

CIRJE-J-240

**4 G 周波数オークション・ジャパン：
Japanese Package Auction (JPA) 設計案の骨子**

東京大学大学院経済学研究科
松島 齊

2012 年4月

CIRJE ディスカッションペーパーの多くは
以下のサイトから無料で入手可能です。
http://www.cirje.e.u-tokyo.ac.jp/research/03research02dp_j.html

このディスカッション・ペーパーは、内部での討論に資するための未定稿の段階にある論文草稿である。著者の承諾なしに引用・複写することは差し控えられる。

4G Spectrum Auction in Japan: Japanese Package Auction (JPA)

Hitoshi Matsushima

This paper demonstrates new practical auction formats that are well tailored for the forthcoming 3.4 ~ 3.6 GHz spectrum allocation problem, which will be expected to become the first experience of spectrum auction in the Japanese society. The general term of these formats is the Japanese package auction (JPA), which is a particular form of combinatorial auction design loaded with the concept of VCG mechanism and with the devices to calm the complexity of decision making such as ascending clock auction and item division. It is important to note as an original manner of designing JPA that the Japanese government can maintain the technical neutrality concerning the competing standards of technology such as LTE-Advanced and WiMAX2 to the maximum. We explain that JPA is much better than the simultaneous multi-round ascending auction in terms of various aspects such as efficiency, incentives, and complexity.

4 G 周波数オークション・ジャパン： Japanese Package Auction (JPA) 設計案の骨子¹

松島 齊

東京大学経済学研究科

2012 年 4 月 14 日

要旨

本論文は、日本において最初の周波数オークションの事例となることが期待される「4 G 周波数オークション・ジャパン」について、「日本型パッケージ・オークション (Japanese Package Auction (JPA))」と総称される、複数の実践的なオークション・ルール設計の骨子を提示することによって、周波数オークションを現実に理想的な形で実施することが可能であることを説明する。パッケージ・オークションに「VCGメカニズム」を搭載し、正直に価値表明するインセンティブを入札者に提供することによって、効率的配分が実行可能な形で達成できることを説明する。特筆すべきは、設計案 JPA では「技術中立性」が最大限に保持されることである。また、周波数利用免許を複数のアイテムに分類するなどの工夫によって、入札者の意思決定の複雑性が劇的に緩和される。売却される免許の数が多くないことと、免許が比較的均質であることから、海外の事例にみられるようなパッケージ・オークションの導入を阻む可能性のある様々な問題点は、4 G 周波数オークション・ジャパンには該当しないことが説明される。

¹ 本論文の作成において、オークション・マーケットデザインフォーラム (Auction Market Design Forum, AMF) におけるメカニズムデザイン勉強会でのディスカッションが参考になった。特に、尾山大輔 (東京大学)、佐野隆司 (大阪大学)、安田洋祐 (Grips)、柳川範之 (東京大学) 各氏に感謝したい。この論文での設計案 JPA をたたき台にして、今後 AMF における作業チームによって最終設計案を完成させる予定である。

1. 序文

総務省は、2013年度に、第4世代移動通信(4G)周波数利用向けに、3.4GHzから3.6GHzまでの200MHz帯域幅を、関連事業者に割り当てることを予定している。2012年3月に「電波法改正」が閣議決定され、移動通信向けの周波数利用免許を、従来の「比較聴聞方式(Comparative Hearing, あるいは Beauty Contest)」ではなく、「オークション(入札)」などの、競争的方式を使って配分することが可能になった。よって、4G向け免許を、高収益が見込まれる事業者に優先的に割り当てるために、すなわち、免許を「効率的」に配分するために、オークション・ルールをいかに設計するかが、日本政府の重要課題になった。この課題を、「4G周波数オークション・ジャパン」と呼ぶことにする²。

本論文は、総務省の「周波数オークションに関する懇談会報告書」³に即して、「日本型パッケージ・オークション(Japanese Package Auction, JPA)」と称する4タイプの設計案の骨子を提示する。この骨子をたたき台にして、オークション・マーケットデザインフォーラム(Auction Market Design Forum, AMF)⁴の作業チームが最終設計案を完成させる予定である。

