

平成22年 4月14日現在

研究種目：若手研究(スタートアップ)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20810002
 研究課題名(和文) 動学的最適化型マクロ経済モデルによる気候変動安定化政策評価のための費用便益分析
 研究課題名(英文) Cost Benefit Analysis for Evaluation of Climate Stabilization Policy by Dynamic Optimal Macroeconomic Model
 研究代表者
 中嶋 一憲 (KAZUNORI NAKAJIMA)
 東北大学・大学院生命科学研究科・助教
 研究者番号：70507699

研究成果の概要(和文)：

本研究は、費用便益分析の観点から動学的最適化型マクロ経済モデルを用いて気候安定化政策を理論的かつ実証的に評価した。理論分析において、等価的偏差(EV)を効用の変化分を貨幣タームで評価した福祉効果、生産および排出権収入の変化による所得変化効果、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示した。一方、実証分析において、気候安定化政策が厳しくなるほど、気温変化による効用関数への影響を考慮しない場合、全地域のEVが減少するのに対して、効用関数への影響を考慮した場合、全地域の福祉効果が確認され、かつEVが増加する地域と減少する地域に分かれることを示した。

研究成果の概要(英文)：

This study evaluates climate stabilization alternatives theoretically and empirically from view points of cost-benefit analysis by using dynamic optimal macroeconomic model. Results of theoretical analyses show that equivalent variation (EV) by those alternatives can be divided into public-welfare effect that evaluates changes in utility in monetary term, income-change effect by changes in output and emissions trading income, and changes in investment that means social cost. On the other hand, empirical results show that strict climate stabilization alternatives decrease EV in all regions without impacts of climate change on utility, while those alternatives increase and decrease EV in each region and public-welfare effects are found with that.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	760,000	228,000	988,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,860,000	558,000	2,418,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：環境影響評価・環境政策

キーワード：気候変動問題，厚生経済学，費用便益分析，等価的偏差，福祉効果，動学的最適化モデル，温暖化被害のフィードバック，政策シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

これまで温暖化研究の分野には膨大な蓄積が見られることは言うまでもない。特に、統合評価モデルを用いた定量分析は急速に発展し、Nordhaus and Boyer(2000)¹⁾によるDICE/RICE や Manne et al.(1995)²⁾によるMERGE を初めとして、わが国においても国立環境研究所と京都大学の共同開発によるAIMの研究成果が挙げられ、これらの研究成果はIPCC 第4次報告書にも大きく貢献している。しかしながら、IPCC 第4次報告書を初めとする数多くの定量分析に関する既存研究において、様々なシナリオ分析に用いられるBaUシナリオ(「なりゆきシナリオ」とも呼ばれる)が、温暖化による市場経済への被害を考慮せず、現在の経済活動が将来に渡って続いていくことを想定しているため、経済活動による気候変動が経済活動に及ぼす影響を正當に評価することはできない。

一方、社会的動向から見ても、2006年11月に発表されたStern(2006)³⁾によるStern Reviewは「緊急かつ急激な温室効果ガスの削減」を提言していることや、わが国においても2007年5月の安倍晋三前首相の「美しい星50」を通じて、世界のGHG排出量を2050年までに現状から半減することの可能性やその対策が議論されていることから、温暖化対策の定量評価に対するニーズが大きいことを窺い知ることができる。藤野ら(2007)⁴⁾、増井ら(2007)⁵⁾では、温暖化による深刻な影響を回避するためには、先進国において厳しい温室効果の削減を行わなければならないことから、日本での低炭素社会実現に向けた可能性やその対策経路について論じており、現時点で既知の対策を組み合わせることによって約70%の温室効果ガス削減が可能であるとしている。しかしながら、温暖化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行われていない。ミクロ経済理論に基づく応用一般均衡モデルを用いた費用便益分析は便益評価理論として確立しているものの(例えば、森杉(1997)⁶⁾)、マクロ経済理論に基づく経済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す。中でも、DICE/RICE、MERGE、AIM/Policyのようなマクロ経済モデルは、温暖化による被害のフィードバックを考慮した市場経済の理論的非整合性、費用便益分析における便益や費用の定義の不明確さによって、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。

引用文献

- 1) Nordhaus, W. D. and Boyer, J. : Warming

the World: Economic Models of Global Warming, The MIT Press, Cambridge, 2000.

