

社会基盤整備におけるリスクの移転に伴うゲーム論的考察*

A Game-theoretic Analysis on the Risk Allocation Model at the Infrastructure Development*

藤村秀樹**

By Hideki Fujimura**

1. はじめに

中央政府と地方自治体の深刻な財政状況を背景に、我が国の建設行政の風土や西欧諸国に比べ圧倒的に自然災害が多いという環境条件のもとでの日本版PFIの仕組みを作り上げることが課題となっている。このPFI方式の推進に際しては、事業の効率性を表すVFM (Value For Money) と独特の資金調達方式であるプロジェクト・ファイナンス及びリスクマネジメントの3点を解決する必要がある。この内VFMは、会計検査等により計測が可能であり、又、プロジェクトファイナンスは英国を始めとする西欧諸国や米国の銀行や企業において、債権の発行や劣後ローンなどの金融商品の開発により新たな資金調達方式が考案されているところである。しかし、プロジェクトの推進に伴う「リスクの配分」については、契約段階で合意形成が最も難しい項目となっているにもかかわらず、現在まで理論的な裏付けがなされて無い状況である。以下、2章においては、公共と民間事業者の二人で構成される不完備情報ゲームを設定し、PFI方式におけるモラル・ハザードについて考察する。3章においては、このゲームのベイズ・ナッシュ均衡点におけるリスクの適正配分量の試算を行い、環境の変化による均衡点の推移を考察する。4章は、本研究のとりまとめである。なお、本研究が対象としている具体的な事例である新北九州空港の国際化については、「国際空港の立地モデルに関するゲーム論的考察」等^{1) 2)}に取り纏めてある。

2. ゲームの設定と均衡解の考察

PFI方式においては、公共と民間事業者がリスク・役割分担を明確にすることがポイントである。以下において、まず(1)公共と民間事業者を対象として、リスクを仲立ちとしたゲームの設定を行い、(2)部分ゲームにおけるナッシュ均衡点を求めることによりPFI方式に内在するモラル・ハザードについて考察するとともに、(3)モラル・ハザードが解消された均衡経路における最適ナッシュ配分量をベイジアン・ナッシュ均衡解により求めることにする。

(1) ゲームの設定

公共と民間がリスクを配分するゲームを図-1に示す。

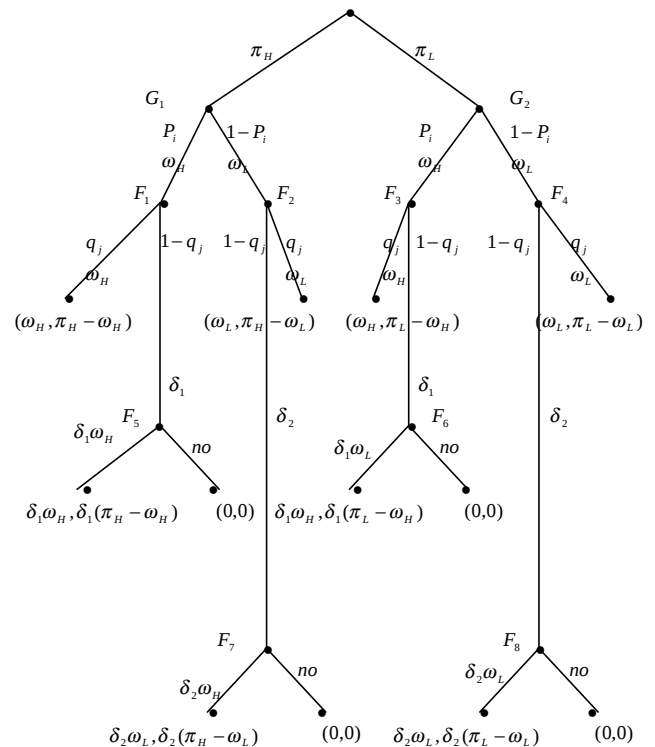


図-1 公共と民間のリスクの移転ゲーム

このゲームは、以下のような条件下で行われるものと仮定する。³⁾

【条件1】公共と民間は、PFI事業の契約に際して、リスクの移転量をめぐって交渉している。

【条件2】公共が民間に移転可能なリスクを ω_r ($\omega_L \leq \omega_r \leq \omega_H$)とする。ここで ω_L は、一般的な出資・建設・操業リスクを表し、 ω_H は ω_L にマーケットリスクや収支リスクなど移転に協議を要するリスクを含むものとする。

