第２０１３-０８号

入札結果データを用いた総合評価方式入札の分析（評価式デザインや入札参加資格のバリューフォーマネー及び入札参加者の利潤に与える影響の推定）

東北大学　経済学部
准教授　　中林　純

平成２７年１１月

(財)日本建設情報総合センター研究助成事業
最終報告書

中林　純
東北大学経済学部
2015 年 9 月 30 日

はじめに

本研究課題では，入札結果データを用いた総合評価方式入札の分析を行う。入札データより入札者のコスト構造の推計を行い、推計結果を応用して評価式や入札方式がバリューフォーマネー及び入札参加者の利潤に与える影響をシミュレート分析する。なお本研究の詳細は Nakabayashi and Hirose (2015)で取りまとめられている。

一口に「コスト」と言っても、それは入札金額を決定する際の積算費用や工事完了後に決算される費用など、さまざまな時点、そしてさまざまな計算の方法に基づいて定義されるものである。またそのように定義されるそれぞれの「コスト」が、それぞれの角度から建設業者の経営判断等にインパクトを持つと思われる。本研究ではそうしたさまざまな「コスト」の中で、入札金額等を決定する際に建設業者が積算する費用を「コスト」として論を進める。[1]

近年、国の入札を中心に、価格のみならず価格以外の要素も入札させ、価格とそれいがいの要素を総合的に勘案して納税者にとってもっとも有利な者を落札者とする総合評価方式の採用が進んでいる。総合評価落札方式入札では、価格のみの入札のように各入札者の入札はスカラーではなく、ベクトルとなる。以下では，そうしたベクトル値の入札データを用いて、入札者のコスト構造（の分布）を推計する手法、いわゆる構造推定の手法について解説する。また，サンプルとして国土交通省の 2010 年から 2014 年までの公共工事の入札データを用いて実際にコスト構造を推計し、推計結果にもとづき各種のシミュレーションを行う。

総合評価落札方式は納税者にどのようなメリットを与えているのか？納税者は入札方式の変更そのものからは直接便益を受けることはない。代わりに、異なる入札制度で発注された公共工事が、より経済的な価格で得られたり、より性能の高い公共工事が価格上昇なしに得られたりすることで、より多くの便益を得ることになる。以上を念頭におきつつ、観察された入札参加企業の費用構造を元に価格のみの入札が行われた状況をシミュレーションし

[1] 入札金額を決定するさいの「コスト」については、多摩の談合事件に係る審決取消請求訴訟に関する最高裁判決（平成 22 年(行ヒ)第 278 号）でも「・・・競争が行われている状況においては，入札参加者は，入札物件に係る自社の**コスト**を積算し，当該入札物件についてどの程度の価格であれば落札できるかといった競争に係る諸般の事情を考慮した上で，自己の入札価格を決定する。」（太字は引用者による）とされ、競争入札における参加者間の最も重要な競争手段である入札金額等を決定する基礎的な変数と位置づけられている。

た。その結果、総合評価落札方式入札は最大で約 10%程度、納税者の便益を増加させている可能性が明らかになった。

他方で、価格方式入札でも、受注者に要求する工事の性能水準を発注部局が適切に定めれば、納税者の便益は総合評価方式に肉薄する可能性（シミュレーションの結果、価格のみ入札での便益減は 1%弱）であることも明らかとなった。技術提案を伴うなど、総合評価落札方式入札では価格のみ入札にくらべて入札参加企業の負担は大きい。総合評価落札方式入札に比べて相対的に参加費用の低い価格入札では、より多くの入札参加が見込まれるため、より高い競争性が期待される。本研究ではそうした潜在的な入札者の参加行動はモデル化した分析対象からはずしているため詳細は不明ながら、場合によっては競争性の向上から価格入札のほうが総合評価落札方式入札よりも納税者の便益が高い可能性も残されることは注意が必要であることもわかった。

関連文献

総合評価落札方式入札の理論研究は Che(1993)を先駆とし，その後 Asker and Cantillon (2008)が入札者の効率性パラメターを多次元とする方向で拡張し、多様な入札者をモデルに取り入れることが可能となった。また Hanazono et al.(2015)では、従前の研究に用いられていた評価式の制約を取り払い、たとえば実務的にも多用される除算方式の評価関数も分析可能となる枠組みへとモデルが拡張された。

入札データを構造推定（モデルを前提として入札者の効率性パラメターを推計）する手法については、Paarsch(1992)を先駆として，その後 Guerre, Perrignue, and Vuong（2000）がノンパラメトリックな推定方法を提唱し、普及が進んだ。総合評価落札方式入札のデータのように入札が多次元（ベクトル）となる入札の構造推定はあまり研究がいないが、本研究はその領域で学術的貢献が見込まれる。

入札モデルの構造推定

1. 理論モデル

総合評価落札方式入札に関する理論モデルは既存文献である Asker and Cantillon (2008)および Hanazono et al (2015)に従う。

ある政府の建設事務所が一つの工事案件を総合評価落札方式入札の公告をし､そこに n 社が応札したとしよう。入札者 i（ただし $i = 1, \cdots, n$ で $n > 0$）は L（ただし L > 1）次元のベクトル（$p_i, \mathbf{q}_i$）を入札し、評価関数$S(p, \boldsymbol{q})$が各入札者の L 次元ベクトル値の入札をスカラー値である総合評価値（スコア）に変換する。なお、p は入札価格、$\mathbf{q}$ は L-1 次元の技術評価値である。評価関数 $S(p, \mathbf{q})$は p について厳密な単調増加、$\mathbf{q}$ について単調減少である。

次に応札企業についてモデル化する。応札企業 i は入札前に$\boldsymbol{\theta}_i$という L 次元ベクトルで表現される費用パラメター（効率性パラメター）を取得する。モデルでは$\boldsymbol{\theta}$は独立に分布する確率変数とし、その結合密度関数は$f(\boldsymbol{\theta})$に従うものとする。また各入札者は自ら$\boldsymbol{\theta}$の値は知

っているが、競合他社の$\boldsymbol{\theta}$は$f(\boldsymbol{\theta})$にしたがう確率変数として認識されている（Private values 仮定）。

