

# アセットマネジメント技術発展の 動的経済効果評価

鈴木 勇気<sup>1</sup>・石倉 智樹<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 首都大学東京大学院 (〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)  
E-mail: suzuki-yuuki@ed.tmu.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 首都大学東京 准教授 (〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)  
E-mail: iskr@tmu.ac.jp

本研究は、アセットマネジメントの技術的発展による経済効果を、動的な社会資本ストック維持管理費用の側面から評価する方法を構築する。本研究では、社会資本の建設・更新費、除却費、点検や修繕などの維持管理費用を明示的に考慮し、また、現実のアセットマネジメントでも導入されている健全度の概念を考慮することで、長寿命化技術や維持管理技術の効率化がもたらす、費用削減効果を分析可能なモデルを構築する。具体的には、ストックの健全度を状態変数の考え方に導入し、その推移をマルコフ過程により表現することで劣化プロセスを扱い、動的な費用最小化を目的とする動的計画法の枠組みを開発した。本研究はさらに、構築したモデルを用いて、社会資本ストックの長寿命化技術の導入および、維持管理技術の効率化がもたらす効果を数値シミュレーションによって比較分析した。その結果として、長期的な維持管理費用の削減効果に加えて、新規投資額と維持管理費用の最適配分戦略にも変化が及ぶことを定量的に示した。

**Key Words:** *asset management technology, maintenance cost, dynamic economic effects, dynamic optimization*

## 1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に建造された多くの社会資本（以下インフラ）ストックの老朽化が進んでいる。今後、維持管理・更新費用が増大すると予想されており、厳しい財政制約条件の下で安全なインフラの利用を持続するためには、長期的な視野で効率的な維持管理政策を検討することが必要である。

インフラ老朽化に対する政府全体の取組として、平成 25 年に「インフラ長寿命化基本計画」が策定された。この計画では、メンテナンスサイクルの構築やメンテナンス産業の育成などによって、全国のインフラの安全性向上と効率的な維持管理の実現を目的としている。たとえば、補修・補強、新材料の技術開発やロボット等を用いた点検の効率化といった技術革新を促している。新技術が維持管理の現場に導入されることで、社会資本の長寿命化や中長期的なインフラ維持管理費用の削減が達成されることが期待されている。

本研究は、アセットマネジメント技術進展による社会資本の長寿命化と維持管理の効率化に着目し、これらの変化がインフラ維持管理政策にもたらす影響を分析するための手法を提案する。特に、技術導入による維持管理費用の変化を明示的に扱うことが可能なモデル展開をおこなう。さらに、仮想経済上でシミュレーション分析をおこなうことで技術進展による維持管理

政策への影響特性を評価する。

## 2. 既存研究と本研究の位置づけ

アセットマネジメントの分野において、これまで力学的劣化メカニズムに基づいた劣化予測モデルや、統計学的劣化予測手法が多く提案されている。例えば、統計学的劣化予測手法としては、インフラストックの劣化過程をマルコフ推移確率によって表現するマルコフ推移確率モデルを用いた劣化予測モデルの構築が進展しつつある。貝戸ら<sup>1)</sup>はニューヨーク市における橋梁の目視点検データを用いて、橋梁の平均劣化曲線の算出と劣化確率の推定をおこなった。青木ら<sup>2)</sup>は、トンネル照明の故障の有無を対象として、ハザードモデルによる施設劣化予測手法を提案した。さらに津田ら<sup>3)</sup>は、橋梁部材の健全度を複数の健全度で表すとともに多段階指数劣化ハザードモデルを用いることで、異質な点検データからマルコフ推移確率を推計する手法を提案した。劣化ハザードモデルの開発によってマルコフ推移確率推定手法の適用範囲が広がり、統計学的劣化予測手法は進展しつつある。

マルコフ推移確率モデルの発展を受け、小濱ら<sup>4)</sup>はマルコフ推移劣化を仮定した構造物の最適廃棄・補修モデルを提案している。さらに、瀬木ら<sup>5)</sup>はマクロスケールでの政策評価に主眼を置いており、マルコフピ

ンテージモデルを導入することで、長寿命化投資による家計消費の増加とインフラ更新費用の世代間平準化を示した。

これら<sup>5)</sup>の研究では、社会資本を投入要素とした経済の動的一般均衡において、消費効用に基づく便益評価をおこなっている。しかし、劣化を考えた社会資本の生産性計測は容易でなく、実世界では費用削減の視点からアセットマネジメントの効果が論じられることが多い。つまり、資産全体を対象とした維持管理戦略を検討する場合、動的な維持管理費用に着目した政策評価手法が必要である。本研究では、維持管理費用削減の視点からマクロスケールで政策評価をおこなう手法を提案する。さらに、構築した手法を用いてアセットマネジメント技術発展による長期的な維持管理政策への影響を定量的に分析する。

