建設市場における総合評価落札方式の効率性に関する研究

平成22年2月23日

京都大学工学部地球工学科土木工学コース
福井　浩

要　旨

本研究では総合評価方式による一般競争入札における企業の入札行動を多次元オークションモデルを用いて定式化し，競争入札を通じてプロジェクトの品質水準や落札価格が決定されるメカニズムを分析し，消費者余剰を用いて品質水準を評価したスコアルールを採用することにより社会的余剰の最大化を達成できることを示す. さらに，総合評価型競争入札において，予定価格を設定することは競争入札の効率性を阻害する要因の一部となり得ることを示す. 一方で，総合評価スコアの最低水準を意味する予定スコアを導入することにより，総合評価型競争入札均衡において政府が獲得するValue For Moneyを改善できることを理論的に明らかにする. さらに，最低価格型競争入札をとりあげ，予定価格の事前公示がもたらす経済効果について分析する.

目次

第1章　はじめに

近年，建設プロジェクトの入札方式の改革が進展している．このような競争入札の改革の流れは，公共調達における透明性の向上と企業競争による効率性の増加を目的とするものである．このような方針のもとに，一般競争入札による公共調達の範囲が拡大されてきた．一方で，国内の建設市場の規模縮小に伴って，低価格入札や入札不調といった問題が顕在化している．このような状況の中で，国や地方公共団体においては，最低価格制度や予定価格の事前公表制度の見直しが検討されているが，競争入札制度改革の効果について，十分な検討がなされているとは言い難い．

競争入札制度の改革に関する議論は，ともすれば談合の抑制や調達費用の削減といった側面に焦点があてられる場合が多く，公共調達における効率性の問題に関しては，あまり議論がなされていないのが実情である．社会資本の公共調達においては，調達価格の低減だけではなく，社会資本の質的水準を維持・向上させることも重要な課題である．さらに，長期的には民間企業の技術開発や技術力の向上を誘発するような公共調達の方法を設計することが必要である．このような状況を背景として，民間企業による技術提案を積極的に評価し，価格と質的水準の双方を同時に考慮し，落札企業を決定する総合評価方式による競争入札 (以下，総合評価型競争入札と呼ぶ) が着目されている．

本研究では総合評価型競争入札における企業の入札行動と，入札参加者の中から落札企業が選ばれるメカニズムを多次元オークション理論 (multidimensional auction theory) を用いてモデル化する．総合評価型競争入札においては，発注者が求める要求事項に対して，入札者が技術提案を行うことが求められる．発注者により技術提案の内容に対して総合評価が行われ，総合評価の結果と入札金額の双方により入札者の入札内容に対して評点 (スコア) が決定される．競争入札では，もっとも高い評点を獲得した入札者が，プロジェクトを落札することになる．このような競争入札過程は，総合評価の結果をスコアとして表現した first score auctions としてモデル化することが可能である．

本研究では，総合評価型競争入札によりプロジェクトの品質水準や価格が決定さ

れるメカニズムを分析し，競争入札均衡において社会的余剰が最大化されることを明らかにする．さらに，総合評価型競争入札における予定価格の設定は，競争入札の効率性を阻害する可能性がある．一方で，スコアの最低水準 (以下，予定スコアと呼ぶ) を設定することにより，競争入札均衡の社会的最適性を維持しつつ，政府が獲得するValue For Money (以下，VFMと呼ぶ) が増加することを示す．以下，2. では，本研究の基本的な考え方を明らかにし，3. で総合評価型競争入札モデルを定式化する．4. で予定価格を用いた総合評価型競争入札の問題点を明らかにし，5.で，予定スコアの導入効果について分析する．

第2章　本研究の基本的考え方

2.1　従来の研究概要

公共調達における競争入札に関しては，ゲーム理論の分野で膨大な研究の蓄積がある．特に，Vickrey[1)]の先駆的研究を嚆矢とし，情報の経済学の発展と歩調を合わせて研究が蓄積されてきたという経緯がある．中でも，Laffont and Tiroleは，競争的環境における直接的な選好表明メカニズムとしてオークション理論を発展させた[1)−3)]．伝統的なオークション理論は，入札価格をめぐって入札参加者の間で，競争が展開されることを想定して．オークションの実施方法や，情報の開示方法の多様性と対応して，さまざまなタイプのオークション理論が提案されている[4),5)]．これらのオークション理論に関しては，いくつかの成書[6)−8)]に体系的に整理されている．

本研究でとりあげる総合評価型競争入札では，品質水準に関する技術提案と入札価格という複数の評価指標を用いて入札参加者が競争入札を実施するという特徴がある．このような多次元オークション理論に関しても研究の蓄積がある．中でも，Hansenは[9)]は，入札価格だけでなく2種類の評価指標を用いた2次元オークション理論を提案した．同様に，単価契約を対象とした競争入札に関しても，いくつか競争入札モデル[10),11)]が提案されている．その後，2個以上の評価基準を用いた多次元オークションモデルが提案されている．このような多次元オークション理論は，Che[12)]，及びBranco[13)]が先鞭をつけた．Che[12)]は企業間で入札者の生産費用が独立である場合をとりあげ，価格と品質を同時に評価し落札者を決定するようなscore auctionモデルを提案した．企業が提案する品質に対して，発注者が現実の選好よりも過小評価するようなスコアルールを提案することにより，発注者の期待効用を最大化できることを示している．さらに，Branco[13)]は，Cheのモデルを企業の生産費用間に相関がある場合に拡張し，政府が競争入札後に落札企業と交渉を行うような2段階メカニズムを提案し，発注者の期待効用の最大化が可能であることを明らかにした．しかし，これらの研究では，入札参加者の私的情報を一元的に表現しているため，私的情報が複数次元を有するような多次元オークション理論にはなっていない．複数次元を有する私的情報を1次元に集約するためには，1) 総合評価ルールが価格

に関して準線形であること，2) 入札参加者の間で私的情報独立であるという仮定が必要である．Bushnell and Oren [14), 15)]は，複数次元を有する私的情報を用いた多次元オークション理論を展開している．そこでは，多次元情報を1次元に集約するための条件について明示的に考察していないが，提案されたモデルは1次元集約化のための条件を満足している．その後，Che and Gale 等 [16)−20)]により，疑似タイプ (pseudo type) という概念を用いて，多次元オークション理論を体系的に展開することが可能となった．さらに，多次元オークションの社会的効率性に関しても議論されている [21), 22)]．本研究では，社会資本の公共調達を目的とした総合評価型競争入札のメカニズムを，疑似タイプを導入した多次元オークションモデルを用いて定式化することとする．2. (2) で言及するように，わが国においても総合評価型競争入札が実施されるようになってきた．しかしながら，著者の知る限り，総合評価型競争入札のメカニズムに関して，オークション理論を用いて理論的に分析した研究事例は見当たらない．本研究では，消費者余剰の概念を用いて品質水準の総合評価を行えば，総合評価型競争入札により社会的余剰の最大化を達成できることを示す. さらに，本研究では，わが国の公共調達における一般競争入札において幅広く導入されている予定価格制度に着目し，総合評価型競争入札に予定価格を導入することにより生起する問題点について指摘する．その上で，予定価格のかわりに入札者が入札するスコアの最低水準 (予定スコア) に関する制約を導入することにより，総合評価型競争入札の効率性を維持しつつ，政府が獲得するVFMを増加させることが可能であることを示す.

2.2 総合評価ルールと競争入札

先進諸国における公共調達において，調達価格だけでなく調達品質も同時に考慮にいれた総合評価方式の競争入札が幅広く採用されるようになってきた．たとえば，アメリカ合衆国では，高速道路工事の競争入札において，落札価格に対して，完成時期までの工期に対して道路利用者のユーザーコストで換算した金額を加算した評価値を用いるという「A+B入札」が実施されている [23), 24)].

わが国における公共調達においては，会計法29条の6第1項の「予定価格の制限の範囲内で最低の価格をもって申し込みをした者を契約の相手方とする」という規定により，原則として最低価格落札方式を採用してきた．しかし，同条第2項では，例

外措置として,「価格及びその他の条件が国にとって最も有利なものをもって申し込みをした者を契約の相手方とすることができる」と規定している[26]. 平成12年3月に財務省と公共工事関係省庁との包括協議が整い, 一定の要件を満たした工事に関しては, 財務省との個別協定が不要となった. 地方公共団体でも, 平成11年2月に地方自治行政令第167条の10の2の改正が行われ, 総合評価方式が実施されるようになった. 特に, 平成17年3月に公共工事の品質確保の促進に関する法律(公共工事品確法)が成立したことを契機として, 価格と品質等を総合的に評価する競争入札制度が全面的に導入されることになった[27),28)].

公共工事品確法によれば,「公共工事の品質は, 建設工事が, 目的物が使用されてはじめてその品質を確認できること, その品質が受注者の技術的能力に負うところが大きいこと, 個別の工事により条件が異なること等の特性を有することに鑑み, 経済性に配慮しつつ価格以外の多様な要素をも考慮し, 価格及び品質が総合的に優れた内容の契約がなされることにより, 確保されなければならない」とされる. さらに,「公共工事の品質確保に当たっては民間事業者の能力が適切に評価され, 並びに入札及び契約に適切に反映されること, 民間事業者の積極的な技術提案(競争に付された公共工事に関する技術又は工夫についての提案をいう)及び創意工夫が活用されること等により民間事業者の能力が活用されるように配慮されなければならない」とされる. 以上のような公共工事品確法の制定を背景に, 入札価格だけでなく, 入札参加企業の特性や企業による技術提案の内容も同時に評価の対象として加味した評価値に基づいて落札業者を決定するという総合評価型競争入札が実施されている.

総合評価型競争入札においては, 入札参加企業が提出した入札価格, 技術提案の内容, 企業の生産能力等を総合的に評価した評価点(スコア)を算出し, もっとも望ましいスコアを入札した企業がプロジェクトを落札することになる. 総合評価ルール(以下, スコアルールと呼ぶ)は入札に先立って公表される. スコアルールとしては多様な方式が可能である. 現行の総合評価型競争入札においては, 入札参加企業による技術提案の内容を複数の評価基準ごとに技術点として得点化するとともに, 各評価基準に割り当てられた重み係数を用いて品質水準の総合評価値を算定する. さらに, 品質水準の総合評価値と入札費用を勘案して, 落札企業を選定するための最終的なスコアが算定される. その際, アメリカ合衆国における「A+B入札」やEUにおける経済価値落札方式等では, スコアが入札価格と品質水準の金銭的評

価値の総和として，

$$スコア＝品質水準の評価値－入札価格 \tag{2.1}$$

と定義される．一方，わが国においては，国土交通省では，品質水準を基礎点と加算点の和により定義し，総合評価の結果を「評点・価格比」を用いて，スコアを

$$スコア＝\frac{基礎点＋加算点}{入札価格} \tag{2.2}$$

と定義している．この方法によれば，加算点を構成する評価基準間の相対評価を行えば，基礎点と加算点の値の大きさ自体は，スコア値による序列結果に影響を及ぼさない．このため，基礎点，加算点が品質水準の金銭的評価額を正確に表現する必要はない．

2. (1) で議論したように，多次元評価の結果に基づいて競争入札メカニズムにより社会的余剰を最大にするような品質水準を実現するためには，スコアが入札価格に関して準線形となるスコアルールにより表現されなければならない．式(2.1)に示すような線形関数を用いたスコアルールは，理論的整合性を満たしつつ，個別評価結果を1次元的に集約することができるが，品質水準の金銭的評価が正確に実施できることが前提となる．品質水準の金銭的評価に誤りがある場合，線形評価ルールはシステム的なバイアスを発生させる危険性がある．一方，式(2.2)に示すように，スコアを品質水準の評価値と入札価格の比を用いて定義した場合，評価項目間の相対評価に重点が置かれ，評価値の金銭的評価が厳密に求められるわけではないが，競争入札により社会的余剰を最大にするような品質水準を実現できるかは自明ではない．このようにスコアルール(2.1),(2.2)には，それぞれ利害得失があるが，本研究ではスコアルールの理論的整合性に着目し，線形スコアルール(2.1)に焦点をあてて議論する．