- 2) 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, 17-34, 1995.
- 3) Stern, N. : The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge University Press, 2006.
- 4) 藤野純一, 日比野剛, 梶原友樹, 松岡譲, 甲斐沼美紀子: 低炭素社会のシナリオとその実現の可能性, 地球環境 Vol. 12, No. 2, 153-160, 2007.
- 5) 増井利彦, 松岡譲, 日比野剛: バックキャストによる脱温暖化社会実現の対策経路, 地球環境 Vol.12, No.2, 161-169, 2007.
- 6) 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.

2. 研究の目的

本研究は、近年、地球温暖化評価の分野で用いられている環境経済モデルの理論的未解決部分に対して厚生経済学の立場から理論的精査を行うこと(理論分析)を第1目的とし、多地域・動的な環境経済モデルの構築とそれを用いたシミュレーション分析による、気候安定化政策の経済評価、および政策オプションの提示(実証分析)を行うことを最終目的とする。

本研究における第1の目的は、地球温暖化問題の政策分析で用いられる統合評価モデル※において、温暖化被害を考慮したBusiness-as-Usual(以下、BaU)としての市場経済を理論的に定式化することである。すなわち、温暖化による市場経済への被害を考慮せず、現在の経済活動が将来に渡って続いていくことを仮定したこれまでのBaUシナリオを、温暖化による市場経済への被害のフィードバックを考慮した新たなBaUシナリオとして理論的に提示することを目的とする。また、BaUシナリオとしての市場経済における温暖化の限界的被害費用の理論的導出を行うことを目的とする。ここで市場経済とは、マクロ経済成長理論における市場経済の問題と同義である。

第2の目的は、マクロ経済モデルにおいて、等価的偏差(EV: Equivalent Variation)の概念を用いた便益評価理論の確立を行うこと

である。すなわち、マクロ経済モデルを用いた政策分析において、効率的な政策の判断基準を与えるための費用便益分析の理論的考察、およびその理論的妥当性の検証を行うことを目的とする。ここでの効率的とは、社会的純便益の最大化を意味する。

第3の目的は、費用便益分析を用いた地球温暖化問題における政策シミュレーション分析、および政策オプションの提示を行うことである。すなわち、構築した理論モデルのプログラミング、その挙動確認を行った後、政策シミュレーションによって効率的な政策オプションの提示、および温暖化研究分野における既存研究結果との比較・検討を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は理論分析および実証分析の2つから大別される。以下では理論分析、実証分析に分けて、これらの研究方法を示す。

(1) 理論分析の方法

理論分析において、3段階の研究プロセスを考える。

第1に、BaUシナリオとしての経済活動への温暖化被害のフィードバックを考慮した市場経済の問題を定式化する。Ramseyモデルを基礎とした最適成長モデルでは、温暖化影響を考慮したとしても、市場経済の問題は経済活動に関する制約条件下での効用最大化問題として定義され、市場経済は経済活動を表す微分方程式系と温暖化による外部性(影響)を表す微分方程式系によって表されることが確認されている。一方、社会計画者の問題は経済活動に関する制約条件と温暖化による外部性に関する制約条件下での効用最大化問題として定義され、市場経済の問題と同様に経済活動と温暖化による外部性に関する微分方程式体系で表されるものの、これら2つのダイナミクスは全く異なることが確認されている。この2つの経済の異なる点は、①市場経済の問題において、温暖化による外部性は最適化問題の制約条件には含まれないこと、②2つの経済のダイナミクスは経済活動および温暖化による外部性から成る微分方程式体系で表されるが、それらは全く異なることである。このように経済理論においては、これら2つの経済ははっきりと異なることが示されているが、政策シミュレーションで用いられる統合評価モデルでは、その計算解法ゆえに、最大値原理ではなく非線形計画問題として解いているため、市場経済の問題の解法に理論的非整合性が存在する。そこで、まず市場経済の問題を非線形計画問題として定式化し、その解法を提示する。さらに、市場経済における温暖化の限界被害費用と限界削減費用を導出する。社会的計画者の問