### 3. 動学的維持管理費用最小化モデルの構築

#### (1) モデル

##### a) 概要と健全度の考え方

まず、本研究で構築するインフラの健全度推移を考慮した維持管理費用最小化モデルについて、その概要と基本的な前提条件を述べる。インフラストックは新設された状態から、時間の経過とともに非可逆的に劣化が進行することとし、これをストックの健全度の低下として表現する。

本研究では、資本ストックの健全度を、離散的な値をとる状態指標として扱う。モデルの概念としては、任意の数の健全度に分割することは可能であるが、本モデルでは、健全度が3段階に区分された場合を例としてモデルの定式化を行う。健全度のレーティングとその解釈は表-1に示すとおりである。すなわち、状態変数のスクリプト  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) が健全度の状態（レーティング値）を表し、レーティング値が小さいほど健全度が高い。健全度1は新設状態であり、健全度3は社会資本としては使用不可能な状態を意味する。

インフラのストック量は、ある地域における集計量や、ある施設における集計量の概念で捉えており、健全度の状態に応じて差別化される。例えば、総量で100単位のインフラストック量があり、その50%が健全度1、40%が健全度2、10%が健全度3であれば、健全度1のストック量が50、健全度2のストック量が40、健全度3のストック量が10として表され、これらが状態変数となる。インフラストック状態変数の動学を示す状態方程式は、単位時間経過に伴って、各健全度の状態にあるストック集計量の一定割合が、マルコフ過程に従って、確率的に状態推移することを表す。ただし、健全度レーティングは一つずつ増加（健全度が低下）す

表-1 インフラストックの健全度

| 健全度 | 状態の意味 | 想定される維持費用  |
|-----|-------|------------|
| 1   | 新設状態  | 点検, 運用     |
| 2   | 一部破損  | 点検, 運用, 改修 |
| 3   | 使用不可  | 機会費用       |

ることと仮定する。ここで仮定した3段階の健全度状態に関しては、健全度1のストックは新設投資によって蓄積され、健全度3のストックは政府によって除却されない限り蓄積されていく。以上の前提条件より、インフラストックの状態方程式は式(1a), (1b), (1c)で表される。

$$g_{1,t+1} = \sum_{i=1}^3 P_{i,1} \cdot g_{i,t} + k_t \quad (1a)$$

$$g_{2,t+1} = \sum_{i=1}^3 P_{i,2} \cdot g_{i,t} \quad (1b)$$

$$g_{3,t+1} = \sum_{i=1}^3 P_{i,3} \cdot g_{i,t} - d_t \quad (1c)$$

ここで、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。 $g_{i,t}$  は第  $t$  期における健全度  $i$  のインフラストックを、 $k_t$  はインフラ新設投資額を、 $d_t$  は  $t$  期に除却されるストック量を示す。 $P_{i,j}$  はマルコフ推移確率であり、健全度  $i$  のストックが1期後に健全度  $j$  に推移する確率である。これら推移確率を健全度のペアに対して適用すれば、以下のマルコフ推移確率行列により表現される。

$$\Pi = \begin{pmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & P_{1,3} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & P_{2,3} \\ P_{3,1} & P_{3,2} & P_{3,3} \end{pmatrix} \quad (2)$$

マルコフ推移確率行列  $\Pi$  はインフラストックの経年劣化による健全度推移のパターンを表す。本研究では、ストックの健全度は非可逆的に推移することと見なし、修繕や更新による既設ストックの健全度の回復は、健全度1のインフラストックが追加されること（新設されること）として表現される。このマルコフ推移行列は、インフラストックの劣化パターンに相当するものであり、劣化予測技術の向上によって、この推移行列の精度も向上することが期待される。本研究では、インフラストックの長寿命化技術を、推移確率を外生的に変化させることで表現する。