第3章　基本モデル

3.1　モデル化の前提条件

政府がある公共工事を建設業者に発注するために，総合評価型競争入札を行う状況を考える．総合評価方式として，技術提案を伴うような標準型総合評価方式，あるいは高度技術提案型総合評価方式を想定する．潜在的にn ($n \geq 2$)社の企業が競争入札に参加する意思を持っていると考える．政府と企業はともにリスク中立的である．工事の品質は，ηとq (≥ 0)という2つの価値パラメータで表現される．ただし，ηは当該工事の最低品質水準を表し，qは企業の持つ専門性，技術力を生かしてηに上乗せされる品質を表す. ηは外生パラメータであり，契約する企業に関わらず，必ず確保されなければならない．一方，品質水準qは，企業が提案する品質水準であり，内生的に決定される変数である．総合評価型競争入札では品質パラメータqに関して金銭的評価がなされる．すなわち，技術提案による品質水準qによる評価と入札価格p (≥ 0)による評価を組み合わせた総合点(以下，スコアと呼ぶ)により落札企業を決定する．いま，$(p, q) \in \Re_+^2$の組み合わせに対して，スコアルール$S : (p, q) \to \Re$を

$$S(p, q) = \phi(q) - p \tag{3.1}$$

と定義する．ただし，ϕは品質水準に対する金銭的評価関数であり，

$$\begin{cases} \phi' > 0 \quad \phi'' < 0 \\ \phi'(0) = \infty \quad \lim_{q \to \infty} \phi'(q) = 0 \quad \phi(0) = 0 \end{cases} \tag{3.2}$$

を満足すると仮定する．記号$'$は1階の微分を表す. 品質水準の金銭的評価関数は政府により設計され，入札に先立って入札企業に提示される．スコアルール(3.1)によりスコアが決定され，最も高いスコアを得た企業が落札する．すなわち，オークション理論における first score auction [12] により落札企業が決定される．

落札企業の入札戦略を(p, q)とした場合，政府が獲得する効用を

$$U(p, q, \eta) = V(q) + W(\eta) - p \tag{3.3}$$

と定義する．ここで，$V(q)$は政府の追加的品質水準qに対する金銭的評価額を，$W(\eta)$は最低品質水準ηのプロジェクト価値を表す. これらの金銭的評価額は，すべて家計の消費者余剰を用いて評価されていると考える．ただし，

$$
\begin{cases} V' > 0 \quad V'' < 0 \\ V'(0) = \infty \quad \lim_{q \to \infty} V'(q) = 0 \quad V(0) = 0 \end{cases} \tag{3.4}
$$

が成立する．式(3.3)において，政府は価格pを支払い金銭的プロジェクト価値$V(q) + W(\eta)$を獲得する．この意味で，効用$U(p,q,\eta)$は，政府のVFMを表現している．スコアルールで用いる品質水準の金銭的評価関数$\phi(q)$は，必ずしも政府が評価する金銭的評価額$V(q)$に一致する必要はない．しかし，金銭的評価関数として，追加的品質水準に対する消費者余剰額$V(q)$を用いたスコアルール

$$
S(p,q) = V(q) - p \tag{3.5}
$$

を用いることにより，総合評価型競争入札により，社会的余剰の最大化を達成することができる．

一方，落札企業$i \in \{1, \cdots, n\}$の利潤は

$$
\pi(p^i, q^i, \eta, \theta_1^i, \theta_2^i) = p^i - \theta_1^i q^i - \theta_2^i \eta \tag{3.6}
$$

と表わされる．ただし，θ_1^i, θ_2^iはそれぞれ，企業iのq, ηに対する限界費用である．限界費用パラメータ(θ_1^i, θ_2^i)は，タイプ空間$\Theta \equiv [\underline{\theta}_1, \overline{\theta}_1] \times [\underline{\theta}_2, \overline{\theta}_2]$上で，各企業間で独立に，かつ同一の同時確率密度関数$f(\theta_1^i, \theta_2^i)$に従って分布する．ただし，$\underline{\theta}_1 > 0, \underline{\theta}_2 > 0$さらに，$f(\theta_1^i, \theta_2^i)$はタイプ空間$\Theta$上で常に正で，連続微分可能と仮定する．また，分布関数を$F(\theta_1^i, \theta_2^i)$と表す. なお，本研究では，入札費用は0であると仮定し，落札に失敗した企業の利潤は0であると考える．現実には，入札費用が存在し，企業は落札確率を考慮した期待利潤と入札費用を比較し，競争入札に参加するか否かを決定する．しかし，本研究では総合評価型競争入札における基本的メカニズムに焦点を絞るために，入札参加企業数を与件として考える．入札費用を考慮する場合，入札参加企業数が内生的に決定されるような競争入札モデルを定式化することが必要となる．

プロジェクト価値$V(q^i) + W(\eta)$が，家計の消費者余剰を表していると考える．この時，社会的余剰は

$$
SW(q^i, \theta_1^i, \theta_2^i) \;=\; U(p^i, q^i, \eta) + \pi(p^i, q^i, \eta, \theta_1^i, \theta_2^i)
$$

$$= \quad V(q^i) + W(\eta) - \theta_1^i q^i - \theta_2^i \eta \tag{3.7}$$

と定義できる．企業は対称的であり，入札直前に(θ_1^i, θ_2^i)が決定される．限界費用パラメータは，企業の私的情報である. 入札ゲームでは，各企業の限界費用パラメータを除き，すべてのパラメータが共有知識となっている.

3.2 企業の入札行動

最低品質水準η, スコアルール$S(p,q) = \phi(q) - p$が与えられたとき，タイプ(θ_1, θ_2)の企業は，期待利潤を最大にするように入札戦略(p^*, q^*)を決定する．本研究では記述の簡便化のために，品質水準を1変数qのみを用いて表現するが，多次元ベクトルを用いて品質水準を表すことも可能である．この場合，パラメータθ_1が，パラメータベクトルとして表現されることになる．対称的企業を考えているため，個別企業を表す添え字iを省略する．企業の期待利潤最大化行動は，

$$\max_{p,q} \ (p - \theta_1 q - \theta_2 \eta) P\{win|S = b\} \tag{3.8}$$

subject to

$$\phi(q) - p = b \tag{3.9}$$

$$q \geq 0 \tag{3.10}$$

と定式化できる．ただし，bは企業が獲得するスコアを表す. また，$P\{win|S = b\}$は，スコアbを提示した企業が落札に成功する確率 (以下，落札確率と呼ぶ) を表す. 対称的企業n社が，総合評価型競争入札に参加する．競争入札において，もっとも高いスコアを入札したものが落札するという first score auction 方式で実施される場合，落札確率$P\{win|S = b\}$は

$$P\{win|S = b\} = \mathrm{prob}\{S_j < b, \ (j \neq i)\} \tag{3.11}$$

と定義される[6)]. 落札確率$P\{win|S = b\}$に関しては，のちに3. (3) で具体的に定式化する．ここで，bを独立変数とみなし，$p = \phi(q) - b$を期待利潤 (3.8) に代入し，企業の期待利潤最大化行動を

$$\max_{q,b} \ \{\phi(q) - \theta_1 q - \theta_2 \eta - b\} P\{win|S = b\} \tag{3.12}$$

subject to

$$q \geq 0 \tag{3.13}$$

と書き換える．ここで，qの選択はbと独立になっていることに注意する．したがって，θ_1を与件とした問題(3.12)の最適解$q^*(\theta_1)$はbによらず決定され，

$$q^*(\theta_1) = \arg\max\{\phi(q) - \theta_1 q\} = \phi'^{-1}(\theta_1) \tag{3.14}$$

と与えられる．仮定より，$\phi' > 0, \phi'' < 0$が成立するため，$q^*(\theta_1) \in [\underline{q}, \overline{q}]$は$\theta_1$について単調減少であり，$\underline{q} = \phi'^{-1}(\overline{\theta}_1), \overline{q} = \phi'^{-1}(\underline{\theta}_1)$である．また，スコアルールとして，$S(p,q) = V(q) - p$を設定した場合(すなわち，$\phi(q) = V(q)$が成立する)，各企業はそれぞれの技術の下で社会的余剰$SW(q, \theta_1, \theta_2)$を最大にするように最適品質水準$q$を決定する．さらに，競争入札により，入札参加企業の中で社会的余剰を最大にしうるような企業が選択されることになる．

企業のタイプは2つの限界費用パラメータ(θ_1, θ_2)で表現される．ここでは，企業が達成可能な最大スコアを用いて企業のタイプを1次元空間上で表現する．1次元化された企業タイプを疑似タイプ[20]と呼び，以下のように定義する．

$$\begin{aligned} v &= k(\theta_1, \theta_2) = \max_q \ \{\phi(q) - \theta_1 q - \theta_2 \eta\} \\ &= \phi(q^*) - \theta_1 q^* - \theta_2 \eta \end{aligned} \tag{3.15}$$

疑似タイプvは，タイプ(θ_1, θ_2)の企業が生産できる最大のスコアである．ただし，スコアルールが入札価格，品質水準に関して分離型準線形関数で表現されている場合，品質水準qが多変数ベクトルで表現されている場合にも，疑似タイプvを用いて企業のタイプを1次元空間上で集約的に表現することが可能である．

企業が期待利潤を0以上にするためには，入札価格pは$p \geq \theta_1 q^* + \theta_2 \eta$を満足しなければならない．企業がパラメータ$(p, q^*)$を入札した場合，スコア$\phi(q^*) - p$を獲得する．包絡面定理より，

$$\frac{\partial k(\theta_1, \theta_2)}{\partial \theta_1} = -q^* < 0 \tag{3.16}$$

$$\frac{\partial k(\theta_1, \theta_2)}{\partial \theta_2} = -\eta < 0 \tag{3.17}$$

が成立する．したがって，タイプ空間上での疑似タイプvの下限値$\underline{v}$と上限値$\overline{v}$を$\underline{v} = k(\overline{\theta}_1, \overline{\theta}_2), \overline{v} = k(\underline{\theta}_1, \underline{\theta}_2)$と定義する．各企業の疑似タイプ$v \in [\underline{v}, \overline{v}]$は企業のタイプ$(\theta_1, \theta_2)$，スコアルール$S(p,q)$，および最低品質水準$\eta$が決まれば自動的に決定される．つぎに，疑似タイプ$v$の分布関数$L(v)$を

$$L(v) = \iint_{A(v)} f(\theta_1, \theta_2)\, d\theta_1\, d\theta_2 \tag{3.18}$$

と定義する．ただし，

$$A(v) = \{(\theta_1, \theta_2) \in \Theta | k(\theta_1, \theta_2) < v\} \tag{3.19}$$

である．$L(v)$ の確率密度関数を $l(v)$ と表し，単調危険率条件[29)]

$$\frac{d\left\{\frac{1-L(v)}{l(v)}\right\}}{dv} \leq 0, \forall v \in [\underline{v}, \overline{v}] \tag{3.20}$$

が成立すると仮定する．単調危険率条件は，ハザード率 $l(v)/\{1-L(v)\}$ が v に関して単調に増加することを意味しており，指数族の確率分布をはじめとして，多くの確率分布が満足する一般的な性質を表している[29)]．伝統的なオークション理論において，通常用いられる仮定であり，本研究においても採用することとする．

3.3 均衡解

代表的企業 i に着目する．i の疑似タイプを $v_i = v$ とする．疑似タイプ v は企業が生産可能なスコアの最大値であり，当該企業の私的情報である．企業 i は疑似タイプ v を与件として，落札確率を考慮しながら期待利潤を最大にするようにスコア $b \leq v$ を入札する．再び，添え字 i を省略する．企業が落札に成功すれば，疑似タイプ v と入札スコア b の差 $v-b$ を利潤として獲得する．企業の期待利潤最大化問題は，

$$\max_b \ (v-b)P\{win|S=b\} \tag{3.21}$$

と定式化できる．ここで，すべての企業の疑似タイプが私的情報であり，企業は他社 $(j \neq i)$ の疑似タイプが同一の分布関数 $L(v)$ に従って分布していると想定していると考えよう．その上で，すべての企業が代表的企業 i と同様に，非協力的に期待利潤を最大にするように入札戦略を決定するような非協力ゲームを考える．

