

インフラストラクチャ管理のための経済会計情報*

Economic Accounting Information for Infrastructure Management*

横松宗太**・江尻良***・小林潔司****

by Muneta YOKOMATSU**, Ryo EJIRI*** and Kiyoshi KOBAYASHI****

1. はじめに

現在、戦後に整備されたインフラストラクチャ（以下、インフラと略す）の老朽化が進展している。今後、インフラ関連予算の中で、既存のインフラの維持補修費用の占める割合が増加しよう。同時に、高齢化の進展や人口減少に伴う財源難の中で、インフラの効率的な維持補修を達成しながら、必要なインフラの新規投資を実施するための総合的なインフラ管理戦略が必要とされている。

インフラ管理を効率的に実施するためには、時間軸上の各時点におけるインフラのストック情報とインフラ管理の経済効果を的確に記述するための経済会計（以下、インフラ会計と呼ぶ）指標が整備されていなければならない。インフラ会計はインフラの効率的なアセットマネジメントを支援する管理会計情報を整備する。それと一緒に、政府が実施するインフラ管理の有効性と妥当性を財務会計情報¹⁾として公開することにより、国民に対する説明責任²⁾³⁾⁴⁾を果たす役割を担うことになる。

従来の経済統計では、インフラ資本ストックの水準が1次元のスカラー（金銭価値）で表現されており、インフラの量的な整備・除却と質的な減耗・修繕を区別できない。インフラの新規整備、維持補修戦略を議論するためには、インフラの量的・質的水準を区別して記述できるような会計情報が必要である。さらに、インフラの新規整備は、将来における維持補修需要を確実に増加させる。このようにインフラの質的・量的な水準は互いに関連しており、両者の相互関係を明示的に考慮しうるインフラ会計の枠組みを開発することが不可欠である。

本研究では、伝統的なラムゼイ型開放経済成長モデルを拡張し、インフラの質的・量的な管理施策を分析するための動学的インフラ投資モデルを定式化する。その上で、インフラの望ましい新規整備、維持補修戦略の実現に必要となるインフラ会計情報の基本的な考え方について

て考察する。以下、2. では本研究の基本的な考え方を示す。3. では動学的インフラ投資モデルを定式化し、4. では最適インフラ管理戦略について分析する。5. ではインフラ管理のための会計情報について考察し、インフラ会計作成のための知見としてとりまとめる。

2. 本研究の基本的考え方

(1) 従来の研究概要

マクロな国民経済に関する会計情報を体系的に整理する手法として国民経済計算（A System of National Accounts, SNA）が整備されている⁵⁾。中でも、国民の経済厚生状態を評価する指標として、Net Domestic Product (NDP) が重要な役割を果たしている。従来より、代表的家計の消費行動を通じて、国民の経済厚生指標を構築する試みがいくつか存在する。中でも、Weitzman(1976)⁶⁾ や Aronsson *et al.*(1997)⁷⁾ 等は、伝統的なラムゼイ型経済成長モデル（以下、ラムゼイモデルと呼ぶ）を用いて、Net Domestic Product による経済厚生評価が代表的家計の生涯効用（ラムゼイモデルの最適値関数）による評価と整合的であることを理論的に示した。ただし、厳密には Weitzman 等は NDPではなく、Net National Product (NNP) について議論している。1993年に改訂されたSNAではNationalの概念が廃止されDomesticの概念に一本化された。しかし、Weitzman 等のモデルは、NNPをNDPに置き換えることなく差し支えない構造をしているため、本論文ではNDPの呼称に統一する。さらに、Hartwick(1990)⁸⁾、Mäller(1991)⁹⁾、Aronsson *et al.*(1997) 等は環境管理問題を対象とした動学的マクロ経済モデルを定式化し、最適投資経路上での環境や生産資本の経済価値の構造を環境会計(Green Accounting)としてとりまとめる方法論を提案した。しかし、これらの動学的マクロ経済モデルでは、物的資本の量的側面と質的側面が区別されておらず、物的資本の新規整備と維持補修に関する戦略を検討できないという限界がある。本研究では、インフラ資本の質的水準、量的水準を明示的に考慮したような動学的インフラ投資モデルを定式化する。そして、Aronsson *et al.*による環境会計の枠組みを拡張し、政府によるインフラ資本の新

*キーワード：土木施設維持管理、公共事業評価法

**正員、工博、鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(〒 680-8552 鳥取市湖山町南4-101 TEL 0857-31-5311)

***正員、工修、JR東海（株） 総合企画本部 経営管理部
(〒 450-6101 名古屋市中村区名駅1-1-4JRセントラルタワーズ
TEL 052-564-2316・FAX 052-587-1300)

****フェロー員、工博、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
(〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL・FAX 075-753-5071)

設・除却や、維持補修に関する情報を記述しうるインフラ会計の理論的な枠組みを提案する。

(2) マクロ経済モデルと社会厚生指標

Aronsson *et al.*(1997)は伝統的なラムゼイモデルを用いて、社会的に最適な資本形成過程と、その下での社会厚生を表す経済会計情報に関する一般的な枠組みを提示している。彼らの主たる関心は、伝統的に経済厚生指標として用いられてきたNDP指標が、社会が保有する資本の価値評価の尺度として理論的に適切かどうかを議論する点にある。国民経済計算において、NDPは当該時点の消費と投資の和として定義される。NDP指標は実務的に容易に獲得できる経済会計情報であるが、それはある会計年度におけるフローの情報に基づいた評価に過ぎない。一方、理論的な観点からは、経済厚生指標としてNDPというフロー情報ではなく、「当該年度から将来に亘る消費の効用の現在価値」を用いる方が望ましいという批判がなされてきた。この論争に対して、Aronsson *et al.*は、外部経済性や計画者にとって制御不可能な技術進歩等が存在しない最も単純な状況下では、NDP指標と将来効用の現在価値指標は互いに比例関係にあることを示した。すなわち、伝統的にNDPを用いて経済厚生を評価する方法の理論的妥当性と実務上の有用性を立証することに成功している。さらに、ラムゼイモデルを拡張することにより、外部性やリスク、資源の枯渇性等が存在する状況において厚生評価に用いることができる修正NDP指標を提案した。Aronsson *et al.*等は、経済厚生を評価しえる望ましい経済会計指標を選択する際の視点は「経済厚生を計測するためにどのような情報が必要なのか」、「必要な情報が現在の市場で利用可能なのか」の2点に集約されると指摘している。しかし、前述のように、Aronsson *et al.*の資本評価の枠組みでは、資本ストックが資本価値という1元的なスカラー指標で記述されている。資本は時間とともに減耗し、常に資産価額の減価として表現される。その結果、減耗した資本に対する質的改善のための維持補修投資と新規に資本を獲得するための新規投資が区別されず、ともに資本に対する投資として計上される。したがって、インフラ資本の新規整備と維持補修の区別が本質となるインフラ管理のためには有用な情報を提供できないという難点がある。この問題は、インフラ資本の質的水準と量的ストックを区別しないことにより生起するものであり、インフラ管理の基礎となるインフラ資本ストックに関する会計情報を作成するためには両者を明示的に区別する必要がある。

(3) インフラ資本の維持補修と新規整備

インフラ資本の管理方策を検討する際、維持補修と新規整備を概念的に区別する必要がある。従来、イン

フラの資産評価においては歴史的取得原価を用いてきた。さらに、インフラは無限期間にわたってサービスを提供するものと仮定され、68SNAに基づく旧経済企画庁統計ではインフラの減価償却¹⁰⁾は実施されていない。68SNAでは平均耐用年数47年が経過すれば資産価額がゼロとなるサドンデスの仮定が採用されているが、この会計処理はインフラの除却に対するものであり、減価償却の概念ではない。一方、93SNAではインフラに対しても減価償却の概念を導入すべきであるとされ、内閣府による新しいインフラ統計は減価償却を導入している⁵⁾。