設計案JPAは、効率的配分を理論的に保証する「VCG(Vickrey-Clarke-Groves)メカニズム」⁵を基本モデルとするも、入札者の意思決定の複雑性を緩和する工夫が盛り込まれ、さらには、「技術中立性」を最大限に保持する、といったすぐれた特性をもつ。JPAは、4G周波数オークション・ジャパンにもっとも適した設計案である⁶。日本政府は、4G周波数オークション・ジャパンにJPAを採用することが望まれる。

² 松島(2012b)では、4G周波数オークション・ジャパンについて簡略化した説明が紹介されているので、参照されたい。主に、JPA1とJPA2について解説されている。

³ 総務省(2011)。

⁴ AMFは、2012年1月に発足された、マーケットデザインによる実践的な政策提言を作成し、実施するための研究者集団である。URL: <http://exp.e.u-tokyo.ac.jp/auction/>

⁵ Vickrey(1961), Clarke(1972), Groves(1973)。

⁶ 本論文では検討対象からはずしたが、今後の周波数オークションにおいて重要となる論点は、既存免許を自発的に返還するインセンティブを既存企業に提供して、希少な免許供給

日本政府が、長きにわたって、移動通信向けの周波数免許を、オークション方式を使わずに、客観的基準を欠き政府の裁量にゆだねられる「比較聴聞（美人投票）方式」によって、無償で割り当ててきたことに対しては、既に多くの批判や議論がある。しかし、周波数利用免許の配分には、入札に対する「社会通念」とは趣を異にするルール設計が必要になることについては、日本ではあまり議論されてこなかった⁷。

収益性の高い周波数利用のためには、事業者側が複数免許を組み合わせる利用する必要があり、また、「補完性」あるいは「代替性」といった組み合わせの効果は事業者ごとにことなる。これらが原因となって、複数免許を効率的に割り当てるためのオークション・ルール設計には、ゲーム理論の応用分野である「オークション理論」あるいは「マーケットデザイン」などの知識をフル活用する、きめ細かい専門的な作業が不可欠になる。このことは、周波数オークションを実施した経験のない日本では、今まで認知されてこなかったものの、今後問われる電波法改正の実質的意義を左右する重要案件になる。はやくから周波数オークションを導入してきた諸外国では、オークションのルール設計が容易ならざる問題であることをよく認知しており、周波数オークションの実施と同時並行して、マーケットデザインの研究が続けられている。

以上の事情から、日本で周波数オークションが可能になった今、4G向け免許を配分するための実施可能なオークション・ルールの設計案を、実情に即して、「具体的に」提示することがなによりも望まれる。本論文の主眼はここにある。

4G周波数オークション・ジャパンには、単一アイテム1単位を売却する、せり上げや一位価格封印入札といった、「社会通念」としての入札制度とは異なり、専門的に検討された、「パッケージ・オークション」と総称される設計方法が必要になる。もっとも、諸外国の事例によると、状況によっては、パッケー

を新しい通信技術向けにいかにか確保していくかということにある。(Cramton (2011)) .この問題についての理論的考察として、Matsushima (2011)がある。

⁷ 松島 (2011b, 2012a) .

ジ・オークションは複雑過ぎて、実施が困難になることがある。しかし、幸いにも、4G 周波数オークション・ジャパンは、パッケージ・オークション導入を阻むこのような複雑性の問題には、ほとんど惑わされないですむ。

また、パッケージ・オークションは社会通念からかけ離れたルールになるため、海外での周波数オークションの初期にはその導入を見送られた経緯がある (Porter and Smith (2006))。しかし、今日では、パッケージ・オークションが理想的であることは、諸外国では広く認知されている。日本政府は、パッケージ・オークションの導入を前提として、4G 周波数オークション・ジャパンの検討をすすめるべきだ⁸。

オークション・ルールの専門的な設計に際しては、効率的配分達成、収入確保、当て推量や戦略的駆け引きの排除、複雑性の排除、といった複数の要求項目が検討される。これらはどれも重要な項目だが、全てをパーフェクトにみたくすることは不可能である。よって、ルール設計は、これらの要求項目の妥協点を具体的に決める作業になる。

