

KIER DISCUSSION PAPER SERIES

KYOTO INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH

Discussion Paper No. 1014

“組み合わせ入札に関する試案：
羽田空港国内線定期便発着枠の効率的配分に向けて”

松島 齊

2010 年 11 月



KYOTO UNIVERSITY
KYOTO, JAPAN

組み合わせ入札に関する試案：

羽田空港国内線定期便発着枠の効率的配分に向けて¹

**(Note on Combinatorial Auction Design:
Efficient Slot Allocation for Domestic Airline Regular Services
in Haneda Airport)**

松島 齊

東京大学大学院経済学研究科

2010 年 11 月 13 日

¹ 本論文は、国土交通省から委託された、三菱総合研究所および柳川範之東京大学準教授との共同研究プロジェクト「空港発着枠の配分方法に関するオークションモデルの研究」（平成 22 年度）、科学研究補助金基盤研究 B（21330043）、二十一世紀財団文化学術奨励金（平成 21、22 年度）、京都大学経済研究所プロジェクト研究（平成 22 年度）から研究助成を受けて、執筆されたものである。柳川範之氏には、羽田空港の新滑走路に関する実状および政策目標について、有益なコメントをいただき、感謝したい。本論文の内容は、2010 年 7 月から東京大学で定期的に行われた、東京大学大学院生による「オークション研究会」での討議に触発されたものである。当研究会の参加者全員に感謝する。特に、佐野隆司氏（東京大学大学院生）は、初期原稿の細部に亘って重要なコメントを提供していただき、大いに感謝したい。本論における間違いは、全て私に責任がある。

Abstract

This paper examines how a combinatorial auction format should be designed to allocate the new landing slots that are expected to be available from 2013 for domestic airline regular services in Haneda airport in an efficient manner. In order to make the auction well-behaved, we have to overcome many problems such as incentive, complexity, and privacy. We also examine the possibility to lower the amount of money that airlines pay for the purchase of the slots as much as possible. After explaining the basic concepts in the combinatorial auction literature, this paper proposes a method that is most suitable to solve our slot allocation problem, which is defined as a hybrid of several new concepts such as price-based combinatorial auction and iterative proxy auction.

要旨

本論文は、2013 年から利用される予定の、羽田空港国内線定期便のための新規発着枠を、航空会社に効率的に配分するため、どのように「組み合わせ入札 (Combinatorial Auction)」のルールを設計したらよいかを検討する。入札ルールが適切に機能するように、インセンティブ、複雑性、プライバシーなどといった多くの問題が検討される。購入するスロットに対して航空会社が支払う対価を、できるだけ低い値にとどめるにはどうしたかいいかについても検討される。本論文は、組み合わせ入札の基本的な概念を解説し、これをもとに、今回の新規発着枠のスロット配分問題にふさわしいと考えられる解決方法を提案する。「価格基盤型組み合わせ入札 (Price-Based Combinatorial Auction)」、「繰り返し代理入札 (Iterative Proxy Auction)」といった、新しいアイデアを発展的に統合することで、ふさわしい入札ルール設計の方向性が示される。

序文：マーケット・デザイン

羽田空港の新滑走路完成によって、2013 年度以降に、多数の新規発着枠のスロットが国内線定期便のために利用されることが見込まれている。その際、これらのスロットをどの航空会社に配分するかが問題になる。よって、スロットを適切に配分するためのルールをいかに設計するかが重要課題になる。

すぐれたサービスを提供する収益性の高い航空会社に、優先的にスロットが配分されるならば、すなわちスロットが「効率的に」配分されるならば、利用者の便益は向上し、国益が高められるので、スロット配分の効率性は、今回のルール設計の最重要目的とみなされる。過去の経緯や既得権益だけを根拠にスロットを割り当てる仕方は、効率性を促進しないので、回避されなければならない。

配分の効率性を促進させるためには、まず、個々の航空会社の収益性についての情報が収集されなければならない。しかし、政府も航空会社も、効率性の高い配分を特定できるだけのまとまった情報を事前には持ちあわせていない。これらの情報は、個々の航空会社に私的情報として散在している。よって、航空会社に自発的な情報開示を促し、散在情報をまとめて一括処理し、効率性の高いスロット配分を発見し、それを達成できるように、配分ルールが適切に設計され、厳格に実行されることが大事である。

このような配分ルールは、航空会社に、平等に参加機会を与え、正しく情報を開示するインセンティブを与えるものでなければならない。経済学においては、産業の別を問わず、このような配分ルールの設計問題一般が、「マーケット・デザイン」（広義には「メカニズム・デザイン」）と称される分野において長く研究されてきた。マーケット・デザインは、既に豊かな研究成果の蓄積を持ち、また現在でもとりわけ重要度の高い発展途上分野でもあり、今回のスロット配分問題解決の趣旨によく合致している。

具体的な配分ルールの設計は、どの取引参加者（入札者）も、対価の支払いと引き換えに、財・サービス（スロット）を獲得できるとし、対価の金額の

大小などをめぐって入札者同士を競争させることによって、効率的な配分を発見する「オークション(入札)」のルール設計を模索するアプローチにもとづく。本論文は、まず、スロット配分ルールの設計に関連する様々な入札ルールの基本的な設計案を紹介し、それらの留意点を理論実践両面から明らかにする。さらに、「時計代理入札 (Clock-Proxy Auction)」、「価格基盤型組み合わせ入札 (Price-Based Combinatorial Auction)」、「繰り返し代理入札 (Iterative Proxy Auction)」といった、新しい高度な入札ルールの設計の仕方を紹介する。

既存の設計案の長所と短所を理解した上で、本論文は、羽田空港国内線定期便のための新規発着枠スロット配分問題に最も適した入札方法の骨子を、簡単に説明する。そして、価格基盤型組み合わせ入札と繰り返し代理入札を発展的に統合する設計の方向性が望ましいことを主張する。

今回のスロット配分においては、「組み合わせ入札 (Combinatorial Auction)」と総称される入札ルールを検討することが適切である。第 2 章は、組み合わせ入札の設計のための基礎知識を説明する。第 3 章では、今回のスロット配分問題の解決には、組み合わせ入札を適用することの妥当性がとりわけ高いことが説明される。第 4 章は、組み合わせ入札がタイムスケジューリングの最終的な確定にはたす役割について説明する。

第 5 章では、組み合わせ入札を設計する際の主要な留意点が紹介される。特に、今回のスロット配分では、入札者の支払い負担を軽減することが要求されていること、および、政府の獲得する入札収入が、空港の管理運営のための必要経費の財源に充てられることについて説明する。

第 6 章では、組み合わせ入札ルールの基本的な設計案が紹介される。第 7 章では、より高度な組み合わせ入札の設計案が紹介される。第 8 章では、全体のまとめとして、今回のスロット配分問題解決のための、より踏み込んだルール設計の方向性が示される。

2. 組み合わせ入札 (Combinatorial Auction)

オークション一般についての初期の経済学研究は、主に単一種財（アイテム）を一単位売却するケースのみを考察し、入札者がどのような戦略的行動をとるかを分析している²。しかし、現実の入札者は、考察される問題以外に、別のアイテムの購入をも並行して検討している。よって、初期の研究は、暗黙裡に、入札者が個々の財の価値を独立に査定できることを前提としていた。

しかし、この前提は非常に制約的である。異なる財は一般に相互に代替的であったり補完的であったりするため、個別に独立に価値を評価できない。よって、入札者の戦略的行動を正しく理解するためには、他の財についても考慮し、より包括的に分析する必要がある。

以上より、複数アイテム複数単位を一括して売却するケースが、オークション研究の次のステップとして、集中的に研究されるようになった³。単一アイテム一単位のケースと比較すると、複数アイテム複数単位のケースの分析は複雑であり、また、以下に説明されるように、本質的に異なる分析項目を検討することになる。

単一アイテム一単位のケースでは落札者は一人であるが、複数アイテム複数単位のケースでは、複数人が同時に落札者となり、しかも各落札者は、一般に、単一アイテム一単位でなく、複数アイテム複数単位、すなわち「パッケージ（アイテムごとに何単位購入するかをリストアップしたもの）」を購入することになる。よって、競売人（オークショニア）は、入札結果を観察した上で、その観察結果に依存して、複数アイテム複数単位からなる入札対象を複数のパッケージに適切に分割し、複数の落札者に配分しなければならない。また、落札者の支払い金額を非線形価格にする、すなわち購入量に応じて単価を変える、などの工夫をも検討しなければならない。