このような競争入札ゲームにおいて，各企業が疑似タイプ v に関して連続微分可能で厳密な増加関数となる対称ナッシュ均衡戦略 $\beta : v \rightarrow \Re$ に従う状況を考える．この時，企業 i がスコア b を入札し落札に成功する確率は，企業 i 以外のすべての企業 $j \neq i$ の入札したスコアが b 未満となる確率で表される．企業 $j \neq i$ が対称ナッシュ均衡戦略 β を採用することより，スコア b を入札する企業の臨界的疑似タイプは $\beta^{-1}(b)$ と表される．この時，企業 i の落札確率 $P\{win|S=b\}$ は

$$\begin{aligned} P\{win|S=b\} &= \mathrm{prob}\{v_j < \beta^{-1}(b),\ (j \neq i)\} \\ &= \{L(\beta^{-1}(b))\}^{n-1} \end{aligned} \tag{3.22}$$

と表現できる．記述の簡便化のため，$M(s)=\{L(s)\}^{n-1}$ と表そう．問題(3.21)の1階の最適化条件

$$-M(\beta^{-1}(b))+(v-b)\frac{M'(\beta^{-1}(b))}{\beta'(\beta^{-1}(b))}=0 \tag{3.23}$$

より，疑似タイプvを与件とした最適スコア$b^*(v)$は

$$b^*(v)=v-\frac{\int_{\underline{v}}^{v}M(s)ds}{M(v)} \tag{3.24}$$

と表せる(導出過程については**付録**1)を参照)．ここで，$b^*(v)=\phi(q^*)-p^*(v)$, $v=\phi(q^*)-\theta_1 q^*-\theta_2\eta$ であることに着目すれば，最適入札価格$p^*(v)$は，

$$p^*(v)=\theta_1 q^*+\theta_2\eta+\frac{\int_{\underline{v}}^{v}M(s)ds}{M(v)} \tag{3.25}$$

と表される．式(3.25)の右辺第3項は，競争入札におけるライバル企業に対する自社の技術的優位性に関する企業の期待を表しており，競争力プレミアムと呼ぶこととする．技術力が大きい(疑似タイプvが大きい)企業ほど，より大きな競争力プレミアムをプロジェクト費用$\theta_1 q^*+\theta_2\eta$に付加した価格を入札する．以上より，総合評価型競争入札において，疑似タイプvの企業の最適入札戦略$(p^*(v),q^*(v))$は

$$\begin{cases} p^*(v)=\theta_1 q^*+\theta_2\eta+\dfrac{\int_{\underline{v}}^{v}M(s)ds}{M(v)} \\ q^*(v)=\phi'^{-1}(\theta_1) \end{cases} \tag{3.26}$$

と表される．また，疑似タイプvの企業が入札するスコアは式(3.24)で与えられる．式(3.24)より，

$$\frac{db^*(v)}{dv}=1-\frac{d\left\{\dfrac{\int_{\underline{v}}^{v}M(s)ds}{M(v)}\right\}}{dv}>0 \tag{3.27}$$

が成立することより(**付録**2)参照)，疑似タイプvが大きい企業ほど高いスコアを入札する結果となる．

政府がスコアルールを$S(q,p)=V(q)-p$に設定するとき，疑似タイプvの企業が落札したときに生み出す社会的余剰は

$$\begin{aligned} SW(v) &= \max_q\ SW(q,\theta_1,\theta_2)=V(q^*)-\theta_1 q^*-\theta_2\eta+W(\eta) \\ &= v+W(\eta) \end{aligned} \tag{3.28}$$

と表される．式(3.28)より，社会的余剰は疑似タイプvの増加関数として表せる．さらに，式(3.27)を考慮すれば，総合評価型競争入札により，入札参加企業の中で社会的余剰を最大化する企業が落札する結果となる．

3.4 総合評価型競争入札の経済効果

政府が社会的余剰の最大化を目標とし，スコアルールを$S(p,q)=V(q)-p$に設定した場合を考えよう．疑似タイプvの企業が生産する最適品質水準を$q^*(v)$，最適入札価格を$p^*(v)$と表せば，当該企業が落札した場合に政府が獲得するスコアは

$$S(v)=V(q^*(v))-p^*(v) \tag{3.29}$$

と表せる．ただし，$S(v)$は1次元化された疑似タイプの関数として再構成されたスコアを表す．この企業が競争入札において落札する確率は$M(v)$である．入札が実施される直前の時点において政府は当該企業の疑似タイプvを知り得ず，確率分布$L(v)$に従って分布することのみを知っている．着目する企業が落札に成功し，政府が獲得する期待スコア（ESと表す）は

$$ES = \int_{\underline{v}}^{\overline{v}} vM(v)dL(v) - \int_{\underline{v}}^{\overline{v}} \{1-L(v)\}M(v)dv \tag{3.30}$$

と表される(**付録**3)参照)．競争入札に対称的なn社が参加することにより，政府が獲得する期待VFM ($E[U]$と表す) は

$$\begin{aligned} E[U] &= nE_v[S(v)H(v)]+W(\eta) \\ &= n\int_{\underline{v}}^{\overline{v}} vM(v)dL(v)+W(\eta)-n\int_{\underline{v}}^{\overline{v}}\{1-L(v)\}M(v)dv \end{aligned} \tag{3.31}$$

と表される．式(3.31)の第1項，第2項は対象とする建設工事が生みだす期待社会的余剰を表し，第3項は落札企業が獲得する期待プレミアムを表す．第3項は，政府から落札企業への所得移転に他ならない．ここに，以下の**命題**1が成立する．

命題1　スコアルール(3.5)を用いた総合評価型競争入札により，社会的余剰(3.7)を最大にするような品質水準を実現できる．しかし，落札企業は競争力プレミアムを獲得するため，政府から落札企業への所得移転が発生する．

すなわち，総合評価型競争入札により，社会的余剰最大化が達成でき，社会的効率性は確保できるが，政府の財務効率性に関しては課題が残される．競争力プレミアムは，政府から落札企業への所得移転である．所得移転の多寡は，社会的余剰に影響を及ぼさず，政府と落札企業の間における余剰の配分問題にすぎない．このような所得移転を抑制し，政府の期待VFMを改善するためには，入札参加企業の競

争関係に影響を及ぼすことが必要である．本研究では，このような競争関係に影響を及ぼす方策として，入札価格の最高水準(予定価格と呼ぶ)，および，入札スコアの最低水準(予定スコアと呼ぶ)に着目し，これらの制度の導入が競争入札均衡の社会的効率性や財務的効率性に及ぼす影響を分析する．以下，4. では予定価格の効果を分析し，5.において予定スコアの影響について分析する．

3.5 最低価格型競争入札

伝統的な最低価格落札方式を用いた一般競争入札(以下，最低価格型競争入札と呼ぶ)における企業の最適入札行動を，first score auction 理論を用いて分析する．最低価格型競争入札は総合評価型競争入札の特殊ケースであり，総合評価型競争入札において追加的な品質水準に対する金銭的評価が恒等的に0であり，任意の$q \geq 0$に対して$\phi(q)=0$が成立する場合に該当する．スコアルールは$S=-p$で表され，

$$\begin{aligned} \tilde{q}^* &= \arg\max\ -\theta_1 q = 0 && (3.32)\\ \tilde{v} &= k(\theta_2) = -\theta_2\eta && (3.33)\\ \tilde{L}(\tilde{v}) &= \int\int_{\tilde{A}(\tilde{v})} f(\theta_1,\theta_2)d\theta_1 d\theta_2 && (3.34)\\ \tilde{A}(\tilde{v}) &= \{(\theta_1,\theta_2)\in\Theta | k(\theta_2)<\tilde{v}\} \end{aligned}$$

が成立する．記号「$\tilde{}$」は最低価格型競争入札を対象とすることを意味する．最低価格型競争入札における疑似タイプ$\tilde{v}$の企業の最適入札戦略$(\tilde{p}^*(\tilde{v}),\tilde{q}^*(\tilde{v}))$は

$$\begin{cases} \tilde{p}^*(\tilde{v}) = \theta_2\eta + \dfrac{\int_{\underline{v}}^{\tilde{v}} \tilde{M}(s)ds}{\tilde{M}(\tilde{v})} \\ \tilde{q}^*(\tilde{v}) = 0 \end{cases} \tag{3.35}$$

と表される．ただし，$\tilde{M}(s)=\{\tilde{L}(s)\}^{n-1}$である．また，疑似タイプ$\tilde{v}$の企業が落札した場合，政府のVFMは

$$\tilde{U}(\tilde{p}^*(\tilde{v}),\eta) = W(\eta) - \tilde{p}^*(\tilde{v}) \tag{3.36}$$

と表わされる.

第4章　予定価格と総合評価型競争入札

4.1　分析目的

わが国における建設工事に関わる一般競争入札において，許容される入札価格の上限値を予定価格として入札前に公示される事例は少なくない．本節では，総合評価型競争入札において，予定価格の導入が競争入札の効率性に及ぼす影響を分析する．しかしながら，予定価格の導入が総合評価型競争入札の効率性に及ぼす影響は多様であり，すべてのタイプを網羅するような競争入札ゲームを定式化することは不可能である．したがって，以下では予定価格により，競争入札の効率性が阻害される事例を示すにとどめる．限られた事例に基づいた分析ではあるが，予定価格制度がもたらす問題点を指摘するという目的のためには，効率性が阻害される事例を示すことで十分であると考える．その上で，5.では，予定価格という入札価格に関する上限値ではなく，予定スコアというスコアに関する下限値を導入することにより，総合評価型競争入札の財務的効率性を改善することが可能であることを示す.

いま，予定価格 r が事前に公表され，すべての潜在的入札者の共有知識となっていると仮定する．分析の見通しをよくするために，入札参加企業のタイプ空間を $\hat{\Theta} \equiv \{\underline{\theta}_1\} \times [\underline{\theta}_2, \overline{\theta}_2]$ に限定する．すなわち，対象とするタイプ空間においては，入札参加企業の間で品質水準 q に関する限界費用が同一水準 $\underline{\theta}_1$ に固定されている．一方，最低品質水準の公共工事の限界費用には異質性が存在し，限界費用 θ_2 が分布関数 $G(\theta_2)$，確率密度関数 $g(\theta_2)$，$(\theta_2 \in [\underline{\theta}_2, \overline{\theta}_2])$ に従って分布している．以上で設定したタイプ空間は，基本モデルでとりあげたタイプ空間の部分空間である．したがって，部分空間において効率性が阻害される事例は，基本モデルにおいても効率性が阻害される事例となっていることを断わっておく.

