

少子高齢化社会における  
社会資本の蓄積過程に関する研究

平成24年2月22日

京都大学工学部地球工学科土木コース

長森浩平

## 要 旨

我が国で急速に進む少子高齢化は労働人口の減少や貯蓄率の低下を引き起こし、労働力と資本の成長を鈍化させる。これまで高い出生率と貯蓄率に支えられて順調に成長を続けてきた労働力と資本の推移が今後は不安定な状態に陥ることから、経済状態の安定を前提としていた既往の分析方法に代わる新たな政策評価手法の開発が求められている。本研究では経済活動の生産性を高める上で重要な役割を果たす労働・民間資本・社会資本の3者のバランスに着目し、少子高齢化社会において効率的に社会資本を蓄積していくための政策評価モデルを提案する。

# 目次

第1章 はじめに	1
第2章 本研究の基本的な考え方	3
2.1 応用一般均衡モデルの特長	3
2.2 応用一般均衡モデルの拡張	3
2.3 社会資本の経済効果	4
2.4 社会厚生 of 定義	4
第3章 モデルの概要	5
3.1 主な前提条件	5
3.2 企業の行動モデル	5
3.3 家計の行動モデル	6
3.3.1 効用関数	7
3.3.2 就労世代の行動モデル	7
3.3.3 引退世代の行動モデル	8
3.3.4 資本保有量に関する条件	8
3.3.5 家計全体で見た資本の更新式	9
3.4 政府の行動モデル	9
3.4.1 政府収支	9
3.4.2 社会資本の更新	10
3.5 その他の方程式	11
3.5.1 市場均衡条件	11
3.5.2 社会厚生	11
第4章 データセットの作成	12
4.1 社会会計表の作成	12
4.2 人口データの作成	13

4.2.1	各年齢人口と将来人口予測 . . . . .	13
4.2.2	各年齢の貯蓄率および保有資本量 . . . . .	13
4.3	社会資本データの作成 . . . . .	14
第5章	パラメータの推定(キャリブレーション)	15
5.1	生産関数のパラメータ推定 . . . . .	15
5.2	効用関数などのパラメータ推定 . . . . .	16
5.3	資本減耗率と潜在成長率の設定 . . . . .	17
第6章	シミュレーション結果とモデルの妥当性の検証	18
6.1	モデルの全容 . . . . .	18
6.2	政策と社会厚生の関係 . . . . .	19
6.3	資本ストックの推移 . . . . .	20
6.4	その他の経済指標の推移 . . . . .	20
第7章	おわりに	22
	参考文献	23
	付録A 付図・付表	付-1

## 第1章 はじめに

社会資本整備を効率的に進めていくことは国家にとって重要な課題である。わが国では特に高度成長期以降大量の社会資本の整備を進めてきたが、近年の急速な少子高齢化の進行により従来にはなかった問題が生じている。

第一に、労働力と資本の成長が鈍化あるいはマイナスに転ずるという問題がある。これまでは高い出生率と貯蓄率を背景にどちらも成長を続けていたため、企業の経済活動を支える社会資本も順調にストックを増やして問題はなかった。しかしながら今後わが国が迎える少子高齢社会では、生産年齢人口の減少が労働力の減少につながる上、貯蓄を取り崩す主体である高齢世帯が増加することにより貯蓄率は低下する。労働と資本がそれぞれの生産性に基づく良好なバランスを保っているときに経済活動の生産性は大きくなると考えられるので、今後は推移が不安定になる労働・民間資本とのバランスを注意深く見ながら社会資本整備を行う必要がある。

第二に財政上の問題がある。少子高齢化が進み労働力と資本の成長が滞るとGDPの成長も鈍化するため、GDPを源泉とする税収も伸びなやむ。さらに高齢化の進行は社会保障費の増大を招き、社会資本投資を圧迫する。この問題は既に顕在化しており、社会保障費が毎年過去最高額を更新する一方で、公共事業費は2001年度からの10年間で約4割が削減されている(年度当初予算額で比較)<sup>1)2)</sup>。限られた税収の中で、社会保障とのバランスを見ながら社会資本整備を行う必要性が高まっている。

以上は定性的な記述であるが、これらの問題をはらんだ少子高齢化社会における政策評価の手法は、定量的な分析に堪えうるものでなければならない。少子高齢化社会の大きな特徴は、経済状態が安定しないという点にある。複雑に推移する各種経済指標を、長期間にわたって詳細に分析できる手法の開発が求められている。

本研究では応用一般均衡モデルをもとに、少子高齢化社会における効率的な資本の蓄積過程を実現する政策を評価するためのモデルを提案する。以下、2.では本研究の基本的な考え方を述べ、3.で今回構築したモデルを説明し、4.で各種パラメータの推定を行う。5.でシミュレーション分析を行い、政策と社会厚生の関係や資

本ストックなど各種経済指標の推移を明らかにして、モデルの妥当性を検証する。

## 第2章 本研究の基本的な考え方

### 2.1 応用一般均衡モデルの特長

定量的な政策評価手法として代表的なものに、応用一般均衡 (CGE : Computable General Equilibrium) 分析がある。CGE分析とは、レオン・ワルラスが構築した一般均衡理論の実証を目的とする分析手法であり<sup>3)</sup>、異なる経済環境の下での各種数値解を求め、それを比較することで政策・経済環境の変化が経済に与える影響を評価しようとするものである。貿易政策や租税政策のほか、社会資本整備の評価手法としても広く用いられており、本研究で構築したモデルもこのCGEモデルを基本とする。CGEモデルは一国のようなマクロなスケールの経済を分析対象とすることができる上、政策評価の指標となる社会厚生を定量的に測定可能であるというメリットがある。社会厚生以外にも財の生産量や価格といった各種の経済指標も同時に測定でき、少子高齢化が経済に及ぼす影響や資本ストックの推移に着目する本研究に適した手法といえる。

### 2.2 応用一般均衡モデルの拡張

伝統的なCGEモデルは静学モデルであるため、そのままでは社会資本整備効果の時系列変化や少子高齢化のような動学的な現象を扱えない。CGEモデルの動学化については1980年代以降多くの研究がなされており、貿易・金融政策などに広く用いられている<sup>4)5)</sup>。動学化にあたって本研究では完全予見性を想定しない逐次型の動学モデルを採用した。完全予見を前提とするモデルでは政策の効果の発生時期が曖昧になるため、刻一刻と変化する資本ストックと政策の関係を分析するには不向きである。逐次型の動学モデルでは各期を静学的に均衡させて数値解を求めるので、そのような問題が少ないという利点がある<sup>6)</sup>。

さらに本研究では、一時点の経済に複数の世代が重複して存在することを明示できる世代重複モデルを組み込み、少子高齢化を表現できるようにモデルを拡張した。年齢によって家計を就労世代と引退世代に分け、それぞれが異なる行動を取

るとすることで，人口分布の変化が経済に影響を及ぼす様子を表現できる．

## 2.3 社会資本の経済効果

社会資本がもたらす経済効果には，需要面の効果であるフロー効果と供給面の効果であるストック効果がある<sup>7)</sup>．社会資本のフロー効果とは，政府が公共投資を行うことによって建設業などに需要を創出することを指す．ストック効果はさらに厚生効果と生産力効果に分けられる．厚生効果とは防災インフラが地域住民に安全・安心をもたらしたり，上下水道の整備が衛生状態を改善させたりする効果を指し，生産力効果とは例えば高速道路や港湾が輸送コストの低減を通じて企業の生産性を向上させるような効果を指す．後者の生産力効果をもたらす，生産資本としての性格が強い社会資本をAschauerは「コア・インフラストラクチャ」と呼び<sup>8)</sup>，他の社会資本と区別した．本研究ではAschauerによる分類を参考にし，社会資本のストック効果をコア・インフラのもつ生産力効果に限定してモデルを構築した．