² オークションおよびマーケット・デザインの一般的な解説については、Klemperer (2000), Krishna (2002), Milgrom (2004)などを参照せよ。また、オークションの実験一般については、Kagel (1995), Kagel and Leven (2008)などを参照せよ。

³ 一般的な解説としては、Cramton et al (2006)を参照されたい。

こうした事情から、複数アイテム複数単位を売却する入札は、パッケージ入札、あるいは「組み合わせ入札 (Combinatorial Auction)」と呼ばれる。入札者の利用情報を効率化するための配慮、および、入札者が購入を希望するパッケージの一部しか購入できないリスクを回避する、すなわち、後述する「公表リスク問題」(Exposure Problem) を回避する配慮などから、組み合わせ入札の研究の主眼は、複数アイテム複数単位を「同時に」入札するルールの最適な設計の仕方に置かれることになる。

3. 組み合わせ入札の応用

今日、複数アイテム複数単位のケースの入札は、貨物輸送、バスルート、物資調達一般、検索連動型広告、周波数帯など、現実の広範囲の配分問題において、様々なルール設計の形態をとって、世界中で実用化されている。一般に、スロット配分と支払い額の確定の際には、かなりの計算量が必要とされる。よって、以前は入札ルール設計には計算処理上の限界があったが、技術的制約がほとんどない現状では、組み合わせ入札は今後さらに普及すると期待される⁴。そして、以下に説明されるように、今回の羽田空港における新規発着枠スロット配分は、組み合わせ入札の適用妥当性のとりわけ高い急務の現実問題だといえる。

発着枠のスロットの特性は、時間帯ごとに異なり、また、旅客機を効率よく稼働させるなどの配慮から、スロット同士は代替関係のみならず補完関係にもあると見なされる。しかも、代替性や補完性の程度は、航空会社のビジネスモデルに依存するので、入札者ごとに異なりうる。このように、複数アイテム複数単位の入札対象の価値は相互に複雑に依存しているため、組み合わせ入札のルールは、慎重に、精緻に設計されなければならない。よって、設計の仕組みの検討は、実務的法的措置の観点だけでは無理であり、経済学とゲーム理論にもとづく学術的アプローチによって理論的実証的に基礎づけられなければならない。

さて、組み合わせ入札の最初の研究は、Rassenti, et al. (1982)による経済学実験であるとされている。この論文は、空港発着枠のスロット配分への応用を念頭に書かれたものである。Rassenti, et al. は、スロットを別々に売却するよりも、組み合わせ入札によって一括売却したほうがより効率的であることを示した。

⁴ Cramton et al (2006, Chapters 21, 22, 23)を参照せよ。検索連動型広告は、主に、複数アイテム一単位の取引であり、入札者は高々1アイテムを購入するケースであるから、厳密には組み合わせ入札の範疇ではない。しかし、利用情報の効率化などの配慮から、複数アイテムを同時に入札する仕組みが適用されており、今日では研究上の蓄積もかなりある。たとえば、Edelman et al (2007)などを参照せよ。

その後の様々な実験研究において、より一般に、組み合わせ入札の導入によって効率性は劇的に改善されることが確認されるようになった⁵。

このように、組み合わせ入札への関心の高まりの起源は、空港発着枠配分問題の研究にあったといえる。にもかかわらず、組み合わせ入札が発着枠配分に実際に適用された事例は未だにない。ラガーディアなどの混雑空港において、組み合わせ入札が提案されたものの、実施には至らなかった⁶。その理由は、入札対象となるスロットが新規ではなかったこと、そして、既に配分されたスロットを一旦回収し、総数を減らして再配分するという計画であったことにある。スロットの回収と一部廃棄にともなう所有権をめぐる、航空会社の同意が得られなかったのだ。また、混雑空港間でスロットを調整する必要がある場合にも、入札ルールを導入は困難になる。複数の混雑空港にまたがって、より大規模な入札制度を検討する仕組みが必要になるので、問題は極端に複雑になるからだ⁷。

これに対して、今回の羽田空港のケースでは、ほぼ国内線定期使用の新規枠のみが入札対象であり、国内線で成田と羽田以外に混雑空港はなく、しかも成田羽田間の便は存在しない。よって、上述したルール設計以外の要因にはあまり影響されることがないため、組み合わせ入札を理想的な形で実施できるものと期待できる。

⁵ Porter et al (2003), Brunner et al (2010), Kagel et al (2010)などを参照せよ。

⁶ 空港発着枠配分問題一般について、Grether et al. (1981), Riker (1991), Smith (2004), Ball et al. (2006), Czerny et al. (2008), Bruekner (2009), Condoretti (2009), Casrelli et al. (2010)などを参照せよ。

⁷ Czerny et al. (2008, Chapter 16), Casrelli et al. (2010)などを参照せよ。

4. アイテムの定義とタイムスケジューリング

発着枠のスロット配分に組み合わせ入札を導入する際、まず注意しなければならない点は、取引するアイテムをいかに定義するか、ということである。スロットの総数は非常に多いので、入札者の意思決定の負担の軽減や計算処理の簡便化を図るため、時間帯や発着の別などをもとに、類似したスロットをひとつのアイテムとみなして、あまり多くない種類の複数単位のアイテムを同時入札する工夫を考えることが肝要である。

入札によってアイテムを購入することによって、入札者は、タイムスロット（利用できる時間帯が決められた状態の発着枠）のいずれかを利用する権利を手に入れることができる。しかし、この段階では、具体的にどの時間帯を利用できるかについては確定されていない、すなわちどのタイムスロットの利用権を獲得したのかがはっきりしていない状態にある。よって、スロットの割り当てについてのタイムスケジューリングを最終確定するためには、アイテムについての入札に補足して、なんらかの配分ルールをさらに追加する必要がある。

購入したアイテムを具体的にどの時間帯のどのスロットに割り当てるか、すなわちタイムスケジューリングをどのように確定するか、について、まず考えられるのは、オークション終了後に、当事者の「合同会議」によって最終決着される、という方法である。極端なケースとしては、スロット全部を単一のアイテムとみなし、タイムスケジューリング全てを合同会議にゆだねるやり方がある。しかし、このやり方では、慣行にしたがって配分を決定する硬直的な傾向に陥りやすい⁸。また、時間帯ごとに価格差別化がなされていないため、予算制約のある小規模の参入企業には不利であり、競争がうまく働かなくなるので、配分の効率性を損ねる恐れがある。したがって、合同会議に過度にタイムスケジューリングの役割を押し付けないように、配慮が必要だ。

一方、英国における周波数オークションにおいては、このような合同会議には頼らずに、オークションだけで、混乱なくスロット配分が調整された事例

⁸ Grether et al. (1981) などを参照せよ。

がある。まず、周波数帯をいくつかのアイテムにわけて、組み合わせ入札をおこなう。その結果、入札者は、アイテムごとに獲得できる周波数の数量を購入する。実際にどの周波数帯を獲得できるかについては、次にアイテムごとに「副次的入札」をおこなうことで最終決着させる。このように、オークションをうまく段階的に設計できれば、オークションだけで全配分の調整を確定できるかもしれないので、今後検討に値する⁹。合同会議による決め方は、その硬直的傾向と不透明性故に、難点をもつ。よって、英国の周波数オークションの事例のような、副次的オークションによる最終決着の仕方は、羽田空港のスロット配分をめぐる合同会議の難点が顕在化した場合には、参考になるだろう。

スロットの利用期限をあらかじめ適切に決めることも重要であり、利用年数を過度に長期に設定することは回避されるべきである。なぜならば、スロットの取引価格が高くなるため、小規模の航空会社などは予算制約を強く受けることになるからだ。さらに、一度のオークションによって長期の産業構造が規定されるので、二次取引が十分に整備されない限りは、航空産業の競争環境が保たれなくなり、効率性が損なわれる危険性があるので、要注意である¹⁰。

利用年限を事前に確定しておくことは、注意深く、厳格になされなければならない。それは、単に法的に定められるだけではだめである。利用年限を経過した後の再配分のされ方についても当初から明確にしておくことによって、法的に定められた利用期限が、実質的に拘束力のある利用期限として、入札者全員に認知されていることが必要だ。

⁹ Cramton (2009)などを参照せよ。副次的なオークションでは、アイテム間の補完性などから、周波数獲得をめぐる競争よりも配分を調整する機能の方が強く働いた。そのため、副次的なオークションにおける落札者の支払いは少額で済んだ。

¹⁰ 二次取引においては、スロット全体の配分が包括的に検討されない可能性がある。よって、単に二次取引を導入するだけで経済効率が高められることは、あまり期待できないことに注意されたい。二次取引導入については、あくまで組み合わせ入札を補助する役割だけを期待するに留めるべきだ。また、二次取引が存在することによって、新たな談合の可能性や投機的動機などを検討する必要もでてくる。Garratt and Tröger (2006), Garratt, Tröger, and Zheng (2009)などを参照せよ。

