

インフラ維持管理技術の変化によるマクロ経済的影響に関する基礎的モデル分析*

An Analysis of Macroeconomic Effects by the Change of Infrastructure Management Technology*

石倉智樹**

By Tomoki ISHIKURA**

1. はじめに

日本経済には多くのインフラストックが蓄積¹⁾されているが、今後の維持管理費、老朽化したストックの更新費用などが増大することが予想されている²⁾。行政においても、戦略的な維持管理・更新が重視されつつある³⁾。

また、維持管理・更新に関する工学的技術、例えば、検査技術、劣化予測技術、長寿命化技術や、アセットマネジメントに関する技術は進歩している⁴⁾。しかし、都市におけるインフラマネジメント、国におけるインフラマネジメント、のような空間的にマクロな視点からのインフラマネジメント、特に維持管理・更新に関する研究は、個別インフラのアセットマネジメントに比べると、未だ蓄積が少ない。

インフラへの投資と経済成長の関係については、古くから研究されている分野の一つであり、理論的モデルも実証研究も蓄積されている。それらは、新規投資によるインフラストック量蓄積に注目したものが多かった。しかし、近年になり、維持更新や投資の効率性についても、注目されつつある。

本研究は、長期的な視点からインフラの戦略的な維持管理・更新政策への示唆を得るため、インフラの維持管理技術の変化がマクロ経済的な成長に及ぼす影響を考察するための基礎的な動学的経済モデルを構築する。さらに、仮想経済を対象としたシミュレーション分析により、インフラの維持管理技術の変化や、インフラストックの生産性の変化が、最適成長のためのインフラ投資・維持管理政策に及ぼす影響について、感度分析を行う。

2. インフラと長期経済モデルに関する既存研究

経済モデルにおいて、インフラストラクチャは、公的セクターすなわち政府部門による投資によって蓄積された資本ストックとして定義されることが一般的である。このような観点からインフラストックと経済成長の関係

に着目し、動学モデルとして扱った研究は Arrow and Kurz⁵⁾が確立したと言えよう。Arrow and Kurz⁵⁾は、公的資本ストック蓄積による生産能力向上をモデル化し、最適な公的投資政策について理論的解析をおこなった。

このアプローチは、Barro⁶⁾や King and Rebelo⁷⁾に引き継がれて発展を見せた。Barro⁶⁾は、政府の役割に着目し、政府の規模と成長の関係や税制と成長率の関係について論じている。King and Rebelo⁷⁾では、人的資本形成を考慮した内生成長モデルの枠組みにおいて、税制が成長率に及ぼす影響を分析した。しかし、これらはいずれも、モデル分析の主眼が財政・税制政策にあり、インフラ自体の特性とその経済成長への関連については、重点を置かれていない。また、ストックとしてのインフラは扱われていない。

これらに対して、インフラストックの特性に着目した Glomm and Ravikumar⁸⁾は、道路、空港、港湾などを例に、物的インフラが混雑による影響を受けるという特性を明示し、完全非競争性を仮定していた、公的ストック＝公共財型のモデルと差別化されている。Glomm and Ravikumar⁸⁾では、インフラ投資への最適財政配分が、インフラストックの混雑状況と独立に決定されるという興味深い結論を導出している。

Aschauer による実証研究⁹⁾以来、インフラへの投資が経済成長へ寄与するかという論点が活発化した。この点について、Devarajan et al.¹⁰⁾は、公的支出の配分に着目し、発展途上国においてはインフラストックへの投資よりも、維持管理・運営など非投資支出の方が、経済成長への寄与度が高いという実証結果を示した。Devarajan et al.¹⁰⁾による実証結果を受けて、Rioja¹¹⁾は、インフラストックの維持管理を明示した成長モデルを構築し、維持管理による経済成長への影響を分析した。このモデルは、政府の維持管理支出に依存してインフラストックの減耗率が内生的に決定される枠組みであり、すなわちインフラストックの劣化が制御されうる構造となっている。また、Rioja¹¹⁾は、モデルをラテンアメリカ諸国に適用し、現状の維持管理支出は最適水準よりも小さく、インフラ投資を維持管理へ配分することで、より高い経済成長率を実現できるだろうと述べている。

Rioja¹¹⁾のモデルでは、インフラへの投資が全て海外からの援助によりファイナンスされるという特殊な仮定が設けられていた。したがって、当該国の政府による、新

*キーワード：計画基礎論，維持管理計画，経済成長

**正員，博（情報科学），東京大学大学院社会基盤学専攻

（東京都文京区本郷 7-3-1，TEL&FAX: 03-5841-0566

E-mail: ishikura@csur.tu-tokyo.ac.jp）

規投資と維持管理への配分は考慮されていない。Kalaitzidakis and Kalyvitis¹²⁾は、政府が新規投資と既存ストック維持管理への支出配分を行う内生的成長モデルを構築し、最適な支出配分、すなわち最適財政政策の特性を議論している。Kalaitzidakis and Kalyvitis¹²⁾のモデルでは、内部調整費用として、民間資本のストック調整費用も考慮されており、民間資本と公的資本がともに、バランスシート上の金銭的資産としてのストックではなく固定資本ストックを意識して扱われている。

