社会資本の生産性を考慮した公共投資政策の世代別影響分析

小木曽　裕元[1]・石倉　智樹[2]・小根山　裕之[3]・鹿田　成則[4]

[1]非会員　首都大学東京大学院都市環境科学研究科（〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1）

[2]正会員　首都大学東京都市環境学部（〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1）
E-mail: iskr@tmu.ac.jp

[3]正会員　首都大学東京大学院都市環境学部（〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1）

[4]正会員　首都大学東京大学院都市環境学部（〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1）

長期的な社会資本整備の観点からは，人口減少は将来の税負担者数と便益享受者の両方の減少を意味する．社会資本はストックとして長期的に経済活動に影響するため，その政策の効果を検討するには，世代を超えた長期的視点が必要となる．そこで本研究は，社会資本投資と社会資本の生産性を組み入れたライフサイクル型世代重複シミュレーションモデル経済モデルを構築し，人口減少フェイズにおける我が国において，種々の長期的社会資本投資政策シナリオに対する，世代間の費用負担と受益の比較分析を行った．

Key Words : *Assessment, Infrastructure, population decrease, simulation model, OLG*

1. はじめに

2013 年現在，日本では今後の人口減少がもたらす影響について様々な分野で懸念がされている．人口減少は将来の税負担者数の減少を意味するため，国民生活を支えるために存在する各種政策による負担が，一人当たりでは将来的に増大することが示唆される．これについて，社会資本（インフラストラクチャー）に関しても同様のことが言える．

例えば人口が減少する前段階にある現在のストック水準を今後も維持した場合，社会の生産性は現水準を維持できるが，一人当たりの負担は増大すると考えられる．つまり人口変動は一人あたりの受益と負担のバランスの変化をもたらすことが予想される．

日本政府が公平的な社会資本政策を実施していくためには，その政策が国民に与える長期的な影響を世代間に着目して分析することが必要である．

ここで，これまで社会資本の世代間費用負担に着目した研究として小池ら(2008)[1)]は，社会資本整備費用の負担を組み入れた２期間の世代重複モデルを構築し 解析的分析を行うことで，超長期の社会資本整備費用負担の制度の導入が経済成長へ与える影響を把握した．また上田ら(2008)[2)]は，建設部門の人材育成が経済成長を通じて社会的厚生を高めうることを，経済モデルの解析的分析により示した．

これら解析的分析による既存研究は定常状態の経済を分析したものとなっているが，各種経済変数の経時的変化を考慮しない定常状態分析では人口動態が大きく変化する中での世代間の費用負担問題には対応することができない．

よって本研究では社会資本整備の影響について，木立(2009)[3)]に代表されるライフサイクル型世代重複モデルを応用し，非定常の経済状態における世代間厚生分析を行う．

2. 経済モデル

(1) 生産に関する設定

本研究におけるマクロの生産関数は，社会資本ストックによる外部性を考慮したコブ＝ダグラス型を用いる．

$$Y_t = K_t^{\alpha} L_t^{1-\alpha} KG_t^{\beta} \tag{1}$$

ここで KG は社会資本ストック水準である．

(1)式を単位労働当たりの関数 $y = f(k)$ に書き換える．

$$y_t \equiv \frac{Y_t}{L_t} = \left(\frac{K_t}{L_t}\right)^{\alpha} KG_t^{\beta} = k_t^{\alpha} KG_t^{\beta}$$

ここで k は資本労働比率である．

資本Kと労働Lの各市場は競争的であり，賃金率wと利子率rは限界生産力に等しく決定される．

$$w_t = \frac{\partial Y_t}{\partial K_t} = \alpha k_t^{\alpha-1} KG_t^{\beta}$$

$$r_t = \frac{\partial Y_t}{\partial L_t} = (1-\alpha) k_t^{\alpha} KG_t^{\beta}$$

なお各期の生産資本ストックは，家計の前期末総資産と等しい．すなわち

$$K_{t+1} = A_t = \sum_{j=1}^{life} N_{t-j+1} a_{t-j+1,j} \tag{4}$$

とする．ここでN_tは第t世代の人口，$a_{t,j}$は第t期に経済に登場した個人のj歳での期末資産である．$life$は各個人の寿命であり，寿命に不確実性が無いとすれば同時期の経済に共存する世代数も表す．

