

人口内生化モデルによる地球温暖化の経済的影響分析^{*}

The Economical Effect Estimation of the Global Warming by the Population Endogenous Model^{}*

北村 崇^{***}・森杉 壽芳^{****}・林山 泰久^{*****}

by Takashi KITAMURA^{***}, Hisayoshi MORISUGI^{****} and Yasuhisa HAYASHIYAMA^{*****}

1. はじめに

今日、地球温暖化は世界的な共通問題として議論されている。その影響は時間的・空間的に広範囲であり、不確実性・不可逆性という特殊な性質を持っている。また、地球温暖化の原因は、自然の浄化能力を超えた二酸化炭素排出にあり、その根本には人間の存在そのものが関与している。すなわち、人口問題は、地球環境問題を考える上で、最も重要なファクターの一つであることは言うまでもない。さらに、地球温暖化は、超長期的な問題であるため、世代を超えた環境政策の制度設計が必要であるため、世代間での公平性の確保といった問題も大きな問題である。

そこで、本研究は二酸化炭素排出抑制政策を推進する上で、効率性のみならず公平性の観点から経済学的に分析を行い、両観点から得られる折衷的な経済政策を評価・提案することを大きな目的とする。特に、本稿では、人口変動を内生的に表現することにより、経済成長と人口変動を統合化した長期シミュレーション・モデルを構築することを目的とする。

2. 本研究におけるシミュレーション・モデル

(1) 気候変動の統合評価モデル(DICEモデル)

本研究では、長期環境政策において世界的に評価の高いと言われているNordhaus¹⁾による気候変動に関する統合評価モデルであるDICE(Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy)モデルを用いるものとした。

DICEモデルは、地球全体での経済学的制約と地

球物理学的制約の下で、目的関数である社会厚生関数を最大化するものである。ここで定式化された最大化問題を解く際に、Ramseyによる経済成長理論が用いられており、経済が最適な成長経路を辿る条件は、一人あたりの資本の限界生産力が人口増加率と時間選好要因の和に等しくなっている。また、経済学的要因と地球物理学的要因が相互に影響を及ぼしあっており、各要素間の関係は約20本の構造方程式で構成される。このモデルにより、将来の二酸化炭素排出量や大気中の二酸化炭素濃度、気温上昇および最適炭素税を予測することが可能となる。

このモデルの利点は、世界を単一の領域でモデル化しているため計算が容易であることであり、動学モデルであるため10年単位で気候変化の経路を求めることができることである。その点で多世代間の厚生を比較することが目的の一つである本研究の意図に添うものである。

(2) 内生的人口変動モデル

本研究が依拠しているDICEモデルは、人口は外生変数として与えられているため、ある意味で新古典派経済学による経済成長分析の枠組み的側面がある。それに対して本研究の目的は、ある世代が、それよりも新しい世代とどのような関係にあるかという観点から、人口変動と経済成長の関係を検討することにある。そこで、本研究では、利他主義(Altruism)によって世代間が関係し、その関係性の中で各世代の代表的個人が自らの効用を最大化するという行動を定式化したBecher and Barro²⁾による王朝モデル(Dynasty Model)を利用することにより、内生的人口変動モデルを構築する。

まず、代表的個人は、その構成員たる家族のメンバーと利他主義によって結びついているものとする。そのときの代表的個人の効用関数は(1)式のように表される。

^{*} キーワーズ: 地球環境問題

^{***} 学生員 東北大学情報科学研究科

(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06,

Tel.: 022-217-7502, Fax.: 022-217-7500)

^{****} 正員 東北大学教授 情報科学研究科

^{*****} 正員 東北大学助教授 大学院経済学研究科

$$U_0 = v(c_0) + a(n_0)n_0 U_1 \quad (1)$$

ここで、 U_0 :親の効用、 U_1 :子供の効用、 $a(n_0)$: n_0 人の子供に対し親が持つ利他主義の程度 $0 < a(n_0) < 1$ 、 $v(c_0)$:親が消費 c_0 を行うことから得る効用を意味している。なお、 $a(n_0)=1$ の場合には、完全な利他的な状況を意味し、 $a(n_0)=0$ の場合には、完全な利己的な状況を意味することになる。

