

# PFIにおける技術選択行動を考慮した VFM評価モデル

大西正光<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 京都大学 准教授 防災研究所 巨大災害研究センター (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)  
E-mail: onishi.masamitsu.7e@kyoto-u.ac.jp

内閣府により策定された現行の VFM (Value for Money) 評価ガイドラインでは、PFI (Private Finance Initiative) 方式の下では従来型方式の下で実施する場合より、建設費用が先験的に削減されると仮定している。しかし、ライフサイクル費用の決定要因は、民間事業者が選択する技術に依存して決まる。したがって、PFI 方式の適用により VFM が得られるかどうかを検討するためには、民間事業者が有する技術的選択肢及び技術選択行動を考慮する必要がある。本研究では、民間事業者が有する技術的選択を明示化し、従来型方式、デザインビルド方式及び PFI 方式の下での合理的技術選択行動を考慮した PFI の VFM 評価モデルを定式化する。その上で、PFI 方式の適用が望ましくなる事業の技術的特性を明らかにする。

**Key Words :** value for money, Private Finance Initiative, economic analysis, technological choice

## 1. はじめに

わが国では、1999年に公共調達効率性改善を目的とした PFI (Private Finance Initiative) 方式が導入されて以来、公共調達方式の1つとして定着してきた。PFI 方式では、発注者は公共施設整備事業の設計から維持管理運営までを一括して、単一の民間事業者に委託する。発注者は公共施設の整備事業を実施する際に、最も望ましい調達方式を選択することが求められる。内閣府により策定された VFM (Value For Money) に関するガイドライン<sup>1)</sup> (以下、ガイドライン) では、PFI 方式を適用するかどうかの選択基準として、

公共施設等の整備等に関する事業を PFI 事業として実施するかどうかについては、PFI 事業として実施することにより、当該事業が効率的かつ効果的に実施できることを基準としている。

と説明している。その上で、ガイドラインは、PSC (Public Sector Comparator) と呼ばれる従来型方式で実施した場合のライフサイクル費用 (以下、LCC) と PFI 方式で実施した場合の LCC (以下、PFILCC) の差を VFM と定義し、VFM が正であれば PFI 方式の適用が正当化されるとしている。したがって、調達方式に係る判断の合理性は、VFM の評価方法に依存する。

VFM の評価方法に関しては、国土交通省が VFM の計測を経験的データから簡便に算出する VFM 簡易シ

ミュレーションモデル<sup>2)</sup> (以下、簡易モデル) として策定しており、実務的方法としての地位を確立している。しかし、簡易モデルは、PFI 方式を適用すれば従来型方式を適用した場合よりも建設費用を削減できるということが先験的に仮定されており、その科学的根拠については必ずしも明らかではない。実際、事業の LCC は、発注者あるいは民間事業者により選択される設計内容や適用される技術に依存するため、あらゆる技術的条件の下でも建設費用が削減されるという保証はない。PFI 方式が如何なる技術的条件の下で望ましいかを理解するためには、調達方式の選択が事業の LCC に与える影響に係る構造を理解する必要がある。調達方式は、契約当事者間の取引関係を規定するゲームのルールである。本研究では、公共調達方式をゲームのルールとして定式化し、調達方式の選択が発注者及び民間事業者の戦略的な技術選択行動を通じた経済的帰結に与える影響を理論的に分析する。その上で、調達方式の選択に影響を与える事業の技術的特徴を同定した上で、技術的特徴に基づき、事業を類型化する。さらに、事業の技術的類型ごとに適合的な調達方式を明らかにする。

以下、**2.**では、VFM に関する既往研究のレビューに基づき、蓄積された知見を整理する。また、本研究が着目する論点を詳述し、基本的考え方を明らかにする。**3.**では、PFI 方式の下での設計、建設、運営段階の各段階における技術選択行動モデルを定式化する。また、**4.**では、従来型方式の下での技術選択行動モデルを定式化し、PFI 方式との比較から得られる政策的示唆を

取りまとめる。5. は、本研究の結論を取りまとめる。

## 2. 本研究の基本的な考え方

### (1) 既往の研究概要

PFI 方式及び PFI 方式の VFM に関する研究について既往の研究概要を示しておこう。PFI あるいは PPP (Public Private Partnership) の用語は、世界中に広く普及している一方で、それらの定義については、国や地域によって差異が存在する。英国では、PPP は従来型方式より民の裁量と責任の範囲を拡大したさまざまな方式を包含する用語である。一方、PFI 方式とは、公共施設の整備を伴う事業を、設計から建設、維持管理運営までを一括して SPC (Special Purpose Company) と呼ばれる単一の民間事業者へ委託し、公共主体が民間事業者が提供するサービスに対して対価を支払うという特定の事業スキームを意味する。わが国では、PFI 方式とコンセッション方式は、しばしば混同して用いられる。しかし、英国では民間事業者の得る収入が公共主体が支払うサービス対価である PFI 方式は、サービス利用者に対する課金収入のコンセッション方式と明確に区別される。以下、本稿では、英国流の定義における PFI 方式を対象として議論を進めることを断っておく。