## 2.4 社会厚生 of 定義

社会資本整備にあたっては費用負担の世代間公平性がしばしば問題にされる．しかし今回のシミュレーションでは家計の寿命がシミュレーション期間より長くなり生涯効用を測定できる家計が一世代も存在しないため，世代間公平性を評価指標に加えることはできない．本研究では，家計の財の消費量によって決まる各時点の効用を全人口・全シミュレーション期間にわたって合計したものを社会厚生として定義し，政府はこれを最大化させるような政策を取るとした．

## 第3章 モデルの概要

### 3.1 主な前提条件

本モデル中で用いた主な仮定は以下の通りである。

- (1) 対象となる経済空間は一国で閉じたものとし、外国は考えない。
- (2) 経済には企業、家計、政府の3つの経済主体が存在する。
- (3) 企業は労働と民間資本、および生産資本としての性格が強い社会資本(コア・インフラ)の3つを生産要素として生産活動を行う。その行動は各期において利潤最大化行動に従う。
- (4) 家計は世代構造をもち、労働収入の有無・貯蓄率の高低など年齢によって行動に違いがある。また、すべての家計は各期において効用最大化行動に従う。
- (5) 政府が行う社会資本投資はコア・インフラのストックを増加させ、企業の生産活動を促進する。
- (6) 政府が行う社会保障は、引退世代人口に比例した額が毎年なされる。
- (7) シミュレーション期間は30年とする。その間の全家計の効用の合計を社会厚生と定義し、これを最大化させる税率を政府の取るべき最適政策とする。

### 3.2 企業の行動モデル

産業部門は農業・工業・サービスの3つに集約して考える。各部門の企業はコブ=ダグラス型生産関数の下で労働、民間資本、および社会資本を用いて生産を行う。企業の生産要素となる社会資本は、生産資本としての性格が強いコア・インフラとして他の社会資本と区別し、具体的な分類は4章にて説明する。モデルの動学化にあたって生産技術の進歩を考えると、式中の労働生産性 $A$ が毎年 $\phi(\%)$ の割合で増加するとした。

企業は以下の利潤最大化行動に従う。なお、以下のモデルはシミュレーションの各時点における静学的な均衡を表しているため、時間変化の仲介として利用される

動学的変数を除き時点を表すラベル $t$ の記述を省いている。

$$\max \pi_i = p_i^z Z_i - (W \cdot L_i + R \cdot K_i) \quad (3.1)$$

$$s.t. Z_i(L_i, K_i) = b_i (AL_i)^{\alpha_i} K_i^{\beta_i} G^{\gamma_i} \quad (3.2)$$

式中の各記号の意味は次の通りである。

$i$  : 産業を表すラベル ( $i=1,2,3$ )

$\pi_i$  : 第 $i$ 部門の企業が得る利潤

$p_i^z$  : 財 $i$ の生産者価格

$Z_i$  : 財 $i$ の生産量

$W$  : 賃金

$L_i$  : 部門 $i$ に投入される労働力

$R$  : 資本レント

$K_i$  : 部門 $i$ に投入される民間資本

$G$  : コア・インフラのストック

$A$  : 労働生産性 ( $A_t = (1 + \phi)^t$ )

$\phi$  : 潜在成長率

$b_i$  : 生産関数の規模係数

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  : 生産関数の投入割合係数 ( $\alpha_i + \beta_i + \gamma_i = 1$ )

労働と民間資本とコア・インフラの間で規模に対して収穫一定の仮定を用いるので、生産活動において社会資本は対価不要の生産要素と見なすことができる。このため企業には利潤が発生することになるが、生じた利潤は全て家計に保有資本量に応じて分配されるとする。

### 3.3 家計の行動モデル

家計は世代構造をもち、20歳で経済に参入し、64歳まで働いた後、79歳まで生存する。便宜上、就労世代の年齢を表す集合を $S_y = \{20, \dots, 64\}$ 、引退世代の年齢を表す集合を $S_r = \{65, \dots, 79\}$ とする。 $s$ 歳世代には外生的に人口 $N_s$  (単位:千人)が与えられている。

### 3.3.1 効用関数

効用関数は就労期と引退期で共通している .

$$\max u_s = \prod_i (q_{i,s}^H)^{\rho_i} \quad \forall s \quad (3.3)$$

ただし ,

$u_s$  :  $s$  歳世代の効用 (千人あたり)

$\rho_i$  : 効用関数の支出割合係数

$q_{i,s}^H$  :  $s$  歳世代の財  $i$  消費量 (千人あたり)

である .

### 3.3.2 就労世代の行動モデル

就労期の所得は労働収入と資本収入 , および企業から利潤分配から成る . 企業からの利潤分配は , 資本収入と同様に保有する資本の量に応じて決まる . 納税後の可処分所得から外生の貯蓄率に基づいて貯蓄を行い , 残りの額でその期の消費を行う .

$$(1 - mps_s) (1 - \tau^d) y_s = \sum_i p_i^q \cdot q_{i,s}^H \quad \exists s \in S_y \quad (3.4)$$

$$y_s = W \cdot lpc + R \cdot k_s + \frac{k_s}{\sum_s k_s N_s} \sum_i \pi_i \quad \exists s \in S_y \quad (3.5)$$

ただし ,

$mps_s$  :  $s$  歳世代の貯蓄率 (外生)

$y_s$  : 所得

$\tau^d$  : 所得税率

$p_i^q (= (1 + \tau_i^z) p_i^z)$  : 財  $i$  の需要者価格

$\tau_i^z$  : 生産税率

$lpc$  : 就労世代人口千人あたりの労働力

$k_s$  :  $s$  歳世代の保有資本量 (千人あたり)

である .

就労世代は年齢ごとに異なる外生の貯蓄率に基づいて投資を行い , 保有資本量を増加させる .

$$k_{s+1}^{t+1} = (1 - \delta_K) k_s^t + \frac{mps_s (1 - \tau^d) y_s^t}{p_t^V} \quad \exists s \in S_y \quad (3.6)$$

ただし ,

$\delta_K$  : 資本減耗率

$p^V$  : 投資財価格

である .

### 3.3.3 引退世代の行動モデル

引退期の収入は資本収入 , 企業からの利潤分配 , 年金 , および資本を取り崩して得る収入から成り , 貯蓄は行わず消費のみを行う . 収入の内 , 資本を取り崩して得る収入には課税されない .

$$(1 - \tau^d) y_s + p^v \cdot ct_s = \sum_i p_i^q \cdot q_{i,s}^H \quad \exists s \in S_r \quad (3.7)$$

$$y_s = R \cdot k_s + \omega + \frac{k_s}{\sum_s k_s N_s} \sum_i \pi_i \quad \exists s \in S_r \quad (3.8)$$

ただし ,

$\omega$  : 年金給付額 (引退世代人口千人あたり)

$ct_s$  : 取り崩す資本量

である .