題においては、温暖化による外部性のシャドウプライスを所得の限界効用で除したものとして炭素価格が導出され、これに温暖化による外部性に関する制約式を用いることによって、生産に与える被害と効用に与える被害とに分割することができる。これを所得の限界効用で除すれば、温暖化の限界被害費用として表される。従って、市場経済の限界被害費用は、ここで導出された限界被害費用の式を市場経済の問題に適用すればよく、一方、限界削減費用は市場経済の問題においては温室効果ガスを削減する必要がないためゼロとなる。

第2に、等価的偏差(EV)の概念を用いることによって、マクロ経済モデルにおける便益評価理論を提示する。まず、市場経済および社会的計画者の問題における消費・生産・投資の関係を表す恒等式から、これら2つの経済における消費の差として社会的純便益を定義する。次にこれら2つの経済における効用関数からEVを定義すれば、EVは2つの経済の等価的消費の差として表すことができる。このEVに消費の差として定義した社会的純便益を用いれば、EVは効用に与える効果を表す福祉的效果、生産の変化による所得の増大効果、投資の変化分の3つに分割することができる。また、前者2つの和は社会的便益を、後者の投資の変化分は社会的費用と捉えることができる。

第3に、上述した理論モデルのプログラミングおよびモデルの挙動確認を行う。第1プロセスで構築した市場経済の問題を非線形計画問題として解くために、根岸ウェイトを求めるときに用いられる繰り返し過程の解法を援用する。ここでは、市場経済の問題を非線形計画問題として解く際に、温暖化による外部性に関する遷移式を初めに外生的に与えてから最適化問題を解き、求められた経済活動に関する制約式を温暖化による外部性に関する遷移式に代入し、この式(値の系列)を更新していく。任意の収束判定基準を満たすまで繰り返された解は、連立微分方程式で表される市場経済の問題の解に等しくなるため、計算機を用いたシミュレーション分析が可能となる。

(2) 実証分析の方法

実証分析においても、3段階の研究プロセスを考える。

第1に、理論分析において構築した全球モデルを多地域モデルに拡張する。ここでは、Nordhaus and Boyer (2000)¹⁾によるRICEモデルを用いるものの、RICEモデルは世界を8地域(米国、高所得地域、欧州、ロシア・東欧、中所得地域、中低所得地域、低所得地域、中国)に分割しているため、本研究で拡張したモデルは高所得地域から日本を抜き出し

た9地域分割の修正 RICE である。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。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は全球平均気温の変化を変数とする 2 次多項式として表わされ、この影響係数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。

第2に、シミュレーション分析において用いられる政策シナリオの設定及び不確実性下での意思決定基準の整理を行う。近年、気候変動による深刻な影響を回避するために厳しい温室効果ガスの削減が求められていることから、以下の4つの気候安定化シナリオを想定する。

① 基準シナリオ

(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)

② CO2 濃度 450ppm 安定化シナリオ

(大気中の CO2 濃度を 450ppm で安定化させるシナリオであり、CO2 濃度換算にして 450ppm 程度の安定化は、約 2.0°C の気温上昇を示唆)

③ CO2 濃度 550ppm 安定化シナリオ

(大気中の CO2 濃度を 550ppm で安定化させるシナリオであり、産業革命前の水準の約 2 倍を想定した CO2 濃度倍増シナリオ (CO2-doubling Scenario) に相当)

④ CO2 濃度 650ppm 安定化シナリオ

一方、不確実性下での意思決定基準については、以下の4つの基準を取り上げる。

① ラプラス基準

(各シナリオが発生する確率を等確率と考え、期待値を最大にする代替案を選択する基準)

② マキシミン(マックスミニ、ワルド)基準

(最も悲観的な立場に立った基準であり、この場合には、シナリオは代替案の選択

に対してその結果が最悪となるような状態となることを意味した基準)

③ フルビッツ(ハービッツ)基準

(楽観度を示すパラメータを用いて悲観的立場と楽観的立場にウェイトを付けた基準)

④ ミニマックス損失基準

(もし、あるシナリオの状態が真(最も利得が高いシナリオ)であることを知っていれば選択した利得(得られる利得)を、知らなかったために別の選択をしたことによって生じる損失を意味する基準)

