

温暖化ガス削減政策の世代間負担

伴 金 美

This paper analyzing the intergenerational burden sharing of greenhouse gas abatement policies in Japan by using two types of applied general equilibrium models, which are developed by Rasmussen (2003). It is frequently well known that the current generations tend to get benefit by sacrifices of future generations in several serious economic problems such as climate change and government debt. In the paper, we present two dynamic applied general equilibrium models. One is a traditional infinite lived agent model, and the other is an overlapping generation model. We present several simulations by using the two models and evaluate the impact of decisions by finite lived agent on the climate change abatement policies. The results shows that generations to be born after 2030 will suffer from significant losses of their welfares, which contrasts form that of infinite lived agent model.

I. はじめに

経済成長にともなう二酸化炭素を中心とする温暖化ガスの排出増加により、気候変動が引き起こされ、将来世代に多大の負担を負わせることが懸念されている。このような地球規模の問題解決にあたって、世界は国連を中心として二つの組織体を構築し、それらを巧みに組み合わせることで対応している。一つはIPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) であり、気候学者から経済学者まで幅広い分野の科学者を中心とする組織で、科学的知見の集積を目的としている。もう一つは、UFNCCC (The United Nations Framework Convention on Climate Change: 気候変動に関する国際連合枠組条約) である。この組織はIPCCのとりまとめた科学的な知見を参考としながら、京都議定書とよばれる2008年～2012年までを目標として、各国の削減幅の決定や、削減方法など

について検討している政府間組織である。京都議定書は1997年に策定されたものであるが、具体的な手順の詳細のつめに時間を要し、最終的な合意は2001年にマラケシュで行われている。しかし、その直前に米国が離脱したが、2005年2月にロシアの批准で発効している。

京都議定書の画期的なところは、削減目標を打ち出し、それを実現するための政策手段について、国際的な合意形成がなされたことである。一方、IPCCでは、京都議定書の目標を達成する政策手段とその効果と影響について評価を行っている。IPCC第三次報告書(1991)には、192のモデルによる562のシナリオについて分析結果がまとめられている。

IPCCの報告書によれば、京都議定書で合意された削減目標を達成するための費用は、各国によって大きく異なることが示される。例えば、日本やEUの削減費用は、米国やロシアと比較すれば格段に大きい。そのため、各国が個別に目標を達成するとすれば非効率な結果をもたらすことになる。このような各

国の削減費用の違いに対して、京都議定書は排出権取引と CDM (Clean Development Mechanism) による補完的な制度を提案している。前者の排出権取引制度は、京都議定書の枠組みにおいては、排出枠を設定された附属書 I 条約国間の取引に限定されるが、排出権を売買することで世界全体の削減費用の通減を図るものである。

一般的に、排出量の削減は排出行為に何らかの費用負担を求めることで実現できる。炭素税は排出量に一定の税を賦課し、需要を抑制する方法である。一方、排出権は排出量を定めてそれを権利として売買することで利用者を決める方法である。炭素税の場合、排出量の目標を達成するために必要となる税率の算定が難しいとされるが、目標が達成できる税率込みの価格は排出権価格と一致するはずである。したがって、炭素税率と排出権価格を区別する意味は大きくない。

京都議定書に定められた排出削減目標を実現するために生じる削減費用の評価、生産や消費、産業構造への影響分析は、IPCC のシナリオ分析にも利用されている環境経済モデルにより行われる。環境経済モデルは、一つ一つの技術をベースとして、排出制約と価格体系の変化に伴って採択される技術のアクティビティーの変化を追うボトムアップ形式モデルと、動学的応用一般均衡モデルに代表されるトップダウン型モデルに大別される。ボトムアップ型の代表は Kainuma et.al (2003) による AIM モデル、Elzen and Lucas (2003) による FAIR/IMAGE モデルが代表的である。一方、トップダウン型モデルとしては、Nordhaus and Boyer (2000) による RICE/DICE モデル、Burniaux, et.al. (1992) による GREEN モデル、Mackibbn

and Wang (1998) による G-Cube モデルなどがある。

動学的応用一般均衡モデル¹⁾では、企業、家計及び政府が意志決定主体として存在し、生産関数や効用関数に基づく最適的行動が方程式として記述される。例えば、RICE/DICE モデルは次のようなラムゼイ型最適成長モデルとして定式化される。

$$\max_{c_t} \sum_{t=1}^{\infty} \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^t u \left(\frac{C_t}{L_t} \right) \quad (1)$$

$$L_t = L_0(1+n)^t$$

$$Y_t = \phi(M_t) K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$$

$$Y_t = C_t + I_t \quad (2)$$

$$E_t = A(t) Y_t$$

$$K_{t+1} = I_t + (1-\delta) K_t$$

$$M_{t+1} = E_t + (1-\eta) M_t$$

Y_t : 所得 C_t : 消費 I_t : 投資

L_t : 人口 K_t : 資本 α : 分配率

ρ : 割引率 δ : 減耗率

n : 人口増加率 E_t : 汚染量

M_t : 汚染蓄積量 $A(t)$: 汚染抑制技術

η : 自然浄化率

なお、RICE モデルは多地域モデルであり、効用関数は地域数だけ存在する。その場合、各地域の効用を根岸条件に基づいて集計して社会的厚生関数を定義し、それを最大化とするように計算が行われる。

ところで、地球温暖化問題は、今世の後半以降に深刻化する温暖化による気候変動による費用を、現世代がどのように負担するかの問題として理解されている。したがって、環境保全政策を評価することは、将来費用を現世代がどれだけ深刻にとらえるかにかかっているとされる。動学的応用一般均衡モデル

