

# PFIプロジェクトにおける供用遅延リスクの最適な分担\*

## Optimal Sharing of Completion Delay Risk in PFI Projects

小路泰広\*\*

Yasuhiro SHOJI

### 1. はじめに

#### (1) 研究の背景と目的

PFIプロジェクトでは、施設の購入からサービスの購入へという考え方の転換が行われる。同時に、プロジェクトを実施する民間事業者への対価も、サービスが提供されてはじめて支払われることになる。これは、供用時期が遅れることによる社会的便益の減少（供用遅延リスク）の一部を民間事業者に負担させる仕組みであると理解できる。これにより、供用時期の遅延を防ぎ、早期供用を促進するインセンティブ効果をもたらすと期待される。PFIプロジェクトでは、この早期供用のインセンティブ効果を最大限に活用することがVFM向上の1つのカギであると考えられる。

しかしながら、早期供用による効果の大きさはプロジェクトにより様々であるし、工期の短縮は、コスト増につながることも考えられる。さらに、施設の工事内容の難易度が高かったり、自然条件に左右されやすいなど、供用時期について不確実性が大きい場合には、これを民間事業者に全て負担させることは、見返りとして高い利益率が必要となることから、かえってコストが増加することもある。以上を踏まえ、リスク分担の決定にあたっては、早期供用による便益、工期短縮に要するコスト、リスクの大きさなど種々の要因を考慮した上で、適切な値を推定しなければならない。

本研究は、以上の問題認識を踏まえ、PFIプロジェクトにおける供用遅延リスクの適切な分担の決定方法について、後述するプリンシパル-エージェント・モデル（以後P-Aモデルと略述）の基本的な考え方を援用しながら、最適な分担率の導出を試みるものである。

#### (2) 既往研究及び理論的背景

PFIにおける効率性向上の源泉については、適切なリスク分担にもとづく効率化へのインセンティブの強化にあることが山内(1999)によって示唆されている。また、PFIをP-Aモデルと捉えて分析した先駆的業績として建設政策研究センター(1999)があげられるが、PFIの具体的なリスクや契約メカニズムに即しての分析は、交通需要に関するものを除いてなされていない。P-Aモデル自体については、近年発達している分野とはいえずに膨大な研究蓄積があり、全貌の紹介は手に余るが、本研究で直接参考にしたものでは、Varian(1992)、マクミラン(1995)がある。特に、本研究で用いる分析手法はマクミラン(1995)に拠っている

### 2. プリンシパル-エージェントモデルの考え方

PFIの最も基本的な特徴は、従来型のプロジェクトに比べて、事業を実施する民間事業者に多くのリスクを移転することにより、効率化へのインセンティブを与えることにある。このようなリスク分担のあり方を扱った理論として、P-Aモデル（プリンシパル-エージェント・モデル、別名エージェント理論）がある。以下に、その基本的な考え方を示す。

P-Aモデルでは、依頼人（プリンシパル）が契約に基づきある仕事を代理人に委託する場合の報酬支払いメカニズムの設計など契約のあり方を探るモデルである。一般に、①代理人は依頼人と異なる目的を持つ、②代理人の行動を依頼人は完全には観察できない、③代理人はリスク回避的である、といった制約条件が設定される。主な関心は契約の中でリスクをいかに配分するかであり、より多くのリスクを代理人に分担させると効率化へのインセンティブを与えられる代わりに、リスクプレミアムを支払わなければならないため、より多くの報酬が必要になる。逆に、多くのリスクを依

\*キーワード：システム分析、財源・制度論

\*\*正会員 建設省土木研究所（茨城県つくば市大字 旭1番地 Tel:0288-64-2269 E-mail: shoji@pwri.go.jp）

頼人が分担すれば、リスクプレミアムを支払う必要がない代わりに、効率化へのインセンティブを徹底することが困難になる。このような、リスク分担とインセンティブのトレードオフ関係が分析の焦点となる。どの程度リスクを移転するのが最適かは、代理人のリスク回避の程度、代理人の努力によって費用低減など効率化できる度合い、及び努力に関わらず発生する不確実性の程度によって決まる。