第3に、気候安定化シナリオを用いたシミュレーション分析により、気候安定化政策の経済評価を行う。ここでは、気候安定化シナリオの選択に対する意思決定基準の適用、及び気候安定化政策の社会的便益に対する等価的偏差、福祉効果、所得効果、投資の変化分の各効果の計測をそれぞれ行う。

4. 研究成果

(1) 理論分析における研究成果

理論分析においては、地球温暖化評価の分野で用いられている環境経済モデルの理論的未解決部分に対して厚生経済学の立場から理論的精査を行った。この研究成果は以下の通りである。

第1に、市場経済への温暖化被害のフィードバックを考慮した BaU シナリオとしての市場経済の定式化に関して、マクロ経済成長理論を用いた理論的考察から、以下の2点が示された。

① 市場経済の問題において、温暖化の外部性は最適化問題の制約条件に含まれないこと

② 市場経済と社会的最適の2つの経済の動学体系は経済活動および温暖化による外部性から成る微分方程式体系で表現されるが、それらは全く異なる体系であること

第2に、等価的偏差(EV)の概念を用いたマクロ経済モデルの便益評価理論の提示においては、以下の点が示された。

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、気候安定化政策による直接効果だけでなく、等価的偏差を紅葉の変化分を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、それぞれ理論的観点から分割できること

第3に、経済活動への温暖化被害のフィードバックを考慮した市場経済の問題を非線形計画問題として解くために、資本ストックおよび温暖化被害に着目した繰り返し過程による計算から、以下の2点が示された。

① これまでの BaU の値は過小評価であると考えられること

- ② 経済活動への温暖化被害のフィードバックを考慮した市場経済の問題は、それを考慮しない場合のBaUと比較して、大きくは異なるものの差が生じること

(2) 実証分析における研究成果

実証分析においては、検討した理論分析の結果を踏まえて、多地域・動的な環境経済モデルの構築とそれを用いたシミュレーション分析による、気候安定化政策の経済評価を行った。この研究成果は以下の通りである。

第1に、気候安定化シナリオの選択にいくつかの意思決定基準を適用し評価を行い、以下の点が示された。

- ① 全球規模では、いずれの意思決定基準を用いても、CO₂濃度 650ppm シナリオが選択される結果となる。一方、日本への適用を行った分析では、多くの意思決定基準においてCO₂濃度 650ppm シナリオが選択されるものの、より悲観的な立場を重視する意思決定基準を用いた場合には、より厳しいCO₂濃度 550ppm シナリオが選択される結果となる

第2に、気候安定化政策の社会的便益を評価するために等価的偏差(EV)との関係に着目し、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することによって、これらの効果を計測し、以下の点が示された。

- ① 気温変化による効用関数への影響がない場合、気候安定化政策による社会的便益は、ほとんど全ての地域において、より厳しい政策によってEVが減少することから、より緩やかな気候安定化政策ほどEVは大きくなることが示唆された
- ② 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、社会的便益に対する正の福祉効果が確認された。また、福祉効果は気温変化による影響の大きさに依存し、気温変化による影響が大きいほど、より厳しい気候安定化政策の福祉効果は大きくなることが示された
- ③ 気候安定化政策が厳しくなるほど、気温変化による効用関数への影響を考慮しない場合、全ての地域のEVが減少するのに対して、効用関数への影響を考慮した場合、EVが増加する地域と減少する地域に分かれることが示された

(3) おわりに

本研究は、①市場経済への温暖化被害のフィードバックを考慮したBaUシナリオとしての市場経済を定式化すること、②EVの概念を用いたマクロ経済モデルの便益評価理論を提示すること、③理論的整合性を有する環境経済モデルを用いたシナリオ分析による政

策評価、の3つの目的をもって分析を行った。

①および②のテーマにより、経済活動による気候変動が経済活動に及ぼす影響を正當に評価することが可能となるだけでなく、マクロ経済モデルにおいて新たな便益評価理論を提供することが可能となる。さらに、③のテーマにより、②で構築された費用便益分析を用いて政策シナリオの経済評価を行うことは、政策決定プロセスにおける透明性を担保することが可能である。それゆえ、これらの研究成果が、IPCC第5次報告書に向けた科学的知見として、またポスト京都や2050年に向けた気候安定化政策の定量評価に大いに貢献できるよう、本研究で取り上げることができなかった項目を含めて、さらなる精査が必要であることは言うまでもない。

