

2011年2月2日

## 博士論文審査報告

Incentives and Equilibrium in Auctions with Package Bidding  
(組み合わせ入札におけるインセンティブと均衡)

論文提出者：佐野隆司

佐野隆司君は、ミクロ経済学とゲーム理論の先端領域である「組み合わせ入札 (Combinatorial Auction, あるいは Package Bidding)」の理論的基礎を研究し、優れた学術的貢献をはたした。よって、主査および副査は、佐野君の博士論文を満場一致で採択することに合意した。

オークション研究は、1996年のヴィックリー、2007年のマイヤースンのノーベル経済学賞受賞に代表されるように、すでに豊かな学術的蓄積をもつ分野である。しかし、従来の研究成果では、単一種のアイテムを一単位売買する取引の分析が中心であった。実際の経済主体は、複数種のアイテムを複数単位購入している。オークション研究においては、これらの取引問題は独立に検討できることを暗黙に仮定していた。

しかし、現実的な経済主体にとって、個別の財に対する価値評価は、代替や補完といった相互依存の関係にある。よって、この仮定は制約的であるため、排除して、複数種アイテム複数単位の取引を統一的に分析することが、理論的基礎の確立に欠かせない。組み合わせ入札の研究は、複数種アイテム複数単位をいくつかのパッケージ (財の組み合わせ) に適切に分割して配分するためのルール設計を検討することで、統一的分析のためのアプローチを提供するものである。

注目すべきことに、近年、組み合わせ入札の様々なルールを、周波数帯、貨物輸送、物資調達全般、バスルート、空港スロット配分などに具体的に利用することが検討され、顕著な実績を上げつつある。また、現実の経験からのフィードバックは、組み合わせ入札研究に重要な役割を果たしている。そして、単一アイテム一単位では検討できない「実行可能な入札制度設計」の本質的な問題点が明らかにされ、より明示的に考察されるようになった。財が補完関係にある状況の分析はとりわけ重要である。オークション研究は、組み合わせ入札によって本格的な実践段階にステップアップした。

佐野隆司君は、修士課程から、組み合わせ入札のこのような重要性に着目して、発展途上である理論的基礎の確立が急務であることをよく認識し、博士論文全編を組み合わせ入札の理論的基礎の考察に充てることとした。その結果、このきわめて重要かつ困難な研究フロンティアにおいて、学術的貢献の最先端にまで研究の質を高めることができた。

組み合わせ入札の研究では、インセンティブ、効率性、公平性、価格発見、意思決定の複雑性といった、多岐にわたる要求項目をみとすべく、様々な入札ルールの設計が検討されている。

中でも、「VCGメカニズム」と「コア選択メカニズム」は、その代表例である。

VCGメカニズムは、入札者にパッケージ全てについて評価を申告させ、申告内容に応じた効率的なパッケージ配分を決定し、各入札者の支払額を他の入札者の損失補てん分に一致させるように設計された、封印型の入札ルールである。VCGメカニズムは、パッケージ評価を正直に申告することが「優位戦略」になり、効率的配分が達成されるといったすぐれた利点をもつ。

しかしながら、補完財が存在する場合には、売り手の収入が極端に低くなり、入札者同士が提携を結んで配分をブロックするなど、配分の公正性を欠くことに起因する多くの問題点が指摘されている。そのため、入札の主催者がVCGメカニズムをそのままの形で実際に利用することはまれである。

一方、コア選択メカニズムは、申告されたパッケージ評価をもとに、コア配分を決定する入札ルールの総称であり、VCGメカニズムがもつ問題点のいくつかを克服する利点をもつ。コア選択メカニズムには、実用化を念頭に置いて設計された入札ルールが多く含まれるため、VCGメカニズムより実践的だとされる。

佐野君の博士論文は、主にコア選択メカニズムを考察対象としている。さらに、後述するように、佐野君は、VCGメカニズムとコア選択メカニズムを統一的にとらえる「Vickrey Reserveメカニズム」と称される新概念を提示している。

コア選択メカニズムでは、優位戦略が存在しないため、「ナッシュ均衡」分析がなされる。ナッシュ均衡は複数存在しうるが、中でも、「切り詰め戦略 (Truncation Strategy)」と呼ばれる戦略によるナッシュ均衡分析に関心が集中される。切り詰め戦略とは、入札者が自身の利得獲得分を、真のパッケージ評価から一律差し引いた金額を申告する戦略を意味する。Day and Milgrom (2008)などによって、コア選択メカニズムでは、「切り詰め戦略ナッシュ均衡」が一般に存在することが証明されている。このナッシュ均衡は特筆すべき性質をもつ。すなわち、虚偽申告であるものの、結果的には「真の評価に基づくコア配分」を達成する。それは、入札者の支払額がコアの範囲内で最小に設定されるという意味において、「入札者最適」なコア配分になる。