労働は，家計各個人の年齢別労働供給量の合計とする．すなわち年齢別個人の労働供給量$e_j\ (j = 1,\cdots,life)$について，

$$L_t = \sum_{j=1}^{life} N_{t-j+1} e_j \tag{5}$$

とする．なお資本労働比率kは以下のように表現できる．

$$k_{t+1} = \frac{K_{t+1}}{L_{t+1}} = \frac{A_t}{L_{t+1}} \tag{6}$$

(2) 政府・社会資本に関する設定

政府は財政収入Tを税収から得，全ての収入を財政支出Gとして社会資本へ投資する経済主体とする．なお税は家計の消費より徴収されるものとする．

$$\begin{aligned} T_t &= \tau c_t C_t \\ G_t &= T_t \end{aligned} \tag{7}$$

ここでτcは税率，Cはその期の家計の総消費である．総消費Cとは，第i世代（j歳）個人の消費$c_{t,j}$より

$$C_t = \sum_{j=1}^{life} N_{t-j+1} c_{t-j+1,j} \tag{8}$$

と表わされるものである．社会資本は毎期，そのストック水準の一定割合δが減耗するものとする．

$$KG_t = KG_{t-1}(1-\delta) + G_t \tag{9}$$

(3) 家計の消費計画の導出

家計個人の消費経路導出の手順は以下の通りである．

a) 生涯の消費に対する生涯予算の制約式を導出する

b) 効用に対する最大化問題として解く

なお以降は一般化された消費経路（の方程式）の導出を目的とする．すなわち第i期経済に登場した個人の生涯の消費経路を導出していくが，生涯消費に関わる全ての変数は経済登場時に既知であるとする．

a) 生涯消費に対する生涯予算制約

家計は遺産を残さず，また他者と資産の交換を行わないと仮定する．これより次式のように，生涯支出と生涯収入が等しくなる．

$$\sum_{j=1}^{life}\left[(1+\tau c_{i+j-1})\left\{\prod_{m=1}^{j}(1+r_{i+m-1})\right\}^{-1} c_{i,j}\right]$$

$$= \sum_{j=1}^{life}\left[\left\{\prod_{m=1}^{j}(1+r_{i+m-1})\right\}^{-1} w_{i+j-1} e_j\right]$$

b) 消費経路の導出

家計各個人は各期の消費について，次式で与えられる効用最大化を目的に計画をたてる．

$$\max_{\mathbf{c}_i} \quad U_i = \sum_{j=1}^{life}(1+\rho)^{-(j-1)} u(c_{i,j}) \tag{11}$$

$$\left[\ u(c_{i,j}) = \frac{c_{i,j}^{\ 1-\gamma}}{1-\gamma}\ \right] \tag{12}$$

(12)式は各期の効用関数であり，本研究ではCRRA型を用いた．ここでρは時間選好率，$1/\gamma$は異時点間消費の代替弾力性である．

各個人は生涯予算制約の下で，効用最大化を行う．具体的には

$$\max_{\mathbf{c}} \quad U = \sum_{j=1}^{life}(1+\rho)^{-(j-1)} u(c_{i,j}) \tag{13}$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^{life}\left[(1+\tau c_{i+j-1})\left\{\prod_{m=1}^{j}(1+r_{i+m-1})\right\}^{-1} c_{i,j}\right]$$

$$= \sum_{j=1}^{life}\left[\left\{\prod_{m=1}^{j}(1+r_{i+m-1})\right\}^{-1} w_{i+j-1} e_j\right] \tag{14}$$

の最大化問題として表わされる．一階の条件をまとめて表わすと(15)から(17)のようになる．なおλはラグランジュ乗数である．

$$-\nabla\left(\sum_{j=1}^{life}(1+\rho)^{-(j-1)} u(c_{i,j})\right)$$

$$+\lambda\nabla\left[\sum_{j=1}^{life}\left[\left\{(1+\tau c_{i+j-1})c_{i,j} - w_{i+j-1}e_j\right\}\right.\right. \tag{15}$$

$$\left.\left.\left\{\prod_{m=1}^{j}(1+r_{i+m-1})\right\}^{-1}\right]\right] = 0$$

各jについて次のように一般化できる．

$$-\left(1+\rho\right)^{-(j-1)}\frac{\partial u(c_{i,j})}{\partial c_j}+\lambda\left\{1+\tau c_{i+j-1}\right\}$$

$$\left\{\prod_{m=1}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)\right\}^{-1}=0 \qquad \left(j=1,2,\cdots,life\right) \tag{16}$$

ここで $j=1$ を代入すると,

$$\lambda=\frac{\partial u(c_{i,1})}{\partial c_1}\frac{1+r_i}{1+\tau c_i} \tag{17}$$

となる．これを(13)式に代入し整理すると，(18)式のように $c_{i,j}$ を $c_{i,1}$ により表示することができる．すなわち最終的に生涯消費経路は 1 歳時消費の比で表される．これはオイラー方程式と呼ばれる．ただし $j\geq 2$ である.

$$c_{i,j}=c_{i,1}\left[\frac{1+\tau c_i}{1+\tau c_{i+j-1}}\frac{\prod_{m=2}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)}{\left(1+\rho\right)^{j-1}}\right]^{\frac{1}{\gamma}} \tag{18}$$

これを予算制約式へ代入することで，個人の 1 歳の消費が確定する次の方程式が導出される.