##### b) ストック維持費用の考え方

社会資本に関連する費用として、建設投資や廃棄などのストック量変化に要する費用だけではなく、ストックを保有している期間も維持管理費用が発生する。た

例えば、水光熱費といった運用費、保守・管理といった保全費、修繕・更新費などが社会資本の維持費用として必要であり、施工後から解体廃棄されるまでの期間、継続的に維持費用がかかる。本研究では、資本ストックを保有することで発生するこれらの維持費用を、ストック維持費用と定義する。本モデルでは、インフラの健全度の状態に応じてストック維持費用の構造が異なり、各健全度状態にあるストック量に依存して、それぞれの状態のストック維持費用が生じると仮定する。すなわち、 $t$  期の健全度  $i$  のストックに要するストック維持費用  $SC_{i,t}$  は次のように表される。

$$SC_{i,t} = f(g_{i,t}) \quad (3)$$

ここで  $g_{i,t}$  は、 $t$  期における健全度  $i$  のストック量を表す。ストック維持費用の一般形は、式 (3) であるが、本研究では分析の見通しを良くするため、ストック量に比例したストック維持費用が必要という簡便な定式化を行い、

$$SC_{i,t} = m_i \cdot g_{i,t} \quad (4)$$

とする。 $m_i$  は 1 単位のストックに要する維持管理費を表し、時点に関わらず一定値であるとする。表-1 に示すように、健全度が高いストックの維持は簡易な点検費用などで済むと考えられるが、劣化が進むとより高度な点検作業や補修等の費用が必要となる。また、使用不可能なストックは、安全性確保のための点検や、除却しないことで新しい構造物を建設できないという機会費用が発生する。このように、ストックの健全度によって  $m_i$  は異なる値をとると考えることが自然である。以上より、健全度 1~3 のストック維持費用の和を当期ストック維持費用  $SC_t$  と見なし、以下の式により定義する。

$$SC_t(g_{1,t}, g_{2,t}, g_{3,t}) = m_1 g_{1,t} + m_2 g_{2,t} + m_3 g_{3,t} \quad (5)$$

### c) インフラ管理主体の行動

インフラの管理主体（一般には政府や自治体、およびその代理人）は、インフラの新設投資額と除却量の意味決定を每期おこなう。新設投資によって健全度 1 のストックが新たに蓄積され、除却によって健全度 3 のストックが取り除かれる。管理主体が新設投資を実施すると、同額の健全度 1 のインフラが次期に即座に形成され、同じく除却が行われれば、使用不可能な健全度 3 のストックが次期において即座に除却されることとする。

管理主体は、健全な社会経済活動維持のため、利用可能なインフラストックを一定水準以上に保つことが義務づけられていると考える。この最低限必要とされるインフラストック水準を  $G_{crit}$  とおけば、以下の制約条件が管理主体の意味決定に課されることとなる。

$$g_{1,t} + g_{2,t} \geq G_{crit} \quad (6)$$

なお、総ストック水準に対する各健全度のストック量の寄与度は等価であると仮定している。

## (2) 動学的費用最小化問題の定式化

当期のインフラ管理主体にとっての費用は、ストック維持費用、新規投資、除却額の和となる。したがって当期維持管理費用  $C_t$  は次のように定義される。

$$C_t = SC_t(g_{1,t}, g_{2,t}, g_{3,t}) + k_t + d_t \quad (7)$$

インフラ管理主体は、長期的な維持管理費用の支出額の現在価値の総和が最小となるように、新規投資・除却の意思決定をおこなう。したがってインフラ管理主体が直面する最適化問題は、以下の制約付き無限視野の動学的最適化問題としてモデル化できる。

$$\begin{aligned} \max_{\{k_t, d_t\}_0^\infty} & - \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t C_t \quad (8) \\ \text{s.t.} & (1a), (1b), (1c), (6), (7) \end{aligned}$$

本モデルは標準的な動的計画法と同じく、最大化問題の形式で表現しているため、目的関数はマイナスの通時的費用を最大化することとなっているが、これは通時的費用最小化と等価である。ここで  $\beta$  は割引因子であり、将来の費用は現時点の価値から割引いて評価される。式 (8) で定式化された動的最適化問題は、状態変数と制御変数が多次元であるため解析解を得ることが困難（実質的に不可能）である。そこで、最適性の原理を用いて導出される以下の Bellman 方程式を数値的に解くアプローチを利用する。

$$V(g_1, g_2, g_3) =$$

$$\max_{g'_1, g'_2, g'_3} -C(g_1, g_2, g_3, g'_1, g'_3) + \beta V(g'_1, g'_2, g'_3) \quad (9a)$$

$$\text{s.t.} (1a), (1b), (1c), (6), (7) \quad (9b)$$

ここでプライム記号は次期の状態変数を表しており、Bellman 方程式は任意の 2 時点間で成り立つ関数方程式である。 $V$  は Value Function と呼ばれ、初期ストックに対して達成可能な-(最小費用)の現在価値総和を値として返す。つまり、初期時点から常に最適な意思決定ルールに従った場合に支出する生涯費用（にマイナス符号をつけたもの）を意味する。式 (9) を解くことで、最適な新規投資と除却ルールを示す政策関数が導かれる。