この専門的作業は、複数の利害関係者 (Stakeholders) 間の妥協点を探す「政治的決着」とは本質的にことなる。本論文において設計案を専門的に示すことは、すなわち、日本政府が政治的決着だけでオークション・ルールを作成する事態を回避したい、という意味合いをもつ。この問題は、周波数オークション以外のマーケットデザインの諸問題、たとえば「電力市場設計」などにおいても同じように発生する。

日本政府は、電波法改正によって、マーケットデザインという未知の領域に始めて踏み込むことになった。この論文による政策提言は、日本政府の直面する未知の難題を理想的に解決することを強力にアシストするものである。今後、日本政府には、電力市場設計、羽田空港発着枠配分など、山積する多くの

⁸ 電波法改正の条文は、社会通念に引き付けられた文章になっているため、実際のオークション施行の際には、法律との整合性に注意を払う必要があるかもしれない。

他の諸問題にマーケットデザインを応用することが期待される⁹。4G 周波数オークション・ジャパンは、この最初の一步である。

⁹ 松島 (2011a)。

2. 基本事項

本節は、総務省（2011）などにしたがって、4G周波数オークション・ジャンの基本事項を説明し、ルール設計に必要な諸概念を紹介する。

200MHz帯域幅を1ブロック20MHz幅、計10ロットに分割する。有効期間における各ロットの利用権を「1免許」とみなす。よって、10免許がオークションによって入札者に割り当てられることになる。

各ロットは、二つの代替的な通信技術であるTDD（Time Division Duplex, Wimax2など）、FDD（Frequency Division Duplex, LTE-Advancedなど）のどちらにも利用できる。FDDの場合は、「上り」と「下り」の2ロットをペアとして利用する必要がある。FDDの「上り」用のロットと「下り」用のロットは、各々一つながりの「ブロック」とし、ブロック間には40MHz（2ロット分）以上の間隔があげられる。ブロック間に位置するロットはTDD用に利用される。よって、FDDに利用できるロット数は最大8（「上り」4ロット、「下り」4ロット）、TDD用には最低でも2ロットが利用されることになる（図1）。

FDD1	FDD2	FDD3	FDD4	TDD1	TDD2	FDD1	FDD2	FDD3	FDD4
上り	上り	上り	上り			下り	下り	下り	下り

[図 1]

FDDに利用されるロット数が8未満のケースも検討対象になる（図2）。

FDD1	FDD2	FDD3	TDD1	TDD2	TDD3	TDD4	FDD1	FDD2	FDD3
上り	上り	上り					下り	下り	下り

[図 2]

また、必要に応じて、TDD に利用されるロットが複数のブロックにわたるケースも検討対象になる（図 3）。事業者から、自身が獲得した TDD と FDD の免許を隣接させたいなどの要望がある場合には、日本政府はこのようなケースも検討する必要がある。

FDD1	FDD2	TDD1	TDD2	TDD3	TDD4	FDD1	FDD2	TDD5	TDD6
上り	上り					下り	下り		

[図 3]

入札者（事業者）を、入札者 1, 2, ..., n とする。免許獲得が少数の入札者に集中するケースを排除するため、各入札者 $i \in \{1, \dots, n\}$ が獲得できる免許数の上限を $L_i \in \{1, \dots, 10\}$ に、あらかじめ定める。また、各入札者 i は 1 免許当り D_i 円の「保証金」を日本政府に提供する。よって、各入札者 i が $k_i D_i$ 円を保証金として提供した場合、実際に入札できる最大免許数は

$$l_i \equiv \min[L_i, k_i]$$

になる。ここで、 k_i は正の整数であり、入札者 i が決定する。

1 免許当りの「最低入札価額」を、免許および入札者共通に、 M 円に設定する。各入札者 i の 1 免許当りの保証金 D_i は、実際に発生する債務および最低入札価額に対する担保である。

各入札者 i に対して、1 免許ごとに「優遇措置」 H_i 円が設定される。各入札者 i は、配分決定において、1 免許ごとに H_i 円より高い収益性がみこまれるとみなされることで、優遇的配慮がなされる。優遇措置は、既存企業に比べて先行投資や資金調達面などでハンディキャップのある新規企業の参入を促進することが狙いである。また、優遇措置によって、既存企業から割高の支払いを引き出すことができるので、国庫収入を高めることも期待できる。