各入札者のコストは、自身が技術評価値 $\mathbf{q}_i$ を受けられるような技術水準を提案する際には$C(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta})$となる。ただし$C(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta})$は $\mathbf{q}$、$\boldsymbol{\theta}$についてそれぞれ単調増加、そして $\mathbf{q}$ について凸関数であると仮定する。すなわち、各入札者のコストは、自身がより評価の高い技術提案を行おうとすると加速度的に上昇し、またそのコストおよびコストの上昇速度はパラメター$\boldsymbol{\theta}$によっても影響を受ける。（$\boldsymbol{\theta}$が高いほど非効率、すなわちコストおよびコストの上昇速度は高い。）

上記のモデルセットアップについて以下数点コメントをする。

はじめに、評価値が最低の社を落札者とするが、モデル上評価関数は正負の単調変換しても入札者の行動には影響を与えないため、国土交通省が現在使用しているような評価式のように、評価値の最高の社を落札者とするケースにも対応可能である。

次に、予定価格や低入札調査の基準価格がモデル上考慮されていないが、これらが非公開であれば、上記のモデルでも結果には大きな影響は与えない。また、入札不調で複数回の入札が行われることがあるが、応札企業のコスト構造は 1 回目入札のデータがあれば識別可能である。

最後に、$f(\boldsymbol{\theta})$は本入札案件に参加する企業には共通の分布であるが、その仮定を緩めて、各企業の$\boldsymbol{\theta}$が異なる分布に従うとしてもよい。その場合はより一般的な理論モデルを適応する必要がある。

さて、応札企業の行動を考えてみることにしよう。$(p_i,\mathbf{q}_i)$を入札した企業 i が落札者となったときの利潤は$\boldsymbol{p_i}-C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i)$で与えられる。したがって、$Prob\{win|S(p_i,\mathbf{q}_i)\}$を企業 i が$(p_i,\mathbf{q}_i)$を入札したときに最低の評価値となる確率とすると、仮に企業 i がリスクに中立的であるならば、企業 i が$(p_i,\mathbf{q}_i)$を入札することから得られる期待利潤は$\boldsymbol{p_i}-C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i)Prob\{win|S(p_i,\mathbf{q}_i)\}$となるので、企業 i の総合評価方式入札における最適入札値は以下の問題に定式化することができる。なお単純化のため、選択変数であるp_iや$\mathbf{q}_i$の定義域は十分に広いことを仮定する。

$$\mathbf{max}_{p_i,\mathbf{q}_i} p_i - C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i)Prob\{win|S(p_i,\mathbf{q}_i)\}$$

この多次元の最大化問題を容易に解く手法として、既存研究である Che（1993）や Asker and Cantillon (2008)で用いられている変数変換を次のように行う。入札者が入札しうる$p,\mathbf{q}$から出現しうる評価値の範囲を S とする。評価式$S(p,\boldsymbol{q})$がpについて厳密な単調関数であることから、所与の$\mathbf{q}$についての逆関数を以下のとおりに定義する。

$$P(s,\boldsymbol{q}) = \{\, p\dashv |S(p,\mathbf{q}) = s\} \ \forall s \in S$$

上記を利用すると、企業の最適入札値問題は次のように再定義しても、入札行動については同値の分析が可能である。

$$\mathbf{max}_{s_i,\mathbf{q}_i} P(s_i,\mathbf{q}_i) - C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i) Prob\{win|s_i\}$$

すなわち、企業 i が価格を入札するかわりに、総合評価値s_iを入札することに読み替えても、評価式が厳密な単調関数であるかぎり、p_iとs_iとは 1 対 1 対応するので、両者の最大化問題の解は同一の結果（技術評価値、利潤、落札者）を示すことになる。

この変数変換の手法を用いることにより、実は多次元の最大化問題は以下の通り逐次的な最大化問題に帰着させることができる。

$$\mathbf{max}_{s_i}\left[\mathbf{max}_{\mathbf{q}_i} P(s_i,\mathbf{q}_i) - C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i)|s_i\right] Prob\{win|s_i\}$$

ここでカギ括弧内の最適化問題に解が存在すればその Value function を$u(s_i,\boldsymbol{\theta}_i)$とおくことができ、すると最適入札値問題は以下の通り、一次元の最適化問題

$$\mathbf{max}_{s_i} u(s_i,\boldsymbol{\theta}_i) Prob\{win|s_i\}$$

と簡略化することができる。ここでカギ括弧内の最適化問題（$\mathbf{q}$ に関する最大化問題）に一意解が存在するとしよう。これが一意解を持つ条件は、比較的ゆるやかな条件で成り立つ（$P(.) - C(.)$が$\mathbf{q}$に関して強凸であること等）。したがって、そうした状況下では、入札企業の技術提案についての最適解は、目標とする総合評価値に依存して内生的に決定されるものであることがわかる。したがって、総合評価落札方式入札の最適入札値問題は、入札者が競争相手の総合評価値および自己の利潤を考慮しつつ、どのように目的総合評価値を選ぶかという問題であると考えてもよい。

では均衡での最適入札値問題を考えてみよう。こうした状況でもっともふさわしいと思われる対称単調純粋戦略を入札者がとると考える。今、$G(s)$をある競争相手の入札者の総合評価値の分布としよう。すると、上記の最適化問題は、

$$\mathbf{max}_{s_i} u(s_i,\boldsymbol{\theta}_i)\left(1 - G(s_i)\right)^{n-1}$$

と定式化できる。したがってs_iについて微分することにより一階条件：

$$\frac{u(s_i,\boldsymbol{\theta}_i)}{u_{\mathrm{s}}(s_i,\boldsymbol{\theta}_i)} = \frac{1 - G(s_i)}{(1-n)g(s_i)} \tag{1.1}$$

を得る。これにカギ括弧内の最大化問題の $\mathbf{q}$ に関する最適化の一階条件（$\mathbf{q}$ に関して微分する）/ :

(1.2) $$\begin{bmatrix} P_{q^1}(s_i, \mathbf{q}_i) \\ \vdots \\ P_{q^{L-1}}(s_i, \mathbf{q}_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{q^1}(\mathbf{q}_i, \theta_i) \\ \vdots \\ C_{q^{L-1}}(\mathbf{q}_i, \theta_i) \end{bmatrix}$$