$$\sum_{j=1}^{life}\left[\left(1+\tau c_{i+j-1}\right)\left\{\prod_{m=1}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)\right\}^{-1}\left[\frac{1+\tau c_i}{1+\tau c_{i+j-1}}\frac{\prod_{m=2}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)}{\left(1+\rho\right)^{j-1}}\right]^{\frac{1}{\gamma}}c_{i,1}\right]$$
$$=\sum_{j=1}^{life}\left[\left\{\prod_{m=1}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)\right\}^{-1}w_{i+j-1}e_j\right] \tag{19}$$

(4) 定常状態

本研究では，分析期間の初期は「定常状態」の経済状況にあり，シナリオ分析の対象となるその後の期間において経済が定常状態から移行すると仮定する.

まずは，経済が定常状態にある条件を整理する．賃金率 w，利子率 r が経時的に一定となる条件は資本労働比率 k 及び社会資本ストック水準 KG が一定であることである．ここで KG が一定であるときは,

$$KG_t=KG_{t-1}\left(1-\delta\right)+G_t \tag{20}$$

より,

$$KG=G_t/\delta \tag{21}$$

が成り立っている．また,

$$G_t=T_t=\tau c_t C_t \tag{22}$$

であり，さらに

$$C_t=\sum_{j=1}^{life}N_{t-j+1}c_{t-j+1,j} \tag{23}$$

である．定常状態における個人の消費経路は世代による差が無いため $c_{t-j+1,j}$ の世代を表す添え字（$t-j+1$）を排除する.

以上より KG が一定である条件は，“ある定数 KG に対し，全期間 $\left(\forall t\in Z\right)$ の τc_t，N_t について

$$KG=\frac{\tau c_t}{\delta}\sum_{j=1}^{life}N_{t-j+1}c_j \tag{24}$$

が成り立つこと”である.

ここで τc が一定であるためには，N が一定であることが必要である．したがって本研究では，定常状態においてはすべての世代人口が一定であることとみなす.

(5) 移行過程の消費経路

定常状態から経済環境が変わると個人の消費計画も変化する．定常状態にない期間のことを移行過程と呼ぶ．本研究は，期を経て変化した経済状況がその期以降永続すると仮定して消費計画を立てるような家計を想定する方法[3]を採る．（これは「一時的均衡の概念」と呼ばれる）

ここでは，一般化のため，第 i 世代が J 歳で再計画する場合の消費経路を導出する.

まず生涯効用の最大化は次式で表される.

$$\max_{\mathbf{c}} \quad U=\sum_{j=J}^{life}\left(1+\rho\right)^{-(j-1)}u(c_{i,j}) \tag{25}$$

ただし

$$u\left(c_{i,j}\right)=\frac{c_{i,j}^{\ 1-\gamma}}{1-\gamma} \tag{26}$$

である.

個人の生涯予算制約式を J 歳時の式に変更すると次のようになる.

$$\textit{subject to}\ \sum_{j=J}^{life}\left[\left(1+\tau c_{i+j-1}\right)\left\{\prod_{m=1}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)\right\}^{-1}c_{i,j}\right]$$
$$=a_{i,J-1}+\sum_{j=J}^{life}\left[\left\{\prod_{m=1}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)\right\}^{-1}w_{i+j-1}e_j\right] \tag{27}$$

ここで $a_{i,J-1}$ は前期末の貯蓄である．これを(3)と同様に $c_{i,J}$ による U の最大化問題として解くと，以下の関係が導出される.

$$-\left(1+\rho\right)^{-(j-1)}\frac{\partial u(c_{i,j})}{\partial c_j}+\lambda\left\{1+\tau c_{i+j-1}\right\}$$

$$\left\{\prod_{m=1}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)\right\}^{-1}=0 \qquad \left(j=J,\cdots,life\right) \tag{28}$$

$$c_{i,j} = c_{i,J}\left[\frac{1+\tau c_{i+J-1}}{1+\tau c_{i+j-1}}\frac{\prod_{m=J+1}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)}{\left(1+\rho\right)^{j-J}}\right]^{\frac{1}{\gamma}} \tag{29}$$

$$\sum_{j=J}^{life}\left[\left(1+\tau c_{i+j-1}\right)\left\{\prod_{m=J}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)\right\}^{-1}\left\{\frac{1+\tau c_{i+J-1}}{1+\tau c_{i+j-1}}\frac{\prod_{m=J+1}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)}{\left(1+\rho\right)^{j-J}}\right\}^{\frac{1}{\gamma}}\right]c_{i,J}$$
$$= a_{i,J-1}+\sum_{j=J}^{life}\left[\left\{\prod_{m=J}^{j}\left(1+r_{i+m-1}\right)\right\}^{-1}w_{i+j-1}e_j\right] \tag{30}$$