留意すべきは、最大免許数の合計 $\sum_{i=1}^n l_i$ が総免許数 10 よりも大きくすることである。そのため、最低入札価額を下げる、優遇措置を強化する、あるいはその他の様々な、参入を促進する政策を、事前に柔軟に検討しなければならない。

以上に示した諸概念の具体的数値については本論文では検討しないが、設計されたルールが有効に機能するためには、適切な数値設定が必要不可欠になる。例えば、最低入札価額を不当に高く設定した場合には、入念に設計したオークション・ルールのメリットが台無しになり、せつかくの周波数オークションが「仏作って魂入れず」といった残念な事態になるので要注意だ。

3. パッケージ・オークションと複雑性

高収益が見込まれる入札者に優先的に割り当てるためには、個々の入札者に、自身の収益性についての必要情報を、意思決定上の混乱なく、虚偽なく、みずから進んで正しく表明する「インセンティブ」を与えるように、ルール設計しなければならない。そのためには、まずは、「パッケージ・オークション」と称される入札方式を採用する必要がある¹⁰。

パッケージ・オークションとは、各入札者が、個別免許でなく、複数の免許を組み合わせた「パッケージ」の価値（収益性）についての情報を、指値などを通じて表明する入札方式の総称である。4G 周波数オークション・ジャパンでは、個々の免許の価値は互いに独立ではないので、各入札者は、収益性を、個別免許単位でなく、パッケージ単位で査定することになる。そのため、パッケージ・オークションが必要になる。

パッケージ・オークションではないルールとしては、1 免許をひとつずつ順番に売却する「逐次オークション」、全免許を同時に入札にかけるがパッケージに対する指値ができない「同時複数ラウンドせり上げオークション (Simultaneous Multiple Round Ascending Auction, SMRA)」などがある。SMRA は、周波数オークションの最初期から世界中で利用されてきた方式である。しかし、パッケージ・オークションは、もし適切に設計されるならば、これらに比べてすぐれていることが確認されている¹¹。

パッケージ・オークションでは、状況によっては、入札者の意思決定が複雑になり、実施困難になるケースがおこり得る。例えば、パッケージ全体の数が極端に多くなるケースでは、パッケージ・オークションの実施が困難になる。

¹⁰ Milgrom (2004), Cramton et al. (2006), など. Combinatorial auction (組み合わせ入札)とも呼ばれる。

¹¹ パッケージ・オークションをめぐる実験経済学研究などは、既に数多く存在する。例えば、Rassenti et al. (1982), Ledyard et al (1997), Porter et al (2003), Kagel and Levin (2001, 2009), Chernomaz and Levin (2008), Bichler et al (2010), Goeree and Holt (2010), Brunner et al (2010), Kagel et al (2010), Chen and Takeuchi (2010), Scheffel et al (2011), Munro and Rassenti (2011), Bichler et al (2011), Scheffel et al (2012)など。

入札者は、多くのパッケージについて価値を査定し表明しなければならないため、意思決定が複雑になるからだ。そのため、複雑性を緩和するための設計上の工夫を盛り込むことが追加的に必要となる。幸いにも、4G周波数オークション・ジャパンでは、免許数が比較的少ないことと、免許が均質であることから、複雑性緩和は容易に達成できる。

4G周波数オークション・ジャパンでは、各入札者 i が検討すべきパッケージ数は $\sum_{k=1}^{l_i} \binom{10}{k}$ 個にのぼる。これは、例えば、 $l_i=5$ の場合は637個、 $l_i=10$ の場合は1023個になり、免許数10にくらべて圧倒的に大きな数であるため、全パッケージについて一度に直接的に価値の査定をする作業は、入札者にとってかなり複雑になる。しかし、以下のような工夫（「アイテム分類」）によって、このような意思決定の複雑性は著しく緩和できる。

免許を二つのアイテム、すなわち、「アイテム1」と「アイテム2」に分類する。アイテム1は、FDDに対応する2免許のペアバンドを獲得する「権利」を意味する。アイテム2は、TDDに対応する1免許を獲得する権利を意味する。

