

# アセットマネジメントにおけるインフラの価値と評価に関する研究

竹末 直樹



# 目次

## 第1章 序論

1.1 はじめに	1
1.2 インフラ資産の財務価値と非財務価値	2
1.3 インフラの資産価値評価のあり方	3
1.4 本論文の構成	4

## 第2章 インフラのアセットマネジメントと資産価値の考え方

2.1 はじめに	7
2.2 インフラアセットマネジメントの取り組み	7
2.3 アセットマネジメントの国際規格への対応	12
2.4 インフラの資産価値の視点と考え方	16
2.5 おわりに	23

## 第3章 アセットマネジメントにおけるインフラの資産価値評価

3.1 はじめに	25
3.2 インフラ資産価値の考え方と評価の課題	27
3.3 アウトカムベースのアセットマネジメント事例	34
3.4 統合型資産価値評価とアセットマネジメント	41
3.5 おわりに	50

## 第4章 下水処理施設の包括的民間委託における費用効率性評価

4.1 はじめに	55
4.2 本章の基本的な考え方	56
4.3 確率的費用フロンティア分析	59
4.4 包括的民間委託導入効果の評価方法	64
4.5 包括的民間委託導入効果	66
4.6 おわりに	78

## 第5章 PPP/PFI手法におけるアセットマネジメントのためのインセンティブ評価

5.1 はじめに	83
5.2 本章の基本的な考え方	84
5.3 PPP/PFI手法と資産価値評価	88
5.4 アセットマネジメントの観点からみた考察	93
5.5 おわりに	98

## 第6章 コンセッション方式によるインフラ資産の最適アセットマネジメント政策

6.1 はじめに	101
6.2 本章の基本的な考え方	102
6.3 コンセッションモデルの定式化	104
6.4 インフラ資産評価と解法	112
6.5 適用事例	115
6.6 おわりに	120

## 第7章 結言

7.1 本論文の成果	122
7.2 各章のまとめ	122
7.3 今後の課題	124

謝 辞	126
-----	-----

# 第1章 序論

## 1.1 はじめに

高度成長期に急ピッチでつくられた道路、河川、港湾等のわが国のインフラストラクチャー（以下、インフラ）は、2000年代に入って急速に老朽化が進み、限られた予算の範囲で、計画的かつ効率的に維持更新を行うことが求められている。また、インフラは国の社会経済活動を支える基盤であり、国民の共有財産でもある<sup>1)</sup>ことから、インフラを適切に維持管理し、次世代に良好な状態で引き継いでいくことが現世代の責務でもある。

これらの課題に対応するため、国は金融や不動産の分野で「資産管理」の意味で用いられる「アセットマネジメント」という用語をインフラの維持管理に適用し<sup>2)</sup>、2000年頃から多くの施策を実施してきた。特に2012年に発生した中央自動車道笹子トンネルの天井板崩落事故を受け、国はインフラに関する施策を整備から管理に大きく舵を切り、点検に関する法制度の改正や維持管理にかかる新技術の活用などを積極的に進めてきた<sup>3)4)5)</sup>。2014年1月に発行したアセットマネジメントの国際規格（ISO55000シリーズ）においても、下水道分野での適用を念頭に置いたガイドライン<sup>6)</sup>を作成するなど、国がその導入を積極的に後押しした。さらに、2017年に設立された（一社）日本アセットマネジメント協会を中心としたその後の産官学協働の取り組みによって、国際規格の要求事項（ISO55001：アセットマネジメントのためのマネジメントシステム）の認証を取得した国内組織は60を超えるなど、わが国はインフラ分野において、国際規格に準拠したアセットマネジメントを実施する世界有数の国の1つとなりつつある。

一方で、インフラの管理・運営に対する民間組織の参画も進んでいる。1980年代に英国で開始されたインフラ分野へのPPP/PFI手法の導入は、1990年代になってわが国にも輸入され、建物系の公共施設の管理・運営を民間事業者が実施する事例も増加してきた。インフラの管理・運営に民間事業者が参画するためには、官民もしくは民民の間で何らかの「取引」が成立することが必要となり、そのためには、インフラの価値を適切に評価することが必要となる。しかしながら、インフラは市場で売買されるものではないため、その価値を価格で計測することは難しい。「国民の共有財産」として様々な機能や役割を持つインフラの価値を適切に評価するためには、金銭で計測できる価値（財務価値）だけでなく、金銭で計測できない価値（非財務価値）も含めて評価することが必要である。

以上を問題認識として、本論文では、国際規格（ISO55000シリーズ）におけるアセットマネジメントの定義（アセットからの価値を実現する組織の調整された活動）を踏まえ、インフラをアセット（資産）と捉えたときのインフラの価値の評価のあり方と方法について、財務と非財務の両方の側面から検討を行い、その実践上の課題を考察する。

本論文には、アセットマネジメントに関する既往の研究には見られない以下のような新規性があると考えている。

- ✓ アセットマネジメントの国際規格（ISO55000 シリーズ）の定義に基づき、インフラの資産価値評価のあり方と方法論を総合的に検討した。
- ✓ 多様な機能や役割を持つインフラの資産価値を非財務価値と財務価値に区分して、各々について、評価の枠組みや方法の検討、モデルの構築に取り組んだ。
- ✓ 非財務価値の評価では、アウトカム～アウトプット～インプットの連携にロジックモデルを適用し、「アセットからの価値」と「アセットの価値」の両方を包含する統合型資産価値評価の枠組みを提案した。
- ✓ 財務価値の評価では、様々なインフラの管理・運営手法が生み出す金銭的価値を「アセットからの価値」として、その価値を評価する方法・モデルを構築し、具体例に基づく検証・分析を行った。

## 1.2 インフラ資産の財務価値と非財務価値

インフラは、その防災機能が社会にもたらす安全や安心、国際競争力や経済成長などへの貢献など、社会全体に対して極めて大きな価値を有している。例えば「道路」には、「交通機能」「空間機能」「防災機能」といった道路の様々な機能がもたらす「価値」が存在する。これは「利用価値」とも呼ばれ、「道路」の利用者が自らの目的を達成するために「道路」を利用した結果として「道路」から得る「非財務価値」である。この「非財務価値」は利用者に共通した普遍的なものではないため、金銭などの単一の指標で表すことは難しい。

また、インフラの「非財務価値」が意味する範囲の広さは、被災や損傷によってその機能が失われるか制限される場合に社会に広く波及する多岐の影響を考慮しても明らかである。すなわち、インフラの資産価値を傷み具合などの物理的な状態のみに依存して評価するような方法では、インフラの存在やその状態が社会に及ぼす経済効果などの正の影響、あるいは被災による社会への負の影響を考慮して、維持管理戦略の最適化やその目標に対する投資の最適化などを実現することは難しい。

近年の ESG への関心の高まりや、統合報告書の発行企業数の増加に見るように、企業に対する非財務情報の開示を求める動きが強まっている。統合報告書とは、企業の売上や資産など法的に開示が定められた財務情報に加え、企業統治、社会的責任、知的財産などの非財務情報をまとめた報告書<sup>7)</sup>で、IIRC（International Integrated Reporting Council：国際統合報告評議会）の国際統合報告フレームワーク<sup>8)</sup>が定めた 6 つの資本（財務資本、製造資本、知的資本、人的資本、社会・関係資本、自然資本）をアウトカムベースで評価す

ることが求められている。2010年7月に英国で創立された IIRC は、企業の財務情報に加え、環境保全や地域貢献などの非財務情報を含めた情報公開を促進する国際統合報告フレームワークの開発と普及を行ってきた。フレームワークに基づいて作成される企業の統合報告書は、企業の将来に向けた価値創造を報告し、ステークホルダーとの対話を促すツールとなっている。世界では、70カ国で2,500社以上が統合報告書を発行し、日本の統合報告書発行企業は、上場企業を中心に579社あると報告されている<sup>9)</sup>。

筆者が2022年2月に行った英国の大手エンジニアリング会社へのヒアリングによると、英国ではこれをインフラ分野に適用する動きもあり、例えば、英国水道部門の独立系規制機関（Ofwat : Office of the Water Services Regulation Authority）が Scottish Water や Anglian Water などの水道施設管理組織への適用を検討しており、この動きは今後、道路部門にも展開される見込みであるとのことであった。インフラの資産価値を財務と非財務の双方から評価する必要性が海外でも高まっていることがわかる。

### 1.3 インフラの資産価値評価のあり方

インフラの整備・管理・運営の民営化を1980年代から行ってきた英国では、2000年代に入ると、電力、ガス、水道、鉄道、幹線道路などの管理・運営を包括的に民間企業に委ねる方式が導入され、それと同時に民間企業の業務を独立系第三者機関がモニタリングする仕組みが導入された。例えば、電力では National Grid、ガスでは British Gas、鉄道では Network Rail、水道では Scottish Water などの民間組織が各々のインフラの管理・運営を行うことになり、そのモニタリングを行う独立系第三者機関として、Ofgem（The Office of Gas and Electricity Markets）、ORR（The Office of Rail and Roads）、Ofwat（The Water Services Regulation Authority）が各々について設立された。またその際には、民間組織が適切にアセットマネジメントを実施しているかをチェックするための文書として、英国のアセットマネジメントの国内規格（PAS55 : Publicly Available Specification 55）が用いられた。PAS55は現在のアセットマネジメントの国際規格（ISO55000シリーズ）の源流となっている。

これらの独立系第三者機関は、民間組織の実施するアセットマネジメントが適切であるか否かを評価する際、国際規格の定義に従い、対象組織が「アセットからの価値を実現できているか、そのために組織は調整された活動を行っているか」をモニタリングする。すなわち、民間組織はアセットマネジメントの実施によって、アセットからの価値を実現しているかどうかを対外的に示すことが必要になる。当然のことながら、ここでは、アセットからの価値をどのように評価しているかの説明が求められる。また、ここで評価される価値は、市場で評価される財務的な価値のみならず、インフラが果たす社会的な機能や役

割に基づく非財務的な価値も含まれることに留意する必要がある。

わが国でも導入が進む PPP/PFI の各手法をアセットマネジメントの観点から捉えると、各々の良否はアセットマネジメントの実施を通じて「アセットからの価値」を実現しているかで決定され、そこでは財務と非財務の両方の価値の実現が求められる。しかしながら、PPP/PFI の事業者にとっては、対象事業のビジネスとしての成否が最大のポイントであるため、事業の財務的な価値の実現に焦点が当てられることは否めない。

このように、多様な役割と機能を持つインフラの資産価値を評価するには、評価の目的や評価する主体によって評価の対象や方法は様々であり、財務価値と非財務価値の両方を評価するのか、その一方に焦点を当てて評価するのかなどを事前に十分吟味することが必要である。また、財務価値の評価は定量的に行えるのに対し、非財務価値の評価は定性的に行わざるを得ない場合も多く、評価の基準や方法については関係者間の事前の合意形成が不可欠である。

## 1.4 本論文の構成

以上を踏まえ、本論文は、図 1-1 に示すとおり構成している。

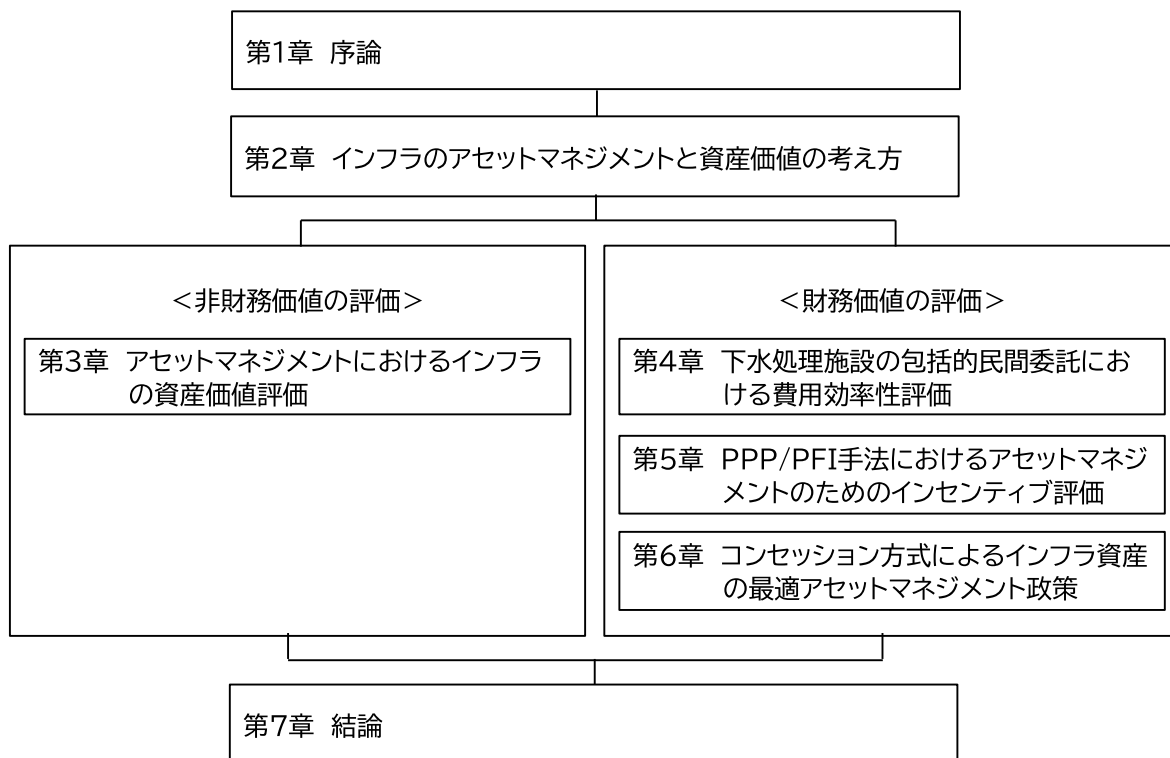


図 1-1 本論文の構成



第2章では、わが国のインフラのアセットマネジメントにおける政策や取り組みを振り返りつつ、インフラの資産価値の評価の考え方や方法について、既往の研究や取り組みから考察する。また、アセットマネジメントの国際規格（ISO55000シリーズ）におけるアセットマネジメントの定義を踏まえ、インフラの資産価値はその多様な機能と役割から、財務と非財務の両面を評価することが必要であること、評価の際には、その目的や観点から捉えるべき対象が異なり、その評価方法も異なることを明らかにする。

第3章では、アセットマネジメントの国際規格（ISO 55000シリーズ）の定義に従い、インフラのアセットマネジメントでは、インフラの資産価値を維持更新費用の縮減等の財務価値に留まらず、インフラの役割や性能を反映した非財務価値を可能な限り増大させることが必要であることを指摘する。またその上で、国際規格の定義に基づくと、アセットマネジメントにおける資産価値は「アセットからの価値」と「アセットの価値」という異なる意味を包括する複合的概念であることを指摘し、ロジックモデルを用いて資産価値の増大を目指すアセットマネジメントのメカニズムを体系的にモデル化する。あわせて、内外のアセットマネジメントの事例における問題点を指摘し、非財務価値を含めたアセットマネジメントにおけるインフラの資産価値評価の実践上の課題について考察する。

第4章から第6章では、財務価値に焦点を当てて、アセットマネジメントにおけるインフラの資産価値評価の手法をモデル化し、試算結果をもとに課題と方向性を考察する。

第4章では、下水処理施設のアセットマネジメントにおいて、包括的民間委託による維持管理費用の低減や管理の効率化の成果がアセットから得られる財務価値であるとして、費用効率性に基づく下水処理施設の包括的民間委託導入効果を定量的に評価する。具体的には、確率的費用フロンティアモデルを用いて推定した費用効率性パラメータの分布をノンパラメトリック検定により比較することにより、包括的民間委託導入効果を定量化する。さらに全国の下水処理施設の維持管理費用や処理水量で構成されるデータベースに適用し、実際の包括的民間委託の導入効果を試算する。

第5章では、厳しい財政制約下でのインフラの老朽化対策として、アセットマネジメントの実施と PPP/PFI 手法の導入が並行して進められているわが国において、これまで官民のリスク分担や契約手続き、プロジェクトファイナンスの仕組みなど、プロジェクトマネジメントの視点からの研究が多かった PPP/PFI 手法について、資産価値を向上するというアセットマネジメントの観点から各手法の適否を考察する。また、将来フリーキャッシュフローから導出されるインフラの財務的な資産価値の評価式をもとに、民間事業者がアセットマネジメントを実施するためのインセンティブの有無、インセンティブを持たせるための方策について考察する。

第6章では、コンセッション方式（＝コンセッションネアとなる民間事業者が公共主体からインフラ資産の運営権を購入し、契約に基づく一定期間、インフラ資産の管理・運営を行った後、期間終了時に運営権を売却して当該事業を終了する方式）を対象に、事業期

間中にコンセッショネアが得るフリーキャッシュフローの割引現在価値の総和と事業終了時に売却する運営権価格の割引現在価値の和をアセットから得られる財務価値として、その価値を最大にする最適アセットマネジメント政策を求めるためのコンセッショネアモデルを定式化する。さらに、橋梁事業を対象に予防保全政策が最適アセットマネジメント政策となることを例示するとともに、コンセッション期間終了時のインフラ資産の残存価値を時価評価モデルにより算出する。

第7章は、本論文のまとめである。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人土木学会：アセットマネジメント導入への挑戦，技報堂出版，2005.
- 2) 国土交通省道路局：平成14年度道路関係予算概要，2002.
- 3) 国土交通省：道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて，社会資本整備審議会 道路分科会 道路メンテナンス技術小委員会，2013.
- 4) 国土交通省：トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書，トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会，2013.
- 5) 国土交通省：社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置，2013.
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水道分野におけるISO55001適用ユーザーズガイド（案），下水道分野におけるISO55001適用ユーザーズガイド検討委員会，2015.
- 7) 野村證券株式会社：証券用語解説集
- 8) IIRC（International Integrated Reporting Council）：国際統合フレームワーク日本語訳，2014.3.
- 9) 三代まり子：〔改訂版〕国際統合報告フレームワークと企業価値評価におけるポイント，月刊資本市場，2021.8.（No.432）

## 第2章 インフラのアセットマネジメントと資産価値の考え方

### 2.1 はじめに

わが国では、道路、河川、港湾等のインフラストラクチャー（以下、インフラ）の老朽化が進む中、限られた予算の中でインフラを計画的かつ効率的に維持管理し、その機能を維持向上していく取り組みに「アセットマネジメント」という概念が導入されるようになった。

「アセットマネジメント」は金融・不動産業界で用いられる用語であり、一般的には「資産（アセット）を適切に管理・運用して、その価値を高める活動」と定義される。この考え方を、道路、河川、港湾等のインフラストラクチャー（以下、インフラ）に適用すると、その意味は「インフラをアセット（資産）と捉え、それを適切に管理して、その価値を高める活動」と解釈できる。アセットマネジメントの国際規格（ISO55000 シリーズ）は、アセットマネジメントを「アセットからの価値を実現するための組織の調整された活動」と定義しており、国際規格に準拠してインフラのアセットマネジメントを実施するためには、インフラのアセットとしての価値を正しく捉え、それを継続的に維持・向上していく活動が必要となる。

インフラの資産価値については、その多くが市場で取引されないことから、その価値を価額で評価することはできない。また一般の市場では、財やサービスの価額は需要と供給の関係から決定されるが、インフラは需要に応じて弾力的に供給を行うことが難しく、また需要が少ないからといって供給を減らすことも簡単にはできない。インフラの資産価値を適切に評価するためには、このようなインフラの特質を理解するとともに、インフラが果たす社会的な役割や機能を理解した上で、適切な評価方法を採用しなければならない。

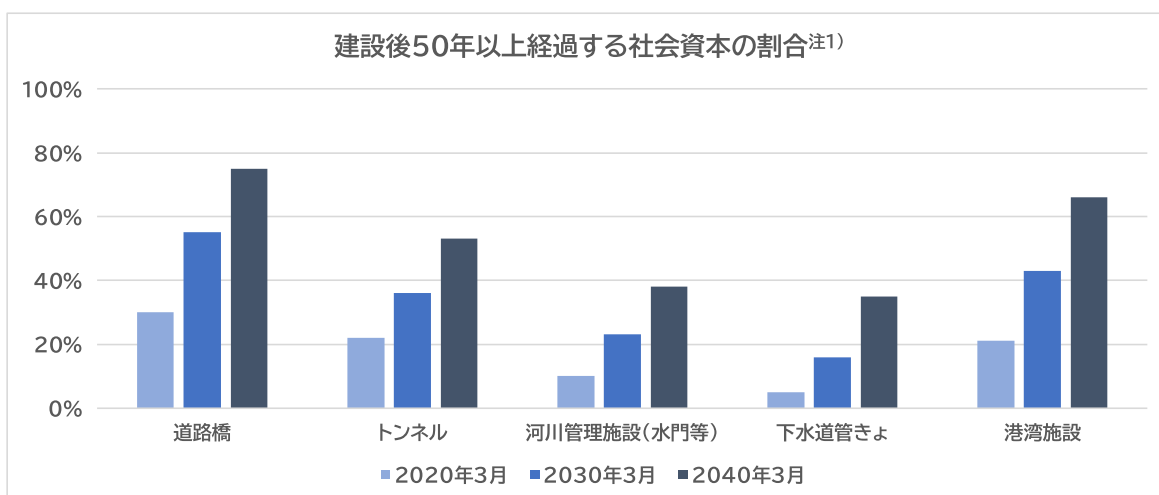
本章では、わが国のインフラのアセットマネジメントの取り組みを概観するとともに、インフラの資産価値を生成する源となるインフラの機能や役割、インフラの整備がもたらす社会経済効果、インフラの資産価値評価の方法論に関する既往の取り組みや研究を整理する。その上で、インフラの資産価値評価の際に留意すべき事項や国際規格がアセットマネジメントの実施を通して組織に実現を求める「アセットからの価値」の意味について考察を行う。

### 2.2 インフラアセットマネジメントの取り組み

戦後の経済復興を支える基盤を形成するため、わが国のインフラは高度成長期に急ピッチで整備された。その結果、わが国における建設後 50 年以上を経過したインフラの比率

は急速に増加し、これらの高齢化したインフラの維持更新費用をどう確保していくかが大きな政策課題となっている。特に、人口減少や社会経済の成熟化が進む中で、わが国に高度成長期のような経済成長を期待することはできず、財政制約の下、限られた予算の範囲でインフラを健全な状態に保ち、持続可能な維持管理を行っていくことが求められている。

図 2-1 は、国内の主要なインフラについて、建設後 50 年以上経過する高齢化したインフラの割合が今後どのように増加していくかを国土交通省が試算したものである。多くのインフラは、機能的な役割を終えた後に完全に廃止されることは考えにくく、機能回復の措置や部分的な更新を行いながら、その役割を担い続けると考えられる。また、新たにインフラを建設したとしても、既存のインフラは確実に高齢化するため、インフラ全体に占める高齢化したインフラの割合は今後も確実に増加する。



道路橋:約73万橋(橋長2m以上の橋) トンネル:約1万1千本 河川管理施設(水門等):約4万6千施設<sup>注2)</sup>

下水道管きよ:総延長:約48万km 港湾施設:約6万1千施設<sup>注3)</sup>(水域施設、外郭施設、係留施設、臨港交通施設等)

注1) 建設後50年以上経過する施設の割合については建設年度不明の施設数を除いて算出した。

注2) 国:堰、床止め、閘門、水門、揚水機場、排水機場、樋門・樋管、陸閘、管理橋、浄化施設、その他(立坑、遊水池)、ダム。独立行政法人水資源機構法に規定する特定施設を含む。

都道府県・政令市:堰(ゲート有り)、閘門、水門、樋門・樋管、陸閘等ゲートを有する施設及び揚水機場、排水機場、ダム。

注3) 一部事務組合、港務局を含む。

図 2-1 建設後 50 年以上を経過する主なインフラ比率の予測<sup>1)</sup>

このようなインフラの高齢化問題に警鐘を鳴らすため、これまで国はインフラの維持更新需要の推計を複数回にわたって実施してきた。2005年の国土交通白書<sup>2)</sup>では、インフラに充当できる予算がそのままの規模で維持されると仮定した場合、2030年には全体の3分の2を維持更新費に充当しなければなくなる可能性があること、また予算が対前年比で減少すると仮定した場合には、2020年には新規整備のみならず、インフラの機能を維持するために不可欠な維持更新費用も不足する可能性があるという結果を公表している(図 2-2①)<sup>2)</sup>。また、2009年の国土交通白書では、データを更新して新たに試算を行った結果、わずか4年の間に状況が大きく悪化していることを示している。具体的には、同

じ予算規模でこれまでと同じ方法で維持管理を継続した場合、2037年には維持更新費用が不足すること、仮に劣化が進む前に補修や補強等の措置を行って、インフラにかかるライフサイクルコストを低減する予防保全を行ったとしても、その効果は限定的であり、2047年には必要な維持更新費用が不足するという試算結果を示している（図 2-2②）<sup>3)</sup>。さらに 2013 年に行われたインフラの維持更新需要推計では、既存のインフラの機能維持のために不可欠な維持更新費用は、その後の約 20 年で 1.5 倍程度にまで増加する可能性があることを示している。（図 2-2③）<sup>4)</sup>

これらの試算は様々な仮定や前提条件の下で行われたもので、推計方法や用いたデータなども異なるため、あくまでインフラの維持更新費用にかかるマクロ的な将来傾向を把握するものに過ぎない。しかしながら、インフラの高齢化に伴って維持管理費用が増大し、インフラの持続可能な維持管理が厳しくなりつつあることは十分に読み取れる。限られたリソースの下でインフラを適切かつ継続的に維持管理するために、アセットマネジメントの導入は不可欠なものとなっている。

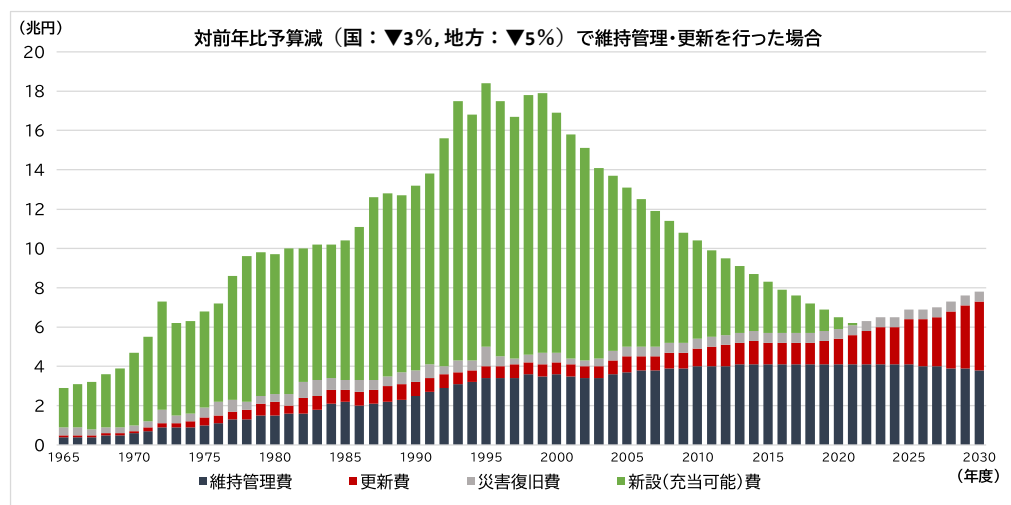
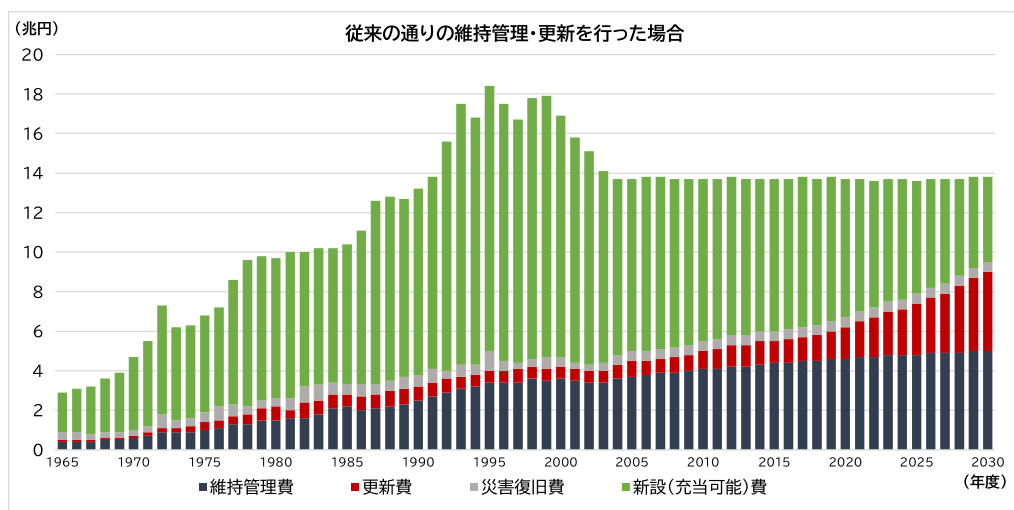


図 2-2① インフラの維持更新需要推計（2005 年）<sup>2)</sup>

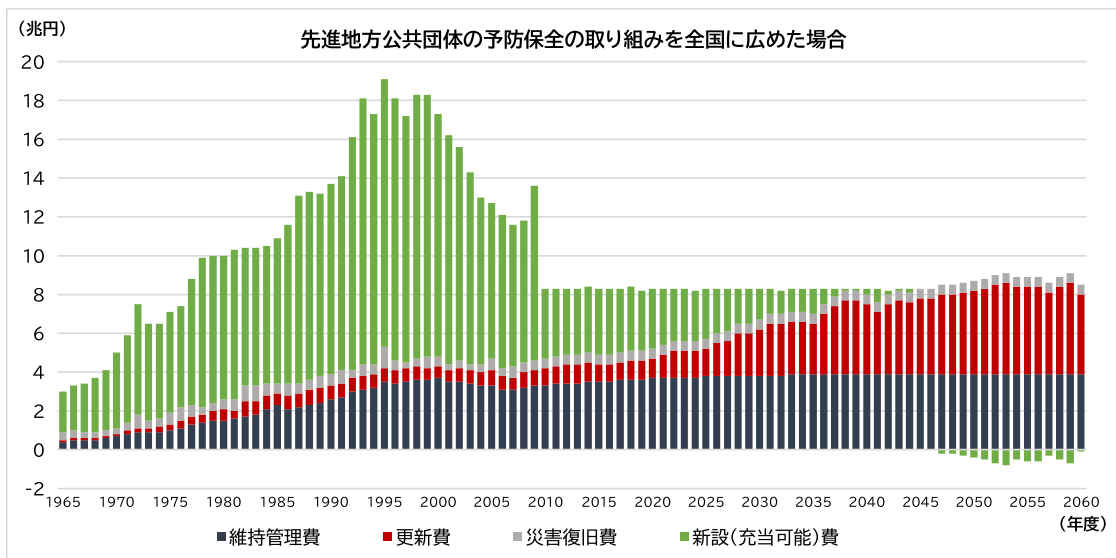
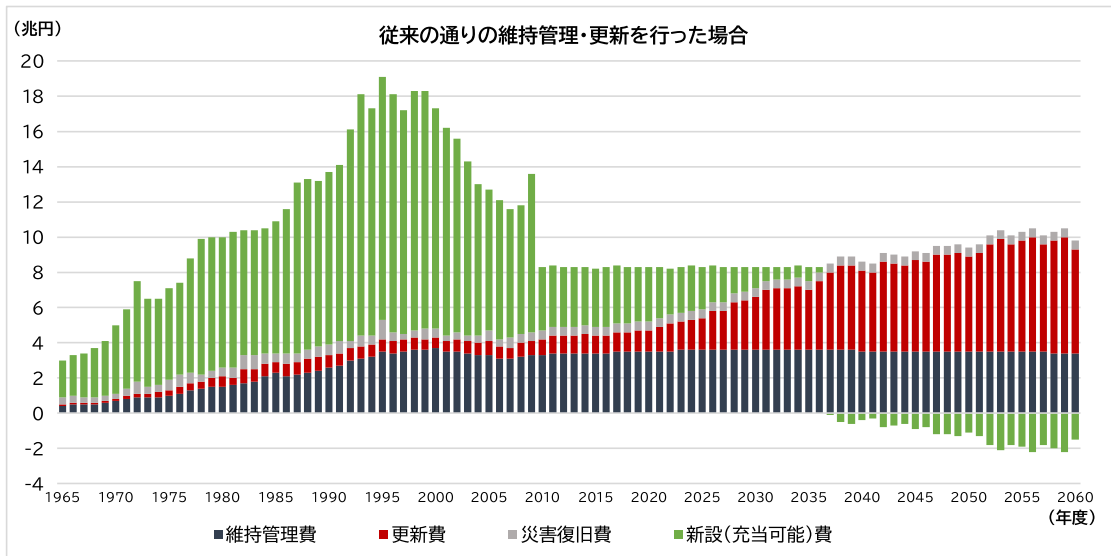


図 2-2② インフラの維持更新需要推計（2009 年度）<sup>3)</sup>

年度	推計結果
2013年度	約3.6兆円
2023年度	約4.3～5.1兆円
2033年度	約4.6～5.5兆円

※ 社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会技術部会「社会資本メンテナンス戦略小委員会」での審議を踏まえ、国土交通省において試算（2013年度の値は、実績値ではなく、今回実施した推計と同様の条件のもとに算出した推計値）

図 2-2③ インフラの維持更新需要推計（2013 年度）<sup>4)</sup>

わが国のインフラのアセットマネジメントの取り組みは、道路分野から開始された。特に、戦後の復興期に急ピッチに整備された道路構造物の高齢化に対応するため、蓄積した道路ストックを適切に保全し続けるためのあり方や方策について、国土交通省は 2000 年頃より本格的に検討を開始した。2002 年度の国土交通省の道路重点施策の中で「アセットマネジメント」という用語が初めて使用されている。<sup>5)</sup>

2002 年 6 月には、国土交通省が設置した「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する委員会」（委員長：岡村甫 高知工科大学学長）<sup>6)</sup>において、道路構造物の管理・更新等のあり方について検討が行われ、「アセットマネジメント導入による総合的なマネジメントシステムの構築」、「ライフサイクルコストを考慮した設計・施工法の確立」、「構造物の総合的なマネジメントに寄与する点検システムの構築」などを含む 7 つの提言がとりまとめられた。この提言を受けて、国は 2004 年に道路橋の定期点検の頻度を 10 年に 1 度から 5 年に 1 度に短縮するとともに、近接目視の徹底、技術者が主観的に行う診断結果とデータ分析等に用いる性状に関する客観的記録データの分離などの抜本的見直しを行った（橋梁定期点検要領（案），国土交通省道路局，平成 16 年）<sup>7)</sup> また、2007 年に「道路橋の予防保全に向けた有識者会議」（座長：田崎忠行（独）日本高速道路保有・債務返済機構理事）<sup>8)</sup> は「道路橋の予防保全に向けた提言」をとりまとめ、早期発見・早期対策の予防保全システムとして 5 つの方策（点検の制度化，点検及び診断の信頼性確保，技術開発の推進，技術拠点の整備，データベースの構築）が提案された。

その後、2012 年に国土交通省が設置した「社会資本メンテナンス戦略小委員会」（委員長家田仁東京大学大学院教授）<sup>9)</sup> では、社会資本の維持管理のあり方について検討が進められていたが、同年 12 月に中央自動車道の笹子トンネルで天井板が突如崩落し、11 名の死傷者を出す惨事が発生した<sup>10)</sup>。急遽、国土交通省は道路の維持管理に関する技術基準類や運用状況の総点検、道路構造物の適切な管理のための基準類のあり方について調査を進め、道路構造物による第三者被害予防のための総点検要領を定めて全国の道路管理者に実施を要請した。2013 年には、国土交通大臣を議長とする「社会資本の老朽化対策会議」が「社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置」<sup>11)</sup> をとりまとめ、「現場管理上の対策（総点検の実施と修繕，基準・マニュアルの策定と見直し等）」、「現場を支える制度的な対策（地方公共団体への支援，維持管理等の担い手支援等）」、「長寿命化計画の推進」の 3 つの対策が決定した。また 2013 年には、「道路法等の一部を改正する法律」が公布され、全国の橋やトンネル等の道路構造物に法定点検の実施が開始された。

このように、わが国のインフラのアセットマネジメントの取り組みは道路を起点に 2000 年代から始まり、2013 年以降は国のインフラ政策の中心となりつつある。しかしその内容は、インフラの長寿命化や予防保全，ライフサイクルコストの削減等を目的とした「メンテナンスサイクル」の実装が中心であり、インフラをアセットとみなしてその価値を向上するといったアセットマネジメントの本来の考え方まで踏み込んでいない。

## 2.3 アセットマネジメントの国際規格への対応

### 2.3.1 国際規格（ISO55000 シリーズ）の発行

2014年1月、アセットマネジメントの国際規格（ISO55000 シリーズ）が発行された。ISO55000 シリーズは、英国のアセットマネジメントの国内規格である PAS55（PAS：Publicly Available Specification（公開仕様書））が原型である。PAS55 が物理的資産を保有または管理する組織がアセットマネジメントを実施するための基本的な要件を定めているのに対し、ISO55000 シリーズはアセットを「組織にとって、潜在的にまたは実際に価値を持つ項目、物または実体」と定義し、対象を必ずしも物的アセットに限っていない。

国際規格の作成にあたっては、国際規格の原案作成を担当するプロジェクト委員会（ISO/PC251）に世界 30 数カ国から代表者が参加して、2011 年の検討開始から約 3 年間にわたって議論を重ねた。ISO55000（概要、原則、用語）<sup>12)</sup>、ISO55001（要求事項）<sup>13)</sup>、ISO55002（55001 適用のためのガイドライン）<sup>14)</sup> の 3 部構成からなる国際規格がまず発行され、各国で導入が進んでいる。ISO/PC251 は 2015 年に技術委員会（ISO/TC251）と名称を変え、規格の見直しや新たな規格・ガイドラインの作成など活動を継続している。

以下に ISO55000 シリーズの概要と要点を整理する。

### 2.3.2 国際規格（ISO55000 シリーズ）の概要と要点

ISO55000（概要、原則、用語）は、「アセット」「アセットマネジメント」「アセットマネジメントシステム」をそれぞれ次のとおりに定義している。

**（アセット：組織にとって潜在的に、あるいは実際に価値を有するもの）**

組織にとっての価値は組織ごとに異なる。ISO55000 の定義によると、アセットが有する価値は、有形・無形、金銭・非金銭に関わらず、組織が決定するものとしている。PAS55 が物的資産を対象としているのに対し、ISO55000 シリーズはそれに限定せず、人的資源、知的財産などあらゆるアセットを対象としている。

**（アセットマネジメント：アセットからの価値を実現化する組織の調整された活動）**

アセットマネジメントはアセットから価値を得るための組織の活動であり、コストとリスクとパフォーマンスをバランスさせながら、組織の目標やステークホルダーの期待に従ってアセットマネジメントの目標・方針、戦略的計画を立て、トップマネジメントの下で意思決定を行い、計画を実行すること、その結果を組織の目標、アセットマネジメントの目標や計画にフィードバックし、継続的改善を行うことなどを求めている。



**（アセットマネジメントシステム：組織の目標を達成するための方針・目標・プロセスを確立するための要素の組み合わせであり，組織の相互に作用するもの）**

アセットマネジメントシステムは情報システムではなく，組織の構造・役割・責任・業務プロセス・計画・運営等も含むもマネジメントシステムとして捉えられている．国際規格の正式名称が「アセットマネジメントのためのマネジメントシステム」となっていることから明らかである．

ISO55000 がアセットマネジメントの原則を示す，すなわち組織がなぜアセットマネジメントを行うのか（Why to do Asset Management）を示すのに対し，ISO55001（要求事項）は組織がアセットマネジメントを行うための要求事項，すなわち組織は何を実施しなければならないか（What to do Asset Management）を示している．要求を表す英語表現として「shall」（～しなければならない）が用いられ，ISO55001 の認証を取得しようとする組織は要求事項を遵守していることを対外的に証明しなければならない．また，ISO55002 は要求事項に従ってアセットマネジメントを実施するためには，どのようにすれば良いか（How to do Asset Management）を示している．

アセットマネジメントシステムは，アセットマネジメントを確実に実施するための要素とその組み合わせであり，ISO55001 には7つの要素（組織の状況認識，リーダーシップ，計画策定，支援，運用，パフォーマンス評価，改善）が記載されている．以下に，各要素の要求事項を示す．

#### **（組織の状況認識）**

アセットマネジメントシステムの意図する成果を達成するため，組織を取り巻く内外の状況を理解し，関係者（ステークホルダー）のニーズと期待を認識すること

#### **（リーダーシップ）**

組織のトップマネジメントが，アセットマネジメントシステムに関するリーダーシップとコミットメントを示すこと，アセットマネジメントの方針を決定し，組織内に必要な責任と権限を割り当て，伝達すること

#### **（計画策定）**

アセットマネジメントの実施に向けて，「リスク」と「機会」を決定するとともに，アセットマネジメントの目標を立てて，それを達成するためのアセットマネジメント計画を策定すること

#### **（支援）**

アセットマネジメントシステムを構築するために必要な予算や人員などの資源、関係者の力量、アセットマネジメントの方針やアセットマネジメントシステムの有効性への認識、組織と内部・外部とのコミュニケーション、情報および情報の文書化など、アセットマネジメントシステムの支援要素を整えること

#### (運用)

組織が、アセットマネジメントの計画、実施、予防措置や是正措置を実施するために必要なプロセスを整備・管理すること、アセットマネジメントの目標の達成に影響を及ぼし得るリスクを評価し、管理すること

#### (パフォーマンス評価)

組織が、アセット、アセットマネジメント、アセットマネジメントシステムのパフォーマンスを評価し、それを文書化して保持すること。さらに、国際規格に準拠してアセットマネジメントが行われているかの内部監査、およびトップマネジメントによるマネジメントレビューを実施すること

#### (改善)

組織が、アセット、アセットマネジメント、アセットマネジメントシステムに不適合やインシデントが発生した場合の対処や処置、それらが発生させないための予防処置のプロセスと必要性の評価、アセットマネジメントとアセットマネジメントシステムの適切性、妥当性、有効性を継続的に改善すること

ISO55001 は、上記の7つの要素を要求事項として定め、要素間同士の関係を図 2-3 のとおりに整理している。「組織の計画と組織の目標」というトップレベルから、「戦略的アセットマネジメント計画」「アセットマネジメント目標」「アセットマネジメント計画」「アセットマネジメント計画の実施」と順に現場レベルに下りていき、「パフォーマンス評価と改善」を点線で全ての上位項目にフィードバックする、すなわち、「戦略的アセットマネジメント計画」「アセットマネジメント目標」「アセットマネジメント計画」「アセットマネジメント計画の実施」だけでなく、アセットマネジメントシステムの範囲外の「組織の計画と組織の目標」にもフィードバックされ、継続的改善を行う仕組みがISO55001 の大きな特徴である。

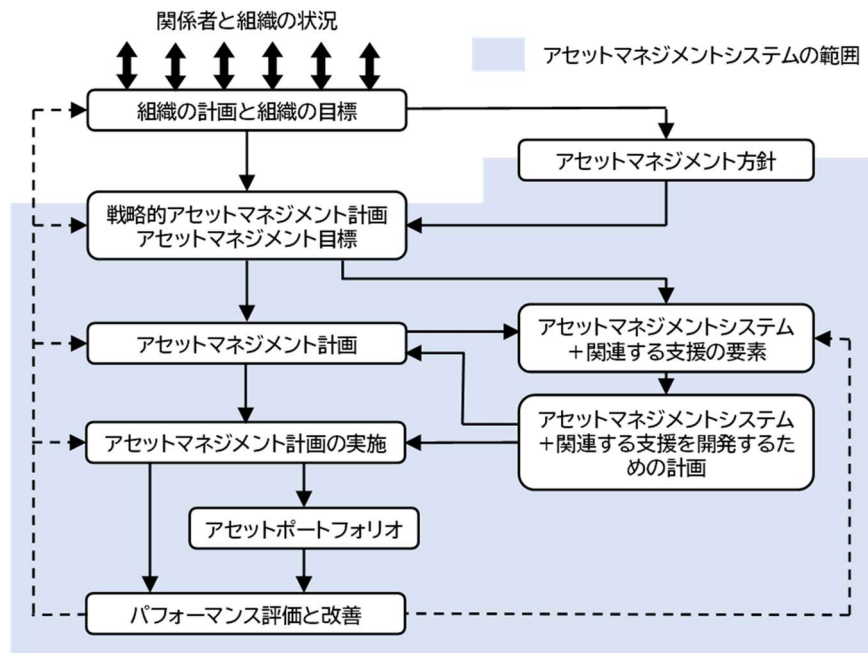


図 2-3 アセットマネジメントシステムと重要な要素間の関係 <sup>14)</sup>

### 2.3.3 国際規格（ISO55000 シリーズ）が定義する資産価値

2018 年に改訂された ISO55002（2018）は、「アセットからの価値」について、附属書 A（アセットマネジメントにおける“価値”の考察）の中で詳述している。そこでは、組織またはステークホルダーにとっての価値は同じ組織内でも変化する場合があり、異なるステークホルダーは組織のアセットマネジメントの活動を通じて、異なる種類の価値を得る場合があるとし、異なるステークホルダーが異なる価値をどのように定義するかについて、以下のような例も示されている。

- ・ 投資家、会計士、鑑定士等は組織の価値、リスク、投資収益率に焦点を置く。
- ・ 顧客は組織との関係において、金銭的な価値以外にも非金銭的な価値（例：安全な飲料水、信頼できる電気サービス、修理時間の長さなどの顧客満足度など）を享受する。
- ・ 公共サービスは受けるサービスと支払いが直接関係しないこともあるが、サービスを受けていなくてもその価値を測定することは可能である。
- ・ アセットから得られる価値の他の側面（例：労働災害の削減、環境の保護や改善、など）を考慮する場合がある。