を合わせた L 次元の連立方程式の解$\boldsymbol{s_i}, \mathbf{q}_i$が最適入札値問題の必要条件となる。

実は十分性については、常に満たされる訳ではなく、以下の追加の条件が必要である。

仮定（解の存在）

評価式$S(p, \mathbf{q})$及び企業の費用関数$C(\mathbf{q}, \boldsymbol{\theta})$が以下を満たすとする。

i) $$\frac{\partial}{\partial q^k}\frac{C_{q^m}(\mathbf{q}, \boldsymbol{\theta})}{C_{\theta^l}(\mathbf{q}, \boldsymbol{\theta})} \geq 0$$

ii) $$\frac{\partial}{\partial q^m}\frac{P(s, \mathbf{q})}{P_s(s, \mathbf{q})} \geq 0$$

がすべての$l = 0, \dots, L-1$、$m, k = 0, \dots, L-1$について、どのような $\mathbf{q}$、$\boldsymbol{\theta}$でも成立する。詳細は Nakabayashi and Hirose (2015)に譲ることにする。仮定（解の存在）が満たされていると、McAdams(2003)の帰結により、まずは最適入札値問題には解の存在が保証される。くわえて、Nakabayashi and Hirose(2015)によれば、上記の最適入札値問題の解$(s_i, \mathbf{q}_i)$の必要条件が、実際には必要十分条件であり、また同条件を満たす解が一意に存在することが示されている。これにより、総合評価落札方式入札の最適入札値問題の解の特徴付けは、上記（1.1）及び(1.2)式で与えられることになる。

2.　計量モデル

n 社からなる入札者が（1.1）及び（1.2）式に基づいて入札をしているとしよう。入札結果は$(p_i^*, \boldsymbol{q}_i^*)$, $i = 1, \dots n$で示される。この情報を元に、各入札者の効率性パラメター$\boldsymbol{\theta}$の分布fを推定してみよう。

ここでは同様な入札案件が$T > 1$だけ存在するとする。その T の案件の入札結果データは$\{p_{i,t}^*, \boldsymbol{q}_{i,t}^*, i = 1, \dots n,\ t = 1, \dots T\}$で示される[2]。また、入札者 i の案件$t$における総合評価値$s_{i,t}^*$は評価式に代入することにより得られるから、観察される情報（データ）は$d = \{s_{i,t}^*, p_{i,t}^*, \boldsymbol{q}_{i,t}^* |\ i = 1, \dots n,\ t = 1, \dots T\}$ということになる。なお、T が十分に大きければ、$s_{i,t}^*$の分布関数及び密度

2　ここでは単純化のために n は定数としているが、案件ごとに変わっていてもかまわない。

関数は以下のようにノンパラメトリックに推定をすることができる。

$$\hat{G}(s) = \frac{1}{nTh_G}\sum_{t=1}^{T}\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}}\mathbf{1}\left(s_{i,t}^{*} \le s\right)$$
$$\hat{g}(s) = \frac{1}{nTh_g}\sum_{t=1}^{T}\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}}\boldsymbol{K}\left(\frac{s_{i,t}-s}{h_g}\right)$$

そこでまず、これらd、$\hat{G}$及び$\hat{g}$を用いて個々の入札案件$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$を推定してみよう。(1.1) 及び (1.2) から以下のように、$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$に関する L 本の非線形連立方程式を得る。

$$A\left(\boldsymbol{\theta}_{i,t};\mathbf{q}_{i,t}^{*}\right) = \mathbf{b}^{*} \tag{2.1}$$

ただし

$$A\left(\boldsymbol{\theta}_{i,t};\mathbf{q}_{i,t}^{*}\right) = \begin{bmatrix} C\left(\mathbf{q}_{i,t}^{*},\boldsymbol{\theta}_{i,t}\right) \\ C_{q^1}\left(\mathbf{q}_{i,t}^{*},\boldsymbol{\theta}_{i,t}\right) \\ \vdots \\ C_{q^{L-1}}\left(\mathbf{q}_{i,t}^{*},\boldsymbol{\theta}_{i,t}\right) \end{bmatrix};\ \mathbf{b}^{*} = \begin{bmatrix} P_{\mathrm{s}}\left(s_{i,t}^{*},\mathbf{q}_{i,t}^{*}\right) - P_{\mathrm{s}}\left(s_{i,t}^{*},\mathbf{q}_{i,t}^{*}\right)\dfrac{1-\hat{G}\left(s_{i,t}^{*}\right)}{(1-n)\hat{g}\left(s_{i,t}^{*}\right)} \\ P_{q^1}\left(s_{i,t}^{*},\mathbf{q}_{i,t}^{*}\right) \\ \vdots \\ P_{q^{L-1}}\left(s_{i,t},\mathbf{q}_{i,t}^{*}\right) \end{bmatrix}$$

である。

ここでなぜ (2.1) が連立式であるのかを解説する。右辺の$\mathbf{b}^{*}$は、関数P_s、P_qは既知であることから、d、$\hat{G}$及び$\hat{g}$から一意に与えられるベクトル値である。また左辺の非線形関数において、$\mathbf{q}_{i,t}^{*}$は観察されたベクトルである。したがって上記 (2.1) は$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$についての L 元非線形連立方程式となるのである。

総合評価落札方式入札において入札者が最適な入札をしているとすると、観察される$p_{i,t}^{*}, \boldsymbol{q}_{i,\mathrm{t}}^{*}$、それに対応する総合評価値$\boldsymbol{s}_{i,\mathrm{t}}^{*}$、そしてその分布関数$G$及び$g$は (2.1) 式を満たすことになる。言い換えれば、ある入札者の入札が$p_{i,t}^{*}, \boldsymbol{q}_{i,\mathrm{t}}^{*}$ならば、その入札者のパラメター$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$は (2.1) 式を満たす$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$ということになる。したがって (2.1) 式が$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$について解くことができ、またその解が一意であれば、$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$を識別 (推定) したことになる。すなわち、もし$A(\theta;\mathbf{q}^{*})$が$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$について (大域的に) 逆関数を持つならば、$A^{-1}(.;\mathbf{q}^{*})$をその逆関数とすると$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$の推定値は

$$\boldsymbol{\theta}_{i,t} = A^{-1}(\mathbf{b}^{*};\mathbf{q}^{*}) \tag{2.2}$$

として得られることになる。

そこで$A(\theta;\mathbf{q}^{*})$が可逆であることの必要十分条件は以下の通りである。

仮定（識別性）

すべての$\boldsymbol{\theta}$および$\mathbf{q}$で、$A(\theta;\mathbf{q}) = \left(C(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}), C_{q^1}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}), C_{q^{L-1}}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta})\right)^T$の$\boldsymbol{\theta}$に関するヤコビ行列

$$\begin{bmatrix} C_{\theta^0}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) & C_{\theta^1}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) & \cdots & C_{\theta^{L-1}}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) \\ C_{q^1\theta^0}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) & C_{q^1\theta^1}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) & \cdots & C_{q^1\theta^{L-1}}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{q^{L-1}\theta^0}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) & C_{q^{L-1}\theta^1}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) & \cdots & C_{q^{L-1}\theta^{L-1}}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