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9件)

1. 中嶋一憲, 林山泰久, 森杉壽芳, 地球温暖化のマクロ的経済評価の系譜と知見, 地球環境, 査読有, Vol.14, No.2, 2009, 299-307.
2. 大野栄治, 森杉壽芳, 林山泰久, 中嶋一憲, 干潟・ブナ林の生物多様性維持機能の経済評価: CVMによるアプローチ, 地球環境, 査読有, Vol.14, No.2, 2009, 285-290.
3. 林山泰久, 菊池愛美, 中嶋一憲, 途上国における環境クズネッツ曲線の成立可能性, 地球環境研究論文集, 査読有, Vol.17, 2009, 153-162.
4. 大野栄治, 林山泰久, 森杉壽芳, 中嶋一憲, 地球温暖化による熱中症死亡リスクの経済評価: CVMによるVSLの計測, 地球環境研究論文集, 査読有, Vol.17, 2009, 183-192.
5. 大野栄治, 林山泰久, 森杉壽芳, 中嶋一憲, 佐尾博志, CVMによるブナ林の経済価値の計測, 環境システム研究論文集 Vol.37, 査読有, 2009, 283-290.
6. 中嶋一憲, 肱岡靖明, 温暖化による日本の被害コストについて, 環境経済・政策学会2009年大会報告要旨集, 査読無, 2009, CD-ROM.
7. 中嶋一憲, 林山泰久, 森杉壽芳, 大野栄治, 「温暖化の危険な水準」を検討する際の意思決定基準とその適用, 環境システム研究論文集, 査読有, Vol.36, 2008, 69-77.
8. Kazunori Nakajima, Yasuhisa Hayashiyama and Hisayoshi Morisugi, 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, 査読無, February 2008, 1-23.

9. 中嶋一憲, 林山泰久, 森杉壽芳, 温暖化被害を考慮したBaUシナリオに関する考察, 環境経済・政策学会 2008 年大会報告要旨集, 査読無, 2008, CD-ROM.

[学会発表] (計 7 件)

1. 大野栄治, 林山泰久, 森杉壽芳, 中嶋一憲, 佐尾博志, CVMによるブナ林の経済価値の計測, 第 37 回環境システム研究論文発表会, 2009 年 10 月 25 日, 明星大学.
2. 中嶋一憲, 脇岡靖明, 温暖化による日本の被害コストについて, 環境経済政策学会 2009 年大会, 2009 年 9 月 27 日, 千葉大学.
3. 大野栄治, 林山泰久, 森杉壽芳, 中嶋一憲, 地球温暖化による熱中症死亡リスクの経済評価: CVMによるVSLの計測, 第 17 回地球環境シンポジウム, 2009 年 9 月 12 日, 沖縄大学.
4. 林山泰久, 菊池愛美, 中嶋一憲, 途上国における環境クズネツ曲線の成立可能性, 第 17 回地球環境シンポジウム, 2009 年 9 月 12 日, 沖縄大学.
5. 中嶋一憲, 動的最適化モデルを用いた気候安定化政策に関する費用便益分析, 東北大学生態適応グローバルCOE第22回生態適応セミナー, 2009 年 8 月 12 日, 東北大学大学院生命科学研究科.
6. 中嶋一憲, 林山泰久, 森杉壽芳, 大野栄治, 「温暖化の危険な水準」を検討する際の意思決定基準とその適用, 第 36 回環境システム研究論文発表会, 2008 年 10 月 18 日, 名城大学.
7. 中嶋一憲, 林山泰久, 森杉壽芳, 温暖化被害を考慮したBaUシナリオに関する考察, 環境経済・政策学会 2008 年大会, 2008 年 9 月 28 日, 大阪大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中嶋 一憲 (KAZUNORI NAKAJIMA)
東北大学・大学院生命科学研究科・助教

研究者番号: 70507699