Hart<sup>3)</sup>は、PFI がもたらす経済的価値について不完備契約理論に基づき理論的に論じた先駆的研究であり、PFI 方式の最も本質的な特徴が建設と運営の契約をバンドリング（一括化）する点にあると指摘した。建設段階における選択が運営段階における費用の削減をもたらす時点間の外部性があれば、従来型方式では内部化できない外部性をバンドリングにより内部化できる。このとき、PFI 方式は従来型方式よりも、建設段階における選択に関して、民間事業者に対して、より望ましいインセンティブを与えられると主張する。一方で、PFI 方式は必然的にサービス水準の性能を規定する性能規定型契約となる。運営段階でのサービスの性能を規定する要素のうち、契約で立証可能な形で記述できないものがあれば、PFI 方式は必要となる性能の未達があっても罰することができず、望ましいインセンティブを引き出すことができない。PFI 方式か従来方式は、バンドリングによるインセンティブ付与の効果と契約の不完備性に伴う逆インセンティブのトレードオフを考慮して選択すべきと主張する。Bennette and Iossa<sup>4)</sup>は、Hart が正の外部性のみを考慮していたのに対して、負の外部性が存在する場合の影響についても分析している。

Estache ら<sup>5)</sup>も、建設段階と維持管理段階の間に存在する技術的な外部性が存在すれば、バンドリングの効

果によって PFI 方式の価値が高まるとする立場を取っている。その帰結として、PFI 方式の下では、従来型方式の場合と比べて、民間事業者は運営費用の削減のために、建設段階で追加的な建設費用を支払うインセンティブが生じると指摘している。

PFI 方式の価値の源泉が、外部性が存在する下でのバンドリングによる内部化効果であれば、理論的には、PFI 方式では、従来型方式の場合と比較して、建設費用は増加する一方で、運営費用は低下する。すなわち、PFI 方式による運営費用の削減額が建設費用の増分をカバーすれば、事業の LCC は削減される。

一方、わが国における PFI 方式の VFM の発生メカニズムを実証的に明らかにしようと試みた研究も行われている。下野ら<sup>6)</sup>は、特定事業選定のための評価に用いる計画時 VFM と契約締結時の契約時 VFM のデータから VFM に影響を与える要因として、建設費割合や応募者数の影響を受けていることから、民間事業者は競争的が高いほど、建設費を圧縮し入札価格を抑制しようとしていると指摘している。また、要藤ら<sup>7)</sup>も、さらに最近のデータまで含めて分析しているが、下野ら<sup>6)</sup>と同様に、建設費割合の大きさと応募者数が VFM に影響を与える要因となっているという結果を得ている。また、岡本ら<sup>8)</sup>が、BOT (Build-Operation-Transfer) 方式と BTO (Build-Transfer-Operation) 方式の差異が、不完備契約理論における所有権アプローチ<sup>9)</sup>に基づき、所有権構造の違いが事業者にもたらすインセンティブが異なることを指摘しており、要藤ら<sup>7)</sup>は実証的にその仮説を支持している。

わが国の PFI 事業を対象とした実証分析では、総じて VFM の源泉は競争圧力に伴う建設費用の削減にあるとの結論を導いており、上述した外部性に基づく PFI 方式のメリットを前提とした演繹的推論による建設費の増加が生じるという結論とは相矛盾する結果となっている。実証分析によって導かれた結論に妥当性があるとするれば、わが国の PFI 方式適用による VFM は、Hart ら<sup>3)</sup>によるバンドリング効果仮説では説明できない。バンドリング効果仮説は、建設段階と維持管理運営段階の 2 段階のみに焦点を当てており、設計段階については分析の対象とはしていない。しかし、設計内容は、明らかにその後の段階の建設や維持管理運営の費用を決定づける要因となっている。設計には、高度な情報と知識が求められるが、従来の理論的研究では、設計の選択まで内生的に決まるような枠組に基づいて、PFI 方式の効果を論じているわけではない。

以上の問題意識に基づき、本研究では建設—維持管理運営の 2 段階のみを対象とした Hart モデル<sup>3)</sup>の枠組みを拡張し、設計段階における意思決定が建設段階及び維持管理段階に及ぼす影響を明示的に考慮した設計—

建設－維持管理運営の 3 段階モデルを定式化する。その上で、公共主体と民間事業者の戦略的關係を通じた技術選択行動の経済的帰結として VFM が発生するメカニズムを明らかにする。

## (2) VFM の実務的評価方法の問題

内閣府が策定した VFM のガイドライン<sup>1)</sup>では、VFM は

$$\text{VFM} = \text{PSC} - \text{PFILCC}$$

と定義されている。ここで、PFILCC は、PFI 事業として実施する場合の事業期間全体を通じた公的財政負担の見込額の現在価値であり、PSC (Public Sector Comparator) は、従来型で実施する場合の事業期間全体を通じた公的財政負担の見込額の現在価値である。すなわち、VFM は、従来型で実施する場合と比較したときに、PFI 事業の適用により、ライフサイクルベースでどれだけの公的財政負担額の減少が見込めるかを表している。