## 4. モデルの解法

式 (9) で記述された動的最適化問題の解を得るため、効率的な数値解法の一つである、Value Function に対する Collocation 法（以下、Value Function Collocation 法）を用いる。これは、関数形が未知である Value Function を多項式近似し、さらに状態変数の空間を離散化することにより、計算負荷を軽減させる方法である。多項式の候補は任意のものを選ぶことができるが、本研



究は、動的計画法の分野でしばしば用いられる Chebyshev 多項式を利用した Chebyshev Collocation<sup>7)8)</sup>により Value Function を近似して Bellman 方程式を解く。

まず、Value Function が状態変数  $(g_1, g_2, g_3)$  の関数であり、定数係数  $\gamma$  と基底  $T_i(\cdot)$  の線形結合であると仮定すれば、近似式  $\hat{V}(g_1, g_2, g_3)$  は次のような形状で表される。

$$\hat{V}(g_1, g_2, g_3) = \sum_{k=0}^{p_1} \sum_{j=0}^{p_2} \sum_{i=0}^{p_3} \gamma_{ijk} T_i(g_1) T_j(g_2) T_k(g_3) \quad (10)$$

ここで、 $p_m$  は  $g_m$  に関する Chebyshev 多項式の近似度(次数)であり、 $T_q(g_m)$  は第  $q$  次の Chebyshev 基底である。近似式の残差を計測するノード  $\{g_1, g_2, g_3\}$  の値が与えられると、式 (10) の未知数はパラメータベクトル  $\gamma$  のみであり、Value Function を近似する問題は式 (10) のパラメータベクトル  $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_p\}$  を導出する問題と同義である。

近似の度合い、状態変数空間の有限範囲内で Bellman 方程式が十分満たされるかを残差関数によって評価する。残差関数  $R$  は、Bellman 方程式 (9) に近似式 (10) を代入することで次のように定義される。

$$R(g_1, g_2, g_3, \gamma) = \sum_{i=0}^{p_1} \sum_{j=0}^{p_2} \sum_{k=0}^{p_3} \gamma_{i,j,k} T_i(g_1) T_j(g_2) T_k(g_3) - \max_{g'_1, g'_2, g'_3} \left\{ -C(g_1, g_2, g_3, g'_1, g'_3) + \beta \sum_{i=0}^{p_1} \sum_{j=0}^{p_2} \sum_{k=0}^{p_3} \gamma_{i,j,k} T_i(g'_1) T_j(g'_2) T_k(g'_3) \right\} \quad (11)$$

すなわち、残差関数は状態変数  $g_1, g_2, g_3$  が与えられたとき、点  $(g_1, g_2, g_3)$  における真の関数と近似関数の当てはまり具合を示す。Collocation 法は状態変数の空間を離散化した  $n$  個の点 (Collocation Node) に対して、残差関数の絶対値が最小になるようパラメータベクトルを決定する。Collocation Node における  $g_1, g_2, g_3$  は既知の値であるので、残差関数はパラメータベクトル  $\gamma$  のみの関数となる。したがって、パラメータベクトル  $\gamma = (\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_d)$  を明示的に示し、ベクトル表記すると次のように書き改められる。

$$\mathbf{R}(\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_d) = \begin{cases} R_1(\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_d) \\ R_2(\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_d) \\ R_3(\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_d) \\ \vdots \\ R_n(\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_d) \end{cases} \quad (12)$$

以上より、最適な近似解を得ることは、 $\mathbf{R}(\gamma)$  の絶対値が最小となる  $\gamma$  を求める問題に帰着する。本研究では、

ニュートン法によりパラメータベクトル  $\gamma$  を得た。

## 5. 数値シミュレーション

### (1) 分析シナリオ

構築した動学的維持管理モデルを用いシミュレーション分析をおこなう。シミュレーション分析では、インフラ長寿命化とインフラ維持管理の技術向上をシナリオとして想定し、モデル出力である最適な維持管理政策と通時的費用に及ぶ影響を分析する。インフラ長寿命化は、インフラストックの劣化速度に係るマルコフ推移確率の値を操作することで表現する。維持管理の効率化は各健全度のインフラストックに対し、単位ストックあたりの維持管理費用を変化させることにより表す。インフラの長寿命化シナリオは、長寿命化技術の達成度合いに応じて [未実施:N], [長寿命化:L], [高度に長寿命化:H] の 3 ケースを与える。長寿命化の適用対象は健全度 2 のインフラストックとし、インフラが長寿命化されると、健全度 3 へのマルコフ推移確率の値が小さくなるを考える。具体的には、長寿命化が未実施のときに健全度 2 のインフラストックが 1 期後に 20%劣化し、長寿命化の実施程度に応じて劣化割合が段階的に 5%減少すると仮定すれば、マルコフ推移行列はそれぞれ以下のように与えられる。

$$\Pi^N = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13a)$$

$$\Pi^L = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.85 & 0.15 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13b)$$

$$\Pi^H = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0.1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13c)$$