では、多くの場合、ラムゼイ型最適成長モデルに見られるように、無限に生き続ける経済主体 (Infinite Live Agent) が仮定され、その立場から経済活動の長期にわたる推移を、一定の割引率で現在価値であらわし、それを評価対象としている。そのため、政策評価が割引率の大きさに左右されることが知られている。この問題は、1993年のIIASAのワークショップで議論されたトピックスであるが、Energy Policies 1995年特集号に掲載されている。その中で、Manne (1995)によれば、割引率が5%以上であれば、今世紀半ば以降に発生すると思われる地球環境問題に今現在取り組む必要はないことになる。一方、Lind (1995)は、世代間の衡平性の観点から、割引現在価値を用いて比較することの問題を指摘し、現在世代の決定が将来世代の決定にバイアスをもたらさないことが重要であり、費用・便益分析で評価される尺度だけで衡平性を考えるのではなく、地球環境の修復不可能な破滅的シナリオを避けることが世代間の衡平性の観点から重要であることを示している。その意味で、Schelling (1995)が指摘するように、地球環境問題をラムゼイ型最適成長モデルの観点である異時点間の代替の問題として捉えるのではなく、世代間の配分の問題として考えることが必要となる。したがって、世代毎の効用関数を明示、政策変更が各世代の効用にどのような影響を与えるかを検討することをSchellingは提案している。

世代毎の効用関数を明示して動学的な分析を行うことは、Diamond (1965)以来マクロ経済学の大きな潮流となっており、世代重複型モデル (Overlapping Generation Model) とよばれるが、新しい世代が毎期間誕生するモデルは、政府国債残高の世代間負

担の問題など、世代間の利害が対立する問題を検討する上で大きな貢献を行ってきている。特に、Auerbach and Kotlikoff (1987)の開発したモデル (A-Kモデル)は、世代重複モデルを計算可能なシミュレーションとして完成させ、世界的に広く用いられているに至っている。²⁾

A-Kモデルは、財政政策の分野で世界的に用いられている。一つの問題点は、モデル記述に用いられる言語にある。世代重複モデルはFORTRANというコンピュータ用の汎用言語で書かれることが多い。その大きな理由は、KotlikoffがモデルをFORTRANで記述して公開しており、パラメータを適当に変更すれば、必要なシミュレーションが簡単にできることが大きな理由と考えられる。しかし、方程式自体に修正を加えようとしたり、あらたな枠組みを取り入れて拡張しようとする場合、汎用言語による記述は大きな負担となる。³⁾ところで、マクロ計量モデルや応用一般均衡モデルの分野では、モデルがコンピュータ言語で直接書かれることは希であり、モデル言語とよばれるモデル分析用ソフトウェア上で記述されることが多い。A-Kモデルのこのような問題に対して、Rasmussen and Rutherford (2001)は、世代重複モデルをGAMS/MPSGE (The General Algebraic Modeling System / Mathematical Programming System for General Equilibrium Analysis)⁴⁾という応用一般均衡モデルの分野で広く用いられるソフトウェア上で解くアルゴリズムを提案した。さらに、その応用例として、Rutherford (2000)はデンマーク、Rasmussen (2003)は米国について、世代重複型多部門動学的応用一般均衡モデルを作成し、温暖化排出削減費用の世

代間負担について分析を行っている。本論文は、彼らのモデル記述を用い、日本について作成された社会会計データによるモデルを再構築し、同様な分析を試みようとするものである。

II. モデル

社会会計表

応用一般均衡モデルを構築する上で、初期時点での均衡データセットとなる社会会計表が必要となる。本論文では、2000年の産業連関表と同年の国民経済計算確報を用いて簡易型社会会計表を作成している。社会会計表の枠組みは以下に示す通りである。なお、網線部分は、今回のモデルにおいて重要な役割を果たす要素である。

社会会計表を行方向に見れば、財及び生産要素がどの産業、どの最終需要項目にどれだ

け使用されたか理解することができる。一方、縦方向に見れば、各産業の投入物の構成、最終需要項目の構成について理解することができる。もちろん、各部門の貯蓄の総和はゼロとなる。なお、輸出における貯蓄とは経常収支の赤字を意味する。

本論文では、産業を表 2 に示されるように 29分類としている。なお、石油とガスは分離したいところであるが、2000産業連関表では同一産業として扱われることから、本論文では、石油とガスの区別は行っていない。なお、ガス供給業は大きな装置産業であるが、ガス・熱供給業としてエネルギー産業の扱いを行っている。

家計

表 1 の産業分類は、ラムゼイ型動学的応用一般均衡モデルと世代重複型動学的応用一般均衡モデルで共通である。両者の差異は、家

表 1 社会会計表

		産業				生産要素		最終需要					合計		
		1	2	29	労働	資本	家計	政府	投資	輸出	輸入		関税	
財	1														
	2														
														
	29														
生産要素	労働														
	資本														
経済主体	家計														
	税														
	貯蓄														
合計															

表 2 産業分類

石炭	原油・天然ガス・石油製品	電力
ガス・熱供給	農林水産	鉱物
食料品	繊維製品	木材・紙・パルプ
化学	窯業・土石	鉄鋼
非鉄金属	一般機械	電気機械
輸送機械	その他の製造工業製品	再生資源回収・加工処理
建設・不動産	水道	廃棄物処理
商業	金融・保険	輸送
通信・放送	公共サービス	対事業所サービス
対個人サービス	その他	