桑島、織田澤¹³⁾、Dioikitopoulos and Kalyvitis¹⁴⁾は、Kalaitzidakis and Kalyvitis¹²⁾の枠組みに加えて、Glomm and Ravikumar⁸⁾が扱ったインフラの混雑影響を考慮している。これらは、民間資本ストックとインフラストックの差別化、維持管理の明示、減耗（劣化）の制御、混雑の影響など、土木分野において工学的研究が取り扱ってきた技術的要素を、動学的一般均衡モデルの中で明示的に位置づけて考慮している。したがって、インフラ管理技術とマクロ経済との関連を考察するための経済モデルとしての土台が確立しつつあると言える。しかし、桑島、織田澤¹³⁾、Dioikitopoulos and Kalyvitis¹⁴⁾の視点は、課税税率にあり、技術革新の効果や技術選択のような、工学技術とマクロ経済の関係については論じられていない。

上田、横松¹⁵⁾や筆者による研究¹⁶⁾、上田ら¹⁷⁾は、混雑効果やストック調整費用を簡略化するなど、上記のモデルに比べて単純な枠組みであるが、よりインフラ管理技術の長期的効果に焦点をおいた分析を行っている。すなわち、投資の効率性や劣化の制御など、工学的技術を経済成長モデルにおいて明示的に位置付けることが試みられている。今後、マクロな視点からのインフラマネジメント政策を研究するにあたり、こうした動学的マクロ経済モデルとインフラ管理技術を融合させる方法が、標準的アプローチの一つになりうる。

しかし、これらの研究¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾では、最適経路の条件を基に、比較動学的に解の傾向を論じるに留まっている。また、解析的なアプローチ¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾では、均斉成長経路における解の特性分析に主眼がおかれているが、現実の経済が均斉成長経路上にあることは保証されておらず、また政策的示唆という観点からは、任意の経済状態に対して望ましい政策を論じることが求められる。本研究は、将来的に実データを用いた応用へ発展することを見据え、動学的推移の数値的な分析が容易となるよう、既存の理論研究における知見との関係性を維持しつつ、上記の既存研究では扱われていなかった、シミュレーションに適した離散型の動的計画法に基づくモデル展開を行う。さらに、技術変化ショックによる経済成長経路や最適政策への定量的影響について感度分析を行う。

3. インフラ管理技術を考慮した基本的な動学的一般均衡モデルの構造

(1) モデル

a) 概要

前章で述べたように、インフラ管理技術を考慮した動学的一般均衡モデルは、工学的技術のマクロ経済的役割を分析するための有用な方法の一つと考えられる。そこで本節では、桑島・織田澤¹³⁾や Dioikitopoulos and Kalyvitis¹⁴⁾に倣い、政府投資と政府によるインフラ維持管理を考慮した、閉鎖経済動学的一般均衡モデルを構築し、これを用いて、インフラ管理技術のマクロ経済への影響と最適インフラ管理支出についての基本的な特長を検討する。

b) 代表的家計の行動

代表的家計は、各期の所得制約の下で、無限視野における効用を最大化するように消費流列を決定する。

$$\max_{\{C_t\}_0^\infty} \int_0^\infty u(C_t) e^{-\rho t} dt \quad (1)$$

ここで、 C_t : 消費、 ρ は割引率を表す。ただし、スクリプト t は時点を表すものであり、以下も同様である。代表的家計は、以下の異時点間弾力性一定型の瞬時効用関数を持つと仮定する。

$$u(C_t) = \frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \quad (2)$$

ここで、 σ は異時点間代替弾力性の逆数である。代表的家計は、労働力と民間資本ストックを所有しており、労働所得と資本所得を収入として得て、消費および投資として支出する。したがって、所得制約は次のように表わされる。

$$C_t + I_t = w_t L_t + r_t K_t \quad (3)$$

ここで、 K_t : 民間資本、 L_t : 労働、 I_t : 投資、 w_t : 賃金率、 r_t : 民間資本レントをそれぞれ表す。

c) 代表的企業の行動

次に、代表的企業の行動をモデル化する。生産関数を、民間資本投入と労働投入に関して一次同次である Cobb-Douglas 関数と仮定する。

$$Y_t = A \cdot (K_{Gt})^\theta (K_t)^\alpha (L_t)^{1-\alpha} \quad (4)$$

ここで、 Y_t : 生産、 K_{Gt} : インフラストック、 A : 技術指標であり、 θ と α は、代替パラメータである。代表的企業は、価格受容者として、各期の利潤を最大化するように、民間資本ストックと労働の投入量を決定する。企業にとって、期首インフラストックの水準は与件となる。

$$\max_{K_t, L_t} \Pi = (1-\tau)Y_t - w_t L_t - r_t K_t \quad (5)$$

ここで、 τ は税率を表し、生産に対して定率課税されて

いると仮定する。一階の条件より、

$$\frac{\partial \Pi}{\partial K_t} = 0, \frac{\partial \Pi}{\partial L_t} = 0 \quad (6)$$

