の限界代替率から求められる規範的アプローチ(Prescriptive Approach)と同じであり、公共事業評価においては式(13)の右辺が社会的割引率(Social Discount Rate)に等しくなる。つまり、式(13)において、温暖化対策に関する被害や費用を現在価値換算する場合の割引率は、純粋時間選好率 ρ ではなく、資本収益率 r^* であることが分かる。Stern (2006)によって発表されたStern Review では、消費の成長率が1.3%という仮定の下、 $\rho=0.1\%$ 、 $\alpha=1$ の組み合わせから $r^*=1.4\%$ という極めて小さい割引率が用いられた。しかしながら、Stern Review のように小さい割引率は倫理的には望ましいものの、Nordhaus (1994)¹³⁾が主張するように貯蓄や投資に関して実証的に現実とは整合的ではない。また、Manne (1994)¹⁴⁾はシミュレーション分析において任意の小さい割引率は非現実的な貯蓄率の増加を引き起こすことを指摘しており、Toth (1994)¹⁵⁾は割引率を倫理的に望ましいとされる小さな水準に設定すれば、経済学的に根拠が不十分であるだけでなく、多くの政策オプションに対する費用便益分析の結果が矛盾したものになることを指摘している。このように割引率の設定の問題におい

て、PRTP や限界効用弾性値の値に関して客観的に認められ得る指標が存在せず、未だ論争が続いているものの、わが国を含めた多くの先進国が公共事業評価において 4%前後の社会的割引率を用いていることや、IPCC (2007)¹¹⁾において多くの温暖化研究で用いられる割引率は 3%から 10%の範囲内であり、特に多くの研究が低い範囲の値を採用しているとしている。また、英国では将来の不確実性を根拠に、30 年以上先については時間通減的に小さくなるような低い社会的割引率を用いることを推奨している。以上のことから、本研究では時間通減的かつ 3%から 4%前後の割引率となるような PRTP と限界効用弾性値の組み合わせを採用する。すなわち、 $(\rho, \alpha) = (3.0 - 1.4, 1)$ の組合せとする。

最後に、計算期間は 1 期間を 10 年とし、1995 年から 2195 年までの 20 期間を対象とする。

(2) シナリオの設定

ここでは上述した気候安定化政策の各効果を計測するために、シミュレーション分析において用いられるシナリオについて以下のように想定する。

a) 基準シナリオ (BASE)

本研究において基準となるシナリオであり、気候変動を緩和するための対策を一切講じないシナリオである。

b) CO₂ 濃度 450ppm 安定化シナリオ (C450)

大気中の CO₂ 濃度を 450ppm で安定化させるシナリオである。CO₂ 濃度換算にして 450ppm 程度の安定化は、約 2.0℃の気温上昇を示唆している。

c) CO₂ 濃度 550ppm 安定化シナリオ (C550)

大気中の CO₂ 濃度を 550ppm で安定化させるシナリオである。このシナリオは産業革命前の水準の約 2 倍であり、1990 年代前半に Cline (1992)¹²⁾、Nordhaus (1994)¹³⁾、Fankhauser (1995)¹⁶⁾ を初めとして温暖化対策の経済評価を行った多くの研究で用いられた CO₂ 濃度倍増シナリオ(CO₂-doubling Scenario)に相当する。

一方、上記のシナリオに加えて、本研究では効用関数への気温変化による影響を考慮する。Nordhaus and Boyer (2000)⁷⁾による RICE モデルでは気温変化による効用関数への影響は考慮されておらず、またこれまでの既存研究においても、生産に対する気温変化の影響を考慮したモデルは数多く存在するものの、効用に対する影響を考慮したモデルは極めて少ない。そこで、気温変化による効用関数への影響を考慮しないシナリオに加えて、生産関数への影響を表す被害関数と同じ関数形を用いることに

より、気温変化による効用関数への影響を考慮する。効用関数への影響を考慮することは、気温変化による非市場の被害あるいは非市場の便益を考慮することを意味し、またこれを考慮することによって、政策実施による福祉効果の測定に必要な式(9)を求めることが可能となる。しかしながら、この効用関数への影響に科学的根拠はないこと、また生産関数への被害と同じ関数形であるものの、効用関数への被害は相対的に大きくなることに注意されたい。