オークションの手続きを、以下のように二段階、すなわち「アイテム配分ステージ」と「免許配分ステージ」に分ける。アイテム配分ステージにおいては、各入札者がアイテム1とアイテム2を各々何単位獲得するか、すなわち「アイテムベクトル」、が決定される。次に、免許配分ステージにおいては、個々のアイテムがどのロットの免許獲得に対応付けられるかが、確定される。この際、日本政府は、以下の5つの技術的制約をみたす範囲内で、免許配分を最終的に確定する。

制約1：アイテム1の「上り」と「下り」を隣接させ、2つのブロックを形成する。

制約2：同じ入札者のアイテム2に対応する免許を隣接させる。

制約 3 : 同じ入札者のアイテム 1 に対応する免許を「上り」と「下り」ごとに隣接させる。

制約 4 : 個別のアイテム 2 の「上り」と「下り」用のロットの中心と中心の間隔を 120MHz (6 ロット分) 以上あける。

制約 5 : 公平性の観点から、各アイテム 1 の「上り」と「下り」の間隔が同じになるように免許を割り振る。(この条件は、修正案 JPA4 では要求されない。)

これらの条件をみたす免許配分は、任意のアイテム配分に対して必ず存在することが容易に確かめられる。

アイテム配分ステージは、各入札者の TDD および FDD についての「事業規模」を確定する。各入札者にとって、事業規模の確定は配分後のビジネスの収益に決定的な意味を持つ。免許配分ステージにおける最終的決定は、既に事業規模が確定している以上、個々の入札者にとってあまり重要な意味を持たないと考えられる。したがって、このオークションにおける実質的決定は、前半の「アイテム配分ステージ」にゆだねられると考えられる。

入札者 i が獲得できるアイテムベクトル全体の集合は

$$2a_{i,1} + a_{i,2} \leq l_i \text{ および } a_{i,1} \leq 4$$

をみたす非負整数ベクトル $a_i = (a_{i,1}, a_{i,2})$ 全体の集合であり、これを A_i と記す。重要な点は、集合 A_i のサイズは、入札者 i が獲得できるパッケージの全体集合に比べて飛躍的に小さくなることである。たとえば、 $l_i = 5$ の場合、

$$A_i = \{(0,1), (0,2), (0,3), (0,4), (0,5), (1,0), (1,1), (1,2), (1,3), (2,0), (2,1)\}$$

であり、たかだか $|A_i| = 11$ 個のアイテムベクトルについて価値を査定し表明をすれば事足りる。 $l_i = 10$ の場合でもたかだか 35 個である。この程度の数であれば、

全てのアイテムベクトルをPC画面上で表示でき、さらにはPC画面上で、オークションの主催者が入札者の意思決定を補助する工夫を効果的に表示できる。

このように2段階に分けて配分を決定するアイデアは、しかしながら、免許数が多い場合や、免許を多くのアイテムに分類する必要がある場合などでは、複雑性を十分に解消できない。例えば、イギリスでは3.9G移動通信向けに2.6GHz帯域をパッケージ・オークションによって配分することを計画しているが、扱われる免許数は34もあり、しかも個々の入札者が獲得できる免許数に上限を設けていない¹²。また、EU諸国で検討されているパッケージ・オークションでは、均質でない複数の周波数帯域を一度に割り当てる（Multi-band setting）ことが計画されているが、この場合には3種類以上の緻密なアイテム分類を必要とする。これらの事例におけるパッケージ・オークションは、4G周波数オークション・ジャパンよりかなり複雑であり、そのため、入札者の心理的バイアスを考慮する必要性があるなど、ルール設計問題が難解になる¹³。

複雑性を緩和させる別の工夫は、アメリカにおける事例にみられる。アメリカでは、国土が広い地形的理由などから、同じ周波数帯を地域ごとに分割して割り当てる必要があり、このことがオークション設計を一層難しくしている。例えば、Hierarchical Package Biddingなどといった、地域と全域との間で無裁定を成立させるような設計の工夫が検討されている¹⁴。4G周波数オークション・ジャパンではこの問題は関係ない¹⁵。

パッケージ・オークションには、入札者の意思決定が複雑になることを緩和する工夫を盛り込むことが必要である。免許を複数のアイテムに分類する、上述のやり方は、その一例になる。しかし、このやり方は万能ではないため、一般的にはさらに別の追加的工夫が必要になる。複雑性緩和の工夫の仕方には確立された一般法則があるわけでないため、パッケージ・オークションを断念し、

¹² Cramton (2009).