であるため、以下のように要素価格が得られる。

$$r_t = (1 - \tau) \alpha \frac{Y_t}{K_t} \quad (7)$$

$$w_t = (1 - \tau)(1 - \alpha) \frac{Y_t}{L_t} \quad (8)$$

なお、(3)、(7)、(8)より、以下の関係が成立する。

$$C_t + I_t = (1 - \tau) Y_t \quad (9)$$

d) 政府の行動

政府は、生産物税を原資として、インフラ投資と維持管理へ支出を配分する。

$$I_{Gt} + M_t = \tau Y_t \quad (10)$$

ここで、 I_G : インフラ投資、 M : 維持管理である。

e) 資本蓄積過程

民間資本ストックは、家計投資により増加し、各期一定の割合で減耗すると考える。インフラストックは、政府のインフラ投資により蓄積されるとともに、各期に劣化・減失する。しかし、インフラの劣化・減失は維持管理の度合いによって制御することができる。

$$\dot{K}_t = I_t - \delta K_t \quad (11)$$

$$\dot{K}_{Gt} = I_{Gt} - \delta_G(M_t, K_{Gt}) \quad (12)$$

ここで、 δ は民間資本ストックの減耗率を表し、 $\delta_G(M_t, K_{Gt})$ は、インフラストックの劣化・減失関数を表す。

(2)最適政策と成長経路

以上で構築されたモデルについて、代表的家計の効用を最大化するように政府の政策が決定される、すなわち社会的最適となる解を考える。なお、政府の行動を外生とした場合の解は、競争均衡における分権解となる¹⁴⁾。

(1)の動的最適化問題に、政府の政策であるインフラ投資と維持管理費を制御変数に加えることで、社会的最適となる解（集権解）を導出する問題となる。(9)と(10)の関係より、

$$I_t = Y_t - C_t - I_{Gt} - M_t \quad (13)$$

であり、各期の生産は(4)のとおり、期首ストックで先決されているため、民間資本ストックへの投資は、消費、インフラ投資、維持管理費が決定されると自動的に決定される。そして、これらの配分比率より、結果的に最適税率が実現されることとなる。

したがって、社会的最適のための動的最適化問題は、

$$\max_{\{C_t, M_t, I_{Gt}\}_0^\infty} \int_0^\infty \frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} e^{-\rho t} dt \quad (14)$$

s.t.

式 (4), (11), (12), (13)

と書き改めることができる。この問題の解となる最適経路の条件は、下記に定義される当期価値ハミルトニアン最大化問題を解くことにより得られる¹⁸⁾。

$$\begin{aligned} \max_{C_t, M_t, I_{Gt}} H = & \frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \\ & + \lambda [Y_t - C_t - I_{Gt} - M_{Gt} - \delta K_t] \\ & + \eta [I_{Gt} - \delta_G(M_t, K_{Gt})] \end{aligned} \quad (15)$$

λ および η は随伴変数である。この全ての制御変数に内点解を仮定すれば、最大値原理より、以下の条件が得られる。

$$C_t^{-\sigma} - \lambda = 0 \quad (16)$$

$$\lambda + \mu \frac{\partial \delta_G(M_t, K_{Gt})}{\partial M_t} = 0 \quad (17)$$

$$\lambda - \mu = 0 \quad (18)$$

$$\dot{\lambda} - \rho\lambda + \lambda \left[\alpha \frac{Y_t}{K_t} - \delta \right] = 0 \quad (19)$$

$$\dot{\mu} - \rho\mu + \mu \left(-\frac{\partial \delta_G(M_t, K_{Gt})}{\partial K_{Gt}} \right) = 0 \quad (20)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_t K_t e^{-\rho t} = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \eta_t K_{Gt} e^{-\rho t} = 0 \quad (21)$$

(16)から(18)より、

$$\frac{\dot{C}_t}{C_t} = -\frac{1}{\sigma} \frac{\dot{\lambda}_t}{\lambda_t} = -\frac{1}{\sigma} \frac{\dot{\mu}_t}{\mu_t} = g^* \quad (22)$$

$$\frac{\partial \delta_G(M_t, K_{Gt})}{\partial M_t} = -1 \quad (23)$$

の関係が直ちに導出される。ただし、 g^* は消費の均衡成長率を意味する。(18)より、最適成長経路においては、民間資本ストック蓄積のシャドウプライスとインフラ蓄積のそれが等しく、これらの変化率が消費の成長率を決定付ける要因になる。また、(23)よりインフラ劣化の維持管理費に関する導関数が-1であることが示されているが、これはインフラ蓄積のインフラ投資に関する導関数が1であり、この値が維持管理によるインフラ蓄積の効果と等しくなるためである。