ここで、 $\Pi^N$  は長寿命化 [未実施]、 $\Pi^L$  は [長寿命化]、 $\Pi^H$  は [高度に長寿命化] の各シナリオに対応するマルコフ推移行列である。

維持管理の効率化についてのシミュレーション分析は、[未実施][効率化] の 2 ケースの比較によって行う。ここでの効率化とは、たとえばモニタリングにおけるロボットの利用のような技術開発によって、運用・点検・補修などの定常的な費用が削減されることを想定しており、分析においてもストック維持費用が削減されるような外生条件を与えることによって、効率化シナリオを表現する。

### (2) パラメータ設定

数値シミュレーションにおいて、モデルの基本パラメータを表-2のように設定する。これらの値は、必ず

表-2 モデルパラメータ設定

|              | パラメータ名                  | 値          |
|--------------|-------------------------|------------|
| 割引率          | $\beta$                 | 0.95       |
| 変数 $g_1$ の範囲 | $[S_1, \overline{S}_1]$ | [50, 150]  |
| 変数 $g_2$ の範囲 | $[S_2, \overline{S}_2]$ | [100, 200] |
| 変数 $g_3$ の範囲 | $[S_3, \overline{S}_3]$ | [50, 150]  |
| 最低サービス水準     | Gcrit                   | 250        |
| 単位費用 [未効率]   | $m_1$                   | 1.0        |
|              | $m_2$                   | 1.4        |
|              | $m_3$                   | 1.7        |
| 単位費用 [効率化]   | $m_1^{ef}$              | 0.8        |
|              | $m_2^{ef}$              | 1.1        |
|              | $m_3^{ef}$              | 1.6        |

しも実世界の事態を反映したものではなく、数値実験のために仮想的に与えたものであるため、値自体には本質的な意味はない。単位ストックあたりの維持管理費用は未効率化の場合は  $m_i$  を、効率化実施の場合は  $m_i^{ef}$  の値をとる ( $i = 1, 2, 3$ )。ここで、各健全度において  $m_i^{ef} < m_i$  が成り立つ。

(3) 分析結果および考察

a) インフラ長寿命化による効果

インフラの長寿命化による最適な維持管理政策と予算配分の傾向について述べる。図-1 は、健全度 1 のインフラストック ( $g_1$ ) の状態と健全度 2 のインフラストック ( $g_2$ ) の状態に対して、インフラストックに対する最適な新設投資額のコンターを表す。図-1 より、ストックが十分に整備されているとき（グラフの右上領域）は新設投資をほとんどする必要はない。一方、ストックが十分に整備されていないとき（グラフの左下領域）は新設投資を積極的におこなう必要がある。

図-2、図-3 は、図-1 において健全度 1 のインフラストック ( $g_2$ ) と健全度 1 のインフラストック ( $g_1$ ) をそれぞれ固定したときの新規投資額を長寿命化の実施程度ごとに示している。図-2 は健全度 2 のインフラストックを  $g_2 = 150$  で固定し新規インフラストックを変化させた場合、図-3 は健全度 1 のインフラストックを  $g_1 = 100$  で固定し中期インフラストックを変化させた場合のグラフである。図-2、図-3 より、既設のインフラストックが多いほど最適な新設投資は少なくなっており、妥当な結果が導出されていることが確認できる。また、長寿命化の程度を高めることで最適な新設投資額が削減されていることも確認できる。