5. 組み合わせ入札設計における留意点

スロットが実際にどのように配分されるかは、組み合わせ入札のルールの様様に決定的に依存する。よって、以下に列記する留意点に注意して、ルール設計の仕方を注意深く検討しなければならない¹¹。

- (1) 各入札者には、入札に参加してスロットを購入する平等な機会が与えられているか。
- (2) 配分の効率性がどの程度達成されるか。
- (3) スロットの売り手、つまり政府、は十分な収入を獲得できるか。あるいは、落札者（航空会社）に過剰な支払負担を強いることになりはしないか。

多くの実際問題においては、売り手の収入を高めることが、効率性の達成と同等ないしはそれ以上に、オークションのルール設計上の重要目的とされる。実際、米国連邦通信委員会（F C C）による周波数オークションでは、政府の収入が予想以上に高額であったことが、オークション実施の成功を裏付ける事実であるとされた。

しかし、今回の発着枠スロット配分における主眼は、もっぱら配分の効率性にある。しかも、政府には、航空会社の支払い負担をなるべく軽減したいという意図もある。よって、上述したケースとは逆に、政府の収入があまり高額にならないようなルール設計を考えなければならない。「効率的配分を少ない支払い負担によって達成させる」ということが、今回の発着枠スロット配分における優先課題だといえる。本論文で、この課題は満足のいく形で解決されうることが主張される。

¹¹ Milgrom (2004, Chapters 1, 2, and 8), Cramton et al (2006, Chapters 1-6)などを参照せよ。

- (4) 入札者は、パッケージに対する評価を正しく表明するインセンティブをもつか。
- (5) オークションのルールが入札者にとってわかりやすいか。

組み合わせ入札は、専門的な知識によって緻密に設計される。そのため、入札者がその詳細を十分に理解できない事態がおこりうる。政府は、事前に、講習会を開き、入札を疑似経験させるなど、工夫されたルール説明を入札参加予定者に提供する必要がある。

しかし、より注意を払わなければならない点は、仮に入札者が仕組みの詳細を十分に理解していなくても、入札行動に混乱をきたすことがないようにルール設計することである。たとえば、入札のプロセスにおいて要求される質問に対して、他の入札者や売り手との戦略的な駆け引きを一切考えずに、ただ正直に解答することが、入札者にとって常に最適になるようにルール設計されるならば、仕組みの詳細を理解していない入札者も、安心して入札に参加できる。

配分や支払い額の確定には、コンピューターによる複雑な計算が必要になり、入札者の指値とはことなる金額を支払う事態が発生する。入札者が支払い額に対して不服を唱えることがないように、実際の支払い額は本人の指値以下に制限されるなどの配慮が必要だ。

もっとも、このような留意点は、本論文で紹介される設計案では、十分に考慮され、解消される。

- (6) 入札者に対して、過度に複雑な決定を要求していないか。たとえば、「全パッケージについて評価額を提示せよ」といった要求をしていないか。また、入札者が混乱なく意思決定できるように、情報提供や意思決定の簡素化などの配慮が図られているか。
- (7) 入札者のプライバシーが守られるか。たとえば、パッケージの絶対評

価額をそのまま公開するといった、オークショニアの決定には必ずしも必要とされない情報の開示をも、入札者に要求してはいないだろうか。

- (8) 公表リスク問題 (Exposure Problem) が発生しないか。つまり、入札者は、希望するパッケージの一部を先に購入してしまい、後で補完性のある残り部分を購入できなかった場合には損失を被ることになる。このような状況を回避できるか。
- (9) 入札者数に関して「単調性」がみたされるか。すなわち、入札者数が増えると、競争が高まって、落札者の支出と売り手の収入が増えることになるか。もしこのような単調性がみたされない場合は、入札者が偽名入札を使ったり、談合したりするインセンティブを持つようになり、経済厚生が損なわれる可能性があることが指摘されている¹²。
- (10) オークションのルール設計の仕方が不適切であるために、入札者の「事前の」投資や合併の決定にひずみがおきないだろうか。

本論文で紹介されるどのルールにおいても、留意点 (9) および (10) については、十分に解決されていない¹³。よって、オークションのルール設計上の工夫以外にも、偽名入札や談合の摘発などといった監視努力を政府が怠らないことは、ある程度必要とされる。

- (11) 落札者は予算制約を受けていないだろうか¹⁴。
- (12) 入札者（航空会社）の利益は、自身が購入するスロットの種類および

¹² たとえば、Cramton et al. (2006, Chapter 7)などを参照せよ。

¹³ Lammy (2010), Milgrom (2004, Chapter 2), Cramton et al (2006, Chapter 1)などを参照せよ。

¹⁴ Benoit and Krishna (2001)などを参照せよ。

支払い金額だけでなく、他の入札者がどのスロットを購入するかにも依存しうる。この相互依存をどの程度考慮すべきか。

入札者は、お互いに、オークションのみならず、オークション終了後も、同じ航空産業でのライバル同士である。よって、産業組織への影響を通じての相互依存は、ある程度は考慮すべきかもしれない。発着枠配分問題に関連して、このような相互依存が、入札者の行動や効率性にどの程度、どのように、影響するかは、検討に値するが、本論文ではこれ以上は踏み込まない。なぜならば、それについては様々な可能性が考えられ、事前にその効果を特定しにくいからである。

(13) オークションによって獲得される政府の収入は、どのような用途に使われるか。

多くのオークション研究においては、売り手の収入は、オークションに直接関連しない用途に使用されることが暗黙の前提とされる。しかし、今回のスロット配分では、この前提は成り立たない。よって、留意点(13)は、慎重に検討される必要がある。

日本政府は、羽田空港の管理運営のための必要経費、および新空港建設費の一部を、顧客一人当たり課される「空港使用料」から捻出している。よって、航空会社が顧客一人当たりサービスを提供するための単位費用は、空港使用料分だけ高くなっている。今日、日本政府は、必要経費、建設費、およびそれらの財源のあり方について、見直しを迫られている。たとえば、新空港建設は今後あまり計画されないとし、建設費を削減するなどして空港使用料を引き下げ、航空会社の負担を軽くし、その結果として、旅客運賃を引き下げる政策が検討されている。

今回のスロット配分に関連して検討されていることは、入札によって獲得される政府の収入を必要経費の財源に充てることによって、空港使用料をさら

に引き下げるということである。羽田空港の管理運営のための必要経費は、顧客一人当たりのサービス提供に追加的に必要となる「可変費用」と、サービスの数量とは無関係に必要とされる「固定費用」とに大別される。空港使用料を可変費用の財源にあてることは、費用負担を内部化することになるので、産業の効率化に一定の効果がある。一方、固定費用については、このような内部化ができないので、効率化を妨げないように、空港使用料ではなく、航空会社がサービスを制限することで負担の回収を図る余地のない「埋没費用 (Sunk Cost)」の性質をもつ別の財源を、新たに考える必要がある。

入札収入は、このような埋没費用の性質をもつため、固定費用の財源にあてられることが極めて適切である。また、航空産業はそもそも寡占市場であるから、入札収入を、固定費用のみならず可変費用の財源にもあてることで旅客運賃をさらに引き下げることによって、非効率的な寡占の弊害を緩和することも、政策的に検討されるべきであろう。

入札収入を空港使用料の削減に役立てるこのようなやり方は、航空会社の収益の確保に関してもメリットがある。新規発着枠を無償で割り当てる配分方法と比較しても、航空会社の支払い負担の総額は、同じであるか、あるいは実質的には軽減される可能性がある。

6. 組み合わせ入札の様々な設計案

本節は、過去の研究において考案された組み合わせ入札の中で、今回のスロット配分に深く関連すると思われる基本的な設計案をいくつか紹介する。

6.1. 全パッケージの評価の直接表明 (Direct Revelation)

各入札者に、全パッケージについての価値評価を一度に同時に表明することを要求する三つの組み合わせ入札ルール、すなわち「VCG メカニズム (Vickery-Clarke-Groves Mechanism)」、「一位価格組み合わせ入札 (First-Price Package Auction)」、「コア選択オークション (Core-Selecting Auction)」を紹介する。三つのルールに共通して、各入札者は、全てのパッケージについての絶対評価額を、オークションに、同時に申告する。オークションは、申告された評価額の総和が最大になるように、各入札者に1パッケージを配分する組み合わせ、すなわち「申告された評価にもとづく効率的配分」を計算し、決定する。三つのルールには、落札者の支払い額の確定の仕方について、本質的な違いがある。