が正則である。

上記の仮定のもとで、$A(\theta;\mathbf{q})$の局所的な可逆性が保証される。また$C(\mathbf{q},\theta)$の連続性及び微分可能性をもとに、1）$A(\theta;\mathbf{q})$が proper な写像であること、2）θの定義域が弧状連結（arcwise connected）であり、また$A(\theta;\mathbf{q})$で写される像が単連結（simply connected）であることが満たされる。したがって大域的逆写像定理を適用することで、$A(\boldsymbol{\theta};\mathbf{q})$の大域的な可逆性も保証される。このことから、観察可能なデータより（2.2）式をもちいて$\boldsymbol{\theta}$を特定（identify）することが可能となる。

以上より、サンプル数 T の総合評価落札方式データ$d = \left\{s^*_{i,t}, p^*_{i,t}, \boldsymbol{q}^*_{i,t} \middle| \, i = 1,\dots n,\ t = 1,\dots T\right\}$よりすべての入札者の$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$が推定できた。これをもとに、$f$はノンパラメトリックに

$$\hat{f}(\boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{nTh_{f^0}\cdots h_{f^{L-1}}}\sum_{t=1}^{T}\boldsymbol{K}_f\left(\frac{\boldsymbol{\theta}^0 - \boldsymbol{\theta}^0_{i,t}}{h_{f^0}}, \cdots, \frac{\boldsymbol{\theta}^{L-1} - \boldsymbol{\theta}^{L-1}_{i,t}}{h_{f^{L-1}}}\right) \tag{2.4}$$

と推定できる。

3.　実証分析

国土交通省が 2010 年 1 月から 2014 年 8 月にかけて全国で発注した一般土木工事の入札結果データを用いて、$\boldsymbol{\theta}$の分布を推定してみることにする。

当該データ期間の総合評価落札方式は高度技術提案型、標準型、及び簡易型の 3 類型があるが、本研究では標準型で規模の大きなものと高度技術提案型の総合評価落札方式入札に焦点を当てて分析することとする。入札結果データからはどの工事案件がどの類型の総合評価落札方式入札で発注されたものか不明である。したがって、本研究では予定価格２億円以上で、最大の技術評価点を取得した入札者の技術評価点が 140 点以上の工事を当該類型の総合評価落札方式入札とみなして分析を進める。

データ期間内に総合評価落札方式入札で発注された一般土木工事の総件数は 18,183 件であった。そのうち先述のような予定価格 2 億円以上で技術評価点の最大値が 140 点以上の

Variable	標本数	平均	標準偏差	最小値	最大値
入札者数	5,142	9.88	6.39	2	34
予定価格	5,142	477.0	1,100.0	200.0	37,600
契約価格	5,142	423.0	972.0	169.0	34,300
契約者技術評価値	5,142	158.17	11.34	132.60	200.00
入札価格	36,688	531.0	984.0	160.0	37,100
技術評価値	36,688	153.19	11.11	101.50	200.00

単位は「標本数」以外すべて百万円。上 4 行は工事案件毎の数値であり、下 2 行はすべての入札者の一回目の入札を対象とした数値である。

表１　データ概要

工事案件数は 6,610 件であった。そこから明らかなデータ入力ミスや入札者が一人しか観察されない案件を取り除いたもの、5,142 件をサンプル（標本）として利用することとした。

表 1 は、サンプルの概要である。平均入札者数は約 9.9、予定価格は平均で約 4 億 8 千万円、契約価格の平均値は約 4 億 2 千万円、落札者の技術評価値の平均は約 158 点であった。また一回目の入札における入札価格の平均は約 5 億 3 千万円、技術評価値の平均値は約 153 点であった。

推定に使用する費用関数$C(\mathbf{q},\theta)$は以下に示されるものとする。

$$C(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}) = \begin{cases} (q+\theta^1)^\beta + \theta^0 & \text{もし}\, q > -\theta^1 \\ \theta^0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

ただし$\beta = 2{,}3,$ または 4とする。複数のβを使うことで費用関数の設定ミスの可能性をチェックすることができる。なお、この費用関数における$A(\boldsymbol{\theta};\mathbf{q})$のヤコビ行列は、

$$\mathbf{J}_{\boldsymbol{\theta}}(\boldsymbol{\theta};\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} 1 & \beta(q+\theta^1)^{\beta-1} \\ 0 & \beta(\beta-1)(q+\theta^1)^{\beta-2} \end{bmatrix}$$

であるから正則であり、仮定（識別性）を満たしている。事実、当該費用関数を（2.2）式に適用すると、

$$\begin{aligned} \hat{\theta}^0 &= p_{i,t} - q_{i,t}\frac{1}{n-1}\frac{1-\hat{G}(s_{i,t})}{\hat{g}(s_{i,t})} - \left(\frac{s_{i,t}}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta-1}} \\ \hat{\theta}^1 &= \left(\frac{s_{i,t}}{\beta}\right)^{\frac{1}{\beta-1}} - q_{i,t} \end{aligned}$$