インフラは除却しない限り、適切な維持補修、修繕更新により無限の期間にわたって効用を発揮する。インフラの劣化・維持過程を会計的に記述する方法として線延維持補修会計、更新会計、減価償却会計がある¹¹⁾。このうち線延維持補修会計、更新会計では、適切な維持補修を通じてインフラ資本は常に良好で安全な状態に維持され無限の耐用年数を持ちうると考える。したがってインフラの価値は減少せず、常に取得時の資産価額が保たれる。インフラの質的水準を保つために必要な維持補修支出額が毎期支出される。一方、減価償却会計では、インフラは時間経過とともに劣化し、インフラ資本の価値が減価すると考える。インフラ更新のために必要となる費用をインフラの耐用年数にわたって費用配分するために減価償却が行われる。インフラの耐用年数が工学的な検討により適切に設定されていれば、減価償却は線延維持補修会計における引当金と同等の意味を持っている。いずれの会計方式を採用するにせよ、貸借対照表上には新規取得時（再調達時）におけるインフラの資産価額とインフラの劣化による引当金（もしくは減価償却費累積額）が記述される。すなわち、貸借対照表では、インフラの量的ストック水準とインフラの劣化による質的水準の低下に関する会計情報の双方が表記される。

本研究ではインフラは社会的生産資本として生産過程に投入されると考える。新規取得時におけるインフラの質的水準は、技術的水準として外生的に与えられている。インフラはその除却が決定されない限り、無限期間サービスを提供し、社会的生産資本としてのインフラの機能は変化しない。たとえば、橋梁の劣化が進展しても、その程度が許容範囲内に納まる限り、橋梁としての機能は変化しない。また道路の舗装状態が劣化したり、不十分な清掃によって美観が悪化したりしても、燃費や交通流に影響を及ぼさない限り、物流コストは変化しない。インフラは多少、維持補修を怠っても、すぐにはサービス水準が低下しない特徴をもっている¹²⁾。インフラの量的ストックと質的サービスを明確に区別することは難しいが、本研究ではインフラの設計諸元の中でたとえば道路幅員、延長等のように、社会的生産資本としての生産性に影響を及ぼす要因をインフラの量的次元に分類す

る。一方、美観、力学強度等、ある一定の水準を満足していれば、インフラの生産性に直接的な影響を及ぼさない要因を質的水準を構成する要素と考える。インフラの質的水準を維持するために必要となる維持補修費用は、無限期にわたるライフサイクル費用を最小にするように工学的に計算され、毎期ごとに維持補修費（会計上は引当金繰入額）として計上される。会計年度における財政状態により、各年度のインフラの維持補修費は変動するが、長期的な観点に立てば、毎期に確保すべき平均的な維持補修費は質的水準が決定されれば一意的に決定されるものである。したがって、インフラの長期的な管理戦略を検討するにあたり、「稀少な財源を新規整備と維持補修にどのように配分すべきか」という問題は存在しない。維持補修費はインフラが劣化するために不可避的に発生する費用であり、インフラを除却しない限り国民が継続的に負担すべき費用である。むしろ、インフラ管理の上で議論すべき課題は、1) 将来発生する維持補修費を考慮に入れて、インフラをどの程度新規に整備（除却）すべきか、2) インフラの維持すべき質的水準をどのように設定するか、という問題である。以上の問題意識の下に、3)においては、インフラの最適新規整備量を決定する動学的インフラ投資モデルを定式化する。インフラの最適質的水準の決定問題は、のちに4.(4)で議論する。なお、モデルに資本の質を導入することは資本の異質性を考慮することに他ならない。資本の異質性は、設備投資理論の分野ではヴィンテージモデルによっても扱われているが、Johansen¹³⁾やVirmani¹⁴⁾等によるputty-clay型のヴィンテージ生産関数に代表されるように、そこでは個々の資本の限界生産性が取り付け後の時間の経過とともに低下していく状況が想定されている。本研究ではサービス水準に関する異質性を考慮している。

3. 動学的インフラ投資モデル

(1) モデル化の前提条件

本研究ではインフラの量と質の相違を考慮した動学的インフラ投資モデルを定式化する。政府は道路、港湾、空港、橋梁等のインフラを整備する。インフラのストック水準を「量」と「質」という2つの指標を用いて表現する。既存のインフラ資本ストックの質的水準は適切な維持補修により所与の水準に維持されると仮定しよう。時刻 t におけるインフラのストック量を $m(t)$ と表す。インフラ資本ストック量 $m(t)$ は所与の質的水準のインフラを新規取得する際に必要となる再調達価額で評価されている。一般に、インフラが取得された時点により構造物の仕様が異なるなど、取得時点によりインフラの質的水準が大きく異なるため、インフラの（物価調整後の）歴史的原価（取得価額）と再調達価額が同一になる

保証はない。インフラの資産価額を再調達価額を用いて評価するためには、基準となる質的水準を規定しなければならない。当然のことながら、想定するインフラの質的水準が異なれば、インフラ資本の評価価額も異なってくる。いま、インフラの質的水準 q をそれを再調達する時の価額とベンチマークとして設定した質的水準を持つインフラの再調達価額との価額比で表現しよう。インフラ会計では、インフラの資産価額を所与の質的水準を持つインフラの再調達価額により評価するため、動学モデルにおける質的水準は時間を通じて一定と考える。現実には、質的水準 q は技術水準が変化するなどの理由により、時代により変化している。質的水準が変化した場合、インフラ会計においては新しい q に対応させてインフラ資産価額の再評価を行うことが必要となる。このようなインフラ会計上の要請に基づいて、本研究では質的水準 q は技術基準として与えられ、時間を通じて一定と仮定する。質的水準 q の定義より $q \geq 0$ であり、ベンチマークとなる質的水準は $q = 1$ で表される。また、質的水準 q を持つインフラ資本ストックの資産価額は $qm(t)$ と表される。インフラの質的水準は時間とともに劣化するが、質的水準を常に q に維持するためには期間 Δt に対して維持補修費 $R(q)\Delta t$ が支出される。ただし、維持補修費はインフラ会計上引当金繰入額（あるいは、減価償却額）として発生するものであり、毎期にそれを必ず支出する必要はない。支出されない場合、繰延引当金（あるいは、減価償却累計額）としてインフラ会計上に累積されていく。当該インフラが修繕・更新された段階で、インフラの質的水準は q まで回復する。しかし、会計上の措置として、インフラの質的水準は q で表現され、それを維持するための費用として維持補修費 $R(q)$ が経常的に支出されると考える。また、インフラの新規投資量を変数 $j(t)$ で表す。新規投資量 $j(t)$ もインフラ資本ストック量 $m(t)$ と同様にベンチマークとなる質的水準の投資を実施する際に必要となる取得価額単位で表現されている。したがって、質的水準が q であるインフラを新規投資する場合、インフラの新規投資額は $qj(t)$ となる。

(2) モデルの定式化

社会計画者が民間資本とインフラ資本の投資量を集権的に決定するfirst bestの問題を定式化する。小国のが開放経済(small open)を対象とし、世界利子率は時間を通じて一定であると考える。動学的インフラ投資モデルの定式化にあたって、家計の無限視野を仮定したラムゼイモデルを採用する¹⁵⁾。国内の家計数は一定とし、社会計画者は代表的家計の生涯効用水準を最大化する。家計の無限の将来に亘る生涯効用水準は、瞬間的効用水準の加法和で与えられる。時刻 t における瞬間的効用 $u(c(t), q)$ は消費 $c(t)$ とインフラの質的水準 q によって定義される。

インフラの質的水準は時間を通じて一定であると仮定する。効用関数 $u(\cdot)$ は以下の性質を満足すると仮定する。

$$u_c > 0, u_{cc} < 0, u_q > 0, u_{qq} < 0, u_{cq} = 0 \quad (1)$$

以後、下付き文字は当該変数による偏微分を表す。消費とインフラの質的水準に関する限界効用は互いに独立と考える。当面の間、質的水準 q を外生的パラメータとして取り扱うため効用関数を $u(c(t))$ と表現する。4.において最適なインフラの質的水準について議論する際に、質的水準 q を明示的に取り上げる。

対象国が時間を通じて small であることを保証するために、代表的家計の時間選好率は世界利子率 r に一致すると仮定する¹⁵⁾。生産は労働、民間資本、インフラ資本の投入によって行われる。ただし家計数は時間を通じて一定とし、さらに一家計の労働供給水準を一定と仮定しよう。 t 期における対象国の生産水準は $Y(t) = F(L(t), K(t), m(t))$ により与えられると考えよう。 $L(t), K(t), m(t)$ はそれぞれ t 期における労働水準、民間の生産資本、インフラ資本のストック量を表す。ただし労働水準一定の仮定より $L(t) = L = \text{const.}$ である。 $F(\cdot)$ は以下の性質をもつと仮定する。

$$F_L > 0, F_{LL} < 0, \lim_{L \rightarrow 0} F_L = \infty, \lim_{L \rightarrow \infty} F_L = 0 \quad (2a)$$

$$F_K > 0, F_{KK} < 0, \lim_{K \rightarrow 0} F_K = \infty, \lim_{K \rightarrow \infty} F_K = 0 \quad (2b)$$

$$F_m > 0, F_{mm} \leq 0, \lim_{m \rightarrow 0} F_m = \infty \quad (2c)$$

$$F_{LK} > 0, F_{Km} > 0, F_{mL} > 0 \quad (2d)$$

また、生産関数 $F(\cdot)$ は労働水準と民間資本について 1 次同次と仮定する。そこで生産水準と生産関数について単位労働に関する集約形

$$y(t) \equiv \frac{Y(t)}{L(t)} = F\left(1, \frac{K(t)}{L(t)}, m(t)\right) \equiv f(k(t), m(t)) \quad (3)$$