【条件3】予算(プロジェクト)の大きさ π は $[\pi_L, \pi_H]$ 上の一様分布から選ばれるが、 π の真の値は公共の個人情報とする。

【条件4】単純化の為に予算額=契約額とし、契約額($\pi_{H,L}$)とリスクの移転量($\omega_{H,L}$)は交渉段階ごとに決まると仮定する。よって、 i 期の契約額とリスクは各々 $\delta_i \pi_{H,L}, \delta_i \omega_{H,L}$ ($i=1 \sim n$)と表される。ここで、 δ_i は割引を示すとともに第1期の交渉が終わり、第2期の交渉期間が残り少なくなっていることを示すようなゲームの環境を表す係数であり、 $\delta_i \leq 1$ とする。

* キーワーズ：ゲーム理論，PFI，ベイズ・ナッシュ均衡点，

** 正員博士(工学)，(財)国際東アジア研究センター，客員研究員
北九州市役所（〒803-0813北九州市小倉北区城内1-1
TEL093-582-2644, FAX093-582-2503）

【条件5】第1期のゲームでは、公共がリスクの移転量(ω_1)を提示し、もし民間が受け入れればゲームは終わり、民間の利得は($\pi_H - \omega_1$) or ($\pi_L - \omega_1$)となる。

【条件6】民間が(ω_1)の提案を拒否すれば、ゲームは2期へ移り、公共が2回目のリスク移転量 $\delta_1\omega_2$ を提示する。もし、民間がこれを受け入れるなら民間の利得は $\delta_1(\pi_{H,L} - \omega_2)$ となる。

【条件7】民間が公共の2回目の提案を拒否すれば、ゲームは終了、両者の利得は0となる。

(2) リスクの定量化とモラル・ハザードの解消

プロジェクトの規模が大きくなった状態($\pi = \pi_H$)では、リスク管理を適正に行うことでプロジェクトをより効率よく進めることが社会的公正の観点から求められる。つまり、リスクの定量化により公共から民間へ移転したリスクの大きさに応じた支払い額 $\pi(\omega_1)$ を決定することが必要となる。そして、ゲームの均衡点からモラル・ハザードを取り除くために、次の式 ~ をゲームの制約条件として付け加える。⁴⁾

I.C.制約条件 (Incentive Compatibility)

$$\pi_H - \omega_H \geq \pi_L - \omega_L$$

参加制約条件 (Participation Constraint)

$$\pi_H - \omega_H \geq 0 \text{ or } \pi_L - \omega_L \geq 0$$

契約提示条件

$$\pi_H - \pi_{H1} \geq 0$$

式 ~ の制約条件の関係を図-2に示す。

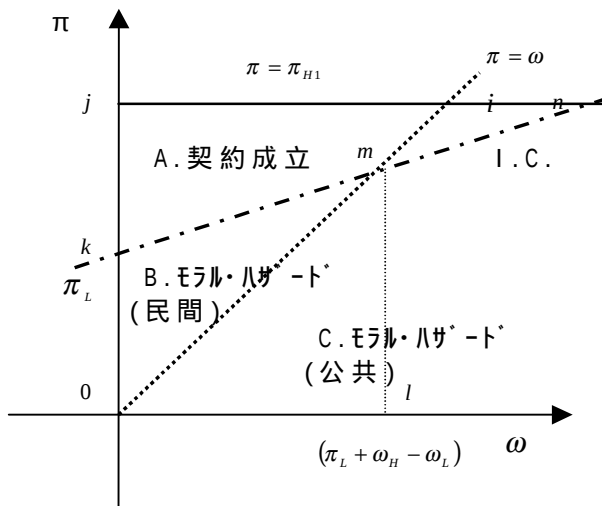


図-2 モラルハザードの概念図

図-2において、Bの領域($mk0$)は式 ~ は満たすが、式 ~ を満たさない領域である。この領域においては、 $\pi_H - \omega_H \leq \pi_L - \omega_L$ となっており、民間のモラルハザードが発生している。Cの領域($nm0$)は、式 ~ のみを満足する領域であり、予算額に比べ過大なリスクを押し付けている公共側のモラルハザードが発生している領域である。よって、適正に契約が成立しているのは、Aの領域($ijkm$)のみとなる。