PFI 適用による経済的効率性を評価する際、公的財政負担額を指標として VFM を定義することの妥当性は、理論的にはいくつかの前提条件が存在する<sup>10)</sup>。本研究では、公的財政負担額を指標とすることが妥当であるための必要条件が成立している場合を前提として、以降の議論を進める。

PFI を適用するかどうかを決定する際に、PSC 及び PFILCC は、まだ事業が実施されていない事前の段階で行う。ここで、PSC と PFILCC を推定するための方法論が必要となる。国土交通省は「VFM 簡易シミュレーションモデル」を開発しており、PSC 及び PFILCC を計測するための手法を提案している。そこでは、ア priori に建設費用が 10%ないし 20%縮減できるということが所与となっている。本来は、従来型か PFI かは調達方式の選択問題であり、調達方式がどのようなメカニズムを経て、費用に影響を与えるのかについて明示的なロジックが必要である。しかし、現状の VFM 評価手法では、調達方式がライフサイクル費用にもたらす影響に関して、明示的な理論が存在していない。

## (3) 公共調達方式と技術選択行動

2.(1) で述べた通り、本研究では、PFI 方式は公共主体が設計から建設、維持管理運営段階まで一括して単一の民間事業者へ委託し、サービス対価を支払うスキームとして定義する。したがって、図-1 に示すように、従来型方式では、運営は公共主体が行い、設計業務、建設工事、維持管理工事は、この段階ごとに発注し契約を締結する。一方、PFI 方式の特徴は、建設から維持管理運営までを事業権契約としてバンドリングする。Hart モデルやその拡張である Bennete らのモデルは、

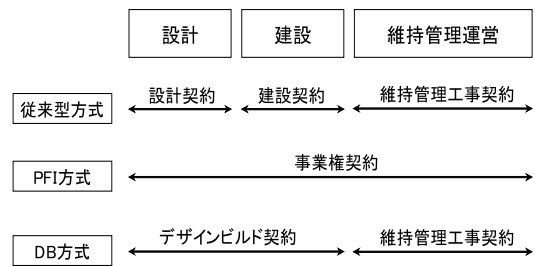


図-1 公共調達方式の類型

設計内容の選択がもたらす影響を考慮していない。しかし、PFI 方式は、従来型方式と比較したとき、建設と維持管理運営の 2 段階のみバンドリングするのではなく、設計も含めてバンドリングされている。Hart のバンドリング効果仮説では、設計段階のバンドリングがもたらす効果を考慮していないが、設計が事業全体の効率性に与える影響は無視できない。

設計業務まで含めた観点で見れば、可能な調達方式として、設計業務と建設工事のみをバンドリングし、公的運営の下、維持管理工事は、別途契約するスキームも可能であり、実務的にはデザインビルド方式（以下、DB 方式）と呼ばれる。従来の議論では、設計段階のバンドリング効果が明示的に議論されてこなかったため、従来型方式か PFI 方式かという 2 者択一の文脈で VFM が定義されてきた。しかし、設計業務まで含めたバンドリングを考えれば、DB 方式も公共調達方式の利用可能な選択肢の 1 つに含めるべきである。

バンドリングは技術的外部性が存在する下では、技術選択行動を望ましい方法に誘導しうる。従来型方式の場合、建設企業は、建設に係る技術、施工方法を建設費用最小化の観点のみを基準として決定する。しかし、建設に係る技術、施工方法の選択は、維持管理運営段階における環境を決定することも考えられる。例えば、施工過程での作業の丁寧さは、供用段階で必要となる維持管理の作業量に影響を及ぼすかもしれない。このように、契約書には記述できず、建設会社が自らの裁量でもって決定可能な技術選択が、維持管理運営段階の技術的条件に影響を及ぼす可能性は否定できない。さらには、設計内容も、建設及び維持管理運営における技術的条件に影響を及ぼすであろう。以下の分析では、設計段階まで含めた事業の技術的特性を考慮し、従来型方式、PFI 方式及び DB 方式の 3 つの公共調達方式を対象として、合理的な方式選択の考え方を考察する。

なお、PFI 方式の特徴として、民間資金の活用による公共主体の財源不足を解消するための手段としての機能がしばしば謳われる。しかし、Engel ら<sup>11)</sup>が主張するように、最終的なサービス対価を支払い責任を負

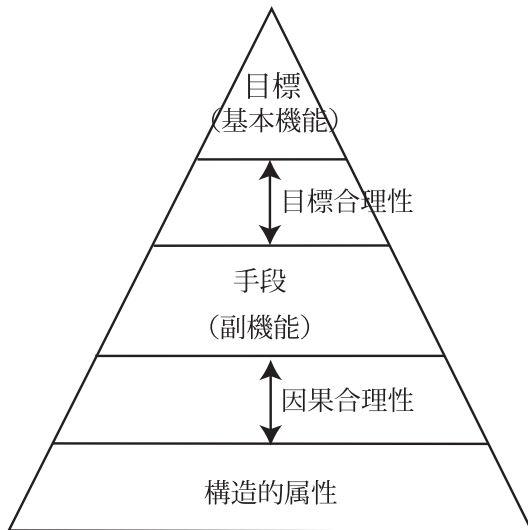


図-2 設計行為の構造

う PFI 方式の場合、結果として代替的な財源としての PFI の効果は存在しない。本研究の基本的立場も Engel ら<sup>11)</sup>と同様であり、PFI 方式の VFM は技術的要因により生じると考えていることを断っておく。