また、(18), (19)の条件より、それぞれ

$$\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = \rho + \delta - \alpha \frac{Y_t}{K_t} \quad (24)$$

$$\frac{\dot{\mu}}{\mu} = \rho + \frac{\partial \delta_G(M_t^*, K_{Gt})}{\partial K_{Gt}} \quad (25)$$

という関係も得られる。ここで、

$M^*=M$ such that

$$\frac{\partial \delta_G(M_t^*, K_{Gt})}{\partial K_{Gt}} = \delta - \alpha \frac{Y_t}{K_t} \quad (26)$$

であり、各期における最適維持管理政策の条件を表す。したがって、消費の最適成長経路は、標準的なラムゼイ型成長モデルと同様に、

$$\frac{\dot{C}_t}{C_t} = \frac{1}{\sigma} \left(A\alpha (K_{Gt})^\theta \left(\frac{L_t}{K_t} \right)^{1-\alpha} - \rho - \delta \right) \quad (27)$$

となり、ストックの蓄積経路は、民間資本ストック、インフラストックそれぞれについて、

$$\frac{\dot{K}_t}{K_t} = A(1-\tau)(K_{Gt})^\theta \left(\frac{L_t}{K_t} \right)^{1-\alpha} - \frac{C_t}{K_t} - \delta \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \frac{\dot{K}_{Gt}}{K_{Gt}} &= A\tau(K_{Gt})^{\theta-1}(K_t)^\alpha (L_t)^{1-\alpha} \\ &\quad - \frac{M_t^*}{K_{Gt}} - \frac{\delta_G(M_t^*, K_{Gt})}{K_{Gt}} \end{aligned} \quad (29)$$

となる。

(3) インフラ管理技術に着目した含意

(29)式からも明らかなように、 δ_G の技術変化すなわちインフラの維持管理技術の変化は、インフラストックの(最適)蓄積経路へ直接的に影響を及ぼす。さらに、インフラストックが生産的資本として考慮されているため、(27)(28)式が示すように、消費経路と民間資本ストックの蓄積経路に対しても、インフラストック水準が影響することが理解できる。維持管理をはじめとするインフラの管理技術の発展がマクロ経済の動きに及ぼす効果を評価するためには、インフラストックの生産力とインフラ管理技術のモデル化に注意を払う必要がある。

4. 数値シミュレーションによる考察

(1) モデルの離散時間化

本研究が扱うような動的最適化問題においては、モデルの関数型が複雑な場合や、状態変数や制御変数の次元が多い場合には、陽表的な解析解を得ることが困難ある

いは不可能となることが知られている¹⁹⁾。そこで本章では、前章で提示したモデルに基づき、インフラの維持管理技術の変化が、成長経路や最適政策に及ぼす影響を考察するため、数値シミュレーションによる分析を行う。まず、モデルの数値的な取扱いを容易にするため、時間単位を離散的に表現する。また、本研究のモデルでは扱っていないが、確率的な要素をモデルへ導入した場合への展開も考慮し、動的最適化のアプローチとして動的計画法を採用する。前章に示した最適制御問題とは、解へのアプローチが異なるが、導出される解は同一である。

社会的最適のための目的関数は、次の式により表わされる。

$$\max_{\{C_t, M_t, I_{Gt}\}_0^\infty} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left(\frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \right) \quad (30)$$

ここで、 β は割引因子を表す。

各経済主体の行動については、前章のモデルがそのまま適用される。経済システム全体の市場清算条件は、

$$Y_t = C_t + I_t + I_{Gt} + M_t \quad (31)$$

と表わされる。民間資本ストックの蓄積過程は、

$$K_{t+1} - K_t = I_t - \delta K_t \quad (32)$$

と定義する。インフラストックの蓄積過程に関する維持管理費と劣化・滅失の関係に関しては、マクロな経済レベルでは、広く合意の得られた知見が存在していない。そこで、インフラストックに対する維持管理費の割合が小さいほど、劣化・滅失が大きくなることを想定し、以下のような蓄積過程を定義した。

$$K_{Gt+1} = I_{Gt} + K_{Gt} \left(\frac{M_t}{K_{Gt}} \right)^\gamma \quad (33)$$

インフラストックの劣化・滅失関数の形式で表すと、

$$K_{Gt+1} - K_{Gt} = I_{Gt} - K_{Gt} \left[1 - \left(\frac{M_t}{K_{Gt}} \right)^\gamma \right] \quad (34)$$

となる。以上の前提条件の下での最適政策は、以下のベルマン方程式の解となる政策関数として得ることができる。なお、式(39)の非負制約により、前章のモデルとは異なり、端点解も扱うことが可能である。

$$V(K, K_G) = \max_{C, I, M, I_G} \left[\frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} + \beta V(K', K_G') \right] \quad (35)$$

s.t.