計の細分化において異なる。ラムゼイ型モデルでは家計は一つであるが、世代重複型モデルでは複数存在する。さらに、動学的に見れば、世代重複型モデルの家計は、ある期に生まれ、一定期間存在した後で消えるが、同時点においては、複数世代が併存する。

Auerbach and Kotlikoff (1987) 及び Rasmussen (2003) に従い、 $t=g$ で生まれる世代を g 世代とし、 $N+1$ 期間生存するものとする。各世代は、次の効用関数を最大するように、貯蓄、消費、労働時間と余暇を選択するものと仮定する。

$$\max_{Z_{gt}} \sum_{t=g}^{g+N} \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^{t-g} \frac{Z_{gt}^{1-1/\varepsilon}}{1-1/\varepsilon} \quad (3)$$

$$Z_{gt} = (\phi c_{gt}^{1-1/\sigma} + (1-\phi) l_{gt}^{1-1/\sigma})^{\sigma/(1-\sigma)}$$

$$\sum_{t=g}^{g+N} p c_t c_{gt} \leq \sum_{t=g}^{g+N} p l_t (\omega_{gt} - l_{gt}) \quad (4)$$

$$l_{gt} < \omega_{gt}$$

$$c_{gt}, l_{gt} \geq 0$$

c_{gt} : 消費量 l_{gt} : 余暇時間
 Z_{gt} : 総消費量 ω_{gt} : 要素賦存量
 $p c_t$: 消費財価格 $p l_t$: 賃金

要素賦存量は、効率単位で測られている。

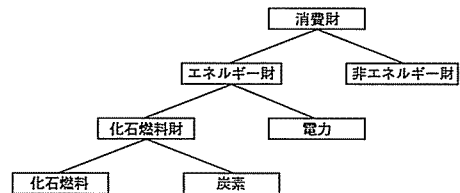
なお、 c_{gt} は消費する財・サービスの結合財として定義されるが、図1に示される多段階入れ子型の効用関数に基づいている。入れ子構造の最下層は、石炭、石油・ガスの各化石燃料の利用に際して二酸化炭素が一定量排出されることを意味している。この場合、化石燃料と二酸化炭素はレオンチェフ型の固定係数で結合されている。家計は二酸化炭素の排出から効用を得ることはないが、化石燃料を消費することで何らかの効用が得られる。

二酸化炭素排出量は、排出制約が無ければ価格はゼロであるが、何らかの制約が課せられると非負の市場価格が成立し、費用を発生させることになる。このときに発生する費用は炭素税または排出権価格と考えることができる。

次に、化石燃料財と電力は競合関係にあるが、CES型の代替関係が想定されている。最後に、エネルギー財と非エネルギー財についてCES型の代替関係が想定されている。

家計の最適化行動によれば、消費財価格、賃金、要素賦存量の時間的プロファイルが与えられれば、各時点における労働供給と財サービスに対する需要量が決定される。

図1 多段入れ子型消費効用関数



生産

生産構造は化石燃料産業と非化石燃料産業で異なる。非化石燃料産業については、図2で示される多段階入れ子型の生産関数に基づいている。このような生産関数は、その構造を最初に用いたモデルの名を冠してGREEN型生産構造とよばれる。⁵⁾ 基本的特徴として、エネルギーと資本が一つの入れ子を形成し、資本・エネルギー投入財として扱われる。すなわち、エネルギーと資本財の間にCES型代替関係が想定される。さらに、それが労働と結合して付加価値・エネルギー投入財を形成し、これが他の中間投入財とともに用いられて生産が行われる。なお、図2に示される

構造の最下層は、消費構造と同様に石炭・石油・ガスの各化石燃料の利用にあたり二酸化炭素排出が一定量排出されることを意味している。当然、化石燃料と二酸化炭素はレオンチェフ型で結合されており、化石燃料と炭素排出量は同じ比率が保たれる。消費と同様に、二酸化炭素排出量は、排出制約が無ければ価格はゼロであるが、何らかの制約が課せられると非負の市場価格が発生し、炭素税や排出権価格と同等な役割を果たす。なお、化石燃料と電力は競合関係にあり、ここでも CES 型の代替関係が想定されている。

図 2 多段入れ子型生産関数 (非化石燃料)

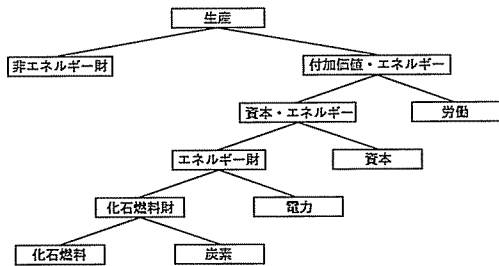
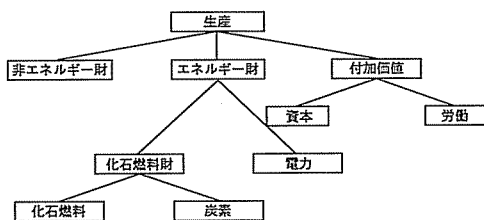


図 3 多段入れ子型生産関数 (化石燃料)



化石燃料産業の生産構造は、Rutherford (2000) と Rasmussen (2003) をはじめ、他の多くの応用一般均衡モデルにおいても、非化石燃料生産構造と異なるものが仮定されている。化石燃料生産においては、枯渇資源の採掘であることから資源の賦存量が大きな役割を果たすためである。しかし、わが国の枯