となるから、$\boldsymbol{\theta}$を推定することができる。

以下の図は（2.4）式に基づくノンパラメトリック手法で推定された$\boldsymbol{\theta}$の累積分布関数である。

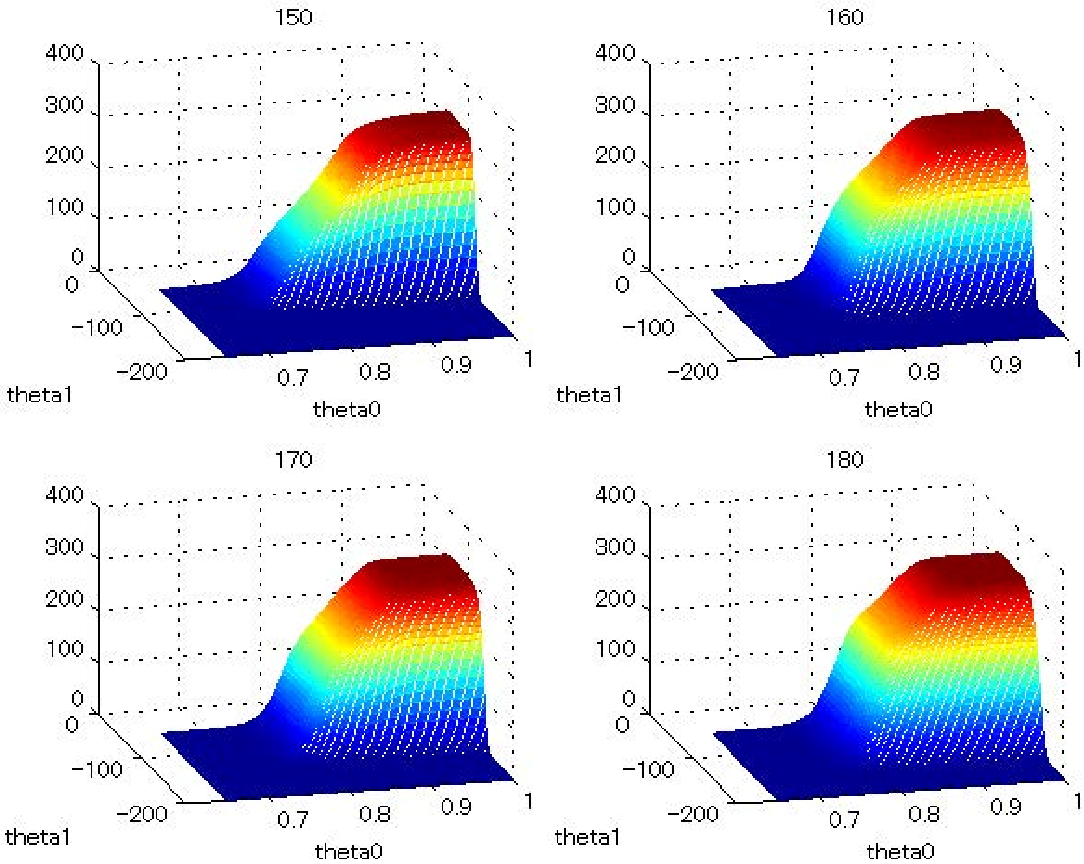

図 1　推計された$F(\boldsymbol{\theta})$

それぞれのパネルは、左上から入札者の技術評価値の最大値が 140 超 150 以下（150 と記載）、右上 150 超 160 以下（160 と記載）、左下 160 超 170 以下（170 と記載）、右下 170 超 180 以下（180 と記載）となった入札案件をそれぞれグループ化して別々に推計したものである。ガウシアンカーネルを使用した。バンド幅は、たとえば 160（右上）のデータではθ^0については 0.0052、θ^1については 1.9601 である。

以下では推計された$\boldsymbol{\theta}$をもとに各種シミュレーションを行ってみることとする。

A.価格のみ入札との比較

総合評価落札方式は本当に納税者にとってメリットがあるのだろうか？その問いに答えるべく、最初の分析は、すべての観測された入札参加企業はそのままにして仮にすべての工事が価格のみの入札で行われていたらどうなっていたかをシミュレートして、現状の総合評価落札方式入札での結果と比較してみようというものである。

分析の前提として、まず納税者は価格と性能のそれぞれからどのような費用便益を得ることになるかを定めなければならない。ここでは現状で使われている除算型の評価式が、納

税者の公共工事からの便益を反映しているものと仮定してみることとする。すなわち、性能（技術評価値）÷価格で構成される総合評価値が高いほど、納税者は性能の高い公共工事を安い値段で得ることができるという意味で、より大きな利得を得ることができると考えるのである。

総合評価値を納税者が公共工事契約から得られる便益の代理変数とする際に注意すべき点は、これが性能÷価格で与えられる数値であり、分母の価格は工事規模によって案件ごとに大きな差異があるのに対し、分子の技術評価値は 100 点から 200 点前後で工事案件ごとに価格ほどには大きな差異がないことである。サンプルのうち小さな規模（予定価格 2 億円）の工事では分母が小さいので評価点が高く、規模の大きな工事（予定価格 20 億円）と比べて、納税者の便益が 10 倍程度大きく見積もられてしまう可能性がある。そこで本分析では、総合評価値の分母となる「価格」については、それぞれの工事案件の予定価格で除した、いわゆる「入札率」（入札価格÷予定価格）を用いて総合点数を計算する。具体的に、納税者が第 t 番目の工事契約から得られる便益は

$$\text{(3.1)} \qquad \text{納税者便益}_{\mathrm{t}} = \text{技術評価値}\ (q_{i,t}) \div \text{入札金額}\left(p_{i,t}\right) \times \text{予定価格}$$

とするものである。

このように納税者便益を定義した上で、次にシミュレートする価格のみ入札を考えてみよう。総合評価落札方式では入札者が性能 $\mathbf{q}$ を選ぶのに対し、価格のみ入札では納税者（の代理人である発注者）が $\mathbf{q}$ をあらかじめ選択し、落札者はその $\mathbf{q}$ の性能を満たす工事を行う。シミュレーションでは $\mathbf{q}$ は 1 次元の数値 q と簡単化し、さらに納税者は q を 130 から 170 の間に 5 段階で選ぶと仮定して、推定された企業の費用構造$F(\boldsymbol{\theta})$および入札参加者を所与として、それぞれの参加者が価格のみ入札で行うであろう最適入札行動をシミュレートする。