$$C + I + I_G + M = A(K_G)^\theta (K)^\alpha (L)^{1-\alpha} \quad (36)$$

$$K' = I_t + (1-\delta)K \quad (37)$$

$$K_G' = I_G + K_G \left(\frac{M}{K_G} \right)^\gamma \quad (38)$$

$$C \geq 0, I \geq 0, I_G \geq 0, M \geq 0 \quad (39)$$

(2) 数値シミュレーション

本節では、パラメータを特定化し、数値シミュレーションを行う。ここでは、基本ケースとして、表-1に示すパラメータおよび、政策関数の導出対象とする状態変数の値を設定した。ただし、生産関数の分配パラメータと割引因子については、一般的なマクロ経済モデルで用いられるものと近い値を設定したが、それ以外については、仮想的な経済システムを想定したものである。シミュレーション分析では、維持管理技術およびインフラストックの生産性に係るパラメータを操作し、モデル出力に及ぶ影響の感度を観察する。数値解を求める手法としては、Value Function Iteration 法²⁰⁾を採用した。

表-1 基本ケースのパラメータと状態変数の範囲

パラメータ名	値
α	0.4
β	0.95
δ	0.05
θ	0.2
σ	1.1
γ	0.15
A	1
K	240~360
K_g	80~120
L	100

まず、基本ケースにおけるモデルの挙動を簡単に述べる。図-1 から図-3 は、基本ケースにおいて、民間資本ストックとインフラストック状態に対応した、最適政策としてのインフラ投資、維持管理費、民間投資を表わしたものである。図-1、図-2 より、インフラストックの蓄積が進むと、インフラ投資が減り維持管理費が増加し、民間資本が蓄積されると、逆に、維持管理費を減らしインフラ投資が増加するという傾向が確認される。前者の結果は、インフラストックが蓄積されると、その限界生産性が低下するためと考えられる。民間資本の蓄積が維持管理費を減らしインフラ投資を増加させることについては、式(4)の生産関数から明らかのように、民間資本が蓄積すると、インフラストックの限界生産性が向上するが、式(33)のとおり、インフラストックの維持管理費と民間資本ストック水準が独立であり相互に影響しないことが影響していると考えられる。この結果の特性については、インフラストックの維持管理費と民間資本ス

tockとの関係性が変化すると、解の特性にも変化が生じると予想される。

民間投資についても、民間資本ストックの蓄積により限界生産性が低下すると、最適投資が減少する特性が表現されている。また、民間資本ストックが小さな水準の場合には、インフラストックが大きいほど最適民間投資も大きくなっている。

維持管理技術を意味するパラメータ γ を変化させたときの、最適経路におけるインフラストックと民間資本ストックの状態変化を図-4 から図-6 に示す。

図-4 から図-6 は、当期のインフラストック K_G と民間資本ストック K に対応した最適な次期インフラストック K_G の値、すなわち K_G の政策関数と、ベクトル場として表わした K_G と K の変化の経路を示している。 γ の値が大きいほど、インフラストックの維持管理技術の効率性が低く、劣化・減失を防ぐために多くの維持管理支出が必要であることを意味する。すなわち、これらのシミュレーション結果より、インフラストックの維持管理技術の効率性が低水準であるほど、次期インフラストック値の最適水準が低くなることが確認できる。本シミュレーションは仮想的な経済システムと技術構造を仮定したものであるが、この結果は、維持管理技術が効率的でなければ、インフラストックを増加させることは効率性の観点からは望ましくない、ということを示唆している。特に、民間資本ストックの水準が小さな領域（グラフ中では左側）では、当期のインフラストック規模が大きいと、次期インフラストックが当期よりも小さくなることが最適政策となっている。

次に、インフラストックの限界生産性に関するパラメータ θ を変化させたときの、 K_G の政策関数と、 K_G と K の変化の経路への影響を、図-7 から図-9 に示す。基本ケースである図-7 は図-4 と同一のものである。これらの結果より、特に民間資本ストックが小さく生産活動の規模が低い状態の経済では、インフラストックの劣化・減失を許容してストックを減少させるか、あるいはストックを増加させるか、その最適政策に対してインフラストックの限界生産力が敏感に影響していることが確認できる。