を用いて議論する。ただし $k(t) = K(t)/L(t)$ である。一方、 $m(t)$ は単位労働当たりのストック水準ではなく、対象国全体のインフラ資本のストック量であることに注意されたい。表記の見通しを良くする目的で小文字を用いることとする。インフラ資本はヒックス中立的に労働と民間資本の限界生産性を向上させるものとする。 $F(\cdot)$ に関する上記の仮定より、単位労働当たりの生産関数 $f(k(t), m(t))$ について新古典派的性質

$$f_k > 0, f_{kk} < 0, \lim_{k \rightarrow 0} f_k = \infty, \lim_{k \rightarrow \infty} f_k = 0 \quad (4a)$$

$$f_m > 0, f_{mm} \leq 0, \lim_{m \rightarrow 0} f_m = \infty, f_{km} > 0 \quad (4b)$$

が成立する。ここで、生産関数に含まれるインフラ資本ストックは、実際のインフラ資本価額である $qm(t)$ でなく、ベンチマークとなる質的水準のインフラ資本価額単位で評価した変数 $m(t)$ により表現されていることに留意して欲しい。このことは、インフラの質的水準 q は社

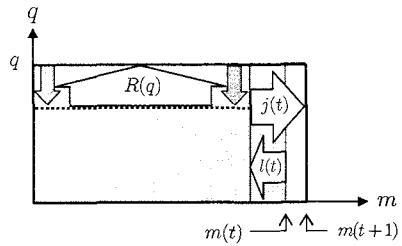


図-1 インフラの形成過程と資産価額

会的生産資本としてのインフラの生産性に影響を及ぼさないことを意味している。いま、インフラの力学的強度や美観等の質的水準が向上し、インフラの質的水準が $q (> 1)$ に設定されたとしよう。この場合、インフラの資産価額は $qm(t)$ となる。しかし、質的水準が増加してもインフラの生産性は変化せず、 $\partial f(k, m)/\partial m$ の水準に保たれる。インフラの生産性は質的水準とは独立に与えられる。よって、インフラ会計を作成するためには、インフラの質的水準を定義しなければならない。

対象国の生産に投入される民間の生産資本 $k(t)$ は毎期 η の率で減耗すると仮定する。インフラが除却されるまでの耐用年数と比較して、民間資本の耐用年数は非常に短い。したがって、民間資本の投資には調整費用が存在せず、瞬時に望ましい民間資本ストックが実現すると考える。small open の仮定より、民間資本は国際資本市場より調達される。民間の投資市場の均衡は、限界生産性から減耗率 η を差し引いたネットの限界収益率が世界利子率 r に一致する状態によって与えられる。民間資本ストックに関する最適化条件は次式で与えられる。

$$f_k(k, m) - \eta = r \quad (5)$$

対象国の民間資本ストックの均衡水準は上式の逆関数

$$k = \tilde{k}(r + \eta, m), \tilde{k}_r < 0, \tilde{k}_\eta < 0, \tilde{k}_m > 0 \quad (6)$$

で表される。すなわち、世界利子率が上昇すると海外貯蓄の効率が向上するため、対象国への投資は減少する。また、減耗率が上昇すると、企業はより高い限界生産性を確保する必要があるため、投資水準を減少させることになる。また、インフラ資本ストックが増大すると、より多くの民間資本が国内外から流入する。

質的水準 q のインフラ資本の量 $m(t)$ の蓄積過程は

$$qm(t) = qj(t) - ql(t) \quad (7)$$

と表される。以後、記号「 $\dot{\cdot}$ 」は時刻 t による微分を表す。インフラ資本の量 $m(t)$ の形成過程(7)において、 $j(t)$ は新設投資量、 $ql(t)$ は除却されたインフラの資産価額を表す。本研究ではインフラの除却スケジュールは外生的に与えられ、時刻 t において資産価額 $ql(t)$ =

$\gamma qm(t)$ のインフラが除却されると仮定する。すなわち、既存のインフラ資本ストックに対して、毎期一定割合 γ の大きさのインフラ資本が除却される。一方、インフラ資本投資には調整費用が生じる。調整費用は、例えば取引費用、仮設費用等に代表されるように、新設投資に付随して発生する資本的投資費用以外に必要となる費用を意味する。調整費用が存在しない場合、初期時点でインフラ資本を瞬時に定常状態のストック量に到達させる政策が最適インフラ投資問題の最適解となる。調整費用が存在するために、インフラの新規投資が時間軸に沿って継続的に実施される。本研究では次式で表される Hayashi¹⁶⁾型調整費用 $\Theta(q, j, m)$ を仮定する。

$$\Theta(q, j, m) = qj \cdot Z\left(\frac{j}{m}\right) \quad (8a)$$

$$Z(0) = 0, \quad Z' > 0, \quad Z'' > 0 \quad (8b)$$

同一の投資水準であれば、より大きなストック水準の下で行なったほうが調整費用 $\Theta(\cdot)$ が少なくなる。すなわち、最終的に同一レベルのインフラ資本ストックを実現するのであれば、集中的に投資するよりも、段階的に投資する方が効率的となる。また毎回の投資に固定費用はかかることが想定されている。このような調整費用関数は投資の速度を抑制する機能を持つ。インフラの質的水準 $q (\geq 0)$ に応じて維持補修費用 $R(q)$ が発生する。より高い質的水準を維持するためには、より頻繁な補修が必要となり、維持補修費用が増加するため

$$R(0) = 0, \quad R'(q) > 0 \quad (9)$$

が成立する。図-1はインフラの形成過程を模式的に表している。陰のついた長方形の部分が t 期のインフラ総資産価額 $qm(t)$ を、一番外側の長方形が $(t+dt)$ 期の総資産価額 $qm(t+dt)$ を表している。インフラの新規投資 $j(t)$ によりインフラの資産価額は $qj(t)$ 増加し、除却 $l(t)$ により資産価額は $ql(t)$ 減少する。時刻 t において供用されるインフラ資本ストック量が $m(t) - l(t)$ 単位である場合、維持補修費用 $\{m(t) - l(t)\}R(q)$ が発生する。この時、政府による最適インフラ投資問題は

$$\max_{\iota(t)} \int_0^\infty u(c) \exp(-rt) dt \quad (10a)$$

subject to

$$\dot{a} = ra + f(\tilde{k}, m) - (r + \eta)\tilde{k} - c - (m - \gamma m)R(q) - qj \left\{ 1 + Z\left(\frac{j}{m}\right) \right\} \quad (10b)$$

$$\dot{m} = j - \gamma m \quad (10c)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} a(t) \exp(-rt) \geq 0 \quad (10d)$$

と定式化できる。ただし、 $\iota(t) = \{c(t), j(t)\}$ は制御変数ベクトルである。 $a(t)$ は対象国の海外への貸付水準を、 $\dot{a}(t)$ は当該期の経常収支を表している。式(10b)に示す

ように、経常収支は貸付による利子所得と生産から、民間資本の利払いと減耗に対する維持費用、消費、インフラ資本の投資費用を差し引いた残額と等価である。インフラ資本の投資費用は式(10b)の右辺2行目により示されている。右辺2行目第1項は除却せずに継続して供用する資本に関する維持補修費用を表す。右辺2行目第2項は新設するインフラに関する投資費用であり、中括弧の第1項は投資財、第2項は調整費用を表す。式(10c)は式(7)を量的ストックの次元で表したインフラ資本の蓄積過程である。式(10d)はNo-Ponzi-Game条件を表す。