国土交通省も一部の工事では使用している価格のみ入札では、すべての入札者が金額のみを入札し、一定の範囲内の最低金額を入札した者が落札者となり、その落札者は自らの入札金額と同額を契約金額として受け取るという、いわゆる第一価格入札（First-price auction）の形式が実際にはとられている。ただし、ここでは簡単化のために第二価格入札（Second-price auction）で価格入札が行われているものとしてシミュレートする。オークションの理論でよく知られた事実として、第二価格入札においての最適入札値は入札者の費用そのものであるということである。すなわち、もし納税者が選択する q を$\bar{q}$とあらわすことにすると、たとえば第 t 番目の工事案件で納税者の要求する性能水準が$\bar{q}$ =160であると、入札者 i の最適入札値は

$$C(160, \boldsymbol{\theta}_{i,t})$$

入札方式	β	性能値	標本数	平均	標準偏差	最小値	最大値	変化率	
総合評価	**-**	**-**	**5,142**	**177.2**	**15.09**	**109.4**	**310.1**	**-**	
		130	5,142	163.7	14.94	98.21	580.4	-7.66%	(0.53%)
		140	5,142	171.3	16.58	95.53	589.0	-3.34%	(0.39%)
	2	150	5,142	175.3	18.58	91.86	631.1	-1.10%	(0.25%)
		160	5,142	175.5	20.65	87.89	640	-0.96%	(0.18%)
		170	5,142	172.5	22.22	83.83	576.5	-2.69%	(0.24%)
		130	5,142	163.2	15.15	96.21	572.7	-7.94%	(0.50%)
		140	5,142	170.9	16.71	90.26	605.9	-3.55%	(0.38%)
価格入札	3	150	5,142	175.0	18.79	83.19	637.9	-1.24%	(0.24%)
		160	5,142	174.7	21.38	75.73	638	-1.44%	(0.37%)
		170	5,142	169.8	23.97	68.36	575.7	-4.20%	(0.53%)
		130	5,142	161.9	14.87	93.79	561.9	-8.68%	(0.51%)
		140	5,142	170.1	16.44	84.88	593.7	-4.00%	(0.40%)
	4	150	5,142	174.5	18.74	74.47	626.1	-1.51%	(0.26%)
		160	5,142	173.7	22.07	63.90	636	-2.00%	(0.28%)
		170	5,142	166.9	25.89	54.08	574.8	-5.82%	(0.51%)

1 行目の太字で記述された数値は観測された総合評価落札方式入札のものである。2 行目以降は推計結果を元にシミュレートした価格のみの入札の数値。費用関数の特定ミスの可能性をチェックするために、βは 3 種類、すなわち費用関数を 2 次、3 次、4 次関数としてそれぞれ推計している。価格入札のみの入札で発注者が設定する性能値は 130 から 170 までの 5 段階としている。カッコ内の数値はブートストラップして得た変化率の推定値の標準偏差を表す。

表 2　総合評価入札と価格のみ入札との納税者便益の比較

となる。また、これもよく知られている事実として、入札者の$\boldsymbol{\theta}$が独立に分布しているとすると第一価格入札と第二価格入札では、契約金額（落札者が受けとる金額）は平均的に等しい（ただし分散は第二価格入札のほうが大きい）。したがって、第二価格入札でシミュレートしても、平均の値の比較上は問題は生じない。

他方納税者の工事契約から得られる便益は（3.1）式をそのまま使う。これは、納税者の便益は工事契約の内容（道路・橋などの公共資本マイナス納税額または、公共資本/納税額）にのみ依存するものであって、入札方式自体には依存しないからである。すなわち、契約金額がp_tで予定価格が$\bar{p}_t$となる工事契約 t から得られる納税者便益は

$$\text{納税者便益}_{\mathrm{t}} = 160 \div p_t \times \bar{p}_t$$

として計算できる。

表 2 は、総合評価方式とシミュレートして得られた価格のみ入札との間の納税者の便益の比較である。1 行目の太字で記述された数値は観測された総合評価落札方式入札のもので

ある。2 行目以降は推計結果を元にシミュレートした価格のみの入札の数値である。先述のとおり、費用関数の特定は本研究が独断で行っているので、その設定ミスの可能性は常にチェックしなければならない。そこでβは 3 種類、すなわち費用関数を 2 次、3 次、4 次関数としてそれぞれ推計している。異なるβで結果に大きな差異は見られないことから、費用関数の特定に大きな問題はないようである。

表中の「変化率」は、納税者便益の「平均」の変化率を

$$\text{変化率} = \frac{\text{価格入札での納税者便益の平均} - \text{総合評価での納税者便益の平均}}{\text{総合評価での納税者便益の平均}}$$

として推定した値である。カッコ内の数値はブートストラップして得た推定値の標準偏差を表す。

マイナス 1%からマイナス 9%となっていること、また標準偏差を考慮するとそれぞれの推定値は統計上有意であると考えられる。したがって、現状の総合評価落札方式入札は、価格入札にくらべてより品質の高い工事を相対的に価格で調達できていることから納税者の便益を 1 から 9%増加させていると結論付けられる。

興味深いことに、納税者の価格入札で発注された工事から得られる便益はすべてのパターンのシミュレーションで総合評価方式のそれとくらべて低く、とくに要求水準がとても低い（$\bar{q} = 130$）とき、または高いとき$\bar{q} = 170$により低くなっている。逆に言えば、要求水準が$\bar{q} = 150$程度にしておくと納税者便益の総合評価落札方式との違いは 1%程度にすぎなくなる。先にも述べたように、本分析ではすべての入札参加者は観察されたままを所与としている。総合評価落札方式入札では、建設業者は入札に参加するために技術提案をする必要があり、入札参加にかかる費用は総合評価方式のほうが価格のみ入札にくらべて高いと思われる。そのことから、価格入札のほうがより多くの企業が入札に参加し、その競争によって価格は低下していくと思われる。本分析結果はその点を無視していることから、総合評価落札方式入札の納税者のメリットは、より小さいか、場合によっては逆転する可能性もあることに注意が必要である。

表 3 は価格入札導入時の落札者の利潤に関する分析結果である。現状の総合評価落札方式では落札者の利益率は約 5.9%となっている。シミュレーションの結果、価格入札ではこの利益率が要求水準が高くなるほど上昇する傾向があり、最小は要求水準レベル 130 の時に約 4%程度、最大で約 8.2%（$\beta = 4$ の時）となっている。現状の総合評価落札方式からの利益率の変化率は低いときでマイナス 30%、高いところではプラスの 30%程度となっている。要求水準が 150 から 160 の間ではおおむね変化率が小さい。したがって、発注部局がそのような水準の性能を設計図書で表現できれば、価格入札でも落札者の利益率を大きく減少することはなく、入札参加者の減少を招くこともないであろう。