以上のように、本研究で用いられるシナリオは、基準シナリオ(BASE)、450ppm 安定化シナリオ(C450)、550ppm 安定化シナリオ(C550)の 3 つのシナリオに、気温変化による効用関数への影響の有無を各々考慮したシナリオを想定する。なお、以下のシミュレーション分析では、経済変数の値だけでなく、CO₂ 排出量、気温変化、大気中 CO₂ 濃度といった経済変数以外の値も数値計算より求めることができるが、本研究の目的は社会的便益の計測であるため、数値計算の結果は各シナリオの EV、福祉効果、所得効果、投資の変化分に焦点を当てる。

4. シミュレーション分析による社会的便益の計測

(1) 気温変化による効用関数への影響がない場合

気温変化による効用関数への影響がない場合における、気候安定化政策の社会的便益の各効果を表 2 に示す。各地域及び世界全体の福祉効果は、いずれの地域においても 0 である。これは気温変化による効用関数への影響が考慮されておらず、気候安定化による被害改善の効果を把握することができないためである。このことは、式(10)における 3 つ目の等号の第 1 項が 0 であることから分かる。一方、両シナリオの所得効果は全ての地域及び世界全体において負値であるため、式(5)より費用を表す。同様に、両シナリオの投資の変化は全ての地域及び世界全体において負値であるものの、式(5)より便益を表す。その結果、等価的偏差(EV)は、C550 シナリオにおける EUR や JPN のように正值になる地域も存在するものの、両シナリオのほとんど全ての地域において負値であることが分かる。これらは、本研究で用いたモデルに環境投資のような政策的制約を達成しつつ経済成長を促すメカニズムが考慮されていないため、政策的制約を課した場合に BASE ケースと比較して経済活動が減少してしまうことが原因である。このことは、式(10)の $EV = SNB$ が負であることから、 $C^0 > C^1$ であり、政策的制約を課した後の生産量および投資が減少し、経済の規模が縮小していることから確かめることができる。それゆえ、ほとんど全ての地域において、より厳しい政策は経済の規模をより縮小させるため、経済的効率性の

表－２ 気候安定化政策の社会的便益（気温変化による効用への影響なし）

		USA	OHI	EUR	EE	MI	LMI	CHN	LI	JPN	WORLD
C450	福祉効果	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	所得効果	-437.91	-64.21	-148.94	-193.87	-261.58	-322.08	-388.91	-557.80	-58.80	-2434.11
	投資変化分	-305.14	-48.43	-137.94	-109.33	-174.37	-180.76	-213.74	-313.44	-49.44	-1532.60
	等価的偏差	-132.76	-15.78	-11.00	-84.54	-87.22	-141.32	-175.16	-244.36	-9.36	-901.51
C550	福祉効果	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	所得効果	-150.31	-24.81	-65.81	-63.18	-87.13	-110.30	-126.68	-191.39	-27.29	-846.91
	投資変化分	-131.64	-23.74	-74.79	-46.20	-74.47	-81.71	-89.76	-138.69	-27.34	-688.36
	等価的偏差	-18.67	-1.07	8.98	-16.97	-12.66	-28.59	-36.92	-52.70	0.05	-158.55

(2005US 十億ドル)

表－３ 気候安定化政策の社会的便益（気温変化による効用への影響あり）

		USA	OHI	EUR	EE	MI	LMI	CHN	LI	JPN	WORLD
C450	福祉効果	19.545	4.356	66.194	3.641	25.161	47.366	12.580	135.503	4.583	318.929
	所得効果	-1323.690	-226.558	-630.561	-192.716	-448.869	-342.482	-216.598	-244.780	-233.233	-3859.488
	投資変化分	-622.869	-116.984	-384.283	-91.472	-233.091	-170.582	-113.895	-164.662	-140.945	-2038.783
	等価的偏差	-681.276	-105.218	-180.084	-97.603	-190.617	-124.534	-90.123	55.385	-87.705	-1501.776
C550	福祉効果	22.054	4.715	68.957	4.003	27.271	49.365	13.418	136.902	4.922	331.608
	所得効果	-1066.902	-169.240	-450.534	-89.390	-219.900	-197.030	-111.356	-214.630	-168.585	-2687.566
	投資変化分	51.545	-19.465	-142.011	-38.981	-119.867	-101.443	-67.486	-132.252	-41.560	-611.520
	等価的偏差	-1096.393	-145.060	-239.567	-46.406	-72.762	-46.221	-30.452	54.525	-122.103	-1744.439