さらに、(1)式に更に後の世代の効用を代入し、親は無限先の後世代の子孫まで気遣うとするならば、(2)式のように表現することができる。

$$\begin{aligned} U_0 &= v(c_0) \\ &+ a(n_0)n_0 v(c_1) + a(n_0)a(n_1)n_0 n_1 v(c_2) + \dots \\ &+ a(n_0) \times \dots \times a(n_i) \times n_0 \times \dots \times n_i \times v(c_i) + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 c_i :第*i*世代の親の消費、 n_i :第*i*世代の親が持つ子供の数を意味している。

ここで、第*i*世代までの人口 N_i を考える。最初に存在する1人の親を第0世代とする。その子供は第1世代を形成する。ここで利他主義の程度 $a(n_i)$ の関数形を(3)式のように特定化する。(3)式は、子供の数が1%増加した場合には、利他主義の程度は σ % 低下することを意味する。なお、パラメータは $0 < \sigma < 1$ とする。

$$a(n_i) = \alpha (n_i)^{-\sigma} \quad (3)$$

さらに、(3)式を用いると(2)式は(4)式のように表現することができる。

$$\begin{aligned} U_0 &= N_0^{1-\sigma} v(c_0) + \alpha N_1^{1-\sigma} v(c_1) \\ &+ \dots + \alpha^i N_i^{1-\sigma} v(c_i) + \dots \end{aligned} \quad (4)$$

次に、王朝家計の予算制約を考える。第*i*世代の親は、労働供給による賃金収入 w と前の世代から相続した遺産 k を用いて、消費と育児を行い、さらに次の世代に遺産として残すものとする。これを定式化したものが(5)式であり、 r は利子、 β は育児コストを意味している。

$$w_i + (1+r_i)k_i = c_i + n_i(\beta_i + k_{i+1}), i = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

以上で定式化した、制約付き最適化問題を解くことにより出生力(あるいは人口増加率) n_i を内生的に決定する。さらに、「子供の数=出生力」とすると(6)式が得られ、これは、時間選好要因 α もしくは

利子率が上昇すれば出生力は上昇することを意味している。

出生力

$$= \left[\alpha \times (1 + \text{利子率}) \times \frac{\text{第} i + 1 \text{ 世代の消費からの限界効用}}{\text{第} i \text{ 世代の消費からの限界効用}} \right]^{1/\sigma} \quad (6)$$

また、(7)式に示す人口学の基本方程式³⁾において、本研究では出生に関してのみ内生化している。死亡に関しては外生とし、右辺第2項の社会増加に関しては地球を一地域としているモデルであるため考慮しなくてもよい。

$$\text{人口変動} = (\text{出生} - \text{死亡}) + (\text{転出} - \text{転入}) \quad (7)$$

3. シミュレーション概要

(1) 人口変動モデルの設定

本研究で行うシミュレーションのため、経済成長と人口変動を統合した長期シミュレーションモデルを構築した。その設定を以下に示す。

本研究では世代の概念をより正確なものとするため、1995年を出発点とする、10年単位の人口コホートを作成した。ここで1995年における初期値は世界銀行⁴⁾の統計値を用い、また次の世代への生存率(逆に考えると死亡率)を外生とした。

出生に関して、出生力を表す(6)式を用いた。ここで出生力とは、実際に何人の子供が生まれたかという指標であり、生物学的視点から子供を産むことができる世代の人口との積をとることによって、その年代に出生する総出生数を求めることができる。本稿では子供を産むことができる世代を19~39歳の世代とした。また(6)式の適用に関して、DICEモデルの変数として用いられている利子率と消費からの限界効用はそのまま用いた。しかしパラメータ α と σ はモデル内に存在しないため、世界銀行による出生率の推計値を用い、パラメータを推計した。ここでの推計値は、 $\alpha = 0.50$ 、 $\sigma = 0.78$ を用いた。

(2) 効率性、公平性および総合指標の定義

本研究では、効率性指標としてEFI(Efficiency Index)、公平性指標としてEQI(Equity Index)および総合指標としてCOI(Comprehensive Index)を式(9)~(11)のように定義する。

$$EFI = W = \sum_{t=0}^T U(t) = \sum_{t=0}^T R(t)L(t) \ln c(t) \quad (9)$$

$$EQI = \left[\sum_{t=0}^T \{ \ln c(t) \}^{1-\varepsilon} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \quad (10)$$

$$COI = \left[\sum_{t=0}^T \{ U(t) \}^{1-\varepsilon} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \quad (11)$$