引退世代は , 引退1期目に保有している資本を余命 (79 - 64 =) 15年で等分して各期で均等に消費していくものとしており , 資本の更新式は以下のようなになる . なお , 式中  $t'_s$  は ,  $s$  歳世代が引退期1年目にあるときの  $t$  を表す .

$$k_{s+1}^{t+1} = (1 - \delta_K) k_s^t - ct_s^t \quad \exists s \in S_r \quad (3.9)$$

$$ct_s^t = \left( \frac{k_{t'_s}^t}{15} - \delta_K k_s^t \right) \quad \exists s \in S_r \quad (3.10)$$

### 3.3.4 資本保有量に関する条件

家計は経済に参入した最初の年には資本を持たず , また生存する最後の年に全ての資本を使い果たすとし , 相続は考えない .

$$k_{20} = k_{80} = 0 \quad (3.11)$$

### 3.3.5 家計全体で見た資本の更新式

経済全体で見た各時点の資本量及び資本の更新式は以下のようになる。

$$K_t = \sum_s k_s^t \cdot N_s^t \quad (3.12)$$

$$K_{t+1} = (1 - \delta_K)K_t + \Delta K_t \quad (3.13)$$

$$\Delta K_t = \sum_{s \in S_y} \frac{mps_s(1-\tau^d)y_s^t}{p_t^V} \cdot N_s^t - \sum_{s \in S_r} ct_s^t \cdot N_s^t \quad (3.14)$$

ただし， $K_t$ ：第 $t$ 期における総民間資本ストックである。

投資財は企業が生産した財を一定の割合の下で組み合わせて作られ，価格はその割合に応じた財の需要者価格の線形和に等しい。

$$Q_i^V = \mu_i^V \Delta K \quad (3.15)$$

$$p^V = \sum_i \mu_i^V \cdot p_i^q \quad (3.16)$$

ただし，

$\mu_i^V$ ：民間資本投資財1単位を合成するために必要な財 $i$ の量

$Q_i^V$ ：財 $i$ の民間投資財需要

である。

## 3.4 政府の行動モデル

### 3.4.1 政府収支

政府収支を表す式は以下のようになる。

$$\sum_s \tau^d \cdot y_s \cdot N_s + \sum_i \tau_i^z \cdot p_i^z \cdot Q_i = \omega \sum_{s \in S_r} N_s + \sum_i p_i^q \cdot Q_i^G + V^G \quad (3.17)$$

ただし

$Q_i^G$ ：財 $i$ の政府消費量

$V^G$ ：社会資本整備

である。

政府は生産税と所得税からなる収入を，社会保障と公共サービス，および社会資本投資に振り分ける。社会保障は引退世代に支給される年金として表現し，一人あたりの額は就労世代が得る労働収入の2割に固定する。これで高齢化の進行に伴っ

て増大する社会保障費を表現することができる。公共サービスは総人口に比例して為されるとし、コア・インフラでない都市公園や社会教育インフラなどに対する支出もここに含まれる。社会保障と公共サービスが人口によって決まるので、税率の増減はそのまま社会資本投資の増減と1対1に対応する。税率には所得税率と生産税率があるが、両方を一括で動かして最適政策を探す。この時の倍率を  $C$  とする。単純化のために長期的には財政は均衡するという仮定を用い、政府収入は税収だけで賄われるとした。

### 3.4.2 社会資本の更新

政府の社会資本投資によってコア・インフラストック  $G$  が更新される。

$$G_{t+1} = (1 - \delta_G)G_t + \Delta G_t \quad (3.18)$$

$$\Delta G_t = \frac{V_t^G}{p_t^{GV}} \quad (3.19)$$

ただし、

$\delta_G$  : 社会資本減耗率

$p^{GV}$  : 社会資本投資財価格

である。

社会資本投資財は、民間投資財と同様、各財を一定の割合で組み合わせて作られる。

$$Q_i^{GV} = \mu_i^{GV} \Delta G \quad (3.20)$$

$$p^{GV} = \sum_i \mu_i^{GV} \cdot p_i^q \quad (3.21)$$

ただし、

$Q_i^{GV}$  : 財  $i$  の社会資本投資財需要

$\mu_i^{GV}$  : 社会資本投資財1単位を合成するために必要な財  $i$  の量

である。

## 3.5 その他の方程式

### 3.5.1 市場均衡条件

各期において労働市場，資本市場，財市場の均衡が成り立つ．

$$\sum_i L_i = \sum_{s \in S_y} N_s \cdot lpc \quad (3.22)$$

$$\sum_i K_i = \sum_s k_s \cdot N_s \quad (3.23)$$

$$Z_i = Q_i^H + Q_i^V + Q_i^G + Q_i^{GV} \quad (3.24)$$

ただし， $Q_i^H (= \sum_s q_{i,s}^H \cdot N_s)$ ：家計全体で見た財*i*の消費量である．

### 3.5.2 社会厚生

各年における家計全体の効用を，シミュレーション期間である30年後にまでわたって合計したものを社会厚生*UU*として定義し，*UU*を最大化させる税率を最適政策とする．

$$UU = \sum_{t=0}^{30} \sum_s u_s^t \cdot N_s^t \quad (3.25)$$

## 第4章 データセットの作成

### 4.1 社会会計表の作成

以下の手順により作成した社会会計表は表-4.1に掲載している。

具体的な手順は細江・我澤・橋本<sup>11)</sup>を参考にした。産業連関表は2005年版の34部門表を使用し、同時にこの年を基準年( $t=0$ )とする。まず産業部門を3つに集約する。分類番号01.『農林水産業』を「農業」に、02.『鉱業』~18.『その他の工業製品』をまとめて「工業」に、19.『建設』~34.『分類不明』をまとめて「サービス」とした。さらに行項目の『雇用者所得』と『家計外支出』をまとめて家計の「労働所得」に、『営業所得』と『資本減耗引当』をまとめて家計の「資本所得」とした。資本所得には企業からの資本レントの他、利潤分配金も含まれている。同じく行項目の『間接税』と『経常補助金』はまとめて「生産税」とした。

次に列項目の『家計外消費支出』と『民間消費支出』をまとめて「家計消費」とし、『一般政府消費支出』はそのまま「政府消費(公共サービス)」とした。さらに列項目の『国内総固定資本形成(民間)』から『在庫投資純増』を引いた額を「民間投資」とし、『国内総固定資本形成(公的)』はそのまま「社会資本投資」とした。

これで社会会計表の草稿が完成した。本モデルでは財の中間投入を考慮ないので、「生産活動-生産活動」の部分は全てゼロにする。なお、「(行項目)-(列項目)」の表記で該当する社会会計表のマスを表すとする。中間投入以外に外国の項目も無視しているので、当然ながら現時点では対応する行和と列和は一致しない。元々の産業連関表を作成する各段階において何らかの行列調整が行われていることを考えると、複雑で手間のかかるこの作業をさらにもう一度繰り返す価値はそう大きくない。そこで本稿では、列和を固定し、これに合うように、対応する行全体を一律にスケールアップ(またはダウン)させるに留めた。

資本収入、労働収入、生産税の行および列は、唯一の列項目が対応する行和として入力されるので調整の必要はない。民間投資と社会資本投資は唯一の行項目が対応する列和として入力されるのでこれも調整しなくてよい。残る2マスの中身は「家計-政府」のマスに当たる社会保障費と、「政府-家計」のマスに当たる直接

税である。まず老齢基礎年金の2005年3月末時点の平均月額5.8万円に引退世代の人口を掛けた額を社会保障費とする。次に家計の行和と列和が合うように直接税の額を決めれば、政府の行和と列和も一致する。

以上で社会会計表が完成した。

## 4.2 人口データの作成

以下の手順により作成した人口に関するデータは表-4.2,表-4.3に掲載している。

### 4.2.1 各年齢人口と将来人口予測

2005年時点での各年齢の人口及び将来の人口予測に必要なデータは、総務省統計局ホームページより入手した。後で行う金融資産のデータが5歳刻みであるため、人口だけ1年刻みのものを用いると丙午生まれの世代の一人当たり保有資本量が突出してしまうなどの不都合が生じる。よって人口も5歳階級のデータから読み取り、それを5で除した数値を各年齢の人口とした。寿命を79歳としているので、80歳以上の人口は外生的にゼロとする。出生児数の予測は隔年でしか行われていないので、空白期間は各年の増減数が一定であるとして推定を行った。

### 4.2.2 各年齢の貯蓄率および保有資本量

年齢別の貯蓄率のデータは、新堂精士「貯蓄率低下の背景 年齢・所得階層別の分析から」<sup>10)</sup>より中所得階層の貯蓄率を引用した。ただし2003年までの推計結果しか無かったため、2000年～2003年の各世代の平均をそれぞれの貯蓄率とした。引退世代である65歳以上の貯蓄率は外生的にゼロとした。