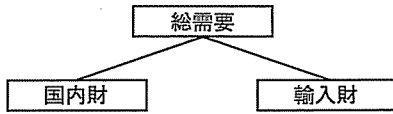
渇資源としての化石燃料生賦存量はゼロであり、大部分を海外に依存していることから、化石燃料生産を非競争輸入財として扱うことで化石燃料生産業として独立に扱う必要性は小さいかもしれない。しかし、本論文では石炭業に原料炭の кокс・ коксガス化部門が含まれており、さらに石油・ガス産業に石油精製業が含まれることから、産業として内生的に扱っている。ただ、本論文では、非化石燃料産業と異なり、図 3 のような生産構造を仮定している。もちろん、資本や労働を増加させても化石燃料の生産は増加しないのは当然であり、エネルギー投入物、中間投入物と付加価値投入はレオンチェフ型固定係数が仮定される。

生産活動においても、中間投入財価格、賃金、資本サービス価格及び生産量を所与とすれば、中間投入財、労働及び資本に対する需要量が決定される

アーミントン構造

価格が与えられれば、家計消費需要及び企業の中間投入需要が決定されるが、さらに最終需要である投資と輸出を加えて総需要が決まる。それに対して、総供給は国内生産と海外からの輸入によって賄われる。応用一般均衡モデルでは、国内生産財と輸入財を異なる財として扱うアーミントンの仮定を用い、総需要を国内生産財と輸入財に振り向ける。そのメカニズムは図 4 で示されるように、国内財と輸入財は競合財として、CES 型関数によって代替関係を仮定している。なお、モデルでは、生産も国内向財と輸出財を異なる財として扱う。

図4 アーミントン構造



動学構造

世代重複型応用一般均衡モデルにおいては、各家計は自らの要素賦存量のプロファイルに基づいて動学的最適化行動を行い、各時点で労働供給と余暇の選択、消費量を決定する。必要に応じて、借入、貯蓄又は貯蓄の取り崩しを行う。各世代は貯蓄による資産形成を行うが、資産は最終時点で取り崩され、次世代への遺産贈与は仮定しない。

動学モデルにおける各時点の粗投資総額は、その時点において存在する各世代の家計貯蓄の総和によって決まり、⁶⁾各期の資本ストックと粗投資総額との関係は次のようにあらわされる。

$$K_{t+1} = I_t + (1 - \delta)K_t \quad (5)$$

I_t : 粗投資 K_t : 期首資本ストック

δ : 資本減耗率

本論文のシミュレーションでは、初期時点は動学的均衡状態にあると仮定され、次の関係が成立しているものとされる。

$$YR_t = K_t(r + \delta)$$

$$I_t = K_t(\gamma + \delta) \quad (6)$$

YR_t : 資本所得 r : 市場利子率

γ : 労働 (効率単位) 増加率

III. データとカリブレーション

モデルの社会会計表基本データセットの原データとして、総務省の2000年産業連関表と内閣府経済社会総合研究所2000年国民経済計算確報を用いる。初期時点である2000年において、(6)式で表される動学的均衡条件が成立するように、投資及び資本ストックについて修正が加えられている。⁷⁾

世代プロフィール

世代は5年を一つの世代とし、20歳になった時点でモデルに加わり、その後70歳までの11期間生存すると仮定する。したがって、初期時点においては、70年前に誕生した世代から、20年前に誕生した世代までの合計11世代が同居していることになる。なお、シミュレーションは、40期間、すなわち2000年から2200年までの200年間について行われる。モデルにおける各世代に含まれる人口は、物理的人口数ではなく、効率単位として扱う。したがって、わが国は今後50年程度人口減少が予想されるが、モデルでは効率的人口単位で測って年率1%の増加を想定する。

(3)式及び(4)式で表される各世代が消費と余暇の最適配分を決定するモデルにおけるパラメータとして、次の値を用いている。

異時点間の代替弾力性 (ϵ) 0.5

消費と余暇の代替弾力性 (σ) 0.8

消費比率 (ϕ) 0.5

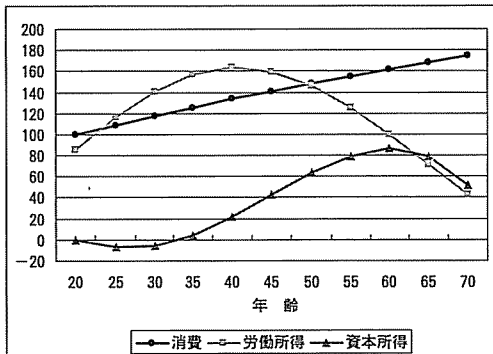
なお、各世代毎の年齢によって増減する労働生産性プロフィールは各世代について同じとし、Rasmussen (2003) の次式の想定に基づいて計算している。ここで、 a は年齢で

ある。

$$\ln \pi(a) = 1.07846 + 0.09716a - 0.01517a^2 + 0.00007a^3 \quad (7)$$

以上の想定の下で、(3)式と(4)式で計算される2000年に存在する各世代の消費、貯蓄及び資産の合計が、2000年の均衡データセットと一致するように、主観的割引率(ρ)と各世代の要素賦存総量が内生的に決められる。本論文で作成したモデルで内生的に計算される割引率は、 $\rho = 0.029$ である。一方、世代毎の消費及び所得のプロファイルは、図5に示される通りである。20~24歳世代の消費を100として世代毎のプロファイルを示している。それによれば、20~24歳は消費が所得を上回り、借入世代となる。一方、50歳を分岐点として、消費が労働所得を下回り始める。資本所得は、30~34歳までマイナスが続き、それ以降、資産の増加とともに資本所得も増加に転じる。資本所得のピークは60歳であり、それ以降は資産の取り崩しにより、資本所得自体も減少に転じる。