これらは、アセットから得られる価値を広範に捉え、金銭・非金銭に関係なく、ステークホルダーに「何らかの」価値を及ぼすものを対象として、それが組織の目標に整合し、アセットのライフサイクルを通じて提供されるものであることを強調している。

また、附属書 A では「価値」は組織の目標に従って、組織とそのステークホルダーに

よって決定されるという考え方の下、価値には以下の 3 つの事項が含まれることを ISO55000 の箇条 2.4.2a)を引いて述べている。

- ・ アセットマネジメントの目標が組織の目標とどのように整合しているかを明確に表明すること
- ・ アセットからの価値を実現するためにライフサイクルマネジメントのアプローチを利用すること
- ・ ステークホルダーのニーズを反映して価値を明確にする意思決定のプロセスを確立すること

すなわち、アセットマネジメントにおける価値は、組織が目標に照らして定め、ライフサイクルを通じて実現し、ステークホルダーのニーズを踏まえてそれを明確にする意思決定プロセスを持つものでなければならない。この考え方をインフラのアセットマネジメントに適用すると、以下のように整理できる。

- ・ インフラの資産価値はインフラを保有・管理する組織およびそのステークホルダーが決定する
- ・ 道路を例に取れば、道路の果たす様々な機能や役割を踏まえ、組織やステークホルダーが道路から得られる価値を組織が決定する
- ・ その価値は金銭的に計量される場合もあるが、ステークホルダーの満足度のように非金銭的に測定される場合もある

アセットから得られる価値は組織やステークホルダーにとって千差万別であるが、組織にはアセットのライフサイクルを通じて、継続的に価値を提供する責務がある。インフラは、国の社会経済活動を支える重要な基盤であり、また国民生活に直結する「無くてはならない存在」である。そのため、ステークホルダーも多種多様であり、アセットから得られる価値の決定は、インフラを取り巻く環境変化とステークホルダーのニーズを常に理解し、アセットマネジメントの実施を通じて、価値の実現方法も継続的に改善していく取り組みが組織に求められる。

## 2.4 インフラの資産価値の視点と考え方

### 2.4.1 多様な役割と機能からみたインフラの資産価値

道路、河川、港湾等のインフラは国の社会経済活動を支える基盤である、当たり前のように存在するこれらのインフラから、国民は様々な便益を享受している。インフラの整備

や維持管理が適切に行われずにインフラが荒廃した状況を想像すれば、国民がインフラから得ている便益が大きいことは容易に理解できる。

インフラの機能や役割を道路を例に考えると、道路には自動車や歩行者等にモビリティ空間を提供する交通機能に加え、火災発生時の延焼防止のような空間機能が存在する。図2-4に示すように、現代の道路はその物理的空間を自動車、自転車、人、緑、水、ライフラインなどに提供し、提供を受けた側は道路から大きな便益を得ている。その便益が道路の資産（アセット）としての価値であり、便益を得る側から見れば、それが道路というアセットから得られる価値である。

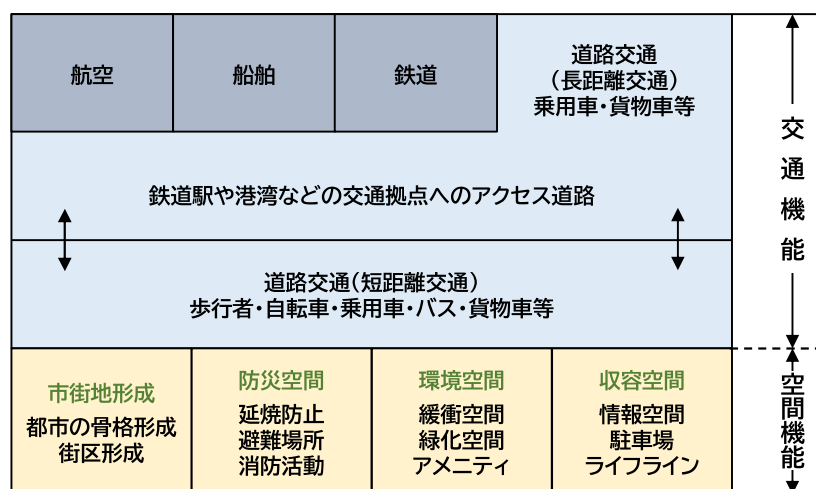


図 2-4 道路の役割と機能<sup>15)</sup>

2012年の「社会資本整備審議会道路分科会建議」の中間とりまとめ<sup>16)</sup>では、これまでの道路政策を振り返りつつ、進化するこれからの道路政策の指針が提示されている。そこでは、道路の機能や価値について、「道路を「進化させる」～道路の有する機能や価値の再評価・醸成・創出～」という題のもと、概ね以下のような整理が行われている。

- ・ 道路は、人や車両を安全・円滑・快適に通行させる交通機能と都市の防災空間、緑化や景観形成等のための空間機能を有しているほか、地域のパブリックスペースとしても機能しており、地域活動の場、公共・公益的な利用など、沿道や地域からの多岐にわたるニーズに対応してきた。
- ・ 近年では、オープンカフェなど道路空間の規制緩和による「たまりの場」、「収益活動の場」としての期待や都市部の鉄道駅等の交通結節点での道路の複合的な利用への期待が高まっている。また、日本風景街道など、沿道の歴史・文化資産や景観等を活用した地域振興の取り組みも展開されている。
- ・ 交通機能や空間機能のほかに、道路の有する歴史性や文化性も含めて道路の機能や価値を改めて再評価し、地域や沿道からのニーズに機動的に対応していくことが必要で

ある。また、電気自動車、パーソナルモビリティなど道路を通行する乗物や情報通信技術の進展に対してもインフラ側の道路として適切に対応していく必要がある。

さらに、国土強靱化や大規模災害への対応として、道路の役割について概ね以下のよう  
に整理している。

- ・ 未曾有の広域大規模災害となった東日本大震災は、改めて国土の脆弱性を浮き彫りとするとともに、日本海側の高速道路による東北自動車道等の代替機能を果たすなど、幹線道路ネットワークの多重性・代替性の必要性の他、避難地、災害時の活動拠点など道路が有する副次的機能の活用の可能性など、災害に強い国土づくりを進める上で道路の役割・機能について多くの教訓を我々に提示した。
- ・ また、大規模災害発生時には、国の総力をあげた対応が必要であり、今回の大震災においても国の一元的な災害対応のもと広域的かつ短期間で幹線道路を啓開し、災害復旧に大きな役割を果たしたことを踏まえ、今後の国と地方あるいは官と民の役割分担や協力のあり方について改めて議論を深めていく必要性が認識された。
- ・ こうした東日本大震災での経験を、近い将来に発生が予測されている首都直下地震、東海・東南海・南海地震等の大規模な地震災害への備え・対応の検討を進める上で参考としていくことが必要である。
- ・ 特に、国土の耐災性を高めるため、広域的な幹線道路ネットワークについて、地域の孤立化や多重性の欠如など災害面からの弱点を再点検し、緊急性の高い箇所から重点的に強化することが必要である。

このように、インフラの資産（アセット）としての価値を評価する際には、インフラに求められる多様な役割や機能を踏まえるとともに、それらは社会経済情勢の変化とともに変化していくことに留意することが必要である。また、その価値は金銭的な価値として測ることのできない「非財務価値」を含んでいることにも留意することが必要である。

#### 2.4.2 整備効果や便益からみたインフラの資産価値

道路を含むインフラの整備効果には、フロー効果とストック効果がある。フロー効果は「公共投資の事業自体により生産、雇用、消費等の経済活動が派生的に創出され、短期的に経済全体を拡大させる効果」であり、ストック効果は「整備された社会資本が機能することによって、整備直後から継続的に中長期にわたり得られる効果」である。道路のストック効果は、整備された道路が機能することによって、整備直後から継続的かつ中長期的に得ることができる。ストック効果の金銭的価値を測定する経済分析手法は表 2-1 に示すように整理されており、道路整備の効果計測の実務や研究の世界で広く活用されている。

表 2-1 ストック効果の経済分析手法<sup>17)</sup>

	概要	利点	問題点
消費者余剰法	・消費者が財・サービスを購入する際、最大限支払っても良いと考える金額と実際に支払った金額との差額部 分を効果として計測する手法	・効果の概念が分かりやすく、分析が容易	・帰着便益を計測対象としていない ・部分均衡分析であるため、交通市場以外(労働市場等)への影響を分析できない。
産業連関分析	・産業連関モデルを用い、1時点におけるある産業部門への需要増加がもたらす産業別の生産波及効果を計測する手法	・産業間の関係を分析すること、かつ詳細な産業分類による分析が可能	・供給制約がないため、効果が過大に推計される
生産関数アプローチ	・労働、資本及び社会資本ストックを説明変数とし、マクロ集計的・統計的に生産関数を推計する手法	・社会資本ストックが生産性にどれほど寄与するか計測可能	・供給側の能力を見ているのみであり、財に関する需要と供給の関係は表現されていない ・社会資本データとしてストック額を用いる場合には、ストック額の蓄積が交通の改善(所要時間短縮)と必ずしも対応していない
ヘドニックアプローチ	・ある財の様々な特性による便益がそれぞれの財の価格に帰着するというキャピタリゼーション仮説に基づき 便益を計測する手法	・環境質やアメニティ、景観といった通常の市場価格に反映されない定性的な外部効果も含めて計測できる	・広域にわたる交通施設整備の評価には適していない
仮想的市場評価法	・プロジェクトが行われることに対する最大支払意思額、又はプロジェクトが行われないことに対する最小受取 補償額をアンケートによって尋ねる手法	・環境質やアメニティ、景観といった通常の市場価格に反映されない定性的な外部効果も含めて計測できる	・アンケートにおける仮想市場の設定や質問方法等に起因する様々なバイアスの問題が指摘されている
マクロ経済計量モデル	・マクロ経済理論(ケインズ理論)に基づき、経済変数間の関係を定式化し、過去の時系列データにより構造推 定を行う手法	・フロー効果とストック効果を同時に計測できる	・個別の経済主体の行動を分析していない ・個別の交通プロジェクトについてそれぞれ独自に分析が行われ、モデル間の共通性に乏しい
応用一般均衡モデル	・各経済主体の合理的行動(行動理論)を考慮し、すべての市場における均衡を仮定した一般均衡理論を基礎とするモデル	・交通施設整備による物価低減や粗生産額、付加価値額、所得、消費等の経済諸変数に及ぼす影響の他、家計への帰着便益を計測することが可能	・労働や資本ストックの変化を考慮した長期的な分析に適さない ・個別の交通プロジェクトについてそれぞれ独自に分析が行われ、モデル間の共通性に乏しい
応用都市経済モデル	・土地・建物市場の均衡と立地均衡、混雑をも考慮した交通ネットワーク均衡を同時に考慮した静学的な意味 での経済部分均衡モデル	・細目ゾーン及び詳細な交通行動に対応した分析が可能であり、モデル構築やシミュレーション(均衡計算)が容易	・財市場等の均衡を考慮していない
多基準分析	・貨幣換算が困難な項目を含む多くの便益項目を列挙し、項目間にウェイト付けを行って総合評価を行う手法	・多くの実際の交通施設整備の評価に用いられている	・アンケートにおいて回答者が評価対象の水準を正確に理解して回答しているかどうか不明確

出典 以下を元に国土交通省作成  
 佐藤徹治・武藤慎一・上田孝行(2001)「交通施設整備評価におけるマクロ計量モデルとCGEモデル」  
 小池淳司・上田孝行・伊藤克彦(2002)「社会資本ストック整備効果計測に関する研究－生産関数アプローチと応用一般均衡分析による理論的・実証的比較－」  
 小林優輔(2004)「政策等の評価における定量的な分析・評価手法－評価現場と応用一般均衡モデルの分析事例より－」(株)価値総合研究所「Best Value vol.05 2004.4」  
 佐藤徹治(2005)「交通プロジェクト評価の現状と課題を踏まえた帰着便益計測手法に関する研究」  
 堤盛人・山崎清・小池淳司・瀬谷創(2012)「応用都市経済モデルの課題と展望」

一方、インフラの整備には創出された公的需要が波及効果を通じて GDP を押し上げる乗数効果や建設部門のみならず幅広い産業分野における生産を誘発する生産誘発効果など、大きな経済効果(＝フロー効果)がある。わが国では、過去に景気の減退局面で公共投資を増加し、景気を下支えすることが多かったが、これはインフラ整備のフロー効果に期待したものであり、その効果はマクロ計量モデルを用いて計測される。このようなストック効果やフロー効果を金銭換算することによって、インフラ整備がもたらす経済的価値を試算し、それをインフラの資産としての価値と解釈することも可能である。

また、重松ら<sup>18)</sup>は、表 2-2 および表 2-3 に示すとおり、道路整備による便益とその評価方法に関する検討をもとに、道路資産の価値評価の対象範囲が拡大できる可能性とその方向性を提案している。そこでは、道路橋の資産価値には「物質としての価値」と社会・経済にもたらす「橋が存在することにより生み出される価値」の2つの側面があるとして、後者は経済効率性の追求から捉えた「経済的価値」と波及効果としての非市場材的価値や公平性の価値規範から捉えられる「社会的価値」で構成されるとしている。

表 2-2 道路橋における資産価値の評価項目<sup>18)</sup>

価値の直接性	受益者	価値の計画内容の例		道路橋の価値に影響を与える要素の例	
		分野	項目	要素	影響
直接効果	道路利用者	道路利用	走行時間短縮・走行費用減少	幅員	道路部に比して狭い場合、走行速度が低下
			交通事故減少	—	—
			走行快適性の向上	伸縮装置	劣化、または存在自体により生じる不快性
			走行の安全性・快適性の向上	防護柵	防護柵の有無などにより生じる不安感
	沿道および地域社会	環境	大気汚染	幅員	道路部に比して狭い場合、走行速度低下に伴う排気ガス量の増大
			騒音	伸縮装置	劣化、または存在自体により生じる騒音の増大
			景観	文化財としての橋梁	橋の存在自体により得られる充足感
			生態系	橋脚(海岸部)	水環境への影響
			エネルギー(地球環境)	幅員	道路部に比して狭い場合、走行速度低下に伴う排気ガス量の増大
		住民生活	橋梁空間の利用	添架物	—
			災害時の代替路確保	橋脚(耐震性)	耐震性の不足による心理的不安
			生活機会、交流機会の拡大	橋梁	一定時間内に交流できる人の数が増えることの満足感
			公共サービスの向上	橋梁	緊急時に生命の危機を回避できるような施設へのアクセスが確保されることの満足度
間接効果	国	国土均衡	地域格差是正	(厚生水準の総体的に低い地域に及ぼす効果を、他の厚生水準が高い地域に比べてより重要視すべきという経済的に不利な地域に対する社会的配慮と国全体の有効活用などの観点から、便益に地域補正を行う)	

表 2-3 道路橋の資産価値<sup>18)</sup>

種別	価値項目	内容
橋の物質としての価値	物理的価値	橋の物理特性や構造材料およびこれらに起因する部材抵抗など工学的な性能の経年的な対応として捉えるもの
橋の存在が生み出す価値	経済的価値	橋(道路)のサービスが利用されることおよびこれに伴い波及することにより生じる経済効率性を追求するための効果(便益)として捉えるもの
	社会的価値	橋(道路)のサービスが利用されることおよびこれに伴い波及することにより生じる直接効果(便益)のうち非市場価値として捉えるもの、また経済的に不利な地域に対する社会的配置と国土全体の有効利用の観点などにより裏付けられる公平性の価値規範から捉えるもの

インフラの資産価値は、過去の国富推計やインフラのストック推計の際に用いられた整備費用と経年に伴う除却を基本とした「かかった費用」で評価されることもある。しかしながら、インフラの機能や役割を踏まえ、ISO55000シリーズが要求する「アセットからの価値」の文脈で考えれば、インフラの資産価値は、インフラが生み出す効果をもとに評価されるのが望ましいと言える。

いずれにしても、インフラの資産価値は、金銭的な価値として捉える「財務価値」と非市場材的な要素から捉える「非財務価値」の双方を評価することが必要である。

#### 2.4.3 運営・管理ビジネスからみたインフラの資産価値

企業買収(M&A)の世界で行われる企業価値評価の方法として、インカムアプローチ、コストアプローチ、マーケットアプローチの3つが存在する。これは市場で取引される資



産（アセット）の価値を算定する場合も同様であり，例えば，不動産鑑定評価の世界でもこの3つの方法が用いられる．しかし，インフラの資産価値を評価するには，これらのアプローチをそのまま用いることはできない．インフラにはキャッシュフローを生み出すものと生み出さないものがあること，インフラは一般に市場で売買されないことが大きな理由である．さらには，インフラがその機能や役割を果たし，利用者に何らかの便益を提供する限り，キャッシュフローの有無に関わらず，インフラには何らかの資産価値が存在すると考えられる．インフラの資産価値はこのようなインフラ特有の性質を考慮して，評価することが必要である．

過去にわが国で実施されたインフラの資産評価の事例を見ると，例えば，2000年の日本道路公団の民営化の際の保有資産の価値評価では，資産の再調達価額を計算した上で，経年劣化による資産価値の低下分を減価償却（定額法）して算出された．これは資産の整備に必要なコストに着目して資産価値を評価する「コストアプローチ」である．その一方で，2018年に成立した改正PFI法で導入されたコンセッション方式では，空港，道路，下水道等のインフラの運営権の価額をインフラから運営期間中に得られる収益の総和を現在価値に割り引いて算定する「インカムアプローチ」が採用されている．さらに，市場で取引される不動産の鑑定では，類似の不動産の取引事例を参考に価額を算定する方法も存在する．これは「マーケットアプローチ」と呼ばれるものであるが，多くのインフラは市場で取引されないため，「マーケットアプローチ」を採用することはできない．

一般にインフラは寿命が長く，長期にわたって国民の利用に供せられるため，価値を評価する期間も長く設ける必要がある．また，その期間中に必要なコストとして，通常の維持管理・更新費用のほかに，災害に遭遇した際の回復費用や災害に備えるための対策費用なども見込む必要がある．上田<sup>19)</sup>は鉄道施設の維持管理・更新に関する調査のレポートの中で，鉄道施設の資産価値を以下の式で表している．

$$P = \int_0^{T(x)} B \times e^{-\rho t} dt - \int_0^{T(x)} \left( \sum_{i=\text{ケース}}^{\text{全ケース}} p_i q_i \right) \times e^{-\rho t} dt$$

ここで， $B$ ：駅間便益（円/年） $\rho$ ：社会的割引率， $T(x)$ ：残余耐用年数；点検判定に応じた残りの耐用年数（ここでは「今後無補修で通常運行に支障をきたさないと予想される年数」と定義し，「通常運行下で使用限界に達するまでの残り年数」で表す）， $p$ ：異常ケース下における損害発生確率， $q$ ：異常ケース下における損害が発生した場合の（平均的）損害額である．

上式の第1項は，インフラが提供する将来の便益の総和を現在価値に換算したものであり，インカムアプローチによる資産価値評価に相当する．第2項はインフラの供用期間中に発生する予期せぬコストの総和を現在価値に換算したものであり，コストと発生確率の積を負の収益と考えて，インカムアプローチにより計上したものである．インフラは自

然環境の下で長期に供用されるという性質があるため、その間のリスクを発生確率に置き換えて、予期せぬコストを計上することが必要となる。

#### 2.4.4 インフラの資産価値評価の論点

以上のように、インフラの資産価値評価は、その目的や観点によって捉えるべき対象が異なり、結果として評価の方法も異なる。すなわち、インフラの資産価値は財務価値と非財務価値の両方を含んでおり、実際の評価にあたっては、その使い分けが必要となる。さらに各々の評価にあたっては、以下の点に注意が必要である。

まず、インフラ資産の財務価値を評価する際には、建設時に要した費用だけでなく、インフラの機能と役割を将来的にも維持していくために必要な費用も含めて評価しなければならない。例えば、延長や構造、建設費用が同じ道路であっても、代替路がある道路とない道路、盛土法面下に存在する道路と平地に存在する道路では、各々に対して対処すべき内容が異なる。代替路がない道路は何らかの原因でそれが途絶したときの社会的影響を考慮する必要があり、盛土法面下にある道路は自然災害等で法面が崩壊しないようにすることが必要となるためである。道路の機能と役割を維持するために必要な費用の分だけ、代替路がない道路や盛土法面下の道路は資産価値が高いという見方も可能である。

さらに、インフラ資産の財務価値の評価にあたっては、インフラから得られる便益と物理的機能の関係についても注意が必要である。インフラは経年劣化や災害等により物理的機能が低下し、それは構造物の強度や耐荷力等の低下、ひび割れや腐食等の表面劣化、それらに伴う余寿命の短縮といった形で現れる。また、これらの現象は確定的に発生するのではなく、ある幅を持って確率的に発生する。いずれにしても、インフラの物理的機能が低下すると目標とする性能を発揮できなくなり、それに伴ってインフラの資産価値も低下すると考えるのが自然である。一般にこれらの性能と価値は比例関係にあると考えられるが、インフラの場合はそれほど単純ではない。例えば、橋梁が長期の供用により経年劣化し、耐久性が低下したとしても、橋梁を通過する交通の量や速度に影響がなく、目標とする便益が得られているのであれば、橋梁から得られる価値は低下することはない。橋梁は通過交通のための「空間」を提供して価値を提供しているのであり、劣化によって車線減少や速度制限などが発生し、その空間利用が損なわれない限り、橋梁から得られる価値は低下しない。インフラから得られる便益からみた価値とインフラの物理的機能は比例的には対応しないため、インフラ資産の財務価値を評価する際には、物理的機能の低下による減価償却的な価値の減耗とインフラから得られる便益の低下との関係に十分留意することが必要である。

一方、インフラ資産の非財務価値を評価する際には、評価の対象や範囲を評価の目的に応じて適切に設定し、定量評価が可能なものと不可能なものを区分した上で、それぞれに

ついて適切な評価方法を適用することが必要である。近年の企業価値評価における非財務価値の重要性の高まりを鑑みれば、評価方法については関係者の合意が十分に得られ、かつ関係者への説明責任を果たすことのできる方法を採用することが不可欠である。

## 2.5 おわりに

組織がアセットマネジメントを行うことによって、アセットから価値が生み出される。逆に言えば、アセットからの価値を生み出す活動そのものが「アセットマネジメント」である。官民協働によるインフラの様々な管理・運営手法についても、アセットマネジメントの観点から見ると、アセットからどういう価値が生み出されたか、あるいはどれだけの価値が生み出されたかが手法の適否を判断する重要なポイントとなる。

インフラのアセットマネジメントでは、組織の目標とアセットマネジメントの目標、計画、実施が整合性を持ち、アセットマネジメントの実施を通じてそれを継続的に改善する仕組みを実装していく。それによって、組織が決定したインフラというアセットからの価値を実現することが可能となる。インフラの資産価値は、市場で取引される財やサービスと異なることを踏まえるとともに、インフラが果たす役割や機能を理解した上で、組織の目標を達成することと直結した形で実施されなければならない。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：社会資本の老朽化の現状と将来，社会資本の老朽化対策情報ポータルサイト ([https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02\\_01.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html))（2023年2月28日閲覧）
- 2) 国土交通省：国土交通白書 2005.
- 3) 国土交通省：国土交通白書 2009.
- 4) 国土交通省：国土交通白書 2013.
- 5) 国土交通省道路局 都市・地方整備局：平成14年度道路関係予算概要
- 6) 国土交通省道路局：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方 提言，道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会，2004.
- 7) 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領（案），2004.
- 8) 国土交通省道路局：道路橋の予防保全に向けた提言，道路橋の予防保全に向けた有識者会議，2008.
- 9) 国土交通省：道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて，社会資本整備審議会 道路分科会 道路メンテナンス技術小委員会，2013.

- 10) 国土交通省：トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書，トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会， 2013.
- 11) 国土交通省：社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置， 2013.
- 12) ISO55000:2014 "Asset management - Overview, principles and terminology"
- 13) ISO55001:2014 "Asset management - Management Systems - Requirements"
- 14) ISO55002:2018 "Asset Management - Guidelines for the application of ISO 55001"
- 15) 国土交通省：道路審議会建議（道路政策変革への提言～より高い社会的価値を目指して～）， 1997.
- 16) 国土交通省：社会資本整備審議会道路分科会建議 中間とりまとめ（道が変わる，道を変える ～ひとを絆ぎ，賢く使い，そして新たな価値を紡ぎ出す）， 2012.
- 17) 国土交通省：ストック効果の見える化のための取組  
（<https://www.mlit.go.jp/common/001125746.pdf>）（2022年12月7日閲覧）
- 18) 重松勝司，中谷昌一，玉越隆史，廣松新：道路橋の資産価値評価に関する一考察，土木学会第57回年次学術講演会， pp.803-804， 2002.
- 19) 上田孝行：鉄道施設の維持管理・更新に関する調査，運輸政策研究， Vol.7 No.2， pp.112-116， 2004.

## 第3章 アセットマネジメントにおけるインフラの資産価値評価

### 3.1 はじめに

インフラの老朽化対策として、わが国では 2000 年頃から、インフラの維持管理にアセットマネジメントの考え方が導入されてきた<sup>1)3)</sup>。金融・不動産業界におけるアセットマネジメントは、金銭的資産価値の最大化を目的とした保有資産の運用行為と一般には理解されているが、インフラ分野のアセットマネジメントでは、インフラ資産の金銭的価値を増大することを目的に実施されてきたとは言い難い。むしろ、施設の物理的な状態が経年劣化や損傷などで悪化するのを防ぎ、設計時や建設時に設定した性能水準を維持するために補修の時期や方法を可能な限り社会・経済的、技術的に適切な内容にすることを主たる目的に実施されてきた<sup>2)</sup>。例えば、道路のようなインフラでは、建設時に目標とした機能が供用後に所要のレベルで発揮しさえすれば良く、機能の陳腐化などそれを取り巻く外的条件の変化などによって機能向上が必要にならない限り、物理的価値を積極的に増大させる必要性はない。また少なくとも公共部門がそれを保有したまま運用している限り、企業買収や事業売却などの投資判断で考慮されるような財務的価値の増大を目的としたアセットマネジメントを行う動機が働きにくかった。

近年、企業価値の評価や投資の判断にあたって従来の財務情報だけでなく、ESG (Environment, Social, Governance) に着目する投資が広がっていること<sup>4)</sup>や、統合報告書の発行企業数の増加に見られるように、民間企業においては非財務情報の開示を求める動きが強まっている<sup>5)6)</sup>。統合報告書とは、企業の売上や資産など法的に開示が定められた財務情報に加え、企業統治、社会的責任、知的財産などの非財務情報をまとめた報告書<sup>7)</sup>で、IIRC (International Integrated Reporting Council : 国際統合報告評議会) の国際統合報告フレームワーク<sup>8)</sup>が定めた 6 つの資本 (財務資本、製造資本、知的資本、人的資本、社会・関係資本、自然資本) をアウトカムベースで評価することが求められている。そこでは、将来性や外部にもたらす効果などの、これまで資産価値として評価されなかった非財務価値も企業資産として評価する動きがみられる。このような国際統合報告フレームワークに基づいて作成される企業の統合報告書は、企業の将来に向けた価値創造を報告し、財務的評価に留まらない企業価値を用いてステークホルダーとの対話を促すツールとなっている<sup>9)</sup>。

これに対して、インフラの存在は社会・経済に対して広範囲にわたり多大な外部性をもたらす。そのため、インフラの資産価値を評価する場合、例えば道路というインフラに対して、その交通機能などの主たる目的に対応する機能のみの有能性やその金銭的な財務価値だけを評価するのではなく、防災機能や安全安心など社会・経済に及ぼす影響や効果といった非財務価値についても評価において考慮することが重要であることは言うまでも

ない。アセットマネジメントを実施する主体は、対象とするインフラを管理する組織、もしくは企業体であり、一義的にはインフラが社会・経済にもたらす影響や効果について説明する責任を負う。2014年1月に発行したアセットマネジメントの国際規格（ISO55000シリーズ）では、アセットマネジメントを「アセットから得られる価値を実現する組織の調整された活動」と定義し、インフラの資産価値を可能な限り増大するようにアセットマネジメントを実施することを要求している<sup>10</sup>（以下では、これを「国際規格型アセットマネジメント」と呼ぶ。）また、ISO55000シリーズは2018年にJIS Q 55000シリーズとして国内規格化され、わが国も国際規格に準拠したアセットマネジメントの実施が求められるようになってきている。しかし、インフラの非財務価値については、社会・経済的な利便性、効率性、安全性、あるいは国土強靱化などの表現からも明らかなように、明確な指標を設定して定量的・網羅的に評価することは困難であり、またそもそも何を価値と考えるのかに関して社会的な合意形成が必要となる。

アウトプットとしてのインフラそのものが発揮するパフォーマンスは、当初設計時に設定された性能はもとより、供用期間中に発生する劣化や損傷やそれに対する措置、維持・管理の水準に依存するが、点検行為等のモニタリングを通じて完全ではないにしろかなりの程度把握することができる。一方で、インフラの状態が社会にもたらす効果や影響であるアウトカムを評価する方法は確立しておらず、アウトカムとの関係性において「組織・企業体の目標をどの程度達成し得ているか」あるいは「現場のマネジメント行為の効率性や物的資産としての物理的状态がどの程度アウトカムを達成し得ているか」などは適正に評価できていないのが現状である。例えば、道路計画時に一般的に適用されている費用便益評価に関する国の手引き<sup>11</sup>では、金銭的評価が可能な要因として、走行時間短縮、走行経費減少、交通事故減少という3便益のみが考慮されている。さらに、3便益以外にも多岐多様にわたる効果が存在することを指摘しているが金銭的評価要因として位置づけていない。このように、アウトカムを構成する全ての便益が、資産価値として明示的に評価されるわけではない。

本来、インフラのアセットマネジメントは、インフラの存在がもたらす様々な効果や影響といったアウトカムをマネジメントすることを目的としている。このような目的を達成するためには、1) 組織全体の立場からマネジメントの目的となるアウトカムの内容を決定し、マネジメントを通じて達成すべきアウトプットの設定やその目標を支持するというトップダウン的視点に加えて、2) 現実にインフラのマネジメントの実践に関わる意思決定を行い、アウトプットの達成水準を向上させようとするボトムアップ的視点が必要となる。このような2つの視点は、いずれも同じインフラの価値に関わる意思決定である以上、それらができるだけ整合したものであることが必要となり、そのためには両者の調整が行われる枠組みがマネジメントの中に存在することが必要となる。このような2つの視点の間の整合性を可能な限り図るような資産価値の方法をアセットマネジメントの実践に

反映できるようなマネジメントの方法論を構築することが不可欠である。

以上の問題意識に基づいて、本章ではアセットマネジメントの実践体系において、インフラがもたらす影響や効果に着目したトップダウン型の資産価値評価と、現場における維持・補修業務のモニタリング結果などで説明されるアウトプットに着目するボトムアップ型の資産価値評価の双方を統合化する方法（統合型資産価値評価と呼ぶ）の構築に向け、のちに言及するロジックモデルに着目する。さらに、アセットマネジメントの内外の取り組み事例からインフラ資産価値評価に関わる課題について考察するとともに、統合型資産価値評価の実践上の課題について考察する。もとより、広範な種類のインフラがアセットマネジメントの対象となるが、本章では本来多様な機能や価値を評価したアセットマネジメントが必要である道路インフラに着目する。わが国では道路施設を対象としたメンテナンスサイクルの実装が進みつつあるが、国土強靱化や防災減災対策の重要性が増大する中で、道路自体が持つ多様な機能や価値を評価したアセットマネジメントの実施に課題が残されていると考える。

以下、3.2 では、国際規格型アセットマネジメントにおけるインフラ資産価値の考え方をロジックモデルと対応付けて考察する。3.3 では、アウトカムベースで道路アセットマネジメントを行う内外の取り組みを整理し、インフラ資産価値評価の課題を抽出する。特に、アウトカムベースのインフラ資産評価の先進国である英国、米国の事例に着目し、わが国におけるアウトカムベースのアセットマネジメントの有用性と実現可能性について考察する。3.4 では、3.3 における考察の結果に基づいて、ロジックモデルを用いた統合型資産評価のフレームワークを提案する。3.5 は研究のまとめである。本章は、インフラ資産価値を構成する財務価値と非財務価値の中で、主として非財務価値に焦点を絞り、その資産価値評価の方法論について考察するものである。もとより、非財務価値を含めたインフラの資産価値評価のあり方を考察した研究は、筆者の知る限り見られない。このため、本章では主としてインフラ資産価値評価の概念規定、インフラ資産価値評価モデルのフレームの提案、資産価値評価の実践への示唆について考察するものである。本章で提案したフレームワークに基づいた実践については、今後の課題とすることをあらかじめ断っておく。

## 3.2 インフラ資産価値の考え方と評価の課題

### 3.2.1 国際規格における資産価値評価の考え方

2014年1月に発行したアセットマネジメントの国際規格（ISO 55000シリーズ）では、アセットマネジメントを「アセットからの価値を実現するための調整された活動」と定義

している<sup>10)</sup>。そこでは、アセットの存在から社会が得る効果や影響であるアウトカムを表す「アセットからの価値」(=Value from assets)とアセット自体の価値である「アセットの価値」(=Value of assets)を区別し、「アセットからの価値」に関わる目標の達成がアセットマネジメントの目的であるとしている。ただし、「アセットからの価値」の目標に関しては「組織の目標や目的に照らして、組織が決めるもの」として、その内容や事例については言及していない<sup>10)</sup>。2018年に改訂された「アセットマネジメントのためのマネジメントシステムのガイドライン (ISO 55002 : 2018)」<sup>12)</sup>においても、アセットからの価値の実現には、アセットマネジメントの目標が組織の目標とどのように整合しているかを明確に表明すること、ライフサイクルマネジメントを利用すること、ステークホルダーのニーズを反映してアセットからの価値を明確にする意思決定のプロセスを確立することの3つが必要と明記されている。しかし、ここでも価値の内容には触れられておらず、その中身については、財務価値や非財務価値も含めて、各々の組織がその目標や計画に従って決定するものと位置づけられている<sup>12)</sup>。

国際規格に準拠してアセットマネジメントを行う場合、組織は「目標とするアセットからの価値の実現」を目指して、PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルにより継続的改善を図っていくアセットマネジメントプロセスをアウトカムベースの評価を組み込んだものとする必要がある。そこでは、アセットマネジメントシステムの範囲外の組織の目標や計画までもがアウトカムの達成の視点でフィードバックされ、必要に応じて実践プログラムの修正や変更が行われることとなる。これらの動きは図3-1に示すようにマネジメントシステムの範囲に「組織の目標と組織の計画」とのやり取りを含めることで反映されている<sup>10),12),13)</sup>。

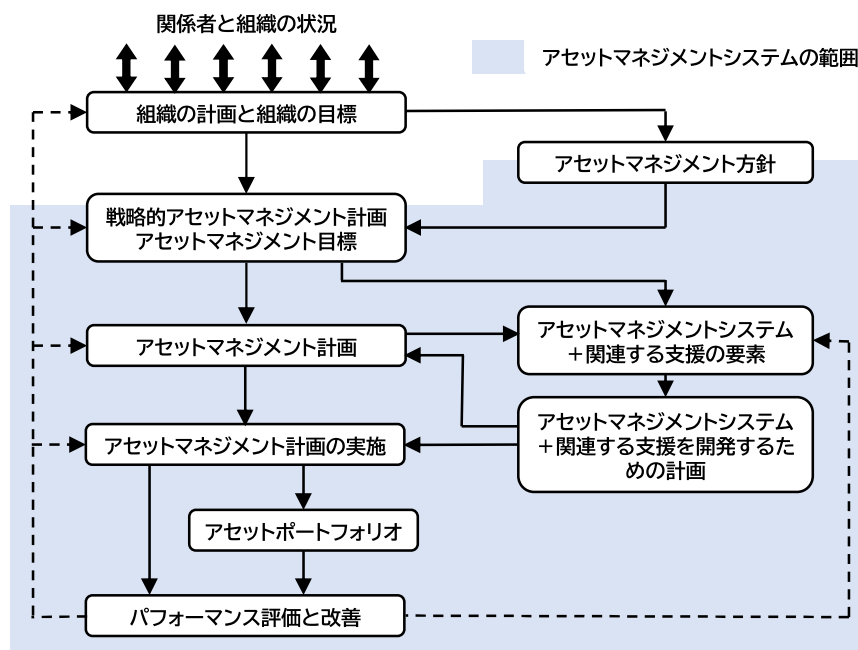


図 3-1 アセットマネジメントの枠組み<sup>10)</sup>



このとき、のちに整理されるように、アウトカム（アセットからの価値）とアウトプット（アセットの価値）の間の整合を直接的に図る方法論は確立しておらず、それらは組織の意思決定プロセスによって担保あるいは合意されるという構図となっている。すなわち、「アセットからの価値」を実現するために設定される「アセットの価値」の目標やその実現のためのプロセスが最適なものとなるかどうかについては、アウトプットである「アセットの価値」を設定する組織の意思決定プロセスが適切かどうか依存することになる。

海外に多く見られるように、実務者の転職と新規雇用による補充が常態化されているアセットマネジメント業務の雇用環境においては、アセットマネジメントの実務において現場の維持・補修業務の手順や方法が安定して運用されるようにマニュアルとして体系化されている。また、国際規格型アセットマネジメントにおいては、図 3-1 に示す手順に従いマニュアル体系をトップダウン型に継続的改善することが想定されている。しかしながら、現場における実務者個人の技能や技術を重要視する傾向が強いわが国においては、ともすればアセットマネジメントの成果が個人個人の資質の違いに依存する可能性がある。このためアセットマネジメントの実践から可能な限り属人的要素を排除したり、それらに過度に依存しないようなマネジメントの仕組みづくりの重要性が指摘されている<sup>14)・17)</sup>。日本的なアセットマネジメントのガバナンスを改善するためには、本章を通じて考察するようにトップダウン的視点とボトムアップ的視点の双方を考慮した統合的マネジメントの方法論を開発することが必要となる。

わが国でアウトカムベースのアセットマネジメントの重要性を指摘した先駆的な研究として那須らの研究<sup>18)・19)</sup>がある。そこでは、資産価値、サービス水準、コスト評価、政策評価の連携を図ることを目的としたボトムアップ的なアプローチが提案されている。これに対して、本章では、これらの連携にはトップダウンとボトムアップの両方の視点が必要であることに着目し、統合型の資産価値評価という概念の提案とそれに基づくアセットマネジメントの方法論を展開する点に新規性がある。

### 3.2.2 アセットマネジメントとロジックモデル

1970年代にアーバン・インスティテュートのJoseph S. Wholeyらによってロジックモデルが開発された<sup>20)</sup>。ロジックモデルは、組織や事業が目指す姿を実現するための道筋をインプット、アウトプット、アウトカムの矢印でつなげたツリー構造で表現し、インプットからアウトカムまでの政策の流れの仮定の連鎖（ロジック）の因果関係が妥当であるかを論理的に評価するものである<sup>21)</sup>。

図 3-2 は、ロジックモデルを用いてアセットマネジメントのインプットからアウトカムまでに至る因果関係を模式的に表した結果を示している。ロジックモデルは階層的に整理さ

れた評価体系と、組織の階層的意思決定レベルの対応関係を明示的に表現することを目的とする。組織マネジメントの意思決定のレベルをトップ（戦略的）、ミドル（管理的）、ロー（業務的）の3階層に区分<sup>22)</sup>すれば、これらの組織的階層レベルにロジックモデルのインプット、アウトプット、アウトカムに関わる意思決定（責任と権限の範囲）を対応させることができる。すでに、森ら<sup>23)</sup>や小林ら<sup>24)</sup>は道路マネジメントにおける意思決定に関わる責任と権限の範囲に着目し、マネジメントにおける戦略、戦術、実施という業務レベルと組織における階層レベルの対応関係について考察している。

このような階層的な組織による業務体制に対して、ロジックモデルを用いてインプット、アウトプット、アウトカムの意思決定項目やそれに関わる様々なインフラの価値に関わる評価内容と対応付けて整理することができる。例えば、坂井ら<sup>25)</sup>は、道路会社における道路アセットマネジメントの業務体系を、図3-3に示すようなロジックモデルとして整理している。なお、このようにロジックモデルは、組織のアセットマネジメントにおける階層的な意思決定プロセスの見える化を図るツールであるが、モデル作成における透明性と説明性を確保するためには、1)判断根拠が明確であること、2)判断支援情報に説明性があること、3)プロセスが確立し安定していること、4)プロセスの構成要素の水準が明確かつ適正であること、などが必要である。

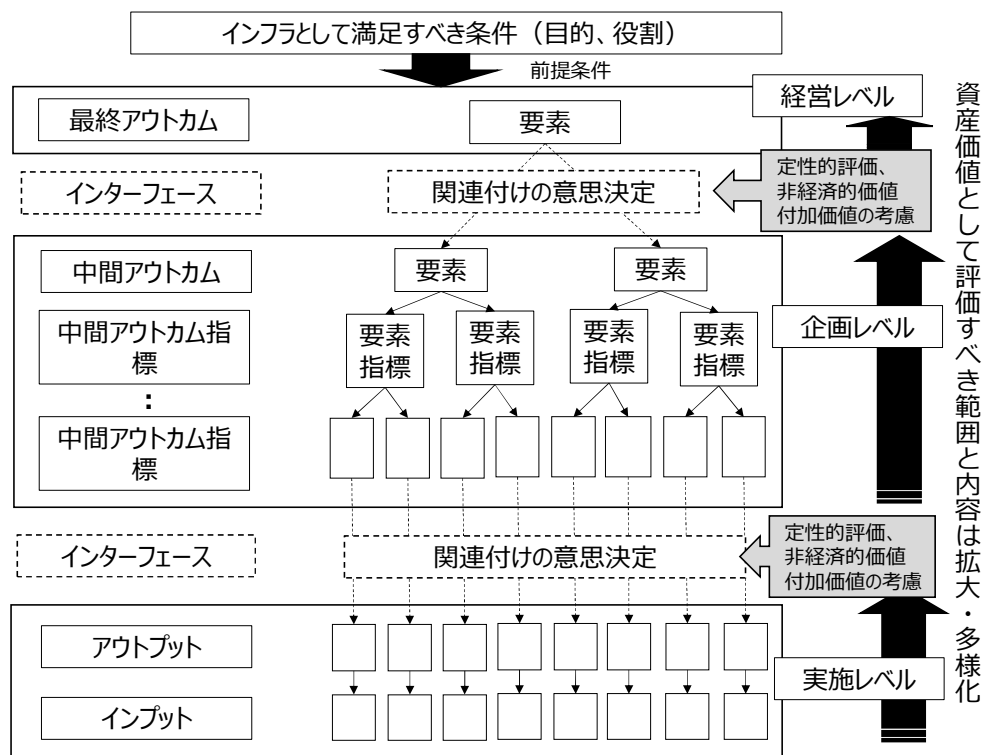


図 3-2 ロジックモデルとその役割

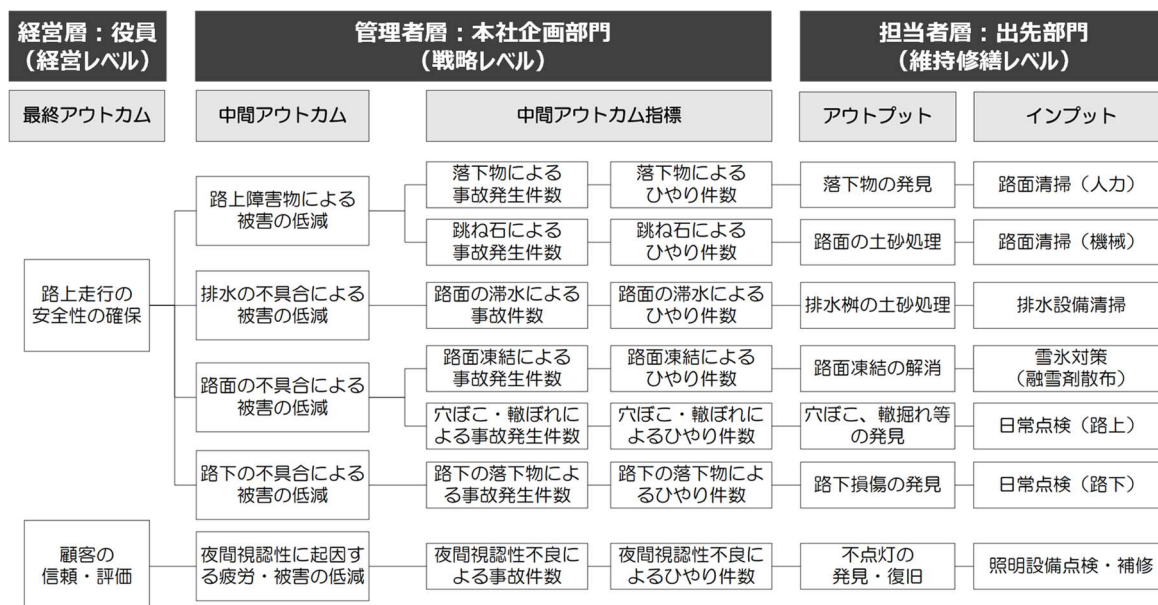


図 3-3 ロジックモデルの事例：対応する組織層を文献<sup>25)</sup>に基づき筆者が付記

上記のように、ロジックモデルの効用は、ロジックモデルを作成するという行為を通じて、組織における階層的・部門別の意思決定のレベルと、それぞれのレベルにおける意思決定に判断根拠、その支援情報を明確にできる点にある。さらに、ロジックモデルのそれぞれの意思決定レベルにおける達成水準を吟味することにより、ロジックモデルで表現される業務体系を継続的に改善するという役割を備えさせることができる。那須ら<sup>19)</sup>も指摘するように、アセットからの価値を実現するためのアセットマネジメントにおいて、目標としてのアウトカムに対して、資源の活用方法や事業、サービス、施策等のアウトプットがどのように関係し、貢献するかを論理的に表すとともに、目標に対する達成度評価、パフォーマンス評価のツールとして、ロジックモデルは重要な役割を果たしうる。なお、このようにロジックモデルは、組織のアセットマネジメントにおける階層的な意思決定プロセスの見える化を図るツールであるが、モデル作成における透明性と説明性を確保するためには、1)判断根拠が明確であること、2)判断支援情報に説明性があること、3)プロセスが確立し安定していること、4)プロセスの構成要素の水準が明確かつ適正であること、などが必要である。