問題点として、パッケージ全体は膨大な数であるため、入札者にその全ての価値を一度に査定させるのは、複雑すぎて非現実的であることが挙げられる。たとえば、朝、昼、晩の時間帯および発着の別ごとにアイテムを定義し、各アイテムに9単位のスロットがあるとしよう。この場合、たった6種類のアイテムなのに、入札者には、総数 $10^6 - 1 = 999999$ ものパッケージの価値を一度に査定することが要求される。

各入札者にとってどのパッケージが購入対象として相対的に重要かを事前に見極めることも、容易でない作業である。その判断は、他の入札者がどのパッケージを希望しているかにも依存する。厳密には、他の入札者の評価の表明の仕方をも事前知っておかなければならない。よって、どのパッケージを優

先的に査定するかを事前に判断することは、入札者にとって負担である。

さらに、これらルールでは、配分と支払い額がどのように決定されたかを入札者に立証するため、表明された評価の全内容が、入札者全員にそのまま公開されることが暗黙の前提とされる。すなわち、入札者のプライバシーを保護するためにどのような設計上の工夫が必要かについて、明示的に考慮されていない。

このように、全パッケージの評価を直接表明するルールは、意思決定の複雑性およびプライバシーに関する問題点を抱えている。しかし、理論的にはきわめて重要な性質を持つので、実践的な設計の仕方の方向性を決める際の、すぐれたベンチマークになる。第 6.2 節以降で、複雑性やプライバシーに関する問題点がいかに克服されるかが、具体的に検討される。

6.1.1. VCG メカニズム (Vickery-Clarke-Groves Mechanism)

「VCG メカニズム」においては、各入札者の支払金額が以下のように確定される¹⁵。各入札者について、その入札者を除いた残りの入札者の申告をもとに、残りの入札者の評価額の総和の最大化（残りの入札者だけを考慮した効率的配分の評価額の総和）を計算する。この金額と、実際の配分がもたらす残りの入札者の評価額の総和との差額分を、その入札者の支払金額に確定する。すなわち、入札者がオークションに参加することによって、他の入札者がこうむる損失分を、支払い額と一致させる、という確定の仕方である。

VCG メカニズムの最も重要な特性は、各入札者にとって、正直に全パッケージに対する評価額を申告することが「優位戦略」（他の入札者がどのような申告をしようとも、当該入札者にとって最適になる戦略）になることである。したがって、VCG メカニズムでは、効率的配分の達成と入札者のインセンティ

¹⁵ VCG メカニズムは、Vickrey (1961), Clarke (1971), Groves (1973)によって考案された。詳しくは Milgrom (2004, Chapter 2), Cramton, Shoham, and Steinberg (2006, Chapter 1)などを参照せよ。

ブの両方が理論的に解決される¹⁶。

VCGメカニズムでは、落札者の支払い額は低く抑えられ、売り手の収入は控えめになる。よって、入札収入を高めたい場合には、VCGメカニズムは不向きである。しかし、今回のように、入札収入を低くしたい場合には、VCGメカニズムは好都合である。

補完関係が含まれる場合、VCGメカニズムがもたらす効率的配分は一般に「コア配分¹⁷」にならない。つまり、一部の入札者は、結託して、別の配分の仕方とより高めの支払いとを売り手に提案することによって、さらに利得を高める余地が残っている状態にある。これは、VCGメカニズムのもたらす収入が過度に低く抑えられることが原因となっておこることである。このように、VCGメカニズムは、入札者によりよいパッケージを獲得できるチャンスをまだ残したまま、配分を最終確定しているので、公平性に欠ける設計の仕方であるともいえる。

一方、代替関係のみの場合は、VCGメカニズムのもたらす配分はコアになるので、このような公平性の問題はない。しかも、コアの中で落札者の支払い額が一番低くなる、すなわち「入札者最適」(Bidder-Optimal)な、コア配分が達成される。「公平性を欠くことのない範囲内で入札者の支払い負担を最小にする」という、今回のスロット配分の趣旨にうってつけのこの性質は、後述する「コア選択メカニズム」においても確認できる。

VCGメカニズムは、効率的配分が優位戦略によって達成されるという好都合な性質をもつ唯一無二の設計の仕方である。しかし、VCGメカニズムが実際に利用された事例は少ない。その最大の理由は、売り手の収入が低く抑えられるため、収入を高めたいと希望する売り手には、このメカニズムを採用する動機がないからである。

¹⁶ もっとも、優位戦略以外に、非効率的配分をもたらす複数の「ナッシュ均衡」が存在している。たとえば、ある特定の入札者が取引財全体からなるパッケージに対して異常に高額の手当を申し、他の入札者はどのパッケージにもゼロ円を申告するならば、それはナッシュ均衡になる。この場合、高額の手当をした入札者に取引財全部が落札されるが、その支払い額はゼロ円である。

¹⁷ ここでの配分の意味は、パッケージの配分だけでなく支払いをも含む。

しかし、今回のスロット配分では、売り手である政府は高い収入を希望していない。むしろ、必要経費の財源さえ確保できれば、航空会社の支払い負担をむしろ軽減したいという意図が強い。したがって、今回のスロット配分においては、通常のケースよりもはるかに、VCGメカニズムの適用妥当性が高いと期待される。

6.1.2. 一位価格組み合わせ入札 (First-Price Package Auction)

「一位価格組み合わせ入札」では、各落札者の支払金額は、落札したパッケージに対して本人が申告した評価額と同額に設定される¹⁸。そのため、一位価格組み合わせ入札は、申告した評価にもとづくコア配分を常に達成することになる。

入札者は、申告した評価額をそのまま支払うことになる。よって、もし正直に申告するならば、入札者はたとえ希望するパッケージを落札できても、売り手にその便益を全て取られてしまうことになる。そのため、何らかのパッケージを購入する可能性のある入札者にとって、正直に申告することは決して得策にならない。必然的に、入札者は、真の評価値よりも低い申告をすることによって、自身の利益を確保しようとするインセンティブをもつ。このように、一位価格組み合わせ入札においては、入札者は正直に表明するインセンティブを持つことはなく、優位戦略も存在しない。

優位戦略は存在しないものの、ナッシュ均衡は複数存在する。その中には、売り手の収入を低く抑えつつ、効率的配分を達成させる好都合な性質のものがある。具体的には、全パッケージについて一定金額を一律差し引いた評価額を申告する「切り詰め (Truncation) ナッシュ均衡」が存在する。それらは、結果的に、「真の評価にもとづく効率性」を達成し、「真の評価にもとづくコア配分」を実現することが知られている。この際、落札者の利益は、自身が申告の際に

¹⁸ Bernheim and Whinston (1986), Milgrom (2004, Chapter 8)などを参照せよ。

差し引いた一定金額に一致する。

さらに重要なことに、切り詰めナッシュ均衡は、コアの中で入札者の支払負担が最小になる、「入札者最適」(Bidder-Optimal) なコア配分を実現する。代替財のみである場合、この切り詰めナッシュ均衡における支払い額は、VCGメカニズムの支払い額と一致する。補完関係が含まれる場合には、入札者最適ではあるものの、VCGメカニズムより支払い額が高くなる。総じて、一位価格組み合わせ入札は、切り詰めナッシュ均衡がプレイされることを前提とすれば、入札者の負担をコアの範囲内で最も軽減できるため、今回のスロット配分の趣旨と合致するといえる。

しかし、一位価格組み合わせ入札は、正直に申告をすることが、利得ゼロという、入札者にとって最悪の事態を招くように設計されている。よって、入札者は、どの程度嘘をつくのが得かを判断することに多くのエネルギーを費やさなければならない。たとえば、切り詰め額を確定するために、他の入札者がどのような申告をするかについて予想を立てなければならない。したがって、一位価格組み合わせ入札は、入札者に大きな意思決定の負荷を掛けるため、あまり実用には向かない。もっとも、この問題点は、次節で紹介される「コア選択メカニズム」において発展的に解消される。

6.1.3. コア選択メカニズム (Core-Selecting Auction)

一位価格組み合わせ入札は、申告した評価にもとづくコア配分がかならず達成されること、切り詰めナッシュ均衡が存在し、それは真の評価にもとづく入札者最適なコア配分を達成すること、の 2 点において好都合な性質をもつ。しかし、その一方で、一位価格組み合わせ入札には、入札者にとって正直に申告することが最も不利になり、意思決定の負荷が高い、という欠点がある。