### 3. 分析の枠組みと前提条件

#### (1) 供用時期と便益の関係

社会資本プロジェクトによる便益は、施設が供用してサービスの供給が始まってから、長い年月にわたって発生しつづける。これを便益フローと呼ぶことにする。プロジェクトの評価にあたっては、この便益フローを適切な割引率を用いて現在価値化して用いる。

施設が早期に完成してサービスが供給されれば、便益フローの発生時点が早まり、現在価値化した便益は通常大きくなる。逆に、供用が遅れれば便益は小さくなる。ある一定の便益フローが発生するとし、供用時期によって総便益が変化の様子を示したのが図-1 (a)である。

一方、各時点の便益が供用時期によって変わることも考えられる。その一例を示したのが図-1 (b)である。この場合、供用時期の変化に伴う便益の変化は、実際に発生する便益フローとは異なり、破線のように考えると考えられる。しかし、本分析ではこのようなケースは考慮しない。

#### (2) 供用時期と工費の関係

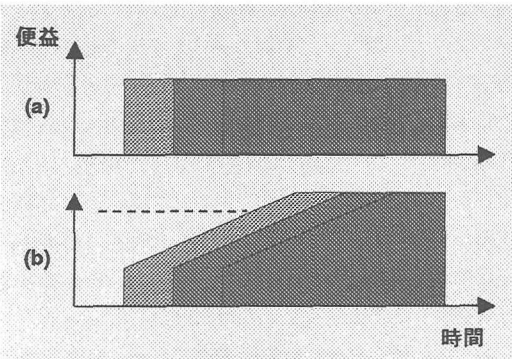


図-1 供用時期と便益フロー

供用時期を早くすることは、工期を短縮するということである。工期と工費は、トレードオフ関係にあると考えられる。すなわち、工期を短縮するためには、高度な施工法や、特殊な材料や、洗練された工程管理技術といった、“努力”を投入しなければならないので、工費は高づく。したがって、供用時期と工期の関係は、図-2 のようになると考えられる。

ただし、工期は事業者が選択する努力レベルに応じて決まるが、それは確定的なものではなく、種々の不確実な要因によって、工期にも一定の不確実性が含まれると考える。

#### (3) 依頼人と代理人の目的及び契約

依頼人は VFM を追求するが、具体的には社会的純便益の期待値を最大化させることを目的とする（リスク中立を仮定）。純便益は、プロジェクトから得られる総便益マイナス代理人に支払う対価（または代理人に徴収させる料金）である。

代理人は利益を最大化させることが目的である。ただし、交渉力は依頼人側にあり、余剰は全て依頼人側に帰属する（入札に勝ち残るため、実際にかかる費用に、リスクプレミアムを含む最低限の利益を上乗せした額でプロジェクトを請負う）。代理人にとって実際にかかる費用は、施設建設のための工費のみであるとする（維持管理費はかからない）。支出と収入のタイムラグは自己資金でファイナンスすると仮定する。

ここで分析する契約は、依頼人と代理人が便益の変動のある割合で分担するようなもので、「インセンティブ契約」とも呼ばれる。代理人が負担する割合を「分担率」と呼ぶことにする。支払いのうち、便益に連動させる度合いを変化させるため、支払いメカニズムは、

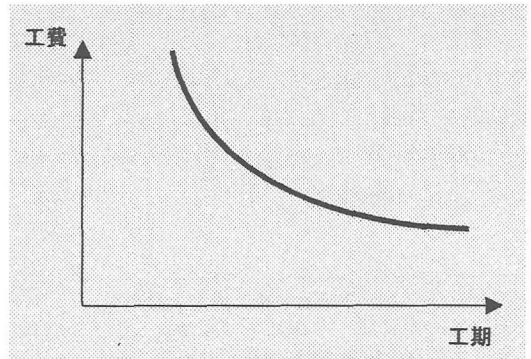


図-2 供用時期と工期の関係

便益に比例する部分と、便益の大小に関わらず支払われる固定部分から構成されるとする。

#### 4 .. 最適な供用遅延リスク分担率の導出

(1) 支払いメカニズムに対する代理人の反応

最初に、依頼人から与えられた支払いメカニズムに対する、代理人にとっての最適な反応について考える。支払いメカニズムは次の式で表される。

$$P = \alpha + \beta B$$

ここで、 $P$  は依頼人から代理人への支払い額、 $B$  はプロジェクトにより実現する便益、 $\beta$  は分担率、 $\alpha$  は固定支払い額である。