3. シミュレーション

(1) 前提条件

各パラメータの値は，**表–1**のように設定した．家計個人の年齢別労働供給量は，厚生労働省：賃金構造基本統計調査（全国）[4]の「きまって支給する現金給与額」および「年間賞与その他特別給与額」より集計した10歳区切りの給与額について，50代の給与額を1として基準化した値を用いており，具体的な値は**表–2**に示す．

シミュレーションは今後100年間を想定した．そのため世代人口は，国立社会保障・人口問題研究所の2011～2110年の出生数推計値[5,6]を用いて作成した．移行第1期世代を1として基準化してある．

表–1　基本的パラメータ

α	0.49	生産の，民間資本への分配率
ρ	0.5	家計，消費の時間選好率
$life$	6	家計，各個人の寿命期間数
γ	2	家計，相対的危険回避度
$interval$	10	1 期の，現実世界での年数
β	0.1	社会資本の生産性
δ	0.1	社会資本の減耗率

表–2　年齢別労働供給量

年齢 j	労働供給量 e_j	集計年齢
1	0.574643	20～29 歳
2	0.799961	30～39 歳
3	0.998350	40～49 歳
4	1.000000	50～59 歳
5	0.0	60～69 歳
6	0.0	70～79 歳

表–3　世代人口

移行第 i 期	第 i 期世代人口 N_i	集計年
（定常状態）	1.0000000	
1	1.0000000	2011～2020
2	0.8292101	2021～2030
3	0.7511317	2031～2040
4	0.6447920	2041～2050
5	0.5431759	2051～2060
6	0.4813872	2061～2070
7	0.4172502	2071～2080
8	0.3548140	2081～2090
9	0.3102082	2091～2100
10	0.2697895	2101～2110

(2) 移行過程の分析方法

一時的均衡の概念を用いた移行過程の経済シミュレーションは以下のルールに従って計算される．

a) ある期の経済状況（経済変数）を確定させながら次の期へ移ることを繰り返す．

b) 移行期間は毎期の経済状況（経済変数）が変化するため各個人は毎期に消費計画を立て直す．

c) 一時的均衡の概念を用いるため，家計各個人の消費計画の際に必要となる変数（$r, w, \tau c$）は，その期以降永遠に一定であるとみなされる．

なお本研究は政府の社会資本への各期の投資額をシナリオとしてシミュレーションを行った．すなわち社会資本ストック水準および税は毎期，その投資シナリオにより決定される．

(3) 基本シナリオ

分析のベンチマークとして，社会資本ストック水準が初期水準のまま一定に保たれるよう投資するシナリオaと，投資額を総人口に合わせて減少させていくシナリオbの2つを設定した．これを**図-1**に示す．ただし，投資額の水準は初期を1に基準化してある．

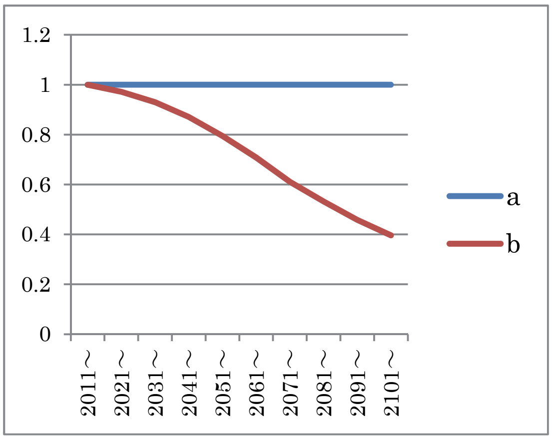

図-1　社会資本投資額・基本シナリオ

これらの投資シナリオによる社会資本ストック水準の推移を表したものが**図-2**である．社会資本ストック水準についても，初期を1とするように基準化して示した．シナリオbの結果を見ると，社会資本の減耗が完全に補てんされないため，投資額減少に伴い社会資本ストック水準の低下速度が加速していることがわかる．