年齢別の保有資本量を求めるために、まず総務省統計局ホームページより2005年の総民間企業資本ストックデータ(1,137,813,616百万円)を入手し、この年における1円分の資本を1単位のストックと定義した。次に熊野英生「団塊マネーの追跡、高齢者貯蓄の行方」<sup>13)</sup>から5歳階級別保有資産割合のデータを入手し、上記の総民間資本ストックと掛け合わせて5歳階級別保有資本量を算出した。25～65歳の世代については単純に5歳階級別保有資本量を5で除し、さらに人口(単位:千人)で除したものを千人当たり保有資本量としたが、20～24歳世代と引退世代についてはモデルの

条件との整合性がとれるように工夫を加えた。すなわち20歳世代の保有資本量は外生的にゼロとし、22歳世代の千人当たり保有資本量は21歳世代の千人当たり保有資本量の2倍、23歳世代は3倍、24歳世代は4倍になるようにする。引退世代についても、78歳世代の千人当たり保有資本は79歳世代の2倍、77歳世代は3倍、…、65歳世代は15倍となるよう調整した。

### 4.3 社会資本データの作成

社会資本の内、企業が生産活動に用いるのは生産資本としての性格が強いもの（コア・インフラ）に限る。コア・インフラの具体的な分類は基本的にAschauer<sup>8)</sup>による定義（道路・航空・鉄道・地下鉄・下水道・水道・工業用水・電気・ガス）を参考にした。本稿ではこれに農林漁業と港湾を追加し、一方で電気とガスは民間資本とみなして除いた。コア・インフラ以外の社会資本は社会資本ストックに含めないとする。社会資本データは内閣府<sup>14)</sup>より入手した。しかし本稿執筆段階では2003年までのデータしか得られなかったため、簡便な調整を施して暫定的なデータとして用いる。すなわち、2001年から2003年の増分を2003年のストックに足した数値（497,785,409百万円）を基準年のストックとした。民間資本と同様、基準年における1円分の資本を1単位のストックと定義した。なおストックの更新については、民間資本投資・社会資本投資とも投資総額を各期におけるそれぞれの投資財価格で除した量が新たな増分として蓄積されるとしている。

コア・インフラ以外の社会資本の内、電気・ガス・電気通信は民間資本に含まれるとみなした。都市公園・学校施設・社会教育・廃棄物処理・治水・治山・海岸・国有林・公共賃貸住宅に関わる費用は、総人口に比例した額の支出が毎年為される公共サービスの一部と見なした。

## 第5章 パラメータの推定（キャリブレーション）

社会会計表を用いて各種パラメータの推定を行う。文字の右肩に付く添え字の0は基準均衡における値であることを示す。

### 5.1 生産関数のパラメータ推定

まず生産関数中の労働力の投入割合係数 $\alpha_i$ を求める。企業の利潤最大化問題に関して、ラグランジュ乗数 $\lambda$ を用いて次のようなラグランジュ関数 $\mathcal{L}_i$ を定義する。ここで、生産関数中に含まれる労働生産性 $A$ は基準年においては1であるから無視して構わない。

$$\mathcal{L}_i(Z_i, K_i, L_i, \lambda) = (p_i^z \cdot Z_i - W \cdot L_i - R \cdot K_i) + \lambda_i (b_i L_i^{\alpha_i} K_i^{\beta_i} G^{\gamma_i} - Z_i) \quad (5.1)$$

この問題は内点解をもつから、次のような一階条件が得られる。

$$\frac{\partial \mathcal{L}_i}{\partial Z_i} = p_i^z - \lambda_i = 0 \quad (5.2)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}_i}{\partial L_i} = -W + \lambda_i \alpha_i \frac{b_i L_i^{\alpha_i} K_i^{\beta_i} G^{\gamma_i}}{L_i} = 0 \quad (5.3)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}_i}{\partial \lambda} = b_i L_i^{\alpha_i} K_i^{\beta_i} G^{\gamma_i} - Z_i = 0 \quad (5.4)$$

ラグランジュ乗数を消去して

$$\alpha_i = \frac{W \cdot L_i}{p_i^z \cdot Z_i} \quad (5.5)$$

基準年において財の生産者価格と賃金は全て1とする<sup>11)</sup>ので、次の式により $\alpha_i$ が求まる。

$$\alpha_i = \frac{L_i^0}{Z_i^0} \quad (5.6)$$

続いて $\beta_i$ と $\gamma_i$ を求めたいが、社会会計表から社会資本の生産性に関するデータを読みとることができないので、 $\gamma_i/\beta_i$ を外部のデータから求める必要がある。データの都合上、 $\gamma_i/\beta_i$ は全産業で同じ値( $\gamma/\beta$ )を取るとする。最初に日本国の実質GDP、労働人口、民間資本ストック、社会資本ストックの時系列データを使って、以下のような方法で $\gamma/\beta$ を求めることを考えた。つまり、次の式

$$\ln GDP_t = b_t' + \alpha \ln L_t + \beta \ln K_t + \gamma \ln G_t + \epsilon_t \quad (5.7)$$

を使って重回帰分析を行おうとしたが、民間資本ストックと社会資本ストックの相関が非常に強かったために失敗した（多重共線性）。

そこで、民間資本と社会資本に対して最適な投資が為されているという仮定を用いて推定を行った。このとき両者の投資収益率が等しくなるため、減耗率の違いを無視し、かつ投資財価格が一定とすれば、次の式が成り立つ。

$$\frac{\partial Z}{\partial K} = \frac{\partial Z}{\partial G} \quad (5.8)$$

整理して、

$$\beta K^{\beta-1} G^\gamma L^\alpha = \gamma G^{\gamma-1} K^\beta L^\alpha \quad (5.9)$$

$$\ln \beta + (\beta - 1) \ln K + \gamma \ln G = \ln \gamma + (\gamma - 1) \ln G + \beta \ln K \quad (5.10)$$

$$\ln \beta - \ln K = \ln \gamma - \ln G \quad (5.11)$$

$$\frac{\gamma}{\beta} = \frac{G}{K} \quad (5.12)$$

2005年の民間資本ストックと社会資本ストックは4章より既知であるから、

$$\frac{\gamma}{\beta} = 0.437 \quad (5.13)$$

を得る。この値と最初に求めた $\alpha_i$ の値、および $\alpha_i + \beta_i + \gamma_i = 1$ （企業の技術は規模に関して収穫一定より）から、 $\beta_i$ と $\gamma_i$ が求められる。

規模係数 $b_i$ を求める式は次の通りである。

$$b_i = \frac{Z_i^0}{L_i^{0\alpha_i} K_i^{0\beta_i} G^{0\gamma_i}} \quad (5.14)$$

## 5.2 効用関数などのパラメータ推定

家計の支出割合係数 $\rho_i$ や投資財1単位を作るのに必要な各財の量 $\mu_i^V$ 、 $\mu_i^{GV}$ は社会会計表から簡単に求められるが、間接税を考慮することに注意しなければならない。

$$\rho_i = \frac{(1+\tau_i^z)Q_i^{H0}}{\sum_i (1+\tau_i^z)Q_i^{H0}} \quad (5.15)$$

$$\mu_i^V = \frac{(1+\tau_i^z)Q_i^{V0}}{\sum_i (1+\tau_i^z)Q_i^{V0}} \quad (5.16)$$

$$\mu_i^{GV} = \frac{(1+\tau_i^z)Q_i^{GV0}}{\sum_i (1+\tau_i^z)Q_i^{GV0}} \quad (5.17)$$

人口千人当たり必要な公共サービス(政府消費量)  $gpc_i$  は, 次の式で求められる.

$$gpc_i = \frac{Q_i^{G0}}{\sum_s N_s^0} \quad (5.18)$$

就労世代人口千人あたりの労働力  $lpc$  は, 以下の式で求められる.

$$lpc = \frac{\sum_i L_i^0}{\sum_s N_s^0} \quad (5.19)$$

### 5.3 資本減耗率と潜在成長率の設定

減耗率については様々な試算があり, 本モデルでは資本を民間資本とコア・インフラの2種類に集約しているので, 正確な数値を産出することは極めて難しい. そのため本稿では民間資本減耗率  $\delta_K = 0.05$ , 社会資本減耗率  $\delta_G = 0.033$  と外生的に与えるに留めた.