米国では、1993年に政府業績成果法（GPRA: Government Performance and Results Act of 1993）が成立し、連邦政府の各機関が5年以上の期間をカバーする戦略計画書（Strategic Plan）と年次業績計画書（Annual Performance Plan）の策定が求められることになった<sup>26)</sup>。各機関は設定した目標の達成状況を業績測定により定期的にフォローアップする手法を導入し、全体目標、業績目標、業績指標をそれぞれアウトカム、アウトプット、インプットとしてロジックモデルを構築する方法を採用した。道路分野においても、パフォーマンスメジャーメントをテーマとした国際会議の中でロジックモデルの

活用に関する研究報告が多くなされている<sup>27)</sup>。

わが国において道路インフラのアセットマネジメントにロジックモデルを適用した事例研究としては、「阪神高速ロジックモデル (HELM)」の例がある<sup>28)</sup>。ここでは、図3-3に示すように、最終アウトカム、中間アウトカム、中間アウトカム指標、アウトプット、インプットで構成される樹形図を提案している。ここで着目すべきは「路上走行の安全性確保」という最終アウトカムの実現に向けた具体的な定量的な達成目標として、「走行速度超過車両の削減」などの中間アウトカムなどが設定されているが、限定列挙されたこれらの中間アウトカムだけでは、「路上走行の安全性確保」という最終アウトカムを全て表現できていないという点である。さらに中間アウトカムの達成を監視する中間アウトカム指標も「落下物による事故発生件数」などの計測可能なものが挙げられているが、それらだけで「路上障害物による障害の低減」という中間アウトカムの全てが計測されるわけではない。このように、ロジックモデルは各段階の因果関係を必ずしも相互に必要な条件で整理できるわけではなく、マネジメントの実践において何に着目し、かつその進捗や達成をどう図るのかというマネジメント主体の意思が反映された意図的なものとならざるを得ない。

このことは、HELM固有の問題ではなく、いかにロジックモデルの精緻化を図ったとしても、ロジックモデルを意思決定に関わる全ての要素を過不足なく網羅したものとするのは不可能である。そのため、マネジメントの実施主体が、管理するインフラの特性や状況、組織を取り巻く環境を踏まえて、アウトカムの実現に妥当と考えるロジックモデルの案を作成し、その妥当性やそれによるマネジメントの実施の可否は別途何らかの方法で意思決定されなければならない。すなわち、アウトカムベースのアセットマネジメントの実施では、必ずしも一致させることができないアウトカムとアウトプットあるいはアウトカムとアウトカム指標とをロジックモデルの中でどのように関係づけるのかなど、最終アウトカムの目標実現を左右するロジックモデル全体の適切性を判断する意思決定プロセスそのものをマネジメントの一環として捉え、マネジメントプロセスの中を含めなければならないことになる。

### 3.2.3 インフラ資産価値評価とロジックモデル

アウトカムベースのアセットマネジメントでは、以下の4つの構成要素のうち、以下の① - ④の関係を、ロジックモデルで表現することになる。

- ① インフラの物理的状態・維持管理行為 (インプット)
- ② インフラの物理的機能・性能 (アウトプット)
- ③ インフラが生み出す直接的便益・成果 (狭義のアウトカム)
- ④ インフラの存在がもたらす社会的影響や効果 (広義のアウトカム)

その際、①は実務上の管理指標として定量的かつ具体的に検証可能である。②はマネジメントの実践におけるモニタリングや点検業務を通じて把握される情報によってある程度の信頼性で推定や評価が可能である。すでに多くの研究成果により、数多くのアウトプットの計量化手法が提案されており<sup>29)・31)</sup>、①と②の因果関係の分析はかなりの程度実施できるようになった。③に関しては、費用対効果分析や間接便益の評価手法を用いて限定的な範囲ではあるが、定量的に評価することは可能である<sup>32)</sup>。ただし、インフラが生み出す便益や成果の広さゆえに②よりもさらに具体性と検証性に乏しく方法論も未確立である。いずれにしても、完全なロジックモデルを作成することは不可能であり、各ステップの評価方法とステップ間の因果関係の関係づけには課題が残る。

一方で、④と③、さらには③と②の間に解消困難な情報ギャップが存在する。インフラが持つ公共性と一般性、ステークホルダーの広さなどからくるインフラの社会的価値の多様性を反映して、インフラの社会的価値を表す広義のアウトカム④を有限個の狭義のアウトカム③を用いて網羅できるものではなく、社会的価値の実現について全てを具体的に検証することは不可能である。したがって、組織は④と③の関係をできるだけ見える化し、それらの扱いについてステークホルダーとの合意形成を図る努力が必要である。その一方で、組織は技術的な因果関係に基づいて①と②の関係を検証すると同時に、狭義のアウトカム③を達成するためにアウトプット②が必要十分であることを継続的に検証することが求められる。

結局、従来の資産価値評価の方法でインフラの役割や機能から得られる価値を評価できないのは、インフラが生み出す収益やインフラの性能などはインフラの「アウトプット」としての価値であり、インフラから得られる価値（＝インフラの「アウトカム」としての価値）との対応関係の全てを表現できるわけではないことに起因している。すなわち、政策目標からインフラに求められる役割や機能をトップダウン的に定め、そこから得られる価値を評価する行為とインフラが生み出す収益やインフラの性能発揮に必要な費用などからボトムアップ的に価値を評価する行為は、ともにインフラの資産価値を評価していることに相違ないが、両者を近づけることはできても対応関係を全ては表現できず、その間には埋め切れない情報ギャップが存在することになる。

インフラの資産価値評価にあたっては、この情報ギャップの存在を認めた上で、それを埋めていくための方法を見出していくこと、情報ギャップがどこに存在してどの範囲を対象に資産価値評価を行うのかを明確にすることが必要である。それにより、アウトカムとアウトプットが整合したアセットマネジメントの実施（＝ISO 55000シリーズがアセットマネジメントの柱として位置づける「Line of Sight」の実装＝組織の目標から現場の実務まで整合したアセットマネジメントの実施）に近づけることが可能となる。

国際規格の規定に従って、アセットからの価値の実現を組織の目標に掲げ、アウトカムベースでインフラのアセットマネジメントに取り組む動きは海外で見られる。また、国

内においても、国際規格の発行以前に、アウトカムを用いて道路アセットマネジメントを行った例もある。次節では、英国、米国、日本の道路を対象にアウトカムベースでの評価を含めてアセットマネジメントを捉えた場合に、アウトカム、アウトプット、インプットの関係性がどのような構図で評価され、意思決定に反映されているのかに着目し、各々のマネジメント体系の整理からその課題の抽出を試みる。

### 3.3 アウトカムベースのアセットマネジメント事例

#### 3.3.1 英国の事例 ～Highways England～

##### a) マネジメントの体制

英国では、英国イングランド地域の幹線道路を管理・運営するための組織として、2015年にHighways Agencyから公社として分離したHighways England（現National Highways,以下「HE」という。）が設置された。HEは公社として経営の一定の独立性を有している。そして、HEをモニタリングする第三者機関が指名され、現在はORR（Office of Rails and Roads）という組織がNetwork Rail等の英国の幹線鉄道に加え、幹線道路の管理・運営のモニタリングを行っている<sup>33)</sup>。

##### b) マネジメントの仕組み

公社として独立性を有するHEは、マネジメント対象となる幹線道路についての5か年の管理・運営の方針と戦略、具体的な計画と実施プロジェクトおよびその予算を作成し、政府機関である英国交通省の承認を得ることとなっている。承認にあたっては、指定された第三者機関であるORRのレビューを経ることとされており、国の幹線道路の最終アウトカムに責任を持つ英国交通省から、それを実現するためのアウトプットの実現をHEに委任し、その適切性について第三者機関のチェックを経たものとして、英国交通省が国の方針として意思決定するという構図と捉えることができる。

また、計画をレビューする第三者機関であるORRは、毎年管理・運営の状況とその成果のモニタリングを実施し、その結果や改善点がHEにフィードバックされる仕組みとなっている。2020年の公開資料<sup>34)</sup>によると、これらの仕組みは概ね次のようになっており、英国交通省、ORR、HEの各々の責務と役割は、「Infrastructure Act 2015」<sup>35)</sup>に規定されている。

- 国際規格（ISO55000シリーズ）に準拠したマネジメントの実施を基本方針とする。
- HEとしての組織目標が、複数のアウトカム目標として定義され、それらのアウトカムの達成度を、それぞれのアウトカムに対応付けて設定されるKPI（Key Performance Index）とPI（Performance Index）により評価される。

- KPIとPIの達成度は、ORRによって毎年評価され、マネジメントの改善点がHEにフィードバックされるとともに、ORRとHEの協議によってアウトカム目標、それを計測するKPIおよびPIは5か年ごとに見直される。（例えば、2015年～2020年の5年間は8つで構成されていたアウトカム目標を2020年～2025年は6つのアウトカム目標に整理・集約された）<sup>36)</sup>

### c) マネジメントにおけるアウトカムの反映

アウトカムに対するKPIやPIの設定や達成度評価の内容はORRとHEが作成して両者の合意事項として運用される「Operation Metrics Manual」<sup>36),37)</sup>という評価マニュアルによって定められており、KPIとPIの内容や計測の仕方、留意点、リスクに対する配慮なども説明されている。表3-1は、「Operation Metrics Manual」に記載されているHEの組織目標、8つのアウトカム、アウトカムを達成するためのKPIに関する記述を（原文のニュアンスを伝えるために）英文のまま整理したものである。例えば、「Keeping the Network in Good Condition」（ネットワークを良好な状態に保つ）というアウトカムでは維持修繕に必要な調査を求めない舗装が95%以上というKPIが定められている。維持修繕に必要な調査の要否はHighways Englandが定める舗装の点検基準に定められており、道路の状態（わだち掘れ、平坦性等）から導き出される仕組みとなっている。また、「Improving user satisfaction」（利用者満足度の向上）というアウトカムでは年間利用者満足度90%というKPIを、「Achieving real efficiency」（真の効率化達成）というアウトカムでは5年間の投資的費用削減額計約12億ポンドというKPIをそれぞれ定めている。このように、組織目標を達成するための8つのアウトカムに対して、舗装のような技術基準の達成、利用者満足度調査のような利用者の声の反映、投資的費用削減のようなHEのコスト削減計画といった根拠となる指標やアウトカムとの整合のレベルも異なるKPIで各アウトカムとの対応付けが行われている。

表 3-1 HEの組織目標・アウトカム・アウトプット

組織目標	アウトカム	アウトプット (KPI : Key Performance Index)
Better Roads for Users	Making the network safer	• The number of KSIs (Killed and Seriously Injured) casualties on the SRN (Strategic Road Network)
	Improving user satisfaction	• The percentage of NRUSS (National Road Users' Satisfaction Survey) respondents who are Very or Fairly Satisfied
	Supporting the smooth flow of traffic	• The percentage of the SRN available to traffic • The percentage of motorway incidents cleared within one hour
	Encouraging economic growth	• Average delay (time lost per vehicle per mile)
	Delivering better environmental outcomes	• Number of Noise Important Areas mitigated • Delivery of improved biodiversity, as set out in Highways England's Biodiversity Action Plan
	Helping cyclists, walkers, and other vulnerable users of the Network	• The number of new and upgraded crossings
	Achieving real efficiency	• Savings on capital expenditure • Delivery Plan Progress: progress of work, relative to forecasts set out in the Delivery Plan, and annual updates to that Plan, and expectations at the start of RP (Road Period) 1
	Keeping the Network in good condition	• The percentage of pavement asset that does not require further investigation for possible maintenance

#### d) 課題と対応

3.3.1.c)で示したように、国としての最終アウトカムの達成は、実施を担う独立組織である公社とそれを監視する第三者機関に委ねられ、そこでは、国に承認されたものとして最終アウトカムに対応するアウトカム目標が設定されると同時に、それを具体的に計測できる定量的指標も設定されている。しかし例えば、「ネットワークを良好な状態に保つ」というアウトカムには舗装の状態というアウトプットと関係づけられているが、ネットワークの状態は舗装だけでなく、例えば走行に支障を及ぼすような橋梁の劣化状況や災害時に崩壊によってネットワークを遮断する可能性のある盛土法面の状態などにも依存するなど、そこで設定されるアウトカムと計測されるアウトプットでは内容的にも一致していないことは明らかであり情報ギャップが存在している。

そして、インフラマネジメントの実践の前提となるそれらの不可避な情報ギャップに対する合意と監視および見直しが、英国交通省、ORR、HEというマネジメントの意思決定を担う3者で定期的に行われる仕組みとなっている。このように、国全体としてのアウトカムの具体の実現方法が、公社であるHEとORRに大きく委ねられる一方で、その実施内容は、そこで運用される詳細なマニュアルの存在と定期的なチェック制度によってきめ細かく、かつ一定の透明性と説明性が担保された形で制御されている。

### 3.3.2 米国の事例 ～連邦道路庁と州交通省～

#### a) マネジメントの体制

米国では、連邦道路庁（FHWA：Federal Highways Administration）は基本的に道路を保有しておらず、管理は各州が行っている。ただし全米の幹線道路ネットワークを構成する州間幹線道路（Interstate Highways）については、その整備・管理運営に関する方針を国の方針として連邦道路庁が決定し、各州の交通省（DOT：Department of Transport）がその実務を担うという関係である。また、道路管理者で構成される公益団体であるAASHTO（American Association of State Highway Transportation Officials）が道路の管理・運営のための基準類やガイドラインを作成して公表しているが、インフラの整備や管理で実際に強制力をもって実務に適用される基準等は、内容的にこれらに整合しているものの各州の責任で定める設計基準や手引きである場合が多い。ただし、橋梁点検員の技術者資格は連邦が定める資格であるなど、分野や内容によって連邦と州の関係には様々なパターンがある。

#### b) マネジメントの仕組み

幹線道路を対象としたアセットマネジメントについては、AASHTOより、道路インフラの運営、管理、機能向上等をライフサイクルにわたって効果的に行うための戦略的かつ体系的プロセスを示したTAM（Transportation Asset Management）ガイド<sup>38)</sup>、<sup>39)</sup>が提供さ



れており、各州交通省は、TAMガイドに則って、道路のアセットマネジメントの具体的方法を定めて実行している。TAMガイドは、従来の短期的な視点によるメンテナンス中心のマネジメントではなく長期的な視点でかつインフラのパフォーマンスのみならず、それが関わるリスクをもマネジメントにおいて考慮するというアウトカムベースのマネジメントを指向していることが特徴である。ガイドには、政策重視（Policy Driven）、パフォーマンスベース（Performance Based）、リスクベース（Risk Based）というTAMの原則が明記されている。そして米国の場合、国としての最上位のアウトカム目標については、今後数年間の陸上交通分野の施策と予算を定める「授権法」と呼ばれる法律によって定められていると解釈でき、2012年7月に定められた「MAP-21（Moving Ahead for Progress in the 21st Century）」<sup>40)</sup>はその1つである。

なお、TAMガイドは、様々なフレームワーク、モデル、ガイダンス文書なども参照して作成されたとされ、その中には、アセットマネジメントの国際規格（ISO55000 シリーズ）やそれに関連する海外組織（IAM：Institute of Asset Management（英）、IPWEA（Institute of Public Works Engineering Australasia）（豪））の文書も含まれており、TAMガイドがアセットマネジメントの国際規格への準拠も意図して作成されていることが伺える。

### c) マネジメントにおけるアウトカムの反映

MAP-21では連邦の目標を達成するためにパフォーマンスとアウトカムをベースとした計画が策定されている。具体的には、連邦の7つの目標（Safety, Infrastructure Condition, Congestion reduction, System reliability, Freight movement and economic vitality, Environmental sustainability, Reduced project delivery delays）に対して、パフォーマンスの測定対象を定め、舗装や橋梁の状態に関する閾値等をアウトプットとして定めることを州交通省に求めている。各州交通省が、TAMガイドに従って州間幹線道路の管理・運営を行うことにより、連邦が示すアウトカムに対応した形で各州のアウトカムが設定され、連邦が提示するガイドラインに沿う形でアウトカム指標やアウトプットの目標が各州の責任で具体的に定められ、実行されるという構図である。

例えば、カンザス州交通省のTAMP（Transportation Asset Management Plan）<sup>41)</sup>は、表3-2の下段に示す6つのアセットマネジメントの目標（財政制約の中で維持管理費用を最小化しつつ便益を最大化すること等）を定め、連邦の7つの目標と関係づけている。表3-2の左2列はその相互関係をTAMPの記載から原文のまま抽出しており、表3-2の右端列は、連邦の7つの目標をTAMPでどのように達成するかに関する記述の部分を一括整理している。ここでは、州の目標は連邦の目標と相互関係は認められるものの、連邦の目標、カンザス州のアセットマネジメント目標とTAMPを結びつけるロジックが十分に説明されておらず、それらが必要十分な関係になっているようには見えないこと、連邦の目標に対して

設定される州の行動計画や目標設定は、州に任意性があり、州が独自にその意思決定プロセスによって決定されるものであることがわかる。

表 3-2 連邦の目標と州の目標の関係例

連邦の目標項目	カンザス州のアセットマネジメント目標						カンザス州のTAMPとの関係 (TAMPは州が独自に作成)
	①	②	③	④	⑤	⑥	
Safety	●	●	●		●		KDOT's TAMP includes a risk management plan that identifies risks (including safety risks) and proposes mitigation action.
Infrastructure Condition,	●	●	●	●	●		Maintaining and improving the condition of pavements and bridges are key elements of the KDOT's TAMP.
Congestion reduction	●		●		●		KDOT's data-driven investment decisions to improve existing highways and bridges are intended to maximize asset performance including road network availability and reliable travel times.
System reliability	●		●		●		
Freight movement and economic vitality	●	●	●			●	Maintaining highways and bridges at performance target levels strengthens the Kansas highway network and supports Kansas economic development.
Environmental sustainability	●	●			●		KDOT's TAMP includes life cycle strategies to optimize maintenance work in the highway network, reducing impacts to natural and historic resources.
Reduced project delivery delays				●	●	●	KDOT's TAMP documents effective asset management processes to support asset-related planning and project delivery.
<p>【カンザス州のアセットマネジメント目標：州が独自に設定】</p> <p>① Maximize benefits while minimizing costs of asset preservation investments, based on existing funding availability.</p> <p>② Enhance investment decision making and programming with risk management principles.</p> <p>③ Meet or exceed minimum performance standards and the long-term state of good repair for bridge and pavement assets, with adequate funding.</p> <p>④ Enhance the culture of asset management and preservation for Kansas roads and bridges by developing resource capacity and institutionalizing roles and responsibilities.</p> <p>⑤ Foster transparency and communication of asset management benefits, including tracking and reporting asset performance, financial sustainability, and risk profile.</p> <p>⑥ Support business continuity and succession planning by documenting effective asset management processes and by promoting knowledge transfer</p>							

#### d) 課題と対応

カンザス州交通省では、連邦政府が示すアウトカム目標との関係において具体的アウトカム目標を設定し、その達成のためのアセットマネジメントを行うにあたって、国際規格のISO31000 (Risk Management – Guidelines)<sup>42)</sup>に示されるリスクマネジメントの方法論を参考としたプロセス（状況の把握→認識→分析→評価→管理）を導入している。リスクマネジメントは、目標に対する不確実性を小さくするために行われる方法論であり、目標達成に向けて全ての個別の対策を組み合わせることができない場合には、具体的マネジメントの中で扱う範囲を特定した上で、不確実性をできるだけ小さくするような意思決定が行われる。全てを具体的に反映できないアウトカムに対して、マネジメントで目標とするアウトカムを定め、それを得るための意思決定を合理化するアセットマネジメントの方法と共通する部分が多いため、リスクマネジメントの方法論が導入されたと考えられる。

カンザス州交通省は、リスクマネジメントのレベルを組織、計画、プロジェクト、活

動の各々について定めること、リスクのカテゴリーをアセットのパフォーマンス、安全、運営、財務、労働力などに区分すること、リスクのスコアをそのカテゴリーごとの発生の可能性と大きさのマトリクスで評価することなどを盛り込んでいる。また、連邦の方針に準拠したアセットマネジメントの実施において、カンザス州交通省は、Steering Committee, Asset Management Working Group, Project Management Team, Coordinating Committee からなる横断組織を設けた上で、Steering Committeeは省の良好なアセットマネジメントの実施に責任を持ち、省外関係者を含むAsset Management Working Group, Project Management Team, Coordinating CommitteeがSteering Committee をサポートしながら、Steering Committeeが定めたアセットマネジメントの方針やリスクマネジメントの枠組みに従って、州交通省のアセットマネジメント業務をモニタリングし、改善を促しながらアウトカムの達成を目指している<sup>41)</sup>。

このように、米国では連邦がアウトカムの計測方針をガイドラインなどで提示する一方で、アセットマネジメントの実践そのものについては、アウトカムの設定から実施方策、チェックの方法まで各州が独立して実施している。その方法は様々であり、連邦政府や全米横断的な組織であるAASHTOとのコミュニケーションを通じた調整も州それぞれで行われている。道路を保有・管理しない連邦道路庁が政策形成と予算配分を行い、各州交通省はその予算を活用して道路管理を実行する。道路管理の実務は各州に委ねられ、連邦による直接のチェックは行われない構図であり、国として目指す最終アウトカムである連邦の目標達成における実施プログラムの最適化などの制御には一定の限界がある可能性も考えられる。

### 3.3.3 日本の事例 ～国土交通省道路局～

#### a) マネジメントの体制

日本の国道（国管理）の維持管理は、国土交通省道路局が定めた全国統一の基準を踏まえて、全国の各地方整備局管内の国道事務所や河川国道事務所、および維持出張所が実務を担っている。

#### b) マネジメントの仕組み

日本の道路のアウトカムベースの政策実施については、行政部門の効率化を図ることを目的として、1980年代に米国や英国で導入された「ニュー・パブリック・マネジメント（NPM）」の取り組みを参考に、2003年度に国土交通省道路局が開始した「成果志向の道路行政マネジメント」の仕組みに端緒を見ることができ<sup>43)</sup>。NPMは政策目標をその成果であるアウトカム指標を用いて設定し、業績を毎年度、分析・評価して次年度以降の施策に反映する仕組みである<sup>44)</sup>。

国土交通省道路局は、国民の視点に立ち、効果的、効率的かつ透明性の高い道路行政へと転換を図るため、成果志向の道路行政マネジメントを「国民にとっての成果を重視する成果志向の考え方を組織全体の基本と位置づけ、アウトカム指標を用いた業績評価の手法を中心に、政策の評価システムを核とする新たな道路行政運営の仕組み」と定め、道路分野の各政策の成果目標（アウトカム）を達成度で計測し、その結果を公表するとともに、結果を踏まえた見直しを次年度以降に実施していく仕組みを取り入れた。毎年度の目標は「業績計画書」として、また結果は「達成度報告書」としてまとめられ、2003年度から2007年度までの内容が公表されている<sup>45)</sup>。また、国民との協働による道路行政の推進を掲げ、企業が株主や投資家に財務状況など投資の判断に必要な情報を提供していく活動であるIR（Investor Relations）を道路行政に適用した「道路IR」という取り組みも導入されている<sup>46)</sup>。

### c) マネジメントにおけるアウトカムの反映

この新たな道路行政マネジメントの仕組みの中で、道路アセットマネジメントについては、道路法<sup>47)</sup>に定められる「公共の福祉を増進（第一条）」「安全かつ円滑な交通を確保（第二十九条）」「一般交通に支障を及ぼさない（第四十二条）」などのアウトカムを実現するために政省令や技術基準類が定められ、実行に移されている。しかし、道路行政の実務の中で実際に計測されるアウトカムあるいはアウトプットとしては、道路統計年報などで公表される道路規格や種類ごとの延長といった量的指標や、法定の定期点検から得られる構造物の健全性の診断結果などに限られているのが実態である。

地方公共団体や道路会社が管理する道路インフラについても、道路や道路構造物の状態や発揮が期待される性能の評価は国に準じており、少なくとも英国や米国のような、きめ細かいアウトカムやアウトプット（構造物等のパフォーマンスと関連付けられた指標（PI）など）は法令などで定められているわけではなく確立していない。

また、各管理者によってアウトカムに対する実施目標や達成度の評価の方法や枠組みも異なっており、全国統一的に体系だったものではなく、各管理者が定める中長期の道路計画と毎年度の予算制度の運用の中でチェックや見直しが行われるという枠組みが中心的な役割を果たしている。このような状況もあって、道路インフラの国レベルのアウトカムから実施レベルのアウトカム目標あるいはアウトプットとの関係性についても統一的な評価やチェック体制はいまのところ存在しておらず、アウトカムとアウトプットの情報ギャップの存在は明白であるが、その実態は明らかでない。また、アウトカムベースの評価体系であるトップダウン型のマネジメントの体系が制度的あるいは内容的に未成熟であることから、主に実際の構造物等の状態やパフォーマンスに着目したメンテナンスマネジメントに重心があるボトムアップ型のマネジメントに偏重している傾向があるといえる。

#### d) 課題と対応

成果志向の道路行政マネジメントは、2007年度以降は業績計画書と達成度報告書の作成も含めて特に実施されていないが、道路行政における政策評価の取り組みは2002年度頃から継続して実施されている<sup>48)</sup>。政策評価全般については、総務省がEBPM（エビデンスに基づく政策立案）の実装をロジックモデルの活用により進める<sup>49)</sup>一方で、内閣府は社会的インパクト評価の促進に向け、ロジックモデルの作成例を示しつつ、ロジックモデルに基づくEBPMを行政全体に拡大する取り組みを進めている。また内閣府は、ロジックモデルは「もしこうならば、こうなるであろう」という仮説に基づき作成されるものであって、実施の段階で関係者が協議により改変していくプロセスが必須であることも明示している。さらに陥りやすい誤りとして「評価する成果が1つのみであるなど、評価項目に偏りが生じている」ことも挙げている<sup>50)</sup>。

### 3.4 統合型資産価値評価とアセットマネジメント

#### 3.4.1 アセットマネジメント業務の構造

アセットマネジメントの業務システムは、図3-4の下段に示すような多階層構造を有している。図中の小さいPDCA（Plan-Do-Check-Act）サイクルほど、短い期間で回転するサイクルに対応している。最も外側のサイクルでは、長期的な視点からインフラ群のサービス水準やそのための長期的な予算水準を決定することが課題となる。アウトカムベースのアセットマネジメントでは、このような長期的マネジメントサイクルでは、組織のアウトカムの達成を目指したアセットマネジメントの目標設定と予算水準に関する組織的決定が行われる。中位のサイクルでは、新たに得られたモニタリング結果等に基づいて、アウトプットの達成水準が評価される。その結果に基づいて、将来5か年程度の中期的な予算計画や戦略的な補修計画が立案される。最も内側のサイクルでは、インプットレベルでの意思決定が行われる。具体的には各年度の補修予算の下で、補修箇所に優先順位を付け、補修事業を実施する。このように現場におけるマネジメントは、単年度予算の計画とそれを執行する予算管理プロセスを中心として機能している。

国際規格型アセットマネジメントは、図3-4の下段に示すようなアセットマネジメント業務システムのパフォーマンスをモニタリングし、業務システム自体を改善するようなマネジメントを目的とする。すなわち、長期・中期・短期の業務システムのアウトカム、アウトプット、インプット等のパフォーマンス評価を通じて、業務システム自体の改善を司るメタマネジメントシステムを構築することが求められる。わが国では、現場で実行される維持管理業務や予算管理プロセスは、定型化された、あるいは定型化されない数多くの

ルールや規範，手引きやマニュアル，情報システム，利用可能な資源や人的リソース，維持管理技術，契約方法や契約管理システム等で構成されている場合が少なくない．これらのマネジメントを実践するための技術の総体がアセットマネジメント技術となっている<sup>51)</sup>．国際規格型アセットマネジメントは，業務システムの実践の中で課題や問題点を発見し，それを解決するためにアセットマネジメント技術の改善を図るとともに，必要であればアセットマネジメントシステム自体を再編成できるようなマネジメントのガバナンスを確立することを要求している．

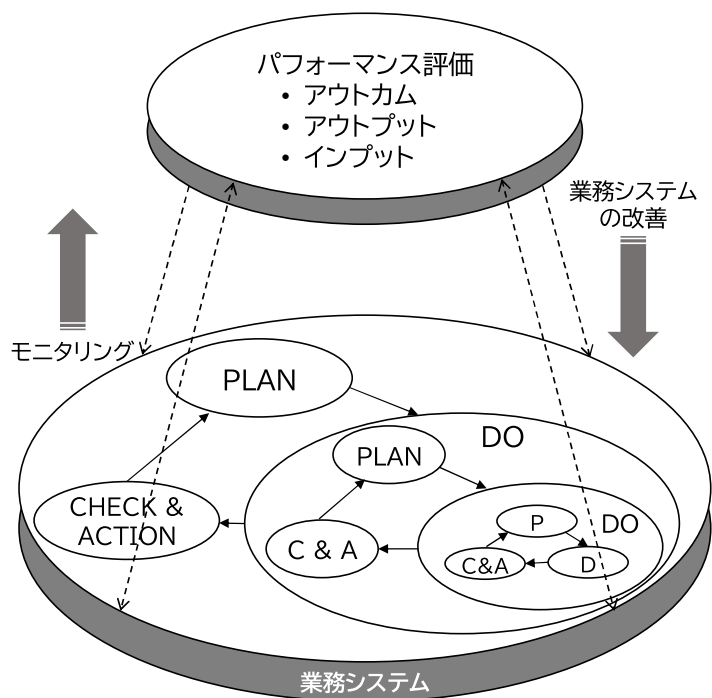


図 3-4 アセットマネジメント業務の構造

### 3.4.2 アセットマネジメントにおける内部統制

1990年代以降，米国において，「内部統制の包括的フレームワーク」，いわゆるCOSOレポートが公表され，2002年7月には米国版SOX法が制定された<sup>52)</sup>．その内容は，財務報告の信頼性のみならず，コンプライアンスや業務の効率性をも包含するものとなっており，内部統制のあり方に関して，世界のデファクトスタンダードとみなされている．一方，わが国においても2006年6月に日本版SOX法が整備された<sup>52)</sup>．内部統制の考え方は，企業が業務執行に関わる考え方やプロセスを明確化，効率化するための制度と考えられている．

アセットマネジメントでは，2019年に発行されたISO TS 55010:2019<sup>53)</sup>において，アセットからの価値を財務だけでなく非財務の側面からも評価することを求めており，アセットの資産価値を可能な限り増大させるために，アセットの財務価値だけでなく，アセットの非財務価値の増大を通じて社会的責任を果たすことが求められるようになった．インフ

ラの管理者が社会や利用者に対する説明責務等を果たしつつ、インフラの資産価値を維持向上するために、組織の内部統制が不可欠である。内部統制は、インフラ管理組織がその業務を適正かつ効率的に遂行し、組織がさらされるリスクをマネジメントするために、組織内に構築され、運用される体制及びプロセスである。

アセットマネジメントの内部統制が適切に機能するためには、アセットマネジメントに内部統制の基盤である「健全な内部統制環境」及び「円滑な情報伝達」が存在していることが必要である。内部統制環境とは、組織がアセットマネジメントの目的を達成するために、アセットマネジメントを適正かつ効率的に運営するための価値観、組織、規則等であり、組織構成員の様々な行為の基礎となる。アセットマネジメントに関わる事業活動、それらに関連する指揮監督は、この環境下で行われる<sup>51)</sup>。

アセットマネジメントを実施する組織は、分野や意思決定レベルが異なる様々な人間によって構成される集合体である。ISO55000シリーズの「情報に関する要求事項」に記載されているように、組織の構成員が必要な情報を識別、収集、処理し、かつ関係する構成員に伝達することによって、初めて組織の目標を達成するための業務を執行することができる。したがって、インフラ管理主体がアセットマネジメントを適正かつ効率的に遂行するためには、情報の識別、収集、処理及び伝達が円滑に行われることが不可欠となる。また、ISO55000シリーズは、組織の内部と外部との状況の理解を求めており、組織の中で共有されるべき情報としては、例えば点検業務やモニタリング結果など組織内で作成された情報だけでなく、組織外から得られる利用者やステークホルダーの意見、経済状況や規制等に関する情報も含まれる。伝達は、通常、確立された指示命令経路及び報告経路によって行われるが、文書によるもののほか、会議、打合せ等の口頭による情報交換等も含まれる<sup>51)</sup>。さらに、アセットマネジメントの継続的改善を図るためには、アセットのパフォーマンスとその経年的変化に関する情報を通時的に共有化するためのデータベースの体系化・整備が前提となる。また、アセットマネジメントに関わる業務システムのパフォーマンスを評価するためには、アセットマネジメントを実施するために用いるマニュアル、規則・ルールや様々な申し合わせ事項、さらには過去に実施した調査研究等の資料を体系化したような情報システムを構築することが必要となる。このような情報システムは、企業や組織が保有するアセットマネジメント技術を集大成したものにはほかならない<sup>51)</sup>。

ロジックモデルでは、アウトカムからインプットまでの政策の流れを論理的に結びつけるため、その作成は、必然的に、ともすれば散逸する可能性がある組織内の情報、データベース、組織が有する技術を、アウトカム、アウトプット、インプットというレベルに従って体系的に整理することにつながる。そしてそれをマネジメントに活用し続けることには、結果的に、インフラ資産価値の増大を目指すマネジメントの実践において、組織が有する技術・情報体系を継続的に改善していくことにも寄与することが期待される。

### 3.4.3 ロジックモデルに介在する情報ギャップと対応

アセットマネジメントの目標やアウトカムは、組織内部の意思決定のみで定義できるものではない。インフラを取り巻く社会や利用者を含む様々なステークホルダーに対する説明責任を果たし、社会的合意形成を図ることが不可欠である。そして、3.2.1で言及したように、インフラの資産価値評価には、組織がステークホルダーに実現すると約束した資産価値の達成水準をアウトカムにより評価する行為と、インプットからアウトプットに至る一連の関係によりアセットマネジメントの達成水準を評価する行為の双方が含まれる。

このとき、インフラ資産価値評価のためのアウトカム指標として、組織目標やそのパフォーマンスを包括的に説明するような総合的な内容を持つものが要求される。納税者や出資者・株主に対して財務価値を説明する際には、インフラ会計のための計量的方法も用いられるが、インフラ会計に基づく資産価値評価は、未だ成熟しているとは言い難く課題が残されているのが実情である。インフラは社会・利用者にもたらすが、それらに対するニーズは、必然的に個人や地域社会、地方公共団体などの行政組織などによって千差万別である。このために、非財務価値を定量的な指標により統一的方法で客観的・網羅的に評価することは不可能である。

他方、インフラのアウトプット（性能）としての資産価値は、その劣化状態に基づく構造物としての資産価値や構造物の状態の維持に必要な補修や補強のための費用などの財務的価値に加えて構造物が持つべき物理的性能（耐荷性能，耐震性能など）や機能的性能（健全度，防災減災への貢献，利用者快適性，環境との適合性など）といった非財務価値により評価することが可能である。さらに、これらのアウトプットは、それを実現するためのインプット（状態・行為・環境）との関係において、ある程度の確からしきで制御することができる。

一方で、上述のように、インフラの資産価値評価には、資産価値の達成水準をアウトカムにより評価する行為と、インプットからアウトプットに至る一連の関係からアセットマネジメントの達成水準を評価する行為の双方が含まれる。このように異なる論理で生み出されるアウトカム指標とアウトプット指標の間には、図3-5に示すように必然的に情報のギャップが存在し、それを埋めるための対応が必要である。ロジックモデルは、同一の論理樹木図を用いて本来情報ギャップのある両者の間に整合性と一貫性を担保するために工夫された技法であるが、当然のことながら以下のような限界が存在する。

- 包括的・総合的なアウトカム指標を、有限個の定量的なアウトプット指標に還元できない。
- ロジックモデルの内容は、組織が利用可能な資金，技術，機材・資産，データセット，人材の制約を受ける。
- ロジックモデルは、アセットマネジメントの全ての体系を網羅したものではない。



しかし、新しい技術が生まれたり、想定外のリスクや問題が発見されたり、既往の課題が達成された場合に、ロジックモデルをアウトカム指標とアウトプット指標の間の情報のギャップを小さくするように適切に修正・変更されることで、国際規格型アセットマネジメントが求める、インフラ資産価値評価のプロセスにおける、アウトカムやロジックモデルの継続的な改善は実現できる。

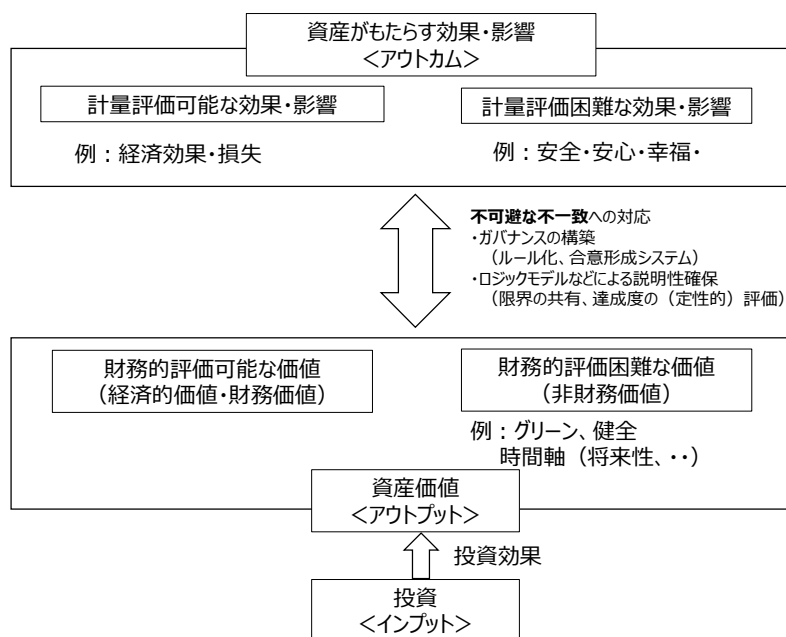


図 3-5 ロジックモデルの情報ギャップと対応

### 3.4.4 インフラ資産評価のガバナンス

3.3で考察したように、英国、米国、日本のアセットマネジメント事例のそれぞれにおいて、アウトカム、アウトプット、インプットの間には情報ギャップが存在する。3.3で取り上げた事例考察の成果を図3-6に示した。本章で取り上げた事例に基づけば、情報ギャップを克服する方法としては、関係組織による継続的改善やステークホルダーへの情報公開と合意形成、これらを含めた意思決定プロセスやガバナンスの仕組みを整えることが必要であるということが理解できる。

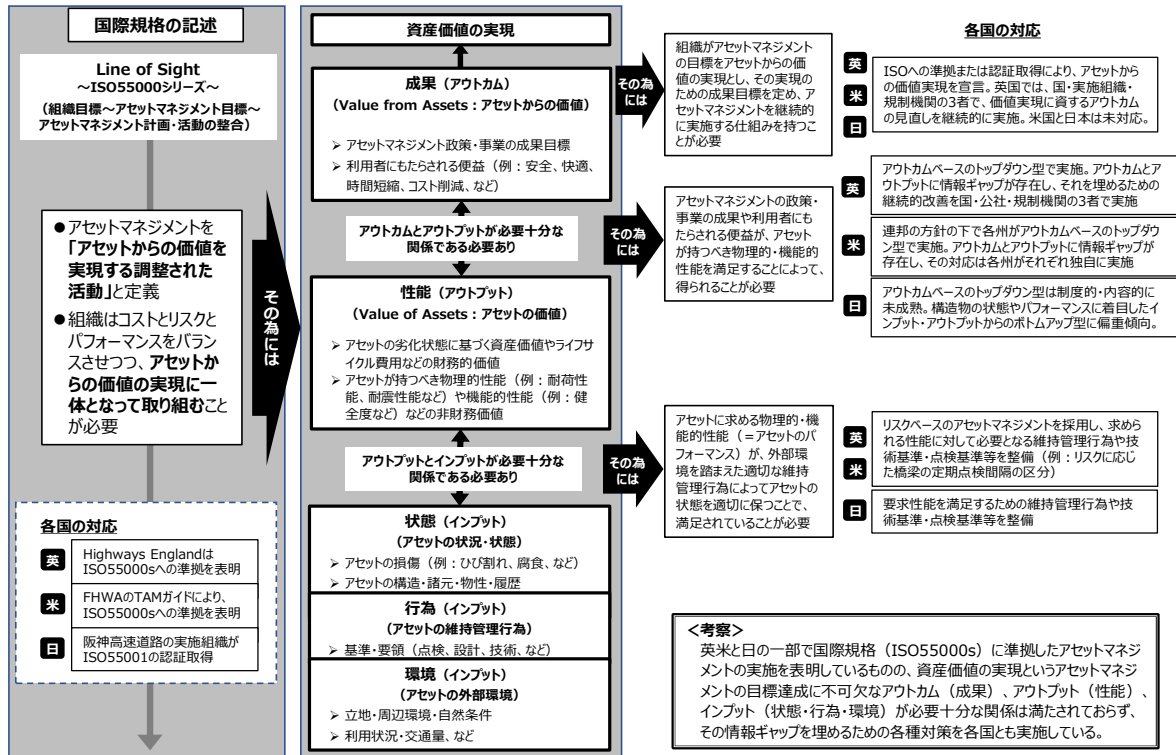


図 3-6 英国, 米国, 日本の事例比較

3.3で示した英米の事例では、アセットマネジメントシステムはアウトカムを起点として、それを実現するための目標・手段体系を表しており、アウトカムからトップダウン的にシステムが構築されている。アセットマネジメントシステムは一連のマニュアルとして集大成され、インフラ資産価値評価の結果に基づいてアセットマネジメントシステムの継続的改善が行われる。アセットマネジメントシステムの修正・更新がなされれば、それと同時にマニュアル群も更新される。

このようなマニュアルを通じた標準化というトップダウン型アセットマネジメントの方法は、IT技術の導入を容易にし、現場業務のマニュアル的効率化を達成することができる。しかし、3.4.3で言及したように、インフラが置かれている環境は多様であり、インフラ管理者の特性も多様である。アウトカムを固定的なアウトプット指標と一対一で対応させることはできない。アセットマネジメントにおける評価の着眼やそこで考慮される資産価値の内容（時間軸、潜在的価値など）が多様であるため、固定的なアウトプット指標で評価するのではなく、アセットマネジメントの実践プロセスにおける様々な意思決定の段階や内容に応じて、適切なアウトプット指標を導入することにより、より望ましいマネジメントを実現していくことが重要である。

一方、わが国では関係各位の努力により、数多くの組織がインフラのメンテナンスを実装している。インフラのパフォーマンスに関する情報の整備の程度はインフラのタイプや組織によって多様に異なっているのが実情である。組織によっては、アセットの維持補

修を何らかの形で実施した実績があり過去の点検結果や補修履歴をデータとして残している。また、老朽化したインフラに対して損傷や劣化の程度を工学的に精査し、必要な維持補修を実施している。さらに、個々の損傷、劣化現象に対する技術的な維持補修活動に関する部分的最適化に関して、一定程度の成果を収めている事例も少なくない。しかし、組織は建設年次が違うインフラや劣化・故障メカニズムが異なる多様なインフラを保有している。このため、部分的最適化だけでは、アセット全体として適切なサービス水準を維持し、組織全体としてのリスクをマネジメントすることは不可能である。

3.3.3.d)で言及したように、総務省や内閣府がロジックモデルを活用してEBPMを導入する取り組みを進める<sup>49)50)</sup>など、わが国においても、EBPMの実装を進めるツールとして、ロジックモデルの重要性が認識されるようになってきた。現時点において、わが国でロジックモデルが作成された事例は少なく、アセットマネジメントに必要な技術や情報は、組織内の担当部局にアドホックな形で分散保有されているのが現状である。また、ロジックモデルが作成された阪神高速道路の事例でも図3-3に示したとおり、アセットマネジメントに関わる意思決定の階層性に起因して、アウトカム・アウトプットの評価担当者とインプット技術の管理者・運用者が一致しないのが一般的である。この場合、評価担当者と管理者・運用者の間で、インフラ資産評価に関する明確な共通認識や共通言語が存在せず、マネジメントのモニタリング情報や改善方針に関するコミュニケーションが機能しない<sup>54)</sup>という問題が起こりえる。さらに、わが国では、多くのマネジメント技術が非定型的な形で、担当者の経験や担当部局の慣習として温存されている。したがって、アウトカム、アウトプットの評価者にとって、「何を改善すればいいのか」「どの部局がマネジメント技術に責任を持っているのか」「誰がコミュニケーションの窓口なのか」という「改善すべき対象」に関する情報を獲得するために多大なエネルギーが必要となる<sup>51)</sup>。これまで、ともすればまとまりに欠ける部分的最適化を通じて実施されてきた維持補修を組織全体としてのアセットマネジメントとして体系化し継続的に改善していかなければならない。ロジックモデルは、組織内に分散化されたアセットマネジメント技術の集約化やディレクトリーの構築を図り、継続的改善の道の手を考える上で、重要な思考のフレームを提示する1つの道具となり得る。

#### 3.4.5 統合型資産価値評価のフレームワーク

これまでの考察で明らかにしたように、アウトカムベースのアセットマネジメントにおいては、アセットマネジメントのパフォーマンスを評価する資産価値評価が重要な役割を果たす。ロジックモデルは、インフラ資産価値評価におけるアウトプットとアウトカムの整合性をチェックするための基本的なツールであるとともに、資産価値評価の結果に基づいてマネジメントシステムを継続的に改善する方針を検討するためのツールでもある。