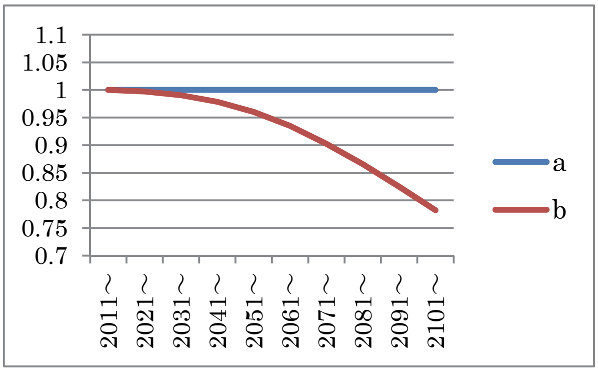

図-2　社会資本ストック水準の推移

本モデルにおいて政府は毎期，家計の消費額より税率を決定する．人口が減少しても投資水準を落とさないシナリオaでは，税率は上昇し続けている．

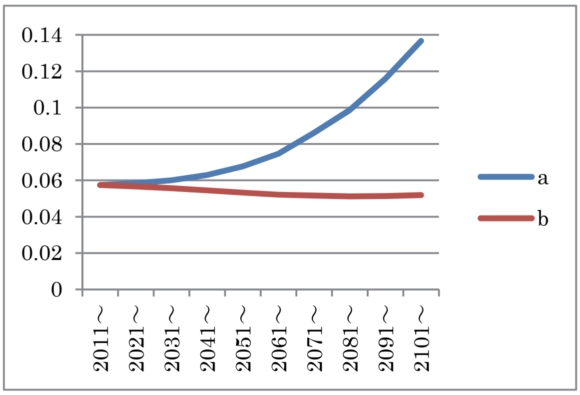

図-3　税率の推移

生年別個人の生涯税負担は**図-4**に示す結果となった．なおシナリオbの初期世代の負担を1と基準化してある．

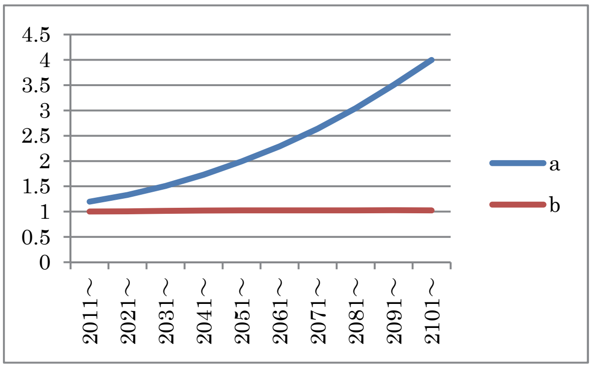

図-4　各世代個人の生涯負担

シナリオaでは社会資本は高水準を維持するが，人口減少により後年世代ほど負担が大きくなった．シナリオbでは社会資本は低下してゆくが，各世代の負担量は概ね同等となった．

各世代個人の生涯効用は**図-5**のようになった．

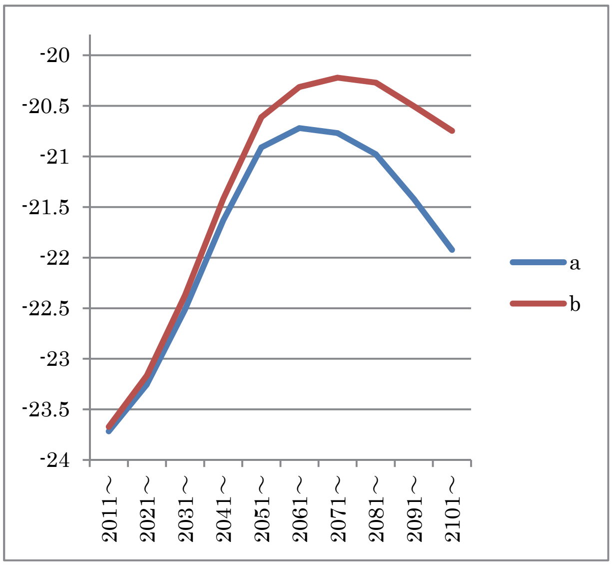

図-5　各世代個人の生涯効用

人口の急激な減少は賃金水準を上昇させるため，後年世代ほど基本的に効用が高い結果となった．賃金率の推移結果を次表に示す．

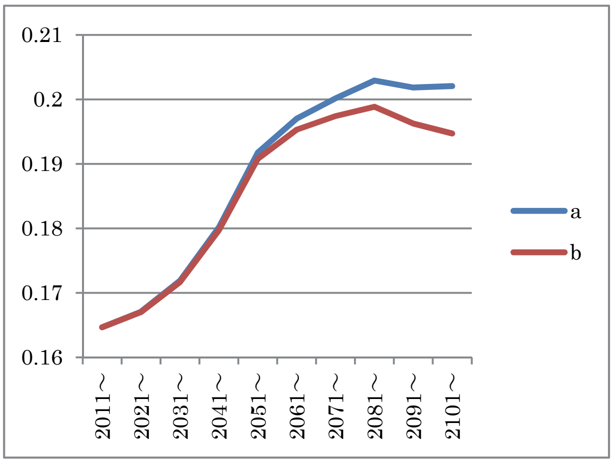

図-6　賃金率の推移

ここで賃金率推移はシナリオaの方が上方にあるにもかかわらず，各世代効用は逆となっている．ここから社会資本と一定に保つための負担の大きさが読みとることができる．

(4)　公共投資額の増減と時期に関するシナリオ分析

シナリオは毎期に任意の値が設定可能である．その有意性を確認するシミュレーションを行う．

各世代の生涯負担が一定となった(3)のシナリオbを基準のシナリオとし，これに対し投資額を一時的に変化させるシナリオを考える．直近30年にあたる冒頭の3期間を増額するものをシナリオc，減額するものをシナリオdとした．投資額変更の時期の違いによる影響を調べるために，次の3期間に増額するシナリオeおよび，さらに次の3期間に増額するシナリオfを設定した．なお変化額は全てのシナリオにおいて，初期の定常状態における社会資本投資額の2%とした．投資額推移のパターンを図-7に示す．