¹³ Bichler et al. (2011), Scheffel et al. (2012).

¹⁴ Goeree and Holt (2010).

¹⁵ ただし、オークションの実施を容易にするため、周波数配分計画自体を変更することは望ましくない。理想的な配分計画をまず先に提示して、その後それにふさわしいルール設計を検討すればよい。

SMRA のような次善策を採用するケースが懸念される¹⁶。幸いにも、4 G 周波数オークション・ジャパンは、このような状況のケースには該当しない。

以上を踏まえた上で、以下の諸節において、4 G 周波数オークション・ジャパンのためのオークション・ルール設計の 4 つの代替案、すなわち JPA1, JPA2, JPA3, JPA4 を紹介する。

¹⁶ パッケージ・オークションの最初期の実験経済学研究である Rassenti et al. (1982)などによって知られているように、複雑な状況下で、緩和の工夫を盛り込まずにパッケージ・オークションを実施した場合でも、良好な配分結果を得ることができる。

4. JPA1 : VCG メカニズム

JPA1 は、本論文で紹介する四つの設計案の基本になるパッケージ・オークションのルールである。このルール設計の第一の主眼は、アイテム配分ステージにおいて、各パッケージの価値を正直に表明するインセンティブを各入札者に提供することにある。このインセンティブ問題は、「VCG メカニズム」のコンセプトを適用することによって解消できる。

VCG メカニズムは、私的価値や準線形性といった標準的仮定下では、正直に情報表明することが「優位戦略」となる唯一の効率的配分メカニズムであるため、研究者の間で広く知られている¹⁷。また、オークション理論の基礎である「収入同値定理」によって、分布独立性といった標準的仮定下で、優位戦略よりも弱いインセンティブ条件（ベイジアン・インセンティブ整合性など）において様々な効率的配分メカニズムの可能性を検討しても、VCGメカニズム以上の収入は獲得出来ないことが知られている¹⁸。よって、VCGメカニズムよりも高収入を獲得したいならば、非効率的な配分を許容しなければならない。本論文では、優遇措置以外の理由で、非効率配分を意図的に許容するような設計は検討されない。

JPA1 は、「アイテム配分ステージ」と「免許配分ステージ」から構成され、以下の手続きに従って免許配分と支払金額を決定する。

アイテム配分ステージ

各入札者 i は集合 A_i に含まれる全てのアイテムベクトル a_i の価値について、非負の整数 $b_i(a_i)$ 円を PC 端末に入力する。この際、 $b_i(0) = 0$ とし、Free Disposal（無償処分）を仮定する、すなわち、

$$[a_i \geq a'_i] \Rightarrow [b_i(a_i) \geq b_i(a'_i)]$$

¹⁷ Mas-Colell, Whinston, and Green (1995) など。

¹⁸ Myerson (1981), Krishna (2010) など。

を仮定する。各入札者は PC 画面上に自身の入力内容を見ることができるが、他の入札者の入力を見ることができないとする「封印入札」を仮定する。後述する別の設計案では、封印入札の仮定が部分的に弱められる。

例えば、最大獲得免許数が $l_i = 5$ である場合、入札者 i の PC 画面上には図 4 が表示され、入札者 i は 11 個の空欄に各パッケージの価値を入力する。

		アイテム 2					
		0	1	2	3	4	5
アイテム 1	0	0					
	1						
	2						

[図 4]

「アイテム配分」を、各入札者のアイテムベクトルの組み合わせ $a = (a_i)_{i=1}^n$ と定義する。政府は以下の要領でアイテム配分を決定する。実行可能なアイテム配分全体の集合を A とする。ここで、アイテム配分 $a = (a_i)_{i=1}^n$ が A に含まれる、つまり「実行可能」であるとは、

