

リスク下での官民の協働に対して 認知誤差が与える影響を考慮した 官民連携事業におけるリスク評価

吉澤 佑太¹・本田 利器²

¹学生会員 工修 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻

²正会員 工博 東京大学大学院 新領域創成科学研究科

E-mail: rhonda@k.u-tokyo.ac.jp

PPP 事業の入札時におけるリスク評価では、リスクが契約上官民の間でどのように分担されているかということに加え、契約に規定された範囲を超えるようなリスク事象に対する両者の事後的な対応をいかに予測するかということが重要となる。本研究では、リスク事象が発生した際の官民の対応を戦略型ゲームによってモデル化した。その上で、グローバル・ゲームの考え方をを用いることで、顕在化した資金需要の大きさに対する認知誤差を考慮しない場合には協調的な均衡と非協調的な均衡がそれぞれ確率的に実現すると考えられていた状況でも、官民の間に認知誤差がある場合には非協調的な均衡が実現してしまうことを示した。これは、事業期間中にリスク事象が発生した際に事業が破綻に陥るのを防ぐためには、行政は入札時のリスク評価において、事業者の収益を従来想定よりも多めに確保する必要があることを示す結果である。

Key Words: PPP, Risk Assessment, Incomplete Contract, Renegotiation, Game Theory, Global Game

1. はじめに

(1) 背景

近年、我が国においても財政状況が厳しさを増す中で、インフラの老朽化対策や防災・減災対策と財政の健全化を両立させることが急務となっており、Public Private Partnership (PPP) に対する期待が高まっている。これは、民間事業者のもつ資金調達や事業運営のノウハウを活用することで効率的に公共サービスを提供しようとする考え方であり、国内外の様々なプロジェクトにおいて導入が推進されている。しかしながら、PPP に対して寄せられる期待の大きさと比べ、その方法論については十分に確立されているとは言い難く、実際には事業開始後に事業者が撤退するケースや、従来型の公共事業よりも多額の公的資金が投入されるようなケースも確認されている。

こうした事態が生じる大きな要因としては、PPP 方式を用いた事業の契約期間の長さが挙げられる。これは、民間事業者の創意工夫を引き出すという観点では PPP 本来の目的に即している一方で、契約締結に際して将来的に生じうる事態とその対応を詳細に規定することが困難になることも意味している。こうした性質は契約の不完備性と呼ばれ、事業開始後に契約上に記述されない事態が発生した場合には、政府と民間事業者との間で再交渉を実施することになるが、この枠組

みが適切に用いられないことで非効率性がもたらされることが多くの実証研究で示されてきた¹⁻⁴⁾。したがって PPP 方式を用いる場合には、入札の時点で不測の事態が生じる可能性についても正しく考慮し、適切なりリスク評価を行うことが極めて重要となる。

ところで契約のもつ不完備性については、エージェンシー理論を主とする不完備契約理論の枠組みにおいて、機会主義的な動機による私的情報の隠蔽がもたらす非効率性をいかにして小さくするかという観点から理論的分析が行われてきた⁵⁻¹²⁾。確かに、PPP 事業においても隠された行動問題（モラルハザード）や隠された情報問題（逆選抜）が観察されており、これらを説明する上でエージェンシー理論は有効であった¹³⁻²⁰⁾。

一方、大規模自然災害等の巨大リスク事象に対する官民の対応を見ると、両者は利益相反の関係というよりもむしろ、互いに協力することが双方にとって望ましい相補的な関係にあると言える。展開型ゲーム理論を基本的な枠組みに用いるエージェンシー理論では、こうした状況でプレイヤー同士が協力することは自明とされてきた。しかしながら実際には、官民がそれぞれリスクに対して適切な対応をとることが期待できる状況であったにもかかわらず、目の前のリスクをどう認識するかという部分に不確実性が存在したことで両者が互いの戦略を読み違えた結果、PPP 事業が破綻に追い込まれるような事例も観察されている^{21,22)}。したがっ

て入札時のリスク評価においても、認知誤差の存在によって意図せずして協調が失敗する可能性を正しく考慮することが求められる。

(2) 目的

以上を踏まえ、本研究では、リスク事象に対する認知誤差が PPP 事業における官民の協働に与える影響を理論的に明らかにし、入札時のリスク評価についての示唆を得ることを目的とする。そのために、まず公共事業契約における官民の意思決定を戦略型ゲームの枠組みでモデル化し、PPP 事業で官民の間に成立する相補性を表現できる理論的枠組みを構築する。その上で、認知誤差をモデルに組み込み、それが官民の協働に対して与える影響を明らかにする。最後に、その結果を踏まえたときに入札時のリスク評価がどう変化するかを分析し、PPP 事業の計画策定時におけるリスク評価に関して示唆を与える。

2. グローバル・ゲーム

Harsanyi²³⁾ は、不完備情報ゲームにおいて、各プレイヤーが自らの観測するゲームのファンダメンタルズに基づきベイズ的に期待利得を最大化した結果として実現する均衡を、ベイジアン・ナッシュ均衡として定式化した。この考え方をを用いて戦略型ゲームにおける複数均衡の精緻化を行ったのが、Carlsson & van Damme²⁴⁾ によって考案されたグローバル・ゲーム理論である。

従来、複数均衡に対して唯一の均衡を見出すという均衡の精緻化と、情報に関する仮定の現実性を高めるという二つのゲーム理論における中心的な課題は、互いにトレードオフの関係にあるものとして捉えられてきた。こうした従来の見方に反して、共通情報という仮定を弱めることでナッシュ均衡解が一つに定まるということを主張したのがグローバル・ゲームだと言える。

Moris & Shin²⁵⁾ はグローバルゲーム理論を用いて、自己実現的な通貨危機が発生するメカニズムを分析した。これは、政府が固定為替相場制度を採用している状況において、投機家の変動為替相場への移行によって利益を得る機会を伺っている状況を想定している。その上で、政府の財政指標であるファンダメンタルズが中間的な値であり、他の投機家が誰も投機攻撃に参加しなければ自分の投機攻撃は成功せず、他の投機家全員が攻撃するならば自分も投機攻撃に参加することで利益が得られるような状況であるものとしたときに、従来の複数均衡モデルではいずれの均衡が選択されるかはマーケット・センチメントにおうじて決まるとされていたのに対して、不完備情報下においてはスイッチング・シグナルと呼ばれる水準によって一意に均衡が

決定されることを示した。

なお、Carlsson & van Damme²⁴⁾ は、ファンダメンタルの観測値に関する誤差項の分布の幅が十分に小さいときには、グローバル・ゲームにおいて選択される戦略の組がリスク支配均衡に一致することを明らかにした。