4.2 予定価格モデル

まず，タイプ空間$\hat{\Theta}$において予定価格が存在しない場合を想定し，最適入札戦略(p^*, q^*)を求める．3. の議論より，最適品質戦略は$q^* = \phi'^{-1}(\theta_1)$と表される．すべての潜在的入札参加企業の限界費用が対称的であり，同一水準$\underline{\theta}_1$の値をとることより，すべての入札参加企業が同一の品質水準$\overline{q} = \phi'^{-1}(\underline{\theta}_1)$を提案する．さらに，疑似タイプは$v = k(\theta_2) = \phi(\overline{q}) - \underline{\theta}_1\overline{q} - \theta_2\eta$と表される．さらに，$dv = -\eta \, d\theta_2$，$L(v) = 1 - G(k^{-1}(v))$が成立することに留意すれば，式(3.25)を導出した方法と同様の考え方で，最適入札価格を

$$p^*(\theta_2) = \underline{\theta}_1\overline{q} + \theta_2\eta + \eta\frac{\int_{\theta_2}^{\bar{\theta}_2} H(s)ds}{H(\theta_2)} \tag{4.1}$$

と導出できる．ただし，$H(s) = \{1 - G(s)\}^{n-1}$である．

つぎに，予定価格rが存在するときの企業の最適入札(p^{**}, q^{**})を考えよう. 入札価格が予定価格を超過すれば失格となるため，企業の期待利潤最大化問題に新たな制約条件$p \leq r$が加わる．すなわち，企業の期待利潤最大化問題は，

$$\max_{p,q} \ (p - \underline{\theta}_1 q - \theta_2\eta)\tilde{P}\{win|S = b\} \tag{4.2}$$

subject to

$$\phi(q) - p = b \tag{4.3}$$

$$p \leq r \tag{4.4}$$

$$q \geq 0 \tag{4.5}$$

で定式化される．ただし，落札確率$\tilde{P}\{win|S = b\}$は

$$\tilde{P}\{win|S = b\} = \mathrm{prob}\{S_j < b, \ (j \neq i)\} \tag{4.6}$$

と定義される．ここで，企業の入札参加可能性を判断するための臨界的限界費用$\theta_2^e \in (0, \infty)$を

$$\theta_2^e = \frac{r}{\eta} \tag{4.7}$$

と定義する．いま，$\overline{\theta}_2 < \theta_2^e$が成立する時，すべての企業が競争入札に参加する．逆に，$\theta_2^e < \underline{\theta}_2^i$が成立する時，すべての企業は負の利潤しか獲得できず，競争入札は不調となる．$\theta_2^e \in [\underline{\theta}_2, \overline{\theta}_2]$のとき，タイプ$\theta_2^i \in [\underline{\theta}_2, \theta_2^e]$の企業は入札に参加するが，$\theta_2^i \in (\theta_2^e, \overline{\theta}_2]$

の企業は入札に参加できない．ただし，臨界的限界費用を有するタイプ$(\underline{\theta}_1, \theta_2^c)$の企業の入札戦略は$(p^{**}, q^{**}) = (r, 0)$となり，企業の利潤はゼロとなる．以下では，$\overline{\theta}_2 < \theta_2^c$，つまり予定価格が$r > \overline{\theta}_2\eta$を満たす(すべての企業が競争入札に参加する）場合をとりあげる．このとき，問題(4.2)-(4.5)を，

$$\max_{q,b} \ \{\phi(q) - \underline{\theta}_1 q - \theta_2\eta - b\}\tilde{P}\{win|S = b\} \tag{4.8}$$

subject to

$$\phi(q) - b \leq r \tag{4.9}$$

$$q \geq 0 \tag{4.10}$$

と書き換えることができる．しかし，基本モデルとは異なり，変数qとbの間に制約条件(4.9)が存在するため，最適品質水準q^{**}をb^{**}とは独立に決定できない．したがって，まずこの問題の最適解スコアb^{**}が既知であると仮定としたときの条件付き最適品質水準$q^{**}(b^{**})$を求める．すなわち，条件付き最適品質水準は，問題

$$\max_{q} \ \{\phi(q) - \underline{\theta}_1 q\} \tag{4.11}$$

subject to

$$\phi(q) - b^{**} \leq r \tag{4.12}$$

$$q \geq 0 \tag{4.13}$$

の解として与えられる．この問題の1階の最適化条件は，

$$\phi'(q^{**}) - \underline{\theta}_1 - \lambda^{**}\phi'(q^{**}) = 0 \tag{4.14}$$

$$\lambda^{**}\{r + b^{**} - \phi(q^{**})\} = 0 \tag{4.15}$$

$$\lambda^{**} \geq 0 \tag{4.16}$$

と表される．ただし，λ^{**}は制約条件(4.12)のラグランジュ乗数である．これより，条件付き最適品質水準$q^{**}(b^{**})$は

$$q^{**}(b^{**}) = \begin{cases} \phi'^{-1}(\underline{\theta}_1) = \overline{q} & \lambda^{**} = 0 \text{ の時} \\ \\ \phi^{-1}(b^{**} + r) & \lambda^{**} > 0 \text{ の時} \end{cases} \tag{4.17}$$

と与えられる．また，$\lambda^{**} > 0$のとき，

$$\lambda^{**} = 1 - \frac{\underline{\theta}_1}{\phi'(q^{**})} \tag{4.18}$$

が成立する．ここで，式(4.16)と$\phi'(\overline{q}) = \underline{\theta}_1$より，$\lambda^{**} > 0$のとき

$$\phi'(q^{**}) > \phi'(\overline{q}) \tag{4.19}$$

が成立するが，仮定$\phi'' < 0$より，式(4.19)は

$$\overline{q} > q^{**}, \ \ \forall\lambda^{**} > 0 \tag{4.20}$$

と同値である．つまり，予定価格の制約式を受ける企業の最適品質水準は予定価格が存在しない場合と比べて低水準になる．

ここで，制約条件(4.12)が有効でない企業($\lambda^{**} = 0$の場合)の最適スコアb^{**}は

$$b^{**} = \phi(\overline{q}) - p^{**} \geq \phi(\overline{q}) - r \tag{4.21}$$

となる．制約条件(4.12)が有効である企業($\lambda^{**} > 0$の場合)の最適スコアb^{**}は

$$b^{**} = \phi(q^{**}) - r < \phi(\overline{q}) - r \tag{4.22}$$

を満足する．制約条件が有効でない企業は，予定価格が存在しない場合と同じ品質水準$\overline{q}$を入札する．一方，制約条件が有効である企業に関しては，相補性条件より$b^{**} = \phi(q^{**}) - r$が成立するため，最適入札価格は$r$となる．すなわち，最適入札戦略は

$$q^{**} = \begin{cases} \overline{q} & \lambda^{**} = 0 \\ q^{**}(b^{*}) & \lambda^{**} > 0 \end{cases} \tag{4.23}$$

$$p^{**} = \begin{cases} p^{**}(b^{**}) & \lambda^{**} = 0 \\ r & \lambda^{**} > 0 \end{cases} \tag{4.24}$$

と表せる．

4.3 均衡解

以上の議論では，最適スコアb^{**}を与件と考えていた．以下では，具体的に最適スコアb^{**}を導出し，企業の最適入札戦略を求める．そこで，相補性条件において$b^{**} = \phi(\overline{q}) - r$が成立するような限界費用$\theta_2^r$を

$$\theta_2^r = \{\theta_2 \in [\underline{\theta}_2, \overline{\theta}_2] | b^{**} = \phi(\overline{q}) - r\} \tag{4.25}$$

と定義し，臨界的限界費用と呼ぶ．このような臨界的限界費用を有する臨界的企業タイプを$(\underline{\theta}_1, \theta_2^r)$と表す. 臨界的企業の最適入札戦略$(p^{**}, q^{**})$は$(r, \overline{q})$である．ここでは$\underline{\theta}_2 < \theta_2^r < \overline{\theta}_2$を満足する場合を分析する．ひとまず，$b^{**}(\theta_2)$が$\theta_2$について単調減少であることを仮定しよう. のちに，単調減少関数となることを示すこととする．この時，タイプ空間$\hat{\Theta}$は制約式が有効でない企業のタイプ集合$\{\underline{\theta}_1\} \times [\underline{\theta}_2, \theta_2^r) \equiv \hat{\Theta}^1 \subset \hat{\Theta}$と制約式が有効である企業のタイプ集合$\{\underline{\theta}_1\} \times (\theta_2^r, \overline{\theta}_2] \equiv \hat{\Theta}^2 \subset \hat{\Theta}$, 制約式の臨界点$\{\underline{\theta}_1\} \times \{\theta_2^r\} \equiv \hat{\Theta}^3 \subset \hat{\Theta}$という互いに排他的な3つの部分タイプ集合に分割できる．

タイプ集合ごとに均衡解を求めると(導出過程は**付録4)**参照)，総合評価型競争入札において予定価格$r(> \overline{\theta}_2\eta)$が存在するときの企業の最適入札戦略$(p^{**}(\theta_2), q^{**}(\theta_2))$は，

$$
\begin{aligned}
&(\theta_1, \theta_2) \in \{\underline{\theta}_1\} \times [\underline{\theta}_2, \theta_2^r] \text{ のとき} \\
&\begin{cases}
p^{**}(\theta_2) = \underline{\theta}_1 \overline{q} + \theta_2 \eta + \eta \dfrac{\int_{\theta_2}^{\overline{\theta}_2} H(s)ds}{H(\theta_2)} \\
q^{**}(\theta_2) = \overline{q}
\end{cases}
\end{aligned}
\tag{4.26}
$$

$$
\begin{aligned}
&(\theta_1, \theta_2) \in \{\underline{\theta}_1\} \times (\theta_2^r, \overline{\theta}_2] \text{ のとき} \\
&\begin{cases}
p^{**}(\theta_2) = r \\
q^{**}(\theta_2) = \dfrac{1}{\underline{\theta}_1} \left\{ r - \theta_2 \eta - \eta \dfrac{\int_{\theta_2}^{\overline{\theta}_2} H(s)ds}{H(\theta_2)} \right\}
\end{cases}
\end{aligned}
\tag{4.27}
$$

となる．以上の均衡解の下では，企業の最適スコア$b^{**}(\theta_2)$がθ_2に対して単調減少であることが保証される．

4.4 スコアへの影響

予定価格がタイプ$\theta_2 \in (\theta_2^r, \overline{\theta}_2]$の企業が入札するスコアに及ぼす影響について分析する．品質水準に関する限界費用θ_1が一定という条件の下では，スコアSはθ_2に関する減少関数となる．予定価格がない場合のスコアをS, 予定価格$r(> \overline{\theta}_2\eta)$が存在するときのスコアを$S^r$と表す. ここで，$H'(\theta_2) = -(n-1)\{1 - G(\theta_2)\}^{n-2} g(\theta_2) < 0$が成立することに着目する．式(4.18)を考慮すれば，限界費用θ_2に関する限界スコアは，

$$
\begin{aligned}
\frac{dS}{d\theta_2} &= -\frac{dp^{**}}{d\theta_2} \\
&= \eta \frac{\int_{\theta_2}^{\overline{\theta}_2} H(t)dt}{\{H(\theta_2)\}^2} H'(\theta_2) < 0
\end{aligned}
\tag{4.28}
$$

$$
\begin{aligned}
\frac{dS^r}{d\theta_2} &= \frac{d\phi(q^{**})}{d\theta_2} = \phi'(q^{**})\frac{dq^{**}}{d\theta_2} \\
&= \frac{\eta}{1-\lambda^{**}}\frac{\int_{\theta_2}^{\overline{\theta}_2} H(t)dt}{\{H(\theta_2)\}^2}H'(\theta_2) < 0
\end{aligned}
\tag{4.29}
$$

と評価できる．ここで $\Delta S = S - S^r$ と置くと，$0 < \lambda^{**} < 1$ が成立することより，

$$
\begin{aligned}
\frac{d\Delta S}{d\theta_2} &= \frac{dS}{d\theta_2} - \frac{dS^r}{d\theta_2} \\
&= \left\{1 - \frac{1}{1-\lambda^{**}}\right\}\eta\frac{\int_{\theta_2}^{\overline{\theta}_2} H(t)dt}{\{H(\theta_2)\}^2}H'(\theta_2) \\
&> 0
\end{aligned}
\tag{4.30}
$$

が成立する．さらに，$\forall\theta_2 \in [\underline{\theta}_2, \theta_2^r]$ に対して，$\Delta S(\theta_2) = 0$ が成立する．したがって，予定価格が存在するときは，$\theta_2 \in (\theta_2^r, \overline{\theta}_2]$ にある企業 (予定価格制約式が有効である企業) が入札するスコアは予定価格が存在しないときよりも常に小さい．言い換えれば，予定価格はスコアに対して，価格が予定価格に抑制されスコアが増加する効果と，最適品質水準よりも低い品質水準を提案することによりスコアが減少する効果という2つの異なった影響を及ぼすことになる．式(4.30)は，後者の効果が常に前者の効果を卓越することを意味している．

4.5 予定価格の経済効果

政府が社会的余剰の最大化を目標とし，スコアルールを $S(p,q) = V(q) - p$ に設定した場合を考えよう. 企業の限界費用が θ_2 の場合に達成される最適品質水準を $q^{**}(\theta_2)$, 最適入札価格を $p^{**}(\theta_2)$ と表せば，当該企業が落札した場合に政府が獲得するスコアは

$$
S(\theta_2) = V(q^{**}(\theta_2)) - p^{**}(\theta_2) \tag{4.31}
$$

と表される．この企業が競争入札において落札する確率は $H(\theta_2)$ である．入札が実施される直前の時点において政府は当該企業の限界費用パラメータ θ_2 を知り得ず, 確率分布 $G(\theta_2)$ に従って分布することのみを知っている．したがって，着目する企業が落札に成功し，政府が獲得する期待スコア（ES^{**} と表す）は

$$
\begin{aligned}
ES^{**} &= E_{\theta_2}[S^r(\theta_2)H(\theta_2)|r] \\
&= \int_{\underline{\theta}_2}^{\overline{\theta}_2} S(\theta_2)H(\theta_2)dG(\theta_2)
\end{aligned}
\tag{4.32}
$$