「コア選択メカニズム」は、一位価格組み合わせ入札を拡張、修正することによって、その利点を保持しつつ、意思決定の負荷に関する欠点を克服する

設計案である¹⁹。コア選択メカニズムは、オークションニアが、入札者によって申告された評価をもとに、何らかのコア配分を計算し確定する入札ルール of 総称である。

オークションニアは、「申告された評価にもとづく入札者最適な」コア配分を選択するようにルールを設計することによって、入札者の支払い負担を、常に低く抑えることができる。そのため、入札者は、仮に正直に申告したとしても、利得ゼロのような不利な状況に追い込まれないですむので、意思決定の負荷に関する一位価格組み合わせ入札の欠点が克服される。

一位価格組み合わせ入札と同様、コア選択メカニズムには、優位戦略が一般に存在しない（代替関係のみの場合には、VCGメカニズムが、コア選択メカニズムの一種になる）。その一方で、真の評価にもとづく効率的で入札者最適なコア配分を実現する、切り詰めナッシュ均衡が一般に存在する。適切に設計されたコア選択メカニズムは、切り詰めナッシュ均衡がプレイされることを前提とすれば、入札者の負担をコアの範囲内で最も軽減でき、しかも正直な申告による損失に関わる意思決定上の負荷も回避するので、VCGメカニズムと並んで、今回のスロット配分の趣旨とよく合致するものといえよう。

¹⁹ Day and Raghavan (2007), Day and Milgrom (2008), Day and Cramton (2008), Erdil and Klemperer (2009), Goeree and Lien (2009), Klemperer (2010), Lamy (2010), Sano (2010)などを参照せよ。

6.2. 動学的入札 (Dynamical Auctions)

第 6.1 節のように、全パッケージの評価を一度に表明することを入札者に要求することは、実際の入札者の意思決定能力が限定的であるため、複雑にすぎ、また、プライバシーに対する配慮も欠いている。以下では、入札のプロセスにおいて、時間の経過とともに入札者が情報を部分的に表明していく「動学的入札」を紹介する。そして、入札者が意思決定しやすいように、あるいは配分と支払い決定の立証がしやすいように、設計上の工夫がなされることによって、複雑性やプライバシーの問題を緩和する 4 つの設計の提案、すなわち「同時せり上げ入札 (Simultaneous Ascending Auction)」、「時計入札 (Clock Auction)」、「せり上げパッケージ入札 (Ascending Package Auction)」、「せり上げ代理入札 (Ascending Proxy Auction)」を紹介する²⁰。

6.2.1. 同時せり上げ入札 (Simultaneous Ascending Auction)

「同時せり上げ入札」では、パッケージではなく、各アイテムが、個別に同時に入札される²¹。各入札者は、どのアイテムに対しても、いつでも自由に指値できる。指値の最高額を提示した入札者は、そのアイテムについての「暫定勝者」となる。他の入札者がより高い指値をすると、暫定勝者が入れ替わる。新たな指値が全てのアイテムについてなくなると、同時せり上げ入札は終了し、終了時点での暫定勝者が各アイテムの落札者となり、本人の提示した最高指値が支払われる。

同時せり上げ入札では、入札者は時間を通じて全アイテムの指値を観察できる点において、入札者に対する意思決定上の配慮が図られている。また、指値がせり上げ形式であるため、落札額以上の絶対評価額について情報を開示せ

²⁰ Cramton et al (2006, Chapters 2-5)を参照せよ。

²¹ Cramton et al (2006, Chapter 4)を参照せよ。この入札ルールは、1994 年の米国 F C C による周波数オークションに利用され、高収入をもたらす結果となった。

ずに済むので、入札者のプライバシーが守られる。

代替財のみの場合、入札者が自己の評価に正直に指値をし、指値の上昇幅を小さく制限することを前提とするならば、同時せり上げ入札における指値は「競争均衡」に収束し、効率的なコア配分が達成される²²。ただし、それは入札者最適なコア配分になるとは限らず、入札者の支払い負担が重くなる可能性も考えられる。

補完性が含まれる場合、競争均衡は、一般的には、入札者ごとに差別的で非線形な価格体系になることが知られている²³。よって、たとえ入札者が自己の評価に正直に指値をし、指値の上昇幅を小さく制限したとしても、同時せり上げ入札では競争均衡に収束せず、効率的配分は達成されない。

入札者は、自己の評価に正直に指値するインセンティブを持たないという大きな問題点がある。支払負担を軽くしたいため、入札者は、指値を控えて需要を低く表明するインセンティブをもつ傾向にある。よって、このような入札者のインセンティブを考慮するならば、たとえ代替財のみ場合であっても、同時せり上げ入札は効率的配分を達成できない。

さらに重要な問題点は、補完性のある場合に、公表リスク問題（Exposure Problem）が発生することである。入札者が、あるアイテムについて早くに暫定勝者となり、そのまま落札者になった場合に購入を取り消すことができないならば、この問題は深刻化する。よって、同時せり上げ入札を実際に利用する際には、購入の取り消しができるように修正することが必要になる²⁴。

入札者は、私的情報を他の入札者になるべく伝えないようにするため、わざと指値を遅らせようとするインセンティブを持つ可能性もある。そのため、入札が円滑に進まず、非常に時間がかかる恐れがあるので、「行動ルール（Activity Rule）」と呼ばれる、指値の仕方に制限を課す何らかの工夫が必要とされる。

²² Kelso and Crawford (1982), Gul and Stacchetti (1999, 2000), Milgrom (2000)などを参照せよ。

²³ Cramton et al (2006, Chapter 2)などを参照せよ。

²⁴ 米国連邦通信委員会（FCC）の周波数オークションでは、同時せり上げ入札が採用されたが、購入の取り消しが回数に制限を課して認められた。Milgrom (2004, Chapter 1)などを参照せよ。

同時せり上げ入札は、パッケージではなく個別のアイテムに対して指値をするので、厳密には組み合わせ入札の範疇に入らない。

6.2.2. 時計入札 (Clock Auction)

「時計入札」は、ワルラスのタトマンをせり上げ入札に応用した設計案である²⁵。時計入札では、指値をするのは入札者ではなく、オークショニアである。

オークショニアは、アイテムごとに、単位価格を、まず最低価格（たとえば 1 円）から提示して、徐々にせり上げていく。入札者は、提示された単位価格ベクトルに対して、1 パッケージを需要として表明する。各アイテムについて、オークショニアは、超過需要になっている場合には、そのアイテムの価格を微小金額（たとえば 1 円）せり上げる。それ以外のアイテムの価格は不変とする。このように価格をせり上げて、全アイテムについて超過需要がなくなると、オークションは終了する。各入札者は、終了時に需要として表明したパッケージを、終了時の各アイテムの単位価格をもとに計算された支払い額で購入する。

時計入札では、同時せり上げ入札とはことなり、入札者が、個別アイテムでなく、パッケージに対して需要を表明する。また、公表リスク問題 (Exposure Problem) は自動的に回避される。なぜならば、提示価格に対して随時購入したいパッケージを変更できるので、いつでも過去の注文をキャンセルできるからである。

入札者の意思決定が、オークショニアの提示する価格に対する需要を表明することに限定されることによって、入札者の意思決定はかなり簡素化される。この点において、複雑性の問題を緩和するための設計上の工夫がなされているといえる。また、せり上げ形式であるため、落札額以上の絶対評価額について

²⁵ 単一アイテム複数単位における時計入札については、Milgrom (2004, Chapter 7)を参照せよ。複数アイテムにおける時計入札については、Ausubel and Milgrom (2002), Porter et al (2003), Cramton et al (2006, Chapter 5), Kagel et al (2010), Brunner et al (2010)などを参照せよ。

は情報を開示せずに済むので、入札者のプライバシーが守られている。

代替財のみの場合、入札者がプライステーカーとして行動するならば、時計入札におけるオークションの提示価格ベクトルは競争均衡に収束し、効率的なコア配分が達成される。しかし、補完性がある場合には、たとえ入札者がプライステーカーであっても、競争均衡に収束せず、効率的配分は達成されない。また、超過供給（売れ残り）が発生する可能性もある。

時計入札は、一般的に、入札者最適なコア配分を達成するとは限らないので、入札者の支払い負担を軽くしたいという今回のスロット配分の目的と合致するとは言いがたい。後述するように、実験研究の結果として、時計入札では、他の入札ルールと比較して、入札者の支払い負担が強まることが報告されている。