元来、ロジックモデルは英米型のトップダウン型のマネジメントを念頭において開発された手法である。これに対して、わが国はボトムアップ型のアセットマネジメントが実施されており、インフラのモニタリングに基づいた技術的な観点から資産価値評価を行うことに優位性を有している。アウトカム評価に重点をおいたトップダウン型資産価値評価を実施することが重要となる中で、ボトムアップ型資産価値評価の優位性を保持しつつ、トップダウン型資産価値評価を取り入れた統合的なインフラ資産価値評価の方法論の開発が重要な課題となっている。以下ではロジックモデルを基本的なツールとして用いながら、ボトムアップ的視点とトップダウン的視点の両方を総合しうるような統合的資産価値評価のフレームワークを提案する。

日本のアセットマネジメントの文脈では、インフラの設計・建設に関わる情報や維持補修技術、マネジメント技術が、実践を通じて現場実務者のHands-on 技能や技術として蓄積され、技術者による専門的なモニタリングに基づいたボトムアップ型の資産価値評価が実施されてきた。このような実践のありようは、マネジメント技術が特定のコンサルタンツやプロフェッショナルに集中し、マニュアルを通じて形式知化される国際規格型マネジメントとは異なるガバナンスである。ボトムアップ型方法論は、技術的実行可能性を担保するという優位性があるが、一方でアウトプットを生成する活動がアウトカムと乖離する結果を生むという可能性を否定できない。

しかし、インフラを取り巻く環境の多様性、インフラ管理主体の特性の違い、アセットマネジメント業務に携わる技術者の創意工夫の余地等を考慮すれば、組織体ごとに様々な技術指針や仕様書、科学技術文献などの形式知化された情報や知識だけでなく、現場に蓄積された技術や技術者の知見なども可能な限り見える化することにより、アセットマネジメントの実践を通じて組織体が有するロジックモデルの継続的改善を行うことは可能であり、ボトムアップ型方法論を徒に排除するのではなく、ロジックモデルを用いてトップダウン的視点によるマネジメントを組み合わせるのが正攻法のように思える。

本章では、このように、アウトカム評価に関する組織内合意形成を通じて、組織全体に分散的に暗黙知化しているHands-on技術を現場参加型で形式知化しながら、ロジックモデルの漸次的な発展・修正を図ることができるような資産価値評価の方法を「統合的資産価値評価」と呼び、そのフレームワークを図3-7に示している。このフレームワークは、アセットマネジメントの実施において、マネジメントの意思決定や業務フローの段階間で成立するアウトカムとアウトプットの整合をロジックモデルにより確認し、課題の抽出や改善のための情報抽出とともに、ロジックモデルの継続的改善を現場参加型で行っていく構図を示したものである。

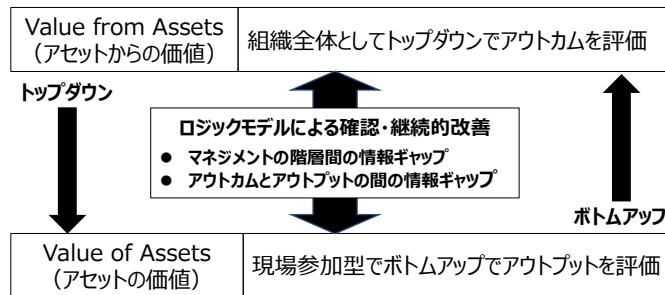


図 3-7 統合型資産価値評価のフレームワーク

ロジックモデルの作成は、決して容易なことではない。組織がアセットマネジメントの目標・手段体系を整理するためには、アセットマネジメントに関連する部署の合意を形成しなければならない。日本的組織文化では、このような組織内の合意形成は容易ではない場合が多い。ロジックモデルを作成することにより、組織内の様々な部署に分散するアセットマネジメントに関する権限や責任体系、マネジメントに関わる様々なレベルの責任者に関して、関係者の間で共有認識を持つことが可能になる。

ロジックモデルの作成にあたっては、組織内の様々な場所に分散保有されているアセットの故障や劣化状態、アセットマネジメントの実績に関わる情報やデータを、その種類や内容に着目して、ロジックモデルの因果関係に対応した適切な箇所に分類・整理することとなる。点検要領、維持補修工法、マニュアルやルール、契約等に関する書式、契約約款等々に関する情報、点検技術や劣化診断技術、劣化予測やライフサイクル費用評価等のマネジメント技術、資産価値や維持補修費用などの経済データの有無や利用可能性も整理される。分散化された組織体制の中で、アセットマネジメントがまとまりのない形で実践されている場合、技術情報や知識、マネジメント情報がバランスよく蓄積されているとは限らない。むしろ、アセットマネジメントを開始した時点では、部門間で情報が偏在している場合の方が多い。しかし、ロジックモデルの作成作業により、組織におけるアセットマネジメントの成熟度やその部門別アンバランスの実態を把握することが可能となる。

このようなロジックモデルの改善は、図3-8に示すように2つのベクトル方向に沿って実施される。1つは、組織の目標に沿って中間アウトカム、アウトカム、アウトプットをトップダウン的に展開していくプロセスである。アウトカムとアウトプットの因果関係づけや整合性の限界を、組織が置かれている経営環境、利用可能な技術や情報に基づいて明確化していく。もう1つの方向は、アセットのモニタリングや点検結果などのインプットに基づいて、アウトプット、アウトカム、中間アウトカムの評価を実施し、これらの因果関係や整合性を図りながらロジックモデルを継続的に改善するための情報をボトムアップ的に集約していくプロセスである。図3-8は図3-7のアウトカムとアウトプットの接続を組織マネジメント全体として、トップダウンとボトムアップの双方向で実現していく方法を示している。

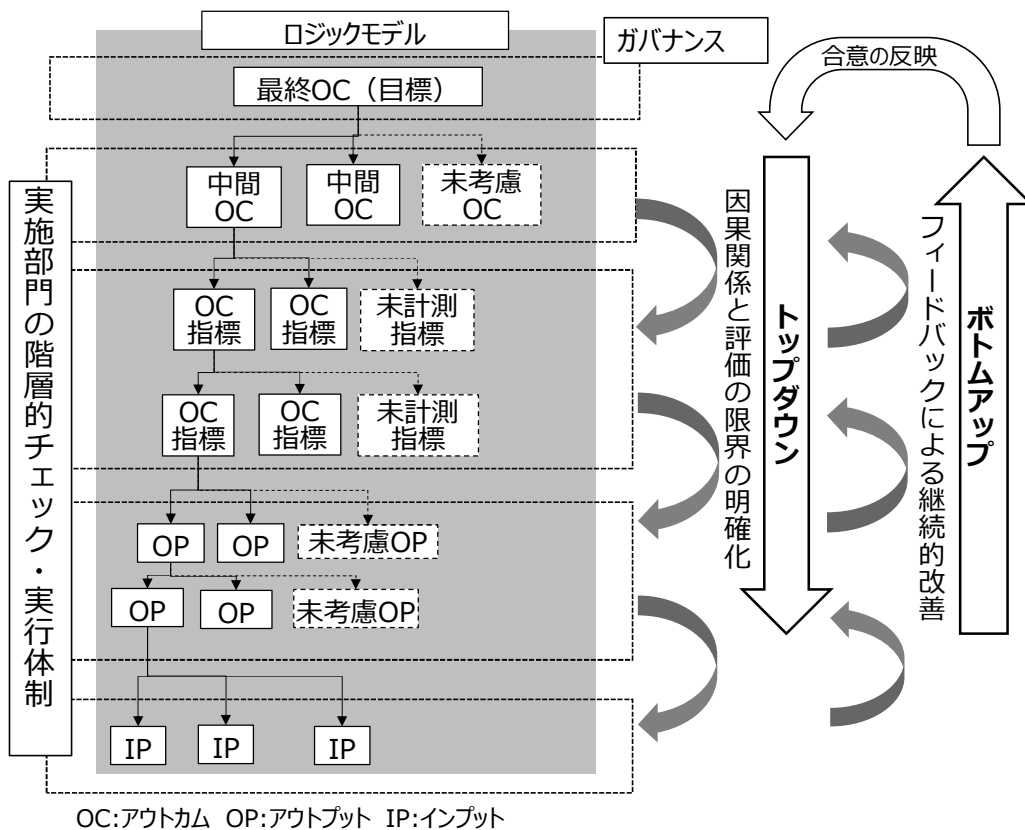


図 3-8 統合型アセットマネジメントの方法論

この際に、インフラを管理する組織体に関わるリスクの中で、インフラの維持更新費用等の財務リスクに関しては、通常管理者ではある程度整備されている予算管理システムなどを用いればその既存のルールに則って集計できる情報に基づいて判断が行えるが、インフラの劣化情報やその影響等の非財務リスクに関しては、インフラごとに現場レベルでそれぞれの技術的知見に基づいて評価されたリスク事象に対して経営判断することが必要となる場合が少なくない。後者のような場合に対しても合理的なアセットマネジメントが行えるようロジックモデルがその導入効果を有効に発揮できるためには、組織内の円滑な情報伝達を達成するように、ロジックモデルを支援する組織内の情報基盤の整備が求められることは言うまでもない。

### 3.5 おわりに

本章では、アセットマネジメントにおけるインフラの資産価値評価について、国際規格の発行を含めたアセットマネジメントの導入にかかる国際的趨勢を踏まえ、「アセットからの価値」と「アセットの価値」の両方を包含する「統合型資産価値評価」の必要性と

方向性について提案を行った。提案にあたっては、英国、米国、わが国で取り組まれているアウトカムベースの道路アセットマネジメントの実施において、インフラの外部性や社会に及ぼす影響や効果を踏まえると、アウトカム、アウトプット、インプットの連携が十分ではなく、埋め切れていない情報ギャップが存在することを明らかにした。また、そのギャップを克服するための方法として、ロジックモデルが有効に作用する可能性に言及した。

今後の課題は次のとおりである。第1に、本章で示したロジックモデルの活用はあくまで有効性と方向性の提案であり、実際の活用にあたっては各組織がアセットマネジメントの実践において、ロジックモデルを個々に構築し、継続的改善を行っていくことが必要である。第2に、「統合型資産価値評価」の実装に向けては、アウトカムからのトップダウンとアウトプットからのボトムアップの接続が不可欠であるが、インフラの外部性やインフラがもたらす影響・効果の大きさを踏まえると、トップダウンを機能させるためのガバナンスを各組織に委ねるだけでは不十分であり、何らかの社会的規制が必要である。また、ボトムアップについては、インフラの管理・運営の民間開放という流れの中、経済的規制の緩和に合わせた財務価値評価の新たな手法も開発していく必要がある。インフラのアセットマネジメントにおける社会的規制と経済的規制のあり方に関する研究も焦眉の課題である。第3に、リスクマネジメントの実施である。国際規格には、「アセットマネジメントの実施にコストとリスクとパフォーマンスのバランスが必須」との規定もあり、「統合型資産価値評価」におけるアウトカムとアウトプットの情報ギャップを埋めるための方策の1つとして、アウトプットとアウトカムの整合性を確認するプロセスをマネジメントの中に位置づけ、そのプロセスにおいて両者の不一致による影響を評価するとともにその改善を検討することを必須のルールとするなどにより、リスクマネジメントを内在させることが考えられる。両者のギャップの存在を認めた上で、それがもたらすリスクを同定し、リスクを軽減・制御するアプローチについての研究が求められる。

## 参考文献

- 1) 土木学会編：アセットマネジメント導入への挑戦，技報堂出版，2005.
- 2) 国土交通省：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方 提言，道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会，2003.
- 3) 高橋宏直，横田弘，岩波光保：港湾施設のアセットマネジメントに関する研究－構造性能の低下予測とアセットマネジメントの試行例－，国土技術政策総合研究所研究報告，第29号，2006.
- 4) 水口剛：ESG投資 新しい資本主義のかたち，日本経済新聞出版社，2017.
- 5) 財団法人企業活力研究所：企業における非財務情報の開示のあり方に関する調査研究

- 報告書（概要版），2012.
- 6) 生田孝史，藤井秀道：企業の非財務情報開示と ESG 経営に関する研究展望，環境経済・政策研究，Vol.13, No2, pp44-56, 2020.
  - 7) 市村靖：統合報告 導入ハンドブック，第一法規，2013.
  - 8) 国際統合報告評議会（IIRC）：国際統合報告<IR>フレームワーク，2021.
  - 9) 三代まり子：[改訂版] 国際統合報告フレームワークと企業価値評価におけるポイント，月刊資本市場，No.432, 2021.
  - 10) ISO55000: 2014 Asset management – Overview, Principles and Terminology, 2014.
  - 11) 国土交通省 道路局 都市局：費用便益分析マニュアル，2021.
  - 12) ISO55002: 2018 Asset Management – Guidelines for the application of ISO 55001, 2018.
  - 13) ISO55001: 2014 Asset Management – Management Systems – Requirements, 2014.
  - 14) 戸田淳仁，中馬宏之，林晋，久米功一：第4次産業革命における管理職の役割 日米比較の観点から，独立行政法人経済産業研究所，Discussion Paper Series, 17-J-062, 2017.
  - 15) 岡本浩一，鎌田晶子：個人思考の心理学－組織風土改善の社会技術，新曜社，2006.
  - 16) 谷内篤博：日本的雇用システムの特質と変容，成文堂，2008.
  - 17) 森健一：経営組織設計の日米比較，人間工学，Vol.24, No. 1, pp.17-21, 1988.
  - 18) 那須清吾：道路の資産管理と行政経営，高知工科大学紀要3巻1号，pp.65-79, 2006.
  - 19) 刈谷剛，中川善典，那須清吾：政策・施策の立案に関する方法論と行政経営システムの構築，社会技術研究論文集，Vol.5, pp.68-77, 2008.
  - 20) 佐藤徹：我が国自治体におけるロジックモデルの普及実態の分析．地域政策研究，Vol.20, No.1, pp.1-14, 2017.
  - 21) Hatry, H. P.: *Performance Measurement; Getting Results*, Urban Institute Press, 2001, 上野宏・上野真城子訳:政策評価入門 結果重視の業績測定，東洋経済新報社，2004.
  - 22) Ansoff, H. I.: *Strategic Management*, Wiley, 1979, 中村元一監訳，田中英之，青木孝一，崔大龍訳: アンゾフ戦略経営論[新訳]，2015.
  - 23) 森芳徳，秋葉正一，関健太郎：道路行政分野における今後のインフラマネジメントに関する一考察，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），Vol.73, No.4, pp.120-129, 2017.
  - 24) 小林潔司編著，中谷昌一，玉越隆史，青木一也，竹末直樹共著：実践 道路アセットマネジメント入門，コロナ社，2019.
  - 25) 坂井康人，上塚晴彦，小林潔司：ロジックモデル(HELM)に基づく高速道路維持管理業務のリスク適正化，建設マネジメント研究論文集，Vol.14, pp.125-134, 2007.
  - 26) 新日本有限責任監査法人：「アメリカの政府業績成果現代化法（GPRAMA）等の運用から見た我が国の政策評価の実施及び会計検査」に関する調査研究，平成 26 年度会計検査院委託業務報告書，2015.



- 27) Transportation Research Board of the National Academies : U.S. and International Approaches to Performance Measurement for Transportation Systems, Summary of a Conference, 2008.
- 28) 坂井康人, 西岡敬治, 西林素彦 : 阪神高速道路のアセットマネジメントシステム, 阪神高速道路株式会社 技報第 24 号, 2007.
- 29) 玉越隆史, 大久保雅憲, 七澤利明, 川間重一 : 平成 19 年道路構造物に関する基本データ集, 国土技術総合研究所資料, 第 488 号, pp.65-77, 国土技術政策総合研究所, 2008.
- 30) 大島俊之, 三上修一, 山崎智之, 丹波郁恵 : 橋梁健全度評価に用いる評価方法の検討と影響要因の解析, 土木学会論文集, No.675/I-55, pp.201-217, 2001.
- 31) 吉田武 : 道路機能の観点から舗装の維持管理ニーズを評価するための複合指標, 土木学会論文集 E1, Vol.72, No.1, pp.12-20, 2016.
- 32) 国土交通省 : 公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針 (共通編) , 2009.
- 33) Office of Rail and Road : Annual Assessment of Highways England' s Performance, April 2018-March 2019, 2019.
- 34) Office of Rail and Road : Annual Assessment of Highways England, End of Period 1, 2015-2020, 2020.
- 35) UK Public General Acts : Infrastructure Act 2015, 2015.
- 36) Highways England : Operational Metrics Manual, 2019.
- 37) Highways England : Operational Metrics Manual, 2021.
- 38) AASHTO : Transportation Asset Management Guide - A Focus on Implementation, 2011.
- 39) AASHTO : Transportation Asset Management Guide, 2020.
- 40) Federal Highways Administration : MAP-21 (Moving Ahead for Progress in the 21st Century), 2012.
- 41) The Kansas Department of Transportation (KDOT) : Transportation Asset Management Plan, 2019.
- 42) ISO31000: 2018 Risk Management – Guidelines, 2018.
- 43) 国土交通省道路局 : 道路行政マネジメント～道路行政におけるマネジメントの取り組み～, 2008.
- 44) 大住荘四郎, 上山信一, 玉村雅敏, 永田潤子 : 日本型 NPM—行政の経営改革への挑戦, ぎょうせい, 2003.
- 45) 国土交通省道路局 : 道路行政の評価 業績計画書/達成度報告書, 2008.
- 46) 国土交通省道路局企画課道路経済調査室 : 道路 IR サイトの開設について, 道路行政セミナー12月号, pp.41-44, 一般財団法人道路新産業開発機構, 2001.

- 47) 道路法令研究会 編著：改訂 5 版 道路法解説，大成出版社，2017.
- 48) 丹羽克彦：公共事業の新しい進め方 政策評価等への取り組み 道路行政における政策評価の取り組みについて，月刊建設 Vol.45，pp.12-16，一般社団法人全日本建設技術協会，2001.
- 49) 総務省行政評価局：政策効果の把握・分析手法の実証的共同研究－報告書総論 ver1.0－，2019.
- 50) 内閣府：社会的インパクト評価の普及促進に係る調査最終報告書，2017.
- 51) 小林潔司，田村敬一，藤木修：国際標準型アセットマネジメントの方法，pp.19-26，日刊建設工業新聞社／鹿島出版会，2016.
- 52) 鳥羽至英：内部統制の理論と制度，国元書房，2007.
- 53) ISO/TS55010: 2019 Asset Management - Guidance on the Alignment of Financial and Non-financial Functions in Asset Management, 2019.
- 54) Drucker, P. F.: *Management, Tasks, Responsibilities, Practice*, Harper & Row, 1973, 有賀裕子訳：マネジメントー課題・責任・実践、ダイヤモンド社，1974.

## 第4章 下水処理施設の包括的民間委託における費用効率性評価

### 4.1 はじめに

近年、包括的民間委託やコンセッション方式といった官民連携方式による下水処理施設の管理事例が増加している。官民連携方式では、下水処理施設を管理する民間企業に具体的な管理・運営方法選択の裁量が与えられるため、民間企業の創意工夫により、管理・運営事業の効率化が達成される可能性がある。民間企業による管理・運営事業の効率化を図るためには、官民連携方式導入前後の効率性を適切に評価し、その結果に基づき管理・運営方法を継続的に改善することが重要となる。また、下水道事業の公共性を考えると、このような効率性の評価結果を管理者が把握し、事業の効率性を継続的にモニタリングすることが望まれる。

本章では、下水処理施設の官民連携方式の中でも包括的民間委託に着目し、その導入効果を評価することを考える。包括的民間委託の導入効果評価事例として、自治体に対するアンケートやヒアリングによる調査が行われている<sup>1)</sup>。また、包括的民間委託導入前後の維持管理費用や処理水量を比較する<sup>2)3)</sup>ことによっても、包括的民間委託導入効果を簡易的に評価できる可能性がある。しかしながら、このような調査や評価では、ある下水処理施設の包括的民間委託導入前後の状況を比較することはできても、導入された包括的民間委託にどの程度改善可能性があるのかを検証したり、規模などが異なる下水処理施設での包括的民間委託導入効果を統一指標により相対評価したりすることは困難である。包括的民間委託を活用した下水処理施設の管理事業の継続的改善を考えた場合、効率的な管理・運営が行われた事例の抽出や、理論的に達成可能な効率性の推定を行ったのちに、それらからの乖離度合いとして民間委託導入効果を評価し、今後の管理・運営方法を改善することが可能な方法論の開発が望まれる。

以上の問題意識に基づいて、本章では、費用効率性の観点から下水処理施設の包括的民間委託導入効果を定量的に評価するための方法論を提案し、全国の実在の下水処理施設における包括的民間委託導入時の費用効率性を推定する。具体的には、マルコフ連鎖モンテカルロ（MCMC）法により確率的費用フロンティアモデルをベイズ推定し、サンプリングされた費用効率性指標の分布を包括的民間委託導入の有無に応じてノンパラメトリック検定により比較する。これにより、理論的に達成可能な維持管理費用を推定するとともに、包括的民間委託導入による費用効率性の変化を定量的に評価できる。このような方法論を、全国の下水処理施設で得られたデータに適用し、実際の包括的民間委託導入効果について分析する。以下、4.2で本章の基本的な考え方を述べる。4.3で包括的民間委託導入効果の評価のための確率的費用フロンティアモデルを定式化し、4.4でモデルのベイズ推定手法を説明する。4.5で包括的民間委託導入の有無に応じて費用効率性を評価するた

めのノンパラメトリック検定を説明する。4.6 で下水処理施設を対象とした実証分析の結果を示す。

## 4.2 本章の基本的な考え方

### 4.2.1 下水処理施設の包括的民間委託

下水処理施設の管理・運営を民間企業に委託し、民間企業の技術や創意工夫により維持管理の効率化や費用低減を図るための、官民連携方式の採用事例が増加している。その中でも、包括的民間委託は、性能発注方式であること、複数年契約であることの2つを基本要件としている<sup>4)</sup>。2018年4月時点で、全国の約2,200箇所の下水処理施設において、これまで471件の包括的民間委託の実施事例が存在し<sup>5)</sup>、その件数は今後も増加することが予想される。

包括的民間委託により下水処理施設の管理・運営の効率化や維持管理費用低減が可能とされる理由の例として以下が考えられる。

- ・ これまで個別に行っていた点検や清掃、調査業務等を複合的に発注し、それを複数年契約とするため、個々別々に委託業務を発注する場合に比べ、設計書作成業務、契約事務手続き業務が省略され、業務の軽減を図ることができる。
- ・ 受託者から見ても、複数年の契約期間に伴い、人材の確保や設備投資がしやすく、加えて短期間では効果を発現しにくい創意工夫も行いやすい。
- ・ 分割発注で得られた個別の調査データを維持管理データとして全体にまとめる業務は、自治体の職員ないしは委託された業者が行っていたが、包括的民間委託により、一括して民間の技術者が行うため省力化が可能となる。
- ・ 調査データの集積・とりまとめによる不具合の発見と補修作業を随時適切に行うことができる。

下水処理施設の管理者および包括的民間委託の受託者は、上に列挙したような管理・運営事業の効率化の達成度合いを適切に評価し、効率性の継続的改善を目指すことが求められる。

包括的民間委託による効率性の評価に関して、4.1 で述べたようなアンケート調査や維持管理費用等の変化の把握が、下水処理施設の包括的民間委託事例に対して個別に実施されている。当然のことながら、アンケート調査は管理・運営業務に関わる当事者に対して実施することになるために、導入効果が過大評価される可能性を認めない。また、事例ごとに個別に評価を行う現在の方法では、規模や下水処理方法、資源の配分（管理・運営事業の各プロセスに対する人員・費用・時間等の配分）等が異なる全国の下水処理施設を網

羅的に対象として、包括的民間委託導入効果を統一的な基準のもとで相対評価することは困難である。さらに、現在の方法では、個々の包括的民間委託事例で維持管理費用等の低減効果があったことは確認できても、それ以上の効率化の可能性があるか否かに関しては評価が困難であるために、下水処理施設の維持管理の効率性の継続的改善に資する情報を獲得するのも困難である。このような状況に対して、本章では下水処理施設の費用効率性に着目した確率的費用フロンティア分析に基づく課題解決を図る。

#### 4.2.2 費用効率性にに基づく包括的民間委託導入効果

下水処理施設の包括的民間委託導入効果の評価にあたっては、多様な評価基準が考えられるが、本章では維持管理費用に関する費用効率性に着目する。4.2.1 で述べたように、維持管理費用の低減は、包括的民間委託導入の主要な目的の1つである。一方で、下水処理施設の運営・管理の効率性を評価するにあたっては、処理後の水質基準等の他の基準も統合的に考慮することが望ましい。しかしながら、現在の包括的民間委託の性能発注方式において、水質等については満たすべき基準値が社会的規制として設けられているのみであることも少なくなく、水質等の改善に対する金銭的インセンティブが必ずしも働くわけではない。このため、包括的民間委託の受託企業の利潤最大化行動において、社会的規制値を越えて水質等の改善を図る誘因が働かない可能性がある。本章で用いる確率的費用フロンティアモデルにおいては、利潤最大化行動の双対問題に基づき費用関数が定義されるが、このようなモデルの枠組みにおいて、水質等の社会的指標の改善値を生産量として考慮するのは不自然であると考えられる。そのため、社会的指標を用いた包括的民間委託導入効果の検証の重要性は認識しつつも、本章では、維持管理費用の低減に関する費用効率性指標のみを内包した確率的費用フロンティアモデルを用いることとした。

確率的費用フロンティア分析において、理論的に到達可能な最小の維持管理費用（費用フロンティア）からの乖離度合いとして、各下水処理施設の費用効率性が定義される。包括的民間委託導入の有無ごとに費用効率性を推定し比較することにより、包括的民間委託の導入効果を定量的に検証できる。費用フロンティアは、全国の下水処理施設の維持管理費用や処理水量データから推定される。そのため、費用効率性を用いることにより、全国の下水処理施設の効率性を統一的な尺度のもとで相対評価して包括的民間委託の導入効果を検証できる。また、推定された各下水処理施設の費用効率性は、当該施設の管理・運営方法の改善可能性の程度であると解釈することができる。さらには、費用フロンティアに近い維持管理費用となっている下水処理施設の管理・運営方法をベストプラクティスとして抽出することにより、下水処理施設の効率性向上のための具体的な方法に関する知見を蓄積することも可能となり得る。これらの理由から、費用効率性による評価が、現在のアンケート調査や維持管理費用の比較等の簡易な方法と比較して有用となると考えられ、

本章では、費用フロンティアに対するランダムな外的要因の影響も考慮した確率的費用フロンティアモデルにより、包括的民間委託の導入効果を分析する。

#### 4.2.3 既往研究の概要

下水処理施設やポンプ場、管渠といった下水処理システムのアセットマネジメントにおいて、管理や費用の効率性を評価した既往研究が存在する。小林等<sup>6)</sup>は、下水処理システムを階層的システムと捉え、個々のサブシステムと上位システムの費用効率性を評価するための確率的費用フロンティアモデルを提案し、国内の下水処理システムの費用効率性を推定している。下水道管渠の統計的劣化予測において確率的フロンティア分析を行い、理論的に到達可能な効率的パフォーマンス曲線からの乖離度合いとして、個々の施設グループの管理効率性を劣化過程の差異に基づき定量化した既往研究も存在する<sup>7)</sup>。上記の下水処理施設の管理や費用の効率性を評価した研究においては、包括的民間委託の導入効果は定量化されておらず、包括的民間委託の導入効果を費用効率性に基づき評価した事例は著者等の知る限り過去には存在しない。この点に、本章の実務的有用性を見出すことができる。

本章では、MCMC 法により確率的費用フロンティアモデルをベイズ推定する。その際、費用効率性パラメータを潜在変数としてその分布を数値的にサンプリングし、サンプリング結果に基づきノンパラメトリック検定を行うことにより、包括的民間委託の導入効果を定量的に評価する。計量経済学手法による生産効率性評価に関しては、古典的な Koopmans<sup>8)</sup>、Debreu<sup>9)</sup>、Shepard<sup>10)</sup> をはじめとして数多くの研究が蓄積されている。なかでも、Farrell<sup>11)</sup> は生産効率性指標に関する研究の先鞭をつけ、その後、確率的フロンティア分析に関する研究として体系化された<sup>12),13),14),15)</sup>。確率的フロンティア分析に関して、すでに膨大な研究が蓄積されており、その知見を体系的に整理した文献<sup>16),17)</sup>も存在する。確率的フロンティアモデルを用いることにより、費用フロンティアを推定する際に、推定誤差と費用効率性を分離評価できるという利点がある。本章では、包括的民間委託契約の導入前後における費用効率性比較を行うために、パネルデータを用いた費用フロンティアモデル<sup>17)</sup>に着目するとともに、包括的民間委託の導入効果を評価するための分析の枠組みを提案する。確率的フロンティアモデルを MCMC 法によりベイズ推定する研究もこれまで多く蓄積されている。それらの研究の中で、生産関数や費用関数のパラメータの不確実性を事後分布として評価する方法論<sup>18)</sup>が提案され、その適用事例も蓄積されている<sup>19)</sup>。また、効率性パラメータに関する尤度関数の積分が解析解を持たない状況においても、効率性パラメータを潜在変数として取り扱い、生産関数や費用関数のパラメータと MCMC 法により同時サンプリングすることにより、モデル推定の効率化を図った研究が存在し<sup>20)</sup>、それにより、モデル化の柔軟性が高まり、効率性の空間分布の推定なども可能となっ

てきている<sup>21),22)</sup>。さらには、補助変数を用いた MCMC 法により、効率性パラメータのサンプリングの効率化を図った研究も存在する<sup>23)</sup>。以上の研究はいずれも、本章と同様に、効率性パラメータを MCMC 法によりサンプリングしているが、そのサンプリング結果に基づき、効率性パラメータの不確実性も考慮して施策導入の効果を定量化するような方法論は、著者等の知る限り過去には提案されていない。そこで、本章では、水谷等<sup>24)</sup>や貝戸等<sup>25)</sup>において提案された、劣化過程の異質性パラメータのサンプリング結果に基づき補修や長寿命化技術の効果を事後評価する手法から着想を得て、MCMC 法によりサンプリングされた効率性パラメータに対してノンパラメトリック検定を行うことにより、包括的民間委託の導入効果を評価するための方法論を提案する。

### 4.3 確率的費用フロンティア分析

#### 4.3.1 確率的費用フロンティア

$K$  個の下水処理施設の費用効率性を、包括的民間委託の有無に応じて評価する問題を考える。年度  $t$  の下水処理施設  $k$  ( $k = 1, \dots, K$ ) に関して、運用費用（修繕費を除く維持管理費用総額）を  $E_{t,k}$ 、生産量（年間処理水量）を  $y_{t,k}$ 、 $M$  種類の生産要素の単価ベクトルを  $\mathbf{w}_{t,k} = (w_{t,k,1}, \dots, w_{t,k,M})$  とそれぞれ表す。このとき、下水処理施設  $k$  の年度  $t$  での費用フロンティアを、

$$E_{t,k} \geq c(y_{t,k}, \mathbf{w}_{t,k}; \boldsymbol{\beta}) \quad (1)$$

と定式化する。ここに、 $c(y_{t,k}, \mathbf{w}_{t,k}; \boldsymbol{\beta})$  は費用関数であり、所与の単価ベクトル  $\mathbf{w}_{t,k}$  と生産量  $y_{t,k}$  の下で達成可能な最小費用を表す。また、 $\boldsymbol{\beta}$  は費用関数のパラメータベクトルである。

ここで、ランダムな外的要因による費用フロンティアの影響を表す確率誤差項  $\exp(v_{t,k})$  を用いて、確率的費用フロンティアを、

$$E_{t,k} \geq c(y_{t,k}, \mathbf{w}_{t,k}; \boldsymbol{\beta}) \exp(v_{t,k}) \quad (2)$$

と定式化する。このとき、年度  $t$  の下水処理施設  $k$  の確率的費用効率性（Stochastic Cost Efficiency, SCE）指標は、

$$SCE_{t,k} = \frac{c(y_{t,k}, \mathbf{w}_{t,k}; \boldsymbol{\beta}) \exp(v_{t,k})}{E_{t,k}} \quad (3)$$

と表すことができる。SCE 指標に関して、 $0 \leq SCE_{t,k} \leq 1$  が成立し、 $SCE_{t,k}$  が 1 に近いほど、費用効率的であることを意味する。

### 4.3.2 確率的費用フロンティアモデル

年度  $t$  の下水処理施設  $k$  の確率的費用フロンティアモデルを、フレキシブル型関数である Translog 型費用関数を用いて、

$$\begin{aligned} \ln E_{t,k} &= \ln c(y_{t,k}, \mathbf{w}_k; \boldsymbol{\beta}) + v_{t,k} + u_{\delta_{t,k},k} \\ &= \beta_0 + \beta_y \ln y_{t,k} + \sum_{m=1}^M \beta_m \ln w_{k,m} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^M \sum_{l=1}^M \beta_{n,l} \ln w_{k,n} \ln w_{k,l} + v_{t,k} + u_{\delta_{t,k},k} \end{aligned} \quad (4)$$

と特定化する。費用関数の 1 次同次性により、

$$\sum_{m=1}^M \beta_m = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^M \beta_{n,l} = 0 \quad \forall n = 1, \dots, M \quad (6)$$

が成立する。また、 $\beta_{n,l}$  に関する対称性条件

$$\beta_{n,l} = \beta_{l,n} \quad \forall n = 1, \dots, M \quad \forall l = 1, \dots, M \quad (7)$$

が成立する。 $\boldsymbol{\beta} = (\beta_y, \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{M-1}, \beta_{1,1}, \dots, \beta_{M,M})$  である。 $v_{t,k}$  は idiosyncratic な確率誤差項を表す。 $u_{\delta_{t,k},k}$  は施設  $k$  に固有な確率変数項である。 $\delta_{t,k}$  は、下水処理施設  $k$  における年度  $t$  での包括的民間委託導入の有無を表す変数であり、

$$\delta_{t,k} = \begin{cases} 0 & \text{包括的民間委託未導入} \\ 1 & \text{包括的民間委託導入済} \end{cases} \quad (8)$$

が成り立つ。本章では、包括的民間委託の導入を除いて、下水処理施設の管理運営体制が大きく変わることは稀であると考える。そのため、下水処理施設  $k$  において、 $u_{0,k}$  (包括的民間委託未導入の場合)、 $u_{1,k}$  (包括的民間委託導入済の場合) の 2 種類の費用効率性パラメータのいずれかを設定することとする。また、 $u_{0,k}$ 、 $u_{1,k}$  の選択を短期間で繰り返すことはない、すなわち、下水処理施設  $k$  において複数年度にわたり包括的民間委託未導入 (あるいは導入済) の状態が続いている場合には、それらの各年度に対して同一の  $u_{0,k}$  (あるいは  $u_{1,k}$ ) を設定することとする。式 (3) と式 (4) の関係性から、

$$SCE_{\delta_{t,k},k} = \exp(-u_{\delta_{t,k},k}) \quad (9)$$

が得られる。

確率誤差項  $v_{t,k}$  と費用効率性パラメータ  $u_{\delta_{t,k},k}$  は、それぞれ独立な確率変数であるとし、

$$v_{t,k} \sim \text{i.i.d. } N(0, (\sigma_v)^2) \quad (10)$$

$$u_{\delta_{t,k},k} \sim \text{i.i.d. } N^+(0, (\sigma_u)^2) \quad (11)$$



と仮定する．ここに， $N(0,(\sigma_v)^2)$ は，平均 0，分散 $(\sigma_v)^2$ を持つ正規分布であり， $N^+(0,(\sigma_u)^2)$ は，平均 0，分散 $(\sigma_u)^2$ を持つ正規分布の負の領域を切断した非負切断正規分布である． $v_{t,k}$ と $u_{\delta_{t,k},k}$ の確率密度関数は，それぞれ，

$$g(v_{t,k}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \exp\left\{-\frac{(v_{t,k})^2}{2(\sigma_v)^2}\right\} \quad (12)$$

$$h(u_{\delta_{t,k},k}) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_u} \exp\left\{-\frac{(u_{\delta_{t,k},k})^2}{2(\sigma_u)^2}\right\} \quad (13)$$

と表すことができる．

#### 4.3.3 モデル推定方法

##### a) 尤度関数

下水処理施設  $k$  のサンプル時間軸を  $t = 1, 2, \dots, T_k$  とする．下水処理施設  $k$  において，各年度  $t$  での，運用費用  $\bar{E}_{t,k}$ ，生産量  $\bar{y}_{t,k}$ ，生産要素の単価ベクトル  $\bar{\mathbf{w}}_{t,k} = (\bar{w}_{t,k,1}, \dots, \bar{w}_{t,k,M})$ ，包括的民間委託導入の有無  $\bar{\delta}_{t,k}$  が観測されている状況を考える．記号「 $\bar{\phantom{x}}$ 」は観測情報であることを意味する．下水処理施設  $k$  の観測情報を  $\bar{\mathbf{e}}_k = (\bar{E}_{1,k}, \dots, \bar{E}_{T_k,k}, \bar{y}_{1,k}, \dots, \bar{y}_{T_k,k}, \bar{\mathbf{w}}_{1,k}, \dots, \bar{\mathbf{w}}_{T_k,k}, \bar{\delta}_{1,k}, \dots, \bar{\delta}_{T_k,k})$  と整理する．また，観測情報全体を  $\bar{\mathbf{e}} = (\bar{\mathbf{e}}_1, \dots, \bar{\mathbf{e}}_K)$  と整理する．

確率誤差項  $v_{t,k}$  と費用効率性パラメータ  $u_{\delta_{t,k},k}$  は，互いに独立な確率変数であると仮定しているため， $v_{1,k}, \dots, v_{T_k,k}, u_{0,k}, u_{1,k}$  の同時確率密度は，包括的民間委託未導入・導入済の双方のサンプルが獲得されている場合（ケース 1），

$$j_1(v_{1,k}, \dots, v_{T_k,k}, u_{0,k}, u_{1,k}) = h(u_{0,k})h(u_{1,k}) \prod_{t=1}^{T_k} g(v_{t,k}) \quad (14)$$

と，包括的民間委託未導入のみのサンプルが獲得されている場合（ケース 2），

$$j_2(v_{1,k}, \dots, v_{T_k,k}, u_{0,k}) = h(u_{0,k}) \prod_{t=1}^{T_k} g(v_{t,k}) \quad (15)$$

と，包括的民間委託導入済のみのサンプルが獲得されている場合（ケース 3），

$$j_3(v_{1,k}, \dots, v_{T_k,k}, u_{1,k}) = h(u_{1,k}) \prod_{t=1}^{T_k} g(v_{t,k}) \quad (16)$$

と，それぞれ表すことができる．ここで， $\bar{\varepsilon}_{t,k} = v_{t,k} + u_{\delta_{t,k},k}$  を定義すれば， $\bar{\mathbf{e}}_k = (\bar{\varepsilon}_{1,k}, \dots, \bar{\varepsilon}_{T_k,k})$  と  $u_{0,k}, u_{1,k}$  の同時確率密度は，ケース 1 で，

$$q_1(\bar{\mathbf{e}}_k, u_{0,k}, u_{1,k}) = j_1(\bar{\varepsilon}_{1,k} - u_{\delta_{1,k},k}, \dots, \bar{\varepsilon}_{T_k,k} - u_{\delta_{T_k,k},k}, u_{0,k}, u_{1,k}) \quad (17)$$

と，ケース 2 で，

$$q_2(\bar{\mathbf{e}}_k, u_{0,k}) = j_2(\bar{\mathbf{e}}_{1,k} - u_{0,k}, \dots, \bar{\mathbf{e}}_{0,k} - u_{\delta_{T_k,k}}, u_{0,k}) \quad (18)$$

と、ケース 3 で、

$$q_3(\bar{\mathbf{e}}_k, u_{1,k}) = j_3(\bar{\mathbf{e}}_{1,k} - u_{1,k}, \dots, \bar{\mathbf{e}}_{1,k} - u_{\delta_{T_k,k}}, u_{1,k}) \quad (19)$$

と、それぞれ表すことができる。このとき、 $\bar{\mathbf{e}}_k$  の周辺確率密度  $\mu(\bar{\mathbf{e}}_k)$  は、

$$\mu(\bar{\mathbf{e}}_k) = \begin{cases} \int_0^\infty \int_0^\infty q_1(\bar{\mathbf{e}}_k, u_{0,k}, u_{1,k}) du_{0,k} du_{1,k} & \text{ケース 1} \\ \int_0^\infty q_2(\bar{\mathbf{e}}_k, u_{0,k}) du_{0,k} & \text{ケース 2} \\ \int_0^\infty q_3(\bar{\mathbf{e}}_k, u_{1,k}) du_{1,k} & \text{ケース 3} \end{cases} \quad (20)$$

と求められる。  $\mu(\bar{\mathbf{e}}_k)$  を用いて、観測情報  $\bar{\mathbf{E}}$  に対する尤度関数  $\mathcal{L}(\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u; \bar{\mathbf{E}})$  を、

$$\mathcal{L}(\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u; \bar{\mathbf{E}}) = \prod_{k=1}^K \mu(\bar{\mathbf{e}}_k) \quad (21)$$

と定義できる。

## b) 尤度関数の完備化

下水処理施設  $k$  の費用効率性を評価するにあたり、式 (21) の尤度関数を用いて  $\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u$  を推定し、その推定結果に基づき、 $u_{0,k}, u_{1,k}$  あるいは  $SCE_{t,k}$  を事後的に点推定する<sup>6)</sup> ことも考えられる。一方で、本章では、費用効率性パラメータや SCE 指標の不確実性も考慮して包括的民間委託の導入効果を検証するため、それらを確率変数（潜在変数）として取り扱い、パラメータ  $\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u$  と潜在変数を MCMC 法により同時サンプリングする。

一般性を失うことなく、4.3.3 a) の 3 つのケースに関して、ケース 1 のサンプルが下水処理施設  $1, \dots, k_1$  で、ケース 2 のサンプルが下水処理施設  $k_1 + 1, \dots, k_2$  で、ケース 3 のサンプルが下水処理施設  $k_2 + 1, \dots, K$  で、それぞれ獲得されているとする。なお、 $1 \leq k_1 \leq k_2 \leq K$  である。ここで、潜在変数ベクトル  $\mathbf{u} = (u_{0,1}, \dots, u_{0,k_2}, u_{1,1}, \dots, u_{1,k_1}, u_{1,k_2+1}, \dots, u_{1,K})$  を導入する。潜在変数ベクトル  $\mathbf{u}$  は、本来観測できないが、ここではひとまず便宜上観測できたとする。このとき、式 (21) の尤度関数は、

$$\tilde{\mathcal{L}}(\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u; \bar{\mathbf{E}}, \mathbf{u}) = \prod_{k=1}^{k_1} q_1(\bar{\mathbf{e}}_k, u_{0,k}, u_{1,k}) \prod_{k=k_1+1}^{k_2} q_2(\bar{\mathbf{e}}_k, u_{0,k}) \prod_{k=k_2+1}^K q_3(\bar{\mathbf{e}}_k, u_{1,k}) \quad (22)$$

と書き改められる。この操作は完備化<sup>26)</sup> と呼ばれ、 $\tilde{\mathcal{L}}(\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u; \bar{\mathbf{E}}, \mathbf{u})$  を完備化尤度関数と呼ぶこととする。式 (22) の完備化尤度関数に含まれる潜在変数ベクトル  $\mathbf{u}$  は、本来観測できない変数である。そこで、潜在変数を確率変数として取り扱い、その確率分布を推定

することを考える．完備化尤度関数に基づき， $\mathbf{u}$  から  $u_{\delta_{t,k},k}$  を除いた潜在変数ベクトル  $\mathbf{u}^-_{\delta_{t,k},k}$  およびパラメータ  $\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u$  を所与とした場合の  $u_{\delta_{t,k},k}$  の全条件付き事後確率密度は，ベイズの定理より，

$$\psi(u_{\delta_{t,k},k} | \boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u, \mathbf{u}^-_{\delta_{t,k},k}) = \frac{\tilde{L}(\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u; \bar{\boldsymbol{\epsilon}}, u_{\delta_{t,k},k}, \mathbf{u}^-_{\delta_{t,k},k})}{\int_0^\infty \tilde{L}(\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u; \bar{\boldsymbol{\epsilon}}, u, \mathbf{u}^-_{\delta_{t,k},k}) du} \propto \tilde{L}(\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u; \bar{\boldsymbol{\epsilon}}, u_{\delta_{t,k},k}, \mathbf{u}^-_{\delta_{t,k},k}) \propto \begin{cases} q_1(\bar{\boldsymbol{\epsilon}}_k, u_{0,k}, u_{1,k}) & (1 \leq k \leq k_1) \\ q_2(\bar{\boldsymbol{\epsilon}}_k, u_{0,k}) & (k_1 + 1 \leq k \leq k_2) \\ q_3(\bar{\boldsymbol{\epsilon}}_k, u_{1,k}) & (k_2 + 1 \leq k \leq K) \end{cases} \quad (23)$$

と表される．式 (23) には，パラメータ  $\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u$  が含まれているために，潜在変数  $u_{\delta_{t,k},k}$  の生起確率密度を先験的に求めることはできない．そのため，MCMC 法の各ループにおいて，反復的に潜在変数  $\mathbf{u}$  をランダム生成し，パラメータ  $\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u$  をベイズ推定する．パラメータと潜在変数のサンプリングについては，4.3.3 c) で具体的な説明を加える．このような手続きにより，完備化尤度関数を用いて求めたパラメータのベイズ推定値が，式 (21) の尤度関数を用いて求めたパラメータの最尤推定値に収束することが証明されている<sup>27)</sup>．なお，本章で用いるモデルは，式 (13) を  $u_{\delta_{t,k},k}$  の事前確率密度， $\sigma_u$  をハイパーパラメータとした階層ベイズモデルであるとも解釈できる．