3. PPP 事業のモデル化

(1) モデル化の概要

a) 事業全体の流れ

本研究では、政府の管理する既存の公共施設を用いたコンセッション方式による事業をモデル化する。事業は大きく図 1 の流れに従って進行するものとする。

はじめに、政府は導入可能性調査によって事業リスク等を把握し、それに基づき案件を形成した上で入札に関する情報を公告する。これを受けて、民間事業者は独自の事前調査に基づいて事業の採算性を分析し、その結果を踏まえて入札戦略を決定する。政府は事業者の提示する入札戦略を評価して、入札に参加した事業者の中から運営権者を選定する。

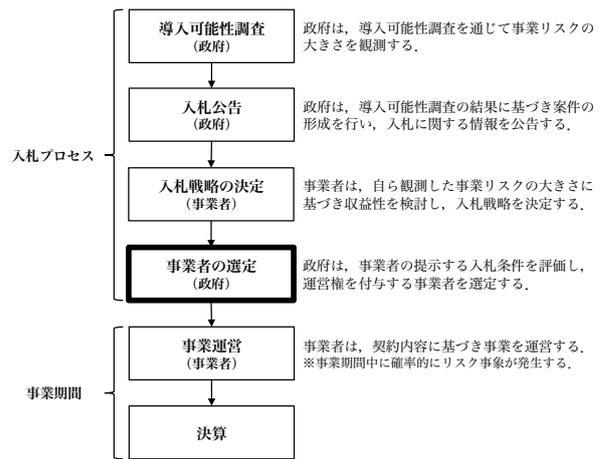


図-1 事業全体の流れ

ところで、この事業では事業期間内にある確率で大規模自然災害等の極大リスク事象が発生すると予測されており、その情報が官民の間で共有されている。ただし、リスク事象が顕在化した場合に生じる追加的な資金需要の大きさについては正確に把握できないため、官民はそれぞれ独自に調査を行うことで予測しなければならない(表 1)。極大リスク事象の発生により事業継続が困難となった場合には、事業者は政府に対して再交渉を通じた契約内容の変更を申し入れることができると定められている。したがって、民間事業者が入札戦略を決定する際に行う収益性分析では、リスク下における官民の対応についても検討されることになる。ここでは、政府が事業者の提示する入札条件を評価し

て、入札に参加した事業者の中から運営権者を選定している状況を考える（図 1 の太枠）。

表-1 リスク事象に関する情報の扱い

リスク事象の発生確率	共有情報	例) 巨大地震の発生確率
リスク事象に伴って生じる追加的な資金需要	非共有情報 (官民がそれぞれ独自に観測)	例) 巨大地震が当該インフラにもたらす損傷の大きさ

b) リスクが顕在化した際の対応

ここで、事業運営から決算までの流れについてより詳細に表すと、図 2 のようになる。大規模自然災害のように広範に膨大な被害をもたらす極大リスク事象が発生した場合、行政が個々の事業について迅速に協議の場を設けることは困難である。したがって各事業を運営する事業者は、災害に対する初動対応を自らの判断において行う必要がある。一方で発災からある程度時間が経過して行政機能が回復してくると、追加的に生じる資金需要の大きさを考慮して事業を PPP 方式によって継続することの是非が検討される（再交渉）。継続が妥当であると判断した場合、行政は民間事業者の採算性を保証するため、サービス料金やコンセッションフィーの見直しといった契約内容の変更に応じる。これに対して PPP 方式による継続を諦める場合、行政は事業を買い戻し、自ら残りの事業期間の運営を実施することになる。

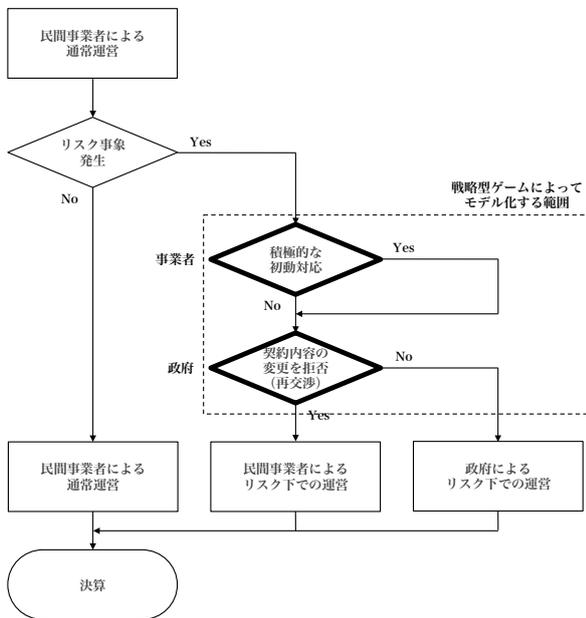


図-2 リスク事象発生時における事業の流れ

ところで、民間事業者による初動対応の効果はリスク下での運営期間全体を通して徐々に現れてくると考えられる。よって、政府が再交渉において PPP 事業として継続することの是非を検討している時点では、事

業者がどのような初動対応を行ったかを知り得ないものとする。これを踏まえると、民間事業者の初動対応における努力水準は、再交渉の場での政府の対応をどう予想するかに依存することとなる。仮に、政府が事業を買い戻すことが予想されるならば、初動対応による費用削減効果が民間事業者に還元されないため、積極的に初動対応を行うとは考えにくい。一方で、正当な補償のもとで事業運営を継続できると予想されるならば、極大リスク事象に対して初動対応の段階から積極的な対策を講じるインセンティブが存在する。

以下ではこれら的大まかな議論を前提にした上で、実際にゲーム理論を用いてコンセッション方式による PPP 事業をモデル化していく。

(2) 利得構造

リスク事象が発生した際の官民による意思決定構造は、図 3 のような展開型のゲームで表現される。初動対応において、民間事業者は再交渉での政府の対応を予測した上で、積極的に資金需要削減の努力を行う C 戦略と、最低限の対応しか行わない D 戦略のいずれかを採用する。一方、政府は契約内容の変更を求める民間事業者の要求に対して、それを受け入れて PPP 事業として継続する C 戦略と、それを拒否して事業を買い戻す D 戦略のいずれかを採用する。

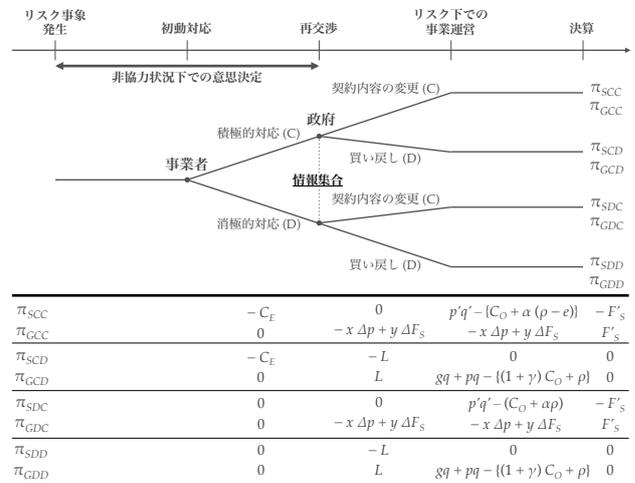


図-3 リスク事象の発生時におけるゲーム構造

ただし先述のとおり、再交渉の時点で政府は民間事業者の初動対応について情報を有しておらず、民間事業者の 2 種類の戦略に対応する政府の手番は互いに無差別な情報集合を形成している。従って、このゲームは表 2 に示す戦略型ゲームとしても表現することが可能である。