潜在成長率  $\phi$  についても同様に様々な試算があるが, 今回のシミュレーションではこれを外生的に1%とした.

## 第6章 シミュレーション結果とモデルの妥当性の検証

### 6.1 モデルの全容

整理のため、以下に解くべき連立方程式体系を示す。逐次型の動学モデルのため、シミュレーションではその年数分だけこの連立方程式体系を解く操作を繰り返せばよい。

#### ・企業行動

$$Z_i = b_i(A \cdot L_i)^{\alpha_i} K_i^{\beta_i} G^{\gamma_i} \quad \forall i \quad (6.1)$$

$$L_i = \frac{\alpha_i p_i^z Z_i}{A \cdot W} \quad \forall i \quad (6.2)$$

$$K_i = \frac{\beta_i p_i^z Z_i}{R} \quad \forall i \quad (6.3)$$

$$\pi_i = p_i^z Z_i - (W \cdot L_i + R \cdot K_i) \quad \forall i \quad (6.4)$$

#### ・家計行動

$$y_s = W \cdot lpc + R \cdot k_s + \frac{k_s}{\sum_s k_s N_s} \sum_i \pi_i \quad \exists s \in S_y \quad (6.5)$$

$$q_{i,s}^H = \frac{\rho_i}{p_i^q} (1 - mps_s) (1 - \tau^d) y_s \quad \exists s \in S_y, \quad \forall i \quad (6.6)$$

$$y_s = R \cdot k_s + \omega + \frac{k_s}{\sum_s k_s N_s} \sum_i \pi_i \quad \exists s \in S_r \quad (6.7)$$

$$q_{i,s}^H = \frac{\rho_i}{p_i^q} \{ (1 - \tau^d) y_s + p^V \cdot ct_s \} \quad \exists s \in S_r, \quad \forall i \quad (6.8)$$

$$ct_s^t = \left( \frac{k_s^t}{15} - \delta_K k_s^t \right) \quad \exists s \in S_r \quad (6.9)$$

#### ・政府行動

$$\sum_s \tau^d \cdot y_s \cdot N_s + \sum_i \tau_i^z \cdot p_i^z \cdot Q_i = \omega \sum_{s \in S_r} N_s + \sum_i p_i^q \cdot Q_i^G + V^G \quad (6.10)$$

$$Q_i^G = gpc_i \sum_s N_s \quad \forall i \quad (6.11)$$

$$\omega = \frac{W \cdot lpc}{5} \quad (6.12)$$

#### ・投資財需要

$$Q_i^V = \frac{\mu_i^V}{p^V} \left\{ \sum_{s \in S_y} mps_s (1 - \tau^d) y_s N_s - p^V \sum_{s \in S_r} ct_s N_s \right\} \quad \forall i \quad (6.13)$$

$$Q_i^{GV} = \frac{\mu_i^{GV} \cdot V^G}{p^{GV}} \quad \forall i \quad (6.14)$$

・市場均衡条件

$$Z_i = \sum_s q_{i,s}^H \cdot N_s + Q_i^V + Q_i^G + Q_i^{GV} \quad \forall i \quad (6.15)$$

$$\sum_i L_i = \sum_{s \in S_y} N_s \cdot lpc \quad (6.16)$$

$$\sum_i K_i = \sum_s k_s \cdot N_s \quad (6.17)$$

・価格に関する方程式

$$p_i^q = (1 + \tau^z) p_i^z \quad \forall i \quad (6.18)$$

$$p^V = \sum_i \mu_i^V p_i^q \quad (6.19)$$

$$p^{GV} = \sum_i \mu_i^{GV} p_i^q \quad (6.20)$$

・資本の更新式

$$k_{s+1}^{t+1} = (1 - \delta_K) k_s^t + \frac{mps_s(1 - \tau^d) y_s^t}{p_t^V} \quad \exists s \in S_y \quad (6.21)$$

$$k_{s+1}^{t+1} = (1 - \delta_K) k_s^t - ct_s^t \quad \exists s \in S_r \quad (6.22)$$

$$G_{t+1} = (1 - \delta_G) G_t + \frac{V_t^G}{p_t^{GV}} \quad (6.23)$$

以上の連立方程式体系は23組349本の方程式からなり、同じく349個の内生変数( $Z_i$ 3個,  $L_i$ 3個,  $K_i$ 3個,  $\pi_i$ 3個,  $y_s$ 60個,  $q_{i,s}^H$ 180個,  $ct_s$ 15個,  $\omega$ 1個,  $V^G$ 1個,  $W$ 1個,  $R$ 1個,  $p_i^z$ 3個,  $p_i^q$ 3個,  $p^V$ 1個,  $p^{GV}$ 1個,  $Q_i^G$ 3個,  $Q_i^V$ 3個,  $Q_i^{GV}$ 3個,  $k_{s+1}^{t+1}$ 60個,  $G_{t+1}$ 1個)を含む。ただし、この方程式体系は価格に関してゼロ次同次であり、すべての市場の超過需要額の総和が常にゼロになるというワルラス法則が成り立っているため、方程式のうちの1本は冗長である。そこでシミュレーション時には労働力を価値基準財に選びその価格 $W$ を1に固定することで、すべての価格変数を労働力に対する相対価格として表現する<sup>11)</sup>。

## 6.2 政策と社会厚生の関係

シミュレーションではまず政策変数 $C$ を変化させ、社会厚生を最大化する税率が存在することを確かめた。ここで例えば $C = 1$ は基準年の税率を維持したケースに、

$C = 1.1$ は基準年比で各種税率を1割増やしたケースに該当する。 $C$ と各種税率の関係については、表-6.1にまとめた。

ここで税率と社会資本投資の関係について述べておく。政府支出の3つの項目のうち、社会保障費および公共サービスは外生の人口データによって決まるので、税率を上げたことによる政府の増収分はすべて社会資本投資に充てられることになる。逆に税率を減らした場合、減収分は全て社会資本投資を削ることによって調整される。すなわち税率の増減はそのまま社会資本投資の増減と1対1に対応している。

図-6.2からは社会厚生を最大化する点がほぼ $C = 1$ の付近にあることが読み取れる。シミュレーション分析では $C = 1$ を社会資本投資が適切な水準でなされているケースとして選んだほか、社会資本投資が過小なケースとして $C = 0.85$ 、過大なケースとして $C = 1.15$ を選び、それぞれのケースで資本ストックがどのように推移するかに着目する。

### 6.3 資本ストックの推移

各ケースにおける社会資本と民間資本のストックの推移を図-6.3、図-6.4、図-6.5に示す。3つの表を見比べると、社会厚生が最大化される場合には概ね社会資本と民間資本が一定のバランスを保ちながら蓄積されていることが確認できる。今回のシミュレーションにおいては設定した税率は30年間固定としたが、ここにある程度の柔軟性をもたせたることでより厳密に両資本ストックの最適なバランスを実現できると考えられる。

### 6.4 その他の経済指標の推移

資本ストック以外の各種経済指標の推移からもモデルの妥当性を検証する。資本レントの推移を図-6.6に示す。シミュレーション時には賃金を1に固定しているので、資本レントの上昇はそのまま労働力に対する民間資本の相対価値が上がることを意味する。今回設定した潜在成長率や貯蓄率、人口予測のもとでは、シミュレーションの前半においては資本の成長が鈍化する効果が労働の成長が鈍化する効果を上回り、後半ではその関係が入れ替わるという結果になった。図-6.3でシミュレーショ