組み合わせ入札では、全てのパッケージに対する評価を一度に申告する封印型のみならず、せり上げ方式やタトマン価格調整メカニズムなどの「動学的入札ルール」も検討される。動学的入札ルールは、複雑性の回避や、入札者のプライバシー保護などの観点から、封印型以上に実践的な設計方法と考えられている。

佐野君は、博士論文の中で、コア選択メカニズムや Vickrey-Reserve メカニズムを、動学的入札ルールに修正し、部分ゲーム完全均衡によるナッシュ均衡精緻化、および「ヴィックリー・ターゲット戦略」と称される戦略の特定化によって、「複数ナッシュ均衡選択」問題を検討している。そして、動学的入札ルールにおいて、入札者最適なコア配分が「一意に」達成される可能性を解明している。

組み合わせ入札の研究では、「不完備情報」における理論的基礎が、その重要性にかかわら

ず脆弱である。不完備情報下でコア選択メカニズムを検討する場合には、入札者がパッケージ評価を過少申告することによって、効率的配分が達成されない可能性が深刻化する。佐野君は、博士論文の後半において、不完備情報下におけるコア選択メカニズムの非効率性を分析しており、それは先駆的な学術的貢献である。

このように、佐野君の博士論文は、多岐にわたる本質的な論点を考察しており、各々の論点について重要な貢献を提供している。

佐野君の博士論文は、全4章から構成される。第1, 2章は完備情報、第3, 4章は不完備情報を扱っている。第2, 4章では、動学的入札ルールが検討され、部分ゲーム完全均衡と完全ベイジアン均衡の分析がなされている。第2, 3, 4章では、入札者の利得関数について、準線形性に加えて、「単一需要 (Single-Mind)」の仮定が置かれている。単一需要は、各入札者が高々単一のパッケージに対してのみ正の評価価値をもつとする仮定であり、パッケージ間の相対評価に関わる問題を捨象することで議論を単純化している。

以下、個別の章について、その内容を要約する。

第1章は、一般的な準線形利得構造において、VCGメカニズムとコア選択メカニズムに共通するナッシュ均衡の特徴を検討している。佐野君は、Vickery Reserve メカニズムと称されるメカニズムのクラスを、入札者の支払額が常にVCGメカニズムの支払額以上になるメカニズム全般と定義した。VCGメカニズムとコア選択メカニズムはすべてこのクラスに属する。佐野君は、どのVickery Reserve メカニズムにおいても、切り詰め戦略ナッシュ均衡が存在して、入札者最適コア配分が達成されることを証明した。

証明の技術的内容は、Day and Milgrom (2008)の証明に付け加えるものは特にないが、入札者最適コア配分のナッシュ均衡による達成可能性が、コア選択メカニズムに限らず、VCGメカニズムにおいても確認されることを指摘した意義は大きい。この指摘によって、VCGメカニズム、あるいはそれを近似するメカニズムにおいて、「複数存在するナッシュ均衡のどれが実際に実現すると考えるのが理論的に妥当か」を検討することが、研究の次の重要なステップとみなされる。

第2章は、単一需要の仮定下で、Vickery Reserve メカニズムを、価格せり上げ方式の動学的入札ルールに修正することによって、「複数存在するナッシュ均衡のどれが実際に実現すると考えるのが理論的に妥当か」という問題を、部分ゲーム完全均衡精緻化問題として考察した。まず、佐野君は、「ヴィックリー・ターゲット戦略」と称する戦略を特定化し、ヴィックリー・ターゲット戦略プロファイルが部分ゲームナッシュ均衡になることを証明した。そして、支払額が厳密にVCGメカニズムよりも高くなるように設計された任意のVickery Reserve メカニズムに

において、いくつかの追加的条件のもとでは、ヴィックリー・ターゲット戦略プロファイルが「唯一の」部分ゲーム完全均衡になることを証明した。ヴィックリー・ターゲット戦略プロファイルは入札者最適コアを達成する。よって、この定理は、追加的条件下において、たとえVCGメカニズムに隣接するメカニズムであったとしても、入札者最適コア配分が一意に達成されることを示している。このことは、VCGメカニズムにおいて、正直な申告による優位戦略よりも、入札者最適コア配分を達成するナッシュ均衡の実現性が高いことを示唆している。