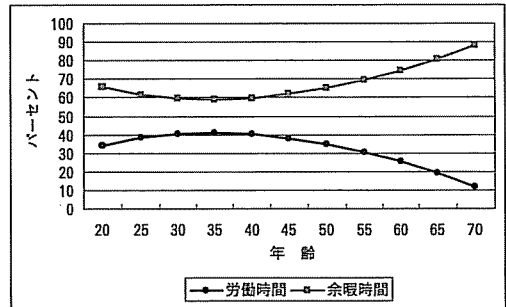
図5 初期時点での消費・所得のプロファイル



一方、図6は各世代における労働時間と余暇時間の比を示している。それによれば、25

~45歳の労働時間は、全時間の40%で安定している。余暇時間は、20~24歳で66%と高いが、それ以降は60%で推移し、50歳以降にその比率を高め、70~74歳では88%に達する。しかし、余暇時間が100%を占めることはない。

図6 労働時間と余暇時間の比率



各世代の消費財から生じる効用は、表3に示される構造が仮定される。まず、エネルギー財と非エネルギー財の代替弾力性、非エネルギー財間での代替弾力性及び化石燃料と電力との代替弾力性は0.5である。もちろん、最下層の化石燃料と炭素排出との代替弾力性は0であり、レオンチェフ型の固定係数型効用を形成する。

表3 消費財効用関数

	代替弾力性
エネルギー財と非エネルギー財	0.50
非エネルギー財	0.50
化石燃料と電力	0.50
化石燃料と炭素排出	0.00

生産構造のパラメータ

各産業は、図2と図3で示される多段階入れ子型の生産構造を持っているが、各入れ子内での生産はCES (Constant Elasticity of Substitution) 型であり、特殊ケースとしてレオンチェフ型生産構造とコブダグラス生産

構造を含んでいる。各生産関数における生産素間の代替弾力性値を、表4に示している。それによれば、非化石燃料産業における資本とエネルギーの代替弾力性は0.25、資本・エネルギーと労働の代替弾力性は0.8である。また、エネルギー間の中で、化石燃料と電力の代替弾力性は0.5である。一方、化石燃料産業における生産は、非エネルギー中間投入物、エネルギー中間投入物及び付加価値のレオンチェフ型固定係数生産関数として扱われる。また、資本と労働の代替弾力性は1.0、化石燃料と電力の代替弾力性は0.5である。

表4 生産における要素間代替弾力性

非化石燃料生産	代替弾力性
エネルギーと付加価値・エネルギー	0.25
資本エネルギーと労働	0.80
エネルギーと資本	0.25
化石燃料と電力	0.50
化石燃料と炭素排出	0.00
非エネルギー中間投入間	0.00

化石燃料生産	代替弾力性
非エネルギー、エネルギー、付加価値	0.00
資本と労働	1.00
化石燃料と電力	0.50
化石燃料と炭素排出	0.00
非エネルギー中間投入間	0.00

モデルのクロージャー

モデルを閉じるために、経常収支は次のように扱われている。なお、経常収支は、財サービス収支のみで、所得収支と移転収支はモデルでは扱われていない。経常収支の赤字（日本の場合は黒字）は、長期均衡においてゼロを仮定することもできるが、本論文では均衡成長率に基づいて増加し、定常均衡においては経済規模に比した経常収支黒字は一定の比率とされる。

$$\sum_{i=1}^N X_{it} - \sum_{i=1}^N M_{it} = CADEF_0(1+\gamma)^t \quad (8)$$

X_{it} : 輸出 M_{it} : 輸入
 $CADEF_0$: 経常収支赤字
 γ : 均衡成長率

政府収支についても同様に、財政赤字が均衡成長率で増加し、定常均衡では経済規模に比した財政赤字は一定の比率となるとされる。なお、政府支出も均衡成長率での増加が仮定されている。

$$\begin{aligned} & \tau_{it} p l_i L_i + \tau_{it} p r_i K_i + \sum_{i=1}^N \tau_{it} p_{it} Q_{it} \\ & + \sum_{i=1}^N \tau_{mit} p m_{it} M_{it} + GDEF_0(1+\gamma)^t \quad (9) \\ & = p g_t G_0(1+\gamma)^t \quad (9) \end{aligned}$$

τ_{it} : 労働所得税率 τ_{it} : 資本所得税率
 τ_{it} : 物品税率 τ_{mit} : 輸入関税率
 $p l_i$: 賃金 $p r_i$: 資本サービス価格
 P_{it} : 生産物価格 $p m_{it}$: 輸入価格
 L_i : 雇用者数 K_i : 資本ストック
 Q_{it} : 生産量
 $GDEF_0$: 初期時点政府赤字
 G_0 : 初期時点政府支出

既に述べたように、モデルでは2000年から2200年までの200年（40期間）について解かれる。モデルに含まれる世代は計50世代であるが、2155年から2200年までに生まれる各世代については、計算の終端時期である2200年においても存在している。そのために、モデルでは Lau, Pahlke and Rutherford (2002) の提案する方法にしたがい、2200年以降均衡成長が持続することを仮定して終端条件を設定している。次節におけるシミュレーション結果は、最初の100年間について示している。