ン前半では民間資本ストックが減少していることから分かる通り、これは貯蓄率を低く見積もり過ぎた可能性が高いことを意味している。

次に、社会保障費の絶対額の推移を図-6.7に示す。いわゆる団塊の世代(1947~1949年生まれの世代)<sup>1)</sup>が一斉に引退期を迎えて社会保障費が増大する様子は表現できているが、シミュレーション後半で社会保障費の絶対額が減少に転じるのはやや不自然である。これは、高齢者関係の社会保障給付費を年金に限定し、引退世代の人口に完全に比例するとした仮定に誤りがあり、モデルの妥当性を高めるためには医療・福祉等に関する支出も考慮する必要があることを示唆している。

最後に、GDPに占める社会資本投資の割合の推移を図-6.8に、GDPに占める社会保障費の割合の推移を図-6.9に示す。社会保障費の増大が収まり、かつある程度の経済成長を実現した後は社会資本投資対GDP比が加速度的に大きくなっていることが読み取れる。社会資本投資対GDP比の変動が大きいと効率的な投資政策は取りづらくなると考えられるので、公債をモデルに導入するなどして推移を安定させることで、社会厚生をより大きくするような政策が分析可能になるだろう。

## 第7章 おわりに

本研究では応用一般均衡モデルと世代重複モデルを統合することにより、少子高齢化社会における効率的な社会資本の蓄積過程を実現するための政策評価手法を提案した。今回構築したモデルによって、少子高齢化の進行が労働と資本の推移を不安定な状態にするという、従来にはなかった問題について分析を行うことが可能となる。このモデルを用いてシミュレーション分析を行った結果、民間資本と社会資本が良好なバランスを保ちながら蓄積されていくことが望ましく、そのバランスを逸脱して社会資本投資を行うことは社会厚生を損なうことを確認した。さらに資本ストック以外の各種経済指標の推移も分析し、モデルの妥当性の検証を行った。

モデルの改良すべき課題として、まず今回のシミュレーションでは税率を30年間固定としたが、ここにある程度の柔軟性をもたせることが考えられる。こうすることでより厳密に社会資本と民間資本の良好なバランスを保つための政策が分析できる。次にパラメータの設定において、社会資本減耗率を一定としたが、これは社会資本が過去に一定のペースで蓄積されてきたという仮定を暗黙に用いることになる。今後一斉に耐用年数を迎える社会資本の更新需要増大を表現するためには、社会資本に家計と同じように世代構造を組み込むなどして、各年において異なる減耗率を与える工夫が必要になる。また社会資本更新技術の進歩を考慮する余地も存在する。社会保障費についても、今回は老年人口に支給される年金支出のみを考えたが、高齢化による社会保障費の増大をより正確に表現するためには、医療・福祉等に関わる費用も考える必要がある。最後に、今回は社会資本の生産性を評価する際に、社会資本と民間資本に対して最適な投資が為されてきたという仮定を用いたが、当然ながら他の方法も考えられる。社会資本の生産性については様々な試算方法があり<sup>15)</sup>見解の一致をみるに至っていない問題であるが、モデルから得られる示唆に大きく影響する部分だけに十分な吟味が必要である。

## 参考文献

- 1) 内閣府編: 平成23年版高齢社会白書, 2011
- 2) 財務省ホームページ, 日本の財政関係資料(平成23年9月),  
([http://www.mof.go.jp/budget/fiscal\\_condition/related\\_data/sy014\\_23.pdf](http://www.mof.go.jp/budget/fiscal_condition/related_data/sy014_23.pdf))
- 3) 上田孝行: Excelで学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 2010
- 4) 伴金美: 日本経済の多地域動学的応用一般均衡モデルの開発 Forward Lookingの視点に基づく地域経済分析, RIETI Discussion Paper Series 07-J-043, 2007
- 5) TRADE AND INDUSTRIAL POLICY STRATEGIES: A Dynamic Computable General Equilibrium Model for South Africa: Extending the Static IFPRI Model, 2004
- 6) 佐藤徹治: 生産要素の時系列変化を考慮した動学的応用一般均衡モデル, 土木計画学研究講演集(CD-ROM), Vol.29, pp.III(220), 2004
- 7) 伊多波良雄, 齋藤英則: 社会資本ストックと民間資本ストックの推計, 同志社政策科学研究1, 1999
- 8) Aschauer, D. A.: Is public expenditure productive?, Journal of Monetary Economics, Vol.23, pp.177-200, 1989
- 9) 小池淳司, 岩上一騎, 上田孝之: 社会資本整備の世代間厚生分析世代重複型応用一般均衡モデルの開発と応用, 土木計画学研究・論文集 Vol.20, pp.155-162, 2003
- 10) 新堂精士: 貯蓄率低下の背景 年齢・所得階層別の分析から, 富士通総合研究所 Economic Review, Vol.10, No.2, 2006
- 11) 細江宣裕, 我澤賢之, 橋本日出男: テキストブック応用一般均衡モデリング, 東京大学出版会, 2010
- 12) 国土交通省編: 平成21年度国土交通白書, 2009

- 13) 熊野英生: 団塊マネーの追跡, 高齢者貯蓄率の行方, 第一生命経済研究所 Financial Trends, 2005
- 14) 内閣府政策統括官編: 日本の社会資本 2007, 独立行政法人国立印刷局, 2007
- 15) 江尻良, 奥村誠, 小林潔司: 社会資本の生産性と経済成長: 研究展望, 土木学会論文集, No.688, IV-53, pp.75-87, 2001

## 付録A 付図・付表

	農業	工業	サービス	資本	労働	間接税	家計	政府	民間投資	社会資本投資	行和
農業							5,525,208	0	1,426,162	0	6,951,370
工業							58,082,887	324,142	33,521,521	1,162,680	93,040,680
サービス							235,264,925	91,102,566	56,797,754	22,716,768	405,882,013
資本	5,082,506	28,101,518	163,045,386								196,229,420
労働	1,435,010	51,452,488	222,732,700								275,620,188
間接税	483,854	13,486,674	20,109,917								34,024,445
家計				196,229,420	275,620,188			13,210,080			485,059,688
政府											128,516,237
民間投資											91,745,437
社会資本投資											23,879,449
列和	6,951,370	93,040,680	405,882,013	196,229,420	275,620,188	34,024,445	485,059,688	128,516,237	91,745,437	23,879,449	23,879,449

(単位:百万円)

図-4.1 社会会計表

年齢	人口 (単位:千人)	保有資本ストック (千人当たり)	貯蓄率
20	1540	0	0.286
21	1540	124	0.286
22	1540	249	0.286
23	1540	373	0.286
24	1540	498	0.286
25	1738	1684	0.286
26	1738	1684	0.286
27	1738	1684	0.286
28	1738	1684	0.286
29	1738	1684	0.286
30	1966	4252	0.352
31	1966	4252	0.352
32	1966	4252	0.352
33	1966	4252	0.352
34	1966	4252	0.352
35	1736	6491	0.352
36	1736	6491	0.352
37	1736	6491	0.352
38	1736	6491	0.352
39	1736	6491	0.352
40	1588	8928	0.267
41	1588	8928	0.267
42	1588	8928	0.267
43	1588	8928	0.267
44	1588	8928	0.267
45	1562	10882	0.267
46	1562	10882	0.267
47	1562	10882	0.267
48	1562	10882	0.267
49	1562	10882	0.267
50	1826	13239	0.195
51	1826	13239	0.195
52	1826	13239	0.195
53	1826	13239	0.195
54	1826	13239	0.195
55	1962	17363	0.195
56	1962	17363	0.195
57	1962	17363	0.195
58	1962	17363	0.195
59	1962	17363	0.195
60	1730	22158	0.093
61	1730	22158	0.093
62	1730	22158	0.093
63	1730	22158	0.093
64	1730	22158	0.093