いま、事業者が X 戦略を、政府が Y 戦略を採用した場合に事業者と政府が獲得する利得をそれぞれ π_{SXY} ,

π_{GXY} とおき、それらが時系列に沿って変化の様子を見ていく。図 3 の左端においてリスク事象が発生すると、民間事業者はどのような初動対応を行うかについて検討することとなるが、初動対応において C 戦略を採用することには C_E のコストを要する。先述のとおり、C 戦略を採用することによる資金需要削減の効果は、この時点では発現しない。

リスク事象の発生から一定期間が経過し、民間事業者から再交渉の申し入れを受けた政府は、事業を PPP 方式で継続することの是非を検討することになる。ここで、サービス料金の値上げやコンセッションフィーの減少（実質的には民間事業者に対する金銭補償と等しい）は、政府にとって世論の反発といった政治的コストを伴うことを考慮する必要がある。契約締結時のサービス料金とコンセッションフィーをそれぞれ p , F_S , 再交渉を通じて新たに設定されたサービス料金とコンセッションフィーをそれぞれ p' , F'_S とした上で、契約内容の変更に伴う政治的コストを次式でおく。

$$x \cdot \Delta p - y \cdot \Delta F_S \quad (1)$$

$$\text{ただし } \Delta p = p' - p, \quad \Delta F_S = F'_S - F_S \quad (2a, b)$$

一方で政府が事業を買い戻す場合、自己資本分や債務保証の対象外の借入など事業者による有限責任の範囲を L とすれば、破綻に際して民間事業者の母体である企業群が負担する債務は L である。

次にリスク下での事業運営を考える。まず、リスク事象が顕在化していない通常運営時に発生するコストを C_O とする。リスク事象の発生に伴う追加的な資金需要が ρ であるとき、このうち $\alpha\rho$ を事業者が負担し、残りの $(1-\alpha)\rho$ を政府が負担することになる（これはリスク対応においてそれぞれが担う業務の範囲に対応しており、補償によるリスクの移転とは別に、事業の性質に応じて自動的に決まるものである。 $0 \leq \alpha \leq 1$ ）。初動対応において民間事業者が C 戦略を選択した場合には、事業全体で追加的に発生する資金需要は $\rho - e$ へと減少する。また、政府が事業を買い戻して自ら運営することには非効率性が伴うため、政府が D 戦略を選択した際には運営コストが $(1+\gamma)C_O$ へと上昇すると考える。

事業収益については、サービス料金 p と需要 q に対して $p \cdot q$ の料金収入が運営主体の利益となる。ただし、料金徴収等にかかるコストは無視する。また、公共サービスを提供することで政府が得る経済発展や世論向上などの間接的な便益は、サービスに対する需要の大きさ q に比例するものとして $g \cdot q$ と表す（事業の Availability が大きいほど公共事業による社会的便益が大きいという仮定に基づく）。ここで、 g は事業の社会的便益が料金収入による直接便益に対して相対的にどれだけ大

きいかを表す比例定数である。なお、PPP 事業として民間事業者が継続的に事業運営を行う場合、政府は事業期間の終了と同時に、再交渉で新たに定められた F'_S をコンセッションフィーとして事業者に支払う。

以上を踏まえて、それぞれの戦略の組に対するプレイヤーの利得を行列表示したものが表 2 である。

表-2 利得構造

		π_G	
		政府	
π_S	事業者	C	D
		C	D
		$\begin{cases} \{sq(p) - \alpha p + \gamma \Delta F_S\} \\ + F'_S - (1-\alpha)(\rho - e) \end{cases}$	$\begin{cases} sq(p) + pq(p) + L \\ - [(1+\gamma)C_O + \rho] \end{cases}$
		$\begin{cases} p'q(p') - F'_S \\ - [C_O + \alpha(\rho - e) + C_E] \end{cases}$	$-L - C_E$
		$\begin{cases} \{sq(p) - \alpha p + \gamma \Delta F_S\} \\ + F'_S - (1-\alpha)\rho \end{cases}$	$\begin{cases} sq(p) + pq(p) + L \\ - [(1+\gamma)C_O + \rho] \end{cases}$
		$\begin{cases} p'q(p') - F'_S \\ - (C_O + \alpha\rho) \end{cases}$	$-L$

- p : 契約時に定めたサービス利用料金
- p' : 再交渉において新たに定めたサービス利用料金
- F_S : 契約時に定めたコンセッションフィー
- F'_S : 再交渉において新たに定めたコンセッションフィー
- q : サービスに対する需要
- C_O : 通常の事業運営に要する費用
- γ : 行政が事業運営を行うことに伴う非効率性
- ρ : リスク事象の発生によって生じる追加的な資金需要
- α : 追加的な資金需要のうち民間事業者が負担する割合
- e : 民間事業者の積極的な初動対応で削減可能な資金需要
- C_E : 民間事業者の積極的な初動対応に要する費用
- L : 事業破綻に伴う民間事業者の有限責任の範囲
- g : 事業のもつ社会的意義の大きさを表す係数
- x : サービス料金の変更に伴う政治的コストの大きさを表す係数
- y : コンセッションフィーの変更に伴う政治的コストの大きさを表す係数

ここで、民間事業者が要求する契約変更の内容は以下の式を満足する必要がある。

$$\pi_{SXC} > -L \quad (X \in C, D) \quad (3)$$

これは、政府が再交渉を受け入れた場合に得られる利益が、自ら事業から撤退することで得られる利益よりも大きくなければならないことを意味する。

4. 均衡解の導出

ここでは、民間事業者が自らが提示する入札戦略によって、どのような再交渉の結果が導かれるかを予測している状況を考える。再交渉によって、契約内容が以下のように変更されるものとする。

$$\begin{cases} p \rightarrow p' = p + \Delta p \\ F_S \rightarrow F'_S = F_S + \Delta F_S \end{cases} \quad (4)$$

a) 認知誤差を考慮しない場合

はじめに、事業者と政府がともに C 戦略を選択することが純粋戦略ナッシュ均衡となる場合を考える。ここで式 (3) より、民間事業者の要求する契約変更の内容は次式を満足する必要がある。