と表される．ただし，$E_{\theta_2}[\cdot]$は限界費用θ_2に関する期待操作を表す. また，$S^r(\theta_2)$は予定価格rを設定した場合のスコアを表す. 競争入札に対称的なn社が参加することにより，予定価格をrに設定する場合，政府が獲得する期待VFM ($E[U^{**}|r]$と表す) は

$$E[U^{**}|r] \;=\; nE_{\theta_2}[S^r(\theta_2)H(\theta_2)|r] + W(\eta) \tag{4.33}$$

と表される．また予定価格を設けないときの政府の期待VFMを$E[U^{**}]$で表す. 式(4.30)より，予定価格が存在するときのスコアS^rは

$$S^r(\theta_2)\begin{cases} = S(\theta_2) & \theta_2 \in [\underline{\theta_2}, \theta_2^r] \\ < S(\theta_2) & \theta_2 \in (\theta_2^r, \overline{\theta_2}] \end{cases} \tag{4.34}$$

の関係を満足する．よって政府が得られる期待VFMについて次の不等式が成り立つ．

$$\begin{aligned} E[U^{**}] &= n\int_{\underline{\theta}_2}^{\theta_2^r} S(\theta_2)H(\theta_2)dG(\theta_2) + n\int_{\theta_2^r}^{\bar{\theta}_2} S(\theta_2)H(\theta_2)dG(\theta_2) + W(\eta) \\ &> n\int_{\underline{\theta}_2}^{\theta_2^r} S(\theta_2)H(\theta_2)dG(\theta_2) + \int_{\theta_2^r}^{\bar{\theta}_2} S^r(\theta_2)H(\theta_2)dG(\theta_2) + W(\eta) \\ &= E[U^{**}|r] \end{aligned} \tag{4.35}$$

したがって，$r > \bar{\theta}_2\eta$が成立するとき，予定価格を設定することにより，政府の期待VFMは減少し，社会的余剰も減少する．以上の結果を**命題**2としてとりまとめる．

命題2　総合評価型競争入札において，予定価格を導入することにより，競争入札の効率性を低下させる可能性がある．

なお，予定価格$r(=\theta_2^e\eta)$が$r \leq \overline{\theta_2}\eta$を満足する場合(即ち$\theta_2^e \leq \overline{\theta_2}$の場合)においても，落札企業が社会的効率性を満足する品質水準を提案する保証がない．さらに次章で議論する予定スコアξを，予定価格rに対応して$\xi(r) = \phi(\overline{q}) - \theta_1\overline{q} - \theta_2^e\eta$と設定したときの政府の期待VFMを$E[U|\xi(r)]$と表すと，

$$E[U^{**}|r] \leq E[U|\xi(r)] \tag{4.36}$$

の関係が任意のrに対して常に成り立つ．

第5章　予定スコアモデル

5.1　分析目的

命題2に示したように，総合評価型競争入札において予定価格を設けることは，必ずしも財務的効率性を改善しないだけでなく，社会的余剰の減少も引き起こす可能性があることが判明した．以下では，予定価格が有する問題点を解消するために，要求するスコアの最低水準(予定スコアと呼ぶ) ξ を設定するような総合評価型競争入札モデルを考える．ここでは，スコアルールを $S(p,q)=V(q)-p$ として分析を進める．つまり，追加的品質水準の金銭的評価関数 $\phi(q)$ として消費者余剰関数 $V(q)$ が採用されている．以下では，政府が総合評価型競争入札の実施にあたり，入札参加企業に対して適切な予定スコアを公示することにより，競争入札均衡の効率性に影響を与えずに政府が獲得する期待VFMを改善することが可能となることを示す．

基本モデルの場合と同様に，企業のタイプ (θ_1,θ_2) が，タイプ空間 $[\underline{\theta}_1,\overline{\theta}_1]\times[\underline{\theta}_2,\overline{\theta}_2]$ において確率分布している場合を考える．予定スコアを設定した総合評価型競争入札における企業の期待利潤最大化問題は

$$\max_{p,q}\ (p-\theta_1 q-\theta_2\eta)\overline{P}\{win|S=b\} \tag{5.1}$$

subject to

$$\phi(q)-p=b \tag{5.2}$$

$$b\geq\xi \tag{5.3}$$

$$q\geq 0 \tag{5.4}$$

で定式化される．ここで

$$\overline{P}\{win|S=b\}=\mathrm{prob}\{S_j<b, j\neq i|\xi\leq b\} \tag{5.5}$$

である．3. と同様に，タイプ (θ_1,θ_2) の企業が採用する最適入札戦略 (p°,q°) は

$v\in[\xi,\overline{v}]$ のとき

$$\begin{cases} p^\circ=\theta_1 q^\circ+\theta_2\eta+\dfrac{\int_\xi^v M(s)ds}{M(v)} \\ q^\circ=\phi'^{-1}(\theta_1) \end{cases} \tag{5.6}$$

$$v \in [\underline{v}, \xi) \text{のとき}$$
$$\text{入札に参加しない} \tag{5.7}$$

と表される．疑似タイプvが予定スコアξより低い企業は，総合評価型競争入札に参加できない．また，任意の$v \in [\underline{v}, \overline{v}]$に対して$M(s) > 0$が成立することより，任意の$\xi \in (\underline{v}, \overline{v})$に対して，

$$\int_{\xi}^{v} M(s)ds < \int_{\underline{v}}^{v} M(s)ds \tag{5.8}$$

が成立する．すなわち，予定スコアを導入することにより，入札参加企業は，疑似タイプが予定スコアより大きい企業の間で競争入札を行っていることを知るため，自分の技術力の優位性に対する信念が弱気となり，競争力プレミアムが低下する．その結果，競争入札に参加する企業の最適入札価格p°は，予定スコアξが存在しない場合よりも低下する．すなわち，予定スコアを導入することにより，最適品質水準は変化せず社会的余剰の最大化を達成するように決定される．一方，企業の入札価格が低減されるため，政府が獲得する期待VFMは増加する．

5.2 最適予定スコア

着目する代表的企業が落札に成功し，政府が獲得する期待スコアES°は

$$\begin{aligned} ES^{\circ} &= E_v[S^{\xi}(v)H(v)|\xi] \\ &= \int_{\xi}^{\overline{v}} S^{\xi}(v)M(v)dL(v) \end{aligned} \tag{5.9}$$

と表される．ただし，$E_v[\cdot]$は，疑似スコアvに関する期待値操作を，S^{ξ}は予定スコアξを設定するときのスコアを表す. n社の対称的企業が入札に参加するため，政府が獲得する総期待スコアは$n \cdot ES^{\circ}$と表される．一方，予定スコアξが提示された時，疑似スコアvが予定スコアξ未満となる企業は入札に参加できない．すべての企業の疑似スコアがξ未満となった場合，競争入札に参加できる企業は0となり，入札は不調に終わる．競争入札が不調に終わる確率は$L(\xi)^n$と表される．したがって，スコアルール$S(p,q) = V(q) - p$の下で，政府が予定スコアξを提示したときに政府が獲得できる期待VFM ($E_v[U^{\circ}|\xi]$と表記する) は，

$$\begin{aligned} E_v[U^{\circ}|\xi] &= n\int_{\xi}^{\overline{v}} vM(v)dL(v) - n\int_{\xi}^{\overline{v}} \Big\{1 - L(v)\Big\}M(v)dv \\ &+ W(\eta)\Big\{1 - L(\xi)^n\Big\} \end{aligned} \tag{5.10}$$

と表される(**付録**5)参照). そこで，期待VFM(5.10)を最大化するような最適予定スコアξ°を求める問題

$$\max_{\xi} E_v[U^\circ|\xi] \tag{5.11}$$
$$\text{subject to}$$
$$\underline{v} \leq \xi \leq \overline{v} \tag{5.12}$$

を考える．ここで，目的関数(5.11)の1階の微分は

$$\frac{dE_v[U^\circ|\xi]}{d\xi} = nM(\xi)l(\xi)\left\{\frac{1-L(\xi)}{l(\xi)} - \xi - W(\eta)\right\} \tag{5.13}$$

と表される．$L(\xi)$の単調危険率条件の仮定(3.20)より，$\{1-L(\xi)\}/l(\xi)$はξに関して単調減少関数である．さらに，タイプ空間$\Theta = [\underline{\theta}_1, \overline{\theta}_1] \times [\underline{\theta}_2, \overline{\theta}_2]$において入札参加企業が確率分布していることより，

$$\overline{v} = k(\underline{\theta}_1, \underline{\theta}_2) \tag{5.14}$$
$$\underline{v} = k(\overline{\theta}_1, \overline{\theta}_2) \tag{5.15}$$
$$L(\overline{v}) = 1,\ L(\underline{v}) = 0 \tag{5.16}$$

が成立する．この時，$dE_v[U^\circ|\xi]/d\xi = 0$が成立する条件を整理することにより，最適予定スコアξ°は

$$\xi^\circ = \begin{cases} \underline{v} & \dfrac{1}{l(\underline{v})} - \underline{v} - W(\eta) \leq 0 \text{ の時} \\ \overline{v} & \dfrac{1}{l(\underline{v})} - \underline{v} - W(\eta) > 0 \\ & \overline{v} \leq -W(\eta) \text{ の時} \\ v^\circ & \dfrac{1}{l(\underline{v})} - \underline{v} - W(\eta) > 0 \\ & \overline{v} > -W(\eta) \text{ の時} \end{cases} \tag{5.17}$$

と表される．ただし，最適予定スコア$\xi^\circ = v^\circ$は

$$\frac{1-L(v^\circ)}{l(v^\circ)} = v^\circ + W(\eta) \tag{5.18}$$

を満足するようなv°, $(\underline{v} < v^\circ < \overline{v})$として定義できる．また，$\xi^\circ = \underline{v}$は，予定スコアが入札参加企業の疑似タイプの下限値$\underline{v}$に設定されており，すべての入札参加企業が予定スコアを満足する．言い換えれば，予定スコアの存在は入札参加企業の行動

に影響を及ぼさない．一方，予定スコア$\xi^\circ = \overline{v}$は，入札参加企業の疑似スコアの上限値に一致しており，予定スコアを満足できる企業は存在しない．すなわち，競争入札に参加する企業は存在せず，入札は不調に終わる．予定スコア$\xi = \underline{v}$を設定した場合，実質的に予定スコアを設定しない総合評価型競争入札モデル (基本モデル) に一致する．制約条件 (5.12) において，予定スコア$\xi = \underline{v}$は実行可能解の集合に含まれている．したがって，

$$\frac{1}{l(\underline{v})} > \underline{v} + W(\eta) \tag{5.19}$$

$$\overline{v} + W(\eta) > 0 \tag{5.20}$$

が成立する場合，予定スコア$\xi^\circ = v^\circ$を設定することにより政府の期待VFMを改善することができる．以上の結果より，以下の**命題**3を得る．

命題3　総合評価型競争入札において，条件 (5.19),(5.20) が成立する場合，式 (5.18) を満足するような予定スコアを事前に公示することにより，競争入札均衡の効率性を維持したうえで政府の期待VFMを改善することができる．

式 (3.28) より条件 (5.19),(5.20) は，もっとも生産性の低い疑似タイプ$\underline{v}$の企業が生産する社会的余剰$\underline{v} + W(\eta)$が$1/l(\underline{v})$より小さく，かつ，生産性がもっとも高い疑似タイプ$\overline{v}$の企業の社会的余剰$\overline{v} + W(\eta)$が少なくとも正となるという条件を表している．予定スコア$\xi^\circ = v^\circ$を導入することにより，疑似タイプvが予定スコアv°より小さい企業は競争入札への参加を断念する．言い換えれば，予定スコアの導入効果は競争入札への参加企業を事前に選別することにより生じる効果である．ただし，予定スコアを導入しても，競争力プレミアムは正の値をとり，政府から落札企業への所得移転は0にはならないことを断わっておく．