(3) 最適化条件

当該期価値ハミルトニアンは次式で与えられる。

$$H(t) = u(c) + \lambda \dot{a} + q \mu \lambda \dot{m} \quad (11)$$

ただし、 $\lambda(t)$ は消費財の当該期価値の潜在価格を表す。また、 $\mu(t)$ は消費財の潜在価格で基準化した単位質的水準当たりのインフラ投資の潜在価格を表す。1階の最適化条件は、式(10b)-(10d)と

$$u_c = \lambda \quad (12a)$$

$$\mu = 1 + Z\left(\frac{j}{m}\right) + \frac{j}{m} Z'\left(\frac{j}{m}\right) \quad (12b)$$

$$\dot{\lambda} = 0 \quad (12c)$$

$$\begin{aligned} \dot{\mu} = (r + \gamma)\mu - \frac{f_m(\tilde{k}, m)}{q} \\ + (1 - \gamma) \frac{R(q)}{q} - \left(\frac{j}{m}\right)^2 Z'\left(\frac{j}{m}\right) \end{aligned} \quad (12d)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mu \lambda \exp(-rt) m = 0 \quad (12e)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} H(t) \exp(-rt) = 0 \quad (12f)$$

で与えられる。式(12a), (12c)より消費財の潜在価格は消費の限界効用に一致し、その水準は時間を通じて一定となる。したがって、消費水準も時間を通じて一定となり、式(10b), (10d)より最適消費水準は

$$\begin{aligned} c^*(t) &= \bar{c} \\ &= r \left\{ a_0 + \int_0^\infty \left[f(\tilde{k}^*, m^*) - (r + \eta)\tilde{k}^* - (m^* - \gamma m^*)R(q) - qj^* \left\{ 1 + Z\left(\frac{j^*}{m^*}\right) \right\} \right] \exp(-r\tau) d\tau \right\} \\ &= rv_0 \end{aligned} \quad (13)$$

と表せる。ただし、 a_0 は初期時点で海外に蓄積された資本ストックである。上付きの「*」は最適経路であることを示す。すなわち、右辺の被積分関数は初期時点から無限の将来に至るまでの最適経路上で定義される。さらに、 v_0 は代表的家計が獲得できる生涯資産の現在価値を表す。毎期の消費水準は v_0 の利子に一致する。換言すると毎期 \bar{c} の消費を無限の将来まで継続することによって、生産やインカムゲインによって獲得した総資産を消費し

尽くすことになる。開放経済を仮定しているため最適消費水準は効用関数形に依存しない。

式(12b)はインフラ資本の量的投資に関する最適化条件を示す。左辺の潜在価格 $\mu(t)$ は、消費 c の限界効用で評価した限界的1単位のインフラ投資による生涯効用の増分を意味し、基準化されたインフラ資本ストックの増加の便益に相当する。右辺はインフラ投資の限界費用であり、第1項は投資財、第2項、第3項は限界調整費用を表す。いま、境界条件

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mu(t) \exp\{-(r + \gamma)t\} = 0 \quad (14)$$

が成立すると仮定すると、式(12d)より次式が成立する。

$$\begin{aligned} \mu^*(t) = & \int_t^\infty \left\{ \frac{f_m(\tilde{k}^*, m^*)}{q} - (1 - \gamma) \frac{R(q)}{q} \right. \\ & \left. + \sigma^{*2} Z'(\sigma^*) \right\} \exp\{-(r + \gamma)(\tau - t)\} d\tau \quad (15) \end{aligned}$$

ただし $\sigma^* = j^*/m^*$ である。被積分関数の第1項はインフラ投資による瞬間的限界生産性を意味する。また、第2項はインフラ投資によって生じる限界的維持補修費用を、第3項はインフラ資本の増加に伴って生じる調整費用の限界的減少効果を示す。すなわち、今期にインフラを増やすことによって、将来の各時点におけるインフラ投資による調整費用が

$$\frac{d}{dm} \left\{ j^* Z \left(\frac{j^*}{m^*} \right) \right\} = -\sigma^2 Z'(\sigma^*) \quad (16)$$

だけ削減される便益を意味する。インフラ資本の量的投資に関する基準化された潜在価格 $\mu(t)$ は、以上の効果を現在時点から無限の将来に亘って集計した値に決められる。その際、世界利子率とインフラ除却率の和として定義される一般化割引率が採用される。

潜在価格は終端時刻を境界条件とした微分方程式(12d)の解として与えられる。状態変数である資本ストックの最適経路は現在の状態を境界条件として決まるのに対して、随伴変数である潜在価格の最適経路は横断性条件によって与えられる終端時刻の状態を境界条件として後ろ向きに決定される。インフラ会計では過去から現在に至るインフラの新規整備、維持補修実績を用いた会計情報が記述される。インフラの潜在価格を計算するためには、将来に亘るインフラ投資シナリオが必要となり、過去から現在までに至るインフラ管理実績を記述する会計情報のみを用いて潜在価格を計算することはできない。その一方で、リスクがなく世界利子率が外生的に与えられた開放経済においては、式(15)に示すように、インフラの潜在価格は個人の効用関数や海外貸付の水準とは独立に決定されるため、インフラの潜在価格を算定する上で、将来の消費や金融資本のストック水準に関する情報は必要でない。現在時点で現在から将来にわたる

最適インフラ投資戦略に関する情報があれば、インフラの潜在価格を計算することができる。

4. 最適投資戦略とその特性

(1) インフラ生産性と投資戦略

各期における最適インフラ投資率 $\sigma(t) \equiv j(t)/m(t)$ を定義しよう。式(12b)より、最適インフラ投資率 $\sigma^*(t)$ は潜在価格 $\mu(t)$ のみの関数として

$$\sigma^*(t) \equiv \zeta(\mu(t)) \quad (17)$$

と与えられる。ただし、

$$\zeta(1) = 0, \zeta'(\mu) > 0 \quad (18a)$$

$$\frac{\partial \sigma^*}{\partial \mu} = \zeta'(\mu) = \frac{1}{2Z'(\sigma^*) + \sigma^* Z''(\sigma^*)} > 0 \quad (18b)$$

が成立する。条件(18a)より、 $\mu(t) = 1$ の時、 $\sigma^*(t) = 0$ となりインフラの新規整備は行われない。最適投資率 $\sigma^*(t)$ は潜在価格 $\mu(t)$ に関する強単調増加関数であり、 $\mu(t) > 1$ が成立する場合にはインフラの新規投資が必要となる。すなわち、インフラ投資ルール \mathcal{I} は

$$\mathcal{I} = \begin{cases} \mu(t) > 1 & \Rightarrow \text{新規整備が正当化される} \\ \mu(t) \leq 1 & \Rightarrow \text{新規整備は正当化されない} \end{cases} \quad (19)$$

と表せる。潜在価格 $\mu(t)$ は、動学的世界における資本投資基準を表すものであり、企業投資理論における「Tobinの限界 q (Tobin's marginal q)」¹⁷⁾¹⁸⁾に他ならない。特に、民間資本と比較して、インフラ資本ストックの経済的寿命（除却されるまでの期間）は極めて長い。このような経済的寿命の差異を考慮してインフラ資本の生産性を評価するためには潜在価格 $\mu(t)$ を用いる必要がある。インフラ蓄積過程における長期定常状態を

$$\dot{m}(t) = 0, \dot{\mu}(t) = 0 \quad (20)$$

により定義しよう。上式と式(5), (10c), (12d), (17)より、定常状態の投資水準 j^s 、投資率 σ^s 、インフラ資本のストック量 m^s 、潜在価格 μ^s は

$$j^s = \gamma m^s, \sigma^s = \gamma \quad (21a)$$

$$f_k(\tilde{k}^s, m^s) = r + \eta \quad (21b)$$

$$\mu^s = 1 + Z(\gamma) + \gamma Z'(\gamma) \quad (21c)$$

$$(r + \gamma)\mu^s = \frac{f_m(\tilde{k}^s, m^s)}{q} - (1 - \gamma) \frac{R(q)}{q} + \gamma^2 Z'(\gamma) \quad (21d)$$

と表せる。長期定常状態におけるインフラの潜在価格 μ^s は式(21c)により与えられる。すなわち、定常状態においてはインフラの新規整備 j^s はインフラの除却量 γm^s に一致する。定常状態においても、インフラ資本の除却が行われるため、定常状態におけるインフラの限界投資