### c) パラメータ，潜在変数のサンプリング

パラメータ  $\boldsymbol{\beta}, \sigma_v, \sigma_u$  は，以下で定義する完備化事後確率密度から，潜在変数  $\mathbf{u}$  は，式 (23) からそれぞれサンプリングする．式 (5)，式 (6) の費用関数の 1 次同次性と，式 (7) の対称性条件を考慮すると，推定すべき  $\boldsymbol{\beta}$  の要素数は， $\chi = \frac{1}{2}(M-1)M + M + 1$  となる． $\boldsymbol{\beta}$  の事前確率密度が，標準的な事前確率密度として用いられる多次元正規分布に従うと仮定する．すなわち， $\boldsymbol{\beta} \sim N_\chi(\boldsymbol{\zeta}, \boldsymbol{\Sigma})$  である．ただし， $\chi$  次元正規分布  $N_\chi(\boldsymbol{\zeta}, \boldsymbol{\Sigma})$  の確率密度は，

$$h(\boldsymbol{\beta}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{\chi}{2}} \sqrt{|\boldsymbol{\Sigma}|}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\zeta})\boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\zeta})'\right\} \quad (24)$$

で与えられる．ただし， $\boldsymbol{\zeta}$  は  $N_\chi(\boldsymbol{\zeta}, \boldsymbol{\Sigma})$  の事前期待値ベクトル， $\boldsymbol{\Sigma}$  は事前分散共分散行列であり，ともに外生的に与える．次に， $\sigma_v, \sigma_u$  については，台を  $(0, \infty]$  とするために，ガンマ分布を用いてそれらの事前確率密度を，

$$g_v(\sigma_v) = \frac{(\xi_{v,2})^{\xi_{v,1}}}{\Gamma(\xi_{v,1})} (\sigma_v)^{\xi_{v,1}-1} \exp(-\xi_{v,2}\sigma_v) \quad (25)$$

$$g_u(\sigma_u) = \frac{(\xi_{u,2})^{\xi_{u,1}}}{\Gamma(\xi_{u,1})} (\sigma_u)^{\xi_{u,1}-1} \exp(-\xi_{u,2}\sigma_u) \quad (26)$$

と設定する．なお， $\xi_{v,1}$ ， $\xi_{u,1}$  は形状パラメータ， $\xi_{v,2}$ ， $\xi_{u,2}$  は尺度パラメータであり，これらのパラメータも外生的に設定する．このとき，パラメータ  $\beta, \sigma_v, \sigma_u$  の完備化同時事後確率密度  $\pi(\beta, \sigma_v, \sigma_u | \bar{\mathbf{E}}, \mathbf{u})$  は，ベイズの定理より，

$$\pi(\beta, \sigma_v, \sigma_u | \bar{\mathbf{E}}, \mathbf{u}) \propto \tilde{\mathcal{L}}(\beta, \sigma_v, \sigma_u; \bar{\mathbf{E}}, \mathbf{u}) h(\beta) g_v(\sigma_v) g_u(\sigma_u) \quad (27)$$

と表される．

完備化同時事後確率密度  $\pi(\beta, \sigma_v, \sigma_u | \bar{\mathbf{E}}, \mathbf{u})$  および全条件付き事後確率密度  $\psi(u_{\delta_{t,k,k}} | \beta, \sigma_v, \sigma_u, \mathbf{u}^-_{\delta_{t,k,k}})$  は，ともに解析的に求めることが困難である．そこで，MCMC 法を用いて，これらの確率密度からパラメータ  $\beta, \sigma_v, \sigma_u$  と潜在変数  $\mathbf{u}$  をサンプリングすることにより，パラメータと潜在変数の確率分布を推定する．具体的には，ギブスサンプリング<sup>28)</sup>の考え方に従い，パラメータベクトルあるいは潜在変数ベクトルの個々の要素に関する条件付き事後確率密度からサンプリングを行う．本章で用いたモデルでは，条件付き事後確率密度からも解析的にサンプルを得ることが困難であるために，その際のサンプリングにメトロポリス・ヘイスティングス法<sup>29)</sup>を用いる．獲得したサンプルから，パラメータ  $\beta, \sigma_v, \sigma_u$  および潜在変数  $\mathbf{u}$  の事後分布の統計量が算出できる．詳細は，参考文献<sup>30),31),32)</sup>を参照されたい．

## 4.4 包括的民間委託導入効果の評価方法

### 4.4.1 Wilcoxon の符号付き順位検定

MCMC 法でサンプリングされた費用効率性パラメータに基づき，包括的民間委託導入効果を定量的に評価するための方法を以下で述べる．なお，ここでは，包括的民間委託導入前後双方の SCE 指標が算出できるケース 1 の下水処理施設  $1, \dots, k_1$  に着目して評価を行うことを考える．

包括的民間委託導入効果を評価するために，Wilcoxon の符号付き順位検定<sup>33)</sup>を用いる．同検定は，対応のある 2 群間のデータの中央値の差異に関するノンパラメトリック検定である．2 群のデータをそれぞれ  $w_{1,1}, \dots, w_{1,G}$ ， $w_{2,1}, \dots, w_{2,G}$  とする．データ間の差を  $w_{3,g} = w_{2,g} - w_{1,g}$  ( $g = 1, \dots, G$ ) とする．Wilcoxon の符号付き順位検定では， $w_{3,g}$  の中央値  $\psi$  を用いて，帰無仮説  $H_0$  を，

$$H_0: \psi = 0$$

と設定する．ただし， $w_{3,g}$  は独立に生起し， $w_{3,g}$  の母集団分布は中央値  $\psi$  に対して対称であると仮定する． $w_{3,1}, \dots, w_{3,G}$  から  $w_{3,g} = 0$  となる  $w_{3,g}$  を取り除き， $w_{3,g}$  を絶対値  $|w_{3,g}|$  の昇順に並べ替えた  $\tilde{w}_{3,1}, \dots, \tilde{w}_{3,\bar{c}}$  を定義する．

$\tilde{G}$  は  $w_{3,g} \neq 0$  となる  $w_{3,g}$  の個数である．指示関数  $\eta(\cdot)$  を，

$$\eta(\tilde{w}_{3,g}) = \begin{cases} 1 & (\tilde{w}_{3,g} > 0) \\ 0 & (\tilde{w}_{3,g} < 0) \end{cases} \quad (g=1, \dots, \tilde{G}) \quad (28)$$

と定義する．Wilcoxon の符号付き順位統計量  $T^+$  は，

$$T^+ = \sum_{g=1}^{\tilde{G}} \eta(\tilde{w}_{3,g})g \quad (29)$$

と定義できる． $\tilde{G} > 20$  では， $T^+$  が正規分布で近似できることが知られており，このとき，帰無仮説  $H_0$  のもとで， $T^+$  の期待値と分散は，

$$E[T^+] = \frac{\tilde{G}(\tilde{G}+1)}{4} \quad (30a)$$

$$V[T^+] = \frac{\tilde{G}(\tilde{G}+1)(2\tilde{G}+1)}{24} \quad (30b)$$

となる．なお， $w_{3,1}, \dots, w_{3,\tilde{G}}$  にタイデータがある場合には，タイデータに関して，一般性を損なうことなくもとの  $w_{3,g}$  ( $g = 1, \dots, G$ ) の順序通りに  $\tilde{w}_{3,1}, \dots, \tilde{w}_{3,\tilde{G}}$  の  $g$  ( $g = 1, \dots, \tilde{G}$ ) が割り当てられるとし，上記の  $V[T^+]$  を，

$$V[T^+] = \frac{\tilde{G}(\tilde{G}+1)(2\tilde{G}+1)}{24} - \frac{1}{48} \sum_{j=1}^{g^*} (g_j - 1)g_j(g_j + 1) \quad (31)$$

とすれば良い．なお， $g^*$  は  $\tilde{w}_{3,1}, \dots, \tilde{w}_{3,\tilde{G}}$  でのタイデータのグループ数  $g_j$  は  $j$  ( $j = 1, \dots, g^*$ ) 番目のグループでのタイデータ数である．このとき，検定統計量  $Z$  値を，

$$Z = \frac{T^+ - E[T^+]}{\sqrt{V[T^+]}} \quad (32)$$

と算出できる．対立仮説  $H_1$  に応じて，「 $H_1 : \psi \neq 0$  (両側)」のとき「 $|Z| > Z(a)$ 」，「 $H_1 : \psi > 0$  (右片側)」のとき「 $Z > Z(a)$ 」，「 $H_1 : \psi < 0$  (左片側)」のとき「 $Z < -Z(a)$ 」であれば，有意水準  $a$  で  $H_0$  を棄却する． $a = 0.05$  で帰無仮説を棄却する  $Z(a)$  は 1.96 以上である．

#### 4.4.2 マクロ評価

ここでは，包括的民間委託導入前後の双方のサンプルが獲得されているケース 1 の下

水処理施設  $1, \dots, k_1$  を対象に、包括的民間委託導入前後での費用効率性の変化を評価する。4.3.3 c) で述べた方法により、費用効率性パラメータ  $u_{\delta,k,k}$  の推定値が獲得できる。なお、本章では、MCMC 法で得られたサンプルの期待値  $u^*_{\delta,k} = (\sum_{t=\underline{n}+1}^{\bar{n}} u^{(t)}_{\delta,k}) / (\bar{n} - \underline{n})$  ( $\delta=0, 1$ ) を費用効率性パラメータの推定値として用いる。ここに、 $n$  は MCMC 法のループ数 (MCMC 法で得られるサンプル数)、 $\underline{n}$  はバーンインの回数、 $u^{(t)}_{\delta,k}$  は MCMC 法の  $t$  ループ目で得られた  $u_{\delta,k}$  のサンプルである。このとき、式 (3) に基づき、SCE 指標の推定値を  $SGE^*_{\delta,k} = \exp(-u^*_{\delta,k})$  と算出できる。このような手順により、包括的民間委託導入前後の SCE 指標の推定値の分布を描くことができる。 $SGE^*_{0,k}$  と  $SGE^*_{1,k}$  は、下水処理施設  $k$  の包括的民間委託導入前後の SCE 指標であるため、対応のあるデータとみなす。 $SGE^*_{0,1}, \dots, SGE^*_{0,k_1}$  を  $w_{1,1}, \dots, w_{1,G}$ 、 $SGE^*_{1,1}, \dots, SGE^*_{1,k_1}$  を  $w_{2,1}, \dots, w_{2,G}$  とすることにより Wilcoxon の符号付き順位検定ができ、その結果に基づき、包括的民間委託導入前後の費用効率性の変動に関する有意性を、 $k_1$  個の下水処理施設における平均的な傾向に着目してマクロな単位で評価できる。

#### 4.4.3 ミクロ評価

ここでは、ある下水処理施設  $k$  ( $k = 1, \dots, k_1$ ) に着目して、当該下水処理施設での包括的民間委託導入効果を費用効率性に基づき評価する。式(3)に基づき、 $u^{(t)}_{\delta,k}$  に対応した SCE 指標を  $SGE^{(t)}_{\delta,k} = \exp(-u^{(t)}_{\delta,k})$  と算出する。MCMC 法において、 $u^{(t)}_{0,k}$  と  $u^{(t)}_{1,k}$  は同時事後確率密度からサンプリングされたとみなせるため、包括的民間委託導入前後の SCE 指標のサンプル  $SGE^{(t)}_{0,k}$  と  $SGE^{(t)}_{1,k}$  を対応のあるデータとみなす。 $SGE^{(\underline{n}+1)}_{0,k}, \dots, SGE^{(\bar{n})}_{0,k}$  を  $w_{1,1}, \dots, w_{1,G}$ 、 $SGE^{(\underline{n}+1)}_{1,k}, \dots, SGE^{(\bar{n})}_{1,k}$  を  $w_{2,1}, \dots, w_{2,G}$  とすることにより Wilcoxon の符号付き順位検定ができ、その結果に基づき、包括的民間委託導入前後の費用効率性の変動に関する有意性を、個別の下水処理施設  $k$  に着目してミクロな単位で評価できる。

### 4.5 包括的民間委託導入効果

#### 4.5.1 対象下水処理施設と使用データの概要

これまでに説明した方法論を、全国の実在の下水処理施設に適用し、包括的民間委託導入効果を費用効率性の観点から検証する。下水道統計<sup>34)-39)</sup>を用いて、47 都道府県に存在する 1,322 箇所<sup>34)</sup>の下水処理施設 (処理場のみに着目し各処理場を 1 箇所とカウント) に関する 2007 年度から 2012 年度までのデータを整理した。分析に用いたデータベース

の概要を表 4-1 に示す。もとの下水道統計には、2,024 箇所の下水処理施設数が存在したが、データの欠測（空欄となっていたり、0 が記入されていたりした）が生じている下水処理施設数をデータベースから除いた（ここでは、以下のいずれかが生じていた下水処理施設のデータを削除した：i) データが空欄となっていた、ii) データが 0 と記録されていた、ii) 桁が異なるなどの明らかな誤記があった）ところ、同表に示す 1,322 箇所のデータを分析に用いることとなった。また、データの欠測に起因して  $T_k$  が下水処理施設ごとに異なるため、サンプル数が 5,327 と、1,322 [下水処理施設]×6 [年度数]=7,932 より少なくなっている。

表 4-1 データベースの概要

変数	値
下水処理施設数 $K$	1,322
パターン 1 の下水処理施設数 $k_1$	55
パターン 2 の下水処理施設数 $k_2-k_1$	1,140
パターン 3 の下水処理施設数 $K-k_2$	127
サンプル数（下水処理施設数×年度数）	5,327
維持管理費用総額（修繕費除く） $E_{t,k}$	期待値：208,654 [千円]
年間処理水量 $y_{t,k}$	期待値：6,307,750 [m <sup>3</sup> ]
運転管理委託費単価 $w_{k,1}$	期待値：0.028598 [千円/m <sup>3</sup> ]
汚泥等処分委託費単価 $w_{k,2}$	期待値：0.015804 [千円/m <sup>3</sup> ]
消耗品等費単価 $w_{k,3}$	期待値：0.020326 [千円/m <sup>3</sup> ]
人件費単価 $w_{k,4}$	期待値：0.027536 [千円/m <sup>3</sup> ]
その他費用単価 $w_{k,5}$	期待値：0.017024 [千円/m <sup>3</sup> ]

維持管理費用の総額  $E_{t,k}$  に関して、そこに修繕費を含めた場合、分析対象期間内に大規模な修繕等を行った下水処理施設の費用効率性を正しく推定できないと考え、修繕費を除いた維持管理費用の総額を用いることとした。下水道統計では、各生産要素に関する支出額は含まれているものの、要素価格（単価）に関する情報は含まれていなかった。また、各生産要素の投入量に関するデータも利用可能ではなかった。このような状況は、既往研究<sup>6)</sup>の実証分析と同様の状況である。ここでも、当該研究に倣い、i) 各生産要素の投入量と関係の深い代理変数を取り上げ、代理変数 1 単位あたりの支出額（平均費用）を用いて各生産要素の単価を定義し、ii) 規模に関して近似的に収穫一定であることをパラメータ推定結果により確認することにより、平均費用を単価として用いることの妥当性を事後的に確認する、という手順を採用した。具体的には、年間処理水量を代理変数として取り上げ、各生産要素の支出額を年間処理水量で除することにより、各生産要素の単価（運転管理委託費単価、汚泥等処分委託費単価、消耗品等費単価、人件費単価、その他費用単価）を定義した。パラメータ推定結果の詳細は 4.5.2 で示すが、本章では、 $\beta_y$  が 1 に近い値として推定され、規模に関して収穫一定とみなして良いと判断し、平均費用（年間処理水量

あたりの費用)を単価として用いることの妥当性を確認していることをここで述べておく。なお、上記の各生産要素の支出額は東日本大震災直後の電気料金等の上昇に影響されるが、ここでは年度ごとの平均費用を単価として用いているため、費用効率性は単価の上昇の影響を排除した形で推定される。包括的民間委託については、委託業務内容に応じて複数のレベルが設定されているが、ここでは、包括的民間委託導入後の下水処理施設に関するサンプル数の確保も考慮し、レベル I 以上であれば包括的民間委託が導入されているとして分析を行った。

#### 4.5.2 確率的費用フロンティアモデルの推定結果

4.5.1 で説明したデータベースを用いて、確率的費用フロンティアモデルを推定した。MCMC 法においてサンプリング総数  $n$  を 10,000 回とし、その中で最初の 1,000 サンプルをバーンイン  $\underline{n}$  とみなし、残りの 9,000 サンプルを用いて事後分布に関する統計量を算出した。なお、いずれのパラメータに関しても、その値に関する先験的な情報が利用できなかったため、各パラメータの事前分布として十分に分散の大きな分布を設定した。事後分布の統計量を表 4-2 に示す。本章では、事後分布の期待値をパラメータ推定値として用いる。同表には、90%ベイズ信用域、Geweke 検定統計量<sup>40)</sup>も示している。全てのパラメータにおいて Geweke 検定統計量の絶対値が 1.96 以下となっていることから、有意水準 5% で事後分布に収束していると判断できる。なお、表 4-2 に示す以外にも、各下水処理施設の費用効率性パラメータに関するサンプルも MCMC 法により獲得している。表 4-2 に示したパラメータ推定値に基づき表 4-1 の各単価を用いて算出した費用フロンティア  $c(y_{t,k}, w_k; \beta)$  を図 4-1 に示す。ここでは、年間処理水量の差異による費用フロンティアの変動に着目している。同図では、図中に示す費用フロンティア、各下水処理施設の費用効率性パラメータの推定値  $u^*_{\delta,k}$  と年間処理水量の観測値を用いて、確率誤差項を  $v_{t,k} = 0$  とした確率的費用フロンティアモデルに基づき算出した各下水処理施設の維持管理費用総額をあわせて示している。なお、年間処理水量については、各下水処理施設において複数年にわたり観測された値の期待値を用いている。今回の分析結果において、費用効率性パラメータの推定値  $u^*_{\delta,k}$  と年間処理水量の観測値には相関関係が確認されなかった(両者の相関係数は 0.08 であった)。このことと、式(4)の確率的費用フロンティアモデルにおいて  $u_{\delta_{t,k},k}$  が費用に対して比例的に設定されていることから、図 4-1 において、年間処理水量が多い下水処理施設では、維持管理費用総額と費用フロンティアの乖離額が大きくなる。しかし、そのことは年間処理水量が多いと費用効率性パラメータが小さくなる傾向を表しているわけではない点に留意されたい。図 4-1 に示す分析結果を用いることにより、維持管理費用総額を評価尺度として、各下水処理施設の費用フロンティアからの乖離度合いを評価する、すなわち、各下水処理施設の現状の管理・運営体制の改善可能性を定量的に評



価することが可能となる。また、図中で費用フロンティア付近に位置する下水処理施設をベストプラクティスとして抽出することにより、費用効率性向上のための方策に関する知見の蓄積に寄与できる。

表 4-2 パラメータ推定結果

パラメータ (対応する変数)	事後分布の統計量		
	期待値	90%ベイズ信用域	Geweke 検定統計量
$\beta_0$ (定数項)	1.5331	(1.2949, 1.7366)	0.5582
$\beta_y$ (年間処理水量 $\ln y_{t,k}$ )	1.0012	(0.9896, 1.0152)	-1.8293
$\beta_1$ (運転管理委託費単価 $\ln w_{k,1}$ )	0.1537	(0.0245, 0.2810)	1.2910
$\beta_2$ (汚泥等処分委託費単価 $\ln w_{k,2}$ )	0.1799	(0.1034, 0.2599)	-1.8556
$\beta_3$ (消耗品等費単価 $\ln w_{k,3}$ )	0.2487	(0.1721, 0.3252)	1.4069
$\beta_4$ (人件費単価 $\ln w_{k,4}$ )	0.225	(0.1641, 0.2853)	1.5638
$\beta_5$ (その他費用単価 $\ln w_{k,5}$ )	0.1927		
$\beta_{1,1}$ ( $\ln w_{k,1} \ln w_{k,1}$ )	0.2288	(0.1377, 0.3199)	-0.8235
$\beta_{1,2}$ ( $\ln w_{k,1} \ln w_{k,2}$ )	-0.0329	(-0.0958, 0.0229)	1.4596
$\beta_{1,3}$ ( $\ln w_{k,1} \ln w_{k,3}$ )	-0.0766	(-0.1249, -0.0269)	-0.6915
$\beta_{1,4}$ ( $\ln w_{k,1} \ln w_{k,4}$ )	-0.0758	(-0.1235, -0.0290)	-1.8760
$\beta_{1,5}$ ( $\ln w_{k,1} \ln w_{k,5}$ )	-0.0435		
$\beta_{2,2}$ ( $\ln w_{k,2} \ln w_{k,2}$ )	0.0677	(0.0332, 0.1030)	-1.6445
$\beta_{2,3}$ ( $\ln w_{k,2} \ln w_{k,3}$ )	-0.0064	(-0.0426, 0.0307)	-0.8983
$\beta_{2,4}$ ( $\ln w_{k,2} \ln w_{k,4}$ )	-0.0180	(-0.0522, 0.0143)	1.1722
$\beta_{2,5}$ ( $\ln w_{k,2} \ln w_{k,5}$ )	-0.0104		
$\beta_{3,3}$ ( $\ln w_{k,3} \ln w_{k,3}$ )	0.1069	(-0.0005, 0.2059)	0.2957
$\beta_{3,4}$ ( $\ln w_{k,3} \ln w_{k,4}$ )	-0.0178	(-0.0645, 0.0322)	-0.8100
$\beta_{3,5}$ ( $\ln w_{k,3} \ln w_{k,5}$ )	-0.0061		
$\beta_{4,4}$ ( $\ln w_{k,4} \ln w_{k,4}$ )	0.1329	(0.0795, 0.1847)	1.7796
$\beta_{4,5}$ ( $\ln w_{k,4} \ln w_{k,5}$ )	-0.0213		
$\beta_{5,5}$ ( $\ln w_{k,5} \ln w_{k,5}$ )	0.0813		
$\sigma_v$ (確率誤差項 $v_{t,k}$ )	0.3019	(0.2896, 0.3153)	-0.1718
$\sigma_u$ (費用効率性 $u_{\delta_{t,k,k}}$ )	0.3544	(0.3057, 0.4043)	1.7394

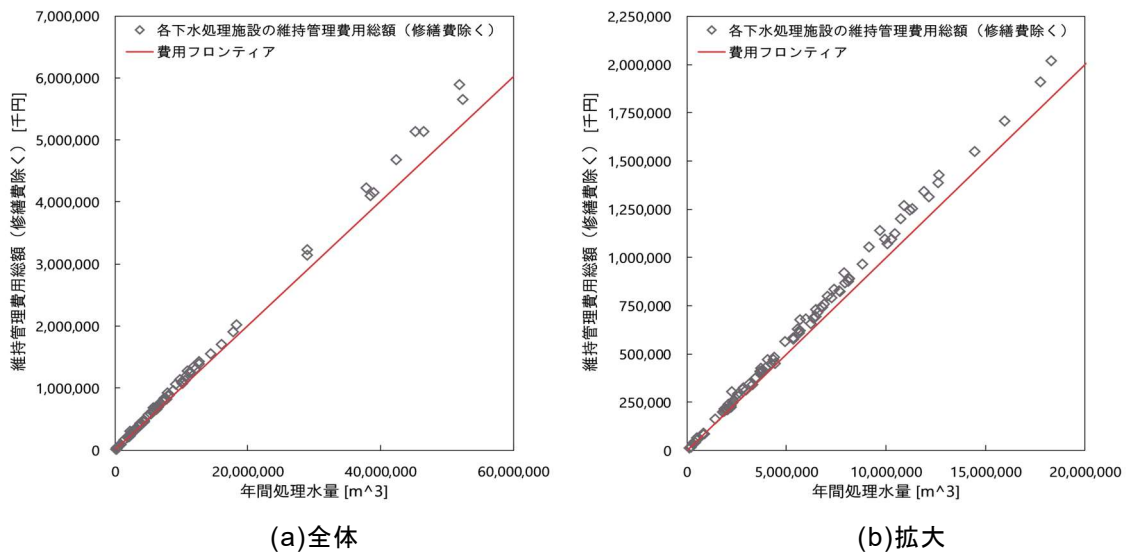


図 4-1 推定された費用フロンティア，費用効率性パラメータの推定値に基づく各下水処理施設の維持管理費用総額

#### 4.5.3 包括的民間委託導入効果

##### a) マクロ評価

包括的民間委託導入前後の SCE 指標が算出できるケース 1 の 55 箇所の下水処理施設に着目して評価を行う。図 4-2 に、 $SCE_{0,1}^*, \dots, SCE_{0,55}^*$  (包括的民間委託導入前) および  $SCE_{1,1}^*, \dots, SCE_{1,55}^*$  (導入後) のヒストグラムを示す。包括的民間委託導入前の青色のヒストグラムと比較して、導入後の赤色のヒストグラムが右方に推移しているため、包括的民間委託導入による費用効率性の増加傾向が確認できる。SCE 指標が 0.95 以上となり、理論的に到達可能な費用効率性に近い状態を有する下水処理施設は、包括的民間委託導入後の下水処理施設である傾向も確認できる。各下水処理施設の SCE 指標の期待値 ( $\sum_{k=1}^{55} SCE_{0,k}^*$  および  $\sum_{k=1}^{55} SCE_{1,k}^*$ ) を比較すると、平均的には、 $(0.9218 - 0.8847) \times 100 = 3.71$  [パーセントポイント] の費用効率性の増加が確認できる。また、4.4.1, 4.4.2 で述べた方法に基づき、Wilcoxon の符号付き順位検定を実施したところ、検定統計量  $Z$  は 4.0720 となった。検定統計量が 1.96 以上となっていることから、対立仮説  $H_1$  を「SCE 指標の差分  $SCE_{1,k}^* - SCE_{0,k}^*$  の中央値が 0 より大きい」とした場合に、有意水準 5% で帰無仮説を棄却できる。このことより、マクロな視点から、包括的民間委託導入により費用効率性が増加したと判断できる。ただし、ここで定量化した費用効率性の増分が包括的民間委託導入の政策上の目標を満足しているか否かについては、本章では議論の対象外とする。この点は、以下のマイクロ評価結果についても同様であり、包括的民間委託導入による費用効率性の増加目標は、政策策定者や個々の下水処理施設の管理者によって、組織の目標、

内部および外部の状況等を総合的に勘案し、政策や下水処理施設ごとに柔軟に設定されるべきものである。

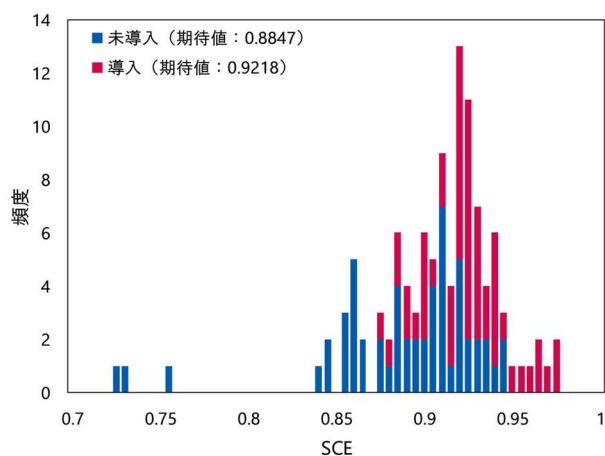


図 4-2 SCE 指標の推定値のヒストグラム

#### b) ミクロ評価

個々の下水処理施設  $k$  における包括的民間委託導入前後の費用効率性に着目して評価を行う。図 4-3 に、各下水処理施設における包括的民間委託導入前後の SCE 指標の増加割合  $SCE^*_{1,k}/SCE^*_{0,k}$  に関するヒストグラムを示す。同図から、包括的民間委託導入後に SCE 指標の推定値が増加した下水処理施設が多い傾向が読み取れる。この点に関して、SCE 指標の不確実性を考慮して費用効率性の変動を評価するために、SCE 指標のサンプリング結果および  $SGE^{(n+1)}_{0,k}, \dots, SGE^{(n)}_{0,k}$  および  $SGE^{(n+1)}_{1,k}, \dots, SGE^{(n)}_{1,k}$  を用いた Wilcoxon の符号付き順位検定を実施する。4.4.1, 4.4.3 で述べた方法に基づき、個々の下水処理施設に対して Wilcoxon の符号付き順位検定を実施した結果を表 4-3 に示す。同表に示すように、包括的民間委託導入前後の双方のサンプルが獲得できた 55 箇所の下水処理施設のうち、39 箇所の下水処理施設で包括的民間委託導入後に SCE 指標が統計的に有意に増加している。なお、同表の 39 箇所、16 箇所それぞれの下水処理施設群は、図 4-3 において SCE 指標の増加割合が 1 以上、1 以下であったそれぞれの下水処理施設群と完全に一致していた。

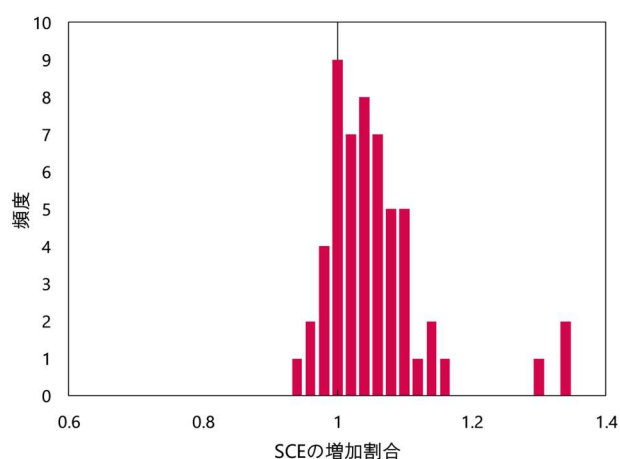


図 4-3 包括的民間委託導入による SCE 指標の増加割合

表 4-3 SCE 指標の差の Wilcoxon の符号順位検定結果

	処理施設数
帰無仮説が棄却され，検定統計量 Z が正（SCE 指標が増加）	39
帰無仮説が棄却されず（SCE 指標の増減無し）	0
帰無仮説が棄却され，検定統計量 Z が負（SCE 指標が減少）	16

ここで，分析対象とした下水処理施設のうちの2箇所を対象として，推定された SCE 指標と維持管理費用の推移の関係性を例示する。

図 4-4 に，下水処理施設 A の年度ごとの維持管理費用および年間処理水量の推移を示す。当該下水処理施設は，2010 年度以降，レベル II の包括的民間委託により管理・運営されている。当該下水処理施設の SCE 指標の推定値は，包括的民間委託導入前が 0.8516，導入後が 0.9284 であり，包括的民間委託により費用効率性が 7.68 パーセントポイント増加したという結果が推定されている。

図 4-4 においても，包括的民間委託の導入後に維持管理費用の総額が低減し，年間処理水量が増加しているため，包括的民間委託による費用効率性の増加が見て取れる。なお，同図の各費用の内訳について，例えば，2010 年度の人件費は，運転管理委託費の中の人件費として記録されていた費用であり，同図に示す運転管理委託費にはその値は含まれていない。一方で，2011 年度以降は，運転管理委託費の内訳が記録されていなかったため，2010 年度と 2011 年度以降では，データの記録体制の相違により，運転管理委託費や人件費に大きな差異が生じていると推察される。

図 4-5 に，下水処理施設 B の年度ごとの維持管理費用および年間処理水量の推移を示

す。当該下水処理施設は、2009年度以降、レベルIIの包括的民間委託により管理・運営されている。当該下水処理施設のSCE指標の推定値は、包括的民間委託導入前が0.9273、導入後が0.8831であり、包括的民間委託により費用効率性が4.42パーセントポイント減少したという結果が推定されている。

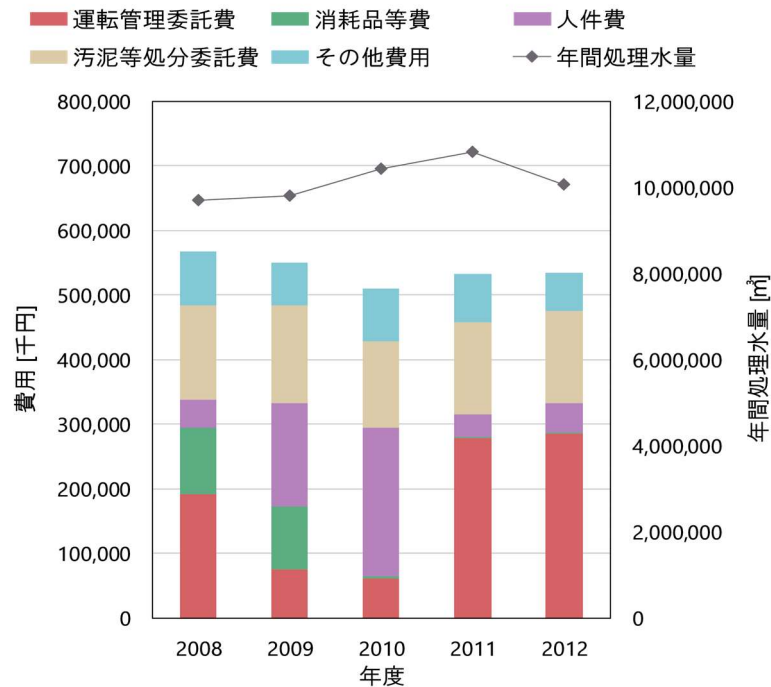


図 4-4 下水処理施設 A の費用・処理水量の推移

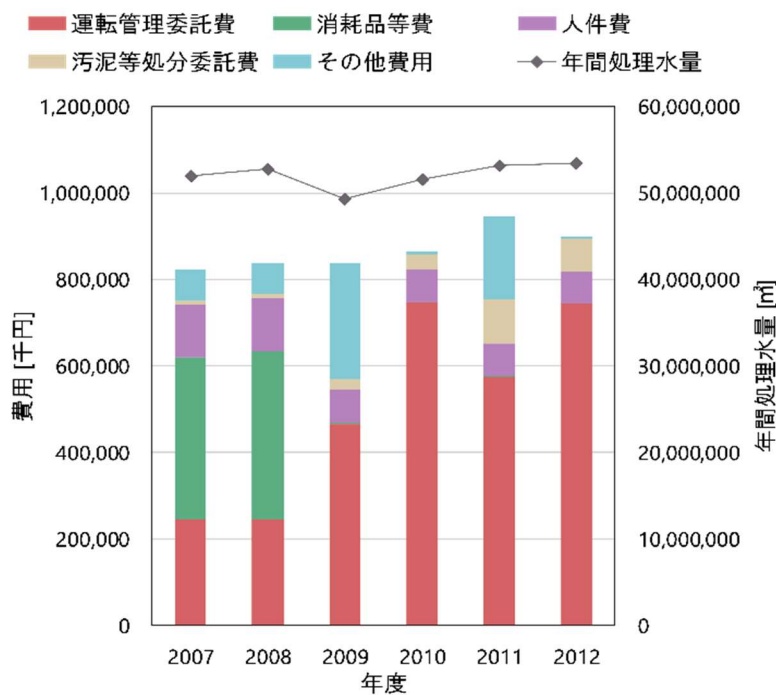


図 4-5 下水処理施設 B の費用・処理水量の推移

図 4-5 においても、年間処理水量は 2009 年度に減少し、その後、増加傾向にあるものの、包括的民間委託の導入後に維持管理費用の総額が増加しているため、包括的民間委託による費用効率性の減少が推察できる。上記の下水処理施設 A、下水処理施設 B に対する考察からも、本章で提案する確率的費用フロンティア分析に基づく手法により、包括的民間委託導入前後での費用効率性の増減が適切に推定されていると評価することができる。ただし、包括的民間委託の導入効果に関しては、短期間に発現し得るものと長期間で発現し得るものがあると考えられるので、この結果のみに基づいて下水処理施設 A の方が B よりも効率性が良いと速断することは必ずしも適切ではない。SCE 指標が増加した 39 箇所、減少した 16 箇所の下水処理施設のそれぞれに対して、管理体制の詳細な調査等により、SCE 指標の増減の傾向と管理体制の関係を今後具体的に分析することが望まれる。

#### 4.5.4 分析結果の考察および留意事項

##### a) 包括的民間委託導入効果について

4.2.2 で述べたように、現状の下水処理施設の管理・運営上、水質指標の低減に関する金銭的インセンティブが必ずしも働くわけではないため、本章では、包括的民間委託の導入効果を評価するにあたり費用効率性のみに着目した。しかしながら、下水処理の際の水質改善度合いに応じて、費用効率性が変化する可能性は否定できない。そこで、ここでは、水質指標として BOD (Biochemical Oxygen Demand) を取り上げ、包括的民間委託の導入効果の評価対象とした各下水処理施設の BOD の低減量と SCE 指標の関係性を確認する。なお、BOD の低減量は、下水処理施設への流入時の BOD[mg/L] から処理後の BOD [mg/L] を差し引いた値として定義した。図 4-6 に、包括的民間委託導入前後の双方のサンプルが獲得された 55 箇所の下水処理施設に関して、BOD 低減量の期待値と SCE 指標の推定値の散布図を示す。同図において、SCE 指標と BOD 低減量に明確な関係性がなく、両者の相関係数も -0.0387 であったため、本章では、4.2.2 で述べたように社会的規制のみが設けられている水質改善指標は下水処理施設の効率性を評価する上での生産量としては適切でなく、水質の過度な改善により SCE 指標が低く推定されていないため、費用効率性のみに着目することに妥当性があると推測した。しかしながら、同図の関係性のみからでは、BOD 低減量が大きい下水処理施設の多くが運営上の努力により、他の下水処理施設と同等の SCE 指標の値となっている可能性は否定できず、この点については、別途、詳細な検討が望まれる点には留意されたい。なお、その際、BOD 低減量を生産量として用いるのではなく、費用効率性に影響を及ぼし得る外生的な説明変数と位置づけ、費用効率性を被説明変数とした回帰モデルを構築する<sup>41)</sup>、説明変数の分類ごとの固定効果を推定する、といったアプローチも考えられる。この点に関しては、BOD 低減量の他に、高

度処理の有無や排除方式（分流式か合流式か）なども説明変数の候補となり得る。しかし、上述のように BOD 低減量と SCE 指標の推定値に明確な関係性がなく、高度処理の有無と排除方式についても同様の傾向（高度処理有の下水処理施設の SCE 指標推定値の期待値は 0.907，高度処理無は 0.903 であり，分流式の下水処理施設の SCE 指標推定値の期待値は 0.903，合流式は 0.906 であった）を確認したため本章での詳細な分析は断念した。これらの変数を説明変数として考慮する際には，交互作用を考慮したり回帰モデルの関数形に対する試行錯誤を行ったりする必要があると考えられる。

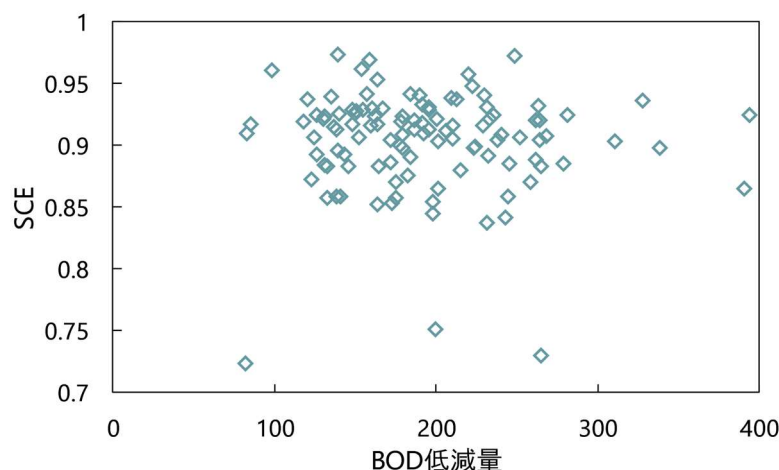


図 4-6 SGE 指標と BOD 低減量の関係

また，費用効率性を評価指標とした場合に包括的民間委託の導入効果が発揮される理由について，一般的に考え得るのは，包括的民間委託の導入による維持管理費用の低減や各生産要素への配分の効率化であろう。一方で，本章の分析の枠組みにおいては，包括的民間委託の導入前後で維持管理費用に変化がなく，年間処理水量が増加したのみでも，費用関数が年間処理水量に関して単調増加関数である限り，費用効率性は増加する。図 4-7，図 4-8 には，パターン 1 のサンプルが獲得された 55 箇所の下水処理施設に関して，包括的民間委託の導入前後の，i) 維持管理費用  $E_{i,k}$  の期待値の比，ii) 維持管理単価  $E_{i,k}/y_{i,k}$  の期待値の比，をそれぞれ示す。

また，表 4-4 には，それら維持管理費用および単価についての比の値の期待値，4.4.2 で示したマクロ評価手法において維持管理費用および単価を用いて Wilcoxon の符号付き順位検定を行った結果を示す。図 4-7，図 4-8，表 4-4 の結果において，包括的民間委託の導入前後での維持管理費用には有意な差がなく，維持管理単価に有意な差があることから，4.5.3 a) のマクロ評価において SCE 指標の値が増加した理由として，維持管理費用の低減ではなく，年間処理水量の増加が支配的であることを否定できない。この点に関しては，包括的民間委託の導入前後での年間処理水量の計測方法に関する変更の有無なども踏まえた追加検証が必要となり，4.5.3 a) のマクロ評価において SCE 指標の値が増加したこ

との要因を特定するような試みが求められる。その際、高度処理の有無や排除方式に応じて、包括的民間委託導入後の SCE 指標増減度合いが変化する可能性も否定できない。上述の費用効率性に影響を及ぼす要因の検証と同様に、SCE 指標の増減結果と高度処理の有無や排除方式との関係性を解明することを試みたが、有意な傾向は確認できなかった（SCE 指標増加割合と BOD 低減量の相関係数は-0.123、高度処理有の下水処理施設の SCE 指標増加割合の期待値は 1.045、高度処理無は 1.049 であり、分流式の下水処理施設の SCE 指標増加割合の期待値は 1.046、合流式は 1.033 であった）ため、この点についても今後の詳細な分析が望まれる。

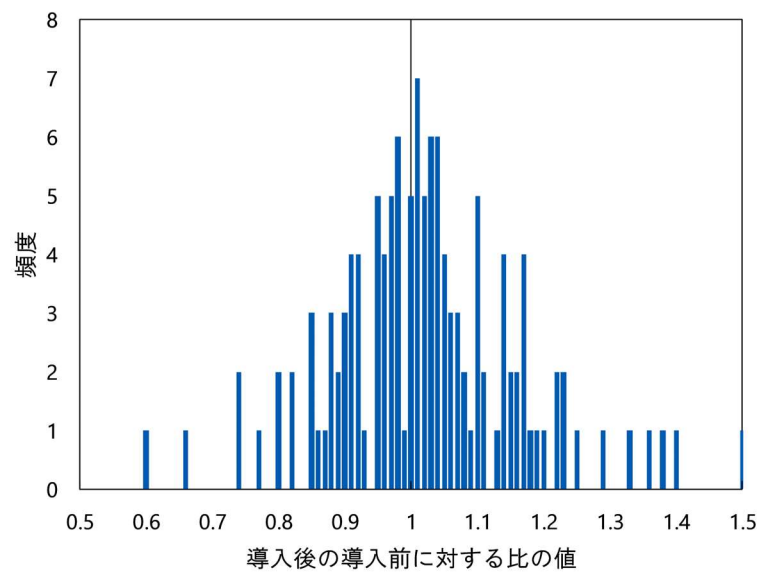


図 4-7 包括的民間委託導入前後の維持管理費用の比

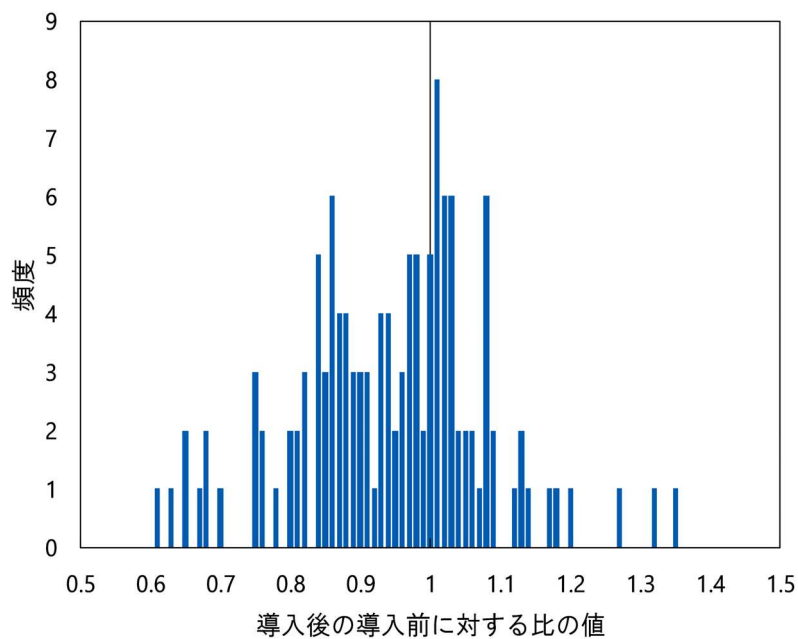


図 4-8 包括的民間委託導入前後の維持管理単価の比



表 4-4 包括的民間委託の導入前後の維持管理費用・単価の比較

	維持管理費用	維持管理単価
比の値の期待値（導入後/導入前）	1.0170	0.9392
Wilcoxon の符号付き順位検定の帰無仮説 $H_0$	棄却されず	棄却
Wilcoxon の符号付き順位検定の検定統計量 $Z$	0.7753	-4.8015

b) 包括的民間委託導入の下水処理施設について

4.4.2 で述べたマクロ評価に関して、1,322 箇所の全ての下水処理施設における SCE 指標の推定結果に対して、Mann-Whitney の U 検定<sup>41)</sup>といったサンプル間の対応が無い場合の統計的仮説検定を行うことも考えられる。その場合には、全ての下水処理施設を母集団とした場合に、包括的民間委託を導入する下水処理施設がランダムに選択されることが前提となる。図 4-9 には、1,322 箇所全ての下水処理施設における SCE 指標の推定値の分布をヒストグラムとして示す。なお、頻度については、包括的民間委託導入前後それぞれで合計が 1 となるように基準化した値を用いている。同図から、1,322 箇所全ての下水処理施設を対象とした場合には、包括的民間委託導入の有無に応じた SCE 指標の差異があまり見られないことが確認できる。この結果と 4.5.3 a) で示した結果は整合的でない。その理由として、費用効率性の低い下水処理施設に対して、包括的民間委託が導入される傾向があるというサンプル取得バイアスが考えられる。この点については、実際の下水処理施設における包括的民間委託導入理由を調査するとともに、因果推論やデータ融合<sup>42)</sup>といった手法によりサンプル取得バイアスを除去するようなアプローチが今後必要となる。