5.3　予定スコアの事前選別効果

予定スコアを設定することによる総合評価型競争入札の期待VFM改善効果を分析する．条件 (5.19), (5.20) を満足する場合を考える．予定スコアを設定しない場合，政府が獲得する期待VFMは式 (3.30) で表される．一方，政府が予定スコアを導入する場合，最適スコアは式 (5.18) を満足するようなv°として表される．政府が最適ス

コアv°を設定する場合，政府が獲得する期待VFMは

$$E_v[U^\circ|v^\circ] \;=\; nE_v[S^{v^\circ}(v)M(v)|v^\circ]+W(\eta)\Big\{1-L(\xi)^n\Big\} \tag{5.21}$$

と表される．S^{v°は予定スコアv°を設定するときのスコアを表す．一方，予定スコアを設けない総合評価型競争入札の場合は，予定スコアとして最低スコア$\underline{v}$を設定した場合に他ならない．したがって，予定スコアを設けない場合の期待VFMである$E_v[U^\circ]$は$E_v[U^\circ|\underline{v}]$に一致する．条件(5.19),(5.20)が満足される場合，式(5.11)で示される期待VFMは，スコア$v^\circ \in (\underline{v},\overline{v})$を導入した時に最大値をとる．したがって，最適スコアv°を導入することによる期待VFM改善効果ΔVFMは

$$\begin{aligned} \Delta VFM \;&=\; E_v[U^\circ|v^\circ]-E_v[U^\circ|\underline{v}] \\ &=\; n\int_{v^\circ}^{\overline{v}}\Delta S(v)M(v)dL(v)-n\int_{\underline{v}}^{v^\circ}S(v)M(v)dL(v) \\ &-\; \{L(v^\circ)\}^nW(\eta)>0 \end{aligned} \tag{5.22}$$

と定義される．ここで，$\Delta S(v)=S^{v^\circ}(v)-S(v)$であり，$v\in[v^\circ,\overline{v}]$において

$$\begin{aligned} \Delta S(v) \;&=\; \left\{v-\frac{\int_{v^\circ}^{v}M(s)ds}{M(v)}\right\}-\left\{v-\frac{\int_{\underline{v}}^{v}M(s)ds}{M(v)}\right\} \\ &=\; \frac{\int_{\underline{v}}^{v^\circ}M(s)ds}{M(v)}>0 \end{aligned} \tag{5.23}$$

が成立する．$\Delta S(v)$は，入札参加企業のタイプが限定されることによって得られる競争力プレミアムが減少する効果を表しており，入札参加企業の事前選別効果と呼ぶこととする．式(5.22)の第1項は予定スコア導入によって総合評価型競争入札における競争性が増加することによる期待VFMの増分，第2項は予定スコアを満足できない企業から得ることができなくなった期待VFMの機会損失，そして第3項は入札が不調になるときに失う金銭的プロジェクト価値の期待値を表す．式(5.22)は第1項の正の効果が常に第2項，3項の負の効果を卓越することを意味している．

5.4 最低価格型競争入札における予定価格

最低価格型競争入札において予定価格rを設定することは，総合評価型競争入札において予定スコア$\xi=-r$を設定し，スコアルールとして$S=-p$を採用した特殊ケースに相当する．この場合，政府の期待VFMは

$$E_{\tilde{v}}[\tilde{U}^\circ|-r] \;=\; nE_{\tilde{v}}[\tilde{S}^{-r}(\tilde{v})\tilde{M}(\tilde{v})|-r]+W(\eta)\{1-\tilde{L}(-r)^n\} \tag{5.24}$$

と表される．ただし，$\tilde{L}(\tilde{v})$ は，式 (3.34) で定義される確率分布関数である．最適予定価格は，最適スコア (5.17) に，$\xi = -r, \tilde{v} = -u$ $(u = \theta_2\eta,\ \underline{u} = \underline{\theta}_2\eta,\ \overline{u} = \overline{\theta}_2\eta)$ を代入することにより得ることができる．すなわち，最低価格型競争入札における最適予定価格 r° は

$$r^\circ = \begin{cases} \overline{u} & \dfrac{1}{\tilde{l}(-\overline{u})} + \overline{u} - W(\eta) \leq 0 \text{ の時} \\ \underline{u} & \dfrac{1}{\tilde{l}(-\overline{u})} + \overline{u} - W(\eta) > 0 \\ & -\underline{u} \leq -W(\eta) \text{ の時} \\ \tilde{u}^\circ & \dfrac{1}{\tilde{l}(\overline{u})} + \overline{u} - W(\eta) > 0 \\ & -\underline{u} > -W(\eta) \text{ の時} \end{cases} \tag{5.25}$$

と表される．ただし，$\tilde{l}(\tilde{u})$ は，確率分布関数 (3.34) に対して定義される確率密度関数を表す. ただし，最適予定価格 $r^\circ = \tilde{u}^\circ$ は

$$\frac{1 - \tilde{L}(-\tilde{u}^\circ)}{\tilde{l}(-\tilde{u}^\circ)} = W(\eta) - \tilde{u}^\circ \tag{5.26}$$

を満足するような $\tilde{u}^\circ$, $(\underline{u} < \tilde{u}^\circ < \overline{u})$ として定義できる．

最低価格型競争入札において，条件

$$\frac{1}{\tilde{l}(\overline{u})} > W(\eta) - \overline{u} \tag{5.27}$$

$$W(\eta) - \underline{u} > 0 \tag{5.28}$$

が成立する場合，式 (5.26) を満足するような予定価格 $\tilde{u}^\circ$ を事前に公示することにより政府が獲得する期待 VFM を改善することができる．したがって，最低価格競争入札制度においても，予定価格を事前公示することにより, 競争入札の財務的効率性は増加することになる．

5.5　実務への示唆

公共調達における品質確保と企業の技術力向上を目的として，総合評価型競争入札が広く採用されるようになってきた．競争入札制度の効率性を議論する際，社会的効率性と財務的効率性を，明確に区別しておくことが重要である．総合評価型競争入札により, 社会的に効率的な品質水準を実現するためには，総合評価に用いるスコアルールの設計が重要な課題となる．**命題** 1 に示したように，消費者余剰を

用いて品質水準の金銭的評価を行ったような線形スコアルールを導入することにより，競争入札の社会的効率性を達成することが可能となる．しかし，政府から落札企業への所得移転が発生するため，財務的効率性は達成できない．このような所得移転を抑制するためには，企業の競争力プレミアムの設定行動に影響を及ぼすことが重要である．最低価格型競争入札では，予定価格を設定することにより，政府の財務効率性を改善することが可能となる．わが国の競争入札制度において，幅広く予定価格制度が導入されているが，予定価格の財務効率性改善効果に関しては，これまでほとんど着目されてこなかった視点であると考える．しかし，**命題**2に示したように，総合評価型競争入札においては，予定価格の導入は望ましい結果をもたらさない．**命題**3が指摘するように，予定スコア制度を導入することにより，社会的効率性を維持した上で，政府の財務的効率性を改善することが可能である．予定スコアを導入することにより技術力のない入札参加者を事前にスクリーニングすることにより，よりタイプの似通った入札参加者の間で競争が行われているという共通認識を入札参加者が持つようになる．その結果，予定スコアによる事前選別効果が働き，入札参加者による競争力プレミアムが減少することとなり，入札価格の低減化が促進される．

なお，本研究では，入札費用を無視した議論を行ってきた．入札参加企業は入札の段階で，入札書類作成等に要する費用をすでに支出している．落札企業のみが，入札費用を回収する機会に恵まれる．競争入札に過大な数の企業が参加した場合，不必要に支出される入札費用が増加することになる．特に，総合評価型競争入札では，技術提案を作成するための入札費用は企業の実質的負担となる．このため，入札価格が低い建設工事に対して総合評価型競争入札制度を適用することは現実的ではない．総合評価型競争入札の適用可能性に関しては，多方面からの検討が必要であることは言うまでもない．また，本研究では分離型準線形スコアルール(2.1)を用いた総合評価型競争入札をとりあげた．わが国においては，評点・価格比型スコアルール(2.2)が幅広く採用されている．評点・価格比型スコアルールは，品質水準の金銭的評価を厳密に実施する必要がなく，異なるプロジェクト間におけるスコア比較が可能となる利点がある．一方で，スコアにより期待VFMが最大となるような提案が選択されているかどうかに関しては，依然として課題が残されていると言わざるを得ない．

第6章　おわりに

本研究では総合評価型競争入札を多次元オークション理論を用いてモデル化した．総合評価型競争入札においては，発注者が求める要求事項に対して，入札者が技術提案を行う．発注者は技術提案の内容に対して総合評価を行い，総合評価の結果と入札金額の双方により入札者の入札内容に対して評点(スコア)が決定される．競争入札では，もっとも高い評点を獲得した入札者が，プロジェクトを落札することになる．このような総合評価型競争入札において，品質水準を消費者余剰を用いて品質水準を評価したような準線形スコアルールを採用した場合，競争入札メカニズムを通じて社会的余剰の最大化を実現できることを明らかにした．さらに，総合評価型競争入札において予定価格を設定した場合，競争入札の効率性を阻害する可能性が存在することを明らかにした．一方，予定スコアを設定することにより，総合評価型競争入札の社会的効率性を維持したうえで，政府の財務的効率性を増加できることを示した．以上の知見は，本研究で設定した前提条件の下で設定する事項である．もとより，公共調達問題における競争入札に関わる制度設計に関する研究は緒についたばかりであり，今後に多くの研究課題が残されている．第1に，本研究では，入札費用の存在を無視してきた．現実には，総合評価型競争入札において，入札参加企業が技術提案書を作成するために無視しえない取引費用が存在することになる．このような取引費用の存在を考慮するためには，入札参加企業の異質性について考慮するとともに，参加企業数が内生的に決定されるような競争入札モデルを開発することが必要となる．第2に，入札費用の問題は，最低価格型競争入札においても問題となる．入札費用の存在を考慮した場合，最適な入札参加企業数が存在することになる．このような入札費用と競争入札制度の効率性に関して分析することが必要である．第3に，本研究では予定価格，あるいは予定スコアに関する情報を入札に先立って公示する場合を想定していた．しかし，予定価格，予定スコアに関しては，その基準を設定しながらも事前には公表せず，事後においてのみ公示するという入札方法も考えられる．この場合，入札参加企は，予定価格，予定スコアの確率分布に関する信念に基づいて落札確率を主観的に想定することが必要となる．つまり，政府と企業間のベイズゲームとしてモデル化で

きる．第4に，建設市場が縮減していく中で問題になっている低価格入札に関する対処方法について分析することが必要である．特に，企業の清算に対する有限責任制度の下で，財務状態の悪い企業による資産代替効果[30)]が発生する可能性がある．競争入札におけ最低制限価格の設定が，競争入札の効率性に及ぼす影響について分析することが必要である．最後に，競争入札の効率性に関して実証的な分析を実施する必要がある．特に，入札価格と品質水準に関するトレードオフに関する経験的な知見を蓄積することが必要である．このためには，オークション理論に関する計量経済学的なアプローチ[31)]を発展させる必要がある．

参考文献

1) Vickrey, W.: Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders, *Journal of Finance*, Vol.16, pp.8-37, 1961.

2) Laffont, J.-J., and Tirole, J.: Auctioning incentice contracts, *Journal of Political Economy*, Vol.95, pp.921-937, 1987.

3) Laffont, J.-J., and Tirole, J.: Auctioning design and favoritism, *International Journal of Industrial Organization*, Vol.5, pp.9-42, 1991.

4) Myerson, R.: Optimal auctions, *Mathematics of Operations Research*, Vol.6, pp.58-73, 1981.

5) Riley, J.G. and Samuelson, W.: Optimal auctions, *American Economic Review*, Vol.71, pp.381-392, 1981.

6) Krishna, V.: *Auction Theory*, Academic Press,2002.

7) Milgrom, P.: *Putting Auction Theory to Work*, Cambridge University Press, 2004, 川又邦雄他訳：オークション理論とデザイン，東洋経済新報社，2007.