#### (4) 設計行為の構造

建設工事や維持管理運営段階における主な意思決定は、適用可能な技術の中で最も目的に合致したものを選択するという技術選択行動として比較的理解しやすい。一方、設計行為は、高度な情報や知識を活用して対象物の価値を生み出す行為である。しかし、設計行為は、高度に創造的な思考プロセスであり、その意思決定メカニズムを陽に表現するのは容易ではない<sup>12)</sup>。

本研究では、価値工学 (Value Engineering) の分野において用いられる機能分析の考え方を援用して、設計行為の意思決定問題を表現する。機能分析とは、設計物をその具体的成り立ち (構造構成) にとらわれることなく、設計物の原点、すなわち、その目標 (基本機能) に立ち帰り、それを達成するためにどのような構造が必要とされるのかを機能概念を用いた目標の分析・展開とそれらの構造との結びつきの分析を通して明らかにする手法である<sup>13)</sup>。機能分析法は、設計行為に係る論点を整理するための認識フレームを与えてくれる普遍的に用いられる現場技術であるが、設計行為に伴う意思決定メカニズムを表現するための枠組みも与えてくれる。機能分析の考え方に基づけば、設計行為の構造は、図-2 に示すように、設計対象物の基本機能 (目標) を達成するための手段 (副目標) が一連の機能として選択され、これらの機能を達成する構造と属性が選択され、最後におのおのの構造・属性を有する実態が選択された結果の生成物と解釈される。その

上で、渡辺<sup>14)</sup>は以上のような合目標選択行為は、1) 目標合理性、2) 因果合理性、3) 経済合理性の 3 つの合理性に基づくとしている。目標合理性とは、各手段の実行 (実現) 可能性を前提として、手段群が目標を達成するように構成されていることであり、因果合理性は、これら手段群が、目標が達成されるように実際に実行 (実現) されることである。また、経済合理性は、手段群が経済的見地から見て価値が高いことである。

実際の事業実施プロセスに照らせば、事業の発意は発注者である公共主体が行う。すなわち、いかなる方式の下でも、事業の基本機能である目標は、発注者の意思により決まる。設計業務では、目標を実現するための手段 (副機能) が選択される。このとき、設計業務によって決定された手段は、副機能を実現するための構造的属性の空間を制約する。本研究では、従来型方式では、手段 (副機能) の選択は発注者 (あるいはその代理人のコンサルタント会社) が行う一方、PFI 方式及び DB 方式の下では、民間事業者が行うと考える。以下、上述のような分析枠組みに基づき、設計行為に係る意思決定の構造を明示的に考慮し、各調達方式の下で選択される技術とその経済的帰結について分析する。

### 3. PFI 方式モデル

#### (1) モデル化の前提条件

あるインフラサービスにおいて要求性能を達成する上で、設計、建設及び運営の各段階における利用可能な技術を考える。設計に関する代替案を  $x \in X$  と表す。  $X$  は設計に関する代替案のすべてを含む集合である。また、建設技術に関する代替案を  $y \in Y$  と表す。  $Y$  は実行可能な建設技術に関する代替案のすべてを含む集合である。さらに、運営技術に関する代替案を  $z \in Z$  と表す。  $Z$  は実行可能な建設技術に関する代替案のすべてを含む集合である。

設計の選択は、建設技術及び運営技術の選択において利用可能な技術を制約する。また、建設技術の選択は、運営技術の選択において利用可能な技術を制約する。設計内容  $x$  が選択された場合に選択可能な建設技術の集合を  $Y(x)$  と表す。また、設計  $x$ 、建設技術  $y$  が選択された場合に選択可能な運営技術の集合を  $Z(x, y)$  と表す。実行可能な建設技術及び実行可能な運営技術の集合とは、次の関係性を満たす集合として定義できる。

$$Y = \bigcup_{x \in X} Y(x)$$

$$Z = \bigcup_{x \in X, y \in Y(x)} Z(x, y)$$

技術の選択は費用を規定する。建設費用は設計内容及び建設技術に依存し、 $C(y)$  と表す。運営費用は設計

内容、建設技術、運営技術に依存し、 $M(z)$  と表す。なお、設計作業に要する費用は、ライフサイクル費用全体に占める割合が小さく、その影響を無視できるような場合を考える。