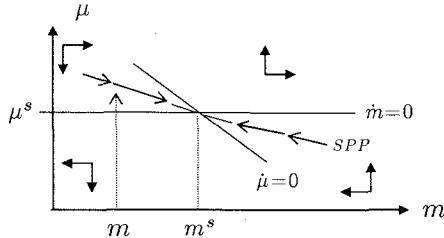


図-2 鞍点経路と定常状態

効率を表すTobinの限界 q は1にはならず、インフラの新規整備に伴う調整費用 $Z(\gamma)+\gamma Z'(\gamma)$ の分だけ1より大きい値を示す。また式(21d)を整理すると、定常状態におけるインフラ資本ストック m^s は

$$f_m(\tilde{k}^s, m^s) + q\gamma^2 Z'(\gamma) = (1 - \gamma)R(q) + q\mu^s \gamma + q\mu^s r \quad (22)$$

を満足する水準に決定される。左辺第1項はインフラの限界生産性を、第2項はインフラ投資による調整費用の減少効果を表す。一方、右辺第1項はインフラストック量の増加に伴う維持補修費用の増分を表す。右辺第2項はインフラストックが1単位増加することに伴って γ 単位のインフラを除却することによる損失を、インフラ投資の潜在価格で評価したものである。右辺第3項はインフラ投資費用と同額の資本を国際資本市場に投資した場合に得られる利子収入を、インフラ投資の潜在価格で評価したものである。すなわち第3項は金融資産として保有した場合の収入を犠牲にすることによる逸失便益（インフラ投資の機会費用）と解釈される。すなわち、上式(22)の左辺はインフラ資本の追加的投資に伴う限界便益を、右辺は限界費用を表している。上式は長期定常状態におけるインフラ投資の費用便益ルールを示している。そして潜在価格 μ^s に式(21c)を代入すると

$$\begin{aligned} f_m(\tilde{k}^s, m^s) + q\gamma^2 Z'(\gamma) \\ = (1 - \gamma)R(q) + q(\gamma + r)\{1 + Z(\gamma) + \gamma Z'(\gamma)\} \end{aligned} \quad (23)$$

を得る。長期定常状態においては、潜在価格 μ^s という情報を使いずに費用便益評価を行うことができる。

(2) 定常状態と動的管理過程

インフラ蓄積過程の長期定常状態の近傍における挙動を分析するために、式(10c), (12d)を (m^s, μ^s) の回りで準線形化すれば、移行動力学

$$\dot{m} = \zeta'(\mu^s)m^s(\mu - \mu^s) \quad (24a)$$

$$\dot{\mu} = -\frac{f_{mk}^s \tilde{k}_m^s + f_{mm}^s}{q}(m - m^s) + r(\mu - \mu^s) \quad (24b)$$

を得る。世界利子率が外生的に与えられる開放経済では、インフラ蓄積の動学過程を貯蓄や消費とは独立に分

析することができる。さらに、

$$f_{mk}^s \tilde{k}_m^s + f_{mm}^s < 0 \quad (25)$$

が成立するとき、インフラ蓄積過程に鞍点経路と定常状態が存在する（付録参照）。条件(25)の第1項は、インフラストックの増加が民間資本の限界生産性を増加させることによって、民間資本の追加的投入を招く効果を示す。言い換れば、インフラの増加が民間投資を誘発する間接的効果を意味している。一方、第2項はインフラの蓄積により、その直接的な限界生産性が遞減する効果を意味している。定常状態 (m^s, μ^s) の近傍において、第2項の負の効果が第1項の正の効果を上回ると、図-2に示すように (m, μ) 平面に鞍点経路SPP(Saddle Point Path)と定常状態が存在する。任意の時点におけるインフラ資本のストック量 m に応じて鞍点経路上の潜在価格 μ が決定される。例えば、ある時点におけるインフラ資本 m が m^s よりも小さい時、インフラの限界投資効率 μ は μ^s より大きくなる。式(21c)より $\mu^s > 1$ であり、 μ は1よりも大きい値をとる。最適投資ルール(19)に従ってインフラ投資を実施し、インフラ資本ストックを増加させることが必要となる。他のことが一定であれば（技術革新等が存在しなければ）、インフラ資本ストックの増加に伴ってインフラの限界投資効率 μ は鞍点経路に沿って次第に小さくなり、インフラ蓄積過程は長期定常状態 (m^s, μ^s) に収束する。

(3) 比較動学分析

インフラの質的水準 q の変化がインフラ蓄積過程の定常状態に及ぼす影響に関して比較動学分析を試みる。以下では、インフラ蓄積過程の安定条件(25)が成立すると仮定する。まず、インフラに要求される質的水準 q が増加した場合を考えよう。例えば、耐震基準等、インフラに対する要求性能が増加し、同じ生産性を有するインフラであっても、その取得価格が増加した場合などが相当する。式(21c),(22)より、定常状態の潜在価格 μ^s 、インフラの量 m^s と性能 q の関係について次式を得る。

$$\frac{d\mu^s}{dq} = 0 \quad (26a)$$

$$\frac{dm^s}{dq} = \frac{r(1+Z + \gamma Z') + \gamma(1+Z) + (1-\gamma)R'}{f_{mk}^s \tilde{k}_m^s + f_{mm}^s} < 0 \quad (26b)$$

インフラの限界投資効率 μ^s は質的水準 q の影響を受けず、インフラの新規率はインフラの質的水準に依存しない。一方、インフラの質的水準 q が大きくなれば、インフラ投資による便益よりも費用の方が大きくなる。 q の増加は、式(22)の左辺に示す便益よりも、右辺に示す費用の方をより増大させる。限界費用の増分を賄うためにインフラ投資はより大きな限界生産性 $f_m(\tilde{k}^s, m^s)$ が必要となる。その結果、インフラ資本に関する収穫通減の

仮定より、インフラストック量は減少せざるを得なくなる。インフラの質的水準が増加すれば、長期定常状態におけるインフラ資本ストック m^s は減少する。

ついで、インフラの長寿命化がインフラ蓄積過程の定常状態に及ぼす影響を分析する。長寿命化により、インフラの単位年度あたりの維持補修費が節約されると考える。すなわち、維持補修費が毎年等額発生するように会計処理する場合、 $q/R(q)$ はインフラが更新されるまでの耐用年数を表す。したがって、いま q を一定と仮定して、維持補修費 $R(q)$ が減少することは、耐用年数が増加することを意味する。インフラの長寿命化が長期定常解に及ぼす影響を分析するために、維持補修費用を

$$R(q) \equiv \rho R^\circ(q), \quad R^\circ(q) > 0 \quad (27)$$

と特定化しよう。インフラの長寿命化によりパラメータ ρ が減少すると考える。式(21c),(22)より

$$\frac{d\mu^s}{d\rho} = 0, \quad \frac{dm^s}{d\rho} = \frac{(1-\gamma)R^\circ(q)}{f_{mk}^s \tilde{k}_m^s + f_{mm}^s} < 0 \quad (28)$$

を得る。技術進歩による維持補修費用の減少により、定常状態におけるインフラ資本ストック量は増加する。なお、以上の結論は長寿命化に要する価格が不変であるという仮定の下に導出している。長寿命化のためにインフラの価格が増加する場合、長寿命化の効果(28)だけではなく、インフラ価格の増加の効果が同時に働くため、比較動力学の効果を一意的に評価できない。

最後に、インフラの除却スケジュールの変更の影響について考えよう。インフラの除却率 γ が長期定常解に及ぼす影響は以下のように評価できる。

$$\frac{d\mu^s}{d\gamma} = 2Z' + \gamma Z'' > 0 \quad (29a)$$

$$\frac{dm^s}{d\gamma} = \frac{q(1+Z+\gamma Z') + rq(2Z'+\gamma Z'') - R}{f_{mk}^s \tilde{k}_m^s + f_{mm}^s} \quad (29b)$$

すなわち、除却率が増加すれば定常状態におけるインフラの限界投資効率 μ^s は増加する。また、式(29b)より

$$\begin{aligned} \frac{R(q)}{q} &> (1+Z+\gamma Z') + r(2Z'+\gamma Z'') \\ &= \mu^s + \frac{r}{\frac{\partial \sigma^s(\mu^s)}{\partial \mu^s}} \Rightarrow \frac{dm^s}{d\gamma} > 0 \end{aligned} \quad (30)$$

が成立する。すなわち、インフラの単位ストック当たりの取得価額 q と維持補修費用 $R(q)$ の比 $R(q)/q$ が、割引パラメータ r, γ により規定される上式右辺の水準よりも大きいときには、除却率の増加は定常状態のインフラ資本ストックを増加させる。また、除却率の減少は定常状態のインフラ資本ストックを減少させる。このことは、維持補修費用が占める割合が大きいときに、インフラを長期間供用する（除却率を小さくする）ことはインフラ