また、入札者は、支払い負担を軽くしたいため、プライステーカーとして行動する場合よりも低い需要を表明するインセンティブを持つ傾向にある。表明する需要を低くすることによって、価格の上昇が抑制される結果、配分の効率性が達成できなくなる。よって、このような入札者のインセンティブを考慮するならば、仮に代替財のみであっても、時計入札は効率的配分を達成しないことになる。

同時せり上げ入札と同様、時計入札でも、オークションを円滑に進めるための、何らかの行動ルールを導入する必要がある。たとえば、パッケージのサイズを拡大してはいけない、時間を通じて矛盾するパッケージを需要表明してはいけない（顕示選好ルール）、などの行動ルールの導入を検討する必要がある。

6.2.3. せり上げパッケージ入札 (Ascending Package Auction)

同時せり上げ入札では、入札者は個別のアイテムに対してのみ指値が認められており、パッケージ自体には指値できなかった。「せり上げパッケージ入札」は、各入札者が、どのパッケージに対しても、自由に指値ができるように、同

時せり上げ入札を修正したものである²⁶。

オークションニアは、指値があるたびに、指値の総和を最大にするパッケージ配分を計算し、暫定勝者をその都度決定する。このステップを、新たな指値がなくなるまで続けることによって、入札は終了する。終了時点での暫定勝者が落札者となり、本人の提示した最高指値がそのまま支払われる。

パッケージに対して指値をすることが認められることで、せり上げパッケージ入札は効率性を達成できると考えられる。このことは、実験結果によっても確かめられている²⁷。

しかし、せり上げパッケージ入札は、入札者にもオークションニアにも複雑な作業を強いるものであり、また、入札終了までかなりの時間を費やすと予想されるので、これ自体はあまりメリットのあるルールとは言い難い。せり上げパッケージ入札のその他の性質については、次節で紹介する「せり上げ代理入札」とほぼ共通するので、省略する。

6.2.4. せり上げ代理入札 (Ascending Proxy Auction)

「せり上げ代理入札」は、各入札者に、全パッケージについての評価を同時に表明することを要求する。よって、せり上げ代理入札は、第 6.1.節で紹介した、「全パッケージの評価の直接表明」による入札ルールの特長に属する設計案であり、意思決定における複雑性の問題は未解決のままである。

せり上げ代理入札の有利な点は、配分と支払いの確定が、入札者の価値表明の全容を直接公開しなくても、その確定に至るまでの入札のプロセスだけを公開することによって立証できることにある。配分と支払いの確定の立証に必要な最低限の情報のみの公開で済むので、せり上げ代理入札では入札者のプライバシーが守られる²⁸。

²⁶ Parkes and Ungar (2000), Ausubel and Milgrom (2002)などを参照せよ。

²⁷ Kagel et al (2010), Brunner et al (2010) などを参照せよ。

²⁸ Ausubel and Milgrom (2002), Milgrom (2004, Chapter 8), Cramton, Shoham, and Steinberg

各入札者は、全パッケージに対する評価額を、プロクシー（代理入札者）として入力する。各プロクシーは、せり上げパッケージ入札に、入札者の代理として、参加する。プロクシーは、入力された評価に忠実に、パッケージに対する指値をおこなう。その結果、プロクシーに入力された評価にもとづく効率的配分が達成される。

せり上げ代理入札の重要な特性は、「プロクシーにもとづくコア配分」が常に達成されることである。つまり、せり上げ代理入札は、コア選択入札の一種とみなされる。したがって、第 6.1.3 節の説明から、真の評価にもとづく効率的で入札者最適なコア配分を実現する、切り詰めナッシュ均衡が存在することになる。せり上げ代理入札は、第 6.1.3 節で説明されたコア選択メカニズムの利点を、プライバシーを侵害することなく保持することになるので、今回のスロット配分問題に適用することを検討するに値するルールといえる。

近年、Brunner et al (2010)や Kagel et al (2010)などの実験研究において、せり上げ代理入札は、今回のスロット配分の目的にふさわしい側面をもつことが指摘されている。時計入札とせり上げ代理入札を比較した場合、せり上げ代理入札の方が効率的であり、しかも落札者の支払い負担が軽いという実験結果が得られている。

もっとも、せり上げ代理入札では、全パッケージについての価値評価を同時に表明することによる複雑性の問題は未解決のままである。

7. 高度な入札設計

第 6 章で紹介した設計案は、組み合わせ入札を設計する際の基本的な概念を示したものである。これらの設計案には固有の問題点があるため、今回のロット配分問題にそのままの形では適用できない。したがって、問題点を緩和するための、何らかの設計上の追加的工夫が必要である。

この事情を踏まえて、本章では、より高度な入札設計の仕方を示す三つの提案、すなわち「時計代理入札 (Clock-Proxy Auction)」、「価格基盤型組み合わせ入札 (Price-Based Combinatorial Auction)」、「繰り返し代理入札 (Iterative Proxy Auction)」を紹介する。これらは、暫定的ではあるが、設計の細部を詰めていく際の方向性を示してくれる。

7.1. 時計代理入札 (Clock-Proxy Auction)

第 6.2.2 節で説明された時計入札には、オークションの提示価格に対する需要表明によって、入札者の意思決定を簡素化し、意思決定の複雑性を緩和する工夫が図られている利点がある。しかし、時計入札には、配分効率性の達成が保証されない、入札者の支払い負担が高めになる、といった欠点がある。

一方、第 6.2.4 節で説明されたせり上げ代理入札は、配分効率性の達成、入札者の支払い負担軽減の両面においてすぐれた利点をもつ。しかし、せり上げ代理入札では、意思決定の複雑性を緩和する工夫は図られていない。

「時計代理入札」は、時計入札と代理入札の双方の利点を有効に利用するために考案された設計方法である。時計代理入札では、最初に時計入札がおこなわれ、その結果が観察されてから、次にせり上げ代理入札がおこなわれる。そして、最終的な配分と支払いは、せり上げ代理入札の結果だけで確定される²⁹。

²⁹ Cramton et al (2006, Chapter 5), Cramton (2008), Jewitt and Li (2008), Smith (2004)などを参照せよ。

このように、時計代理入札では、せり上げ代理入札が配分と支払い額を確定するので、配分の効率性と入札者の支払い負担の軽減が共に達成されると期待される。また、事前に時計入札をおこなうので、時計入札の経過と結果が観察でき、その情報を利用できるため、せり上げ代理入札の欠点である意思決定の複雑性が克服できると期待される。

時計代理入札は、2008 年の英国の周波数オークションに利用された。特筆すべきは、時計入札の段階では、アイテムの価格がかなり高く上昇したにもかかわらず、せり上げ代理入札の段階で入札者の支払い額は劇的に軽減された、ということである。

もともと、配分と支払い額がせり上げ代理入札だけで決まり、時計入札の結果が配分と支払いの確定に無関係なままならば、入札者は、時計入札の段階においては真剣に需要表明するインセンティブをもたないことになる。このままでは、最初の時計入札のステージは、実質的になんら情報機能をはたさない。

このような事情から、時計代理入札を実用化するためには、時計入札と代理入札とを関連付けるための何らかの行動ルール（顕示選好行動ルール）を適切に設定することが重要になる。たとえば、上述した周波数オークションにおいては、行動ルールの設定の仕方に問題があったのではないかと指摘されている³⁰。

³⁰ Jewitt and Li (2008), Cramton (2008, 2009)を参照せよ。

7.2. 価格基盤型組み合わせ入札 (Price-Based Combinatorial Auction)

時計代理入札においては、もし時計入札が最終的な配分と支払額の確定に無関係に設計されるならば、入札者が真剣に時計入札をプレイするインセンティブがなくなり、意思決定の複雑性を緩和するという時計入札の利点が十分に生かされなくなるため、問題である。本節では、この問題点を発展的に解消するための設計方法の方向性を示す、「価格基盤型組み合わせ入札 (Price-Based Combinatorial Auction)」を紹介する³¹。

繰り返し代理入札のように、全パッケージを一度に査定することは、入札者にとって複雑すぎる作業である。そこで、オークショニアは、意思決定を簡素化するため、時計入札と類似の仕方で、入札者に幾度か価格提示をして、入札者に需要表明させることで、入札者の各パッケージに対する評価についての部分情報、すなわち「価格基盤型情報」を収集する。

オークショニアは、このようにして収集された価格基盤型情報を精査して、顕示選好行動ルールに照らして、この情報と最適反応行動とが整合的である「全パッケージに対する評価パターン」を全て算出する。価格基盤型情報はあくまで部分的なものであるから、評価パターンを一意に特定することはできないが、その範囲についてはかなりの程度限定できる。重要な点は、オークショニアに必要な情報は、個々のパッケージの絶対評価額ではなく、「パッケージ間の相対評価」についてだけだということである。