年齢	人口 (単位:千人)	保有資本ストック (千人当たり)	貯蓄率
65	1474	35364	0
66	1474	33006	0
67	1474	30649	0
68	1474	28291	0
69	1474	25933	0
70	1296	23576	0
71	1296	21218	0
72	1296	18861	0
73	1296	16503	0
74	1296	14145	0
75	1026	11788	0
76	1026	9430	0
77	1026	7073	0
78	1026	4715	0
79	1026	2358	0

図-4.2 基準年人口データ

経済に参入 する時刻 t	人口 (単位:千人)
1	1414
2	1388
3	1347
4	1302
5	1253
6	1216
7	1212
8	1190
9	1208
10	1206
11	1183
12	1188
13	1193
14	1179
15	1180
16	1160
17	1145
18	1111
19	1088
20	1050
21	1072
22	1084
23	1092
24	1078
25	1038
26	997
27	957
28	917
29	876
30	836

図-4.3 将来世代人口データ

C	所得税率	生産税率 (農業)	生産税率 (工業)	生産税率 (サービス)
0.85	0.1656	0.0566	0.1441	0.0443
0.9	0.1753	0.0599	0.1526	0.0469
0.95	0.1851	0.0633	0.1610	0.0495
1	0.1948	0.0666	0.1695	0.0521
1.05	0.2045	0.0699	0.1780	0.0547
1.1	0.2143	0.0733	0.1865	0.0573
1.15	0.2240	0.0766	0.1949	0.0599

図-6.1 政策変数 C と各種税率の関係

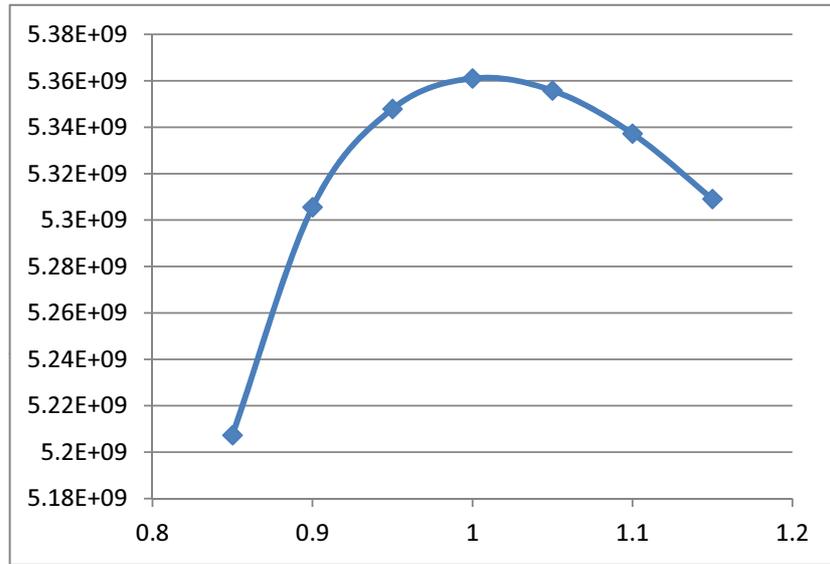


図-6.2 政策変数  $C$  と社会厚生の関係

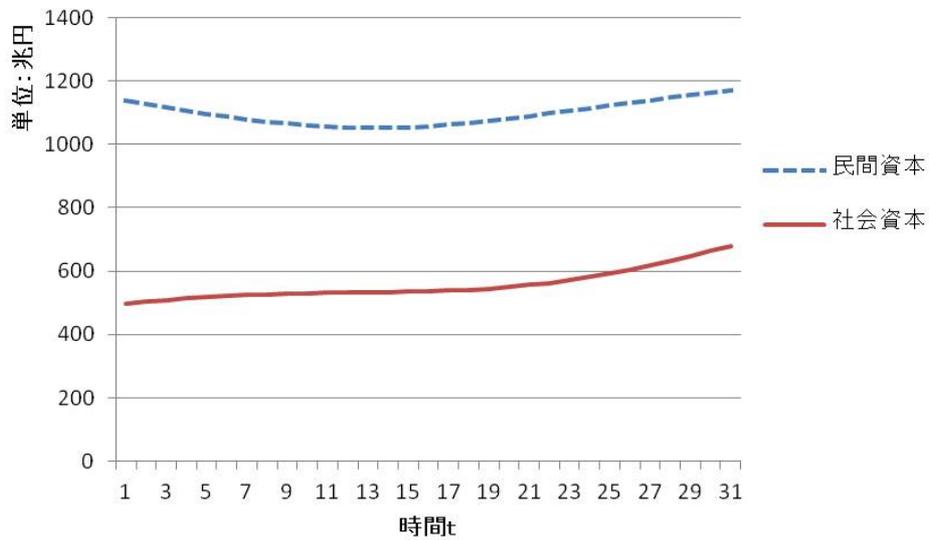


図-6.3 資本ストックの推移 [C=1.00]

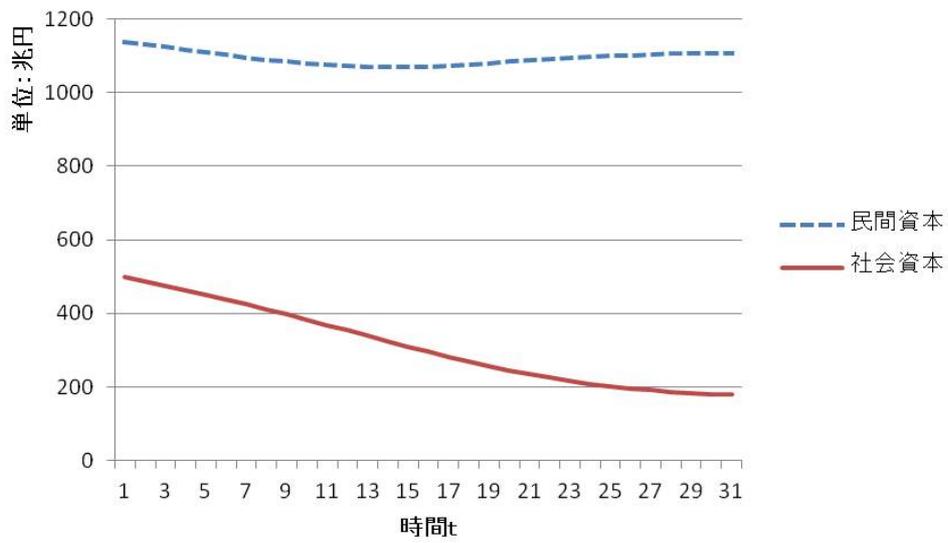


図-6.4 資本ストックの推移 [C=0.85]

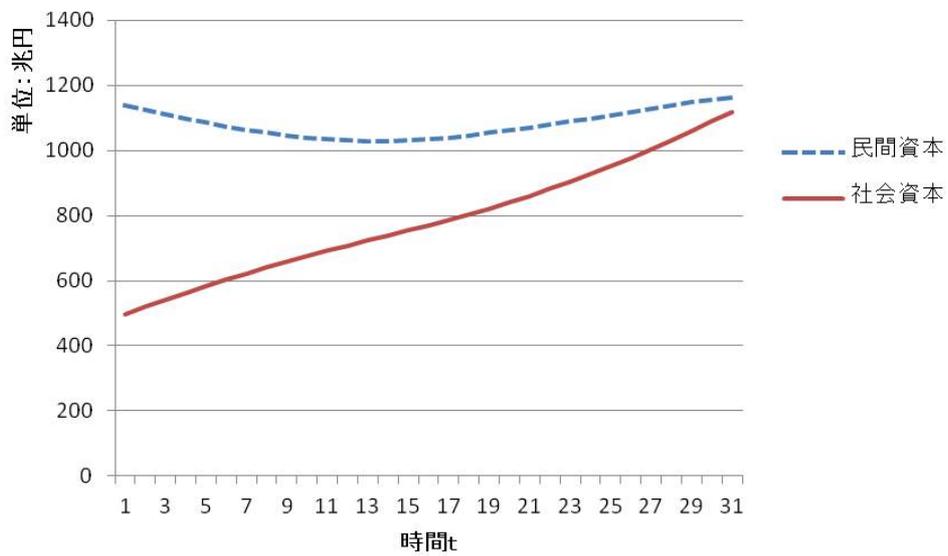


図-6.5 資本ストックの推移 [C=1.15]