なお、いずれのケースにおいても、フロー変数であるインフラ投資、維持管理費、民間投資の最適値を描いた政策関数は、図-1 から図-3 と類似した形状が得られた。

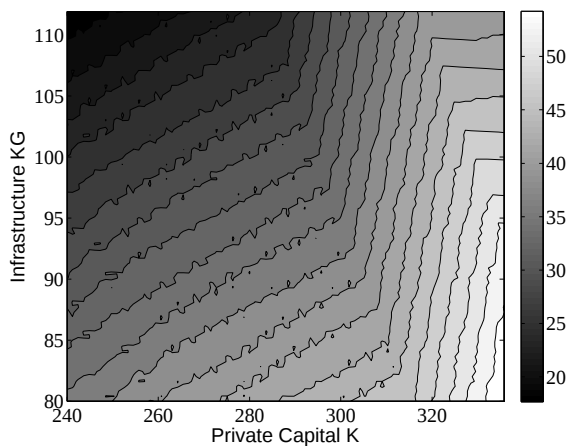


図-1 基本ケースにおける最適インフラ投資 I_G の
コンター

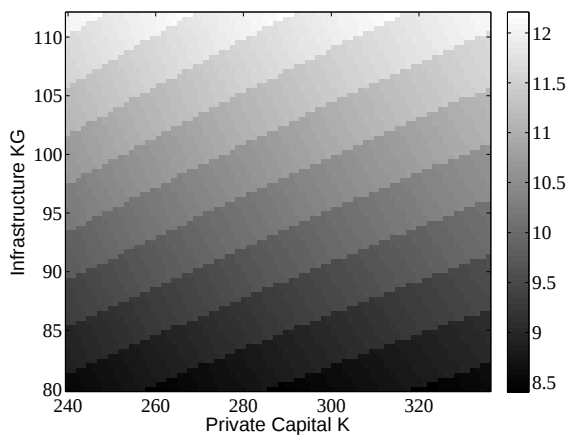


図-2 基本ケースにおける最適維持管理費 M の
コンター

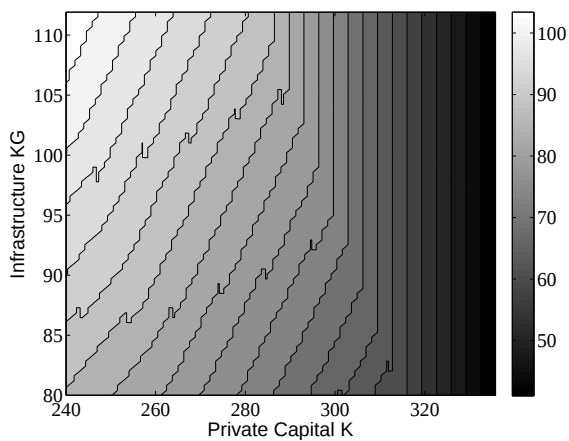


図-3 基本ケースにおける最適民間投資 I の
コンター

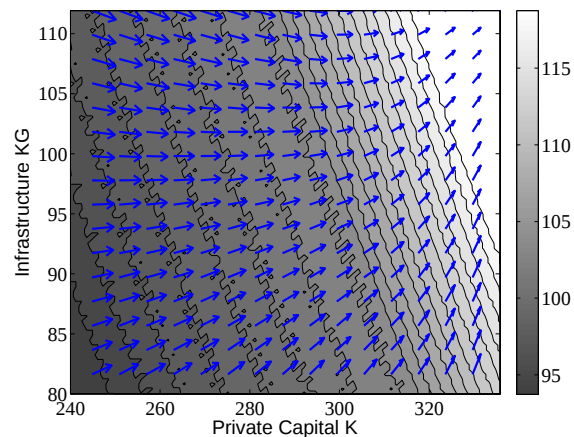


図-4 基本ケース($\gamma=0.15$)の場合における最適次期 K_G
のコンターおよび K と K_G の変化のベクトル場

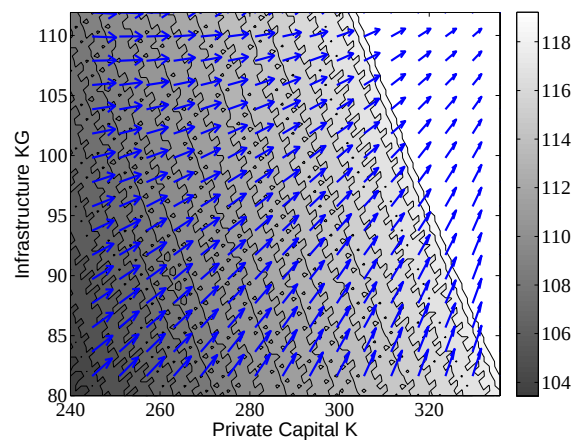


図-5 $\gamma=0.1$ の場合における最適次期 K_G のコンターお
よび K と K_G の変化のベクトル場

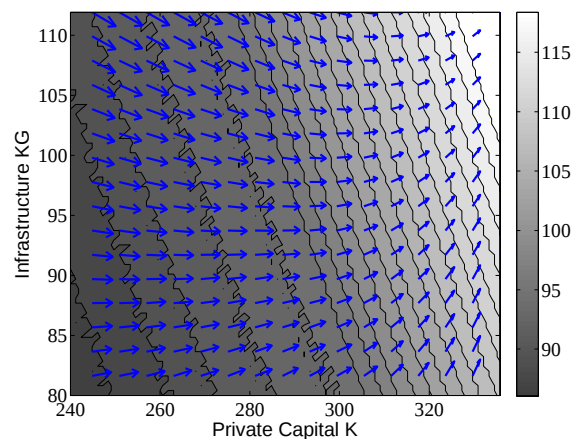


図-6 $\gamma=0.2$ の場合における最適次期 K_G のコンターお
よび K と K_G の変化のベクトル場

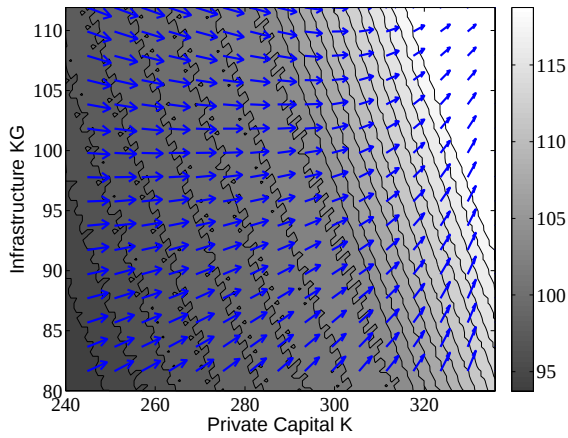


図-7 基本ケース($\theta=0.2$)の場合における最適次期 K_G のコンターおよび K と K_G の変化のベクトル場

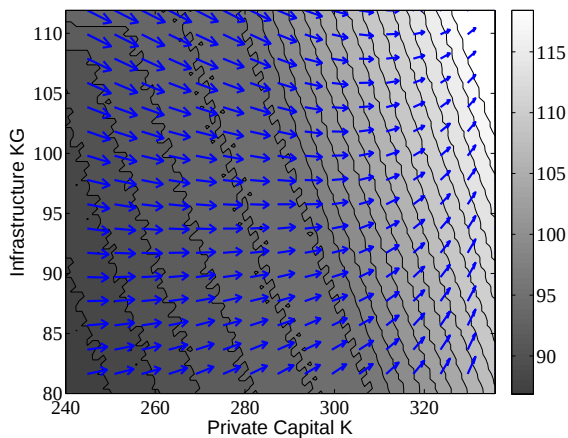


図-8 $\theta=0.19$ の場合における最適次期 K_G のコンター および K と K_G の変化のベクトル場

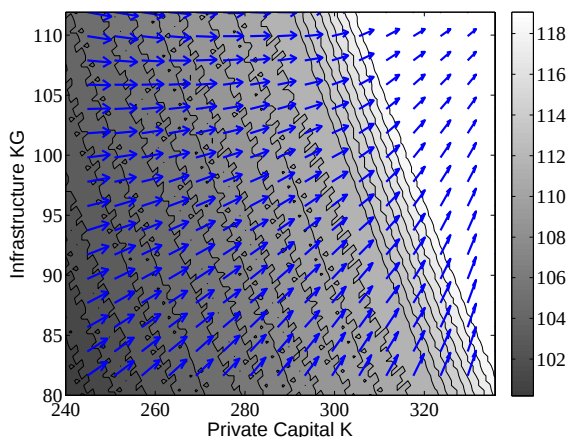