IV. シミュレーション

シミュレーションでは、ベースラインとして、 $\gamma = 0.01$ 、すなわち、1%の均衡成長率をベースラインとして、二酸化炭素排出量を京都議定書に基づく水準まで削減するケースと比較する。京都議定書に基づく削減量とは、2008年～2012年までに1990年の排出量水準から6%減少させるものである。ただ、2001年のマラケシュ合意により森林での吸収として3.9%を認められたことから、実際の削減幅は2.1%である。なお、1990年における二酸化炭素排出量は1億1193万トンであり、それが2000年では1億2371万トンに増加している。したがって、京都議定書を遵守するための二酸化炭素排出量の上限は1億957万トンとなる。シミュレーションでは、削減を2000年から開始することを仮定し、2012以降も2045年まで上限枠が持続するものとしている。それに対して、2050年以降は、定常均衡解を得るために、上限枠も1%で増加することを仮定している。

モデルでは、二酸化炭素排出量に上限が設けられると、二酸化炭素排出に対して正の価格がつき、それが炭素税あるいは排出権価格となる。なお、モデルでは炭素税・排出権収入は政府の税収とされる。二酸化炭素排出量と排出権価格は図7と図8に示される。

シミュレーションは、一つの代表的家計が無限に存在して貯蓄・投資を決定するILA (Infinite Live Agent) モデルと、OLG (Overlapping Generation) モデルの二つについて計算を行っている。それによれば、マクロレベルでの価格や成長経路について、両者のおおきな違いは存在しない。これは、両方のモデルのベースラインとして、1%の均

衡成長を仮定していることによる。実際、図8に示される炭素税・排出権価格の経路は、最初の数期間で若干の差異があるものの、それ以降については同じ価格となる。それによれば、第一期目である2000年～2005年において、二酸化炭素トンあたりの炭素税・排出権価格は、ILA モデルで2477円、OLG モデルでは1780円となる。二期目では、各々3794円と3924円となる。炭素税・排出権価格はその後上昇を続け、2050年に1万7800円で安定する。炭素税・排出権価格が2050年以降安定化するの、それ以降における排出上限が均衡成長率と同じ率で増加に転じるためである。なお、図7に示されるように、2045年におけるベースラインの排出量は2億トンであるのに対して、2050年までの京都議定書の排出枠は1億957万トンである。⁸⁾

図7 二酸化炭素排出量

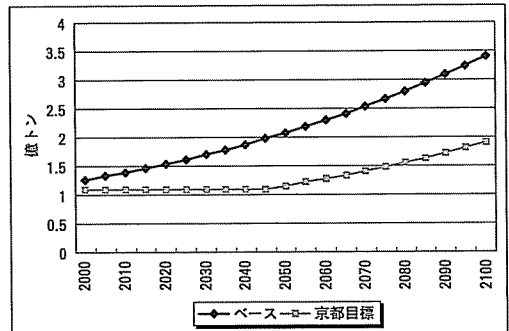
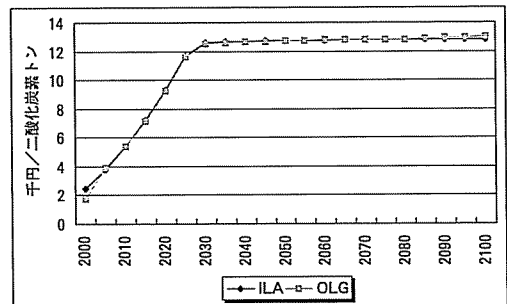


図8 炭素税・排出権価格



炭素税・排出権価格の賦課による、産業別の価格と生産量の変化について、IIAモデルとOLGモデルで大きな差異はない。シミュレーション結果によれば、均衡レベルで化石燃料である石炭価格は32.7%、石油・ガスは13.7%上昇する。一方、エネルギー転換産業である電力の価格は29.1%上昇する。電力価格が石油・ガスに比して高騰するのは、近年の石炭発電の増加が影響している。一方、鉄鋼価格は20.7%上昇する。ところで、最も価格の上昇するのは2000年産業連関表から新たに取り入れられた再生資源回収業で40%上昇する。再生資源回収業の大きな中間投入物として、石炭、石油・ガスの比重が高く、その影響を強く受けていると考えられる。また、窯業・土石の価格上昇は11%、運輸の価格上昇11.7%と高くなるのも化石燃料集約型産業の特徴である。

炭素税・排出権価格上昇による生産物価格の上昇は、当該生産物の生産量を低下させる。シミュレーション結果によれば、石炭の減少が最も大きく58.5%に達し、次いで石油・ガスの28.3%限が続く。価格上昇の著しい電力の減少幅は、生産価格の上昇にかかわらず、8.5%の減少に止まる。さらに、鉄鋼が8.8%、運輸が6.0%減少する。

図9は、IIAモデルとOLGモデルについて、京都議定書に添って二酸化炭素排出量の削減を行った場合の、マクロで集計された消費と投資の動向を表している。それによれば、消費については、2020年まではIIAモデルの消費はOLGモデルの消費と比較して低く抑えられるが、それ以降については、OLGモデルの方が低く抑えられる。ただ、投資については、初期時点を除けば、2020年まではOLGモデルにおいて抑えられるのに対して、

2050年以降はIIAモデルの方が抑さえられる傾向にある。すなわち、IIAモデルでは、二酸化炭素排出抑制に対して、消費を抑えて余力を投資に廻す傾向が強いが、OLGモデルでは消費を抑制するインセンティブは少なくなり、その分、将来世代の消費が抑制される傾向にあるのが顕著である。