各入札者 i について $a_i \in A_i$ が成立する、

$$\sum_{i=1}^n (2a_{i,1} + a_{i,2}) = 10、$$

$$\sum_{i=1}^n a_{i,1} \leq 4、$$

をみたすことを意味する。政府は以下の最大化問題を解く、すなわち、

$$(1) \quad \arg \max_{a \in A} \sum_{i=1}^n \{b_i(a_i) + (2a_{i,1} + a_{i,2})H_i\}$$

からランダムにアイテム配分 $a^* = (a_i^*)_{i=1}^n$ を選択する。

最大化問題（1）は、各入札者が正直に収益性を意思表示するならば、そして、優遇措置がない、すなわち全ての入札者 i について $H_i = 0$ ならば、最も収益性の高い入札者に優先的に免許を割り当てるという意味で「効率的」なアイテム配分を導出することになる。優遇措置 H_i が正の入札者 i が存在する場合には、各入札者が正直に収益性を表明するとしても、最大化問題（1）の解は効率的配分にならない。

JPA1 のもつ重要な特徴は、政府が FDD 用のロット数や TDD 用のロット数をあらかじめ特定しない、すなわち「技術中立性」を最大限に保持している点にある。JPA1、および後述する代替案では、FDD と TDD の仕分けが、最大化問題（1）の解として内生的に決定される。

それに対して、例えば、イギリスの 2.6GHz オークションでは、あらかじめ FDD 用と TDD 用のロットが特定されている。しかし、この特定の仕方は、技術中立性を欠いている¹⁹。本論文の設計案では、この問題点は解消されている。このように技術中立性を徹底させていることは、他の設計案にはない JPA のオリジナルな利点である。

技術中立性が不徹底である場合、入札者には過剰に特定技術についてキャンペーン活動するなどの傾向が考えられるので、注意が必要である。この場合、どの技術にどれだけロット数を提供するかは「比較聴聞方式」によって政府の裁量にゆだねられる。キャンペーンなどは政府の判断に重要な影響を与えるため、過剰な方に優先的に割り当てられる結果になりがちである。日本政府には、このような事態をなるべく阻止するため、早めに技術中立的なオークション・ルールの実施を公表することが望まれる。

免許配分ステージ

¹⁹ Cramton (2009).

政府は、制約 1～5 をみたす範囲内で、アイテム配分 a^* に対応する免許配分を、ランダムに、あるいは裁量的に、決定する。ロット（免許）の任意の部分集合を $C_i \subset \{1, \dots, 10\}$ と記し、

$$|C_i| = 2a_{i,1}^* + a_{i,2}^*$$

をみたす C_i 全体の集合を E_i とする。制約 1～5 をみたす関数 $g: \{1, \dots, 10\} \rightarrow \{1, \dots, N\} \times \{1, 2\}$ 全体の集合を G と記す。ここで、 $g(h) = (g_1(h), g_2(h))$ とは、入札者 $g_1(h)$ が免許 h をアイテム $g_2(h)$ の用途で獲得することを意味し、この意味に即して制約 1～5 をみたすことが要求される。よって、関数 g は、最終的な免許配分決定の仕方を意味しており、同時に、FDD の用途か TDD の用途かも規定する。政府は、集合 G の中からランダムに、あるいは、裁量的に、免許配分決定 g^* を選択する。

オークション終了後、各入札者 i の支払額 x_i^* は、「VCG メカニズム」を用いて、以下のように決定される。すなわち、まず、

$$x_i \equiv \max_{a \in A} \sum_{j \neq i} \{b_j(a_j) + (2a_{j,1} + a_{j,2})H_j\} - \sum_{j \neq i} \{b_j(a_j^*) + (2a_{j,1}^* + a_{j,2}^*)H_j\}$$

を定義し、さらに

$$(2) \quad x_i^* \equiv \max[x_i - (2a_{i,1}^* + a_{i,2}^*)H_i, (2a_{i,1}^* + a_{i,2}^*)M]$$

を定義して、これを支払額とする。

VCGメカニズムでは、落札者は、他の入札者の免許獲得機会を奪ったことによる損失分を、政府に支払うように支払額が設定される。定義（2）では、落札者の支払い負担は、最低入札価額を下限として、優遇措置分だけ軽減されている。