(2005US 十億ドル)

観点からも支持し難いことと考えられる。また、上述したように本研究のモデルの設定上、政策的制約を課した場合に経済規模が減少してしまうことから、気候安定化政策を実施する際には、環境投資のように政策目標を達成しつつ経済成長を促すメカニズムは極めて重要であり、かつ必要不可欠な要因であることが示唆される。

（２）気温変化による効用関数への影響がある場合

気温変化による効用関数への影響がある場合における、気候安定化政策の社会的便益の各効果を表－３に示す。各地域及び世界全体の福祉効果は、全ての地域において正値で示されることが分かる。これは気候安定化政策を実施することにより気温上昇が抑えられるため、政策実施の前後における影響は $D^0 < D^1$ であり、式(10)における３つ目の等号の第１項が正値となることから確認できる。また表－３から、EUR、LMI、LI のように相対的に福祉効果が大きい地域は、政策実施によって気温上昇に伴う被害の軽減が大きいいため、福祉効果が気温上昇による影響に依存することが分かる。一方、等価的偏差(EV)は両シナリオのほとんど全ての地域において負値となることが分かる。これは効用関数への影響を考慮しない場合と同様に、政策的制約を課した場合に経済の規模が縮小することに加えて、式(10)から $((C^1)^{D^1/D^0} - C^0) + (C^1 - C^0) < 0$ であり、第１項の福祉効果よりも負値で示される第２項の経済規模の縮小の方が大きいことが原因である。これに対して、表－３より LI は両シナリオにおいて EV が正値を示しているが、これは経済規模の縮小以上に極めて大きな福祉効果によるものと考えられる。以上のことから、福祉効果が正値で

あったとしても、ほとんど全ての地域において、より厳しい政策の EV が負値を示すことは経済規模の縮小を意味するため、効率性の観点からより厳しい政策は支持し難いことと考えられる。しかしながら、気候変化による効用関数への影響を考慮した場合、気候安定化政策が厳しくなるほど、先進諸国の EV は増加し、途上国の EV は減少する傾向が見られることから、EV を用いた政策評価のみならず、地域間の公平性を考慮した政策評価が必要であると考えられる。

５．おわりに

本研究は、現在議論されている気候安定化政策の社会的便益を費用便益分析の観点から評価するために、等価的偏差を福祉効果、所得効果、投資の変化分の各効果に分割できることを示し、それらの効果をシナリオを用いたシミュレーション分析によって計測した。その結果、本研究で得られた知見を以下に示す。

- ① 費用便益分析における社会的純便益と等価的偏差の関係から等価的偏差を、政策実施により気温上昇に伴う被害が軽減されたことによる国民福祉向上を消費水準(貨幣ターム)で評価した福祉効果、生産及び排出権収入の変化による所得変化効果、そして社会的費用を表す投資の変化分に分割できることを提示した。本研究の枠組みは、伝統的な費用便益分析の理論的枠組みと整合的であり、また効用関数への被害を考慮した場合にも対応できることが示

された。

- ② 気温変化による効用関数への影響がない場合、 $EV = SNB$ が負であることから、 $C^0 > C^1$ であり、政策的制約を課した後の生産量および投資が減少し、経済の規模が縮小している。それゆえ、ほとんど全ての地域において、より厳しい政策は経済の規模をより縮小させるため、効率性の観点から支持し難いことが示された。
- ③ 気温変化による効用関数への影響がある場合、全ての地域及び全てのシナリオにおいて、正の福祉効果が確認された。しかしながら、福祉効果が正値であったとしても、ほとんど全ての地域において、より厳しい政策のEVが負値を示すことは経済規模の縮小を意味するため、効率性の観点からより厳しい政策は支持し難いことが示された。
- ④ 気温変化による効用関数への影響の有無にかかわらず、気候安定化政策を実施する際には、環境投資のように政策目標を達成しつつ経済成長を促すメカニズムは極めて重要であり、かつ必要不可欠な要因であることが示唆された。