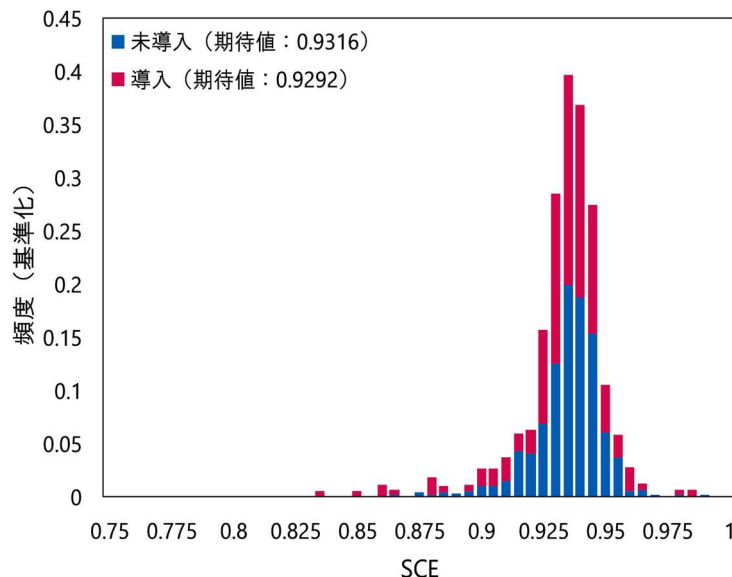


図 4-9 SCE 指標の推定値のヒストグラム：全下水処理施設

c) データベース整備について

包括的民間委託の導入件数の増加に伴い、定量的な根拠に基づいた包括的民間委託の事

後評価および継続的改善の重要性が高まり、本章のような実際のデータに基づく方法論が重要となると考えられる。このような状況において、下水処理施設の管理・運営に関するデータベースの整備・高精度化は、事後評価の精度に直結する重要な課題となる。本章の実施を通じて得られた、下水処理施設の管理・運営に関するデータベース整備における問題点や今後の検討課題を以下で整理する。

4.5.1 で述べたように、データの欠測に起因して、本章では、2,024 箇所の下水処理施設のうち、1,322 箇所のデータしか分析に用いることができなかった。データベースにおいて生じていたデータの欠測としては、そもそもデータが入力されていないことに加えて、桁が異なるなど明らかに誤った値が入力されている場合も散見された。また、本章ではデータベースに含めて分析を行ったが、**図 4-2** で SCE 指標が 0.8 以下と推定されている 3 箇所の下水処理施設では、包括的民間委託導入後と比べ、維持管理費用総額が 1.5~2 倍程度、あるいは年間処理水量が 0.5~0.6 倍程度と記録されていた。これらの下水処理施設のデータは正しく記入されたものである可能性があるが、誤記等の可能性も否定できない。このような現状に対して、データを漏れなく正確に入力・蓄積するための取り組みが重要となる。また、4.5.4 a) で述べたように、本章で用いたデータベースにおいては、包括的民間委託の導入前後で年間処理水量に過度な変動が見られた（ただし、本章では、このようなデータも確率的費用フロンティアモデルの推定に利用し、4.5.3 b) での **図 4-5** に関する議論のように、費用効率性の推定結果と年間処理水量の関係を事後的に考察することとした）。一般的に、包括的民間委託の導入と年間処理水量の増減は無関係であると推察されるため、包括的民間委託の導入に起因して、年間処理水量の計測方法や定義に若干の変化が生じた可能性が否定できない。年間処理水量に限らず、データベース内の個々のデータに関して、その計測方法や定義を明確化するような取り組みが重要となる。

さらには、各生産要素の単価に関する情報が利用できなかったため代理変数に対する平均費用を用いたと 4.5.1 で述べたように、統計的な分析を行うにあたり、現状のデータベースでは代替的な指標を用いざるを得ない場合もある。本章では、各生産要素の単価や投入量に関する情報が不足しており、これらのデータベース化により、確率的費用フロンティアモデルの実現象への適合度合いが向上する可能性がある。包括的民間委託導入効果を検証するために、どのようなデータを蓄積するのかについても検討が必要となる。

## 4.6 おわりに

本章では、全国の下水処理施設における包括的民間委託導入効果を費用効率性に基づき評価した。具体的には、確率的費用フロンティアモデルを MCMC 法により推定することにより獲得した費用効率性パラメータの事後分布からのサンプルを、包括的民間委託

の導入前後で **Wlicoxon** の符号付き順位検定により比較することにより、包括的民間委託の導入効果を定量化する方法論を提案した。当該方法論を全国の下水処理施設の維持管理費用や年間処理水量で構成されたデータベースに適用することにより、実際の包括的民間委託の導入効果を定量化した。その結果、包括的民間委託導入前後の双方のデータが獲得されていた 55 箇所の下水処理施設に関して、包括的民間委託導入後の費用効率性の改善がマクロな傾向として確認された。また、55 箇所の個々の下水処理施設に着目した場合、39 箇所の下水処理施設において、包括的民間委託導入後に統計的に有意な費用効率性の改善が確認された。ただし、この結果に関しては、**4.5.4 a)**で述べたように、維持管理費用の低減ではなく、年間処理水量の増加が主な要因となっている可能性を否定できないため、今後の詳細な検証が望まれる点には留意されたい。

本章に関連した今後の研究課題としては、以下が挙げられる。第 1 に、**4.5.4** で整理した個々の課題の改善に向けた取り組みが必要となる。特に、データベースの整備については、本章のような確率的フロンティアモデルの推定以外にも、集計分析等で包括的民間委託導入の効果を簡易的に評価する際にも重要となるため、重点的な取り組みが必要となると考えられる。第 2 に、包括的民間委託の活用も含めた下水処理施設の維持管理の効率性に関する継続的改善が求められる。本章では、各下水処理施設の **SCE** 指標を推定し、その変化を確認するに留まっているが、例えば、**4.5.3 b)**のマイクロ評価結果と、包括的民間委託における具体的な管理・運営方法を対比し、下水処理施設の維持管理の効率性向上に資する方法に関して、継続的に知見を蓄積していくことが望まれる。

## 参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水道管路施設の管理業務における包括的民間委託導入事例集，2017.
- 2) 千葉県県土整備部都市整備局下水道課：千葉県流域下水道維持管理包括委託の事後評価，2019.
- 3) 富士市上下水道部下水道施設維持課：包括的民間委託の導入効果の事後検証について，第 24 回下水道事業における新たな PPP/PFI 検討会説明資料，2021.
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：性能発注の考え方に基づく民間委託のためのガイドライン，2001.
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水道事業における公共施設等運営事業等の実施に関するガイドライン，2019.
- 6) 小林潔司，北濃洋一，渡辺晴彦，石川美知郎：下水道システムの費用効率性評価法，土木学会論文集，No.751/IV-62，pp. 111-125，2004.

- 7) 小林潔司, 貝戸清之, 小濱健吾, 早矢仕廉太郎, 深谷渉: 事業体効率性評価のための確率的劣化フロンティア分析, 土木学会論文集 D3, Vol.72, No.2, pp.173-190, 2016.
- 8) Koopmans, T. C.: An analysis of production as an efficient combination of activities, in: Koopmans, T. C. (ed.): *Activity Analysis of Production and Allocation*, Wiley, 1951.
- 9) Debreu, G.: The coefficient of resource utilization, *Econometrica*, Vol.19, pp. 273-292, 1951.
- 10) Shepard, R. W.: *Cost and Production Functions*, Princeton University Press, 1953.
- 11) Farrell, M. J.: The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120, Part 3, pp.253-281, 1957.
- 12) Aigner, D. J. and Chu, S. F.: On estimating the industry production function, *American Economic Review*, Vol.58, pp.826-839, 1968.
- 13) Seitz, W. D.: Productive efficiency in the steamelectric generating industry, *Journal of Political Economy*, Vol.79, pp.878-886, 1971.
- 14) Meeusen, W. and van den Broeck, J.: Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error, *International Economic Review*, Vol.18, pp.435-41 1977.
- 15) Aigner, D. J., Lovell, C. A. K. and Schmidt, P.: Formulation and estimation of stochastic frontier production function models, *Journal of Econometrics*, Vol.6, pp.21-37, 1977.
- 16) Bauer, P. W.: Recent developments in the econometric estimation of frontiers, *Journal of Econometrics*, Vol.46, No.1-2, pp.39-56, 1990.
- 17) Kumbhakar, S. C. and Lovell, C. A. K.: *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge University Press, 2003.
- 18) Tsionas, E. G.: Stochastic frontier models with random coefficients, *Journal of Applied Econometrics*, Vol.17, Issue 2, pp.127-147, 2002.
- 19) Haider, S. and Mishra, P. P.: Does innovative capability enhance the energy efficiency of Indian Iron and Steel firms? A Bayesian stochastic frontier analysis, *Energy Economics*, Vol.95, 105128, 2021.
- 20) Ferná'ndez, C., Koop, G. and Steel, M.: A Bayesian analysis of multiple-output production frontiers, *Journal of Econometrics*, Vol.98, Issue 1, pp.47-79, 2000.
- 21) Schmidt, A. M., Moreira, A. R., Helfand, S. M. and Fonseca, T. C.: Spatial stochastic frontier models: accounting for unobserved local determinants of inefficiency, *Journal of Productivity Analysis*, Vol.31, Issue 2, pp.101-112, 2009.
- 22) Klein, N., Herwartz, H. and Kneib, T.: Modelling regional patterns of inefficiency: A Bayesian approach to geoadditive panel stochastic frontier analysis with an application

- to cereal production in England and Wales, *Journal of Econometrics*, Vol.214, Issue 2, pp.513-539, 2020.
- 23) Kozumi, H. and Zhang, X.: Bayesian and nonbayesian analysis of gamma stochastic frontier models by Markov Chain Monte Carlo methods, *Computational Statistics*, Vol.20, Issue 4, pp.575-593, 2005.
  - 24) 水谷大二郎, 貝戸清之, 小林潔司: 階層ベイズ法による補修効果の事後評価, 土木学会論文集 F4, Vol.69, No.2, pp.204-211, 2013.
  - 25) 貝戸清之, 慈道充, 水谷大二郎, 小林潔司, 宇野裕亮: 段階的劣化異質性に基づく長寿命化技術導入効果の事後評価, 土木学会論文集 F4, Vol.78, No.1, pp.99-117, 2022.
  - 26) Dempster, A. P., Laird, N. M. and Rubin, D. B.: Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, Vol.39, pp.1-38, 1977.
  - 27) Diebolt, J. and Robert, C. P.: Estimation of finite mixture distributions through Bayesian sampling, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, Vol.56, pp.363-375, 1994.
  - 28) Geman, S. and Geman, D.: Stochastic relaxation, Gibbs distributions, and the Bayesian restoration of images, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.6, Issue 6, pp.721-741, 1984.
  - 29) Hastings, W. K.: Monte Carlo sampling methods using Markov chains and their applications, *Biometrika*, Vol.57, Issue 1, pp.97-109, 1970.
  - 30) 貝戸清之, 小林潔司: マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推定, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.2, pp.336-355, 2007.
  - 31) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大: 混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推計, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.4, pp.255-271, 2012.
  - 32) 水谷大二郎, 貝戸清之, 小林潔司, 秀島栄三, 山田洋太, 平川恵士: 判定基準変更を考慮した隠れマルコフ劣化ハザードモデル, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.2, pp. 70-89, 2015.
  - 33) Wilcoxon, F.: Individual Comparisons by Ranking Methods, *Biometrics Bulletin*, Vol.1, No.6, pp.80-83, 1945.
  - 34) 公益社団法人日本下水道協会: 平成 19 年度版下水道統計, 2009.
  - 35) 公益社団法人日本下水道協会: 平成 20 年度版下水道統計, 2010.
  - 36) 公益社団法人日本下水道協会: 平成 21 年度版下水道統計, 2011.
  - 37) 公益社団法人日本下水道協会: 平成 22 年度版下水道統計, 2012.
  - 38) 公益社団法人日本下水道協会: 平成 23 年度版下水道統計, 2013.
  - 39) 公益社団法人日本下水道協会: 平成 24 年度版下水道統計, 2014.

- 40) Geweke, J.: Evaluating the accuracy of samplingbased approaches to the calculation of posterior moments, in Bernardo, J. M., Berger, J. M., Dawid, A. P. and Smith, A. E M. (eds.), *Bayesian Statistics 4*, pp.169-193, Oxford University Press, 1996.
- 41) Battese, G. E. and Coelli, T. J.: A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data, *Empirical Economics*, Vol.20, Issue 2, pp.325-332, 1995.
- 42) Mann, H. B. and Whitney, D. R.: On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other, *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol.18, No.1, pp.50-60, 1947.
- 43) 星野崇宏：調査観察データの統計科学—因果推論・選択バイアス・データ融合，岩波書店，2009.

## 第5章 PPP/PFI手法におけるアセットマネジメントのためのインセンティブ評価

### 5.1 はじめに

先進諸国では膨大に蓄積されたインフラストックとその老朽化により、既存インフラの維持管理・更新費用の増大が大きな政策課題となっている。一方で、インフラの維持管理・更新に充当できる財源の不足は厳しさを増しており、限られた財源の下で、既存のインフラの計画的かつ効率的な維持管理・更新が求められている。

わが国では 2000 年代以降、インフラの管理・運営に「アセットマネジメント」という考え方を導入し<sup>1)</sup>、課題解決のための施策が多く行われてきた<sup>2)-4)</sup>。そもそもアセットマネジメントは、投資家などから預かった「アセット」を適切に管理・運用し、その価値を最大化する活動であり、2014 年 1 月に発行されたアセットマネジメントの国際規格 (ISO55000 シリーズ) は、アセットマネジメントを「アセットからの価値を実現化する組織の調整された活動」と定義し<sup>5)</sup>、アセットマネジメントの目的は費用の縮減ではなく価値の実現にあると考える。然るに、わが国のインフラ分野では、道路のメンテナンスサイクルの実装など、維持管理を計画的かつ効率的に行い、中長期費用を最小化することが目指されてきた<sup>6)</sup>。

一方、インフラの管理・運営の主体については、官民協働で行う仕組み (PPP/PFI 手法) が導入されてきた。1980 年代に英国で始まった制度がわが国にも採用され、鉄道・通信事業の民営化とともに、様々な PPP/PFI 手法 (指定管理, 包括委託, BOT, BTO, コンセッション方式など) が導入されてきた。これらの PPP/PFI 手法に関して多くの研究が行われてきたが、入札・契約の仕組み, 資金調達の方法, 官民のリスク分担などプロジェクトマネジメントの視点からの研究が大半である<sup>9)-17)</sup>。「アセットからの価値の実現化」という観点から、各手法のアセットマネジメントの実施に対するインセンティブについて考察した研究は筆者の知る限り見られない。

以上の問題意識をもとに本稿では、PPP/PFI の各手法において「アセットから得られる価値」を定式化し、各手法とアセットマネジメント実施のインセンティブとの関係について考察する。また、インセンティブを持ち得る仕組みになっている場合には、さらにそれを高めるための課題や方策について考察する。以下、5.2 では本章の考え方を明らかにする。5.3 では、PPP/PFI の各手法における資産価値の評価式を定式化する。5.4 では、各手法の評価式から資産価値向上のインセンティブの有無について考察する。5.5 はとりまとめであり、今後の研究課題について考察する。

## 5.2 本章の基本的な考え方

### 5.2.1 アセットマネジメントに関する研究概要

「アセットマネジメント」という用語は金融・証券・不動産業界の一般用語であり、投資家などから預かった「アセット」を適切に運用し、その価値を最大化する活動と解される。2000年代以降、この考え方をインフラに適用し、インフラを適切に管理・運営する取り組みが欧米先進国やわが国で行われてきた。新たな施設を「つくる」時代から、今ある施設を「管理する」時代、「使う」時代へと先進諸国が急速に移行する中、インフラの管理の効率化とともに、インフラの資産価値の最大化を図ることが、その取り組みの目的とされた<sup>7)</sup>。

わが国では、インフラは国・自治体等の公共主体（官）が保有・管理するのが一般的であり、その背景には、国民の共有財産ともいえるインフラの管理・運営を公共主体が国民からの付託により責任を持って実施するという考え方が存在する。また、公共事業を実施する際に周辺住民との合意形成を図り、反対運動などによる事業遅延を避けることを目的に、「説明責任」という意味で「アカウンタビリティ」という言葉も頻繁に用いられたが、インフラのアセットマネジメントでは、「アカウンタビリティ」を金融・不動産業界で資産を顧客から預かる際の「受託者責任」と解釈し、公共主体は国民からアセットを預かって適切に管理・運営する責務を負っているとする論もあった<sup>7)</sup>。公共主体には元来、国民から受けた信任により、適切にアセットマネジメントを行う義務があり、国民の税金でつくった大切な施設・設備を資産と考え、その価値を維持・向上して国民に返すという考え方も整理された。例えば、土木学会が出版した「アセットマネジメント導入への挑戦」（2005年）では、社会資本のアセットマネジメントを「国民の共有財産である社会資本を、国民の利益向上のために長期的視点に立って、効率的、効果的に管理・運営する体系化された実践活動。工学、経済学、経営学などの分野における知見を総合的に用いながら、継続して（ねばりづよく）行なうもの」と定義している<sup>8)</sup>。

インフラのアセットマネジメントの取り組みは、下水道・舗装・道路橋の分野で先行して進められた。特に、戦後の復興期に急速に整備が進められた道路については各種構造物の高齢化は深刻であり、ストックとして蓄積された道路構造物を将来にわたり適切に保全し続けるための維持管理や既存施設の更新のあり方について、2000年頃より国土交通省でも本格的な検討が開始された。国土交通省は2002年度の道路関係予算概要の中で「アセットマネジメント」という用語を初めて使用した<sup>1)</sup>。

しかしながら、これまでの取り組みは、点検、診断、評価、維持管理計画、補修というメンテナンスサイクルを効率化し、中長期的な費用を縮減することが主眼となっており、そのための技術開発やソフトウェアの開発などが多く行われてきた<sup>7)</sup>。「アセットからの



価値実現」，すなわちアセットから生み出される価値に注目してそれを向上させるという視点は明示的ではなく，「アセットマネジメント」というよりはむしろ「フロー」のマネジメントが実施されてきた．アセットから得られる価値を所与のものとして，中長期の最小コストでそれを維持することが目指されてきた．

これらを管理会計の視点で分析した研究も多く発表された．小林ら<sup>18)</sup>は，インフラ会計の目的と基本的考え方，インフラ管理とインフラ会計の関係，インフラ会計のシステム，更新会計や繰延維持補修会計等の手法，インフラ会計の適用例，アセットマネジメントとの関係を論じ，社会資本のアセットマネジメントに対するインフラ会計の有効性を示している．また，インフラ資産の評価にあたっての減価償却の考え方の違いを，更新会計，繰延維持補修会計，減価償却会計に分けて整理し，それぞれの財務諸表上の処理方法について解説を行っている．さらに小林<sup>19)</sup>は，社会的共通資本としてのインフラ会計の必要性について，アセットマネジメントシステムが導入され，アセットマネジメントのために適切な予算枠が設定されれば，担当者の意識は「なぜ，いま，このインフラの維持補修を行わなければならないのか」から「今年は何のインフラの維持補修を実施すべきか」に変わるとし，これを会計的に支える仕組みとして，インフラ会計の整備を訴えている．一方で堀<sup>20)</sup>は，下水道施設の管理会計システムとして，下水処理施設の効率の維持補修計画を策定し，工学的管理会計情報を作成する工学的維持管理システムと，下水処理施設の資産価額と会計年度における資産の変化を記録する管理会計作成システムで構成される「下水処理施設管理会計システム」を提案し，標準的な下水処理施設モデルを対象とした実証分析を行っている．ただし，いずれの研究も財務会計の視点から，インフラの資産価値の最大化を目的として行われた研究ではない．

### 5.2.2 PPP/PFI手法に関する研究概要

2001年6月に小泉内閣が閣議決定した「骨太の方針」において，「公共サービスの提供について，市場メカニズムをできるだけ活用していくため，「民間でできることはできるだけ民間に委ねる」という原則の下に，公共サービスの属性に応じて，民営化，民間委託，PFI，独立行政法人化等の方策の活用に関する検討を進める」との改革策が盛り込まれた．この施策を推進し，公共主体の直営で提供してきた公共サービスを民間に開放することをわが国では「日本版PPP」と呼び，PPP（Public Private Partnership）は「官民のパートナーシップ（協働）による公共サービスの提供手法」と定義された<sup>21),22)</sup>．その背景には，財政の健全化，公共サービスの質の向上，経済の活性化というわが国の政策課題が存在していた<sup>9)</sup>．

これまでのPPP/PFI手法に関する研究は，官民が協働して具体の事業に導入を進めるためのプロジェクトマネジメント的な視点からのものが多かった．例えば，PFI事業の契約

実務やプロジェクトファイナンス、PFI事業を適用するための諸手続きに詳しい文献が発行された<sup>10)-12)</sup>。PFI事業におけるリスクを定量化し、リスクアロケーションを分析した文献や論文も多く発表された<sup>13),14)</sup>。石らは、PFI事業を不完備契約と位置づけ、契約保証金や補助金の有効性を明らかにした<sup>15)</sup>。国の多様な入札契約方式の導入と相俟って、PFI事業への競争的対話方式の導入に向けた検討も行われた<sup>16)</sup>。加藤らは、民間事業者が複数のPFI事業をまとめて実施することによるバンドリング効果に関する分析を行った<sup>17)</sup>。

しかしながら、これらは全て、PFI/PPP手法を具体的な事業として円滑に進めるための仕組みについて研究されたものであり、アセットの価値の実現という視点は含まれていない。2018年の改正PFI法の施行によって、わが国にも導入されたコンセッション方式を解説する中で、事業期間終了時の対象資産の残存価値の算定やその課題に触れた文献が一部存在するに留まっている<sup>18),19)</sup>。PFI/PPP手法をアセットマネジメントの観点から研究を行った事例は筆者の知る限りでは存在しない。

### 5.2.3 インフラ資産の管理・運営方式とISOへの対応

2010年以降の英国の動きを見る限り、図-1に示すように、インフラの運営管理の民間開放の程度とISO55000シリーズへの対応度の間には密接な関係がある<sup>23)</sup>。国際規格への対応は対象機関の政府からの独立性によって異なる。すなわち、上下水道や鉄道等の公的インフラ企業は、安全性の確保、利用者満足度の向上などを組織の目的として掲げ、英国のアセットマネジメントの国内規格(PAS55)を取得し、国際規格(ISO55000シリーズ)の認証も取得済みもしくは取得に対して非常に積極的である。以前は政策執行機関であった道路庁(Highways Agency)もHighways Englandと改称して公営企業化され、ISO55000シリーズに基づいたマネジメントの実施を政府から要求された<sup>23)</sup>。

この背景には、1980年代に英国がインフラ事業の民営化に動いた際、分野別に独立規制機関を設立して公的インフラ企業をモニタリングする仕組みを構築したことがある。鉄道(後に道路も吸収)のORR(The Office of Rail and Road)、電力のOfgem(The Office of Gas and Electricity Markets)、上下水道のOfwat(The Water Services Regulation Authority)である。公的インフラ企業はアセットマネジメントを適切に行っていることをPAS55の認証取得によって公的に証明し、規制機関はそれをモニタリングの1つの拠り所とした。PAS55を取得した公的インフラ企業はISO55001の認証取得にも取り組み、ロンドン地下鉄は2016年に地下鉄運営機関としてはシンガポール地下鉄に次いで世界で2番目にISO55001を取得した<sup>23)</sup>。

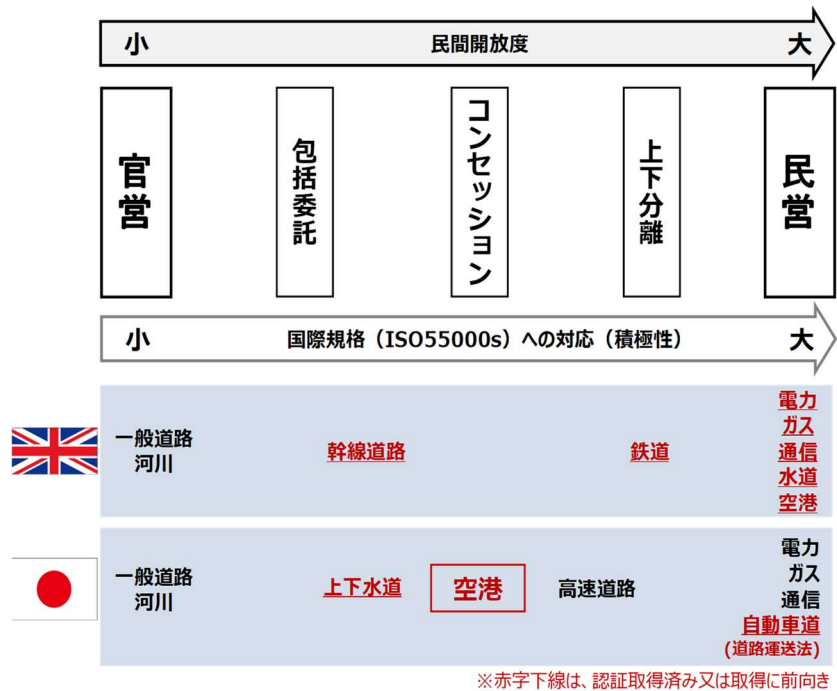


図 5-1 ISO55000s への対応と民間開放の関係

一方、図5-1に記載するように、わが国のISO55001の認証取得分野としては下水道、自動車道（道路運送法）が対象となっており、民間開放が比較的進む分野において進展していることがわかる<sup>20)</sup>。コンセッション方式の導入など、わが国でもインフラの管理・運営にPPP/PFI手法を適用する事例が増加しており、これらの事業に関わる民間事業者にもISO55001に準拠したアセットマネジメントの実施が求められるようになる<sup>24), 25)</sup>。PPP/PFI手法の下で、実効性のあるアセットマネジメントが実施されるか否かは、インフラを管理・運営する民間事業者がアセットマネジメントを導入するインセンティブを有しているか否かにかかっている。

このような問題意識の下、本章ではPPP/PFIの各手法の下で民間事業者が獲得するフリーキャッシュフローを定式化し、その割引現在価値の総和で表されるインフラの資産価値を最大化するインセンティブを民間事業者が持ち得るか否かについて考察することとする。なお、図5-1は、インフラ資産の管理・運営方式を英日間で比較するために、各方式を民間開放度に応じて官営から民営までの5つに分類したものである。インフラの資産価値評価の視点からわが国のPPP/PFI手法を分析するために行った後述の5分類（指定管理、BTO、BOT、コンセッション、民営化）とは、整理軸が異なることを断っておく。

## 5.3 PPP/PFI 手法と資産価値評価

### 5.3.1 インフラの資産価値の評価方法

インフラにはキャッシュフローを生み出すものと生み出さないものがある。道路でいえば、有料道路は前者、一般道路は後者となるが、インフラによって何らかの便益が提供される限り、キャッシュフローの有無に関係なくインフラには資産価値が存在する。本章では、インフラを管理・運営し、キャッシュフローを獲得する民間事業者の立場から、インフラの資産価値を評価する場合に絞って検討を行う。

インフラの資産価値の評価方法について、小林<sup>26)</sup>は資産の取得に要する支出額を基礎として決定するのか、保有資産の売却によって得られる収入額を基礎として決定するのか、過去の価額を基礎とするのか、現在の価額を基礎とするのか、将来の（予想される）価額を基礎として決定するのに基づいて、表5-1に示すような6つの概念に分類している。

表 5-1 インフラ資産評価方法の分類

	過去の価額	現在の価額	将来の価額
支出額	取得原価	再調達価額	—
収入額	—	正味実現可能価額	割引現在価値

実際には、これまで行われてきたインフラの資産評価は支出額に基づく評価が中心であった。例えば、2000年の日本道路公団の民営化の際に行われた保有資産の価値評価は、再調達価額を計算した上で、建設時からの経年劣化による資産価値の低下を定額法による減価償却で差し引いて求めている。一方で、空港、道路、下水道等で採用され始めてきたコンセッション方式の導入では、運営権の購入価額を決定する際にインカムアプローチによる資産価値の評価が行われている。

通常、M&Aの世界で行われる企業価値評価の方法は、インカムアプローチ、コストアプローチ、マーケットアプローチの3つが存在する。市場と取引される不動産の価値の鑑定も、これら3つのアプローチで行われている。インフラ分野では、当該インフラが市場で取引されない場合は、取引事例を参考に価値を試算するマーケットアプローチを採用することはできない。インカムアプローチはインフラが長期にわたって供用され、そこから生み出される価値が社会に還元されるとして資産価値を評価するものであり、インフラの資産価値は当該資産が生み出す将来のフリーキャッシュフローを現在価値に換算して算出される。民間事業者がインフラの管理・運営を行う場合、事業実施に伴って発生する税も考慮した算定式を用いて資産価値を評価することができる。

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t - ED_t)}{(1+r)^t} \quad (1)$$

ここに、 $FCF$ ：フリーキャッシュフロー、 $N$ ：事業期間、 $R_t$ ： $t$ 期の収入、 $E_t$ ： $t$ 期の支出、 $T$ ：法定実行税率、 $ED_t$ ： $t$ 期の税控除支出、 $t$ ：時間、 $r$ ：割引率であり、 $E_t$ には維持管理費用、固定資産税、借入金利などの毎年の支出が含まれ、 $ED_t$ には減価償却費、借入金利などの税控除支出が含まれる。式(1)に示すように、毎年の収入から支出を引いた収益に対して税が課せられるが、借入金利や資産を保有している場合の減価償却費などの税控除対象となる費用を収益から差し引いて税率を乗算することに注意が必要である。

PPP/PFIの各手法により、民間事業者が獲得するフリーキャッシュフローが異なる。本章では、民間事業者によるインフラの管理・運営スキームとして、指定管理者制度、BTO (Build, Transfer and Operate)方式、BOT (Build, Operate and Transfer)方式、コンセッション方式、民営化方式を取り上げ、民間事業者が獲得するフリーキャッシュフローを定式化する。

### 5.3.2 指定管理者制度

指定管理者制度は、これまで地方公共団体が管理運営を行っていた公共施設について、その施設や設備をそのまま活用し、運営ノウハウやコスト削減方法などの知識が豊富な民間企業に施設の管理・運営を委託する方式である。指定管理施設を所有する地方公共団体とその施設を管理・運営する指定管理者としての民間企業が相互に協力しながら適切に実施する。指定管理制度では、多くの場合、5年の指定管理期間が設定され、指定管理者が地方公共団体に代わって施設を管理・運営する<sup>27)</sup>。

指定管理者制度では、民間事業者は公共から得られる毎年の指定管理料を収入とし、施設の維持管理にかかる費用を毎年支出する。施設の所有にかかる諸費用（固定資産税等）は発生せず、減価償却費も発生しないため、フリーキャッシュフローは次式で示される。

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t)}{(1+r)^t} \quad (2)$$

契約で定められた指定管理料を毎年一定額受領し、その範囲で施設の管理・運営を行うため、民間事業者の関心は毎年の維持管理費用の縮減のみとなり、施設の長寿命化や機能向上といったアセットの価値向上のインセンティブは民間事業者に生じない。

仮に、現行の指定管理者制度において、施設の長寿命化や機能向上を民間事業者が地方公共団体に提案できるとする。これによって、地方公共団体の中長期的な財政負担が軽減され、かつ毎年の指定管理料が増額される、あるいは民間事業者の毎年の維持管理費用が縮減できるのであれば、フリーキャッシュフローが改善し、資産価値が向上する。このような条件が満たされたときに、民間事業者に長寿命化投資を行うインセンティブが生じる。

### 5.3.3 BTO 方式

民間事業者が施設を建設し（Build），施設完成直後に公共に所有権を移転し（Transfer），民間事業者が維持管理及び運営を行う（Operate）．建物系の公共施設に導入されたわが国のPPP/PFI手法の中で最も一般的な手法である．

BTOでは，民間事業者は建設した施設を公共側に譲渡した後，毎年の収入は公共側から「サービス対価」として需要変動に関わらず一定額を受け取るか自ら施設を運営して需要変動に応じて料金を徴収するかのいずれかとなり，毎年の支出は施設の維持管理にかかる毎年の費用となる．民間事業者は建設後に施設を公共側に譲渡し施設を保有しないため固定資産税等は発生しない．簡単のため全て自己資金で事業を行ったと仮定し，借入金に対する金利支払いはないものとする，事業者側のフリーキャッシュフローは次式で示される．

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t)}{(1+r)^t} \quad (3)$$

上式のとおり，民間事業者のインセンティブは収入が「サービス対価」の場合は指定管理と同様に毎年の維持管理費用の縮減に留まる．自ら料金を徴収する場合は収入増もインセンティブとなるが，あくまで運営面での収入増加策であり，施設の長寿命化や改築を伴うものではない．指定管理者制度と異なるのは，施設を公共側に譲渡する際の売却額と建設費の差分が利益となることである．ここでは簡単のため利益は発生しないと仮定する．

いま，現行のBTO方式において，施設の長寿命化や機能向上を民間事業者が公共側に提案できると考える．これによって，公共側の中長期的な財政負担が軽減され，かつ毎年の「サービス対価」が増額されるか，自ら徴収する料金の値上げや利用者の拡大による収入増につながるか，あるいは民間事業者の毎年の維持管理費用が縮減できるのであれば，指定管理者制度と同様に民間事業者に長寿命化投資を行うインセンティブが生じる．

### 5.3.4 BOT 方式

民間事業者が施設を建設し（Build），維持管理及び運営し（Operate），事業終了後に公共に施設所有権を移転する（Transfer）．1980年代に英国でPFI事業が始まった当初に導入された方式で，代表例としては英仏海峡トンネル建設プロジェクトがある．わが国では地方公共団体の省エネ対策で導入されたESCO事業が該当する．施設の建設費用を維持管理及び運営の収益で償還する仕組みである．

BOTでは，施設の管理・運営期間中，民間事業者が資産を保有するため，固定資産税が発生する．また，事業期間中に長寿命化投資を行うと，その分だけ固定資産税評価額が

上昇し、固定資産税も増加する。また、固定資産税評価額の上昇分は減価償却によって毎年減少する。いま、事業期間中の時点 $t_p$ において1度だけ長寿命化投資を実施するような場合を考える。減価償却に定額法を採用した場合の事業者側のフリーキャッシュフローは次式で表される。

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T \left( R_t - E_t - \frac{C}{N} \right) - g \left( C - \frac{tC}{N} \right)}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g \left( C_p - \frac{tC_p}{N_p} \right)}{(1+r)^t} \quad (4)$$

ただし、 $C_p$ ：事業期間中の長寿命化投資額、 $N_p$ ：長寿命化投資の償却期間、 $t_p$ ：長寿命化投資の時期、 $g$ ：固定資産税率である。事業期間中に長寿命化投資を行わなかった場合は、右辺の第2項を削除して

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T \left( R_t - E_t - \frac{C}{N} \right) - g \left( C - \frac{tC}{N} \right)}{(1+r)^t} \quad (5)$$

と表される。

ここで、BOT方式における民間事業者の長寿命化投資のインセンティブについて考察する。民間事業者の目的はフリーキャッシュフローの向上であるため、長寿命化投資 $C_p$ により、式(4)の値が $C_p$ を上回ることが求められる。 $T, C, N, g$ は全て定数のため、長寿命化投資の効果は変数である $R_t$ の増加または $E_t$ の低減によって実現する。さらに、長寿命化投資によって新たに生じる式(4)の第3項が正値でかつ、より大きな値を示すことが望ましいのは言うまでもない。式(4)の第2項は、長寿命化投資の時点から事業終了時までの毎年の減価償却費の節税効果から固定資産税額を引いた値の累計値であり、日本では、 $T$ は約30%、 $g$ は約1.4%である。式(4)の3項が正値となるためには、 $N_p$ がある上限値よりも小さくなり、より大きい値となるためには、 $t_p$ が $N$ よりも十分小さくなる必要がある。

BOT方式において、民間事業者が長寿命化投資のインセンティブを得るためには、長寿命化投資によって、フリーキャッシュフローが改善するとともに、長寿命化投資の時点から事業終了時までの毎年の減価償却費の節税効果と固定資産税額の差分を加えた合計値が長寿命化投資額を上回ることが条件となる。

### 5.3.5 コンセッション方式

既存の公共施設の所有権を公共側に残したまま運営権を民間事業者に売却し、運営期間中の施設の管理・運営を民間事業者に任せる方式で、2018年の改正PFI法でわが国に導入された。19世紀以降にフランスで導入された方式でもあり、わが国では現在、空港、下水道、都市高速道路の一部で導入が始まっている。

従来のコンセッション方式では、民間事業者は施設の運営権を取得するのみで、施設

の所有権は公共側に残ったままである。取得した運営権は運営期間内に償却するが、施設保有に伴う固定資産税や減価償却費は民間事業者に発生しない。初期費用の運営権購入費  $C$  が運営期間中に償却費として発生するため、フリーキャッシュフローは

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T \left( R_t - E_t - \frac{C}{N} \right)}{(1+r)^t} \quad (6)$$

と表される。改正PFI法では、運営期間中の施設の増築や更新は全て公共側の負担であり、民間事業者のキャッシュフローに影響はない。しかし、施設の大規模改修や改築は民間事業者の意思で行うことができるため、例えば、施設を長寿命化改修した場合などは、それによる資産価値向上分は繰延資産として計上され、固定資産税や減価償却費が発生する。事業期間中の時点  $t_p$  において1度のみ長寿命化投資を行うと考えるとフリーキャッシュフローは

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T \left( R_t - E_t - \frac{C}{N} \right)}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g \left( C_p - \frac{tC_p}{N_p} \right)}{(1+r)^t} \quad (7)$$

と表される。事業期間で初期投資を収益で回収し、事業期間終了時に資産を無償譲渡するBOTと異なり、コンセッション方式では運営権を売却することが可能である。契約終了時の運営権売却額（ここでは  $\Omega$  とする）を式(6)と(7)の右辺に加えることにより、従来および改正PFI法後のフリーキャッシュフローは

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T \left( R_t - E_t - \frac{C}{N} \right)}{(1+r)^t} + \frac{\Omega}{(1+r)^N} \quad (8)$$

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T \left( R_t - E_t - \frac{C}{N} \right)}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g \left( C_p - \frac{tC_p}{N_p} \right)}{(1+r)^t} + \frac{\Omega}{(1+r)^N} \quad (9)$$

と各々表される。

ここで、コンセッション方式における民間事業者の長寿命化投資のインセンティブについて考察する。民間事業者の目的はフリーキャッシュフローの向上であるため、長寿命化投資によって式(9)のフリーキャッシュフローが改善するとともに、長寿命化投資の時点から事業終了時までの毎年の減価償却費の節税効果と固定資産税額の差分、運営権売却額の上昇分を加えた合計値が長寿命化投資額を上回ることが条件となる。

### 5.3.6 民営化方式

インフラを民間事業者に売却し、管理・運営を全て民間に任せる方式である。この方



式においても、1)インフラを全て民間に売却する場合、2)土地は公共側に残し、施設のみ民間に売却する場合などいくつかの方法が存在する。わが国では、1980年代以降、鉄道、通信、高速道路などのインフラ事業が民営化されてきたという実績がある。

民営化方式では、施設の所有権も民間事業者に移転するため、通常の民間事業と同様に施設の保有にかかる固定資産税や減価償却費が発生する。事業期間中の長寿命化等による資産価値向上分に対しても固定資産税の増額、減価償却費の発生が伴う。また、事業期間を有限とした場合には、BOT方式と異なり期間終了時に施設を売却することも可能であるため、その売却額をフリーキャッシュフローに加える必要がある。

以上より、民営化方式におけるフリーキャッシュフローは

$$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T \left( R_t - E_t - \frac{C}{N} \right) - g \left( C - \frac{tC}{N} \right)}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g \left( C_p - \frac{tC_p}{N_p} \right)}{(1+r)^t} + \frac{\Omega}{(1+r)^N} \quad (10)$$

と表される。コンセッション方式では $C$ が運営権購入額となるのに対し、民営化方式では資産購入額となり、 $\Omega$ がコンセッション方式では運営権売却額となるのに対し、民営化方式では資産売却額となる。また、コンセッション方式には含まれていなかった初期投資に対する固定資産税の支払いが毎年発生する。

民営化方式において、民間事業者が長寿命化投資のインセンティブを得るためには、BOT方式やコンセッション方式と同様に、長寿命化投資によって式(10)のフリーキャッシュフローが改善するとともに、長寿命化投資の時点から事業終了時までの毎年の減価償却費の節税効果と固定資産税額の差分、事業売却額の上昇分を加えた合計値が長寿命化投資額を上回ることが条件となる。

## 5.4 アセットマネジメントの観点からみた考察

### 5.4.1 各手法のフリーキャッシュフローと長寿命化投資

PPP/PFI手法のフリーキャッシュフローと長寿命化投資のインセンティブを民間事業者の立場から整理すると図5-2のとおりとなる。

指定管理やBTOのように、民間事業者にアセットが移転しない場合は、事業期間中のキャッシュフローは収入、維持的経費、法人税のみで構成される。民間事業者が事業期間中に長寿命化投資を行うなどして、アセットの価値を高めるインセンティブは、民間事業者が公共側に長寿命化の利点を提案してそれが承諾され、フリーキャッシュフローが改善される場合を除き、基本的に働かない。

BOTや民営化のように、民間事業者側にアセットが移転する場合、事業期間中のキャッシュフローは収入、維持的経費、法人税に加えて、固定資産税、減価償却費が発生する。事業開始時に初期費用を借入金で賄った場合はその支払金利も追加される。コンセッションでは、民間事業者にアセットは移転しないが、運営権は事業期間中に償却するため、固定資産税は発生しないものの、運営権を対象とした減価償却費が発生する。

また、事業期間中に行った長寿命化、改築などの資産価値向上に資する費用は、民営化では全て民間事業者の負担となり、当初からの向上分について、追加の固定資産税、減価償却費が発生する。BOTとコンセッションでは発注者と民間事業者の取極めにより、その負担方法を決定することができるが、民間事業者が負担して資産価値が向上した場合には、民営化と同様にその向上分について固定資産税や減価償却費が発生する。

さらに、指定管理、BTO、BOTは事業期間終了時に民間事業者側に資産が残らない（BOTは無償譲渡を前提とする）が、コンセッションや民営化では、事業期間終了時に運営権または事業を売却できるため、その売却額をキャッシュフローに加えなければならない。

以上を踏まえ、指定管理またはBTOのフリーキャッシュフローを基準として、BOT、民営化、コンセッションの各手法において、民間事業者が長寿命化投資のインセンティブを持つための条件を図5-3に整理した。長寿命化投資により、フリーキャッシュフローの収入と支出の差分（ $R_t - E_t$ ）が全手法で増加する仮定して、民間事業者が、指定管理またはBTOよりも、BOT、民営化、コンセッションの3手法を選択して、長寿命化投資を行うインセンティブを持つための条件を整理した。その結果、各手法のフリーキャッシュフローの中で、指定管理またはBTOに含まれない項の合計値が正值となること、BOTが長寿命化投資のインセンティブを持つ条件を満たせば、民営化とコンセッションで求められる条件を自動的に満たすこと、長寿命化投資の効果は、BOT<民営化<コンセッションの順に大きくなることが明らかとなった。

手法	初期投資	FCF(フリーキャッシュフロー)	事業期間中の長寿命化投資のインセンティブ
指定管理	なし	$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t)}{(1+r)^t}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>現行制度下ではなし</li> <li>民間事業者からの長寿命化投資の提案を公共側がメリットありとして受諾し、FCFのR<sub>t</sub>が増加、E<sub>t</sub>が減少する場合はインセンティブあり</li> </ul>
BTO	建設費 (事業開始時に回収)	$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t)}{(1+r)^t}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>現行制度下ではなし</li> <li>民間事業者からの長寿命化投資の提案を公共側がメリットありとして受諾し、FCFのR<sub>t</sub>が増加、E<sub>t</sub>が減少する場合はインセンティブあり</li> </ul>
BOT	建設費	$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t - \frac{C}{N}) - g(C - \frac{tC}{N})}{(1+r)^t}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>あり</li> <li>R<sub>t</sub>の増加分、E<sub>t</sub>の減少分、長寿命化投資に対する固定資産税、減価償却費の法人税節税の割引現在価値の合計が、長寿命化投資を上回ることが条件</li> </ul>
		長寿命化投資C <sub>p</sub> を実施： $FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t - \frac{C}{N}) - g(C - \frac{tC}{N})}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g(C_p - \frac{tC_p}{N_p})}{(1+r)^t}$	
コンセッション	運営権 購入費	$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t - \frac{C}{N})}{(1+r)^t} + \frac{\Omega}{(1+r)^N}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>あり</li> <li>R<sub>t</sub>の増加分、E<sub>t</sub>の減少分、長寿命化投資に対する固定資産税、減価償却費の法人税節税、事業終了時の運営権売却額の増分の割引現在価値の合計が、長寿命化投資を上回ることが条件</li> </ul>
		長寿命化投資C <sub>p</sub> を実施： $FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t - \frac{C}{N})}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g(C_p - \frac{tC_p}{N_p})}{(1+r)^t} + \frac{\Omega}{(1+r)^N}$	
民営化	建設費	$FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t - \frac{C}{N}) - g(C - \frac{tC}{N})}{(1+r)^t} + \frac{\Omega}{(1+r)^N}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>あり</li> <li>R<sub>t</sub>の増加分、E<sub>t</sub>の減少分、長寿命化投資に対する固定資産税、減価償却費の法人税節税、事業終了時の資産売却額の増分の割引現在価値の合計が、長寿命化投資を上回ることが条件</li> </ul>
		長寿命化投資C <sub>p</sub> を実施： $FCF = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - E_t - T(R_t - E_t - \frac{C}{N}) - g(C - \frac{tC}{N})}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g(C_p - \frac{tC_p}{N_p})}{(1+r)^t} + \frac{\Omega}{(1+r)^N}$	