**定義 1** 建設費用最小化建設技術  $y_{\min}$  を

$$y_{\min} \equiv \arg \min_{y \in Y} C(y)$$

と定義する。

**定義 2** 設計内容  $x$  の下での建設費用最小化建設技術  $y_{\min}(x)$  を

$$y_{\min}(x) \equiv \arg \min_{y \in Y(x)} C(y)$$

と定義する。

**定義 3**  $y_{\min} = y_{\min}(x)$  のとき、 $x$  を建設費用最小化可能設計と呼ぶ。また建設費用最小化可能設計の集合を  $X_{\min}^C$  と定義する。

**定義 4** 運営費用最小化運営技術  $z_{\min}$  を

$$z_{\min} \equiv \arg \min_{z \in Z} M(z)$$

と定義する。

**定義 5** 設計内容  $x$  の下での運営費用最小化運営技術  $z_{\min}(x)$  を

$$z_{\min}(x) \equiv \arg \min_{z \in \bigcup_{y \in Y(x)} Z(x,y)} M(z)$$

と定義する。

**定義 5** 設計内容  $x$  及び建設技術  $y$  の下での建設費用最小化運営技術  $z_{\min}(x, y)$  を

$$z_{\min}(x, y) \equiv \arg \min_{z \in Z(x,y)} M(z)$$

と定義する。

**定義 6**  $z_{\min}(x, y) = z_{\min}$  となるような  $(x, y)$  の組を運営費用最小化可能設計建設技術と呼ぶ。また、運営費用最小化可能設計建設技術の集合を  $T \subset X \times Y$  と表す。

## (2) SPC による技術選択行動

PFI では、単一の民間事業者である Special Purpose Company (以下、SPC) がライフサイクル費用最小化を目的として、設計内容、建設技術、運営技術のすべてを一括して選択する。SPC の行動は、

$$\begin{aligned} & \min_{x,y,z} C(y) + M(z) \\ & \text{s.t. } y \in Y(x) \text{ and } z \in Z(x,y) \end{aligned}$$

のように定式化できる。以上の最適化問題は、動的計画問題であり、以下のようなステップで解くことができる。

### ステップ 1

まず、設計内容及び建設技術を  $\bar{x}$  及び  $\bar{y}$  と所与として、運営費用を最小化するような運営技術  $z^\circ(\bar{x}, \bar{y})$  は次の最適化問題の解として定義できる。

$$\min_{z \in Z(\bar{x}, \bar{y})} M(z)$$

**定義 4** から、明らかに  $z^\circ(\bar{x}, \bar{y}) = z_{\min}(\bar{x}, \bar{y})$  となる。動的計画問題における最適性の原理から導かれる当然の帰結として、選択される運営技術は選択された設計内容及び建設技術の下で最適でなければならない。議論を先取りすることになるが、従来型方式の下で運営段階において価格競争入札により運営会社を選抜するとき、運営会社が選択する運営技術は設計内容及び建設技術が与えられた段階では、常に最適であることが保証される。単純な結論であるが、以降の議論に重要な点であり、次の補題 1 として取りまとめておこう。

**補題 1** 価格競争入札を通じた運営会社による、設計及び建設技術を所与とした段階では、ライフサイクル費用を最小化する運営技術を選択する。

**補題 1** は、動的計画問題の最適性の原理から必然的に導かれる帰結である。また、ライフサイクル費用最小化を決定づける変数が設計及び建設技術の選択にあり、これらの選択を適切に導くような制度設計が必要であることを示唆している。

### ステップ 2

次に、設計内容  $\bar{x}$  及び最適運営技術選択ルール  $z^\circ(\bar{x}, \bar{y})$  を所与として、建設及び運営費用の合計（以下、ライフサイクル費用と呼ぶ）を最小化するような建設技術  $y^\circ(\bar{x})$  は、次の最適化問題の解として定義できる。

$$\begin{aligned} & \min_y C(y) + M(z^\circ(\bar{x}, y)) \\ & \text{s.t. } y \in Y(\bar{x}) \end{aligned}$$

最適解  $y^\circ(\bar{x})$  は、任意の  $y \in Y(\bar{x})$  に対して、

$$\begin{aligned} C(y^\circ(\bar{x})) + M(z^\circ(\bar{x}, y^\circ(\bar{x}))) \\ \leq C(y) + M(z^\circ(\bar{x}, y)) \end{aligned} \quad (1)$$

を満たす。式 (1) は、

$$C(y^\circ(\bar{x})) - C(y) \leq -\{M(z^\circ(\bar{x}, y^\circ(\bar{x}))) - M(z^\circ(\bar{x}, y))\}$$

と書き直すことができる。さらに、 $y = y_{\min}(\bar{x})$  とす

れば,

$$\begin{aligned} & C(y^\circ(\bar{x})) - C(y_{\min}(\bar{x})) \\ & \leq -\{M(z^\circ(\bar{x}, y^\circ(\bar{x}))) - M(z^\circ(\bar{x}, y_{\min}(\bar{x})))\} \end{aligned} \quad (2)$$

が得られる.

設計内容  $\bar{x}$  の下で,  $y^\circ(\bar{x}) = y_{\min}(\bar{x})$  であれば, 建設費用を最小化するような技術を選択すれば, 自動的にライフサイクル費用も最小化される. 一方,  $y^\circ(\bar{x}) \neq y_{\min}(\bar{x})$  のとき, 式 (2) の左辺は必ず正でなる. 建設費用を最小化するような建設技術とは異なる建設技術がライフサイクル費用の観点で最適となるためには, 当該建設技術を選択したことによる運営費用の節約額が, 建設費用最小化から逸脱することによる建設費用の増分を上回らなければならないことを示している. 以下, 便宜的な概念として, 以下のような用語の定義を行う.