$$\pi_{SCC} = p'q(p') - F'_S - C_O - \alpha(\rho - e) - C_E > -L \quad (5)$$

その上で、これを満足するような変更内容が提示された場合に C-C の戦略の組が純粋戦略ナッシュ均衡となるための必要十分条件は、次式で表される。

$$\pi_{SCC} > \pi_{SDC} \text{ かつ } \pi_{GCC} > \pi_{GCD} \quad (6a, b)$$

いま、 $\pi_{SCC} > \pi_{SDC}$ が常に成立することは明らかなので、 $\pi_{GCC} > \pi_{GCD}$ について解くと、

$$\{g(p') - g(p)\} - pq(p) - x\Delta p + (1+y)\Delta F_S \quad (7)$$

$$+ F_S + \alpha\rho + (1-\alpha)e - L + (1+\gamma)C_O > 0$$

が得られる。

次に、事業者と政府がともに D 戦略を選択することが純粋戦略ナッシュ均衡となるための必要十分条件は、次式で表される。

$$\pi_{SDD} > \pi_{SCD} \text{ かつ } \pi_{GDD} > \pi_{GDC} \quad (8a, b)$$

いま、 $\pi_{SDD} > \pi_{SCD}$ が常に成立することは明らかなので、 $\pi_{GDD} > \pi_{GDC}$ について解くと、

$$\{g(p') - g(p)\} - pq(p) - x\Delta p + (1+y)\Delta F_S \quad (9)$$

$$+ F_S + \alpha\rho - L + (1+\gamma)C_O < 0$$

が得られる。

ここで、

$$D(\rho, F_S, p) = \{g(p') - g(p)\} - pq(p) - x\Delta p \quad (10)$$

$$+ (1+y)\Delta F_S + F_S + \alpha\rho - L + (1+\gamma)C_O$$

とおけば、情報完備ゲームとして扱う場合の各均衡の成立条件は以下のように表される。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{戦略の組「C-C」が純粋戦略ナッシュ均衡となる} \\ \quad (\text{if. } D(\rho, F_S, p) > 0) \\ \text{戦略の組「C-C」, 「D-D」が複数均衡を形成する} \\ \quad (\text{if. } -(1-\alpha)e < D(\rho, F_S, p) < 0) \\ \text{戦略の組「D-D」が純粋戦略ナッシュ均衡となる} \\ \quad (\text{if. } D(\rho, F_S, p) < -(1-\alpha)e) \end{array} \right. \quad (11)$$

b) 認知誤差を考慮する場合

一方で、情報不完備ゲームとして扱う場合にはグローバル・ゲーム理論から、情報完備ゲームにおいて戦略の組「C-C」, 「D-D」複数均衡を形成していた領域でリスク支配均衡が実現する。したがって、この均衡においては以下の等式が成立する。

$$\begin{aligned} & (\pi_{SCC} - \pi_{SDC}) \cdot (\pi_{GCC} - \pi_{GCD}) \\ & = (\pi_{SDD} - \pi_{SCD}) \cdot (\pi_{GDD} - \pi_{GDC}) \end{aligned} \quad (12)$$

ここから、情報不完備ゲームとして扱う場合の各均

衡の成立条件は以下のように表される。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{戦略の組「C-C」が純粋戦略ナッシュ均衡となる} \\ \quad (\text{if. } D(\rho, F_S, p) > -(1 - \frac{C_E}{\alpha e})(1 - \alpha)e) \\ \text{戦略の組「D-D」が純粋戦略ナッシュ均衡となる} \\ \quad (\text{if. } D(\rho, F_S, p) < -(1 - \frac{C_E}{\alpha e})(1 - \alpha)e) \end{array} \right. \quad (13)$$

なお、以下では

$$H = (1 - \frac{C_E}{\alpha e}) \quad (14)$$

と表す。

5. シミュレーション 1

以下では、民間事業者が自らの観測したリスクの大きさに基づき入札戦略を決定し、政府がその妥当性を評価している状況を考える。その上で、リスクに対する認知誤差が存在することを考慮することで、事業者の入札戦略や政府の評価基準がどのように変化するかを検討していく。なお簡単のため、再交渉によるサービス料金の変更は認められず、リスク事象によって生じた追加的な資金需要のうち、事業収益によって賄うことが不可能な部分を行政が負担することが取り決められている状況を例にとり考える。

再交渉によるサービス料金の変更が認められていないため、 $\Delta p = 0$ が成り立つ。また、追加的な資金需要のうち事業収益によって賄うことが不可能な部分については、全て行政が負担するという決まりから、再交渉においてコンセッションフィーは以下の金額に定められるものとする。

$$F'_S = \begin{cases} F_S & (\alpha\rho \leq P_S) \\ F_S - (\alpha\rho - P_S) & (\alpha\rho \geq P_S) \end{cases} \quad (15)$$

ただし、 P_S はリスク事象が発生せず、事業が通常運営された場合に民間事業者にもたらされる利潤である。

$$P_S = p \cdot q - F_S - C_O \quad (16)$$

なお、前章の判別式 $Disc.$ は以下のように簡略化される。

$$D(\rho, F_S, p) = -P_S + (1+y)\Delta F_S + \alpha\rho - L + \gamma C_O \quad (17)$$

(1) 入札戦略の決定

a) 認知誤差を考慮しない場合

戦略の組「C-C」が純粋戦略ナッシュ均衡となるとき

事業者と行政がともに C 戦略を選択することが、純粋戦略ナッシュ均衡となるための必要十分条件は、

$$D(\rho, F_S, p) \geq -(1-\alpha)e \quad (18)$$

である。

まず、 $\alpha\rho \leq P_S$ のとき $\Delta F_S = 0$ であり、

$D(\rho, F_S, p) \geq -(1 - \alpha)e$ を解いて $\alpha\rho \leq P_S$ との共通範囲を求めると、

$$\frac{P_S}{\alpha} - \frac{\gamma C_O + (1 - \alpha)e - L}{\alpha} \leq \rho \leq \frac{P_S}{\alpha} \quad (19)$$

が得られる。

一方、 $\alpha\rho \geq P_S$ のとき $\Delta F_S = -(\alpha\rho - P_S)$ であり、 $Disc. \geq -(1 - \alpha)e$ を解いて $\alpha\rho \leq P_S$ との共通範囲を求めると、

$$\frac{P_S}{\alpha} \leq \rho \leq \frac{P_S}{\alpha} + \frac{\gamma C_O + (1 - \alpha)e - L}{y\alpha} \quad (20)$$

が得られる。

以上より、事業者と行政がともに C 戦略を選択することが純粋戦略ナッシュ均衡となるのは、 $H = \gamma C_O - L$ として、

$$\frac{P_S}{\alpha} - \frac{H + (1 - \alpha)e}{\alpha} \leq \rho \leq \frac{P_S}{\alpha} + \frac{H + (1 - \alpha)e}{y\alpha} \quad (21)$$