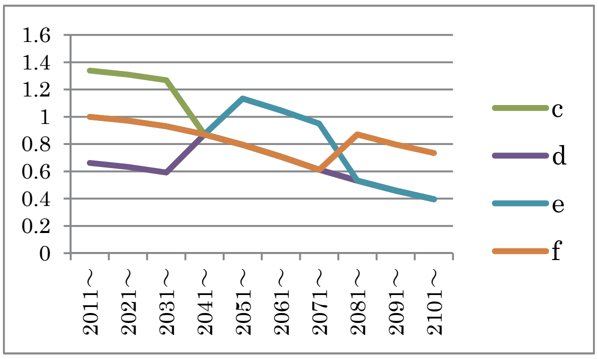

図-7　投資額シナリオc，d，e，f

後年での変額ほど基準シナリオに対するストック水準の変化量は大きい．これは税率の推移へ影響を与え，各世代の負担変化の大小に影響を与える．

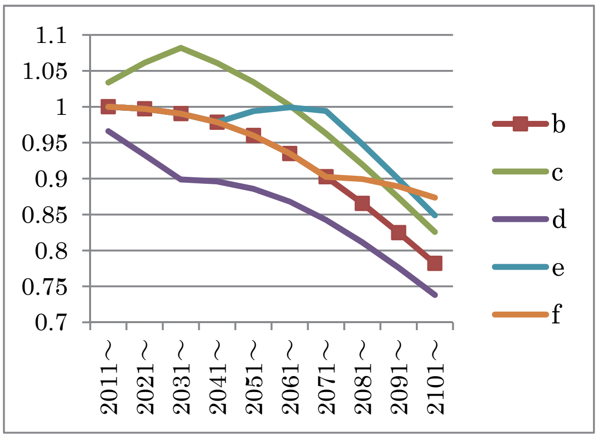

図-8　社会資本ストック水準の推移

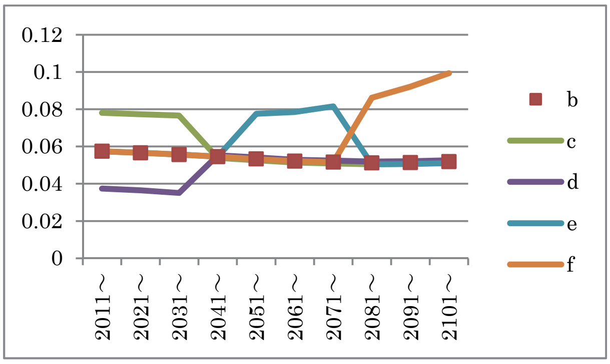

図-9　税率の推移

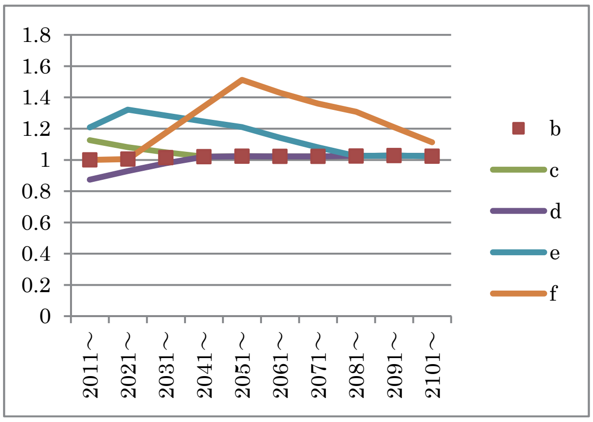

図-10　各世代個人の生涯税負担

各世代個人の生涯効用は図-11のようになった．基本的に後年世代ほど消費が多いため効用が高まるが，シナリオによる税負担や社会資本ストック水準の差により各世代効用に違いが生じている．

各シナリオの効用のピークとなる世代と効用水準に着目すると，まずシナリオcとdから，直近の投資増減が冒頭世代と将来世代の効用格差へ与える影響をみることができる．

またシナリオc，e，fから，時期の違いによる整備負担と効果の世代別影響を見ることができる．本研究のシナリオではc，eは基準シナリオbよりも格差を広げ，fは格差を抑える結果となった．さらにe，fでは最も高い効用を得られた世代が移動している．