**定義**  $y^\circ(\bar{x}) = y_{\min}(\bar{x})$  となるような設計内容を「建設運営利害一致型」設計と定義する. また,  $y^\circ(\bar{x}) \neq y_{\min}(\bar{x})$  となるような設計内容を「建設運営利害不一致型」設計と定義する.

建設運営利害不一致型設計の下では, 建設費用を最小化する建設技術を選択する限り, ライフサイクル費用を最小化できない. すなわち, 建設費用が高い技術を採用すれば, それ以上に運営費用を節約することが可能である. 一方, 建設運営利害一致型設計の下では, 建設費用を最小化する建設技術を選択すれば, 自動的にライフサイクル費用が最小化される.

### ステップ 3

最後に, 最適運営技術選択ルール  $y^\circ(x)$  及び最適建設技術選択ルール  $z^\circ(x, y)$  を所与として, ライフサイクル費用を最小化するような設計  $x$  を選択する.

$$\min_{x \in X} C(y^\circ(x)) + M(z^\circ(x, y^\circ(x)))$$

ライフサイクル費用を最小化する最適設計  $x^*$  は, 任意の  $x \in X$  に対して,

$$\begin{aligned} & C(y^\circ(x^*)) + M(z^\circ(x^*, y^\circ(x^*))) \\ & \leq C(y^\circ(x)) + M(z^\circ(x, y^\circ(x))) \quad (3) \\ \Leftrightarrow & C(y^\circ(x^*)) - C(y^\circ(x)) \\ & \leq -\{M(z^\circ(x^*, y^\circ(x^*))) - M(z^\circ(x, y^\circ(x)))\} \end{aligned}$$

が成立する. また, 最適設計の下で選択される最適建設技術  $y^*$  及び最適運営技術  $z^*$  は

$$\begin{aligned} y^* &= y^\circ(x^*) \\ z^* &= z^\circ(x^*, y^\circ(x^*)) \end{aligned}$$

である.

最適設計  $x^*$  の下で選択される最適建設技術  $y^*$  及び最適運営技術  $z^*$  に関して, 次の補題 2 が得られる (証明は付録参照).

**補題 2**  $x^*$  が建設運営利害一致型設計の場合,  $y^* = y_{\min}$  である. 一方, 建設運営利害不一致型設計の場合,  $y^* \neq y_{\min}$  である.

補題 2 は, 最適設計  $x^*$  が建設運営利害一致型がどうか, 建設費用を最小化する建設技術が最適かどうかを決定づける要素であることを示している.

## 4. 従来型方式モデル

### (1) モデル化の前提条件

従来型方式モデルでは, 発注者が設計内容が提示する. 建設会社は価格競争入札で選抜される. このとき, 建設会社は, 発注者により提示された設計の下で, 建設費用を最小化する建設技術を選択する. さらに, 運營業も民間事業者にも性能規定契約によりアウトソーシングされている. 運営に従事する運営会社も建設会社同様, 価格競争入札で選抜される. 運営会社は, 発注者により提示された設計及び建設会社が選択した建設技術の下で, 運営費用を最小化する建設技術を選択する. 建設会社及び運営会社の技術選択行動は, すでに示したように, 発注者の設計内容の選択結果に依存する. 以下では, 発注者の設計のための技術力に関して前提が異なる民間事業者と同等水準の能力を有する対称的技術力モデルと民間事業者の方が高い水準の能力を有する非対称的技術力モデルの 2 つの場合を対象に分析する.

### (2) 対称的技術力モデル

発注者により提示された設計が  $\bar{x}$  のとき, 価格競争入札システムの下で, 建設会社及び運営会社が選択する技術  $y^T, z^T$  は

$$\begin{aligned} y^T(\bar{x}) &= y_{\min}(\bar{x}) \\ z^T(\bar{x}) &= z_{\min}(\bar{x}, y_{\min}(\bar{x})) \end{aligned}$$

となる.

まず, 発注者がライフサイクル費用を最小化する  $x^*$  を設定できる合理的な選択能力を有する場合を考える. 建設会社は, 設計が  $x^*$  の下で建設費用を最小化する建設技術を選択する. すなわち,  $y^T = y_{\min}(x^*)$  である. 補題 2 の結論から, 直ちに補題 3 が成立する.

**補題 3**  $x^*$  が建設運営利害一致型設計の場合, 従来型方式の下で建設会社が選択する建設技術は  $y_{\min}(x^*)$  であり, ライフサイクル費用を最小化する建設技術  $y^\circ(x^*)$

に一致する。しかし、 $x^*$  が建設運営利害一致型設計の場合、従来型方式の下で建設会社が選択する建設技術は  $y_{\min}(x^*)$  であり、ライフサイクル費用を最小化する建設技術  $y^{\circ}(x^*)$  に一致する。

ここで、Value for Money (VFM) を従来型方式の下で実現するライフサイクル費用と PFI 方式の下でのライフサイクル費用の差として定義する。すなわち、

$$\text{VFM} \equiv C(y^T(x^*)) + M(z^T(x^*, y^T(x^*))) \\ - \{C(y^{\circ}(x^*)) + M(z^{\circ}(x^*, y^{\circ}(x^*)))\}$$

