

インフラ管理技術のマクロ経済的役割*

Infrastructure Management Technology in Macroeconomic Dynamics *

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のストックが蓄積¹⁾されているが、今後の維持管理費の増大、また老朽化したインフラストックの更新のための投資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、インフラ管理技術のマクロ経済的意義に関する研究の方向性を検討するため、マクロレベルでのインフラマネジメント研究、なかでも特に維持管理に関連した研究のサーベイを行う。

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、完全非競合性を仮定していた、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

*キーワード：計画基礎論，インフラ管理，マクロ経済

**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

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。これらの研究では、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が、動学的一般均衡モデルの中で明示的に位置づけられて考慮されている。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、建設工事やアセットマネジメント技術のような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試みがなされている。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、ここで述べたような、動学的一般均衡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であろう。

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

(1) モデル

a) 代表的家計の行動

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、閉鎖経済動学の一般均衡モデルを構築し、これを用いて、研究展望および課題を検討する。

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 : 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 : 民間資本、 L : 労働、 I : 投資、 w : 賃金率、 r : 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 : 生産、 K_G : 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。

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

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

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。

$$I_{Gt} + M_t = \tau Y_t \quad (9)$$

ここで、 I_G : インフラ投資、 M : 維持管理をそれぞれ表す。

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・滅失する。しかし、インフラの劣化・滅失は維持管理の度合いによって制御することができる。

$$\dot{K}_t = I_t - \delta K_t \quad (10)$$

$$\dot{K}_{Gt} = I_{Gt} - \delta_G(M_t, K_{Gt}) \quad (11)$$

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・滅失関数を表す。

(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)の問題を、(2)から(13)の条件下で、かつ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、最適政策問題となる。この問題を解くために、下記の当期価値ハミルトニアン最大化問題を定義する。

$$\begin{aligned} \max_{C_t, M_t, I_{Gt}} H = & u(C_t) \\ & + \lambda [Y_t - C_t - I_{Gt} - M_{Gt} - \delta K_t] \\ & + \eta [I_{Gt} - \delta_G(M_t, K_{Gt})] \end{aligned} \quad (12)$$

λ および η は随伴変数である。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。

$$C_t^{-\sigma} - \lambda = 0 \quad (13)$$

$$\lambda + \mu \frac{\partial \delta_G(M_t, K_{Gt})}{\partial M_t} = 0 \quad (14)$$

$$\lambda - \mu = 0 \quad (15)$$

$$\dot{\lambda} - \rho\lambda + \lambda \left[\alpha \frac{Y_t}{K_t} - \delta \right] = 0 \quad (16)$$

$$\dot{\mu} - \rho\mu + \mu \left(-\frac{\partial \delta_G(M_t, K_{Gt})}{\partial K_{Gt}} \right) = 0 \quad (17)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_t K_t e^{-\rho t} = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \eta_t K_{Gt} e^{-\rho t} = 0 \quad (18)$$

(13)から(15)より、

$$\frac{\dot{C}_t}{C_t} = -\frac{1}{\sigma} \frac{\dot{\lambda}_t}{\lambda_t} = -\frac{1}{\sigma} \frac{\dot{\mu}_t}{\mu_t} = g^* \quad (19)$$

$$\frac{\partial \delta_G(M_t, K_{Gt})}{\partial M_t} = -1 \quad (20)$$

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。(19)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、(20)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、(16)、(17)の条件より、

$$\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = \rho + \delta - \alpha \frac{Y_t}{K_t} \quad (21)$$

$$\frac{\dot{\mu}}{\mu} = \rho + \frac{\partial \delta_G(M_t^*, K_{Gt})}{\partial K_{Gt}} \quad (22)$$

という関係も得られる。ここで、

$M^* = M$ such that

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

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、

$$\frac{\dot{C}_t}{C_t} = \frac{1}{\sigma} \left(A\alpha (K_{Gt})^\theta \left(\frac{L_t}{K_t} \right)^{1-\alpha} - \rho - \delta \right) \quad (23)$$

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、

$$\frac{\dot{K}_t}{K_t} = A(1-\tau)(K_{Gt})^\theta \left(\frac{L_t}{K_t} \right)^{1-\alpha} - \frac{C_t}{K_t} - \delta \quad (24)$$

$$\frac{\dot{K}_{Gt}}{K_{Gt}} = A\tau(K_{Gt})^{\theta-1} (K_t)^\alpha (L_t)^{1-\alpha} - \frac{M_t^*}{K_{Gt}} - \frac{\delta_G(M_t^*, K_{Gt})}{K_{Gt}} \quad (25)$$

となる。

(3) インフラ管理技術に着目した含意

(25)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、(23)(24)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。維持管理を始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. おわりに：課題と研究展望

本稿は、インフラ管理技術を明示した経済成長モデルを中心に、マクロレベルでのインフラマネジメント研究をサーベイし、簡単なモデルを例に、インフラ管理技術のマクロ経済的位置づけを考察した。今後の研究課題としては、投資の効率性、ストック調整費用、維持管理技術など、工学的技術の精緻化、および費用負担政策に関する課題などへの展開を検討している。

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, S103-S125, 1990.
- 7) King, R G. and Rebelo, S.: Public policy and economic growth: Developing neoclassical implications, Journal of Political Economy 98, 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), 1173-1187, 1994.
- 9) Aschauer, D.A.: Is Public Expenditure Productive?, Journal of Monetary Economics, vol.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), 313-344., 1996.
- 11) Rioja, F.: Filling potholes: macroeconomic effects of maintenance versus new investment in public infrastructure. Journal of Public Economics 87, 2281-2304., 2003.
- 12) Kalaitzidakis, P. and Kalyvitis, S.: On the macroeconomic implications of maintenance in public capital, Journal of Public Economics, 88, 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), 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