入札方式	β	性能値	標本数	平均	標準偏差	最小値	最大値	変化率	
総合評価	**-**	**-**	**5,142**	**0.059**	**0.075**	**0.000**	**0.762**	**-**	
		130	5,142	0.040	0.067	0.000	0.674	-30.82%	(1.50%)
		140	5,142	0.046	0.071	0.000	0.716	-21.37%	(1.46%)
	2	150	5,142	0.053	0.076	0.000	0.745	-10.05%	(1.39%)
		160	5,142	0.060	0.083	0.000	0.774	2.58%	(1.38%)
		170	5,142	0.068	0.090	0.000	0.852	15.83%	(1.48%)
		130	5,142	0.041	0.067	0.000	0.685	-29.09%	(1.37%)
		140	5,142	0.046	0.072	0.000	0.722	-20.69%	(1.45%)
価格入札	3	150	5,142	0.053	0.079	0.000	0.816	-8.82%	(1.55%)
		160	5,142	0.063	0.089	0.000	1.032	6.92%	(1.71%)
		170	5,142	0.074	0.103	0.000	1.275	26.57%	(2.01%)
		130	5,142	0.041	0.067	0.000	0.684	-29.25%	(1.37%)
		140	5,142	0.046	0.073	0.000	0.724	-21.15%	(1.54%)
	4	150	5,142	0.054	0.082	0.000	1.027	-8.13%	(1.81%)
		160	5,142	0.065	0.098	0.000	1.413	11.52%	(2.23%)
		170	5,142	0.082	0.122	0.000	1.893	39.60%	(2.89%)

1 行目の太字で記述された数値は観測された総合評価落札方式入札のものである。2 行目以降は推計結果を元にシミュレートした価格のみの入札の数値。費用関数の特定ミスの可能性をチェックするために、βは 3 種類、すなわち費用関数を 2 次、3 次、4 次関数としてそれぞれ推計している。価格入札のみの入札で発注者が設定する性能値は 130 から 170 までの 5 段階としている。カッコ内の数値はブートスラップして得た変化率の推定値の標準偏差を表す。

表 3　総合評価入札と価格のみ入札との落札者利益の比較

B.加算方式評価式と除算方式評価式

データ期間に行われた総合評価落札入札はその評価式がすべて除算式であった。除算式の評価式は、価格性能比がより優れた入札者により高い総合評価値を与えるという意味で、納税者の利益にも合致している評価式と思われるが、他方で、除算式ではない評価式を用いることでよい結果が出る可能性は議論がされていた。そこで本研究では、除算式とならんで一般的に使われている評価式である加算式の評価式で総合評価落札方式が行われる状況をシミュレートし、その結果と現状の除算式と比較してみることとする。

加算方式の評価式として

$$S(p, \mathbf{q}) = p - \phi q$$

を考えてみたい。ここでϕはウェイトでpに関するウェイトは 1 に基準化されている。また、

入札方式	β	標本数	平均	標準偏差	最小値	最大値	変化率	
除算方式	**-**	**5,142**	**177.23**	**15.088**	**109.39**	**310.12**	**-**	
	2	5,142	178.46	20.041	103.25	547.73	0.69%	(0.11%)
加算方式	3	5,142	178.46	20.094	102.79	549.31	0.69%	(0.11%)
	4	5,142	178.47	20.132	102.67	550.68	0.70%	(0.11%)

1 行目の太字で記述された数値は観測された除算方式の評価式をつかった入札のものである。2 行目以降は推計結果を元にシミュレートした加算方式の評価式を使った総合評価方式入札の数値である。費用関数の特定ミスの可能性をチェックするために、βは 3 種類、すなわち費用関数を 2 次、3 次、4 次関数としてそれぞれ推計している。カッコ内の数値はブートスラップして得た変化率の推定値の標準偏差を表す。

表 4　除算方式と加算方式の違いによる納税者便益の比較

当該評価式は落札者が最も総合評価値が低い者ということになっているが、一般性は失わない。ウェイトを適切にとったうえで（後述)、この加算方式の評価関数と現状の除算方式の評価関数で納税者の便益がどれほど変化するのかを分析してみよう。

Hanazono et al. (2015)では、除算方式の評価式では、入札企業はやや過剰に技術提案をすることが理論上示されている。したがって、加算方式ではそうした過剰な技術提案が生じないよう ϕを設定することとする。具体的には、たとえば$\beta = 2$ では$\phi = 0058$としている。

表 4 は総合評価落札方式入札において、除算方式と加算方式の異なる評価式を用いた時の工事契約から得られる納税者便益の比較である。括弧内数値はブートスラップして得た変化率の推定値の標準偏差を表す。加算方式では納税者便益が 0.7%程度上昇していることが推定されており、その推定値の標準偏差との比較において、この値は優位であると考えられる。このことから、ウェイト付けを適切に行った加算方式は、除算方式にくらべて公共工事から得られる納税者の便益を高めることがわかる。

加算方式による納税者便益の増加は何を原資としているのであろうか？表 5 は除算方式と加算方式の異なる評価式を用いた時の落札者利益率の比較である。利益率が約 4%減少していることからもわかるとおり、評価式を除算方式から加算方式に変更することは、場合に

入札方式	β	標本数	平均	標準偏差	最小値	最大値	変化率	
除算方式	**-**	**5,142**	**0.0585**	**0.0752**	**0.0000**	**0.7616**	**-**	
	2	5,142	0.0562	0.0752	0.0000	0.8157	-4.03%	(1.05%)
加算方式	3	5,142	0.0562	0.0753	0.0000	0.8160	-3.89%	(1.05%)
	4	5,142	0.0563	0.0754	0.0000	0.8161	-3.81%	(1.05%)

1 行目の太字で記述された数値は観測された除算方式の評価式をつかった入札のものである。2 行目以降は推計結果を元にシミュレートした加算方式の評価式を使った総合評価方式入札の数値である。費用関数の特定ミスの可能性をチェックするために、βは 3 種類、すなわち費用関数を 2 次、3 次、4 次関数としてそれぞれ推計している。カッコ内の数値はブートスラップして得た変化率の推定値の標準偏差を表す。

表 5　除算方式と加算方式の違いによる落札企業の利益率の比較

よっては受注企業から納税者へ利益の移転が起こる可能性がある。このような受注企業の利益率の低落は入札参加意欲を減退させるので、加算方式では競争が弱まる結果、納税者便益の一部は受注者に再移転されることとなろう。評価式の変更が最終的に納税者の便益が増加するかを分析するには、本研究のように入札参加企業は所与として分析するのではなく、参加行動もモデル化した分析が必要となろう。

まとめ

以上，総合評価落札方式入札の入札結果データより入札参加者の積算コストを推計する手法とその応用について，研究成果を報告したものである。国が工事で始めて総合評価落札方式入札を導入してから 15 年あまりが経過したが、その政策効果を総括的に分析した研究はあまり多くない。本研究が、その政策効果の測定とともに、分析手法としても公共調達制度にかかる政策効果の分析に貢献することを望む。

入札データを用いた構造推定手法については今後も研究のさらなる発展が予想される分野である。また，構造推定のベースとなる経済理論についても，ゲーム論や，同額モデルを取り入れたさまざまなモデルが研究されてきている。今回の研究成果をもとに，今後とも，現実的な政策への応用を見据えた研究をウォッチしつつ，経済学研究の発展に寄与する研究をしていくとともに，そのフィードバックとしての政策分析への応用を検討することを目指したい。

参考文献

Asker, John and Estelle Cantillon, “Properties of Scoring Auctions,” RAND Journal of Economics, 2008, 39 (1), 69–85. 51

Che, Yeon-Koo, “Design Competition through Multidimensional Auctions,” RAND Journal of Economics, Winter 1993, 24 (4), 668–680.