とする。補題 3 から、VFM について、次の命題 1 が得られる。

**命題 1** 発注者が最適設計  $x^*$  を提示できる能力を有する場合を考える。最適設計  $x^*$  が建設運営利害一致型設計であれば、VFM は 0 である。一方、最適設計  $x^*$  が建設運営利害不一致型設計であれば  $\text{VFM} > 0$  となる。さらに、PFI 方式の下での建設費用は従来型方式の下でのそれよりも高い一方、PFI 方式の下での運営費用は従来型方式の下でのそれよりも低くなる。

発注者の設計技術力が民間事業者と同等の水準にあれば、発注者による設計と民間事業者による設計が同一となる。設計が仮に同一であったとしても、当該設計が建設運営利害不一致型であれば、PFI の適用により建設と運営の間の外部性が内部化されるために、VFM が正となる。

### (3) 非対称的技術力モデル

次に、発注者の設計技術力は、民間事業者よりも低い水準にあり、民間事業者の技術力があれば選択できるはずの最適設計  $x^*$  を選択できない場合を考える。このとき、発注者が提示する設計は、最適設計とは異なる設計を選択する。発注者が選択した設計  $\hat{x}$  の下では、 $y^T(\hat{x}), z^T(\hat{x})$  に対して、以下の 3 つのケースが考えられる。

**ケース 1** 建設費用も運営費用も縮減される場合

$$C(y^*) \leq C(y^T(\hat{x})), M(z^*) \leq M(z^T(\hat{x}, y^T(\hat{x})))$$

**ケース 2** 建設費用は増加して運営費用が縮減される場合

$$C(y^*) \geq C(y^T(\hat{x})), M(z^*) \leq M(z^T(\hat{x}, y^T(\hat{x})))$$

**ケース 3** 運営費用は増加して建設費用が縮減される場合

$$C(y^*) \leq C(y^T(\hat{x})), M(z^*) \geq M(z^T(\hat{x}, y^T(\hat{x})))$$

以上の 3 つのケースが生じることから、次の命題 2 が示唆される。

**命題 2** 発注者が有する設計の技術力が民間事業者よりも劣る場合には、 $\text{VFM} > 0$  となる。また、従来型方式の場合よりも建設費用が安くケースもあり得る。

命題 2 によって、発注者の設計技術力まで考慮すれば、わが国の PFI 事業において共通して見られる建設費用の低下による VFM 向上が説明できる。言い換えれば、PFI 方式によって建設費用が低下するという事実は、発注者の設計能力に関する劣位性が存在することを示唆している。PFI 方式は、建設と維持管理運営段階のバンドリングのみならず、設計段階を含めたバンドリングの効果も含まれる。

## 5. おわりに

本研究では、PFI 方式の適用により生じる VFM の発生メカニズムに関する理論的知見を得るため、設計、建設、維持管理運営段階の 3 段階のバンドリング構造を明示的に考慮したゲーム論的モデルを定式化し、発注者及び民間事業者による設計及び技術選択行動が経済的帰結に与える影響を明らかにした。理論的には、発注者が民間事業者と同等の技術力があれば、PFI 方式の下では従来型方式に比して、建設費用が高くなる一方で、運営費用が低下するという帰結が得られ、Hart<sup>3)</sup> などの既往研究の結論と整合的である。一方、発注者が民間事業者よりも低い水準の技術力しか持たない場合には、PFI 方式の下では従来型方式の場合よりも、建設費用も低下するケースもあり得る。したがって、設計業務までバンドリングして発注する PFI 方式は、発注者よりも高い技術力を有する民間事業者の方が望ましい設計を選択することを可能にするという効果（技術力補完効果）がある。しかし、技術力補完効果は、PFI 方式でなくとも、DB 方式でも引き出すことができる効果である。仮に、Hart が指摘するように、サービスに係る要求水準の項目のうち、立証可能な形で記述できず、契約の不完備性が高いとき PFI 方式適用に伴う取引費用は無視できないであろう。DB 方式であれば、公共主体が実施することから、契約の不完備性による非効率性を回避することができる。現状の PFI 実施における VFM 評価では、従来型方式との比較のみを基準としている。しかし、バンドリングという視点から見れば、DB 方式の方が望ましい場合も考え得ることが示され、VFM 評価において DB 方式もベンチマークとして位置づけることには一定の意義があると言える。

**補題 2 の証明** 設計には、建設運営利害一致型と建設運営利害不一致型の 2 つが存在する。

1)  $x^*$  が建設運営利害一致型設計である場合 定義から  $y^\circ(x^*) = y_{\min}(x^*)$  が成立する. すなわち,  $x^*$  の下で, ライフサイクル費用を最小化するような建設技術は建設費用も最小化する. いま,  $y_{\min}(x^*) \neq y_{\min}$  であると仮定すれば,  $x^* \notin X_{\min}^C$  であり,  $C(y_{\min}(x^*)) > C(y_{\min}(\tilde{x}))$  なる  $\tilde{x} \in X_{\min}^C$  が存在する.