(ここでは、 $\varepsilon \neq 1$ とする)

ここで $W : t(0 \leq t \leq T)$ 期間での社会厚生関数

$U(t) : t$ 期における社会全体の効用

$R(t) : t$ 期における社会的時間選好率の係数

$L(t) : t$ 期における世界の総人口

$c(t) : t$ 期における一人当たりの消費量

またベルヌーイの効用関数の定義より、 $\ln\{c(t)\}$ は t 期における一人当たりの効用を表す。また ε はパラメータ(外生)を示している。

EFI は t 期における社会全体の効用を現在価値換算した値の総和であり、通常のコスト便益分析でいう便益であることから効率性指標を意味している。

EQI は t 期における一人当たりの効用を世代ごとに CES 型関数で比較することにより得られる指標である。なお、各世代の効用レベルを比較するため、社会的割引率を用いていないことに注意されたい。

COI は t 期における社会全体の効用を世代ごとに CES 型関数で比較することにより得られる指標である。

ここで、CES 型関数は、 ε の値によって公平性を評価することができる。例えば、 $\varepsilon = 0$ の場合にはベンサム型となり効率性評価ができる。 $\varepsilon = +\infty$ の場合にはロールズ型となり公平性評価ができる。これらの議論に関しては小林⁵⁾に詳しい。

(3) シナリオの設定

地球温暖化問題の温度上昇シナリオについては IPCC をはじめとして多々存在する⁶⁾。本研究では、既存文献を参考にしてシナリオを表-1のように設定した。なお、ここでの最適課税とは効率性基準である EFI を最大化させるという意味での最適な課税である。

また本シミュレーションでは、CES 型関数における公平性への社会的配慮の強さを表すパラメータ ε の値を外生とし、 $\varepsilon = 0.2, 0.5, 0.8, 1.2$ のケース結果を表記した。

表-1 シナリオと設定値

CO2 削減政策の政策	簡略記号
1. 政策無し (ベースケース)	BASE
2. 最適課税 (効率性指標最大化)	Optimal
3. 排出抑制 (1990 年レベル)	E90
4. 気温上昇 2.5℃規制(1900~2105)	T<2.5

4. シミュレーション結果とその考察

(1) 人口変動の結果

人口変動に関するシミュレーション結果を図-1に示す。また、図-1には、世界銀行による長期予測値も示した。ここに示したシミュレーション結果は環境政策無しのケースのものである。なお、その他のケースにおいても同様の傾向を示したことをここに付記する。図-1をみると、本モデルによる予測値は、22世紀中葉まで世界銀行の予測値にほぼ適合するが、それ以降人口は急激に減少していることが分かる。Leibenstein⁷⁾によると、子供の効用は①消費効用、②労働効用、③保障効用の3種類あるとしている。具体的には、消費効用とは他の消費財と同様に子供が親にとって喜びや満足の源泉となることであり、労働効用とは生産要素として子供が所得を獲得することによるものであり、また保障効用とは親が老齢になったときなどの生活保障として子供を位置付けることである。

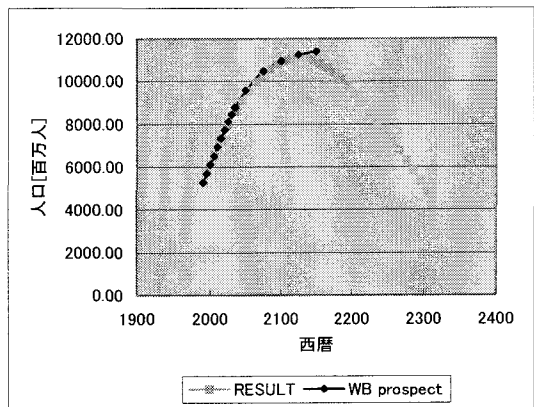


図-1 人口変動のシミュレーション結果

さらに、Leibensteinは、経済発展とそれに伴う一人あたりの所得の上昇が、子供がもたらす3つの効用のうち労働効用と保障効用を低下させると主張し

た。これは、一人あたりの所得の上昇によって子供を労働に従事させる必要性は低下し、また経済社会の発展に伴って社会保障が充実することで、子供による老後保障などの重要性が低下するためである。また、消費効用については曖昧であるものの、子供による効用が低下すれば、出生力の低下をもたらす。そのため、一人あたりの所得が増加すれば、人口が減少するということと言える。