3. 均衡経路における最適ナリスク移転量の算定

PFI方式における均衡経路の内、シグナリング型の均衡経路でIC制約条件を設定したケース $\{G_1F_1(A)\} \{G_1F_1F_5(A)\}$ における最適ナリスク移転量を計算により求める。各均衡経路において移転できるリスクの最適化問題は、ベイジアン・ナッシュ均衡における最大解の ω_r を求めることになる。ここで、民間の契約金額 $\pi_H(\omega_r)$ が、 $[0, \pi_H(\omega_r)]$ 上で一様分布していると仮定すると、もし公共がリスク ω_r の移転を提案すれば、民間は $\pi_H(\omega_r) \geq \omega_r$ の時に限り ω_r を受け入れるということになる。よって、均衡経路上のリスク最大化の問題は次のように定式化される。

$$\max_{\omega_r} \omega_r \cdot \text{Prob}\{\text{民間が } \omega_r \text{ を受け入れる}\} + \delta_1\omega_r \cdot \text{Prob}\{\text{民間が } \omega_r \text{ を拒否し } \delta_1\omega_r \text{ を受け入れる}\}$$

ここで、式 ~ の最大値は ω_r を受け入れる確率にベイズ公式を用いて、以下のように与えられる。つまり、公共の期待利得について、1回目の受け入れリスクの下限値を $\pi_{Hr}(\omega_r) \equiv \pi_1(\omega_1)$ とおくと、式 ~ は次のように表される。

$$E_1 = \max_{\omega_r} \left\{ \omega_1 \text{Prob}(\pi_H \geq \pi(\omega_1)) + \delta_1\omega_2 \text{Prob}(\pi_H \geq \omega_2(\omega_1)) \right\}$$

$$= \max_{\omega_r} \left\{ \omega_1 \cdot \frac{\pi_H - \pi_1(\omega_1)}{\pi_H} + \delta_1\omega_2 \cdot \frac{\pi_1(\omega_1) - \omega_2(\omega_1)}{\pi_H} \right\}$$

ここで、 $\omega_2(\omega_1)$ は民間がリスク(ω_1)の受け入れを拒否した後、2回目の交渉においてリスク ω_2 を受け入れたことを表すものとする。式 ~ は ω_1 に関して、以下のように解くことが出来る。

$$E_1 = \max_{\omega_1} \left\{ \frac{(2 - \delta_1)\omega_1\pi_H - 2(2 - \delta_1)\omega_1^2 + \delta_1\omega_1^2}{(2 - \delta_1)^2\pi_H} \right\}$$

従って、式 ~ の最大値は $\frac{\partial E_1}{\partial \omega_1} = 0$ とするような ω_1 で与えられ、 ω_1 と $\delta_1\omega_2$ は式 ~ のように得られる。

$$\omega_1 = \frac{(2 - \delta_1)^2}{2(4 - 3\delta_1)}\pi_H \quad \delta_1\omega_2 = \frac{\delta_1\omega_1}{2 - \delta_1} = \frac{\delta_1(2 - \delta_1)}{2(4 - 3\delta_1)}\pi_H$$

4. 終わりに

本研究による成果を、下記の(1)から(3)に列挙する。

- (1) 設定した公共と民間のリスク移転ゲームにおいて公共と民間のモラルハザードを明かにした。
- (2) I.C.制約条件下におけるベイジアン均衡点におけるリスク移転量とゲームの環境との関係を明らかにした。
- (3) PFI方式の実施に際しては公共と民間が高度な専門性と、リスクの定量的な把握および両者がパートナーシップを確立すること最も大切な事であると考えられる。

参考文献：

- 1) エリアマーケティング理論に基づく新北九州空港の需要予測に関する研究, 土木計画学研究・講演集No.18(1)pp35-pp38, 1995, 12. 藤村秀樹
- 2) 九州国際空港の立地モデルに関するゲーム論的考察, 土木計画学研究・講演集22(1)pp137-pp140, 1999, 10, 藤村秀樹, 溝上章志, 柿本竜治
- 3) 経済学のためのゲーム理論入門: ロバート・ギボンズ, 創文社, 1995, 7.
- 4) M B Aゲーム理論, グロービス・マネジメント・インスティテュート, ダイヤモンド社, 1996, 10.