ここで,  $\tilde{x} \in X_{\min}$  が建設運営利害一致型であると仮定しよう. このとき, 任意の  $x \in X$  に対して,

$$\begin{aligned} C(y^\circ(\tilde{x})) + M(z^\circ(\tilde{x}, y^\circ(\tilde{x}))) \\ \leq C(y^\circ(x)) + M(z^\circ(x, y^\circ(x))) \end{aligned}$$

が成立することを要求する. しかし, これは式 (3) と明らかに矛盾するため,  $\tilde{x} \in X_{\min}$  が建設運営利害一致型であれば,  $x^* \in X_{\min}^C$  であり,  $y^* = y_{\min}$  が得られる.

一方,  $\tilde{x} \in X_{\min}$  が建設運営利害不一致型であると仮定しよう.  $y^\circ(x^*) = y_{\min}(x^*) \neq y_{\min}(\tilde{x}) = y_{\min}$  が成立するので,  $y^* \neq y_{\min}$  となる. また,  $x^*$  が建設運営利害不一致型設計である場合には, 定義から  $y_{\min}(x)$  となる  $x \neq x^*$  が存在する.

2)  $x^*$  が建設運営利害不一致型設計である場合 定義から,  $y^\circ(x^*) \neq y_{\min}(x^*)$  であり,

$$\begin{aligned} C(y^\circ(x^*)) - C(y_{\min}(x^*)) \\ \leq -\{M(x^*, y^\circ(x^*)) - M(M(x^*, y_{\min}(x^*)))\} \end{aligned}$$

となる  $y_{\min}(x^*)$  が存在する.

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 JP17K06510 の助成を受けたものです. また, 土木学会建設マネジメント勉強会インフラ PFI/PPP 研究小委員会における研究活動の成果の一部であり, 委員会メンバーからは有益なコメントをいただきました. ここに謝意を示します.

## 参考文献

- 1) 内閣府: VFM (Value For Money) に関するガイドライン (H26.06.16 改正), 2014.
- 2) 国土交通省: 国土交通省所管事業を対象とした VFM 簡易シミュレーション第 1 次検討確定版, 2003.
- 3) Hart, O.: Incomplete contracts and public ownership: remarks and an application to public-private partnerships, *The Economic Journal*, Vol. 113, pp. C69-C76, 2003.
- 4) Bennette, John and Iossa, Elisabetta: Building and managing facilities for public services, *Journal of Public Economics*, Vol. 90, pp. 2143-2160, 2006.
- 5) Estache, A., A. Iimi and C. Ruzzier: Procurement in Infrastructure: What does theory tell us?, Policy Research Working Paper No. 4994, , The World Bank, Washington D.C., 2009.
- 6) 下野恵子, 前野貴生: PFI 事業における経費削減効果の要因分析—計画時 VFM と契約時 VFM の比較, 会計検査研究, Vol. 42, pp. 49-61, 2010.
- 7) 要藤正任, 溝端泰和, 林田雄介: PFI 事業における VFM と事業方式に関する実証分析—日本の VFM 事業のデータを用いて—, 経済分析, Vol. 192, pp. 43-66, 2016.
- 8) 岡本陽介, 大西正光, 坂東弘, 小林潔司: PFI 事業方式における所有権構造と経済的効率性, 都市計画論文集, Vol. 38, pp. 175-180, 2003.
- 9) Grossman, S. J. and Hart, O.: The costs and benefits of ownership: A theory of vertical and lateral integration, *Journal of Political Economy*. Vol. 94, No. 4, pp. 691-719, 1986.
- 10) 大西正光: わが国における PFI の VFM 評価手法に関する現状課題と研究展望, 第 34 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集, 2016.
- 11) Engel, E., Fischer, R. D. and Galetovic, A.: *The Economics of Public-Private-Partnerships - A Basic Guide*, Cambridge University Press, 2014.
- 12) 片井修, 川上浩司, 榎木哲夫, 岩井壯介, 小西忠孝: 説明に基づく学習手法を用いた事例からの操作的設計知識獲得, 計測自動制御学会論文集, Vol. 26, No. 8, pp. 916-923, 1990.
- 13) 玉井正寿編: 価値分析, 森北出版, 1978.
- 14) 渡辺大助: VE 理論の研究—設計学的アプローチ, 第 17 回 VE 全国大会 VE 研究論文集, pp. 117-124, 1984.

(2017. 4. 28 受付)

## A MODEL FOR ASSESSING VALUE FOR MONEY OF PFI WITH THE CONSIDERATION OF TECHNOLOGICAL CHOICE BEHAVIOR

Masamitsu ONISHI

The methodology for assessing VFM (Value For Money) of PFI (Private Finance Initiative) projects currently used in practice *a priori* assumes that the construction cost is saved under the case of PFI scheme compared to the case of conventional scheme. However, theory suggests the life cycle cost of project and hence VFM of PFI is endogenously determined through the choice of applied technologies. Therefore, rational decision regarding the application of PFI scheme requires the knowledge about the mechanism how the technological features of project affect the VFM of PFI. This paper aims at developing a framework of VFM assessment for the rational choice of procurement scheme among the available options, i.e., conventional, PFI and DB (Design Build).