8) 横尾真：オークション理論の基礎，東京電機大学出版局，2006.

9) Hansen, R.G.: Auctions with endogenous quantity, *RAND Journal of Economics*, Vol.19, pp.44-58, 1988.

10) Dasgupta, S. and Spulber, D.F.: Managing procurement auctions, *Information Economics and Policy*, Vol.4, pp.5-29, 1990.

11) Ewerhart, C. and Fieseler, K.: Procurement auctions and unit-price contracts, *Rand Journal of Economics*, Vol.34, pp.569-581, 2003.

12) Che, Y.K.: Design competition through multidimensional auctions, *RAND Journal of Economics*, Vol.24, pp.668-680, 1993.

13) Branco, F.: The design of multidimensional auctions, *RAND Journal of Economics*, Vol.28, pp.63-81, 1997.

14) Bushnell, J. and Oren, S.: Bidder cost revelations in electric power auction, *Journal of Regulatory Economis* , Vol.6, pp.5-26, 1994.

15) Bushnell, J. and Oren, S.: Internal auctions for efficient sourcing of intermediate products, *Journal of Operations Management*, Vol.12, pp.311-320, 1995.

16) Che, Y.K. and Gale, I.: Standard auctions with financially constrained bidders, *Review of Economic Studies*, Vol.65, pp.1-21, 1998.

17) Chao, H.P. and Wilson, R.: Multi-dimensional procurement auctions for power reserves: Robust incentive scoring and settlement rules, *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 22, pp.161-183, 2002.

18) Fang, H. and Morris, S.: Multidimensional private value auctions, *Journal of Economic Theory*, Vol.126, pp.1-30, 2006.

19) de Frutos, M.A. and Pechlivanos, L.: Second-price common-value auctions under multidimensional uncertainty, *Games and Economic Behavior*, Vol.55, pp.43-71, 2006.

20) Asker, J. and Cantillon, E.: Properties of Scoring Auctions, CEPR, Discussion Paper, No.4734, 2004.

21) Milgrom, P.: An economist's vision of the B-to-B marketplace. Executive white paper, 2000.

22) Parkes, D.C. and Kalagnanam, J.: Models for iterative multiattribute procurement auctions, *Management Science*, Vol.51, pp435-451, 2005.

23) Arizona Department of Transport: A+B Bidding Guide, 2002.

24) Herbsman, Z., Chen, W.T., and Epstein, W.C.: Time is money: Innovative contracting methods in highway construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.121, pp.273-281, 1995.

25) Wilson, R.: The architecture of power markets, *Econometrica*, Vol.70, pp.1299-1341, 2002.

26) 公共工事入札制度運用実務研究会編著：公共工事入札制度運用の実務，ぎょうせい，2007.

27) 公共工事の品質を考える会編著：公共工事品格法と総合評価方式，日刊建設工業新聞社，2005.

28) 大野泰資：公共工事における入札・契約方式の課題，会計検査研究，No.27, 2003.

29) 伊藤秀史：契約の経済理論，有斐閣，2003.

30) 石磊, 大西正光, 小林潔司：PFI事業権契約の効率性と保証金, 土木学会論文集D, Vol.62, No.3, pp.383-400, 2006.

31) Paarsch, H.J. and Hong, H.: *An Introduction to the Structural Econometrics of Auction Data*, MIT Press, 2006.

付録A　導出過程

1) 式 (3.24) の導出　問題 (3.21) の1階の最適条件は

$$-M(\beta^{-1}(b)) + (v-b)\frac{M'(\beta^{-1}(b))}{\beta'(\beta^{-1}(b))} = 0$$

と表せる．対称ナッシュ均衡解を $b=\beta(v)$ と表現すれば，最適条件(3.23)より微分方程式

$$\beta(v)M'(v) + \beta'(v)M(v) = vM'(v)$$

を得る．この微分方程式を

$$\frac{d}{dv}(\beta(v)M(v)) = vM'(v)$$

と書き換え，$[\underline{v}, w]$ の範囲で積分すれば，

$$\beta(v)M(v) = \beta(\underline{v})M(\underline{v}) + \int_{\underline{v}}^{v} sM'(s)ds$$

を得る．初期条件 $M(\underline{v})=0$ を考慮し，部分積分を施すことにより，対称ナッシュ均衡解は

$$\beta(v) = v - \frac{\int_{\underline{v}}^{v} M(s)ds}{M(v)} \tag{A.1}$$

と表せる．つぎに，式(A.1)が最適性の十分条件であることを示す. すべての入札参加企業 $j \neq i$ が式(A.1)で表される均衡戦略に従っている状況において，式(A.1)で表される b^* が最適入札スコアになっていることを示す. 式(A.1)で表される入札スコアを採用した時の期待利潤を $\pi(b^*|v)$，それ以外の入札スコア $\hat{b}^* \neq b^*$ を採用した時の期待利潤を $\pi(\hat{b}^*|v)$ で表し，期待利潤の差 $\Delta\pi = \pi(b^*|v) - \pi(\hat{b}^*|v)$ を評価する．$\beta(\hat{v}) = \hat{b}^*$ を満足するような $\hat{v} \in (\underline{v}, \overline{v}]$ が存在する．期待利潤は

$$\pi(b^*|v) = (v-b^*)M(v)$$
$$\pi(\hat{b}^*|v) = (v-\hat{b}^*)M(\hat{v})$$

であり，式(A.1)を用いて $b^*, \hat{b}^*$ を表現し，期待利潤の差を計算すると

$$\Delta\pi = \int_{\hat{v}}^{v} M(s)ds - (v-\hat{v})M(\hat{v})$$

を得る．これより$v>\hat{v}$，もしくは$v<\hat{v}$が成立する場合に$\Delta\pi>0$を得る．したがって，式(A.1)が最適入札スコアを定義している．

2) **式**(3.27)**の導出**

$$
\begin{aligned}
1-\frac{d\left\{\dfrac{\int_{\underline{v}}^{v}\{L(s)\}^{n-1}ds}{\{L(v)\}^{n-1}}\right\}}{dv} \\
&= 1-\left\{1-(n-1)\frac{\int_{\underline{v}}^{v}\{L(s)\}^{n-1}ds}{\{L(v)\}^{n}}l(v)\right\} \\
&= (n-1)\frac{\int_{\underline{v}}^{v}\{L(s)\}^{n-1}ds}{\{L(v)\}^{n}}l(v)>0
\end{aligned}
$$

3) **式**(3.30)**の導出**

$$
\begin{aligned}
ES &= E_v[S(v)M(v)] \\
&= \int_{\underline{v}}^{\overline{v}} S(v)M(v)dL(v) \\
&= \int_{\underline{v}}^{\overline{v}} \left\{v-\frac{\int_{\underline{v}}^{v} M(s)ds}{M(v)}\right\} M(v)dL(v) \\
&= \int_{\underline{v}}^{\overline{v}} vM(v)dL(v)-\int_{\underline{v}}^{\overline{v}}\Big\{\int_{\underline{v}}^{v} M(s)ds\Big\}dL(v) \\
&= \int_{\underline{v}}^{\overline{v}} vM(v)dL(v)-\int_{\underline{v}}^{\overline{v}}\Big\{\int_{s}^{\overline{v}} dL(v)\Big\}M(s)ds \\
&= \int_{\underline{v}}^{\overline{v}} vM(v)dL(v)-\int_{\underline{v}}^{\overline{v}}\{1-L(v)\}M(v)dv
\end{aligned} \tag{A.2}
$$

4) **式**(4.264.27)**の導出**

まず，部分タイプ集合$\hat{\Theta}^1$に属する企業に着目する．$\hat{\Theta}^1$に属する企業の最適スコア$b^{**}(\theta_2)$は

$$
\begin{aligned}
b^{**}(\theta_2) &= \arg\max_{b>\phi(\overline{q})-r}\ \{\phi(\overline{q})-\underline{\theta}_1\overline{q}-\theta_2\eta-b\}\tilde{P}_1\{win|S=b\} \\
&= \phi(\overline{q})-p^{**}
\end{aligned} \tag{A.3}
$$

と定義される．ただし，落札確率$\tilde{P}\{win|S=b\}$は

$$
\tilde{P}_1\{win|S=b\}=\mathrm{prob}\{S_j<b,(j\neq i)|b>\phi(\overline{q})-r\} \tag{A.4}
$$

と定義される．3. と同様に疑似タイプを用いて最適解を求めるが，臨界的企業$(\underline{\theta}_1,\theta_2^r)$に対して境界条件$b^{**}(\theta_2^r)=\phi(\overline{q})-r$が成立することより，部分タイプ集合$\hat{\Theta}^1$における最適入札価格$p^{**}(\theta_2)$は

$$
p^{**}(\theta_2) = \underline{\theta}_1\overline{q}+\theta_2\eta+\eta\frac{\int_{\theta_2}^{\theta_2^r}H(t)dt}{H(\theta_2)}+(r-\underline{\theta}_1\overline{q}-\theta_2\eta)\frac{H(\theta_2^r)}{H(\theta_2)} \tag{A.5}
$$

と表せる．ただし，$H(t)=\{1-G(t)\}^{n-1}$ である．

つぎに，部分タイプ集合 $\hat{\Theta}^2$ に属する企業に関しては，最適スコア b^{**} は

$$b^{**}=\phi(q^{**})-r \tag{A.6}$$

と表されるため，最適品質決定問題は，

$$\max_{q}\ (r-\underline{\theta}_1 q-\theta_2\eta)\tilde{P}_2\{win|S=\phi(q)-r\} \tag{A.7}$$

と表される．ここで

$$\tilde{P}_2\{win|S=\phi(q)-r\}=\mathrm{prob}\{q_j<q, j\neq i|q<\overline{q}\} \tag{A.8}$$

である．これより，最適品質水準 $q^{**}(\theta_2)$ は

$$q^{**}(\theta_2)=\frac{1}{\underline{\theta}_1}\left\{r-\theta_2\eta-\eta\frac{\int_{\theta_2}^{\bar{\theta}_2}H(t)dt}{H(\theta_2)}\right\} \tag{A.9}$$

と表せる (**付録** 5) 参照)．最適品質水準 $q^{**}(\theta_2)$ は θ_2 に関して単調減少関数である．式 (4.18) に示すように最適品質水準 q^{**} と対応して λ^{**} も一意的に決定できる．

最後に，臨界的企業に対しては，$q^{**}(\theta_2^r)=\overline{q}$ が成立する．したがって，

$$\overline{q}=\frac{1}{\underline{\theta}_1}\left\{r-\theta_2^r\eta-\eta\frac{\int_{\theta_2^r}^{\bar{\theta}_2}H(t)dt}{H(\theta_2)}\right\} \tag{A.10}$$

が成り立つ．この条件式を用いて式 (A.5) を書き直すと，

$$p^{**}(\theta_2)=\underline{\theta}_1\overline{q}+\theta_2\eta+\eta\frac{\int_{\theta_2}^{\bar{\theta}_2}H(s)ds}{H(\theta_2)} \tag{A.11}$$

となる．すなわち，$\hat{\Theta}^1$ に属する企業の最適入札価格は．予定価格がない場合における最適入札価格に一致する．以上の分析結果より，総合評価型競争入札において予定価格 $r(>\overline{\theta}_2\eta)$ が存在するときの企業の最適入札戦略 $(p^{**}(\theta_2),q^{**}(\theta_2))$ は，

$$(\theta_1,\theta_2)\in\{\underline{\theta}_1\}\times[\underline{\theta}_2,\theta_2^r] \text{ のとき}$$
$$\begin{cases} p^{**}(\theta_2)=\underline{\theta}_1\overline{q}+\theta_2\eta+\eta\dfrac{\int_{\theta_2}^{\bar{\theta}_2}H(s)ds}{H(\theta_2)} \\ q^{**}(\theta_2)=\overline{q} \end{cases} \tag{A.12}$$

$$(\theta_1,\theta_2)\in\{\underline{\theta}_1\}\times(\theta_2^r,\overline{\theta}_2] \text{ のとき}$$
$$\begin{cases} p^{**}(\theta_2)=r \\ q^{**}(\theta_2)=\dfrac{1}{\underline{\theta}_1}\left\{r-\theta_2\eta-\eta\dfrac{\int_{\theta_2}^{\bar{\theta}_2}H(s)ds}{H(\theta_2)}\right\} \end{cases} \tag{A.13}$$