が成立するときである。

戦略の組「D-D」が純粋戦略ナッシュ均衡となるとき

事業者と行政がともに D 戦略を選択することが、純粋戦略ナッシュ均衡となるための必要十分条件は、

$$D(\rho, F_S, p) \leq 0 \quad (22)$$

である。

まず、 $\alpha\rho \leq P_S$ のとき $\Delta F_S = 0$ であり、 $D(\rho, F_S, p) \leq 0$ を解いて $\alpha\rho \leq P_S$ との共通範囲を求めると、

$$\rho \leq \frac{P_S}{\alpha} - \frac{\gamma C_O - L}{\alpha} \quad (23)$$

が得られる。

一方、 $\alpha\rho \geq P_S$ のとき $\Delta F_S = -(\alpha\rho - P_S)$ であり、 $Disc. \leq 0$ を解いて $\alpha\rho \geq P_S$ との共通範囲を求めると

$$\rho \geq \frac{P_S}{\alpha} + \frac{\gamma C_O - L}{y\alpha} \quad (24)$$

が得られる。

以上より、事業者と行政がともに D 戦略を選択することが純粋戦略ナッシュ均衡となるのは、

$$\rho \leq \frac{P_S}{\alpha} - \frac{H}{\alpha} \text{ または } \frac{P_S}{\alpha} + \frac{H}{y\alpha} \leq \rho \quad (25)$$

が成立するときである。

なお、式 (21)(25) の共通範囲においては複数均衡が成立している。以上から、追加的な資金需要の大きさに応じて均衡解がどのように変化するかを、一般的な範囲で図示したものが図 4-a である。

ここで $\rho > P_S/\alpha$ の範囲でも、追加的な資金需要が非常に小さい場合には政府にとって事業を買い戻すことが望ましい選択肢となっている。これは、事業収益から政府への支払額を差し引いても、依然として事業者の収益が追加的な資金需要に比べて十分に大きい状況であり、そもそもこのような条件で PPP 契約を締結することは想定しにくい。よって、以下では $\rho > P_S/\alpha$ の範囲について考える。

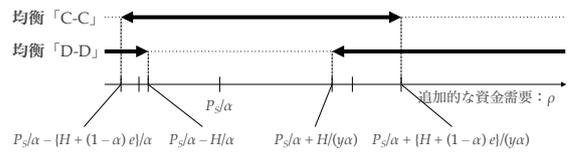


図-4-a 認知誤差を考慮しない場合

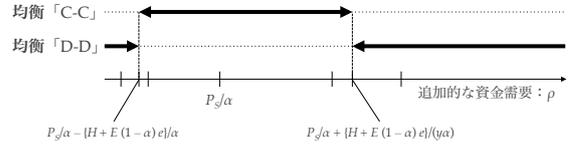


図-4-b 認知誤差を考慮する場合

図-4 各均衡が実現する範囲

まず、リスク事象に伴う追加的な資金需要が比較的小さい ($\rho < P_S/\alpha + H/(y\alpha)$) 場合には、契約内容の変更に伴う政治的コストがそれほど大きくないため、政府にとっては PPP 事業として継続することが望ましい選択肢となる。よって、そのことを予測する民間事業者は、リスク下における事業運営に伴う資金需要を小さくするために積極的な初動対応を行う。

次に、追加的な資金需要が相当程度大きい ($\rho < P_S/\alpha + \{H + (1 - \alpha)e\}/(y\alpha)$) 場合には、契約内容の変更に伴う政治的コストが大きすぎるため、政府にとっては事業を買い戻すことが望ましい選択肢となる。よって、そのことを予測する民間事業者は、効果が自身の利得に還元されないために初動対応を怠る。

一方でこれらの中間的な領域では、行政が PPP 事業として継続することを予測した事業者は積極的に初動対応を行うが、行政が事業を買い戻すことを予測した事業者は初動対応を怠る。そして、この行政の意思決定を規定するの民間事業者が初動対応を行ったかどうかに関する自らの信念であり、両者が互いの戦略を読み合う状況になっている。ここで、複数均衡となる範囲の大きさは事業者の初動対応における努力 e に関する項で規定されており、初動対応での努力が追加的な資金需要を削減する余地が大きいほど、協力的な均衡を実現しうる領域が大きくなる。

なお均衡が変化する位置については、 γC_O が大きいほど、 L が小さいほど、 y が小さいほど、 $\rho > P_S/\alpha$ から遠ざかる形になっているが、これらはそれぞれ「行政が事業を運営することによる非効率性が大きいほど」、「事業破綻の際に事業者が負担する金額が小さいほど」、「入札条件の変更に伴う政治的コストが小さいほど」、行政にとって再交渉による入札条件の変更という選択肢を選びやすくなることを意味しており、直感的にも妥当である。

b) 認知誤差を考慮する場合

各プレイヤーが観測する追加的な資金需要 ρ_i にはそれぞれ誤差項 ϵ_i が含まれているとすると、

$$\rho_S = \rho + \epsilon_S, \quad \rho_G = \rho + \epsilon_G \quad (26a, b)$$

と表される。ただし、誤差項 ϵ_S, ϵ_G はいずれも $[-\bar{\epsilon}, \bar{\epsilon}]$ の一様分布に従い、これは両者の共有情報とする。

戦略の組「C-C」が純粋戦略ナッシュ均衡となるとき

事業者と行政がともに C 戦略を選択することが、純粋戦略ナッシュ均衡となるための必要十分条件は $E = 1 - C_E/(ae)$ として、

$$D(\rho, F_S, p) \geq -(1 - \frac{C_E}{ae})(1 - \alpha)e \quad (27)$$

である。

まず、 $\alpha\rho \leq P_S$ のとき $\Delta F_S = 0$ であり、 $D(\rho, F_S, p) \geq -E(1 - \alpha)e$ を解いて $\alpha\rho \leq P_S$ との共通範囲を求めると、

$$\frac{P_S}{\alpha} - \frac{H + E(1 - \alpha)e}{\alpha} \leq \rho \leq \frac{P_S}{\alpha} \quad (28)$$

が得られる。

一方、 $\alpha\rho \geq P_S$ のとき $\Delta F_S = -(\alpha\rho - P_S)$ であり、 $D(\rho, F_S, p) \geq -E(1 - \alpha)e$ を解いて $\alpha\rho \leq P_S$ との共通範囲を求めると、

$$\frac{P_S}{\alpha} \leq \rho \leq \frac{P_S}{\alpha} + \frac{H + E(1 - \alpha)e}{y\alpha} \quad (29)$$

が得られる。

以上より、事業者と行政がともに C 戦略を選択することが純粋戦略ナッシュ均衡となるのは、

$$\frac{P_S}{\alpha} - \frac{H + E(1 - \alpha)e}{\alpha} \leq \rho \leq \frac{P_S}{\alpha} + \frac{H + E(1 - \alpha)e}{y\alpha} \quad (30)$$