このように本シミュレーションは人口変動と投資シナリオを柔軟に設定して，世代間の厚生分析を定量的に行うことが可能である．

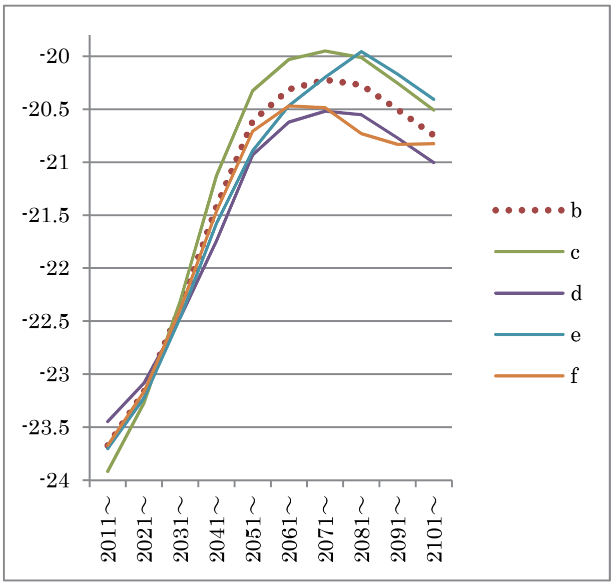

図-11　各世代個人の生涯効用

4. おわりに

本研究は社会資本が存在する経済モデルを定式化し，それを基に時間による状況変化を分析可能なシミュレートモデルを構築した．そしてモデルの挙動を確認するシミュレーションを行った結果，複数シナリオの設定が各世代に与える影響の違いを確認することが出来た．

一方費用負担については，社会資本整備には国債発行など整備負担を時間的に移動させる政策手法が存在するが本研究では扱っていない．このような分析枠組みの改善は今後の課題としたい．

参考文献

1) 小池淳司・広瀬研一郎：人口減少下における超長期社会資本整備費用の負担問題，土木計画学研究・講演集，38巻No.261，2008.

2) 上田孝行・越智成基・横松宗太：建設部門の人材育成に着目した超長期インフラ政策，第38回土木計画学研究発表会・講演集，2008.

3) 木立力：少子高齢化の経済動学—重複世代モデルの理論と展開—，晃洋書房，2009.

4) 厚生労働省：平成23年賃金構造基本統計調査・第1表（産業計・企業規模計・男女計・学歴計），2011.

5) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口2011～2060年・表10－12・出生数・出生中位(死亡中位)推計，2012年1月.

6) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口2061～2110年・参考表10－12・出生数・出生中位(死亡中位)推計，2012年1月.