実現する便益  $B$  は、供用時期  $T$  の減少関数であり、簡単のため、次の式で表されるとものとする。

$$B = \bar{B} - bT$$

ここで、 $\bar{B}$  はある値 ( $T = 0$  の場合の便益)、 $b$  は供用遅延時間当たりの減少する便益を表す。

供用時期は、代理人の努力により早めることができるが、同時に不確実性も存在し、次の式で表されるとする。

$$T = \bar{T} - E + \tilde{\varepsilon}$$

ここで、 $\bar{T}$  はある時期 (努力をしなかった場合の建設期間の最大値)、 $E$  は代理人による努力、 $\tilde{\varepsilon}$  は供用時期の不確実性を表す確率変数で、 $\tilde{\varepsilon} \sim N(0, \sigma_T^2)$  を満たすものと仮定する。

次に、代理人に発生する費用  $C$  が、最小限要する固定費用と努力に要する費用から構成されると考え、次の式で表されるとする。

$$C = C_0 + \frac{E^2}{2D}$$

ここで、 $C_0$  は最小限要する工費、右辺第2項は努力に要する費用で、努力の2乗に比例するものとし、 $D$  は正の定数である。 $D$  の解釈としては、この値が大きいほど工期短縮のために投入する努力が少なくて済むことであり、言い換えれば、一定の努力の下で工期短縮の余地が大きいということを表している。

民間事業者の利益  $\pi$  は、次のように表される。

$$\begin{aligned} \pi &= P - C \\ &= \alpha + \beta B - C_0 - E^2/2D \\ &= \alpha + \beta(\bar{B} - bT) - C_0 - E^2/2D \\ &= \alpha + \beta(\bar{B} - b(\bar{T} - E + \tilde{\varepsilon})) - C_0 - E^2/2D \end{aligned}$$

これを努力  $E$  で微分してゼロと置けば、

$$\frac{\partial \pi}{\partial E} = \beta b - \frac{E}{D} = 0$$

となるので、収益を最大化する努力は

$$E = \beta b D$$

となる。

固定支払い契約では  $\beta = 0$  となり、努力することはコストがかかるにもかかわらず見返りがないので、努力はゼロになる。支払いが便益に完全に連動して変化するなら  $\beta = 1$  となり、その時の努力レベルは  $bD$  となる。

(2) 依頼人による支払いメカニズムの選択

次に、1段階戻り、依頼人による契約メカニズムの選択について分析する。代理人は、当該プロジェクト以外に、 $\bar{U}$  という確定した利益が得られる代替的機会を持つものとする。すると、依頼人が代理人に支払わなければならない最低額はリスク調整後に  $\bar{U}$  となる額である。代理人のリスク調整済み利益を  $f - R$  と置こう。ここで、 $f$  は期待利益、 $R$  はリスクを全て負担した場合のリスクプレミアムである。代理人は絶対リスク回避測度一定の効用関数を持つと仮定すると、リスクプレミアム  $R$  は次式で与えられる。

$$R = \frac{r}{2} \sigma_p^2 = \frac{rb^2}{2} \sigma_T^2$$

ここで、 $r$  は絶対リスク回避測度、 $\sigma_p^2$  は利益の分散、 $\sigma_T^2$  は供用時期の分散である。

リスク分担とは、利益の変動のうち  $\beta$  の割合を代理人が負担することであるから、代理人のリスク調整済み利益は  $f - R\beta^2$  となる。したがって、依頼人は代理人が契約を拒否する可能性に直面していることから、期待利益  $f$  を少なくとも  $\bar{U} + R\beta^2$  以上確保しなければならない。そして、ちょうどその額の利益を提示することにより、依頼人自身の調達コストを最小化することができる。

契約から得られる便益は、総便益から生産費用を減じたものであり、次の式で表される。

$$\begin{aligned}
& B - C_0 - E^2/2D \\
& = \bar{B} - bT - C_0 - E^2/2D \\
& = \bar{B} - b(\bar{T} - E + \bar{\varepsilon}) - C_0 - E^2/2D
\end{aligned}$$