管理費用の増加をもたらし、社会が持続的に保有できるインフラのストック量が減少することを意味している。すなわち、維持補修費用が大きいときには、インフラの除却スピードが早いほど（取替えのサイクルが速いほど），定常的なインフラ資本ストック量は増加する。

(4) 最適質的水準の決定

以上では、インフラの質的水準 q を与件として取り扱ってきた。質的水準が異なれば、インフラの単位ストック当たりの資産価額が異なる。限界生産性 f_m は標準的技術水準のインフラ資本価額に対して定義される。本研究では、インフラの質的水準が異なっても、物理単位で計測されるインフラの量的なストックに関する限界生産性は変化しないと仮定した。しかし、インフラの質的水準は家計の効用水準や維持補修費に影響を及ぼす。さらに、インフラの質的水準が異なれば、長期定常状態におけるインフラの量的水準も異なる。したがって、インフラの最適ストック量を議論するためには、インフラの最適質的水準を同時に議論することが必要となる。

効用関数にインフラの質的水準 q を明示的に含め、 $u(c(t), q)$ と表そう。質的水準は初期時点で決定され、一度決定されれば技術基準として時間を通じて一定に保たれると仮定しよう。また時刻 t における最適インフラ投資問題の最適値関数を $V(a(t), m(t), q)$ とする。

$$V(a(t), m(t), q) \equiv \int_t^\infty u(c^*, q) \exp\{-r(\tau-t)\} d\tau \quad (31)$$

時刻 0 における最適インフラ投資問題(10a)-(10d)の最適値関数は $V(a_0, m_0, q)$ により表される。一方、式(13)より、開放経済では最適経路上の消費水準 c^* は時間を通じて一定となる。よって c^* は長期定常状態における消費水準 c^s に等しい。すなわち

$$\begin{aligned} c^*(t) &= c^s = \bar{c} = ra^s + f(\tilde{k}^s, m^s) - (r + \eta)\tilde{k}^s \\ &\quad - (m^s - \gamma m^s)R - q\gamma m^s \{1 + Z(\gamma)\} \end{aligned} \quad (32)$$

したがって次式を得る。

$$V(a(t), m(t), q) = \frac{u(c^*, q)}{r} = \frac{u(c^s, q)}{r} \quad (33)$$

最適値関数 $V(a^s, m^s, q)$ を q に関して微分すれば、

$$\begin{aligned} \frac{dV(a(t), m(t), q)}{dq} &= \frac{u_c^s c_q^s + u_q}{r} \\ &= \frac{u_c^s}{r} \left[ra_q^s + f_m^s m_q^s \right. \\ &\quad \left. - (m_q^s - \gamma m_q^s)R' - \gamma m_q^s (1 + Z) \right. \\ &\quad \left. - (m_q^s - \gamma m_q^s)R - q\gamma m_q^s (1 + Z) + \frac{u_q}{u_c^s} \right] \end{aligned} \quad (34)$$

を得る。ただし、 u_c^s は c^s で評価した消費の限界効用である。式(26b)より $m_q^s < 0$ である。式(35)の2行目の第

1項はインフラの質的水準の限界的変化に伴うインフラ資本調達資金の利子支払いの限界的変化を表す。第2項はインフラ資本ストックの減少を通じたGDPの減少を表す負の効果である。第3項、第4項はそれぞれ質的水準の増加によって維持補修費用、新規投資費用が増加する負の効果を表す。一方、第5項、第6項は定常状態におけるインフラ資本ストックの減少によって維持補修費用、新規投資費用が減少する正の効果となる。第7項は質的水準の増加に対する家計の支払い意思額である。最適なインフラの質的水準 q^* は、内点解を仮定すると、

$$\frac{dV(a(t), m(t), q^*)}{dq} = 0 \quad (35)$$

により与えられる。式(35)より、 q^* は、

$$\begin{aligned} & \frac{u_q^*}{u_c^s} + ra_q^s - (m^s - \gamma m^s)R^{*'} - \gamma m^s(1+Z) \\ &= (m_q^s - \gamma m_q^s)R^* + q^* \gamma m_q^s(1+Z) - f_m^s m_q^s \end{aligned} \quad (36)$$

を満足する水準に決定される。各変数は q^* において評価されている。議論の見通しをよくするため、一度建設されたインフラは除却されないと仮定しよう。すなわち、 $\gamma = 0$ と仮定する。前述したように、インフラの更新投資は維持補修引当金 $R(q)$ に計上されており、インフラの更新による古いインフラの撤去は、ここでいう除却に含まれない。この時、最適化条件(36)は

$$\frac{u_q^*}{u_c^s} = -ra_q^s + m_q^s R^* - f_m^s m_q^s + m^s R^{*'} \quad (37)$$

と簡略化できる。ここで、 a^s は海外に蓄積された資本ストックであり、その水準は初期ストック a_0 の値に依存する。 $\gamma = 0$ が成立する時、最適インフラ資本ストック量を表す最適化条件(23)は、

$$f_m(\tilde{k}^s, m^s) = q^* r + R(q^*) \quad (38)$$

と表せる。すなわち、インフラの最適ストック量は、インフラの限界生産性がインフラ調達費用の利子支払いと維持補修費用の合計で表される一般化資本コストと一致する水準に決定される。式(38)を式(37)に代入すれば、

$$\frac{u_q^*}{u_c^s} = -r(a_q^s + q^* m_q^s) + m^s R^{*'} \quad (39)$$

を得る。左辺はインフラの質的水準に関する家計の支払い意思額である。右辺の $r(a_q^s + q^* m_q^s)$ は質的水準の増加に伴う利子の変化を表す。 $a_q^s + q^* m_q^s < 0$ のとき、第1項は利子支払いの増加を意味する。すなわち、インフラの最適質的水準は、サービス向上に対する支払い意思額が、質的水準の増加による利子の変化と維持補修費の限界的変化に一致する水準に決定される。

5. インフラ管理のためのインフラ会計情報

(1) インフラ会計情報

本研究ではsmall open経済の下における動学的インフラ投資モデルを定式化した。本モデルにおいて、インフラ資本ストックの資産価額は、1)ある基準となる質的水準 q を想定した再調達価額で評価され、2)インフラ資産の質的水準 q を半永久的に維持するために必要となる修繕費用 $R(q)$ が毎年費用として発生する、という会計原則に従って記述される。政府がインフラマネジメントを効果的に実施するためには、4.(1)で述べたように動学的マクロ経済モデルの枠組みにおいてインフラのshadow priceを評価する必要がある。そしてshadow price等と整合的な、最適インフラ投資戦略を実施するために必要な情報が政府が管理する経済会計上に記述されることが必要である。特に、インフラ投資戦略を経済会計情報に基づいて検討するためには、動学投資モデルの最適解がSNA体系として表される国民経済計算会計と整合的でなければならない。そこで、以下では動学モデルの最適化条件に関する情報がSNAとして整備される経済会計情報と整合的であるかどうかを分析する。

(2) ハミルトニアンと社会的厚生評価

現在期価値ハミルトニアン $H^p(t)$ を次式で定義する。

$$\begin{aligned} H^p(t) &= H(t) \exp(-rt) \\ &= u(c, q) \exp(-rt) + \lambda \exp(-rt) \dot{a} + q \mu \lambda \exp(-rt) \dot{m} \end{aligned} \quad (40)$$

最適経路上における現在期価値ハミルトニアン $H^{p*}(t)$ は制御変数、状態変数、随伴変数、時刻により

$$H^{p*}(t) = H^{p*}(c^*, j^*, a^*, m^*, \lambda^*, \mu^*, t) \quad (41)$$

と定義される。ここで $H^{p*}(t)$ を t に関して微分すれば、

$$\begin{aligned} \frac{dH^{p*}(t)}{dt} &= H_c^{p*} \dot{c}^* + H_j^{p*} \dot{j}^* + H_a^{p*} \dot{a}^* + H_m^{p*} \dot{m}^* \\ &\quad + H_\lambda^{p*} \dot{\lambda}^* + H_{\mu}^{p*} \dot{\mu}^* + H_t^{p*} \end{aligned} \quad (42)$$

を得る。ただし、 H^{p*} の下の添え字は、現在期価値ハミルトニアンの最適経路上における当該変数による偏微分を意味する。さらに、1階の最適化条件(12a)-(12f)を考慮すれば次式を得る。

$$\frac{dH^{p*}(t)}{dt} = -ru(c^*, q) \exp(-rt) \quad (43)$$

上式の両辺に $\exp(rt)$ を乗じ、初期条件(12f)の下で時間 t に関して積分すれば、当該期価値ハミルトニアン

$$\begin{aligned} H^*(t) &= r \int_t^\infty u(c^*(\tau)) \exp\{-r(\tau-t)\} d\tau \\ &= r V(a(t), m(t)) \end{aligned} \quad (44)$$