が成立するときである。

戦略の組「D-D」がナッシュ均衡となるとき

事業者と行政がともに D 戦略を選択することが、純粋戦略ナッシュ均衡となるための必要十分条件は、

$$D(\rho, F_S, p) \leq -E(1 - \alpha)e \quad (31)$$

である。

まず、 $\alpha\rho \leq P_S$ のとき $\Delta F_S = 0$ であり、 $D(\rho, F_S, p) \leq -E(1 - \alpha)e$ を解いて $\alpha\rho \leq P_S$ との共通範囲を求めると、

$$\rho \leq \frac{P_S}{\alpha} - \frac{H + E(1 - \alpha)e}{\alpha} \quad (32)$$

が得られる。

一方、 $\alpha\rho \geq P_S$ のとき $\Delta F_S = -(\alpha\rho - P_S)$ であり、 $D(\rho, F_S, p) \leq -E(1 - \alpha)e$ を解いて $\alpha\rho \geq P_S$ との共通範囲を求めると、

$$\rho \geq \frac{P_S}{\alpha} + \frac{H + E(1 - \alpha)e}{y\alpha} \quad (33)$$

が得られる。

以上より、事業者と行政がともに D 戦略を選択することが純粋戦略ナッシュ均衡となるのは、

$$\rho \leq \frac{P_S}{\alpha} - \frac{H + E(1 - \alpha)e}{\alpha} \quad (34)$$

$$\text{または} \quad \frac{P_S}{\alpha} + \frac{H + E(1 - \alpha)e}{y\alpha} \leq \rho$$

が成立するときである。

以上を踏まえて、情報の不完備性を考慮した場合の追加的な資金需要に対する均衡の変化の様子を図示したものが、図 4-b である。

情報完備ゲームにおいては複数均衡が生じていた領域においても、情報不完備ゲームの場合にはある閾値を境として均衡が唯一に決まっている。また、均衡が切り替わる位置は $C_E/(ae)$ の大きさによって決まっており、 C_E に対する ae の値が大きいほど、すなわち積極的な初動対応を行うために要する費用対してその効果が大きいほど、協力的な均衡が実現する範囲も大きくなるのがわかる。

(2) 入札条件の評価

ここまで、所与の契約内容 (p_S, F_S) のもとでリスク事象が顕在化した場合に、再交渉で実現する均衡が追加的な資金需要の大きさ ρ によってどのように変化するかを見てきた。政府はこの結果を踏まえて、事業者の提示する入札戦略 (p_S, F_S) の妥当性を評価することになるが、以下ではその際に認知誤差の影響を考慮するかどうかによって、政府の意思決定にどのような違いが生じるかを見ていく。

議論が複雑になるのを防ぐため、コンセッションフィー F_S を一定とし、公共サービスの利用料金 p_S のみに基づいて競争入札が行われるものとする。また、公共サービスの需要 q が利用料金 p_S に対して

$$q(p) = a(p_{max} - p_S) \quad (35)$$

で決定されると考える。このとき、利用料金 p_S と追加的な資金需要 ρ の大きさによって、再交渉で実現する均衡がどのように変化するかを図 5 に示した。@点示部と横線部は、それぞれ協力的な均衡と非協力的な均衡が実現する領域を示している。

以上を踏まえて、事業入札において民間事業者が提示してくる入札戦略を政府が評価する流れをシミュレーションしていく。はじめに、民間事業者は独自の調査で観測した事業リスクの大きさ ρ_S に基づいて事業の収益性を分析し、入札戦略として公共サービスの利用料金 p_S を提示する。これに対して、政府は導入可能性調査で観測した事業リスクの大きさ ρ_G を前提として、利用料金 p_S の下でリスク事象が顕在化した際に、再交渉を通じてどのような均衡が実現するかを予測する。ここで非協調的な均衡が実現すると予測された場合、政

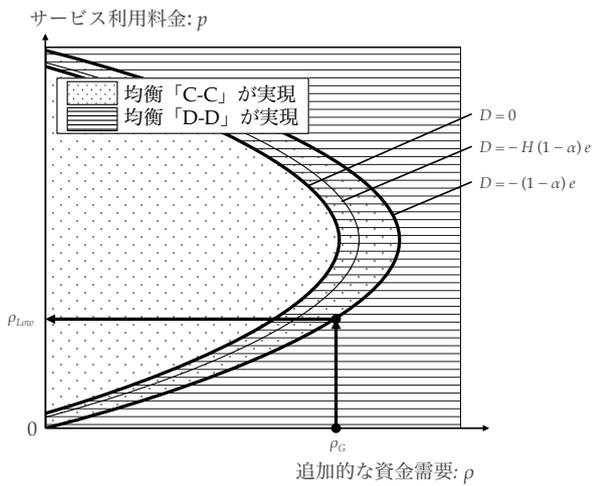


図-5-a 認知誤差を考慮しない場合

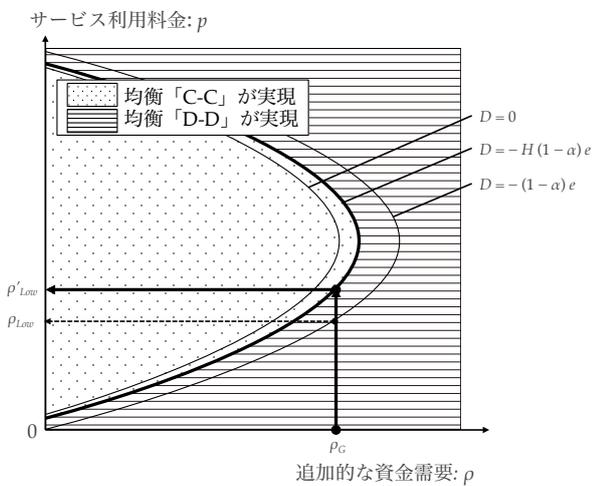


図-5-b 認知誤差を考慮する場合

図-5 再交渉を通じて実現する均衡の様子

府は事業者の提示する利用料金 p_S が適正な水準ではないと判断し、当該事業者を運営権者選定の対象から外すことになる。

したがって、入札時に政府が認知誤差の影響を考慮しない場合、 p_{Low} 以上の利用料金を提示してくる事業者の中から運営権者を選定することになる。一方で、入札時に政府が認知誤差の影響を考慮する場合には、入札条件が妥当であると判断するための基準は p'_{Low} へと上昇する。

ここで、入札の時点で認知誤差の影響を考慮していない民間事業者が $p_{Low} \leq p_S \leq p'_{Low}$ の範囲で入札戦略を提示した場合、同じく認知誤差の影響を考慮しない政府はこれを妥当な料金設定であると判断することになる。しかしながら、この契約内容のもとで事業運営中に実際にリスク事象が発生した場合、グローバル・