となる．以上の均衡解の下では，企業の最適スコア $b^{**}(\theta_2)$ が θ_2 に対して単調減少であることが保証される．

5) 式 (A.9) の導出

代表的企業 i のタイプを $(\underline{\theta}_1, \theta_2) \in \hat{\Theta}^2$ とする．すべての入札参加企業 $j \neq i$ のタイプが $\hat{\Theta}^2$ に属し，最適品質水準 q^{**} に関する対称ナッシュ均衡戦略 $\gamma : \theta_2 \to q^{**}$ を採用するような状況を考える．ナッシュ均衡戦略 γ は θ_2 に関して連続微分可能，単調減少関数であると仮定する．$H(\cdot) = \{1 - G(\cdot)\}^{n-1}$ と置くと，代表的企業の最適品質水準決定問題は

$$\max_q \{(r - \underline{\theta}_1 q - \theta_2 \eta) H(\gamma^{-1}(q))\}$$

であり，1階の最適性の必要条件は

$$-\underline{\theta}_1 H(\gamma^{-1}(q)) + (r - \underline{\theta}_1 q - \theta_2 \eta) \frac{H'(\gamma^{-1}(q))}{\gamma'(\gamma^{-1}(q))} = 0$$

となる．対称ナッシュ均衡 $q = \gamma(\theta_2)$ は，微分方程式

$$\gamma'(\theta_2) H(\theta_2) + \gamma(\theta_2) H'(\theta_2) = \frac{r - \theta_2 \eta}{\underline{\theta}_1} H'(\theta_2)$$

を満足し，これは以下のように表せる．

$$\frac{d}{d\theta_2} \{\gamma(\theta_2) H(\theta_2)\} = \frac{r - \theta_2 \eta}{\underline{\theta}_1} H'(\theta_2)$$

両辺を積分すると，

$$\begin{aligned} &\gamma(\theta_2) H(\theta_2) \\ &= \gamma(\bar{\theta}_2) H(\bar{\theta}_2) - \int_{\theta_2}^{\bar{\theta}_2} \frac{r - t\eta}{\underline{\theta}_1} H'(t) dt \end{aligned}$$

$H(\bar{\theta}_2) = 1$ であるから，最終的に

$$\gamma(\theta_2) = \frac{1}{\underline{\theta}_1} \left\{ r - \theta_2 \eta - \eta \frac{\int_{\theta_2}^{\bar{\theta}_2} H(t) dt}{H(\theta_2)} \right\} \tag{A.14}$$

を得る．

$$\frac{d\gamma(\theta_2)}{d\theta_2} = \frac{\eta}{\underline{\theta}_1} \frac{\int_{\theta_2}^{\overline{\theta_2}} H(t) dt}{H(\theta_2)^2} H'(\theta_2) < 0$$

であるから $q^{**}(\theta_2)$ は θ_2 に関して単調減少関数である．つぎに，式 (A.14) が最適性の十分条件であることを示す. すべての入札参加企業 $j \neq i$ が式 (4.26)，式 (4.27) で表される

均衡戦略に従っている状況において，式(A.14)で表されるq^{**}が最適品質水準になっていることを示す．式(A.14)で表される品質水準を採用した時の期待利潤を$\pi(q^{**}|\theta_2)$，それ以外の品質水準$\hat{q}^{**} \neq q^{**}$を採用した時の期待利潤を$\pi(\hat{q}^{**}|\theta_2)$で表し，期待利潤の差$\Delta\pi = \pi(q^{**}|\theta_2) - \pi(\hat{q}^{**}|\theta_2)$を評価する．まず$\hat{q}^{**} < \overline{q}$の場合を考える．$\gamma(\hat{\theta}_2) = \hat{q}^{**}$を満足するような$\hat{\theta}_2 \in (\theta_2, \overline{\theta}_2]$が存在する．期待利潤は

$$\pi(q^{**}|\theta_2) = (r - \underline{\theta}_1 q^{**} - \theta_2\eta)H(\theta_2)$$
$$\pi(\hat{q}^{**}|\theta_2) = (r - \underline{\theta}_1 \hat{q}^{**} - \theta_2\eta)H(\hat{\theta}_2)$$

であり，期待利潤の差は

$$\begin{aligned}\Delta\pi &= (r - \theta_2\eta)\{H(\theta_2) - H(\hat{\theta}_2)\} \\ &- \underline{\theta}_1\{q^{**}H(\theta_2) - \hat{q}^{**}H(\hat{\theta}_2)\}\end{aligned} \tag{A.15}$$

と評価できる．式(A.14)を用いて$q^{**}, \hat{q}^{**}$を表現し，式(A.15)に代入すれば，

$$\Delta\pi = \eta\left\{(\theta_2 - \hat{\theta}_2)H(\hat{\theta}_2) + \int_{\theta_2}^{\hat{\theta}_2} H(t)dt\right\}$$

を得る．これより$\theta_2 > \hat{\theta}_2$，もしくは$\theta_2 < \hat{\theta}_2$が成立する場合に$\Delta\pi > 0$を得る．したがって，式(A.14)が最適品質水準を定義している．

次に$\hat{q}^{**} \geq \overline{q}$の場合をとりあげる．

$$\hat{\theta}_2 = \{\theta_2 \in [\underline{\theta}_2, \theta_2^r] | \phi(\hat{q}^{**}) - r = \phi(\overline{q}) - p^{**}(\theta_2)\}$$

を定義する．ただし，p^{**}は式(4.26)で表される．$\pi(\hat{q}^{**}|\theta_2) = (r - \underline{\theta}_1\hat{q}^{**} - \theta_2\eta)H(\hat{\theta}_2)$であり，期待利潤の差は

$$\Delta\pi = (\underline{\theta}_1\hat{q}^{**} - r + \theta_2\eta)H(\hat{\theta}_2) + \eta\int_{\theta_2}^{\overline{\theta}_2} H(t)dt$$

と表せる．式(A.14)を用いて，$\hat{q}^{**}$を$\hat{\theta}_2$に対して定義すれば，

$$\begin{aligned}\phi(\hat{q}^{**}) - \phi(\overline{q}) &= r - \hat{\theta}_2\eta - \eta\frac{\int_{\hat{\theta}_2}^{\overline{\theta}_2} H(t)dt}{H(\hat{\theta}_2)} - \underline{\theta}_1\overline{q} \\ &= \underline{\theta}_1\{\gamma(\hat{\theta}_2) - \overline{q}\}\end{aligned} \tag{A.16}$$

が成立する．さらに，$\phi'(\overline{q}) = \underline{\theta}_1$であり，かつ$\phi(\cdot)$が厳密な凹関数であることより，

$$\gamma(\hat{\theta}_2) \leq \hat{q}^{**}$$

が成立する．等号は$\hat{q}^{**}=\overline{q}$のとき成立．また，式(A.16)を$\hat{\theta}_2$で微分すれば

$$\frac{d\hat{q}^{**}}{d\hat{\theta}_2}=\eta\frac{\int_{\hat{\theta}_2}^{\overline{\theta}_2}H(t)dt}{H(\hat{\theta}_2)^2}\frac{H'(\hat{\theta}_2)}{\phi'(\hat{q}^{**})}$$

を得る．つぎに，$\Delta\pi$の$\hat{\theta}_2$に対する限界的な変化は

$$\begin{aligned}\frac{d\Delta\pi}{d\hat{\theta}_2}&=\underline{\theta}_1\frac{d\hat{q}^{**}}{d\hat{\theta}_2}H(\hat{\theta}_2)+(\underline{\theta}_1\hat{q}^{**}-r+\theta_2\eta)H'(\hat{\theta}_2)\\&=H'(\hat{\theta}_2)\left\{r-\theta_2\eta-\underline{\theta}_1\hat{q}^{**}-\eta\frac{\underline{\theta}_1\int_{\hat{\theta}_2}^{\overline{\theta}_2}H(t)dt}{\phi'(\hat{q}^{**})H(\hat{\theta}_2)}\right\}\\&\leq H'(\hat{\theta}_2)\left\{r-\theta_2\eta-\underline{\theta}_1\gamma(\hat{\theta}_2)-\eta\frac{\underline{\theta}_1\int_{\hat{\theta}_2}^{\overline{\theta}_2}H(t)dt}{\phi'(\hat{q}^{**})H(\hat{\theta}_2)}\right\}\\&=H'(\hat{\theta}_2)\left[\eta(\theta_2-\hat{\theta}_2)+\eta\frac{\{\underline{\theta}_1-\phi'(\hat{q}^{**})\}\int_{\hat{\theta}_2}^{\overline{\theta}_2}H(t)dt}{\phi'(\hat{q}^{**})H(\hat{\theta}_2)}\right]\\&<0\end{aligned}$$

と評価できる．よって$\hat{q}^{**}\geq\overline{q}$における$\Delta\pi$の最小値は$\hat{\theta}_2=\theta_2^r$. つまり$\hat{q}^{**}=\overline{q}$のときに，$\Delta\pi>0$が成立するかを検討する．$\gamma(\theta_2^r)=\overline{q}$であることより,

$$\Delta\pi=\eta\left\{\int_{\theta_2^r}^{\theta_2}H(t)dt-(\theta_2-\theta_2^r)H(\theta_2)\right\}$$

を得る．$\theta_2^r<\theta_2$より，$\Delta\pi>0$が成立．$\hat{q}^{**}\geq\overline{q}$の場合も，式(A.14)により最適品質水準を表現できる．

6) 式(5.10)の導出

$$\begin{aligned}&E_v[U^\circ|\xi]\\=\ &nE_v[S^\xi(v)M(v)|\xi]+W(\eta)\Big\{1-L(\xi)^n\Big\}\\=\ &n\int_\xi^{\overline{v}}\left\{v-\frac{\int_\xi^v M(s)ds}{M(v)}\right\}M(v)dL(v)+W(\eta)\Big\{1-L(\xi)^n\Big\}\\=\ &n\int_\xi^{\overline{v}}vM(v)dL(v)-n\int_\xi^{\overline{v}}\Big\{\int_s^{\overline{v}}dL(v)\Big\}M(s)ds+W(\eta)\Big\{1-L(\xi)^n\Big\}\\=\ &n\int_\xi^{\overline{v}}vM(v)dL(v)-n\int_\xi^{\overline{v}}\Big\{1-L(v)\Big\}M(v)dv+W(\eta)\Big\{1-L(\xi)^n\Big\}\end{aligned}\tag{A.17}$$

謝　辞

本研究を遂行するにあたって，多くの方々にご指導･ご協力を頂きました。ここに心より感謝の意を表します. 京都大学工学研究科の小林潔司教授には，ご多忙の中，論文作成にあたり終始懇切丁寧なご指導を頂きました．また小林教授の研究に対する真摯な姿勢から多くのことを学びました．ここに，心より深く感謝申し上げます. 京都大学工学研究科の松島格也准教授には，毎回の研究ゼミにおいて鋭いご指摘を頂いた他，日頃から公私に関わらず相談に乗って頂き，常に適切な助言を頂きました．心より御礼申し上げます. 京都大学工学研究科の吉田護助教授には，日頃の研究生活の他，本研究の遂行に関わる基礎的素養についても有益なご指導･コメントを頂きました．厚く御礼申し上げます. 京都大学工学研究科の石磊特定研究員には，研究に関する相談において有益なご指摘を頂いた他，毎日の研究生活においても大変お世話になりました．ここに深く感謝の意を表します. 京都大学工学研究科の鄭蝦榮特定研究員には，研究室に入った当初から常に温かくご指導を頂きました．ここに，心より感謝申し上げます. 計画マネジメント論研究室の諸兄･諸先輩には，日頃から親身に相談に乗って頂き，研究に対する温かい励ましの言葉やご指導を頂きました．ここに深く感謝の意を表します. 秘書の藤本彩氏には，日頃から多くの事務上のお手伝いの他，様々な場面でご支援を受けました．心より感謝いたします.