図9 消費・投資の動向

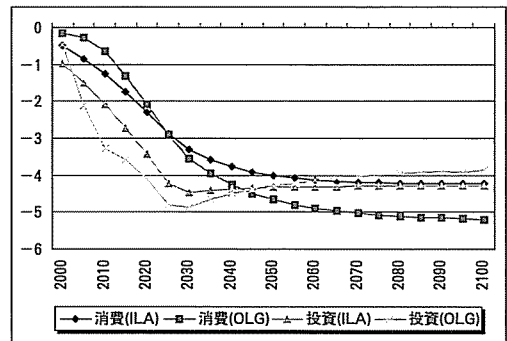


図10は、各時点におけるマクロレベルでの労働時間と余暇時間の推移を表したものである。IIAモデルによれば、ベースラインからの削減量が増加するにしたがって、化石燃料利用の削減を、資本と労働の増加でおぎなう傾向が顕著にあらわれ、定常状態ではベースラインと比較して、労働時間は1.16%増加する一方で、余暇時間は0.58%減少する。それに対してOLGモデルでは、当初は大きな変化はなく、2025年以降に労働時間が増加して余暇時間が減少することで対応が始まり、2100年時点で、労働時間0.38%の増加、余暇時間は0.18%の減、定常均衡では労働時間は0.22%、余暇時間は0.11%の減少となる。すなわち、OLGモデルの方が、二酸化炭素排出抑制のマクロレベルでの労働時間・余暇選択に与える影響が小さくなる。

第10図 労働時間と余暇時間への影響

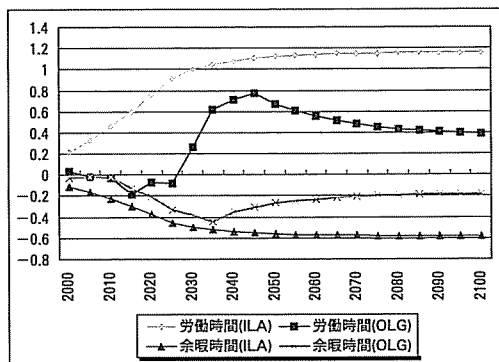
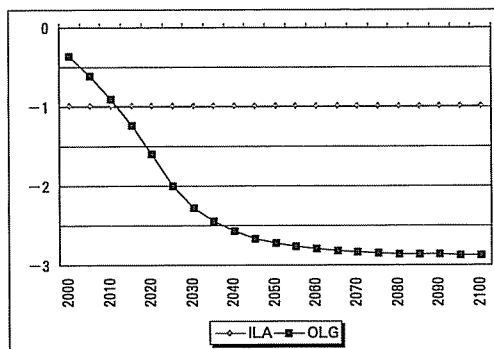


図11世代毎の効用の変化



最後に、図11は二酸化炭素排出抑制による各世代の効用の減少率を表したものである。なお、ILA モデルでは効用関数は一つであり、その減少率は0.98%である。したがって、OLG モデルで計算される各世代の効用の減少分は、世代毎に大きく異なる。まず、2000年に20歳となった世代の効用の減少幅は0.36%である。このことは2000年時点で生存している世代の効用の減少幅は、0%から0.36%の間となることを意味する。一方、2005年に20歳となる世代の効用の減少は0.61、次第にその減少幅を増加させ、2100年に20歳となる世代の効用の減少幅は2.87%ととなる。したがって、二酸化炭素排出抑制の世代負担は、後世代においてその負担が著しく高まることを意味している。なお、本論文で用いた動学的応用一般均衡モデルは、温暖化による気候変動に伴う被害については何ら考慮していない。気候変動によって生ずる被害は、後世代ほど大きくなるのは IPCC の予測によっても明らかである。図10の効用の減少幅は、その被害を考慮しないものであることを考えれば、後世代の負担の大きさには危惧の念を覚える。

V. 結論と課題

本論文では、経済主体が永続的に存続すると仮定する (ILA) 動学的応用一般均衡モデルと世代重複型 (OLG) 動学的応用一般均衡モデルを用いて、京都議定書が目指す二酸化炭素排出削減政策が、日本経済に対してどのような影響をあたえるかの評価を行った。分析結果によれば、二酸化炭素排出削減政策は、化石燃料の利用から生じる二酸化炭素排出を費用として認識することの必要性が明白となるとともに、その影響が特定の産業と将来世代に影響することを示した。特に、後世代の負担が大きくなるのは、経済成長の中で化石燃料の利用の増加が見込まれることで、その削減費用が年とともに急速に上昇することによる。経済主体が永続的に存続すると仮定する動学的応用一般均衡モデルでは、将来の被害を効用関数の中に取り込むことで、将来世代の痛みを現世代が感じることができるが、そのようなモデルから得られる結論は、二酸化炭素削減をできるだけ早期に初めて、現世代が痛みの一部を負う可能性があるが、割引率如何によっては、将来世代の負担を過小評価する危険性もある。一方、世代重複型

動学的応用一般均衡モデルでは、各世代が世代の効用を最大化することしか考えないことから、対応が先送りとなる傾向の高まることが示される。ただ、いずれのモデルにおいても、世代間の負担の差は大きく、どのように配分するかはモデルを超えた大きな問題である。

本論文の分析に用いたモデルは、Rasmussen (2003) によるものであるが、彼は世代間負担だけでなく、税収の環流による影響がどのように異なるかを分析している。世代重複モデルの開発目的は、税制負担が世代間の配分の問題にどのような影響を持つかを分析するためのものであり、Rasmussen と同様な分析が今後望まれる。特に、炭素税などの税収を還元する政策として、消費税減税、資本所得減税、労働所得（又は社会保障）減税のどちらに振り向けるかが、大きな注目を浴びており、分析を行う必要性が高い。しかし本論文で用いたモデルは開発途上にあり、現在のところ税収還元策の影響を十分に評価できるまでに至っていない。なお、Rasmussen の米国モデルでは、税収還元を、労働所得税、資本所得税および消費税について評価しており、それによれば、労働所得課税と資本所得課税への税収環流の場合は両者で大きな差異はなく、消費課税と比べると現世代の効用を若干高め、後世代の効用を大きく低下させる。その意味で、世代間負担の問題を考慮すれば、消費課税を減税することが望ましいことになる。世代重複モデルによる税制分析の場合、資本所得税や労働所得税よりも消費課税を操作することが推奨される傾向が強いが、Rasmussen の分析においても同様な結論となっている。