ゲームの考え方に従えば両者の間で戦略の読み合いプロセスが発生し、結果的に協調的な均衡が実現しないことが予想される。このことは、入札時のリスク評価において認知誤差の影響を無視することによって、リスク事象が発生した際に事業破綻をもたらすような契約を締結してしまう可能性を示唆している。したがって、政府が事業者が提示する入札戦略を評価する際には、従来想定されていたよりも事業者の収益に余剰を見込むことを前提にしなければならないと言える。

6. シミュレーション 2

ここまでは主に、事業期間中にリスク事象が顕在化した場合における官民の対応について検討してきた。しかし、リスク事象への対策に関する民間事業者の戦略としては、リスクが顕在化した直後の積極的な初動対応によって追加的に発生する資金需要を抑制する他に、事象が発生する前の通常運営の段階から予防的投資を行うことが考えられる。もちろんこれらは二者択一という性質のものではなく、実際には事業の性質に応じて重み付けしつつも両フェーズにおいて適切な対策を行わなければならない。しかしながら、ここでは簡単のため、民間事業者はどちらかの戦略を予め選択するものとする。その上で、前章までの議論を踏まえて PPP 事業における予防的投資の意義を再検討する。

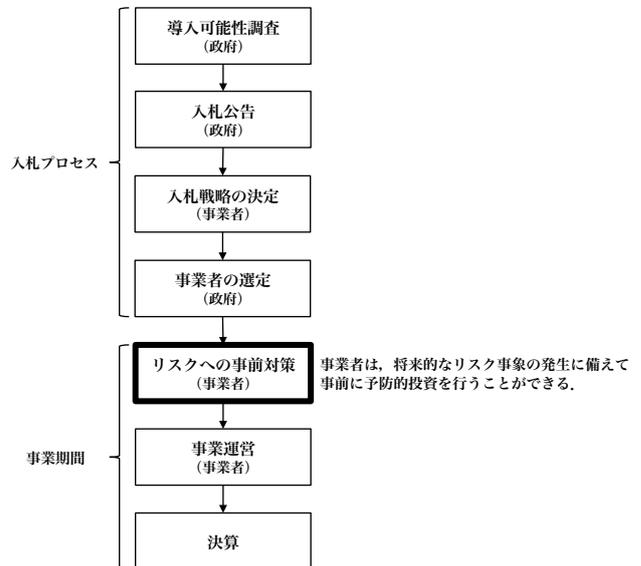


図-6 リスク事象発生時における事業の流れ

一般に、平時からリスク事象に備えて対策を行うことで、発災後の緊急対応よりも効率的な資源配分を実現できる。一方で、事業期間中にリスクが顕在化しなければ事前対策に要した費用は sunk cost になってしまう。よって、民間事業者はリスク事象の発生確率

や事業の性質に応じてこれらのバランスを検討しつつ、予防的投資の有効性を検討していくことになる。

ところで、予防的投資についてはもう一つ重要な側面がある。リスク下で民間事業者が行う初動対応が、政府との対応協議において正当に評価されない可能性をもつものに対し、平時からリスク事象に備えて行われる予防的投資は（耐震補強など）、政府が比較的容易にその効果を観察できると言える。よってここでは、行政にとって民間事業者による予防的投資の有無が観察可能であることを仮定する。

いま事業者が予防的投資を行うことで、リスク事象の顕在化に伴う追加的な資金需要が e 削減できるものとする。ただし、この投資には $(1-\lambda)C_E$ の費用を要する。ここで、 λ は予防的投資が緊急対応に対してもっている相対的な効率性を表している。事業期間内にリスク事象が顕在化する確率は θ とする。

以上を踏まえると、民間事業者が予防的投資を行った場合、リスク下での政府の意思決定は、民間事業者の初動対応を期待する政府が行う意思決定に一致する。よって、民間事業者の期待利得 $\pi_{S,Pre}$ は次式で表される。

$$\pi_{S,Pre} = \begin{cases} \theta(\pi_{SCC} + \lambda C_E) \\ \quad + (1-\theta)\{P_S - (1-\lambda)C_E\} \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \geq -(1-\alpha)e) \\ \theta\{\pi_{SDD} - (1-\lambda)C_E\} \\ \quad + (1-\theta)\{P_S - (1-\lambda)C_E\} \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \leq -(1-\alpha)e) \end{cases} \quad (36)$$

一方、予防的投資を行わない場合の事業者の期待利得 $\pi_{S,Pro}$ については、認知誤差を考慮するかどうかによって次のような違いが生じる。

情報完備ゲームの場合

$$\pi_{S,Pro} = \begin{cases} \theta\pi_{SCC} + (1-\theta)P_S \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \geq -(1-\alpha)e) \\ \theta\pi_{SDD} + (1-\theta)P_S \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \leq -(1-\alpha)e) \end{cases} \quad (37)$$

情報不完備ゲームの場合

$$\pi_{S,Pro} = \begin{cases} \theta\pi_{SCC} + (1-\theta)P_S \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \geq -E(1-\alpha)e) \\ \theta\pi_{SDD} + (1-\theta)P_S \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \leq -E(1-\alpha)e) \end{cases} \quad (38)$$

いま、民間事業者が予防的投資を行うための条件は次式が成り立つことである。

$$\pi_{S,Pre} > \pi_{S,Pro} \quad (39)$$

認知誤差を考慮しない場合、予防的投資の有無に関わらず均衡の変化する点は $D(p, F_S, \rho) = -(1-\alpha)e$ であるから、予防的投資を行うことが望ましい選択肢となるための条件は以下ようになる。

$$\begin{cases} \theta + \lambda - 1 \geq 0 \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \geq -E(1-\alpha)e) \\ 1 - \lambda \leq 0 \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \leq -E(1-\alpha)e) \end{cases} \quad (40)$$

まず、行政が再交渉において契約内容の変更に応じると予想される状況では ($D(p, F_S, \rho) \geq 0$ のとき)、リスク事象の発生確率 θ が大きく、予防的投資の相対的な効率性 λ が大きい場合に、予防的投資が有効な選択肢となることがわかる。一方で、行政が事業を買い戻すことが予想される状況では ($D(p, F_S, \rho) \leq 0$ のとき) 民間事業者にとって予防的投資は埋没コストとなってしまうため、それが実行されるためには λ が 1 より大きくなること、すなわち予防的投資が相当程度効率的であり、かつ事前投資に対して補助金等のインセンティブが付与されることが必要である。