を得る。ただし、 $H^*(t) = H^{p*}(t) \exp(rt)$ である。また効用関数、最適値関数において q の表記は省略する。最

適値関数 $V(a(t), m(t))$ は状態評価関数とも呼ばれ、対象とする経済の状態変数の価値を表す。すなわち、 t 期に存在する海外貸付の水準とインフラ資本ストックの状態 $(a(t), m(t))$ から、無限の将来にわたってインフラ投資を最適に管理することによって得られる生涯効用の現在価値の最大値を意味する。したがって、最適値関数 $V(a(t), m(t))$ は、社会が保有する金融資本とインフラ資本の組み合わせ $(a(t), m(t))$ の資本価値を適切に表現した会計情報になっていることが理論的に保証される。式(44)は、ある時点におけるフローの価値を表す当該期価値ハミルトニアン $H^*(t)$ を用いて、現有の資本ストックを用いて達成可能な経済価値を評価できることを示している。式(44)の会計的意義を明確にするために同式を開闢する。すなわち、

$$u(c^*) + \lambda^* \dot{a}^* + q\mu^* \lambda^* \dot{m}^* = r \int_t^\infty u(c^*(\tau)) \exp\{-r(\tau - t)\} d\tau \quad (45)$$

を得る。式(45)に示すように、左辺に現れる当該期の消費、経常収支、インフラ投資に関するフロー情報を用いて、右辺に示す将来にわたる効用の割引現在価値を評価できる。社会的厚生評価の分野では、経済会計情報としてフローの情報としてのNDPを用いるべきか、あるいはストックの情報である将来効用の割引現在価値を用いるべきかを巡って論争が重ねられた。Weitzman (1976) は式(44)を導出することにより、フローとストックによる社会的厚生評価指標が、実は同じ会計情報を異なった方法で表現しているに過ぎないことを明らかにし、経済会計情報に関する論争に終止符を打った⁶⁾。フローとストックに関する会計情報に関する関係式は、その後、Hartwick(1990), Mäler(1991), Aronsson *et al.*(1997) 等により理論的影琢が重ねられた。最適インフラ投資問題においても同様の社会的厚生水準に関する基本会計式(44)が成立する。

インフラ会計では、過去から将来にわたって発生する維持補修費用がインフラの維持補修引当金繰入額、あるいは減価償却額として期間内配分され、各会計年度における会計情報として記載される。すなわち、時間軸上で変動があるキャッシュフローを供用期間で均等に配分し、1期分のフローのタームで評価する。また、発生した費用を実現した収益と対応させて配分するという費用収益対応の原則が存在する。最適値関数 $V(a(t), m(t))$ は金融・インフラ資本で構成される資本ストックが t 期以降の各期で発生する価値の割引現在価値を表しており、最適値関数 $V(a(t), m(t))$ に割引率を乗じた $rV(a(t), m(t))$ は資本ストックの1期あたりの平均的価値に相当する。 $rV(a(t), m(t)) \equiv \bar{\omega} = \text{const.}$ の大きさの一定の社会厚生のフローが時間軸に沿って発生すると考えれば、将来に生じる社会的厚生のフローの割引現

在価値を t 期の当該期価値として評価した結果が最適値関数値と一致する。すなわち、

$$\int_t^\infty \bar{\omega} \exp\{-r(\tau - t)\} d\tau = \frac{\bar{\omega}}{r} = V(a(t), m(t)) \quad (46)$$

が成立する。したがって、毎期に計上される平均的価値 $\bar{\omega}$ が最適値関数 $V(a(t), m(t))$ の代替指標となりえる。ここで、式(44)に着目しよう。最適経路上の当該期価値ハミルトニアン $H^*(t)$ は資本 $(a(t), m(t))$ がもたらす資本価値 $V(a(t), m(t))$ に対する利子配当に相当する。

(3) 社会的厚生指標の性質

式(33),(44)より、

$$H^*(t) = rV(a(t), m(t)) = u(c^*) \quad (47)$$

が成立する。当該期価値ハミルトニアンは当該期の効用水準と等価になり、時間を通じて一定となる。この関係はインフラ蓄積過程が定常状態に到達する以前の段階においても成立する。また、式(45),(47)より

$$\lambda^* \dot{a}^* + q\mu^* \lambda^* \dot{m}^* = 0 \quad (48)$$

が成立する。したがって、以下の関係が成り立つ。

$$q\mu^* \dot{m}^* = -\dot{a}^* \quad (49)$$

式(49)は当該期のインフラ資本の総価値の増加が経常赤字に一致することを意味する。すなわち、インフラ投資は海外市場から資金を調達することにより実施されるため、インフラの資産価額の増加は海外で貯蓄している金銭的資本の減少を招くことになる。また、式(49)は最適経路上では経常収支とインフラ投資の比 $\dot{a}^*/q\dot{m}^*$ が、基準化されたインフラ投資の潜在価格 μ^* に一致していることを表している。

また、Hartwick(1990)に従って、効用関数を c に関して線形近似し、限界効用を用いて最適経路上の当該期価値ハミルトニアンを金銭単位で表現する。ただし、質的水準 q はパラメータと考える。すなわち

$$u(c^*) \approx u_c^* c^* = \lambda^* c^* \quad (50)$$

と近似し、式(47),(10b)を用いれば、

$$NDP = \frac{H^*(t)}{u_c^*} = c^* = f(\tilde{k}^*, m^*) - \dot{a}^* + r\dot{a}^* - (r + \eta)\tilde{k}^* - (m^* - \gamma m^*)R(q) - qj^* \left\{ 1 + Z \left(\frac{j^*}{m^*} \right) \right\} \quad (51)$$

を導ける¹⁹⁾。2行目の右辺の第1項は現有の民間資本、インフラ資本ストックがもたらす生産物であり、当該期のGDPに相当する。第2項は経常赤字、第3項は海外貸

付からの利子収入を表す。第4項は民間資本の利払いと減価償却費を表す。最終項はインフラの維持補修費用、および新規整備費用を表す。上式に示すように、NDPを計算する際には、GDPから資本収支、インフラの維持補修費用や新規投資費用を控除する必要がある。すなわち、インフラの最適投資戦略と整合的なNDP指標を算定するためには、通常の経済会計情報である国内生産物 $f(\tilde{k}^*, m^*)$ 、経常赤字 \dot{a}^* 、海外からの資本収入 ra^* 、民間部門の利払いと減価償却費 $(r + \eta)\tilde{k}^*$ の他に、インフラ資本ストック m^* 、インフラの定常的な維持修繕費用 $R(q)$ 、および新規投資費用 $qj^*\{1 + Z(j^*/m^*)\}$ に関するインフラ会計情報が必要となる。

(4) インフラ会計情報の作成上の課題

残念ながら、現行のインフラ資産ストック情報は、経済会計情報(51)を求めるために十分な情報を有していない。まず、インフラ資産ストック m^* に関しては、1) 質的水準 q の異なるインフラの取得原価を加算したものであり、インフラの質的水準に関する政策分析ができるない、2) 過去に撤去されたインフラ資本ストックが会計上除却されていない、という問題を有している。1)の問題に対しては、インフラの力学的条件だけでなく、国民の支払い意思額を通じた評価(39)も考慮し、インフラのあるべき質的水準を決定することが必要である。2)に関しては、現存するインフラ資産の再調達価額を用いた資産評価を実施することが必要である。また、除却の会計処理の問題ではインフラ資産台帳の整備と資産価額評価とその更新システムを整備することが必要となる。つぎに、定常的維持補修費用 $R(q)$ に関する情報は現時点で利用可能でない。この値を算定するためには、現存するインフラ資産の最適アセットマネジメント戦略を検討し、インフラ資本の質的水準を維持するために必要な修繕費用を算定することが必要となる。最後に、新規投資費用に関しては情報が存在するものの、その中に新規投資に付随して発生する調整費用 $Z(j^*/m^*)$ に関する情報が含まれていないという問題がある。