図-9 $\theta=0.21$ の場合における最適次期 K_G のコンター および K と K_G の変化のベクトル場

(3) シミュレーション分析の課題と展望

本研究では、仮想的な経済システムを想定して各種パラメータを設定し、数値シミュレーションにより、最適政策の挙動を分析した。現実経済を対象としてモデルを

適用するためには、インフラ管理技術に関するパラメータを推定する必要がある。しかし、維持管理費とインフラストックの劣化・減失の関係を、マクロ経済的視点から推定することは容易ではない。その場合にも、生産関数など、相対的に関数形やパラメータの推定が容易な前提条件を固定し、インフラ管理技術に関するパラメータについて感度分析を行うことで、一定の幅を持った、最適な維持管理支出政策を導出することができる。

5. おわりに

本研究は、インフラの維持管理・更新政策への示唆を得るため、維持管理によるインフラストックの劣化・減失制御を明示したマクロ経済動学モデルを構築し、数値シミュレーションを通じて、維持管理技術とインフラ投資・維持管理政策との関係について感度分析を行った。定性的結論は、解析的なモデル分析から得られる知見と一致しているが、本モデルは、状態変数の任意の値に対して、定量的に最適政策（インフラ投資額、維持管理支出）を導出することができることを示した。

解析的なアプローチでは、こうしたモデルの発展によって、モデルを解くこと自体が非常に困難となり、有用な知見を得ることも難しくなりやすい。本研究のように数値的な解法からアプローチすることで、解析解のように一般的知見を簡便に示すことは犠牲となるが、複雑な経済システムを扱うことが比較的容易となる。現実経済におけるインフラストックの役割や、維持管理とストック蓄積の関係は、本研究や既存の理論研究が仮定するような単純な形で表現できているとは言い難い。実証的な観察を積み上げることで、こうした関係性についての知見が深まることが期待される。実務的な応用のためには、モデルの理論的枠組の発展のみならず、こうしたインフラや維持管理の本質的な効果を把握することも、今後の研究課題としたい。