これに対して、認知誤差を考慮した場合には、予防的投資の有無によって協調的な均衡が実現する範囲が変化していることがわかる。このことを踏まえて予防的投資を行うことが望ましい選択肢となるための条件を求めると、

$$\begin{cases} \theta + \lambda - 1 \geq 0 \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \geq -E(1-\alpha)e) \\ \theta(\pi_{SCC} - \pi_{SDD}) + (\theta + \lambda - 1)C_E \geq 0 \\ \quad \text{(if. } -1 \leq D(p, F_S, \rho)/\{(1-\alpha)e\} \leq -E) \\ 1 - \lambda \leq 0 \\ \quad \text{(if. } D(p, F_S, \rho) \leq -(1-\alpha)e) \end{cases} \quad (41)$$

となる。

ここで注目すべきは $-1 \leq D(p, F_S, \rho)/\{(1-\alpha)e\} \leq -E$ の範囲である。この領域について、情報完備ゲームではリスク事象の発生確率 θ や予防的投資の有効性 λ が小さければ ($1-\theta-\lambda < 0$ のとき) 予防的投資は非効率的な選択肢であったのに対し、情報不完備ゲームでは予防的投資を行うことが効率的な選択肢となっていることがわかる。これは、リスク下での戦略の読み合いが回避できることによるメリットを考慮すると、リスク事象の発生確率 θ と予防的投資の相対的な効率性 λ のみに基づく従来の意思決定基準が変わってくることを意味しており、予防的投資がもつシグナリングとしての価値を示唆する結果である。なお、戦略の読み合いにおいて協調が成功することの相対的なメリット ($\pi_{SCC} - \pi_{SDD}$) が大きいほど、シグナリングとし

ての効果は顕著となる。

7. 結論

本研究では、コンセッション方式による PPP 事業をゲーム理論によってモデル化し、リスク事象に対する認識に関して官民の間に認知誤差が存在することが、巨大リスク事象が発生した際の両者の協調関係にどのような影響を及ぼすのかを分析してきた。ここから得られた結論は以下のとおりである。

- 巨大リスク事象に対して官民が互いに協力して対応することが望ましいような状況でも、リスク事象に対する認識に関して両者の間に認知誤差が存在することで、戦略の読み合いが生じて協力行動が実現しない可能性があることが示された。
- PPP 事業の入札時において、政府が認知誤差のもたらす影響を正しく考慮せずに事業者の選定を行うことで、リスク事象が顕在化した際に官民の協力行動が実現せずに事業破綻に陥る可能性があることが示された。
- PPP 事業において事業者が行う予防的投資には、予め自らの協力的な行動をシグナリングすることで、事後的な戦略の読み合いによる協調失敗を回避する効果をもつことが示された。

参考文献

- 1) Athias, L. and Saussier, S.: Contractual Flexibility or Rigidity for Public Private Partnerships?: Theory and Evidence from Infrastructure Concession Contracts, SSRN eLibrary, 2007.
- 2) National Audit Office (NAO): Improving the PFI tendering process, 2007.
- 3) Engel, E. and Fischer, R. and Galetovic, A.: Public-Private Partnerships to Revamp U.S. Infrastructure, The Hamilton Project, 2011.
- 4) Guasch, J. L., Benitez, D., Portabales, I. and Flor, L.: The Renegotiation of PPP Contracts: An overview of its recent evolution in Latin America, *ITF Roundtable: Public Private Partnerships for Transport Infrastructure: Renegotiations, how to approach them and economic outcomes*, 2014.
- 5) Coase, R.H.: The Nature of the Firm, *Economica*, No.4/II-16, pp.386-405, 1937.
- 6) Klein, B., Crawford, R.G. and Alchian, A.: Vertical Integration, Appropriate Rents, and the Competitive Contracting Process, *The Journal of Law and Economics*, No.2/II-21, pp.297-326, 1978.
- 7) Williamson, O.E.: *Markets and Hierarchies*, Free Press, New York, 1975.
- 8) Williamson, O.E.: *The Economic Institutions of Capitalism*, Free Press, New York, 1985.
- 9) Williamson, O.E.: *The Mechanisms of Governance*, Oxford University Press, 1996.
- 10) Hölmstrom, B.: Moral Hazard and Observability, *The Bell Journal of Economics*, No.1/II-10, pp.74-91, 1979.
- 11) Grossman, S.J. and Hart, O.D.: The Costs and Benefits of Ownership: A Theory of Vertical and Lateral Integration, *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, No.4/II-94, pp.691-719, 1986.
- 12) Hart, O.D. and Moore, J.: Property Rights and the Nature of the Firm, *Journal of Political Economy*, No.6/II-98, pp.1119-1158, 1990.
- 13) McAfee, R.P. and McMillan, J.: Bidding for contracts: A Principal-Agent Analysis, *The RAND Journal of Economics*, No.3/II-17, pp.326-338, 1986.
- 14) Laffont, J.J. and Tirole, J.: *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, MIT Press 1993.
- 15) Cox, J.C., Mark, I.R., Cech, P.A. and David, C.: Moral Hazard and Adverse Selection in Procurement Contracting, *The Journal of Finance* II-17, pp.147-176, 1996.
- 16) Ho, S.P. and Liu, L.Y.: Hidden Action or Hidden Information?: How Information Gathering Shapes Contract Design, *Journal of Construction Engineering and Management*, No.1/II-130, pp.94-104, 2004.
- 17) Ho, S.P.: Model for Financial Renegotiation in Public-Private Partnership Projects and Its Policy Implications: Game Theoretic View, *Journal of Construction Engineering and Management* No.7/II-132, pp.678-688, 2006.
- 18) Athias, L. and Soubeyran, R.: Discussion of Demand Risk Allocation in Incomplete Contracts : The Case of Public Private Partnerships Sergi Saurí, 2012.
- 19) Iossa, E. and Martimort, D.: Hidden Action or Hidden Information?: How Information Gathering Shapes Contract Design, Centre for Economic Policy Research, 2013.
- 20) Valero, V.: Government Opportunism in Public Private Partnerships, *Journal of Public Economic Theory* No.1/II-17, pp.111-135, 2015.
- 21) National Audit Office: London Underground: Are the Public Private Partnerships likely to work successfully?, 2004.
- 22) 山口直也: PFI/PPP 事業における意思決定問題: ロンドン地下鉄 PPP 事業のケース, 経済論集, 新潟大学, 2012.
- 23) Harsanyi, J.C.: Games with Incomplete Information Played by "Bayesian" Players, I-III Part I. The Basic Model, *Management Science*, No.3/II-14, pp.159-182, 1967.
- 24) Carlsson, H. and van Damme, E.: Global Games and Equilibrium Selection, *Econometrica*, No.5/II-61, pp.989-1018, 1993.
- 25) Morris, S. and Shin, H.S.: Global Games: Theory and Applications, *Cambridge University Press*, pp.56-114, 2003.
- 26) 柳川範之: 契約と組織の経済学, 東洋経済, 2000.

(2012. 11. 18 受付)