また、本研究を通じて、今後の課題を以下に示す。

- ① 本研究で用いたモデルの設定において、環境投資のように政策目標を達成しつつ経済成長を促すメカニズムが考慮されていないため、このようなメカニズムを組み込んだモデルによる分析が必要である。
- ② シナリオにおいて、気温変化による効用関数への影響を ad hoc に与えたが、今後はより最新の科学的知見に基づいた効用関数への影響を考慮する必要がある。
- ③ 社会的便益の各効果を計測することを目的としたため、極めて集約化したモデルを用いたが、気候変動はCO₂のみならず、多くの温室効果ガスが要因と考えられているため、より多くの温室効果ガス及びそれらの排出源となり得る多くのエネルギー財を考慮する必要がある。

最後に、本研究では2つの衡平性について明示的に議論を行っていないことを今後の重要な課題と考える。1つは現在世代の経済活動を重視するか、あるいは現在の経済活動を諦めて将来世代の経済活動を重視するかという「異世代間の衡平性」の議論である。一方、もう1つは先進国の社会厚生を重視するか、あるいは途上国の社会厚生を重視するかという「世代内における地域間の衡平性」の議論である。どちらの議論とも現段階では理論的な合意は取られておらず、長期的かつ不可逆的な気候変動問題においては極めて重要な問題である。しかしな

がら、異世代間の衡平性を割引率の観点から見れば、割引率を時間通減的もしくは3%から4%程度で設定して分析を行った Peck and Teisberg (1994)¹⁷⁾、Manne et al. (1995)¹⁸⁾、Tol (1997)¹⁹⁾、および Nordhaus and Boyer (2000)⁷⁾ は「近い将来の GHG 排出削減は小さく、遠い将来に渡って厳しい GHG 削減を行うことが最適である」と結論付けている。これに対して、道徳的観点や将来世代重視により低い割引率を設定して分析を行った Cline (1992)⁹⁾ や Stern (2006)⁴⁾ は「近い将来に緊急かつ急激な GHG 削減を行うことが最適である」と結論付けている。本研究では3%から1.4%への時間通減的な割引率を用いているため、前者と同様の結論となるものの、割引率に関する感度分析も含めて異世代間の衡平性に関する議論を行う必要がある。一方、世代内における地域間の衡平性については、全球規模において如何なる社会厚生関数を設定するか問題であり、先進国と途上国の厚生ウェイトについて客観的に決定することは困難であるものの、何らかのウェイト付けやシナリオを用いたアプローチを用いて分析が行われてきている。例えば、Nordhaus and Boyer (2000)⁷⁾ や Mori (1996)²⁰⁾ は Negishi (1960)²¹⁾ によって示された、各地域の所得の限界効用が一定となるようなウェイト付け(Negishi Weight (Method))を用いて社会厚生関数を構成している。また、蟹江ら(2007)²²⁾ は国際的排出削減差異化方法として「収縮と収斂(Contraction and Convergence)」つまり地球上の全ての人々は炭素制約の中で等しく GHG 排出を行う権利を持つという意味での衡平性を重視したアプローチを用いて地域間の衡平性を検討している。本研究では Nordhaus and Boyer (2000)⁷⁾ による RICE を用いているため、社会厚生関数を考慮する際に Negishi Weight による各地域の効用関数の統合を行っているものの、地域間の衡平性を考慮した複数シナリオの検討も今後の課題として必要である。

以上のように、本研究で示された枠組みは、伝統的な費用便益分析の理論的枠組みと整合的であり、かつ政策による各効果を数量的に捉えることができるため、このような費用便益分析の枠組みを用いた気候安定化政策の評価は重要であると考えられる。しかしながら、気温変化による生産及び効用への経済的影響の評価、異世代間の衡平性、および世代内における地域間の衡平性に関しては未だ大きな課題であるため、これらを如何に想定するかによって、結果及びその評価が大きく変わることには十分な注意が必要であることは言うまでもない。

謝辞：本研究は、平成20年度科学研究費補助金(若手研究(スタートアップ)、課題番号：20810002)の助成を得たことを付記し、謝意を表する次第である。また、東北大学大学院経済学研究科 森杉壽芳特任教授、林山泰久教授

および匿名のレフェリーに、非常に多くの貴重なコメントを頂いた。ここに深甚の謝意を表する次第である。なお、本研究における誤りの全ては筆者に帰すこととは言うまでもない。