依頼人にとっての純利益  $\Pi$  は、この総便益から代理人の利益を減じたものであり、次の式で表される。

$$\Pi = \bar{B} - b(\bar{T} - E + \bar{\varepsilon}) - C_0 - E^2/2D - (\bar{U} + R\beta^2)$$

最後に、依頼人は契約で設定したリスク分担率  $\beta$  と代理人の努力  $E$  との関係が、 $E = \beta bD$  であることを理解しているとすれば、この式を依頼人の純利益の式に代入して、以下の通り求める。

$$\Pi = \bar{B} - b(\bar{T} - \beta bD + \bar{\varepsilon}) - C_0 - \frac{\beta^2 b^2 D}{2} - [\bar{U} + R\beta^2]$$

依頼人は、この純利益を最大化するように分担率  $\beta$  を定めるので、この式を  $\beta$  で微分すると、

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \beta} = b^2 D - \beta b^2 D - 2R\beta = 0$$

となり、したがって、

$$\beta = \frac{b^2 D}{b^2 D + 2R}$$

となる。この式にリスクプレミアムの式を代入すれば、

$$\beta = \frac{D}{D + r\sigma_T^2}$$

を得る。

### (3) リスク分担式の解釈

うえで得られたリスク分担式より、極端な場合として、以下のことが言える。

- もし  $r$  がゼロ、すなわち代理人がリスク中立的なら、 $\beta = 1$ 、すなわち代理人が供用遅延リスクを全て負担するのが効率的となる。逆に、 $r$  が非常に大きければ、すなわち代理人が極端にリスク回避的であるなら、依頼人がリスクを全て負担するのが効率的となる。
- もし  $\sigma_T^2$  がゼロ、すなわち供用時期に不確実性が存在しなければ、 $\beta = 1$ 、すなわち代理人が供用遅延リスクを全て負担するのが効率的となる。逆に、 $\sigma_T^2$  が非常に大きければ、すなわち、工期に大きな不確実性が含まれる場合には、 $\beta = 0$ 、すなわち依頼人が全て負担するのが効率的となる。
- もし  $D$  がゼロ、すなわち代理人が工期を短縮する手段を持たない（あるいは短縮するためのコストが極端に高い）のであれば、 $\beta = 0$ 、すなわち依

頼人側が供用遅延リスクを全て負担するのが効率的となる。逆に、 $D$  が非常に大きい、すなわち代理人の努力や工夫で工期が大幅に変わりうるのであれば、代理人がリスクを全て負担するのが効率的となる。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、PFI プロジェクトにおける供用遅延リスクの分担方法について、プリンシパル-エージェント・モデルに基づき定式化を行い、代理人のリスク回避の程度、供用時期の不確実性の大きさ、及び代理人の努力による工期短縮の余地に応じた最適な分担率を導出した。その結果、①代理人がリスク回避であるほど依頼人側がリスクを受け持つべき、②供用時期の不確実性が大きいほど依頼人側がリスクを受け持つべき、③工期短縮の余地が大きいほど代理人側がリスクを受け持つべき、という結論が得られた。これらは、PFI プロジェクトにおけるリスク分担の決定にあたっての基本的考え方を与えるものと期待される。

ただし、本研究で得られた結論は、単純化のために置いた多くの仮定の上でこそ成り立つに過ぎず、より実用的な「原則」に近づけるためには、多くの課題が残されていると言えよう。置かれた仮定の妥当性についての検証も必要であるが、供用時期の不確実性や工期短縮の余地など、PFI の設計を行う公共主体側では必ずしも推定が容易ではない変数によって構成されているので、これらの値をどのように入手し、推定の精度を上げていくかについて検討する必要がある。

### 参考文献

- 山内弘隆(1999), '社会資本整備における日本版 PFI の役割', 土木学会誌 1999年5月号 pp.8-10
- 建設政策研究センター(1999), '社会資本整備における民間主体・資金の活用方法に関する研究', PRC Note 第22号, 建設省建設政策研究センター
- ジョン・マクミラン(1995), 経営戦略のゲーム理論, 有斐閣
- Varian, H.V. (1992), *Microeconomic Analysis* (3rd ed.), New York, W. W. Norton & Co.