注

- 1) 動学的応用一般均衡モデルは、Lau, Pahlke and Rutherford (2002) による Forward Looking 型モデルと Ianchovichina and McDougall (2000) による Recursive Dynamic 型モデルの二つがある。本論文では、前者のモデルを用いる。
- 2) A-K モデルの最近の展望論文としては、川崎・島澤 (2003) がある。
- 3) 世代重複モデルの分野でも、最近では川出 (2003) に見られるように Forward Looking 型モデルで用いられる TROLL でモデルを解くケースが中心となりつつある。
- 4) GAMS は、地球環境経済モデルの構築に広く用いられるモデル言語である。この分野では、モデルは広く公開され、第三者が簡単に検証することができる。すなわち、シミュレーションモデルを開発して計算するだけでなく、第三者によっても追試可能な形態で残すこともモデル分析における大きな課題として課せられている。特に、Rutherford (1999) の開発した MPSGE は、多部門・多地域・多期間の応用一般均衡モデルの開発に大きく貢献している。
- 5) Burniaux et.al. (1992)
- 6) 正確には、政府財政収支と経常収支については、初期時点の不均衡がその後均衡成長率で増加する仮定している。したがって、投資総額は、家計の貯蓄から政府赤字と経常収支の黒字分を除いた額となる。
- 7) 2000年のデータにおいては、本論文で用いるパラメータの下では、均衡データセット作成に必要な修正は最少であった。
- 8) 炭素税・排出権価格は、これまで炭素トンあたりで評価されることが多いが、二酸化炭素トンあたりの価格で評価される傾向にある。なお、前者は、後者の価格を3.67倍すれば良い。したがって、炭素税・排出権価格は、炭素トン換算で最大4万6900円となる。

参考文献

- 川出真清 (2003) 「高齢化社会における財政政策—世代重複モデルによる長期推計—」, 『財務総合政策研究所ディスカッションペーパー』03A-25。
- 川崎研一・島澤 諭 (2003) 「一般均衡型世代重複シミュレーションモデルの開発—これまでの研究事例と今後の発展段階—」『ESRI Discussion Paper』73, (内閣府経済社会総合研究所)
- A.J. Auerbach and L.J. Kotlikoff (1987), *Dynamic Fiscal Policy*, Cambridge University Press.
- Burniaux, J.M., J.P. Martin, G. Nicoletti and J.O. Martins (1992), GREEN: a Multi-sector Multi-Region General Equilibrium Model for Quantifying the Costs of Curbing CO₂ Emissions, *OECD Economic Department Working Papers* 116.
- Diamond, P.A. (1965), National Debt in a Neoclassical Growth Model, *American Economic Review* 55, pp.1125-1150.
- den Elzen, M.G.J. and P. Lucas (2003), FAIR 2.0 - A decision-support tool to assess the environmental and economic consequences of future climate regimes, The National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), The Nether land.
- Ianchovichina, E. and R. McDougall (2000), Theoretical Structure of Dynamic GTAP, *GTAP Technical Paper* No. 17.
- Kainuma, Matsuoka, Morita, Masui and Takahashi (2003), Cost Analysis of Mitigation Policy, in Kainuma et.al. eds., *Climate Policy Assessment: Asia-Pacific Integrated Modeling*, Springer.
- Lau, M.I., A. Pahlke and T.F. Rutherford (2002), Approximating Infinite-Horizon Models in a Complementarity Format: A Primer in Dynamic General Equilibrium Analysis, *Journal of Economic Dynamics and Control* 26, pp.577-609.
- Lind, R.C. (1995), Intergenerational Equity, Discounting, and the Role of Cost-Benefit Analysis in Evaluation Global Climate Policy, *Energy Policies* 23, pp.379-386.
- Manne, A (1995), The Rate of Time Preference: Implications for Greenhouse Debate, *Energy Policies* 23, pp.391-394.
- McKibbin, W.J. and Z. Wang (1998), The Cubed Model: a Tool for Analyzing Agriculture in a Globalizing World, *Brookings Discussion Papers in International Economics* 139.
- Nordhaus, W.D. and J. Boyer (2000), *Warming the World: Economic Models of Global Warming*, The MIT Press.
- Shelling, T.C. (1995), Intergenerational Discounting, *Energy Policies* 23, 395-401.
- Rasmussen, T.N. (2003), Modeling the Economics of Greenhouse Gas Abatement: Overlapping Generations Perspective, *Review of Economic Dynamics* 6, pp.99-119.
- Rasmussen, T.N. and T.F. Rutherford (2001), Modeling Overlapping Generations in a Complementarity Format, Department of Economics, University of Colorado.
- Rutherford, T.F. (1999), Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: An Overview of the Modeling Framework and Syntax, *Computational Economics* 14, pp.1-16.
- Rutherford, T.F. (2000), Carbon Abatement, Technical Change and Intergenerational Burden Sharing, in G.W. Harrison et.al. eds. *Using Dynamic General Equilibrium Models for Policy Analysis*, North-Holland.

(大阪大学大学院経済学研究科)