なお、インフラの最適ストックに関わる意思決定を行うためには、インフラ投資の潜在価格である $\mu(t)$ を求める必要がある。インフラ投資の潜在価格に関する研究成果は蓄積に乏しく、調整費用関数 $Z(j/m)$ の推計事例も極めて乏しいのが現状である。これまで、インフラの資本ストックに関する議論はインフラの生産性²⁰⁾を用いて議論されることが多かった。しかし、この方法ではインフラが極めて長期に供用される資本であるという特性を考慮することができない。今後、インフラ投資の潜在価格に関する研究の蓄積が不可欠である。また、本研究ではインフラの除却率 γ を一定としていた。インフラの除却はインフラの転用や機能更新と対応して実施される。

インフラの最適な除却スケジュールに関する研究は、今後に残された大きな研究課題である。また、現実には多様な種類のインフラが存在する。よって、GDPを算出する集計的な生産関数の同定が重要な問題となる。複数インフラで定義される生産関数を得られれば、各インフラ資産について最適質的水準の決定条件等の本研究の分析結果を適用することができる。

6. おわりに

本研究ではインフラの量的ストックと質的水準を同時に取り扱った最適インフラ投資モデルを定式化した。インフラの最適投資モデルに関しては膨大な蓄積があるものの、インフラの新規整備・除却、維持補修の差異を考慮した最適インフラ投資戦略に関してはほとんど研究が進展していないのが実情である。本研究では、インフラの新規整備戦略や最適な質的水準を議論するための分析枠組みを提案するとともに、時間を通じたインフラの投資戦略に関する情報をインフラ会計情報として整備するための課題について考察した。インフラ会計情報の目的は、インフラの効率的なアセットマネジメントを支援する管理会計情報を管理するとともに、政府が実施するインフラ管理の有効性と妥当性を財務会計情報として公開することにより、国民に対する説明責任を果たす役割を担うことにある。本研究で提案したインフラ会計情報を作成するにあたり残された研究課題は5.(4)でとりまとめた通りである。さらに、本論文に直接関係する研究課題として以下の事項があげられる。第1に、インフラの限界投資効率を経験的に推計するための方法論を開発する必要がある。インフラと民間資本の明らかな相違点は、耐用年数の違いにある。従来より、インフラの生産性を議論した研究²⁰⁾が蓄積されているが、インフラと民間資本の耐用年数の違いを明示的に考慮してインフラの生産性を測定した事例は多くない。インフラの限界投資効率を測定するためには、将来におけるインフラ整備シナリオを考慮する必要がある。このような本来後ろ向きに推計すべき限界効率性の推計方法に関する方法論の開発が不可欠である。第2に、インフラの質的水準を評価するための効用関数を推計する必要がある。そのためにはインフラの質的水準に対する家計の支払い意思額に関する経験的な分析情報を蓄積していくことが重要である。さらに、納税者の立場からインフラ資本ストックとアウトカム指標をバランスシートとして記述するような納税者会計^{4),11)}に関する研究が必要となろう。第3に、本研究のマクロ動学モデルは実物経済を記述したものであり、ファイナンスの過程におけるインフレ等の問題を考慮することはできない。貨幣を導入した経済モデルへの拡張が今後の課題である。第4に、本モデルでは1国

レベルの社会計画者によるfirst bestの問題を扱つていけるため、予算制約はNPG条件のみとなっている。市場分権問題を定式化する場合には、税や政府の財政的制約条件が必要となり、財政的制約が拘束的となる場合にはfirst best解は達成されないことになる。また財政的制約によってインフラの段階的投资が促進されるという構造が生まれることになる。政府の財政的制約条件を考慮した最適なインフラ管理モデルの分析が必要である。

A. 付録. 鞍点経路の存在条件

$(m(t), \mu(t))$ に関する動学過程を定常状態 (m^s, μ^s) の近傍で準線形化することにより次式を得る。

$$\begin{bmatrix} \dot{m} \\ \dot{\mu} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \zeta'(\mu^s)m^s \\ \Xi(m^s, \mu^s) & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m - m^s \\ \mu - \mu^s \end{bmatrix}$$

ただし $\Xi(m^s, \mu^s) = -(f_{mk}^s \tilde{k}_m^s + f_{mm}^s)/q$ である。上の連立微分方程式の固有値 κ_1, κ_2 を求めると、

$$\kappa_1, \kappa_2 = \frac{1}{2} \left\{ r \pm \sqrt{r^2 + 4m \zeta'(\mu^s) \Xi(m^s, \mu^s)} \right\}$$

$\zeta' > 0$ に留意すると、 $\Xi(m^s, \mu^s) > 0$ のときに2つの固有値は $\kappa_1 > 0, \kappa_2 < 0$ になる。従って $f_{mk}^s \tilde{k}_m^s + f_{mm}^s < 0$ であることが、 (m, μ) 空間に (m^s, μ^s) に収束する鞍点経路が存在することの必要十分条件となることがわかる。

参考文献

- 1) 酒井聰：会計学講義、第2版、東京大学出版会、2001.
- 2) 山本清：政府会計の改革、中央経済社、2001.
- 3) 日本公認会計士協会：公会計原則（試案）、2002.
- 4) 吉田寛：公会計の理論、東洋経済新報社、2003.
- 5) 武野秀樹、金丸哲：国民経済計算とその拡張、勁草書房、1997.

- 6) Weitzman, M.L.: On the welfare significance of national product in a dynamic economy, *Quarterly Journal of Economics*, 1976.
- 7) Aronsson, T., P.-O. Johansson, and K.-G. Löfgren: *Welfare Measurement, Sustainability and Green National Accounting*, Edward Elgar, 1997.
- 8) Hartwick, J.: National resources, national accounting and economic depreciation, *Journal of Public Economics*, Vol.43, pp.291-304, 1990.
- 9) Mäler, K.G.: National accounts and environmental resources, *Environmental and Resource Economics*, Vol.1, pp.1-15, 1991.
- 10) 大蔵省企業会計審議会：企業会計と会計諸法令との調整に関する連続意見書、第三、有形固定資産の減価償却について、1960.
- 11) 江尻良、西口志浩、小林潔司：インフラストラクチャ会計：課題と展望、土木学会論文集、投稿中。
- 12) 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.
- 13) Johansen, L.: Substitution versus Fixed Production Coefficient in the Theory of Economic Growth: A Synthesis, *Econometrica*, Vol.27(2), pp.157-217, 1959.
- 14) Virmani, A.: A Dynamic Model of the Firm, *Journal of Political Economy*, Vol.84, pp.603-613, 1976.
- 15) Blanchard, O.-J. and Fischer, S.: *Lectures on Macroeconomics*, The MIT Press, 1989, 高田聖治訳：マクロ経済学講義、多賀出版、1999.
- 16) Hayashi, F.: Tobin's marginal q and avarage q; A neoclassical interpretation, *Econometrica*, Vol.50, pp.213-224, 1982.
- 17) 朱保華：投資関数の理論、九州大学出版会、1995.
- 18) 浅田純一郎：成長と循環のマクロ動学、日本経済評論社、1997.
- 19) 塩田尚樹：環境汚染の最適制御、勁草書房、2001.
- 20) 江尻良、奥村誠、小林潔司：インフラ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.

インフラストラクチャ管理のための経済会計情報*

インフラストラクチャ（以下、インフラと略す）を効率的に管理するためには、時間軸に沿ってインフラの新設・除却、維持補修を適切に実施していく必要がある。そのためにはインフラの経済価値とその変動を記述する経済会計（インフラ会計）の整備が不可欠である。本研究では伝統的なラムゼイ型開放経済成長モデルの枠組みを拡張し、インフラの質的・量的な管理施策を分析するための動学的インフラ投資モデルを定式化する。その上で、国民経済の最適成長経路上で定義されたインフラの経済価値を体系的に記述するための経済会計について考察し、インフラ管理のための経済会計の基本的な枠組みを提案する。

Economic Accounting Information for Infrastructure Management*

By Muneta YOKOMATSU**, Ryo EJIRI*** and Kiyoshi KOBAYASHI****

In order to efficiently manage infrastructure stocks in a society, it is requested for the management bodies to investigate the optimal management policies for the investment of new stocks, the demolition of outdated ones, the repair of deteriorated ones. The economic accounting systems to describe the economic values of infrastructure and its variation through time is requested to be established for efficient infrastructure management. In this paper, a dynamic infrastructure investment model, which is an extension of the traditional Ramsey model for an open economy, is formulated to analyze the optimal management policies of the infrastructure stocks. The economic accounting indicators are present to describe the values of infrastructure and its variation. The paper also includes the foundamental framework of economic accounting for the efficient infrastructure management.

横松宗太**、江尻良***、小林潔司****