次に、インフラストックの変化に対する最適な除却額の傾向について述べる。図-2、図-3 と同様に、健全度 1 のストックと健全度 2 のストックを固定したとき

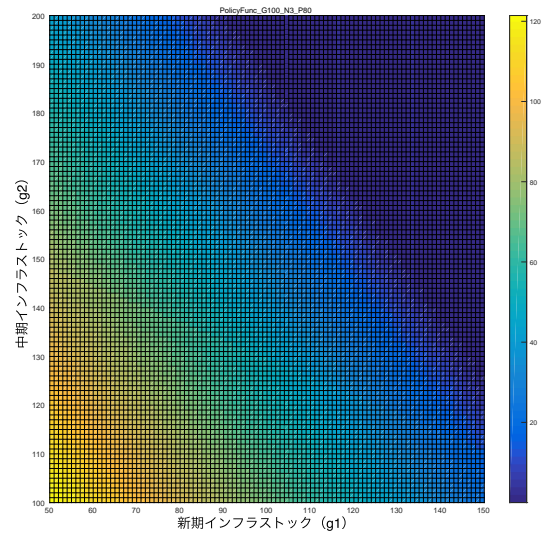


図-1 最適な新設投資額

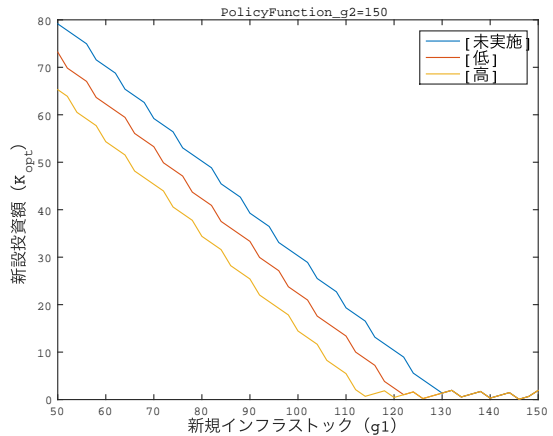


図-2 健全度 1 のストックの変化に対する最適な新設投資額

の最適な除却額を図-4、図-5 に示す。図-4 より、最適な除却額は健全度 1 のストックの変化に対して反応せず、図-5 より、健全度 2 のストックの増加にともない除却額は線形的に単調増加していることが確認できる。これらの結果より、最適な除却計画は健全度 2 のインフラストックが健全度 3 のインフラストックへと劣化する割合に依存して変動することがわかる。

図-6 は、長寿命化 [未実施] のケースを基準として、[高度に長寿命化] のケースにおける通時的費用の差をコンター図として表したものである。図-6 より、あらゆる  $g_1$  の値に対し維持管理費用の差額は負の値であるため、インフラの長寿命化によって通時的維持管理費用の削減が常に達成されることがわかる。また、初期状態において健全度 1 のストックが少ない（グラフの左領域）ほど費用削減額は大きく、ストックの総量が多い