付録　シミュレーションのフロー

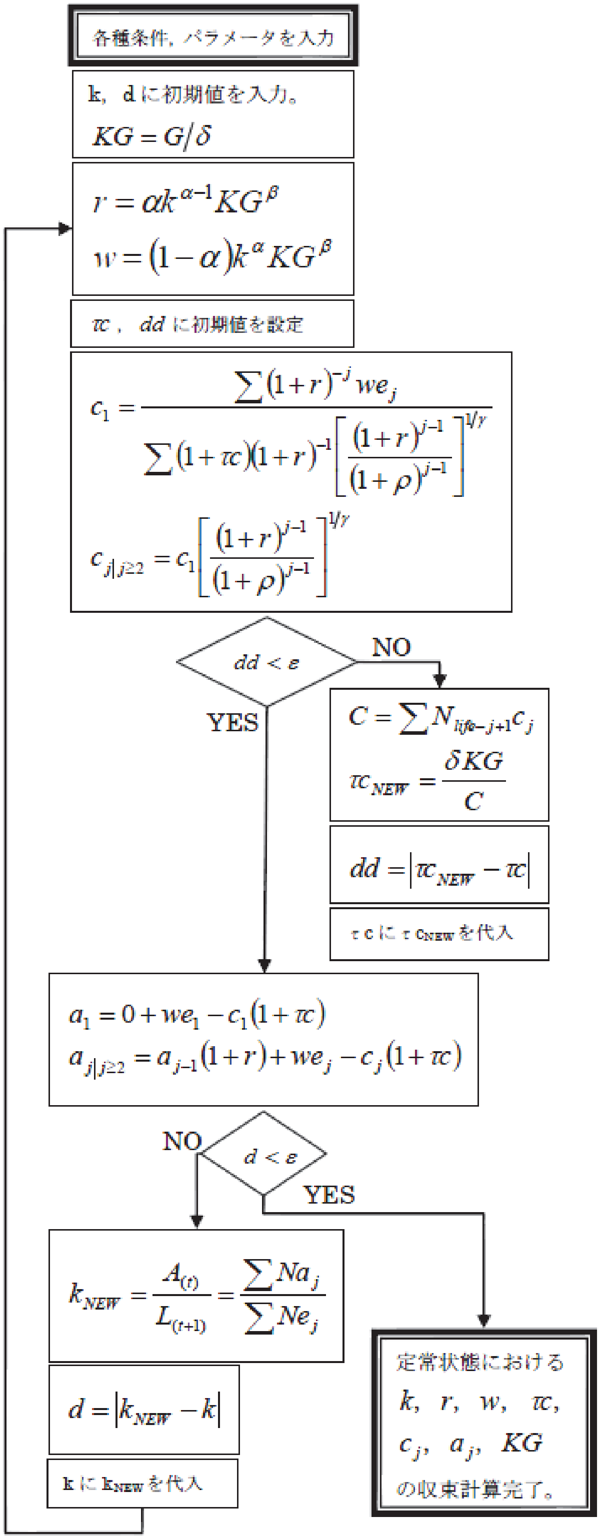

図-13　定常状態計算のフロー

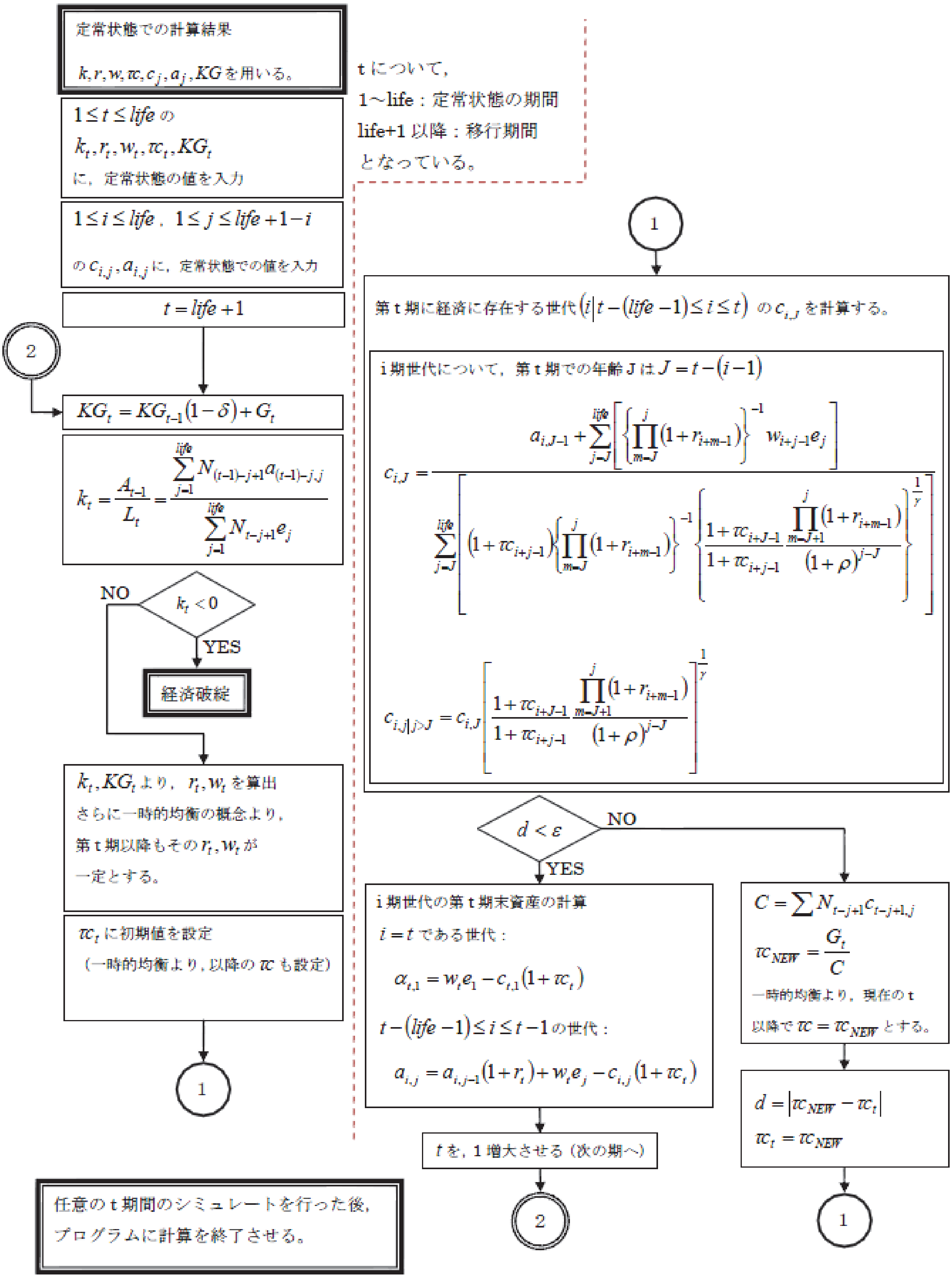

図-14　移行過程計算のフロー