参考文献

- 1) IPCC: Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Group III to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2007.
- 2) 松岡謙: 危険な気候変化のレベルと気候変動政策の長期目標, 環境研究 No.138, pp.7-16, 2005.
- 3) 脇岡靖明: 地球温暖化抑制のための温室効果ガス安定化レベルの検討, 環境研究 No.138, pp.67-76, 2005.
- 4) Stern, N.: The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge University Press, 2006.
- 5) Cline, W.R.: The Economics of Global Warming, Institute for International Economics, 1992.
- 6) Nordhaus, W.D.: Rolling the 'DICE': An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases, Resource and Energy Economics 15, pp.27-50, 1993.
- 7) Nordhaus, W.D. and Boyer, J.: Warming the World: Economic Models of Global Warming, The MIT Press, Cambridge, 2000.
- 8) 森杉壽芳編: 社会資本整備の便益評価: 一般均衡理論によるアプローチ, 勁草書房, 1997.
- 9) 森杉壽芳, 林山泰久: 明治・大正期鉄道網形成の社会的便益, 土木学会論文集, No.440/IV-16, pp.71-90, 1992.
- 10) 鷲田豊明: 環境政策と一般均衡, 勁草書房, 2004.
- 11) Nakajima, K., Hayashiyama, Y. and Morisugi, H.: Evaluation of Possibilities of Climate Stabilization Policy considering Different Discount Rates: Simulation Analysis using the Modified RICE Model, Discussion Paper No.230, Tohoku Economics Research Group, February 2008.
- 12) 阪田和哉, 林山泰久: 社会資本ストックの社会的割引率に関する実証的研究, 応用地域学研究 No.7, pp.99-109, 2002.
- 13) Nordhaus, W.D.: Managing the Global Commons: Economics of Climate Change, The MIT Press, Cambridge, 1994.
- 14) Manne, A.S.: The Rate of Time Preference: Implication for the Greenhouse Debate, pp.467-483, in Integrative Assessment of Mitigation, Impacts, and Adaptation to Climate Change, Eds.: Nakicenovic, N., Nordhaus, W.D., Richels, R. and Toth, F.L., CP-94-9, IIASA, Laxenburg, 1994.
- 15) Toth, F.L.: Practice and Progress in Integrated Assessment of Climate Change: A Review, pp.3-31, in Integrative Assessment of Mitigation, Impacts, and Adaptation to Climate Change, Eds.: Nakicenovic, N., Nordhaus, W.D., Richels, R. and Toth, F.L., CP-94-9, IIASA, Laxenburg, 1994.
- 16) Fankhauser, S.: Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse, Economic & Social Research Council, Earthscan, 1995.
- 17) Peck, S.C. and Teisberg, T.J.: Optimal Carbon Emissions Trajectories When Damages Depend on the Rate or Level of Global Warming, Climate Change 28, pp.289-314, 1994.
- 18) Manne, A., Mendelsohn, R. and Richels, R.: MERGE: A Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies, Energy Policy, Vol.23, No.1, pp.17-34, 1995.
- 19) Tol, R.S.J.: On the Optimal Control of Carbon Dioxide Emissions: An Application of FUND, Environmental Modeling and Assessment 2, pp.151-163, 1997.
- 20) Mori, S.: MARIA-Multi-regional Approach for Resource and Industry Allocation Model-and Its First Simulations, pp.85-108, in Global Warming, Carbon Limitation and Economic Development, Eds.: Amano, A., CGER-REPORT, 1996.
- 21) Negishi, T.: Welfare Economics and Existence of An Equilibrium for A Competitive Economy, Metroeconomica 12, pp.92-97, 1960.
- 22) 蟹江憲史, 脇岡靖明, 西本裕美, 森田香葉子: 2050 年温室効果ガス世界半減シナリオの日本へのインプリケーション, 地球環境, Vol.12, No.2, pp.135-143, 2007.

MEASUREMENT OF SOCIAL NET BENEFIT OF CLIMATE STABILIZATION POLICY

Kazunori NAKAJIMA

To evaluate social benefit of climate stabilization alternatives from view points of cost-benefit analysis, this study is intended to theoretically show to divide equivalent variation by that alternatives into public-welfare effect that evaluates the monetary expression of damage improvement due to temperature decrease, income-change effect by changes in output, and changes in investment that means social cost, and to measure each effect by simulation analysis using macroeconomic model. Our results show that our framework of cost-benefit analysis is consistent with that of the traditional cost-benefit analysis, can quantitatively assess policy effects and can be applied in considering the damage by temperature change to utility function.