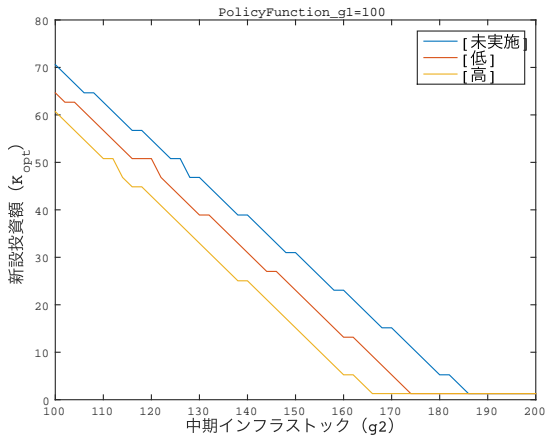


図-3 健全度 2 のストックの変化に対する最適な新設投資額

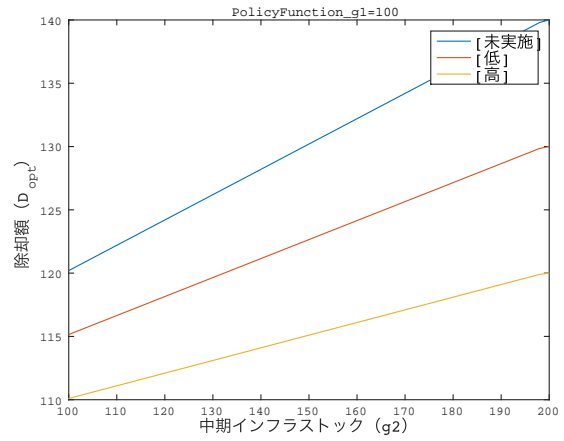


図-5 健全度 2 のストックの変化に対する最適な除却額

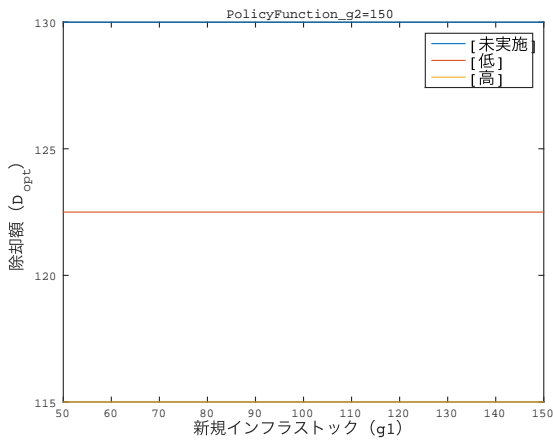


図-4 健全度 1 のストックの変化に対する最適な除却額

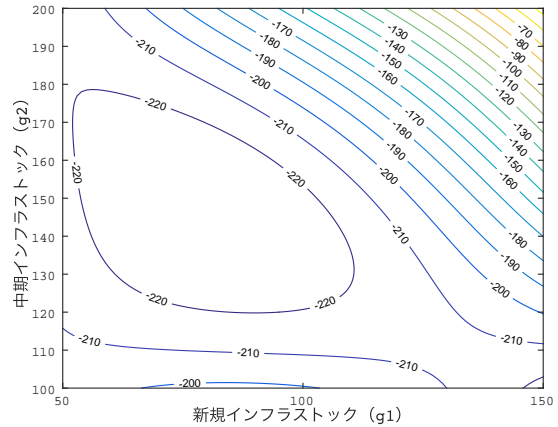


図-6 長寿命化による長期的な維持管理費用の削減額

(グラフの右上領域)ほど長寿命化の実施による費用削減効果が小さいことがわかる。このような結果が見られた理由として、以下のことが考えられる。十分なインフラが整備されている社会では、しばらくの間は新設投資をしなくてもインフラストックの水準が維持されるため、新設投資が行われにくい。そのため、インフラが整備されている社会においては、長寿命化による新設投資額の節約効果が小さいと考えられる。一方、新規インフラが十分整備されていない社会では、インフラ水準を維持するために新設投資を積極的に行うことが最適政策となる。したがって、新規ストックが少ない社会(グラフの左領域)では、長寿命化による費用削減効果が顕著に現れていると考えられる。

図-7は、定常状態における当期費用の支出額とその内訳を、長寿命化実施の有無に応じて比較している。図左は長寿命化[未実施]ケースの結果を、図右は[高度に長寿命化]ケースにおける結果を表している。図-7より、長寿命化の実施によって除却額と新設投資額が削

減される一方、ストックの維持費用は増加していることがわかる。つまり、インフラ長寿命化実施時における最適な予算配分は、新設投資と除却に対する配分比率を低め、ストック維持費用への配分比率を高めることであると導かれる。これは、長寿命化が実施されることで単位維持費用がより高額な中期インフラストックの水準が高くなるため、ストックの維持費用が長寿命化によって増加すると考えられる。

#### b) 維持管理の効率化による効果

次に、インフラ維持管理の効率化による最適な維持管理政策と予算配分の傾向について述べる。導出された政策関数、すなわち最適な新設投資、除却計画に関しては、維持管理の[効率化]ケースであっても[未実施]ケースの結果から変化が見られなかったため、結果を図示していない。これは、維持管理の効率化によって単位ストックあたりの費用は削減されるが、健全度の推移には影響せず、制約条件であるインフラストックの水準維持にも影響が及ばないためであると考えられる。

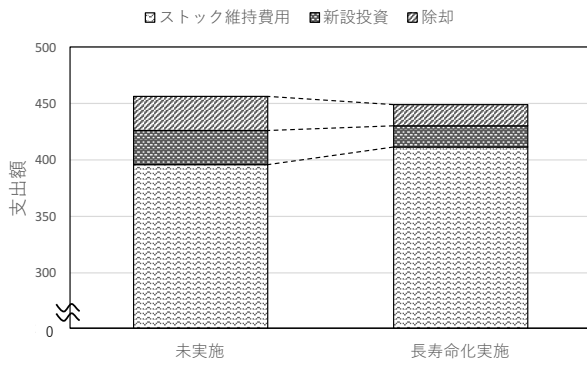


図-7 定常状態における当期費用と内訳（長寿命化）

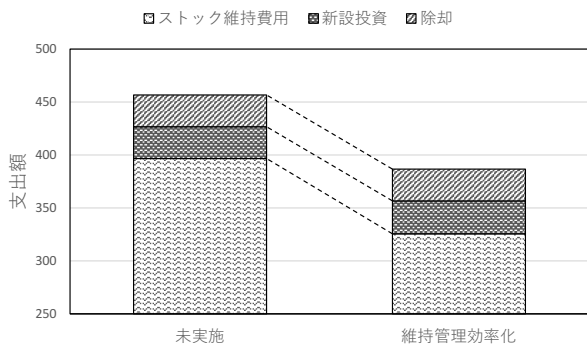


図-8 定常状態における当期費用と内訳（効率化）

図-8は、長寿命化政策の効果を示した図-7と同様に、維持管理の[効率化]ケースと[未実施]ケースのそれぞれにおける、定常状態での当期費用の総額とその内訳を示したものである。図左は効率化[未実施]ケースでの結果を、図右は[効率化]ケースでの結果を表している。図-8より、維持管理の効率化実施によって、新設投資額と除却額にはほとんど変化が見られない一方で、ストック維持費用は大きく削減されていることがわかる。つまり、維持管理の効率化が達成され、既設ストックの維持に要する費用が削減されると、インフラ管理者の最適な予算配分に対しては、新設投資と除却費用に対する配分比率を高め、ストック維持費用への配分比率を低くさせる効果をもたらすということが示唆される。