なお、本研究は文部科学省東京大学グローバル COE プログラム「都市空間の持続再生学の展開」によって行ったものである。

参考文献

- 1) 内閣府政策統括官偏：日本の社会資本，財務省印刷局，2002.
- 2) 国土交通省：平成14年度国土交通白書，2003.
- 3) 国土交通省：国土交通白書2008，2009.
- 4) 小林潔司，上田孝行：インフラストラクチャ・マネジメント研究の課題と展望，土木学会論文集，No.744/IV-61，pp.15-27，2003.
- 5) Arrow, Kenneth J., and Kurz, Mordecai. Public Investment, the Rate of Return, and Optimal Fiscal Policy. Baltimore:

- Johns Hopkins Univ. Press (for Resources for the Future), 1970.
- 6) Barro, R.: Government spending in a simple model of endogenous growth. *Journal of Political Economy* 98, pp.S103–S125, 1990.
 - 7) King, R G. and Rebelo, S.: Public policy and economic growth: Developing neoclassical implications, *Journal of Political Economy* 98, pp.S126–150., 1990.
 - 8) Glomm, G., Ravikumar, B.: Public investment in infrastructure in a simple growth model, *Journal of Economic Dynamics and Control* 18 (6), pp.1173–1187, 1994.
 - 9) Aschauer, D.A.: Is Public Expenditure Productive?, *Journal of Monetary Economics* 23, pp.177–200, 1989.
 - 10) Devarajan, S., Swaroop, V., Zou, H.: The composition of public expenditure and economic growth. *Journal of Monetary Economics* 37 (2), pp.313–344., 1996.
 - 11) Rioja, F.: Filling potholes: macroeconomic effects of maintenance versus new investment in public infrastructure. *Journal of Public Economics* 87, pp.2281–2304., 2003.
 - 12) Kalaitzidakis, P. and Kalyvitis, S.: On the macroeconomic implications of maintenance in public capital, *Journal of Public Economics* 88, pp.695–712, 2004.
 - 13) 桑島氏直, 織田澤利守: インフラの競合性と減耗の経済成長経路に与える影響分析, *土木計画学研究・講演集* vol. 32, CD-ROM, 2005.
 - 14) Dioikitopoulos, E.V., and Kalyvitis, S.: Public capital maintenance and congestion: Long-run growth and fiscal policies, *Journal of Economic Dynamics and Control* 32 (6), pp.1173–1187, 2008.
 - 15) 上田孝行, 横松宗太: 建設技術進歩の経済成長への貢献 –理論的分析–, *土木計画学研究・講演集*, vol.34, CD-ROM, 2006.
 - 16) 石倉智樹: 資本減耗の制御とマクロ経済成長, *土木計画学研究・講演集* vol. 36, CD-ROM, 2007.
 - 17) 上田孝行, 越智成基, 横松宗太: 建設技術進歩に着目した超長期インフラ政策, *土木計画学研究・講演集* vol. 38, CD-ROM, 2008.
 - 18) Kamien, M.I. and Schwartz, N.L.: *Dynamic Optimization*, Elsevier, 1991.
 - 19) Ljungqvist, L. and Sargent, T.: *Recursive Macroeconomic Theory*, The MIT Press, 2000.
 - 20) Judd, K. L.: *Numerical Methods in Economics*, The MIT Press, 1998

インフラ維持管理技術の変化によるマクロ経済的影響に関する基礎的モデル分析*

石倉智樹**

インフラのストックの蓄積に伴い、維持管理費や老朽化したストックの更新などのインフラ管理費用が増大することが予想されており、今後はその長期的計画が重要となる。本研究は、長期的な視点からインフラの戦略的な維持管理・更新政策への示唆を得るため、維持管理によるインフラストックの劣化・滅失の制御を考慮した、基礎的な動学的経済モデルを構築した。さらに、仮想経済を対象としたシミュレーション分析により、インフラの維持管理技術の変化や、インフラストックの生産性の変化が、最適成長のためのインフラ投資・維持管理政策に及ぼす影響について、感度分析を行った。

An Analysis of Macroeconomic Effects by the Change of Infrastructure Management Technology*

By Tomoki ISHIKURA**

Investment to infrastructure increases the needs of maintenance as well as accumulating the stock. Therefore the planning of Infrastructure maintenance policy will be an important issue. This paper develops an economic growth model where infrastructure maintenance technology explicitly influences to deterioration of infrastructure stock. This paper furthermore implements some sensitive analyses assuming a virtual economy and derives some implications about the relationship between the technological improvement of infrastructure maintenance and growth rate of the economy.