図 5-2 PPP/PFI手法のフリーキャッシュフローと長寿命化投資のインセンティブ

	BOT	民営化	コンセッション
フリーキャッシュフロー ・BOT(対指定管理またはBTO) ・民営化(対BOT) ・コンセッション(対民営化)	$+ \sum_{t=1}^N \frac{T \frac{C}{N} - g(C - \frac{tC}{N})}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g(C_p - \frac{tC_p}{N_p})}{(1+r)^t}$	$+ \frac{\Omega}{(1+r)^N}$	$+ \sum_{t=1}^N \frac{g(C - \frac{tC}{N})}{(1+r)^t}$
長寿命化投資を行った場合の各手法(BOT, 民営化, コンセッション)のフリーキャッシュフローに関する考察	指定管理またはBTOとの差分 (+) 初期投資の減価償却節税 (-) 初期投資の固定資産税 (+) 長寿命化投資の減価償却節税 (-) 長寿命化投資の固定資産税	BOTとの差分 (+) 売却額	民営化との差分 (+) 初期投資の固定資産税
	指定管理またはBTOよりも、初期投資および長寿命化投資の減価償却節税分だけ大きく、初期投資および長寿命化投資の固定資産税の分だけ小さい	BOTよりも事業売却額の方だけ大きい	民営化よりも初期投資の固定資産税の方だけ大きい
	パラメータの値によって、上式の値が負となり、指定管理またはBTOより値が小さくなる可能性あり	上式の値だけ、 BOTより大きい	上式の値だけ、民営化より大きい (3手法の中では最大値をとる)
各手法(BOT, 民営化, コンセッション)を選択して、長寿命化投資を行うインセンティブを持つための条件	BOT： $\sum_{t=1}^N \frac{T \frac{C}{N} - g(C - \frac{tC}{N})}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g(C_p - \frac{tC_p}{N_p})}{(1+r)^t} > 0$ 民営化： $\sum_{t=1}^N \frac{T \frac{C}{N} - g(C - \frac{tC}{N})}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g(C_p - \frac{tC_p}{N_p})}{(1+r)^t} + \frac{\Omega}{(1+r)^N} > 0$ コンセッション： $\sum_{t=1}^N \frac{T \frac{C}{N} - g(C - \frac{tC}{N})}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_p}^N \frac{T \frac{C_p}{N_p} - g(C_p - \frac{tC_p}{N_p})}{(1+r)^t} + \frac{\Omega}{(1+r)^N} > 0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>指定管理やBTOを含め、長寿命化投資によって全手法の(R<sub>t</sub> - E<sub>t</sub>)が増加すると仮定。更なる長寿命化投資の効果を得るための条件は、3手法(BOT, 民営化, コンセッション)について左記のとおり</li> <li>・BOTが条件を満たせば、民営化やコンセッションも条件を満たす。</li> </ul>	

図 5-3 BOT, 民営化, コンセッションの各手法が長寿命化投資にインセンティブを持つ条件

#### 5.4.2 コンセッション方式における「改築」の取り扱い

ここでは、現行のコンセッション方式における「改築」（＝長寿命化投資の1つ）の取り扱いについて、アセットマネジメントの観点から改善の提案を行う。

内閣府のガイドライン<sup>28)</sup>によると、コンセッション方式では、民間事業者側が期間中に維持管理業務だけではなく、改築更新工事を実施することを認めている。ただし、これは事業者側にアセットの価値を向上させるインセンティブを与えるという目的ではなく、維持管理業務に加えて、改築更新にかかる計画、設計、施工を一括して行うことによる事業の効率化を目的としている。すなわち、現状のコンセッション方式は事業実施にかかるコスト削減というフロー面を重視した施策とすることができる。また、改築の際の資産計上や法人税の支払い等については、例えば下水道分野では、浜松市の西処理場のコンセッション契約をベースに、民間事業者に過剰な「改築」を行う「モラルハザード」を起こさせないように、改築費用の9/10は発注者側、1/10は民間事業者側に負担させ、事業終了後の償却額を引いた残額を対象アセットの耐用年数で割った額を毎年費用計上する取極めとなっている。長寿命化や機能向上を伴う投資的経費については、大半を発注者側が負担し、民間事業者は一部の固定資産税と減価償却費を負担するに留まり、資産の保有や価値向上にかかる費用を負担しない仕組みに設計されている<sup>29),30)</sup>。

この仕組みでは、例えば民間事業者が「メンテナンスフリー」となるように資産を機能向上した場合、その投資的経費は発注者が負担し、それによる管理・運営費用の減少は民間事業者が享受するという不公平が生じる。

現行のコンセッション方式を「アセットからの価値を実現化する組織の調整された活動」というアセットマネジメントの本来目的に即したものとするためには、長寿命化の意思決定がその金額の多寡のみならず、その後の収入の増加や維持管理費の縮減、運営権売却額の上昇も含めた将来フリーキャッシュフローの最大化の視点からなされること、民間事業者がその便益が享受する仕組みになるよう設計することが必要である。

#### 5.4.3 残存価値の算定方法

コンセッション方式と民営化方式では、事業期間中のフリーキャッシュフローと事業終了時の残存価値を増加することが、民間事業者にとっての長寿命化投資のインセンティブとなる。ここで、両方式における事業終了時の売却価格の根拠となる残存価値について考察する。

残存価値は事業終了時の資産価値であり、その価額は事業終了時の市場で決定される。従って、事業開始時にその値を試算するためには、財務会計における簿価方式か時価方式のいずれかで試算する以外にない。簿価方式では、初期投資に基づき計上された貸借対照

表上の資産価値から毎年の減価償却費を差し引いて算定（途中で長寿命化投資等を行った場合は、その額を計上し、翌年からは減価償却費を差し引く）、時価方式では、事業終了時の市場価格が不明であるため、事業終了後も事業を継続した場合のフリーキャッシュフローの割引現在価値から算定されることとなる。

また、簿価方式では、財務会計上の耐用年数から毎年の減価償却費が定額または定率で決定されるため、事業期間中の維持補修政策とは関係なく残存価値が決定される。一方、時価方式では、事業期間中の維持補修政策の結果が事業終了時の資産の状態となって現れ、それがさらにその先のキャッシュフローを生むと考えると、残存価値はそれまでの維持補修政策に依存することとなる。アセットマネジメントの実施の観点から考えると、残存価値の算定は時価方式で行うことが望ましいと言える。

時価方式による残存価値は以下の方法で算定することができる。資産価値がその健全度に依存して決定すると仮定すると、初期および事業終了時の資産価値はともに健全度の関数となる。事業期間中の補修政策に対応した資産の健全度の推移を、例えばマルコフ劣化過程などを用いて予測し、それによって決定されるフリーキャッシュフローと事業終了時の資産価値（未知数）の割引現在価値の和が初期の資産価値（未知数）に等しいとする再帰的な連立方程式を解くことによって、健全度ごとの資産価値が求められる。その上で、最適補修政策を採用したときの事業終了時の資産の健全度をマルコフ劣化過程を用いて求め、それに相当する資産価値（＝残存価値）を計算する。求められた残存価値を図-3に示した BOT、民営化、コンセッションの条件式に代入すれば、各手法において長寿命化投資の効果が得られる条件（＝投資額、投資時期、償却期間に求められる条件）を導出することができる。民間事業者の長寿命化投資の効果をさらに上げるために法人税率や固定資産税率に求められる条件についても導出することができる。

#### 5.4.4 結論

PPP/PFIの各手法におけるアセットマネジメントのインセンティブについて、民間事業者の立場から比較検証した。その結果、フリーキャッシュフローが一定の条件を満たせば、各手法において民間事業者が長寿命化投資のインセンティブを持ち得ること、指定管理またはBTOを基準とすると、BOT、民営化、コンセッションの順に長寿命化投資の効果が大きくなることが検証された。

現行のコンセッション方式では、事業期間中の投資的経費は大半を発注者側の負担とし、その増分を民間事業者側に移転せずに、民間事業者が資産保有にかかる諸費用を支払わずに済むようにしている。しかしながら、長寿命化投資によって、例えばその後の維持管理費用が大きく減少したり、事業終了時の運営権売却価格が上昇するのであれば、民間事業者は固定資産税を支払ってでも、自ら資産計上することを選択し、長寿命化投資を行う筈

である。つまり、計画、設計、施工の一元化による民間事業者の負担軽減ではなく、アセットの価値を高める長寿命化投資を民間事業者に促し、諸税の負担増加を上回る効果を生み出す適切な長寿命化投資の方策を民間事業者が考え出すような仕組みとすれば、コンセッション方式がアセットマネジメントの目的に合致したものとなる。

運営権価格の上昇はその時点の市場環境に拠るところもあるが、民間事業者にとっては資産の物理的な状態を良好に保ちつつ、事業期間中の維持管理費用を極小化することが資産価値の向上と運営権価格の上昇につながる。特に、事業期間中に長寿命化投資を行い、資産の寿命が延伸している場合には、それを残存価値の上昇分として運営権価額に反映することができ、民間事業者にとってアセットマネジメント実施のインセンティブとなる。

事業終了時の資産価値（＝残存価値）は市場で決定されるため、事業開始時点で決定することはできないが、資産価値が健全度に依存すると考えれば、事業期間中の維持補修戦略に対する資産の健全度の推移をマルコフ劣化過程で予測し、それをもとに算出される将来フリーキャッシュフローと事業終了時の資産の健全度に対応した資産価値（未知数）の総和の割引現在価値を、事業開始時点の健全度ごとの資産価値（未知数）と等しいとする方程式を解くことによって、残存価値を時価ベースで算出することができる。健全度の推移、維持補修戦略、将来フリーキャッシュフローを総合的に表した財務会計視点のモデルの構築が急がれる。

## 5.5 おわりに

本章では、わが国で導入されているPPP/PFI手法の代表的手法について、資産価値を向上するというアセットマネジメントの本来目的に照らしたインセンティブを民間事業者が持ち得るかを、各手法のフリーキャッシュフローに基づいて考察した。特にコンセッション方式について、2018年の改正PFI法の制定以降、空港や下水道などで導入が進む中、アセットマネジメントの観点から現行制度の問題点と改善策について検討を加えた。

今後に残された課題としては、1)インフラ資産の長期保全と価値向上という視点から、PPP/PFI手法におけるインフラ資産の精度の高い状態把握と劣化予測、2)最適な維持補修戦略の策定と実施、諸税の支払い等を含めた将来フリーキャッシュフローの導出、3)事業終了時の残存価値の算定に関するさらなる研究が望まれる。これらの課題を解決することにより、PPP/PFI手法における民間事業者のための管理会計の発展やインフラ資産価値の財務的評価が可能となる。また、このような研究の蓄積と実務での実践を通じて、ISO55000シリーズが要求する技術情報と財務情報が統合したアセットマネジメントの実施が可能となる。

## 参考文献

- 1) 国土交通省道路局，都市・地方整備局：平成14年度道路関係予算概要，2002.
- 2) 国土交通省：社会資本の老朽化対策情報ポータルサイト インフラメンテナンス情報，  
([https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02\\_01.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html))
- 3) 道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方 提言，2004.
- 4) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議：道路橋の予防保全に向けた提言，2008.
- 5) 竹末直樹：アセットマネジメントの国際的動向，ISO5500X（アセットマネジメント）講習会2014，アセットマネジメント国際規格の発行を踏まえて，一般社団法人 京都ビジネスリサーチセンター，2014.
- 6) 国土交通省：道路の老朽化対策，  
(<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html>)
- 7) 小林潔司，中谷昌一，玉越隆史，青木一也，竹末直樹：実践道路アセットマネジメント入門，コロナ社，2019.
- 8) 土木学会編：“アセットマネジメント導入への挑戦，技法堂出版”，2005.
- 9) 土木学会建設マネジメント委員会インフラPFI/PPP 研究小委員会道路PPP 検討部会：道路事業へのPFI/PPP 導入に向けた制度，事例調査報告書，2014.
- 10) 柏木昇監修，美原融・赤羽貴，日本政策投資銀行PFI チーム編著：PFI 実務のエッセンス，有斐閣，2004.
- 11) 井熊均：自治体PFI プロジェクトの実務，東洋経済新聞社，2003.
- 12) 土木学会建設マネジメント委員会PFI 研究小委員会：  
インフラ整備を伴うPFI 事業形成のための課題の明確化とその解決策の提言に向けて，2003年度研究報告書，2004.
- 13) 菅野一敏，宮本和明，森地茂：水道事業PPP のリスク定量分析に基づく事業形式の検討，土木学会論文集F，Vol.66. No.2，pp.275-288，2010.
- 14) 大西正光，坂東弘，小林潔司：PFI 事業におけるリスク分担ルール，都市計画論文集，No.38-3，pp.289-294，2003.
- 15) 石磊，大西正光，小林潔司：PPP 事業権契約の効率性と保証金，土木学会論文集D，Vol.62，No.3，pp.383-400，2006.
- 16) 土木学会建設マネジメント委員会インフラPPP/PFI 研究小委員会：競争的対話の導入に向けて－欧州における実績と我が国への適用に向けた課題，2014.
- 17) 加藤聡：民間事業者の事業実施等に係る意思決定の視点からみた我が国のPPP/PFI における「バンドリング」の意義と有用性，東洋大学PPP 研究センター紀要，Vol.7，pp.1-22，2013.
- 18) 江尻良，西口志浩，小林潔司：インフラストラクチャ会計の課題と展望，土木学会論文

- 集, No. 770/VI-64, pp. 15-32, 2004.
- 19) 小林潔司：社会的共通資本としてのインフラ会計，学術の動向，Vol. 13, No. 3, pp54-55, 2008.
  - 20) 堀倫裕：下水道施設のアセットマネジメント戦略に関する研究，京都大学博士論文，2010.
  - 21) 丹生谷美穂 福田健一郎編著：コンセッション・従来型・新手法を網羅したPPP/PFI実践の手引き，中央経済社，2018.
  - 22) 佐藤正謙，岡谷茂樹，村上祐亮，福島隆則：インフラ投資，日経BP，2019.
  - 23) 竹末直樹：ISO55000 シリーズ規格の内容と今後の動向，アイソス，2018.
  - 24) ISO55001 要求事項の解説編集委員会編：ISO55001:2014 アセットマネジメントシステム要求事項の解説，2014.
  - 25) 小林潔司，田村敬一，藤木修：国際標準型アセットマネジメントの方法，日刊建設工業新聞社，鹿島出版会，2016.
  - 26) 小林潔司：マネジメントの基礎理論：インフラ管理会計のすすめ，建設の施工企画，Vol. 10, pp. 14-18, 2007.
  - 27) 加藤典生，望月信幸：指定管理者制度における運用問題，会計的説明の重要性，企業研究，Vol. 33, pp. 43-56, 2018.
  - 28) 内閣府：公共施設等運営権及び公共施設等運営事業に関するガイドライン，内閣府，2018.
  - 29) 浜松市上下水道部：浜松市における下水道事業への運営委託方式導入について（コンセッション方式），平成 30 年度第 4 回水道分野における官民連携推進協議会，2019.
  - 30) 企業会計基準委員会：公共施設等運営事業における運営権者の会計処理等に関する実務上の取り扱い，実務対応報告第 35 号，2017.



## 第6章 コンセッション方式によるインフラの最適アセットマネジメント政策

### 6.1 はじめに

コンセッション方式は、コンセッショネアと呼ばれる民間事業者が公共主体からインフラ資産の運営権を購入し、契約で定められた一定期間、インフラの管理・運営を行う方式である。事業終了時には運営権を売却するか、公共主体に有償で返還する。インフラ資産の所有権は事業期間中も公共主体に残っているため、コンセッショネアには固定資産税は発生しない。しかし、期間中にインフラ資産の増設や改築など、投資的経費を支払って工事等を行った場合には、その増分に対して固定資産税が課徴される。その他、事業期間中の法人税等の租税も通常の民間事業と同様に発生する。

2014年1月に発行したアセットマネジメントの国際規格（ISO 55000シリーズ）では、アセットマネジメントを「アセットから得られる価値を実現する調整された活動」と定義し、アセットを管理・運営する組織に対し計画的、効率的かつ継続的にアセットマネジメントを実施することを要求している<sup>1)-2)</sup>。コンセッショネアがこの要求を満たすためには、契約期間中のインフラ資産の価値の最大化するようなアセットマネジメント政策を実施しなければならない。

本章では、コンセッショネアがインフラ資産を最適に運用・管理する問題を取り上げる。コンセッショネアは、期間中のフリーキャッシュフローと運営権の売却価額の最大化の実現を目指す。フリーキャッシュフローの最大化は収益が一定と仮定した場合には管理・運営費を抑制すること、運営権の売却価額の最大化はインフラ資産がその後もより多くのフリーキャッシュフローを生み出せるようインフラ資産を良好な状態に保つことによって実現できる。しかし、コンセッショネアが管理・運営費を抑制し、期間中に適切な維持管理を行わずにフリーキャッシュフローを最大化した上で、期間終了間際に大規模補修などを行ってインフラ資産を良好な状態に戻して運営権を売却または返還するという行動も選択し得る。この場合、期間中のインフラの状態は良好と言えず、最適アセットマネジメント政策が行われているとは言えない。

以上の問題意識をもとに本章では、フリーキャッシュフローと運営権売却価額の総和が予防保全に及ぼすインセンティブを分析することを主眼として、コンセッショネアが期待キャッシュフローと運営権価格の和の最大化を実現する最適アセットマネジメント政策を求める最適化モデル（コンセッショネアモデルと呼ぶ）を提案する。具体的には、インフラ資産の劣化過程をマルコフ連鎖モデルで表現し、コンセッショネアのアセットマネジメント政策が事業期間中のフリーキャッシュフローと事業終了時の運営権価格に及ぼす影響をモデル化する。以下、6.2では、本章の基本的な考え方を説明する。6.3では、コン

セッションモデルを定式化する。6.4 では、最終期におけるインフラ資産評価の方法を提案する。最後に 6.5 では、橋梁のアセットマネジメントを対象とした実証分析を通じて、モデルの有効性を検討する。

## 6.2 本章の基本的な考え方

### 6.2.1 従来の研究概要

土木工学の分野において、インフラの劣化過程をマルコフ連鎖モデルを用いて定式化し、期待ライフサイクル費用を最小化する方法で最適補修モデルを構築した研究<sup>3)-5)</sup>はこれまでも数多くの実績がある。基本的にこれらは公共主体がアセットマネジメントを実施することを念頭においた研究である。

一方で、インフラ資産を官民協働で管理・運営するPPP/PFIについては、各手法における官民の役割・リスク分担や入札契約の方法など、プロジェクトマネジメントの観点から行われた研究が数多く存在する<sup>6)-8)</sup>。また、コンセッション方式に関する既往の研究も、事業の組成方法や参加者のリスク分担などプロジェクトマネジメントの視点から行われたものが多く<sup>9)-12)</sup>、国際規格が要求する「アセットから得られる価値を実現する調整された活動」というアセットマネジメントの観点から最適アセットマネジメント政策に関する分析を行った研究は、筆者が知る限り見当たらない。

### 6.2.2 インフラ資産価値の評価方法

本章では、コンセッションネアが初期時点においてインフラ資産の運営権を購入することを想定する。コンセッション方式に限らず、インフラ資産の価値評価は、当該インフラ資産が将来にわたって生み出す収益を現在価値に割り戻して換算する方法（インカム・アプローチ）が一般に用いられる。本章においても、将来の期待キャッシュフローに基づくインカム・アプローチによってインフラの資産価値を評価する。

いま、 $T$  期間にわたりコンセッションネアが生み出す毎期のフリーキャッシュフローを  $\mathbf{F} = (F_1, F_2, \dots, F_T)$ 、事業終了時の運営権売却にかかるフリーキャッシュフローを  $F_{VT}$  とすると、当該インフラ資産の価値は式(1)で表される。本章では、後述のとおり、事業終了時の運営権の価値を別途検討するため、フリーキャッシュフローをインフラ資産が生み出すものと、運営権売却によって得られるものに区分して取り扱う。

$$\text{資産価値} = \sum_{t=1}^T \beta^t F_t + \beta^{T+1} F_{VT} \quad (1)$$

ここで、 $t = (1, 2, \dots, T)$ は各会計年度、 $F_t$ は会計年度  $t$  における税引後のフリーキャッシュフロー、 $F_{VT}$ は事業年度  $T$  の期末における運営権売却による税引後のフリーキャッシュフロー、 $\beta$  は割引因子である。期中と期末のフリーキャッシュフローの割引現在価値を区別するため、運営権売却で得られるフリーキャッシュフローは、 $\beta^{T+1}$ で割り引くこととした。また、本章では、コンセッショネアは初期時点において、必要な資金を金融機関からの負債とコンセッショネアの資本で調達すると仮定する。このとき、 $F_t$ は式(2)で表される。

$$F_t = \theta_t^1 + \theta_t^2 - A_t \quad (t = 1, \dots, T) \quad (2)$$

ここで、 $\theta_t^1$ は税引後当期利益、 $\theta_t^2$ は減価償却費、 $A_t$ は借入金の元本返済額である。法定実効税率を $\gamma$ とすると、税引後当期利益 $\theta_t^1$ は、税引前当期利益 $E_t$ を用いて、式(3)で表される。

$$\theta_t^1 = \begin{cases} (1-\gamma)E_t & E_t \geq 0 \\ E_t & E_t < 0 \end{cases} \quad (t = 1, \dots, T) \quad (3)$$

以上より、税引後のフリーキャッシュフロー $F_t$ は、式(4)で表される。また、税引前当期利益 $E_t$ は、式(5)で表される。

$$F_t = \begin{cases} (1-\gamma)E_t + \theta_t^2 - A_t & E_t \geq 0 \\ E_t + \theta_t^2 - A_t & E_t < 0 \end{cases} \quad (t = 1, \dots, T) \quad (4)$$

$$E_t = B_t - C_t - \theta_t^2 - \theta_t^3 - \theta_t^4 - I_t \quad (t = 1, \dots, T) \quad (5)$$

ここで、 $B_t$ は収入、 $C_t$ は運営費、 $\theta_t^3$ は固定資産税、 $\theta_t^4$ は修繕費、 $I_t$ は支払利息である。

本章では、税引前当期利益 $E_t$ がプラスの場合はその額を課税所得とし、マイナスの場合はゼロとしている。運営権の売却益（または売却損）は事業期間終了時に課税処理（売却損の場合は課税ゼロ）をした上で、フリーキャッシュフローに加算する。また、フリーキャッシュフローに加味されるべき消費税、運転資本、退職給付費用等の経費類については、運営費 $C_t$ に全て含まれるものとし、以下の分析においては本質的な役割を果たす項目のみに着目した。

### 6.2.3 分析の方法

本章では、事業者としてコンセッショネアを想定し、コンセッショネアがあるインフラ施設の運営権を公共主体から購入し、コンセッション契約に定められた一定期間、事業を行うスキームを想定する。コンセッショネアは1期間ごとに当該インフラ資産の健全度を点検し、その結果に基づいてどのような補修を実施するかを判断する。また、コンセッショネアは期間中に健全度が最悪になった時点ですぐさま健全度を最も良い状態に回復させる補修を行うこととする。

通常、その補修は大規模なものとなり、その間は当該インフラ資産から得られる便益が低下すると考えられる。例えば、道路橋では健全度が最低ランクと判定されると、大規模改修や架替が行われ、工事期間中は車線数の減少、迂回交通の発生などにより便益の低下に直面する。本章では、その便益の低下分を特別損失として収入から差し引く。これは、インフラ資産の劣化によって損失が発生するリスクを明らかにして、コンセッショネアの予防保全に対するインセンティブを付与するために考慮したものである。

さらに、コンセッショネアは、初期時点に本事業の資金として資本金 $W(0)$ 、金融機関からの借入金 $D(0)$ を調達するものとする。支払利息や元本を返済できない場合は、その分を新たに金融機関から借り入れるものとし、コンセッショネアが生み出す収益に対しては法人税等の税が課徴されることとする。

## 6.3 コンセッショネアモデルの定式化

### 6.3.1 モデル化の基本条件

インフラ資産の劣化過程には不確実性が存在し、将来発生する維持補修活動を初期時点で確定的に決定することはできない。コンセッショネアモデルでは、コンセッショネアとなる民間事業者が公共主体からインフラ資産の運営権を購入し、コンセッション契約で決められた期間、インフラ資産を管理・運営し、期間終了時に運営権を売却する場合を考える。コンセッショネアは、コンセッション期間内の運営権の売却を含むフリーキャッシュフローの総和の割引現在価値が最大になるように、インフラ資産の維持補修を実施する。コンセッショネアは事業期間中、毎年一定額の収益 $B$ を得ると仮定する。本章では、コンセッション契約におけるアセットマネジメント政策に分析の焦点を絞るために、事業収益の変動リスクは考慮しないこととし、1)事業期間が有限であり事業終了時に運営権を売却する、2)運営権は減価償却するが、固定資産税はかからない、3)事業期間中の運営権の売却を含むフリーキャッシュフローを最大にする最適補修政策を求める、4)健全度が最低ランクになったときには収益が低下し、これを特別損失で計上する、という条件を置く。

コンセッショネアはインフラ資産を保有しないため、コンセッショネアにはインフラ資産に対する固定資産税は課徴されない。また、インフラ資産の運営により獲得した当期利益に対しては法人税が課徴される。コンセッショネアは1期間ごとに当該インフラ資産の健全度を点検し、あらかじめ決められたルールに基づいて維持補修を実施する。維持補修のルールは、コンセッショネアが決定できるものとする。

コンセッショネアがインフラ資産の補修に費やす費用は、維持的経費と投資的経費に区分される。維持的経費は当該会計年度における費用として認識されるが、投資的経費は

資本的支出として計上される。コンセッションネアはインフラ資産を保有しないが、資本的支出として計上された対象には固定資産税と減価償却費が発生する。コンセッションネアが購入した運営権は、翌年の会計年度から減価償却が開始される。

インフラ資産の劣化過程には不確実性があり、事業期間中に健全度が最低ランクまで低下する可能性がある。このとき、民間事業者は金融機関から必要額の借り入れができず、事業者が破綻するというクレジットリスクが存在するが、本章ではコンセッションネアが破綻するリスクは考慮しないものとする。また、健全度が最低ランクまで低下した場合は、上記の費用の増加（または便益の低下）に対応するため、コンセッションネアに特別損失が生じるものとして処理する。

### 6.3.2 マルコフ劣化モデル

$t = 0$ で始まる離散的時間軸上の点を時点と呼び、カレンダー時刻と区別する。単位時間幅を1に基準化する。当該インフラ資産の健全度を  $K$ 個のレーティング  $i$  ( $i = 1, \dots, K$ )で表現する。 $i$ の値が大きくなるほど、劣化が進展している。一般に、インフラ資産は多くの部材・部位で構成されているが、議論の見通しを良くするためにインフラ資産の健全度を1つのインデックスで表現する。多くの部材・部位で構成されているインフラ資産を考慮する場合は、部材・部位ごとの複数の劣化・補修過程で記述される集計的なシステムと考えることにより対応可能である。時点  $t$  における当該インフラ資産の健全度を状態変数  $h(t) = i$  ( $i = 1, \dots, K; t = 0, \dots, T$ )を用いて表現する。インフラ資産の劣化過程がマルコフ連鎖に従うと仮定し、離散時間軸上の単位時間間隔における健全度間の推移確率をマルコフ推移確率を用いて表現する。マルコフ推移確率は、時点  $t$  における点検で観測された健全度  $h(t) = i$  を与件とし、 $t + 1$  における健全度  $h(t + 1) = j$  ( $j \geq i$ ) が生起する条件付き確率は式(6)で表される。

$$\text{Prob}[h(t + 1) = j \mid h(t) = i] = p_{ij} \quad (6)$$

このような推移確率を全ての健全度ペア  $(i, j)$  に対して定義することにより、マルコフ推移確率行列を式(7)のように定義することができる。

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{K1} & \cdots & p_{KK} \end{pmatrix} \quad (7)$$

式(5)に示すマルコフ推移確率は、所与の2つの時点  $t, t + 1$  の間において生じる健全度間の推移確率を示したものであり、対象とする測定間隔が異なれば推移確率の値は異なる。補修がない限り、劣化過程は進行すると考え、 $p_{ij} = 0$  ( $i > j$ ) を仮定する。推移確率の定義より  $\sum_{j=1}^K p_{ij} = 1$  が成立する。マルコフ推移確率行列に関して、式(8)が成立する。

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{ij} \geq 0 \quad (i, j = 1, \dots, K) \\ p_{ij} = 0 \quad (i > j) \\ \sum_{j=1}^K p_{ij} = 1 \end{array} \right. \quad (8)$$

状態 $K$ は、補修のない限りマルコフ連鎖における吸収状態であり、 $p_{KK} = 1$ が成立すると考える。なお、マルコフ推移確率は過去の劣化履歴には依存しない。マルコフ推移確率モデルでは、健全度が $i-1$ から $i$ に推移した時点に関わらず、時点 $t$ から時点 $t+1$ の間に推移する確率は時点 $t$ における健全度のみ依存するという性質(マルコフ性)を満足する。

### 6.3.3 補修政策

離散軸上の時点 $t$ において、健全度が $h(t) = i (i = 1, \dots, K)$ と判定されたと考える。時点 $t$ において、健全度が $h(t) = K$ と判定された場合は、直ちに補修され健全度が1まで回復する。一方、時点 $t$ において健全度が $1 < h(t) = i < K$ の場合に選択可能なアクションとして、1) 補修工事を実施しない、2) 補修を実施して健全度が $j$ に回復する、という2つがある。ここで補修政策 $s$ の点検で観測された健全度 $h(t) = i$ に対して、補修後の健全度を指定するルール $\xi^s(i)$ を用いて定義する。すなわち、補修政策 $s$ は式(9)と記述される。

$$\xi^s(i) = \begin{cases} i & \text{補修を行わない} \\ j & \text{補修後健全度が}j\text{に移行する} \end{cases} \quad (i, j = 1, \dots, K) \quad (9)$$

また、補修政策の集合を $S$ と表す。補修政策 $s \in S$ を実施した場合、点検後の健全度に基づいて、直ちに補修が実施される。このような補修アクション前後の健全度の推移状態を式(10)によって定義する。

$$q_{ij}^s = \begin{cases} 1 & \xi^s(i) = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (i, j = 1, \dots, K) \quad (10)$$

$q_{ij}^s$ を $(i, j)$ 要素とする推移行列(以下、補修推移行列と呼ぶ)を $Q^s$ と表記する。補修政策 $s \in S$ の下で実現する時点 $t$ における劣化・補修過程 $P_{ij}^s$ は、推移確率 $p_{ij}$ を用いて、式(11)のように再帰的に定義できる

$$P_{ij}^s = \sum_{k=1}^K p_{ik} q_{kj}^s \quad (11)$$

$P_{ij}^s$ を $(i, j)$ 要素とする推移確率行列 $P^s$ と表すと、式(11)は行列表記により、式(12)と表される。

$$P^s = pQ^s \quad (12)$$

初期時点  $t = 0$  における健全度の確率分布を  $\boldsymbol{\pi}(0) = (\pi_1(0), \dots, \pi_K(0))$  とすれば、基本政策  $s \in S$  の下で時点  $t (t = 0, \dots, T)$  における健全度分布  $\boldsymbol{\pi}^s(t) = (\pi_1^s(t), \dots, \pi_K^s(t))$  は式(13)で表される。

$$\boldsymbol{\pi}^s(t) = \boldsymbol{\pi}(0)\{\boldsymbol{P}^s\}^t \quad (13)$$

#### 6.3.4 フリーキャッシュフローの定式化

コンセッションアのフリーキャッシュフローを定式化する。フリーキャッシュフローは、コンセッション事業により獲得したキャッシュフローから、インフラの資産維持のために支出したキャッシュフローを差し引いたものである。

##### a) 補修費用

補修政策  $s \in S$  の下で、補修・劣化過程が進行し、時点  $t$  の期首で観測される健全度を  $h^s(t)$  と表記する。時点  $t$  において、健全度  $h^s(t) = i$  のときに補修アクション  $\xi^s(i) = j$  を採用した場合の補修費用を  $c_i^s = c_{ij}$  と表す。補修を実施しない場合には  $c_i^s = 0$  となる。補修費用は任意の  $j (j \leq i \leq J; i = 1, \dots, K)$  について、

$$c_{jj} \leq \dots \leq c_{ij} \leq \dots \leq c_{Kj} \quad (14)$$

を満足すると仮定する。条件(13)は劣化が進行した状態ほど、同一の健全度に回復させるための補修費用が大きくなることを意味する。

初期時点  $t = 0$  の健全度を  $h^s(0) = i$  と表す。さらに、時点  $t = 1$  から時点  $T$  および時点  $T$  の期末に至る健全度ベクトル  $\boldsymbol{h}^s = (h^s(0), \dots, h^s(T), h^s(T+1))$  を表す。 $h^s(T+1)$  は  $T$  期末の健全度である。本来、初期時点において将来にわたる健全度は不確実であり、確率変数として記述されるが、ここでは確定的に考える。このとき、健全度の実現値  $\boldsymbol{h}^s$  の下で期間  $[0, T]$  で発生するライフサイクル費用  $L^s(i; \boldsymbol{h}^s)$  は式(15)で表される。

$$L^s(i; \boldsymbol{h}^s) = \sum_{t=1}^T \beta^t c_{h^s(t)}^s \quad (15)$$

ただし、 $\beta$  は割引率である。ここで、健全度ベクトル  $\boldsymbol{h}^s$  が推移確率(11)に従う確率変数と考えれば、期待ライフサイクル費用  $EL^s(i)$  は式(16)と定義できる。

$$EL^s(i) = E^s \left[ \sum_{t=1}^T \beta^t c_{h^s(t)}^s \right] \quad (16)$$

ただし、記号  $E^s$  は、式(11)に示す劣化過程の不確実性に関する期待値操作を表す。

また、補修費用は会計上、維持的支出と資本的支出に分けられる。維持的支出は「当該

建物、設備等の通常の維持管理のため、または一部がき損した建物、設備等につきその原状を回復するために経常的に要する費用」と定義される。資本的支出は「当該建物、設備等の価値を高め、またはその耐久性を増すこととなると認められる部分に対応する支出」と定義される。補修費用が維持的支出とみなされれば、当該年度に補修金額が全額費用として計上できるのに対し、資本的支出とみなされれば、翌年以降、複数年にわたって補修金額を減価償却しなければならない。

いま、時点  $\tau$  において健全度  $h^s(\tau) = i$  が観測され、補修費用  $c_i^s$  の補修政策  $\eta^s(\tau)$  が実施されるとする。補修金額  $c_i^s$  のうち、資本的支出とみなされる割合を  $0 < k_i^s \leq 1$  とすると、 $h^s(\tau) = i$  の状態で発生する修繕費の金額  $\theta_{h^s(\tau)}^{4,s}(\tau)$  は、式(17)と表される。

$$\theta_{h^s(\tau)}^{4,s}(\tau) = c_i^s(1 - k_i^s) \quad (17)$$

また、状態  $h^s(\tau) = i$  の状態で発生する資本的支出の金額  $\theta_{h^s(\tau)}^{5,s}(\tau)$  は、式(18)で表される。

$$\theta_{h^s(\tau)}^{5,s}(\tau) = c_i^s k_i^s \quad (18)$$

## b) 減価償却費

コンセッション事業で減価償却の対象になるのは、資本的支出で形成されたインフラ資産と契約時に購入した運営権である。両者を減価償却の対象とする。

健全度  $h^s(\tau)$  の状態で発生する投資に対して翌年から定額法で減価償却を行う。補修ルール  $\eta^s(h^s(\tau))$  に従って実施した資本的支出に対する減価償却の年数を  $M_{h^s(\tau)}^s$  とする。また、時点 0 で購入した運営権の購入額  $V^s(0)$  の減価償却の期間はコンセッション契約の期間  $T$  とし、期間終了時の残存価額は 0 とする。ここで、式(19)のダミー変数を導入する。

$$b_{h^s(\tau)}^s(t, \tau) = \begin{cases} 1 & \tau < t \leq \tau + \min\{M_{h^s(\tau)}^s, T - \tau\} \\ 0 & t > \tau + \min\{M_{h^s(\tau)}^s, T - \tau\} \end{cases} \quad (19)$$

$(1 \leq \tau \leq t - 1; t = 0, 1, \dots, T)$

ダミー変数  $b_{h^s(\tau)}^s(t, \tau)$  は、時点  $t$  において、時点  $\tau$  のときに実施した補修の減価償却費が発生する場合に値 1 を、そうでないときには値 0 をとる。また、運営権購入額に対するダミー変数も同様に、式(20)と定義する。

$$b_0(t, 0) = \begin{cases} 1 & t \leq T \\ 0 & t > T \end{cases} \quad (20)$$

このとき、時点  $t$  までに健全度ベクトル  $h^s(t)$  が実現したときに発生する減価償却費の合計額  $\theta_{h^s(t)}^{2,s}(t)$  は、式(21)のようになる。



$$\theta_{h^s(t)}^{2,s}(t) = \frac{V^s(0)}{T} b_0(t, 0) + \sum_{\tau=1}^{t-1} \frac{\theta_{h^s(\tau)}^{5,s}(\tau)}{M_{h^s(\tau)}^s} b_{h^s(\tau)}^s(t, \tau) \quad (21)$$

ただし、 $h^s(t) = (h^s(0), \dots, h^s(t))$  は初期時点  $t = 0$  から時点  $t$  に至るまでの健全度の実現値の流列である。また、 $t$  時点における  $t$  時点以前の全ての投資額に対する減価償却費の累計額すなわち減価償却費の積立額  $\theta_{h^s(t)}^{6,s}(t)$  は、式(22)で表される。

$$\theta_{h^s(t)}^{6,s}(t) = \sum_{\tau=1}^t \theta_{h^s(\tau)}^{2,s}(\tau) \quad (22)$$

### c) 固定資産税

コンセッショネアは、資本的支出を行った場合は、その支出分に対して固定資産税を毎年払わなければならない。当該時点における固定資産税の額は当該時点における固定資産評価額に固定資産税率を乗じて求めることができる。また、固定資産評価額は、当該時点以前の固定資産取得金額(投資金額) から当該時点における減価償却費累計額を減じて計算することができる。固定資産に対する減価償却費は定額法で算出し、減価償却後の残存価額は 0 とする。いま、固定資産税の税率を  $g$  とすると、時点  $t$  までの健全度ベクトル  $h^s(t)$  を与件とした固定資産税  $\theta_{h^s(t)}^{3,s}(t)$  は、式(23)で表される。

$$\theta_{h^s(t)}^{3,s}(t) = g \left\{ \sum_{m=1}^{t-1} \theta_{h^s(m)}^{5,s}(m) - \sum_{m=1}^{t-1} \sum_{\tau=m}^t \frac{\theta_{h^s(m)}^{5,s}(m)}{M_{h^s(m)}^s} b_{h^s(m)}^s(\tau, m) \right\} \quad (23)$$

なお、運営権は固定資産ではないため、固定資産税の対象にはならない。

### d) 特別損失

健全度が最低ランクまで低下すると、当該インフラ資産から得られると当初想定していた収益が得られず、特別損失が発生する。本章では、インフラ資産の健全度を  $K$  個のレーティング  $i$  ( $i = 1, \dots, K$ ) で表現し、 $i$  の値が大きくなるほど、劣化が進展すると仮定している。時点  $t$  において、健全度が  $h(t) = K$  と判定されると、特別損失  $\Delta B$  が発生し、毎年的一定収益  $B$  から収益が減少するものとする、特別損失  $\Delta B(t)$  は、式(24)で表される。

$$\Delta B(t) = \begin{cases} \Delta B & h^s(t) = K \\ 0 & h^s(t) < K \end{cases} \quad (24)$$

### e) 返済額, 利息

時点 0 において、コンセッショネアは金融機関からの借入金  $D^s(0)$  を保有する。コンセッショネアは補修政策  $s \in S$  を用いてインフラ資産の管理・運営を行い、借入金は元利均

等返済によって事業期間中に全額返済すると仮定する。また、期間中に何らかの理由でフリーキャッシュフローが負になった場合は、その不足額を金融機関から調達する。フリーキャッシュフローが正のときは内部留保を行わず、全て配当する。金融機関から借り入れた場合は、翌年以降から元利均等返済を開始し、事業期間中に全額返済すると仮定する。

借入金  $D$  に対して年利  $\alpha$ 、返済回数  $n$  の元利均等返済を行う場合、毎年の返済額  $R$  は、式(25)で表される。

$$R = \frac{\alpha(1+\alpha)^n}{(1+\alpha)^n - 1} D \quad (25)$$

事業開始時の借入金の返済回数は、事業終了時までの期間と同じであるため、事業期間  $T$  に対して、事業期間中の時点  $t$  に行った借入金の毎年の返済額  $R^s(t)$  は式(26)で表される。

$$R^s(t) = \frac{\alpha(1+\alpha)^{T-t}}{(1+\alpha)^{T-t} - 1} D^s(t) \quad (26)$$

さらに、返済額に占める利息  $I^s(t)$  と元本返済額  $A^s(t)$  は、式(27)、(28)を満足するものとして定式化できる。

$$R^s(t) = I^s(t) + A^s(t) \quad (27)$$

$$I^s(t) = \alpha D^s(t) \quad (28)$$

#### f) 税引前当期純利益，法人税，税引後当期純利益

モデル化の前提条件より、事業期間中、毎年一定額  $B$  の収益が発生すると考える。また、毎年、一定額の運営費  $C$  が発生する。法定実効税率を  $\gamma$  とする。このとき、補修政策  $s \in S$  の下で、時点  $t$  までの健全度ベクトル  $h^s(t)$  が観測されたとき、税引前当期利益  $E_{h^s(t)}^s(t)$  は式(29)で求められる。

$$E_{h^s(t)}^s(t) = B - \Delta B(t) - C - \theta_{h^s(t)}^{2,s}(t) - \theta_{h^s(t)}^{3,s}(t) - \theta_{h^s(t)}^{4,s}(t) - I^s(t) \quad (29)$$

と表される。このとき、法人税  $\theta_{h^s(t)}^{7,s}(t)$  は、式(30)で求められる。

$$\theta_{h^s(t)}^{7,s}(t) = \begin{cases} \gamma E_{h^s(t)}^s(t) & E_{h^s(t)}^s(t) \geq 0 \\ 0 & E_{h^s(t)}^s(t) < 0 \end{cases} \quad (30)$$

すなわち、税引前当期利益  $E_{h^s(t)}^s(t)$  が正の場合は、その額が課税所得、負の場合は課税所得をゼロとしている。本来は、会計上の利益と税務上の所得は異なるが、本章では、同一であると仮定している。時点  $t$  における税引後当期利益  $\theta_{h^s(t)}^{1,s}(t)$  は式(31)で求められる。

$$\theta_{h^s(t)}^{1,s}(t) = E_{h^s(t)}^s(t) - \theta_{h^s(t)}^{7,s}(t) \quad (31)$$

#### g) 税引後のフリーキャッシュフロー

以上より，式(2)－(5)も参照しつつ，コンセッショネアの税引後のフリーキャッシュフロー $F_{h^s(t)}^s(t)$ は，税引後当期利益 $\theta_{h^s(t)}^{1,s}(t)$ ，減価償却費 $\theta_{h^s(t)}^{2,s}(t)$ ，元本返済額 $A^s(t)$ を用いて，式(32)で表される．

$$F_{h^s(t)}^s(t) = \theta_{h^s(t)}^{1,s}(t) + \theta_{h^s(t)}^{2,s}(t) - A^s(t) \quad (32)$$

#### 6.3.5 コンセッショネアモデルの定式化

コンセッショネアは，時点 $t = 0$ においてインフラ資産の運営権を $V^s(0)$ で購入し，コンセッションの契約期間中はインフラ資産を管理・運営してフリーキャッシュフローを獲得する．また，時点 $t = T$ において運営権を $V^s(T)$ で売却する．運営権の価格 $V^s(T)$ は補修政策 $s \in S$ とインフラ資産の健全度に応じて内生的に決定される．その評価方法は4. で言及する．事業終了時に運営権の売却によって得られるフリーキャッシュフロー $F_{V^sT}$ は，売却時の譲渡所得に課せられる法人税を差し引いて式(33)で表される．運営権は事業期間中に全て減価償却されるため，譲渡所得は $V^s(T)$ に等しくなる．

$$F_{V^sT} = (1 - \gamma)V^s(T) \quad (33)$$

コンセッショネアは，時点 $t=0$ から契約期間中を通じて獲得できる期待フリーキャッシュフローの現在価値の総和と，契約終了時点における運営権の売却によって得られるフリーキャッシュフローの合計値 $V^s(\boldsymbol{\pi}(0))$ を最大にするような補修政策 $s \in S$ を採用すると考える．すなわち，式(34)を最大にするような補修政策 $s \in S$ を採用すると考える．

$$V^s(\boldsymbol{\pi}(0)) = E^s \left[ \sum_{t=1}^T \beta^t F_{h^s(t)}^s(t) + \beta^{T+1} F_{V^sT} \right] \quad (34)$$