(2) 各ケースにおける指標の結果

表－1の各ケースによる指標の結果を表－2に記す。表で縦方向に各ケースの値、また横方向に各指標の値を示す。

表－2を分析した結果、効率性の指標であるEFIを最大にするという意味で最適な課税の政策が、効率・公平・総合の観点から最もよいことがわかった。また政策を比較すると、最適課税、政策無し、排出規制、温度上昇規制（効率性指標では排出規制と温度上昇規制が逆）の順になった。この結果は、現在問題となっている京都議定書などで用いられる排出規制という政策よりも、炭素税などの政策手段を適切に用いることでより望ましい結果が得られることを示している。

また、人口を外生とし対象期間を100年間とした研究においては、すべての指標において最適課税、政策無し、温度上昇規制、排出規制という順となった。対象期間を約300年間とした本研究との相違である温度上昇規制と排出規制との逆転は、超長期における温度上昇規制の困難さを示しているものであり、2.5度の温度上昇は経済的政策では不可避であることを示していると考ええる。

5. まとめ

本研究では、人口要因をDICEモデルに内生化し、様々な政策ごとに効率性・公平性・総合の観点から比較した。その結果、効率性の指標であるEFIを最大にするという意味で最適な課税の政策が、効率・公平・総合の観点から最もよいことがわかった。また政策を比較すると、京都議定書に代表される排出規制政策よりも、炭素税などの環境税を用いた政策手段を適切に用いることが望ましいという結論が得られた。

今後は、地域的要素や世代的要素をより精密にしていける必要がある。また、本研究における効用は消費に基づく市場的要素の影響のみ考慮しているため、今後は温度上昇が人間に及ぼす負の影響である非市場的要素を考慮した効用関数を設定する必要がある。

【参考文献】

- 1) Nordhaus,W.D. and Boyer,J.: Warming the Woird, The MIT Press, 2000.
- 2) Barro,R.J. and G.S. Becker,G.S.: Fertility Choice in a Model of Economic Growth, *Econometrica*, Vol.57, No.2, pp.481-501, 1989.
- 3) 加藤久和: 人口経済学入門, 日本評論社, 2001.
- 4) 世界銀行編: 世界人口長期推計94'95', 東洋書林, 1996.
- 5) 小林潔司: 公平論を巡る最近の理論的展開, 土木計画学ワンデーセミナー, No.19, pp.51-68, 1999.
- 6) IPCC第3作業部会編: 地球温暖化の経済・政策学, 中央法規, 1997.
- 7) Leibenstein,H.: Economic Backwardness and Economic Growth, *Studies in the Theory of Economic Development*, Wiley, 1957.

表－2 各ケースにおける指標の結果

INDEX	1. BASE	2. OPTIMAL	3. ELIMIT	T<2.5
EFI	3.2330E+04	3.2333E+04	3.2163E+04	3.2225E+04
EQI($\varepsilon=0.2$)	1.0762E+03	1.0775E+03	1.0733E+03	1.0672E+03
EQI($\varepsilon=0.5$)	1.2669E+04	1.2684E+04	1.2632E+04	1.2562E+04
EQI($\varepsilon=0.8$)	2.4780E+08	2.4809E+08	2.4701E+08	2.4571E+08
EQI($\varepsilon=1.2$)	1.1933E-06	1.1947E-06	1.1892E-06	1.1833E-06
COI($\varepsilon=0.2$)	3.6840E+04	3.6857E+04	3.6535E+04	3.6572E+04
COI($\varepsilon=0.5$)	2.9699E+05	2.9728E+05	2.9433E+05	2.9349E+05
COI($\varepsilon=0.8$)	3.5590E+09	3.5657E+09	3.5303E+09	3.4976E+09
COI($\varepsilon=1.2$)	8.1431E-06	8.1720E-06	8.1263E-06	7.9723E-06