たとえば、二人の入札者 A、B が、2 種類 1 単位ずつのアイテム 1、2 の時計入札に参加する。入札者は、どちらかのアイテムだけを購入したいと希望している。オークショニアは、どちらのアイテムについても 0 円をまず指値し、二人ともにアイテム 1 を需要表明した。オークショニアはアイテム 1 の価格のみを連続的にせり上げていく。アイテム 1 の価格が 10 円に達した時、入札者 A

³¹ Ausubel (2006), Parkes and Ungar (2000), Cramton et al (2006, Chapter 2), Mishra and Parkes (2007), Matsushima (2010)などを参照せよ。本節における概念の定義は、Matsushima (2019)に依拠している。

だけが需要をアイテム 1 から 2 に変更した。

オークショニアは、この観察結果から、入札者 A はアイテム 1 をアイテム 2 よりも丁度 10 円高く相対的に評価していることを知ることができる。また、オークショニアは、入札者 B が 10 円を越える金額分アイテム 1 をアイテム 2 よりも高く評価していることも知ることができる。これらの相対評価についての情報だけで、オークショニアは、入札者 A にアイテム 1、入札者 B にアイテム 2 を配分することが、もっとも効率的であることを判断できる。アイテムを効率的に配分するには、このように、相対評価についての部分情報だけで事足りるのである³²。

価格基盤型情報が十分に収集できず、評価パターンの範囲の限定が不十分な場合には、入札者にパッケージの一部についての評価を追加的にプロクシー入力させることで、情報の不足分を補うやり方が考えられる。すなわち、時計代理入札に類似した、何らかの多段階入札ルールを採用することが検討される。

この際に重要となる点は、入札者は、顕示選好行動ルールに従って、限定された範囲内の評価パターンと整合的になるように、プロクシー入力しなければならないことである。先の例では、たとえば、入札者 A は、アイテム 1 と 2 の相対評価が 10 円以下になるプロクシー入力に制約される。

このような制約によって、価格基盤型情報と配分確定とが適切に関連付けられるため、時計代理入札において指摘されたような時計入札段階における入札者のインセンティブ問題は解消される。価格基盤型情報、および入札者の追加入力、によって、入札者の全パッケージに対する評価パターンについて十分な情報が収集できるならば、オークショニアは、たとえば VCG メカニズムやコア選択メカニズムと同じ配分と支払いを実現させることができる。オークショニアが VCG メカニズムを実施するならば、入札者にとってプライステーカーとして需要表明することが優位戦略になる。また、オークショニアがコア選

³² この場合、入札者 A、B は、0 円と 10 円を各々売り手に支払うことになる。この支払額は、VCG メカニズムが定める額に一致する。重要な点は、この額はあくまで相対評価だけで確定されていることである。よって、仮に入札者 B がアイテム 1 を 1 億円に評価していても、10 円の支払いには変更がない。

択メカニズムを実施するならば、入札者最適なコア配分をもたらす切り詰めナッシュ均衡が存在し、入札者は、真の相対評価に忠実に需要表明するインセンティブをもつ。

入札者の追加入力なしで、つまり価格基盤型情報だけで、VCGメカニズムやコア選択メカニズムが実行できるかどうかについては、Ausubel (2006) や Mishra and Parkes (2007)などによる重要な研究成果があり、時計入札を拡張した、価格基盤型情報収集の新しい仕組みが考案されている。

Matsushima (2010)は、価格基盤型組み合わせ入札を分析するための一般的なフレームワークを示して、任意の価格基盤型情報収集の仕組みが、入札者の追加入力なしで、つまり価格基盤型情報だけで、VCGメカニズムを達成させることができるかどうかを判定するための一般的な方法を、以下のように考案した。

まず、観察された価格基盤型情報と整合的な評価パターンの中で、各パッケージの評価額が相対的にも絶対的にも「一番低い」値になる評価パターンを、「代表的評価パターン (Representative Valuation Function)」と定義し、それを算出する。次に、代表的評価パターンにもとづく効率的配分、および、一人を除いた残りの入札者についての効率的配分を、各々算出する。

次に、オークションは、算出されたこれらの配分を構成するパッケージ全てが、価格基盤型情報を収集するプロセスにおいて、実際に入札者の需要として表明されているかどうかをチェックする。これら全てのパッケージについて、実際に需要表明されていることが確認されれば、そしてその時にのみ、オークションはVCGメカニズムを実行することが可能になる。

Matsushima (2010) によるこの判定方法の基本概念は、VCGメカニズムに限らず、コア選択メカニズムやその他のインセンティブ・メカニズム全般についても、価格基盤情報の制約下で実行可能かどうかを判定する方法として、広く利用することができる。

7.3. 繰り返し代理入札 (Iterative Proxy Auction)

せり上げ代理入札の欠点は、入札者が全パッケージに対する評価を一度にするという複雑性にある。価格基盤型組み合わせ入札は、この欠点をかなり克服できるものの、一般的には入札者による追加入力を必要とするため、それだけでは完全な解決策といえない。

「繰り返し代理入札」は、まず、入札者に、重要と思われるパッケージを、限定された数量だけ選別させ、それらのパッケージについての評価のみをプロクシー入力させ、他のパッケージの評価をゼロに設定した上で、せり上げ代理入札（あるいは VCG メカニズム）を実行する。その結果確定されるパッケージ配分と支払い額が公表された後、もし入札者のだれかが別のパッケージについても追加入力したい場合には、限られた数量の範囲内でその追加入力を認め、再度せり上げ代理入札（ないしは VCG メカニズム）を実行する。以降、追加入力を希望する入札者がいなくなるまで入札を繰り返す。

繰り返し代理入札は、価格基盤型組み合わせ入札とあわせて施行されることが望ましい。つまり、価格基盤型情報の収集後、必要情報が十分に集まらなかった場合には、入札者に追加入力を認める。その際、入札者は、価格基盤型情報を観察できるので、追加入力すべき重要度の高いパッケージを、よりの確に割り出すことができる。

入札者は、せり上げ代理入札（ないしは VCG メカニズム）によって暫定的に確定されたパッケージ配分と支払い額を観察した後、まだパッケージの中で、重要度が高く購入の可能性が高いものが存在するかどうかを再検討する。もしそのようなパッケージが見つければ、さらに追加入力して、せり上げ代理入札（ないしは VCG メカニズム）を繰り返す。このように、繰り返し代理入札は、追加入力が制限されることで入札者の購入機会が奪われることがないように、入札者が妥協できるまで入札の繰り返しを認める。

ここで注意すべき点は、入札者は、購入の可能性が低いと判断されるパッケージについては、その評価を追加入力しない可能性があることである。そ

の場合、競争的な価格付けが抑制されるので、他の落札者の支払い額は低く抑えられる傾向にある。このことは、今回のスロット配分において入札者の支払い負担を軽減したいという意図と合致している。

しかしながら、このことは、一方で、価格基盤型情報収集のプロセスにおいて、入札者から、プライステーカーとして正しく需要表明するインセンティブを奪うことにもなる。入札者は、本来よりも多めに需要表明することによって、スロットを過剰に囲い込み、繰り返し代理入札の段階で他の入札者が追加入力を控える結果、安価で大量のスロットを獲得できる可能性があるので、注意が必要だ。

8. まとめ：羽田空港スロット配分の解決に向けて

羽田空港の国内線定期便のための新規発着枠は、航空会社に平等な参加機会が提供され、組み合わせ入札ルールが適切に設計されることによって、効率的に配分されなければならない。その際、航空会社の支払いが高額になることは回避されなければならない。本論文は、効率性と支払い負担軽減という二つの目的が、入札者のインセンティブ、プライバシー保護、および複雑性の回避と両立した形で達成できるように、いかに組み合わせ入札ルールを設計すればいいかについての、解決の方向性を示した。

VCGメカニズム、入札者最適コア選択メカニズムといった、直接表明型入札の基本モデルのいくつかは、効率性と支払い負担軽減を達成するすぐれたインセンティブ・メカニズムではあるが、プライバシーと複雑性についての配慮に欠けている。せり上げ代理入札は、プライバシー保護を強化することで、基本モデルの欠点をおぎなうものの、複雑性については未解決のままである。

時計入札に代表される価格基盤型の組み合わせ入札方式は、オークションアが提示する価格に対して、入札者に需要表明させることによって、入札者の意思決定を簡素化する工夫がなされており、複雑性の問題をかなり克服してくれる。また、オークションアに価格提示を代行させ、いくつかの行動ルールを入札者に課することによって、入札にかかる時間を大幅に短縮することができる。