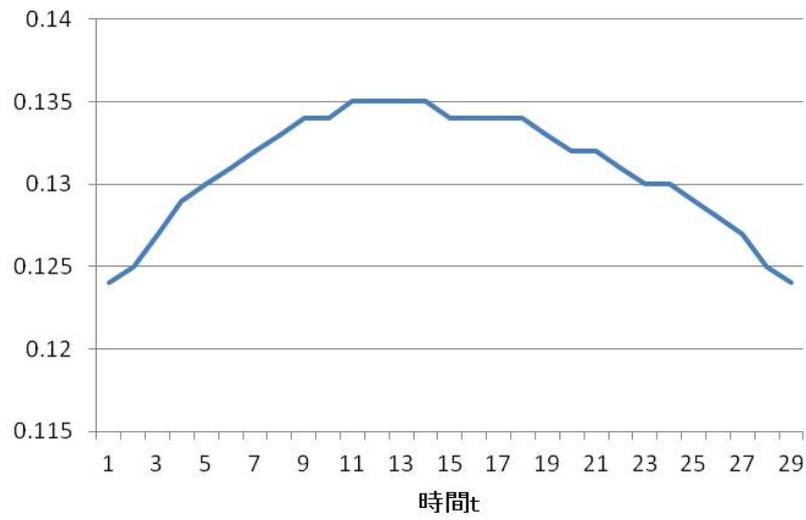


図-6.6 資本レントの推移

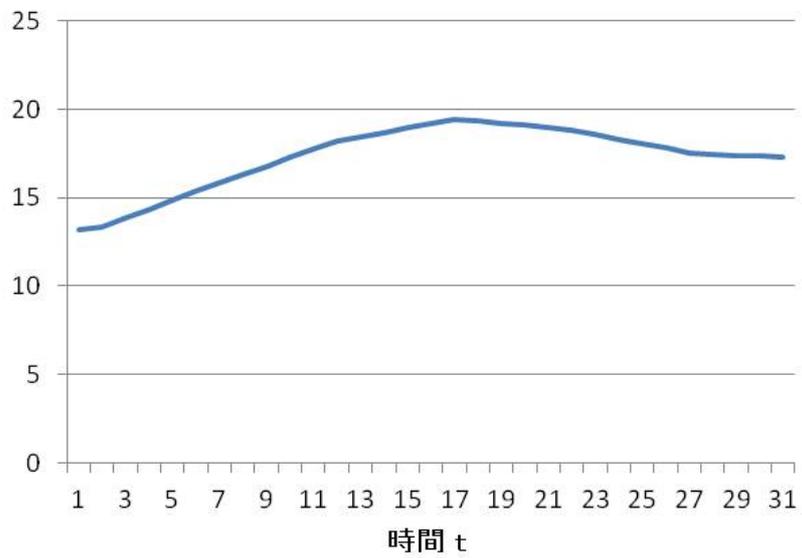


図-6.7 社会保障費の絶対額の推移

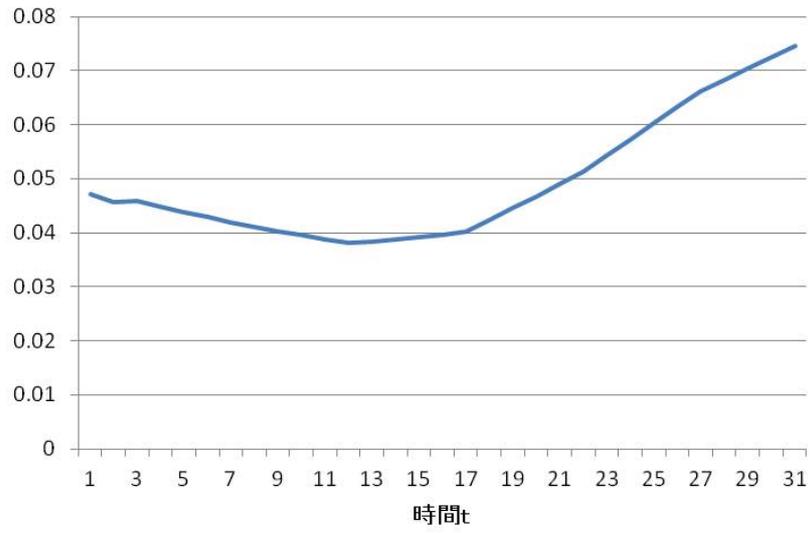


図-6.8 GDPに占める社会資本投資の割合の推移

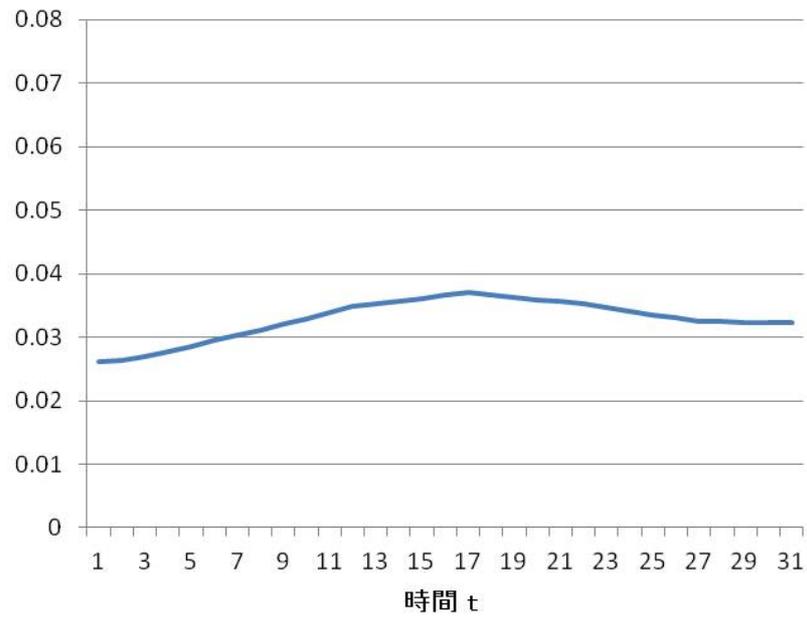


図-6.9 GDPに占める社会保障費の割合の推移

## 謝 辞

本研究の遂行にあたって、多くの方々のご指導・ご協力を頂きました。心より感謝の意を表します。京都大学経営管理大学院の小林潔司教授には、大変ご多忙の中、私が研究の方向性を誤らないよう終始適切なご指導を頂きました。京都大学工学研究科の松島格也准教授には、厳しくも思いやりのあるご指導を頂きました。京都大学工学研究科の大西正光助教には研究に関する有益なご指摘のほか、温かい励ましの言葉を頂きました。京都大学工学研究科の吉田護助教からは、研究内容や日頃の研究生活に関する有益なご指導とコメントを頂きました。4名の先生方からは研究に限らず進路相談の際にも冷静なご助言を賜り、大学院に進学する意味などを考え直す契機を与えて頂きました。厚く御礼申し上げます。京都大学工学研究科の鄭蝦榮特定研究員には研究室に配属された当初から常に温かいご指導をいただきました。また、秘書の藤本彩氏には普段の事務手続きのほか、様々な場面でご支援を頂きました。心より感謝いたします。計画マネジメント論研究室の諸先輩には、公私を問わず日頃から親身に相談に乗って頂き、温かい励ましの言葉やご指導を頂きました。特に博士後期課程の瀬木俊輔さんには、本研究に関わる基礎的な素養を一からご教授頂き、本論文の推敲に至るまで懇切丁寧なご指導を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。