## 6. 結論

本研究は、アセットマネジメントの技術発展として、インフラの長寿命化と維持管理の効率化（単位費用の削減）に着目し、これらの技術発展が達成されたときに期待される経済効果を定量的に分析する手法を開発した。本研究により構築した手法は、インフラの新設投資、維持費用、除却費用をそれぞれ明示的に考慮し、

長期的視野から通時的費用を最小化する動学最適化モデルに基づくものである。これは、アセットマネジメント技術発展の経済効果を評価するだけでなく、任意のインフラストック状態に対する最適支出計画を政策関数として導出するものであり、計画策定の支援手法としての役割も持つものである。また、モデル構造の変化に対して柔軟に対応でき、計算負荷を軽減するための効率的な近似解法についても詳細に解説した。

本研究は、構築したモデルを用いて数値シミュレーションを実施し、アセットマネジメント技術発展がもたらす通時的費用削減効果の定量的評価と、最適支出配分政策への影響についても分析した。分析結果より、インフラ長寿命化の実施は、新設投資と除却費用が削減され、通時的な維持管理費用の削減が達成される一方、インフラストックの維持費用は増大する可能性があることを示した。また、維持管理の効率化は長期的な維持管理費用の削減を達成し、新設投資と除却費用の最適支出計画には影響を及ぼさないことが示された。

本研究で提案したモデルは、基礎的な枠組みを構築した段階のものであり、即座に実践的手法として応用可能ではなく、いくつかの重要な課題も残されている。特に、本研究の特徴的な部分であるインフラストックの健全度推移の表現と、劣化予測技術の知見との関連付けは重要と考えられる。また、本モデルでは既設ストックに対して要する維持費用を、健全度別ストック量に比例する形で単純化して扱ったが、現実的な設定とするためには、これらの関係について精査する必要がある。

なお、本研究ではアセットマネジメントの新技术を導入するための費用は扱っておらず、技術発展は外生的に与えられる条件としている。アセットマネジメント技術発展のための研究費用や投資費用も、インフラ管理主体にとっては無視できない要件であるので、技術導入の費用も含めたトレードオフを考慮することも、モデル自体の発展方向性として考えられる。

## 参考文献

- 1) 貝戸清之, 阿部充, 藤野陽三: 実測データに基づく構造物の劣化予測, 土木学会論文集, No.744/IV-16, pp.29-38, 2003.
- 2) 青木一也, 山本浩司, 小林潔司: トンネル照明システムの最適点検・更新政策, 土木学会論文集, No.805/VI-67, pp.105-116, 2005.
- 3) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.68-82, 2005.
- 4) 小濱健吾, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司, 福田泰樹: 劣化過程を考慮した最適廃棄・補修モデル, 土木学会論文集, vol.68, No.3, pp.141-156, 2012.
- 5) 瀬木俊介, 小林潔司: インフラの動学的投資政策と長寿命化便益, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), vol.70, No.3, pp.179-197, 2014.



- 6) 石倉智樹: 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, 土木計画学研究・論文集, vol.27, pp.33-40, 2010.
- 7) Heer, B. and Maussner, A: *Dynamic General Equilibrium Modelling*, Springer, 2005.
- 8) Judd, K.J.: *Numerical Methods in Economics*, The MIT Press, 1998.

( ? 受付 )

## DYNAMIC ECONOMIC EFFECTS OF THE IMPROVEMENT OF ASSET MANEGEMENT TECHNOLOGIES

Yuki SUZUKI, Tomoki ISHIKURA

Technological developments in infrastructure asset management fields are continuously improving. The technological innovations will contribute to efficient maintenance works and life longing duration of infrastructure stock. The aim of this paper is to propose a methodology for assessing the economic effects of the improvement of the infrastructure asset management technologies. We build a dynamic optimization model which handles deterioration process of the stock and maintenance cost explicitly. We furthermore conduct some numerical analyses about two types of technological innovations, lifecycle extension of infrastructure stock and unit cost reduction of maintenance. The results shows the lifecycle cost reduction effects quantitatively and changes in optimal cost allocation policies by introducing the technological innovations.