繰り返し代理入札は、入札者に限られた数のパッケージを選ばせ、それらの評価についてのみプロクシー入力させることで、意思決定の簡素化を、価格基盤型とは別の仕方でさらに徹底させる。繰り返し代理入札では、入札者が追加入力を希望する限り、代理入札の繰り返しが認められることによって、簡素化のために入札者のパッケージ購入機会が制限されないように配慮されている。

これらの入札ルールを発展的に統合することによって、羽田空港発着枠配分にふさわしい入札ルールを、以下のように設計することができる。まず、時

計入札などによる価格基盤型情報収集をおこない、実際の入札者のパッケージに対する評価パターンがどの範囲にあるかを割り出す。次に、割り出された評価パターンの範囲と整合的であることを制約条件として、入札者に追加のプロクシー入力を認め、繰り返し代理入札を施行する。オークショニアは、入力されたプロクシーをもとに、VCG メカニズムないしはコア選択メカニズムの配分および支払い額を確定する。こうして、効率性の達成、支払い負担軽減、インセンティブ、プライバシー保護、複雑性回避といった、全検討項目について十分な配慮がなされた入札ルール設計が可能になる。

政府の入札収入は、羽田空港の管理運営のための必要経費に使うことで、羽田空港ビジネスに還元させることができる。その際、空港使用料をあらかじめ十分に削減することを航空会社に約束した上で、必要経費の財源を入札収入にシフトさせることが望ましい。こうすることで、スロットを無償で割り当てる配分の仕方よりも、組み合わせ入札の方が、政府が航空会社に要求する金銭的負担の総額を、実質的に軽減させることができる。無償割り当ての代わりに組み合わせ入札を導入しようとする際、支払い負担をめぐって、航空産業界から反発を受け、混乱が生じる可能性が想定されるかもしれない。しかし、これは誤解にもとづくものである。政府は、入札収入への財源シフトを明確にすることによって、効率性を損なうことなく、このような混乱を回避できる。

以上

参考文献

- Ausubel, L. (2004): “An Efficient Ascending-Bid Auction for Multiple Objects”, *American Economic Review* 94, 1452-1475.
- Ausubel, L. (2006): “An Efficient Dynamic Auction for Heterogeneous Commodities,” *American Economic Review* 96, 602-629.
- Ausubel, L. and P. Milgrom (2002): “Ascending Auctions with Package Bidding,” *The B. E. Journal of Theoretical Economics* 1.
- Ball, M., L. Ausubel, F. Berardino, P. Cramton, G. Donohue, M. Hansen, and K. Hoffman, (2005): “Market-Based Alternatives for Managing Congestion at New York’s LaGuardia Airport”, mimeo.
- Benoit, J. and V. Krishna (2001): “Multiple-Object Auctions with Budget Constrained Bidders,” *Review of Economic Studies* 68, 155-179
- Bernheim, D. and M. Whinston (1986): “Menu Auctions, Resource Allocation and Economic Influence,” *Quarterly Journal of Economics* 101, 1–31.
- Bikhchandani, S. and J. Ostroy (2002): “The Package Assignment Model.” *Journal of Economic Theory* 107, 377–406.
- Brueckner, J. (2009): “Price vs. Quantity-Based Approaches to Airport Congestion Management”, mimeo.
- Brunner, C., J. Goeree, C. Holt, and J. Redyard (2010): “An Experimental Test of Flexible Combinatorial Spectrum Auction Formats,” *American Economic Journal: Microeconomics* 2, 39-57.
- Castelli, L., P. Pellegrini, and R. Pesenti (2010): “Airport slot allocation in Europe: economic efficiency and fairness”, mimeo.
- Clarke, E. (1971), “Multipart Pricing of Public Goods,” *Public Choice* 11, 17–33.
- Condorelli, D. (2009): “Efficient and Equitable Airport Slot Allocation”, mimeo.
- Cramton, P. (2008): “A Review of the 10-40 GHz Auction”, mimeo.
- Cramton, P. (1009): “Spectrum Auction Design,” mimeo, University of Maryland.
- Cramton, P., Y. Shoham, and R. Steinberg (2006): *Combinatorial Auctions*, MIT Press.
- Czerny, A., P. Forsyth, D. Gillen, and H.-M. Niemeier (2008): *Airport Slots*, Ashgate.
- Day, R. and P. Cramton (2008): “Quadratic Core-Selecting Payment Rules for

- Combinatorial Auctions”, mimeo.
- Day, R. and P. Milgrom (2008): “Core-selecting package auctions”, *International Journal of Game Theory* 36, 393-407.
- Day R, and S. Raghavan (2007): “Fair payments for efficient allocations in public sector combinatorial auctions”, *Management Science* 53,1389–1406.
- Edelman, B., M. Ostrovsky, and M. Schwarz (2007): “Internet Advertising and the Generalized Second-Price Auction: Selling Billions of Dollars Worth of Keywords,” *American Economic Review* 97, 242-259
- Erdil, A. and P. Klemperer (2009): “A New Payment Rule for Core-Selecting Package Auctions”, mimeo.
- Garratt, R. and T. Tröger (2006): “Speculation in Standard Auctions with Resale,” *Econometrica* 74, 753-769
- Garratt, R., T. Tröger, and C. Zheng (2009): “Collusion via Resale,” *Econometrica* 77, 1095-1136.
- Goeree, J. and Y. Lien (2009): “On the Impossibility of Core-Selecting Auctions, mimeo.
- Grether, D, R. Isaac, and C. Plott (1981): “The Allocation of Landing Rights by Unanimity among Competitors”, *American Economic Review* 71, 166-171.
- Groves, T. (1973): “Incentives in Teams,” *Econometrica* 41, 617–631.
- Gul, F. and E. Stacchetti (1999): “Walrasian Equilibrium with Gross Substitutes,” *Journal of Economic Theory* 87, 95–124.
- Gul, F. and E. Stacchetti (2000): “The English Auction with Differentiated Commodities.” *Journal of Economic Theory* 92, 66–95.
- Jewitt, I. and Z. Li (2008): “Report on the 2008 UK 10-40 GHz Spectrum Auction,” mimeo.
- Kagel, J. (1995): “Auctions: A Survey of Experimental Research,” in Alvin E. Roth and John H. Kagel (eds.), *Handbook of Experimental Economics*, Princeton University Press.
- Kagel, J. and D. Levin (2008): “Auctions: A Survey of Experimental Research, 1995-2008,” in A. Roth and J. Kagel (eds.), *Handbook of Experimental Economics Vol. 2*, Princeton University Press.
- Kagel, J., Y. Lien, and P. Milgrom (2010): “Ascending Prices and Package Bidding: A

- Theoretical and Experimental Analysis,” *American Economic Journal: Microeconomics* 2, 160-185.
- Kelso, A. and V. Crawford (1982): “Job Matching, Coalition Formation, and Gross Substitutes,” *Econometrica* 50, 1483–1504.
- Klemperer, P. (2000): *The Economic Theory of Auctions*, Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Klemperer, P. (2010): “The Product-Mix Auction: a New Auction Design for Differentiated Goods,” *Journal of the European Economic Association*, forthcoming.
- Krishna, V. (2002): *Auction Theory*, San Diego: Academic Press.
- Lamy, L. (2010): “Core-selecting package auctions: a comment on revenue-monotonicity”, *International Journal of Game Theory* 39, 503-510.
- Matsushima, H. (2010): “Price-Based Combinatorial Auction Design: Representative Valuations,” mimeo, University of Tokyo.
- Milgrom, P. (2000): “Putting Auction Theory to Work: The Simultaneous Ascending Auction”, *Journal of Political Economy* 108, 245-272.
- Milgrom, P. (2004): *Putting Auction Theory to Work*, Cambridge University Press.
- Porter, D., S. Rassenti, A. Roopnarine, and V. Smith (2003): “Combinatorial Auction Design,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100, 11153-11157.
- Rassenti, S., V. Smith, and R. Bulfin (1982): “A Combinatorial Auction Mechanism for Airport Time Slot Allocation,” *Bell Journal of Economics* 13, 402–417.
- Riker, W. (1991): “A Political Theory of the Origin of Property Rights: Airport Slots,” *American Journal of Political Science* 35, 951-969.
- Sano, R. (2010): “Standard and Core-Selecting Package Auctions,” mimeo.
- Smith, A. (2004): “LaGuardia Slot Allocation: A Clock-Proxy Auction Approach,” mimeo.
- Vickrey, W. (1961): “Counterspeculation, Auctions and Competitive Sealed Tenders,” *Journal of Finance* 16, 8–37.