ヴィックリー・ターゲット戦略は、せり上げ過程から中途離脱した他の入札者が申告した評価額をもとに計算されたヴィックリー価格まで、せり上げを継続する戦略と定義される。この定義は、補完財の存在するケースにおいてコア選択メカニズムの支払額がVCGメカニズムよりも高くなることの論理的構造を提供するものである。

単一需要を仮定することで、大きなパッケージを狙う入札者と、そのパッケージの一部を分け合う複数の入札者が競い合う状況がクローズアップされる。すなわち、パッケージを分け合う入札者同士で、支払負担を押し付けようとするインセンティブが生じている。動学的入札ルールでは、パッケージ評価の低い入札者が、早期にせり上げから離脱することで、支払負担を評価の高い入札者に押し付けるインセンティブが強く働く。そのため、唯一の部分ゲーム完全均衡であるヴィックリー・ターゲット戦略プロファイルは、入札者間で非対称な行動パターンを誘発する結果となる。

このように、第2章の定理の内容は深く重要であり、佐野君の博士論文全体において中心的貢献と考えられる。

第3, 4章は、単一需要を持つ入札者の、コア選択メカニズムにおける行動パターンを、不完備情報下で分析している。第2章で説明されたように、小さいパッケージを需要する入札者は、財に対する評価を過少に申告することで、別のパッケージを需要する相手入札者に支払負担を押し付けるインセンティブをもつ傾向にある。不完備情報下では、このようなフリーライダー的行動が非効率性を誘発してしまう。佐野君は、このような過少申告を行う入札者のタイプの特定化と、過少申告がどの程度深刻な非効率性を生むか、などをめぐって、封印型と動学的入札ルールの双方を分析した。

第3章は、封印型のコア選択メカニズムを分析し、任意の入札者が過少申告する、あるいは逆に、正直に申告する、ケースの必要十分条件を示した。佐野君は、任意の入札者が需要するパッケージに含まれる財を需要する他の入札者、すなわちその入札者のライバル、のライバルが、同様の意味で自身のライバルにもなっている状況が必ず成立しているならば、その時にのみ、その入札者は正直に申告するインセンティブをもつ、ということを証明した。言い換えると、「ライバルのライバルが自身のライバルでない」、すなわち、支払負担を押し付け合う関係である入札者が存在する、ならば、その時にのみ、その入札者は過少申告をすることになる。こうして、入札者相互の需要関係の中に、非効率性の根拠が見出されたこととなり、これは意義ある理論的

発見である。

第3章は、組み合わせ入札を不完備情報下で分析した世界的にも最初期の研究である。第3章は、修士論文をベースに書かれた論文であり、既に「Games and Economic Behavior」に採用が確定している。Games and Economic Behaviorは、ゲーム理論におけるもっとも重要な査読付き専門誌のひとつである。第3章の内容は、ゲーム理論学界全体において、特筆すべき成果と認知されている。

第4章は、第3章のコア選択メカニズムを、価格せり上げ式動学的入札に修正したモデルを分析している。内容的には第2章に共通する部分があるが、2財のみの入札に限定するなど追加的な制約を課して、入札者の均衡行動パターンの特徴をより鮮明にしている。特に、一財のみを必要する複数の「ローカル入札者」の一方が、入札額を全くせり上げずに早期離脱するといった、極端なフリーライダー的行動パターンが、唯一の完全ベイジアン均衡になることが示されている。その結果、配分の非効率性と、極端な売り手の低収入が発生することとなる。また、ローカル入札者が追加的に参入することによって、非効率性と低収入が、ある程度解消されることも示されている。

以上、4つの章のどれもが第一級の内容であり、将来的にトップランクの査読付き専門誌に、全て採用されることが見込まれる。

第1章を除いて単一需要を仮定している点は、今後の研究に課題を残している。この仮定によって、パッケージ間の相対評価の在り方は重要でなくなるため、複数種アイテム複数単位を、どのように工夫して複数のパッケージに分割して、入札者に配分するのが適切か、という、組み合わせ入札に特有の重要な論点が考察されないままになっているからだ。単一需要の仮定をはずした場合の問題を検討するなど、組み合わせ入札の研究をさらに深化させることで、佐野君が今後さらに飛躍されることを大いに期待したい。

以上より、佐野隆司君の博士論文は、博士号を授与するに十分な水準に達していると、審査委員の全会一致で判断した。

審査委員：

主査	松島春
副査	神谷和也
	神取道宏
	松井彰彦
	柳川範之