Guerre, Emmanuel, Isabelle Perrigne, and Quang Vuong, “Optimal Nonparametric Estimation of First-Price Auctions,” Econometrica, 2000, 68 (3), 525–574.

Hanazono, Makoto, Jun Nakabayashi, and Masanori Tsuruoka, “Procurement Auctions with General Price-Quality Evaluation,” mimeo, June 2015.

Nakabayashi, Jun and Yohsuhe Hirose, “Structural Estimation of the Scoring Auction Model”,mimeo, 2015

Paarsch, Harry J., “Deciding between the common and private value paradigms in empirical models of auctions,” Journal of Econometrics, 1992, 51 (1-2), 191–215.

様式－３－３

AN EMPIRICAL STUDY OF THE SCORING AUCTION IN JAPAN

Nakabayashi, J. [1]
[1]Department of Economics, Tohoku University

We establish a structural estimation method of the scoring auction model. We propose a semiparametric procedure for identifying the joint distribution of bidders' multidimensional private signals from scoring auction data. Our approach allows for a broad class of scoring rules including the quasilinear rule. Then, we conduct an empirical experiment based on the estimation method. The data used in the empirical analysis is on scoring auctions of the Ministry of Land, Infrastructure, and Transportation in Japan. A series of counterfactual analyses suggests that taxpayers improve welfare by approximately 10 percent at most by the use of scoring auctions.
.
.
.

***KEYWORDS*:** *scoring auctions, structural estimation, procurement*

様式－３－２

研　究　成　果　の　要　約

助成番号	助　成　研　究　名	研　究　者・所　属
第2013-08号	入札結果データを用いた総合評価方式入札の分析(評価式デザインや入札参加資格のバリューフォーマネー及び入札参加者の利潤に与える影響の推定)	中林　純・東北大学経済学部

本研究課題では，入札結果データを用いた総合評価方式入札の分析を行う。入札データより入札者のコスト構造の推計を行い、推計結果を応用して評価式や入札方式がバリューフォーマネー及び入札参加者の利潤に与える影響をシミュレート分析する。

一口に「コスト」と言っても、それは入札金額を決定する際の積算費用や工事完了後に決算される費用など、さまざまな種類の計算の仕方があり、それぞれの「コスト」がそれぞれの角度から建設業者の経営判断等にインパクトを持つと思われる。本研究ではそうしたさまざまな「コスト」の中で、入札金額を決定する際に建設業者が積算する費用を「コスト」として論を進める。

近年、国の入札を中心に、価格のみならず価格以外の要素も入札させ、価格とそれいがいの要素を総合的に勘案して納税者にとってもっとも有利な者を落札者とする総合評価方式の採用が進んでいる。総合評価落札方式入札では、価格のみの入札のように各入札者の入札はスカラーではなく、ベクトルとなる。以下では，そうしたベクトル値の入札データを用いて、入札者のコスト構造（の分布）を推計する手法、いわゆる構造推定の手法について解説する。また，サンプルとして国土交通省の2010年から2014年までの公共工事の入札データを用いて実際にコスト構造を推計し、推計結果にもとづき各種のシミュレーションを行う。

総合評価落札方式は納税者にどのようなメリットを与えているのか？納税者は入札方式の変更そのものからは直接便益を受けることはない。代わりに、異なる入札制度で発注された公共工事が、より経済的な価格で得られたり、より性能の高い公共工事が価格上昇なしに得られたりすることで、より多くの便益を得ることになる。以上を念頭におきつつ、観察された入札参加企業の費用構造を元に価格のみの入札が行われた状況をシミュレーションした。その結果、総合評価落札方式入札は最大で約10%程度、納税者の便益を増加させている可能性が明らかに他方で、価格方式入札でも、受注者に要求する工事の性能水準を発注部局が適切に定めれば、納税者の便益は総合評価方式に肉薄する可能性（シミュレーションの結果、価格のみ入札での便益減は1%弱）であることも明らかとなった。技術提案を伴うなど、総合評価落札方式入札では価格のみ入札にくらべて入札参加企業の負担は大きい。総合評価落札方式入札に比べて相対的に参加費用の低い価格入札では、より多くの入札参加が見込まれるため、より高い競争性が期待される。本研究ではそうした潜在的な入札者の参加行動はモデル化した分析対象からはずしているため詳細は不明ながら、場合によっては競争性の向上から価格入札のほうが総合評価落札方式入札よりも納税者の便益が高い可能性も残されることは注意が必要であることもわかった。

関連文献

総合評価落札方式入札の理論研究はChe(1993)を先駆とし，その後Asker and Cantillon (2008)が入札者の効率性パラメターを多次元とする方向で拡張し、多様な入札者をモデルに取り入れることが可能となった。またHanazono et al.(2015)では、従前の研究に用いられていた評価式の制約を取り払い、たとえば実務的にも多用される除算方式の評価関数も分析可能となる枠組みへとモデルが拡張された。

入札データを構造推定（モデルを前提として入札者の効率性パラメターを推計）する手法については、Paarsch(1992)を先駆として，その後Guerre, Perrignue, and Vuong (2000) がノンパラメトリックな推定方法を提唱し、普及が進んだ。総合評価落札方式入札のデータのように入札が多次元（ベクトル）となる入札の構造推定はあまり研究がいないが、本研究はその領域で学術的貢献が見込まれる。

参考文献（一部のみ）

Nakabayashi, Jun and Yohsuhe Hirose, “Structural Estimation of the Scoring Auction Model”,mimeo, 2015