ただし， $\beta$ は割引因子 ( $0 < \beta < 1$ ) である．また，記号 $E^s[ \ ]$ は補修政策 $s \in S$ の下で実現する健全度ベクトル $\boldsymbol{h}^s = (h^s(0), \dots, h^s(T), h^s(T+1))$ に関する期待値操作を表す．コンセッショネアの最適化行動は，以下に示すコンセッショネアモデルとして定式化できる．

$$\begin{aligned} V(\bar{\boldsymbol{\pi}}) &= \max_{s \in S} \{V^s(\boldsymbol{\pi}(0))\} \\ &\text{subject to } \boldsymbol{\pi}(0) = \bar{\boldsymbol{\pi}} \end{aligned} \quad (35)$$

$\bar{\boldsymbol{\pi}}$ は，初期時点 $t=0$ における健全度分布ベクトルである．

## 6.4 インフラ資産評価と解法

### 6.4.1 解法の概要

6.3で、不確実な健全度の下でコンセッショネアが事業を実施する場合のインフラ資産価値を最大化する最適補修政策を求めるためのコンセッショネアモデルを定式化した。ここで、事業終了時の運営権の売却額については、インフラ資産の残存価値を管理会計上で定義する場合と財務会計上で定義する場合の2つが存在する。残存価値を管理会計上で定義した場合の健全度ごとの資産価値を最大化する最適補修政策を求めるモデルを時価評価モデル、残存価値を財務会計上で定義した場合のモデルを簿価評価モデルと呼ぶことにする。以下に2つのモデルを用いてインフラ資産価値を評価し、最適アセットマネジメント施策を求める手順を示す。

### 6.4.2 時価評価モデル

#### h) インフラ資産の時価評価

最終時点 $T$ におけるインフラ資産の運営権の売却価格として、最終時点のインフラ資産の健全度に応じた時価評価の結果を用いることとする。すなわち、最終時点におけるインフラ資産の価格は、最終時点におけるインフラ資産の健全度を与件として、その時点から無期限にわたってインフラ資産を補修政策 $s \in S$ を用いて維持補修、および運用を行った場合に獲得できる期待フリーキャッシュフローの当該期価値で測定できる。

いま、初期時点における健全度の状態ベクトルを $\boldsymbol{\pi}(0)$ とする。補修政策 $s \in S$ を適用した場合、事業終了時点 $T$ における健全度分布ベクトル $\boldsymbol{\pi}^s(T; \boldsymbol{\pi}(0)) = \{\pi_1^s(T; \boldsymbol{\pi}(0)), \dots, \pi_K^s(T; \boldsymbol{\pi}(0))\}$ は、式(12)を用いて式(36)と定義する。

$$\boldsymbol{\pi}^s(T; \boldsymbol{\pi}(0)) = \boldsymbol{\pi}(0)\{\boldsymbol{P}^s\}^T \quad (36)$$

コンセッション契約が開始された時点におけるインフラ資産の健全度により、契約終了時点におけるインフラ資産価格が異なる。このことを考慮するために $K$ 通りの初期健全度状態として、式(37)を定義する。

$$\begin{aligned} \bar{\boldsymbol{\pi}}_1 &= (1, 0, 0, \dots, 0) \\ \bar{\boldsymbol{\pi}}_2 &= (0, 1, 0, \dots, 0) \\ \bar{\boldsymbol{\pi}}_K &= (0, 0, 0, \dots, 1) \end{aligned} \quad (37)$$

初期時点において、健全度状態が $\boldsymbol{\pi}(0) = \bar{\boldsymbol{\pi}}_i$ であるインフラ資産の時価価値は、式(34)を用いて再帰的に式(38)と定義できる。

$$V^s(\bar{\pi}_i) = E^s \left[ \sum_{t=1}^T \beta^t F_{h^s(t)}^s(t) + \beta^{T+1} F_{V^s T}(\bar{\pi}_{h^s(T+1)}) \right] \quad (i = 1, \dots, K-1) \quad (38)$$

ただし、 $F_{V^s T}(\bar{\pi}_i)$ は式(33)で $V^s(T) = V^s(\bar{\pi}_{h^s(T+1)})$ 、を用いて評価した結果である。

式(38)は、インフラ資産の時価価値 $V^s(\bar{\pi}_i)$ ( $i = 1, \dots, K-1$ )に関する $K-1$ 次元の連立方程式である。連立方程式の左辺は、初期時点 $t = 0$ におけるインフラ健全度分布 $\bar{\pi}_i$ を与件としたインフラ資産の時価価値、右辺の第1項は、初期時点 $t = 0$ から時点 $T$ までに発生する期待フリーキャッシュフローの割引現在価値の総和、右辺の第2項は、事業最終時点 $T$ におけるインフラ資産の時価評価に対するフリーキャッシュフローの初期時点における割引現在価値の期待値を表す。式(38)の連立方程式を解くことにより、 $K-1$ 種類の初期健全度に対応したインフラ資産の時価価値を求めることができる。この連立方程式の解を $V^{s^*}(\bar{\pi}_i)$ ( $i = 1, \dots, K-1$ )と表す。

いま、初期時点 $t = 0$ におけるインフラ資産の健全度分布 $\bar{\pi}_i$ を予件とする。 $i$ は初期時点で観測された健全度を表す。このとき、所与のインフラ資産の資産価値を最大とする時価評価モデルは式(39)と定式化できる。

$$V(\bar{\pi}_i) = \max_{s \in S} \{V^s(\bar{\pi}_i)\} \quad (39)$$

上記の最大化問題の最適政策(以下、時価最適解と呼ぶ)を $s^*(\bar{\pi}_i) \in S$ と表す。

### i) 時価評価モデルの解法

時価最適解を求めるための計算手順は、以下のとおりに整理できる。

- ①  $u = 0, i = 1, n = 1$ とし、初期戦略 $s^{(0)} = (s_1^{(0)}, \dots, s_K^{(0)})$ を与える。
- ② 健全度分布 $\bar{\pi}_i$ を与える。
- ③ 与えられた戦略 $s^{(u)}$ に対して補修推移行列 $Q^{s^{(u)}}$ を定義し、事業終了時点における健全度分布 $\pi^{s^{(u)}}(T : \bar{\pi}_i)$ を求める。
- ④ 補修政策 $s^{(u)}$ 及び、初期健全度 $h^{s^{(u)}}(0) = i$ に対して、式(11)に示す劣化・補修過程から健全度ベクトルに関する $n$ 番目のサンプル $h_n^{s^{(u)}}$ 、式(11)に示す劣化・補修過程からモンテカルロシミュレーションによりランダム抽出する。
- ⑤ ④で求めた $h_n^{s^{(u)}}$ に依存して $\sum_{t=1}^T \beta^t F_{h_n^{s^{(u)}}(t)}^{s^{(u)}}(t)$ を求める。
- ⑥ ④⑤を $N$ 回繰り返す。モンテカルロ・シミュレーションを $N$ 回繰り返す、時点 $t = 1$ から $T$ の $F$ の現在価値の和の期待値(式(38)の右辺第1項)を $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \beta^t F_{h_n^{s^{(u)}}(t)}^{s^{(u)}}(t)$ として求め、最終時点における $F_{V^s T}$ の現在価値の期待値(式(38)の右辺第2項)を $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \beta^{T+1} \delta_j(h_n^{s^{(u)}}(T+1)) F_{V^s T}(\bar{\pi}_j)$ と定義する。ただし、 $\delta_j(\cdot)$ は、 $h_n^{s^{(u)}}(T+1) = j$ のとき1、そうでないとき0になるダミー変数である。
- ⑦  $i \leq K-1$ 以下の場合、 $i = i+1$ として②に戻る。そうでない場合、⑧に進む。
- ⑧ 式(38)に示す連立方程式を解くことにより、各健全度の資産価値(=残存価値) $V(\bar{\pi}_i)$ ( $i = 1, \dots, K$ )を求める。
- ⑨ ①に戻り、戦略 $s^{(u+1)} \in S$ を設定し直し、上記の手順を全ての $S$ の要素に対して繰り返し、式(39)を満足するような最適補修政策 $s^*(\bar{\pi}_i)$ を決定する。

### 6.4.3 簿価評価モデル

#### a) インフラ資産の簿価評価

コンセッション期間終了時点のインフラ資産の運営権価額を、その時点における簿価価値を用いて評価する場合を考える。財務会計上で定義される運営権の残存価値は、運営権の購入価額及び事業期間中に行われた資本的支出の累計額から事業期間中の減価償却費の累計額を減じることにより測定できる。資本的支出の累計額は式(22)の固定資産税の対象額、すなわち式(22)から固定資産税率 $g$ を取り除いた式で表される。補修政策として $s \in S$ に着目すると、時点 $t$ の期末における残存価値 $V_{h^s(t)}^s(t)$ は、式(20)と式(22)を用いて、式(40)と表される。

$$V_{h^s(t)}^s(t) = V^s(0) - \frac{V^s(0)}{T} b_0(t, 0) + \sum_{m=1}^{t-1} \theta_{h^s(m)}^{5,s}(m) + \sum_{m=1}^{t-1} \sum_{\tau=m}^t \frac{\theta_{h^s(m)}^{5,s}(m)}{M_{h^s(m)}^s} b_{h^s(m)}^s(\tau, m) - \sum_{\tau=1}^{t-1} \frac{\theta_{h^s(\tau)}^{5,s}(\tau)}{M_{h^s(\tau)}^s} b_{h^s(\tau)}^s(t, \tau) \quad (40)$$

最終時点で評価される簿価は、期間中に実施される補修支出の履歴に依存する確率変数である。事業終了時点において、インフラ資産の運営権価格が、その時点における財務会計上の簿価で評価される場合、運営権の売却によって得られるフリーキャッシュフロー $F_{V^s T}$ は、時価評価の場合と同様に売却時の譲渡所得に法人税が分離課税で課せられ、式(33)、(40)を用いて計算される。時価評価との相違点は、 $F_{V^s T}$ が事業終了時点の健全度に依存しないことである。以上より、初期時点において健全度が $\bar{\pi}_i$ であるインフラ資産を運用することにより獲得できる期待フリーキャッシュフローの割引現在価値は、式(41)と定式化できる。

$$\bar{V}^s(\bar{\pi}_i) = E^s \left[ \sum_{t=1}^T \beta^t F_{h^s(t)}^s(t) + \beta^{T+1} F_{V^s T} \right] \quad (i = 1, \dots, K) \quad (41)$$

このとき、初期健全度ごとの資産価値を最大とするような簿価評価モデルは、式(42)と定式化できる。

$$\bar{V}^s(\bar{\pi}_i) = \max_{s \in S} \{ \bar{V}^s(\bar{\pi}_i) \} \quad (42)$$

上記の最大化問題の最適政策(以下、簿価最適解と呼ぶ)を $s^{**}(\bar{\pi}_i) \in S$ と表す。

#### b) 簿価評価モデルの解法

簿価評価モデルの最適解を求める計算手順は基本的に時価評価モデルと同じであり、残存価値が事業終了時点のインフラ資産の簿価で評価されることが異なる。事業終了時点までのフリーキャッシュフロー $F^s$ の期待値は、時価最適解と簿価最適解とともに同じ計算方法で求めることができる。具体的な簿価評価モデルの計算手順は以下のとおりである。

- ①  $u = 0, n = 1$  とする. 初期戦略  $s^{(0)} = (s_1^{(0)}, \dots, s_K^{(0)})$  を与える.
- ② 与えられた戦略  $s^{(u)}$  に対して補修推移行列  $Q^{s^{(u)}}$  を定義する.
- ③ 補修政策  $s^{(u)}$  及び, 初期健全度  $h(0) = i$  に対して, 式(11) に示す劣化・補修過程から健全度ベクトルに関する  $n$  番目のサンプル  $h_n^{s^{(u)}}$  を, 式(11) に示す劣化・補修過程からモンテカルロシミュレーションによりランダム抽出する.
- ④ ③ で求めた  $h_n^{s^{(u)}}$  に依存して  $\sum_{t=1}^T \beta^t F_{h_n^{s^{(u)}}(t)}^{s^{(u)}}(t)$  と  $\beta^{T+1} F_{V^s T}$  を求める.
- ⑤ ③④ を  $N$  回繰り返す.  $N$  本のサンプルパス  $h_n^{s^{(u)}} (n = 1, \dots, N)$  を用いて, 時点  $t = 1$  から  $T$  の  $F$  の現在価値の和の期待値(式(41) の右辺第1 項) と最終時点におけるインフラ資産の簿価の期待値  $\beta^{T+1} F_{V^s T}$  (式(41) の右辺第2 項) を求める.
- ⑥ ① に戻り, 戦略  $s^{(u+1)} \in S$  を設定し直し, 上記の手順を全ての戦略に対して繰り返し, 式(42) を満足するような最適補修政策  $s^{**}(\bar{\pi}_i)$  を決定する.

「公共施設等運営権及び公共施設等運営事業に関するガイドライン」では, 運営権対価は運営権者が将来得られるであろう事業収入から事業実施に要する支出を控除し, 現在価値に割り引いた値として設定される. この方法は事業終了時の運営権価額を予測する際にも採用できるが, その不確実性に対処するため, 本章では, 事業終了時に時価もしくは簿価で運営権が売却されるとした場合の最適アセットマネジメント政策を求めようとしている. 現実のコンセッション契約においては, 時価評価モデルも簿価評価モデルも用いられていない.

## 6.5 適用事例

### 6.5.1 適用事例の概要

本章で提案した時価評価モデルと簿価評価モデルをある高規格道路における Y 橋の RC 床版に適用した事例を示す. 目的は本章で提案した時価評価モデルと簿価評価モデルによる資産価値評価の方法を具体的に示すことにあるが, 方法論の有効性を検証するためには今後の適用事例の蓄積を待たざるを得ないことは言うまでもない. Y 橋梁の諸元は以下のとおりである.

- 橋長 : 358.58m
- 支間長 : 8@30.700m+3@26.900m+30.900m
- 交通量 : 17,171 台(12 時間), 大型車混入率 27.8%
- 有効幅員 : 8.750m(総幅員 : 9.750m)
- 適用示方書 : 昭和 47 年道示(TL-20)
- 架設年次 : 1975 年(昭和 50 年)
- 上部工形式 : 鋼単純桁
- 下部工形式 : 控え壁式橋台(鋼管杭), T 型橋脚(鋼管杭)

既存橋梁の架替実態調査結果によると、平成8年度の調査対象橋梁において、鋼橋の架替理由の内訳として、改良工事が45.9%、機能上の問題が31.5%、上部構造の損傷が12.1%、耐荷力不足が4.5%、その他が2.8%、耐震対策が1.7%、下部構造の損傷が1.5%となっており、損傷による架替として上部構造の占める割合が下部構造に比べて圧倒的に高い。また、上部構造の損傷による架替理由の内訳を見てみると、床版の損傷が67.2%と大部分を占めている。したがって、本章で対象としている鋼橋においては、床版への対策による効果をアセットマネジメントの観点から分析することとし、本章で提案した時価評価モデルと簿価評価モデルを適用する。なお、橋梁の架替理由は床版損傷のみならず、下部工を含む機能上の問題に拠ることが多く、床版の損傷のみが架替理由でない点には注意を要する。

橋梁の対象部材の健全度の判定は、「橋梁定期点検要領」（平成31年3月 国土交通省道路局 国道・技術課）に従って実施されているが、本章では、推移確率行列や健全度に対する補修工法およびその単価を設定する必要があるため、過去の研究事例の設定を活用することとした。対象部材の健全度の判定は「橋梁点検要領（案）」（建設省 土木研究所：橋梁点検要領（案）、土木研究所資料、第2651号、1988）により、健全度は5つの離散的な状態変数で表され、それぞれ表6-1に示すように定義されるとした。

表 6-1 健全度判定区分

健全度	状態区分	一般的状況
1	OK	点検の結果から、損傷は認められない。
2	I	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
3	II	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。
4	III	損傷が大きく、詳細調査を実施し、補修を行うかどうかの検討を行う必要がある。
5	IV	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある。

健全度	1	2	3	4	5
1	0.8048	0.19278	0.002344	0.0000757	0.0000003
2	0	0.7512	0.2477	0.001001	0.000099
3	0	0	0.9575	0.04176	0.00074
4	0	0	0	0.9636	0.0364
5	0	0	0	0	1

健全度	補修工法	補修単価	回復水準
2	表面被覆工法	35千円/㎡	1
3	ひび割れ注入工法	60千円/㎡	2
4	鋼板接着工法	350千円/㎡	3
5	床版打換工法	800千円/㎡	1

この健全度区分は現在の「橋梁定期点検要領」と異なるが、資産価値を最大化するための最適アセットマネジメント政策を求める本章の趣旨を害するものではない。対象部材の補修工法を表-3に示し、健全度と補修工法の関係から、健全度2と3で行う補修政策を予防保全、健全度4と5で行う補修政策を事後保全と呼ぶこととする。予防保全は損傷が大きくなる前に対策を行って寿命を延伸することを指すが、その対策は健全度を向上する補修のみならず、健全度には関係のない軽微な補修や清掃等も含まれる。本章では、補修は健全度を向上させることを前提としているため、予防保全もその範囲での定義であることを断っておく。



$$C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 97,510 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 167,160 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 975,100 & 0 & 0 \\ 2,228,800 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

現在のところ、補修により健全度がどの状態に回復するかに関するデータはないが、健全度5の際に行われる床板打替工法に関しては、OK（健全度*i*=1）に回復し、その他の工法に関しては、健全度を1ランク回復させると考える（表--3参照）。対象とする高規格道路では平成6年度と14年度の2時点において、全橋梁を対象とした定期点検も実施されている。点検結果に基づいて、指数ハザードモデルを用いて最尤推定法により推計したマルコフ推移確率行列を表--2に示す。マルコフ推移確率行列*P*は1年間における推移確率を表現している。また、時価評価モデル、簿価評価モデルの両モデルにおいて対象とするインフラ資産は同一であり、本章で想定している補修工法は、インフラ資産の増設や改築等により、資産価値を増加させることを想定していないため、事業期間中に固定資産税は課徴されない。両モデルにおいて資本的支出の割合を示すパラメータは、 $k_2 = 0, k_3 = 0, k_4 = 0, k_5 = 0$ と設定される。補修費用は、対象とする床板の全面積に対して補修を行うと仮定し、補修単価のデータを用いて表-3のように設定した（単位：千円）。前述のとおり本章では補修を全て修繕費とみなすため、補修工法に対する減価償却年数は考慮する必要がないことを断っておく。対象とする事業の便益課程、借入金額等のパラメータに関しては、以下のように仮定した。毎年の収益と毎年運営費については、モデル化の前提条件で記載したとおり、一定値とする。ただし、健全度が最低ランクの5に落ちた場合には、毎年の一定収益の3割の特別損失が発生すると仮定する。

- コンセッション事業期間： $T = 50$ （年）
- 初期借入金： $D(0) = 2,000,000,000$ （円）
- 初期出資金： $W(0) = 2,000,000,000$ （円）
- 運営権購入価格： $V_{h(0)=1}^s(0) = 2,228,800,000$ （円）
- 運営権購入価格： $V_{h(0)=2}^s(0) = 2,131,290,000$ （円）
- 運営権購入価格： $V_{h(0)=3}^s(0) = 1,964,130,000$ （円）
- 運営権購入価格： $V_{h(0)=4}^s(0) = 989,030,000$ （円）
- 運営権購入価格： $V_{h(0)=5}^s(0) = 0$ （円）
- 運営権購入価格の減価償却年数： $M_0 = 50$ （年）
- 毎年収益： $B = 1,000,000,000$ （円）
- 毎年運営費： $c = 20,000,000$ （円）
- 特別損失： $\Delta B = 0.3B$
- 固定資産税等の税率： $g = 1.7\%$
- 法定実効税率： $r = 30.6\%$
- 割引率 $\lambda = 4\%$ （割引因子 $\beta \cong 0.96$ ）
- 借入金の返済方式：元利均等返済
- 利率（年率）： $\alpha = 1\%$
- 借入金の返済期間： $n = 20$ （年）
- モンテカルロシミュレーションの試行回数： $N = 1,000$

また、「減価償却資産の耐用年数等に関する省令」より橋梁の寿命は一般に50年程度と言われていることから、適用事例で想定する事業期間を50年とした。コンセッション方式の運営権の償却年数は事業期間と等しいことから、コンセッショネアは50年間にわたって運営権購入額を償却していくことになる。また、本章の適用事例では、コンセッショネアが購入する運営権購入価格については、インフラ資産の状態に基づいて決定される。今回は、初期時点のインフラ資産の状態を健全度1から健全度5まで5つのパターンを想定する。したがって、簿価評価モデルにおける初期時点の運営権購入価格については初期健全度に紐づき5パターンを想定する。なお、簿価評価モデルの運営権購入価格の設定方法については、健全度5のときの運営権購入価格を0円として、そのほかの健全度の運営権購入価格については、各健全度における補修金額に比例させて算定している。

## 6.5.2 分析結果の考察

5.5.1で示したRC床板に対して、コンセッショネアが運営権を購入し、コンセッション事業を行うことを想定し、時価評価モデルおよび簿価評価モデルを用いて資産価値および最適補修政策を求めた。その結果を表6-4と表6-5に示す。時価評価モデルを用いた場合、運営権購入時点の健全度（初期健全度）が1,2,3のときの最適補修政策として、事業期間中に健全度ランクが2,3,4,5に推移したときに補修を行う政策7が選ばれた。初期健全度が4,5については、政策4が最適補修政策となった。初期健全度がどの状態でも最適補修政策は健全度2,3で補修を行う形となっており、予防保全政策が時価評価モデルにおける最適補修政策といえる。次に、簿価評価モデルを用いた場合、初期健全度が1,2,3のときの最適補修政策として、事業期間中に健全度ランクが2,3,4,5に推移したときに補修を行う政策7が選ばれた。初期健全度が4では政策4、初期健全度が5では政策1が最適補修政策となった。初期健全度がどの状態でも最適補修政策は健全度2で補修を行う形となり、簿価評価モデルにおいても予防保全政策が最適補修政策といえる。

表 6-4 時価評価モデルにおける最適補修政策

補修シナリオ	政策1	政策2	政策3	政策4	政策5	政策6	政策7	政策8	
補修する健全度	2, 5	3, 5	4, 5	2, 3, 5	2, 4, 5	3, 4, 5	2, 3, 4, 5	5	
資産価値 (億円)	初期健全度 1	149.94	147.68	148.16	150.12	150.14	147.53	150.20	148.84
	初期健全度 2	149.12	146.37	147.19	149.27	148.78	146.39	149.29	147.51
	初期健全度 3	147.19	145.21	145.99	148.01	146.02	145.33	148.05	147.00
	初期健全度 4	140.89	139.55	139.35	141.43	139.30	138.28	141.30	140.89
	初期健全度 5	128.63	126.10	126.86	128.67	128.48	126.65	128.65	127.58

表6-5 簿価評価モデルにおける最適補修政策

補修シナリオ	政策1	政策2	政策3	政策4	政策5	政策6	政策7	政策8	
補修する健全度	2, 5	3, 5	4, 5	2, 3, 5	2, 4, 5	3, 4, 5	2, 3, 4, 5	5	
資産価値 (億円)	初期健全度 1	135.92	133.98	134.48	136.05	136.11	133.80	136.11	135.31
	初期健全度 2	135.16	132.67	133.50	135.19	134.83	132.67	135.21	133.98
	初期健全度 3	133.43	131.52	132.31	133.94	132.33	131.61	133.96	133.47
	初期健全度 4	127.00	125.94	125.66	127.49	125.59	124.56	127.21	127.36
	初期健全度 5	114.61	112.39	113.17	114.60	114.45	112.45	114.56	114.04

以上の結果から、本適用事例においては、コンセッションネアがインフラ資産をコンセッション事業として実施する際には、予防保全政策が最適補修政策になると結論づけられる。ただし、インフラの資産価値の評価においては、時価評価モデルを採用した方が、インフラ資産の健全度をより良好に保つような予防保全政策を選択することが望ましいという結果が得られる。

次に、構造物の劣化状態などの実情を踏まえたモデルとしてどちらのモデルが資産価値および売却価格（残存価値）を算出するのに適しているかを検証する。図6-1は、政策5の補修政策を用いたときに事業終了時点において対象とするインフラ資産がどの程度劣化しているかを確率で表した図である。初期健全度ごとに事業終了時点の各健全度の確率を示している。本適用事例において、簿価評価モデルで算出される残存価値は、事業期間中に対して行われた投資の累計額から減価償却費の累計額を減算して求めることができる。事業期間中の補修については、どの健全度で補修するに関わらず、全て修繕費として計上されるため、事業終了時点での未償却残高は0円となる。したがって、簿価評価モデルにおいては初期健全度がどの健全度からスタートしようと残存価値は0円となる。

一方、時価評価モデルで算出される残存価値は、式(43)で示したように、事業期間中のフリーキャッシュフローと事業終了時の資産の各健全度になる確率を考慮した残存価値（未知数）の総和の割引現在価値を、事業開始時点の健全度ごとの資産価値（未知数）と等しいとする連立方程式を解くことによって算出される。

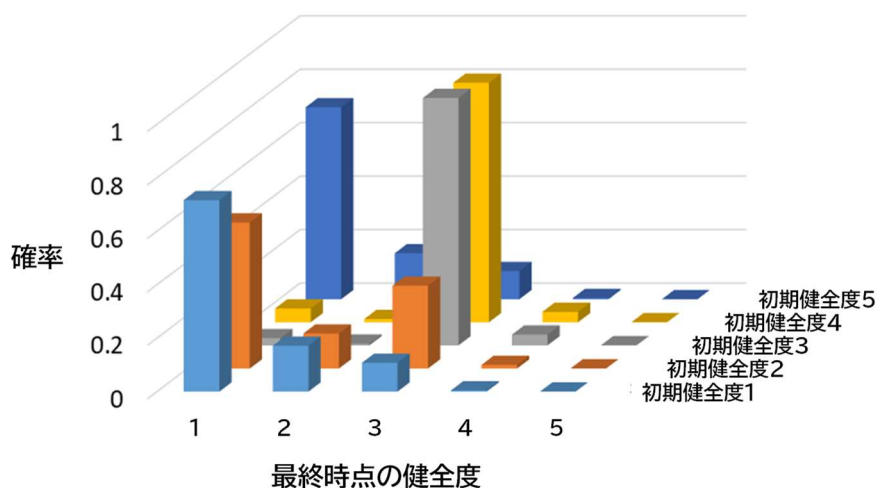


図 6-1 事業終了時点において各健全度になる確率（政策5）

すなわち、事業終了時点のインフラ資産の劣化状態に基づいて残存価値が求まる。表6-6に時価評価モデルにおける初期健全度ごと、補修政策ごとの割引後の残存価値の期待値を示した。また、政策5を採用した場合の各初期健全度に対する事業終了時点の健全度分布を図-1に示した。その分布から、健全度と残存価値が比例関係にあること、すなわち事業終了時点のRC床版の状態が良いほど、残存価値が高くなることがわかる。

表 6-6 時価評価モデルにおける残存価値（割引後）

補修シナリオ	政策1	政策2	政策3	政策4	政策5	政策6	政策7	政策8	
補修する健全度	2, 5	3, 5	4, 5	2, 3, 5	2, 4, 5	3, 4, 5	2, 3, 4, 5	5	
残存価値 (億円)	初期健全度 1	14.02	13.70	13.68	14.08	14.03	13.72	14.09	13.53
	初期健全度 2	13.95	13.70	13.68	14.08	13.95	13.72	14.09	13.53
	初期健全度 3	13.76	13.70	13.68	14.07	13.70	13.72	14.09	13.53
	初期健全度 4	13.90	13.61	13.68	13.94	13.71	13.72	14.09	13.53
	初期健全度 5	14.02	13.70	13.68	14.08	14.03	13.72	14.09	13.53

コンセッション方式では、事業期間中のフリーキャッシュフローと事業終了時の残存価値を増加することが、コンセッショネアにとっての予防保全のインセンティブとなる。したがって、アセットマネジメント実施の観点から考えると、残存価値の算定は時価評価モデルで行うことが望ましいといえる。運営権価格はその時点の市場環境に拠るところもあるが、コンセッショネアにとっては資産の物理的な状態を良好に保ちつつ、事業期間中の維持管理費用を極小化する時価評価モデルの最適補修政策である予防保全政策を用いることが資産価値の向上と運営権価格の上昇につながる。

## 6.6 おわりに

本章では、PPP/PFI手法の1つであるコンセッション方式について、コンセッショネアがインフラ資産の管理・運営期間中に得るフリーキャッシュフローと事業終了時に運営権売却にかかるフリーキャッシュフローの割引現在価値の和を最大にする最適アセットマネジメント政策を求めるためのコンセッショネアモデルを定式化した。また、事業終了時に売却する運営権価格について、終了時の残存価値を求めるために簿価評価モデルと時価評価モデルを提案した。さらに、これらのモデルを仮想的に設定した橋梁事業に適用し、コンセッショネアにとって予防保全政策が最適政策となり、時価評価モデルを活用すれば、運営権の売却価格をインフラ資産の状態に基づき予測できることを示した。当然のことながら、以上の結果は本事例にのみ成立する事項であるが、事業終了時における残存価値の評価方法が事業者の予防保全に対するインセンティブに影響を及ぼすことを示すことができたと考える。

今後の課題は以下のとおりである。第1に対策費用の会計処理の取り扱いである。本章では、各健全度を回復するための対策費用を修繕費（維持的経費）とみなし、全額を対象年度に費用計上している。もし、それが投資的経費とみなされると、資産価値がその分だけ上昇し、固定資産税や減価償却費（翌年度以降）の増加やそれに伴う収益や法人税の増減につながり、将来フリーキャッシュフローから導出される資産価値に影響する。対策費用の会計上の仕訳は、原状回復では維持的経費、寿命延伸など機能向上を伴う場合は投資的経費となるのが原則であるが、実際には個別判断によることも多く、その判断がコンセ

セッションアの運営権の売却戦略に影響を及ぼす。健全度回復のための対策方法とその会計処理方法の統一的な整理が求められる。第2に本章は適切な会計情報の提供に基づいて適切なアセットマネジメント政策が選定されることを前提としている。コンセッションモデルを活用するためには、コンセッションによる会計情報の適切な開示とそれに基づくアセットマネジメントの実施が担保されていることが不可欠で、それを実現する手段の1つが、国際規格の認証を通じたガバナンスである。第3にリスクへの対処である。本章では、インフラ資産の健全度が最低になった場合に一部収入を獲得できなくなると仮定し、それを便宜的に収入の3割と設定して試算を行っている。実際には、インフラ資産が想定以上に早く劣化したり、健全度が一定以下になると健全度の低下が加速的に進むことも予想される。こうした不確実な要素も組み込んだ一般化されたインフラ資産の価値評価の仕組みを構築することが必要である。

## 参考文献

- 1) 竹末直樹：アセットマネジメントの国際的動向, ISO5500X（アセットマネジメント）講習会 2014, アセットマネジメント国際規格の発行を踏まえて, 一般社団法人 京都ビジネスリサーチセンター, 2014.
- 2) 竹末直樹：ISO55000 シリーズ規格の内容と今後の動向, アイソス, 2018.
- 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) 青木一也, 山本浩司, 津田尚胤, 小林潔司：多段階ワイブル劣化ハザードモデル, 土木学会論文集, No.798/VI-68, pp.125-136, 2005.
- 5) 貝戸清之, 小林潔司：マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推定, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.2. pp.336-355, 2007.
- 6) 柏木昇監修, 美原融・赤羽貴, 日本政策投資銀行 PFI チーム編著：“PFI 実務のエッセンス”, 有斐閣, 2004.
- 7) 大西正光, 坂東弘, 小林潔司：PFI 事業におけるリスク分担ルール, 都市計画論文集, No.38-3, pp..289-294, 2003..
- 8) 石磊, 大西正光, 小林潔司：PPP 事業権契約の効率性と保証金, 土木学会論文集 D, Vol62, No.3, pp.383-400, 2006.
- 9) 内閣府：公共施設等運営権及び公共施設等運営事業に関するガイドライン, 内閣府, 2018.
- 10) 浜松市上下水道部：浜松市における下水道事業への運営委託方式導入について（コンセッション方式）, 平成 30 年度第 4 回水道分野における官民連携推進協議会, 2019.
- 11) 企業会計基準委員会：公共施設等運営事業における運営権者の会計処理等に関する実務上の取り扱い, 実務対応報告第 35 号, 2017.
- 12) 竹末直樹, 藤堂政行, 小林潔司：PPP/PFI 手法におけるアセットマネジメントのためのインセンティブ評価, グローバルビジネスジャーナル, 2020 年 6 巻 1 号 p. 20-

## 第7章 結言

### 7.1 本論文の成果

本論文では、老朽化が進むわが国のインフラの現状と課題を整理するとともに、アセットマネジメントの国際規格（ISO55000 シリーズ）の発行を受けて、組織がインフラを資産と捉え、その価値を向上させる取り組みを継続する必要性を論じた。また、インフラの資産価値は、インフラの持つ多様な機能や役割から、財務価値のみならず非財務価値を評価する必要性を指摘するとともに、国際規格に準拠したインフラのアセットマネジメントを実施するために、アウトカムベースの「アセットからの価値」とアウトプットベースの「アセットの価値」の両方を統合する「統合型資産価値評価」の枠組みと方法論を提案した。

さらに、インフラの管理・運営に包括管理委託やコンセッション方式を始めとする様々な PPP/PFI 手法の導入が検討される中、それらの手法がアセットマネジメントの観点から適切に機能しているか、すなわち、各手法がアセットからの価値の実現に貢献しているかを具体的な計算式やモデルを構築して、実データや仮想データにより検証を行った。これは、インフラのアセットマネジメントを実施する組織がアセットからの財務価値を実現しているか否かを検証したものである。

これらの成果は、インフラのアセットマネジメントに取り組む官民の関係者の実践を通じて、データの拡充やモデルの精緻化を図っていくことが必要であり、それによって、国際規格に準拠したアセットマネジメントを確実に実施することができる。

次節に本論文の各章のまとめを記す。

### 7.2 各章のまとめ

第2章では、わが国のインフラのアセットマネジメントにかかる課題と対応を整理するとともに、アセットからの価値を実現するという国際規格におけるアセットマネジメントの定義に従い、インフラのアセットマネジメントを実施するための方策について整理を行った。また、我々の社会経済活動を支えるインフラの資産価値の評価について、インフラの機能や役割を踏まえ、一般に市場で取引される資産の価値評価とは異なる概念が必要となることを明らかにした。

第3章では、アセットマネジメントにおけるインフラの資産価値評価について、国際規格の発行を含めたアセットマネジメントの導入にかかる国際的趨勢を踏まえ、「アセットからの価値」と「アセットの価値」の両方を包含する「統合型資産価値評価」の必要性と

方向性について提案を行った。提案にあたっては、英国、米国、わが国におけるアウトカムベースの道路アセットマネジメントの実施において、インフラの外部性や社会に及ぼす影響や効果を踏まえると、アウトカム、アウトプット、インプットの連携が十分ではなく、埋め切れていない情報ギャップが存在すること、そのギャップを克服するための方法として、ロジックモデルが有効に作用する可能性に言及した。また、今後の課題については、ロジックモデルの活用はあくまで有効性と方向性の提案であり、実際の活用にあたっては各組織がアセットマネジメントの実践において、ロジックモデルを個々に構築し、継続的改善を行っていくことが必要であること。「統合型資産価値評価」の実装に向けては、アウトカムからのトップダウンとアウトプットからのボトムアップの接続が不可欠であること、ただし、インフラの外部性やインフラがもたらす影響・効果の大きさを踏まえると、トップダウンを機能させるためのガバナンスを各組織に委ねるだけでは不十分であり、何らかの社会的規制が必要であること、「統合型資産価値評価」におけるアウトカムとアウトプットの情報ギャップを埋めるための方策として、アウトプットとアウトカムの整合性を確認するプロセスをマネジメントの中に位置づけること、などを指摘した。

第4章では、全国の下水处理施設における包括的民間委託導入効果を費用効率性を指標として評価を行った。具体的には、確率的費用フロンティアモデルをMCMC法により推定することにより獲得した費用効率性パラメータの事後分布からのサンプルを、包括的民間委託の導入前後でWlicoxonの符号付き順位検定により比較することにより、包括的民間委託の導入効果を定量化する方法論を提案した。当該方法論を全国の下水处理施設の維持管理費用や年間処理水量で構成されたデータベースに適用し、実際の包括的民間委託の導入効果を定量化した結果、包括的民間委託導入前後の双方のデータが獲得されていた55箇所の下水处理施設に関して、包括的民間委託導入後の費用効率性の改善がマクロな傾向として確認された。また、55箇所の個々の下水处理施設に着目した場合、39箇所の下水处理施設において、包括的民間委託導入後に統計的に有意な費用効率性の改善が確認された。

第5章では、わが国で導入されているPPP/PFI手法の代表的な手法について、アセットからの価値を実現するというアセットマネジメントの本来目的に照らしたインセンティブを民間事業者が持ち得るかを、各手法のフリーキャッシュフローに基づいて考察した。特にコンセッション方式について、2018年の改正PFI法の制定以降、空港や下水道などで導入が進む中、アセットマネジメントの観点から現行制度の問題点と改善策について検討を加えた。今後に残された課題として、インフラ資産の長期保全と価値向上という視点から、PPP/PFI手法におけるインフラ資産の精度の高い状態把握と劣化予測、最適な維持補修戦略の策定と実施、諸税の支払い等を含めた将来フリーキャッシュフローの導出、事業終了時の残存価値の算定に関するさらなる研究が望まれることを指摘した。

第6章では、PPP/PFI手法の1つであるコンセッション方式について、コンセッショ

ネアがインフラ資産の管理・運営期間中に得るフリーキャッシュフローと事業終了時に運営権売却にかかるフリーキャッシュフローの割引現在価値の和を最大にする最適アセットマネジメント政策を求めるためのコンセッションネアモデルを定式化した。また、事業終了時に売却する運営権価格について、終了時の残存価値を求めるために簿価評価モデルと時価評価モデルを提案した。さらに、これらのモデルを仮想的に設定した橋梁事業に適用し、コンセッションネアにとって予防保全政策が最適政策となり、時価評価モデルを活用すれば、運営権の売却価格をインフラ資産の状態に基づき予測できることを示した。

### 7.3 今後の課題

本論文の成果を踏まえた今後の課題は以下のとおりである。

まず、インフラの非財務価値については、インフラの広範な機能や役割を踏まえ、インフラの整備効果等を幅広い視点から説明する事例は多く見られるが、それをインフラの非財務価値として検討を行った例はほとんど見られない。企業価値における非財務価値の重要性が高まっている中で、非財務価値という用語や概念のインフラ分野への適用が未だ進んでいないことが原因の1つと考えられる。アセットマネジメントの国際規格の発行を受けて、インフラのアセットマネジメントにおいても非財務価値の実現が求められていることから、インフラの整備効果を定性的・定量的に評価した研究や政策をインフラの資産価値の観点から整理し、特に非財務価値の評価について方法論を構築していく取り組みが求められる。

次に、インフラの非財務価値の評価に向けて、本論文で提案した統合型資産価値評価の枠組みと方法論、それに対するロジックモデルの活用について、各組織のアセットマネジメントの実践を通じて課題を明らかにするとともに、継続的改善の状況や成果を関係者間で共有する仕組みが望まれる。組織の内部情報を含む可能性があるため、共有に限界があることは否めないが、組織外を含む関係者が統合型資産価値評価の実装に知恵を出し合う仕組みが構築されることを望みたい。

一方で、インフラの財務価値の評価については、ケースとして使用した「包括的民間委託」「コンセッション方式」、その他のPPP/PFI手法の全てに共通する課題として、評価分析に耐えうる十分なデータの整備やデータベースの充実が挙げられる。特に下水処理施設の包括委託管理における費用効率性評価では、分析モデルを構築して全国のマクロデータによる検証を行ったが、データの精度や根拠の限界から精緻な分析には至らなかった。また、分析をより精緻に行うためには、施設管理者へのヒアリングやアンケート、包括的民間委託の契約書や仕様書の内容を確認するなど実務起点の調査分析も必要である。

さらに、インフラの維持更新にかかる対策費用の会計処理の取り扱いも課題である。



劣化したインフラの対策費用を投資的経費とするか維持的経費とするかによって、財務的な資産価値は大きく変わる。例えば、対策費用が投資的経費とみなされれば、資産価値がその分だけ上昇し、民間企業ではその後に固定資産税や減価償却費が発生する。また、それらの経費処理に応じて収益や法人税等も増減し、将来フリーキャッシュフローが変化する結果、収益還元法で算出される財務価値に大きく影響する。対策費用の会計上の仕訳は、原状回復は維持的経費、寿命延伸など機能向上を伴う場合は投資的経費とみなされるのが原則であるが、実際には個別判断によることも多いとされ、その判断は民間事業者のアセットマネジメント戦略に大きな影響を及ぼす。インフラの維持更新にかかる対策とその会計処理の方法を統一的に整理することが必要である。

最後に、インフラの財務価値を物理的価値と連動して評価するための研究も必要である。本論文でも指摘したように、インフラの劣化状況から評価される物理的価値と、インフラの建設時からの経過年数や料金収入等から還元して求められる財務価値は基本的に一致するものではないが、アセットマネジメントの実施においては両者の価値を考慮した適切なアセットマネジメント戦略の策定が必要である。繰延維持補修会計等の解決策が提案されているものの実装には至っておらず、アセットマネジメントに関わる技術と財務・会計の専門家同士による課題解決のための積極的な対話が望まれる。ISO55000シリーズの要求にあるとおり、適切なアセットマネジメントの実施においては、財務と非財務の情報の整合性の確保が不可欠である。財務と非財務の情報の整合性を確保するためのガイダンス（ISO55010）も発行されるなど、財務情報と非財務情報の整合は国際的にも大きなテーマとなっている。財務・会計手法の技術的解決とともに、財務と非財務の担当者がアセットマネジメントという領域の下で日常的に対話・議論できる環境の整備が求められる。

本論文を通じて明らかとなったことは、インフラの資産価値の評価は、その目的に応じて、何をどの立場からどのように評価するのかを明確にした上で、実施することの重要性である。本論文がインフラの整備・運営・管理を官民が協働して適切に実施していくための検討を行う際の一助となれば幸いである。

なお、本論文は著者による個人的見解に基づいて実施したものであり、著者が所属する組織の見解を表現したものではない。

## 謝 辞

2018年に京都大学大学院工学研究科の小林潔司教授（当時）から博士論文の執筆を薦められ、インフラストラクチャーの資産価値と評価をテーマとした研究を業務と並行して約5年間、進めて参りました。勤務先の株式会社三菱総合研究所で社会資本のアセットマネジメントの政策形成やコンサルティングに20年余り携わってきたことから、自身の蓄積を何らかの形で残しておきたいという気持ちもあり、博士論文の執筆を決意しました。

本論文の完成にあたり、京都大学大学院工学研究科の山田忠史教授には主査として、年度末の大変お忙しい中、論文の内容だけでなく、論文の構成や説明の仕方を含めて懇切丁寧にご指導を頂きました。山田先生のご指導の下で、「この論文で何を訴えたいのか?」「この論文はどこに新規性があるのか?」という点を改めて見直し、論文のストーリーを整えることができました。また、副主査の京都大学大学院工学研究科の宇野伸宏教授と須崎純一教授には、こちらも年度末の大変お忙しい中、主査の山田先生とともに論文の内見を頂き、大変貴重なコメントとご指導を頂きました。主査、副主査の先生方とは、学力試験受験を通じて、本論文に関連したテーマについて大変有用な議論をさせて頂きました。さらに、京都大学工学研究科の大庭哲治准教授と川端祐一郎准教授には、学力試験受験の中で、本論文に関連した課題を別の角度から議論させて頂き、改めて自身の思考を整理することができました。小生の博士号取得にかかる様々な手続きにおいては、京都大学大学院工学研究科の西川一女様、京都大学経営管理大学院の細見さやか様到大変お世話になりました。本論文を無事に完成できたのは、これらの皆様方のご指導とご支援のお陰でございます。厚く御礼申し上げます。

本論文の作成過程においては、本論文の柱である第3章、第4章、第5章、第6章の原型を作成した際、小林潔司先生には、大所高所から細部に至るまできめ細かなご指導を頂きました。小林先生のご指導とご鞭撻なしには、本論文の完成は成し得ませんでした。心より御礼申し上げます。また、第3章の原型作成にあたっては、京都大学経営管理大学院道路アセットマネジメント政策講座の玉越隆史特命教授（国土技術政策総合研究所 道路構造物機能復旧研究官）に強力なご支援を頂きました。同政策講座の中で、道路のアセットマネジメントのあり方について侃々諤々議論をさせて頂いた成果が第3章に反映されています。第4章の作成においては、大阪大学大学院工学研究科の貝戸清之准教授、東北大学大学院工学研究科の水谷大二郎助教に大変お世話になりました。本研究を通じて、下水道施設の包括管理委託の有効性を検証するモデルの構築と実データを用いたモデルの検証方法について多くを学ばせて頂きました。第5章と第6章の作成においては、京都大学経

営管理大学院の藤堂正行様（当時：現 株式会社野村総合研究所）に、計算式やモデルの構築，試算やシミュレーションに献身的なご協力を頂きました。本論文はこれらの皆様方のご支援とご協力の賜物です。本当にありがとうございました。

さらに、（一社）日本アセットマネジメント協会における活動からも多くのことを学びました。同協会の資産価値評価委員会では、京都大学経営管理大学院の藤木修客員教授、江尻良特別教授とアセットマネジメントの視点からみた資産価値評価の考え方について活発に議論をさせて頂きました。実務と研究の両面で実績豊富なお二人から、いつも新鮮な見方や考え方を学ばせて頂きました。深く御礼申し上げます。

最後に、業務を遂行しながらの博士論文の執筆を許諾頂いた株式会社三菱総合研究所、ならびに同社で業務をともに遂行している研究員の皆様にも様々にご協力を頂きました。また、小生の博士号の取得を強力に後押しし、家庭内での様々な協力を惜しまず、心身ともに支えてくれた妻の裕子に心から感謝致します。