この設定によって、正直に価値表明することがおおよそ優位戦略となり、効率的配分の達成が理論的に保証されると考えられる。つまり、標準的仮定の下で、最低入札価額をゼロ、すなわち $M = 0$ とする場合には、アイテム配分ステー

ジにおいて正直に価値表明することが「優位戦略」になる²⁰。この優れた性質は、優遇措置の有無に関係なく成立する。

最低入札価額が正である場合は、VCG メカニズムのもつ優位戦略の特性は軽減され、正直な価値表明は厳密には優位戦略にならない。この原因の一端は、最低入札価額が獲得免許数に依存していることにある。最低入札価額の負担を回避するため、入札者は、より少ない獲得免許数のアイテムベクトルに対して相対的に高い評価をして虚偽表明する可能性が考えられるからだ。ただし、 $x_i^* = x_i - (2a_{i,1}^* + a_{i,2}^*)H_i$ が成立する限り、正直な表明が優位戦略になる特性は温存される。

VCG メカニズムを使わずに、各入札者 i が自ら表明した価値に即して支払額が設定される、つまり、入札者 i が

$$\max[b_i(a_i^*) - (2a_{i,1}^* + a_{i,2}^*)H_i, (2a_{i,1}^* + a_{i,2}^*)M]$$

を支払うようにルール設定した場合には、正直に表明するインセンティブが失われるという本質的問題が発生するので、要注意である。アイテム配分 a^* が確定した事後においては、このような支払方法は、確かに収入を高めてくれる。しかし、事前にこの支払方法に設定した場合には、各入札者はアイテム配分ステージにおいて正直に価値表明するインセンティブを持たなくなるので、効率的配分は達成されない。また、各入札者は、他の入札者の指値について当て推量しなければならず、事態は複雑である。実際、収入自体もより低くなることが考えられる。

JPA1 には以下の二つの問題点が残されている。ただし、これらは代替案によって解消される。

問題点 1：アイテムベクトルの数が少ないとはいえ、全てのアイテムベクトルについての価値を一度に表明することは、依然として入札者にとって複雑な作業かもしれない。この複雑性をさらに緩和し、オークションをよりスムーズに

²⁰ VCG メカニズム、およびその一般形であるグローブス。メカニズムについては、ゲーム理論の教科書などで詳しい説明がある。Mas-Colell et al (1995), Milgrom (2004) など。

進行させるためには、PC画面上で意思決定を補助する何らかの追加的な工夫を盛り込むことが望ましい。

問題点 2：免許配分ステージでは、政府に最終決定が一任されている。しかし、入札者が、TDD と FDD を隣接させることを望むなど、免許配分ステージでの決定内容を重視する場合には、免許配分ステージにおいても競争的なオークション方式を導入するべきである。

5. JPA2 : 価値発見ステージ

問題点 1 を解消することを目的として、本節は、代替案 JPA2 を紹介する。次節では、JPA2 をさらに修正した JPA3 が紹介される。

アイテム配分ステージを二つのステージ、すなわち「価値発見ステージ」と「補助付きアイテム配分ステージ」に分ける。価値発見ステージでは、架空のせり人が、アイテム 1 とアイテム 2 の単位価格の公示を、最低入札価額に相当する $2M$ 円および M 円からスタートし、定められたグリッド $2\varepsilon > 0$ 円および ε 円の刻みでせり上げていき、両アイテムともに超過需要でなくなった時点で、せり上げを終了する。せり人は、各時点 t において、各入札者に、公示された価格ベクトル $p(t) = (p_1(t), p_2(t))$ に対する「プライステイカー」として需要表明することを要求する。

価値発見ステージにおける、プライステイカーとしての意思決定は、全アイテムベクトルについて一度に価値表明しなければならない JPA1 に比べて、はるかに単純化されている。価値発見ステージを設けることによって、アイテム配分決定の前に、アイテムベクトルの獲得に必要な最低金額、すなわちアイテムベクトルの「相場」が明らかにされる。また、アイテムベクトル間の「相対的価値」も明らかにされる。これらは、全パッケージの価値査定作業を有効に補助するものと予想される。

価値発見ステージ

離散時間の各時点 $t=1,2,\dots$ において、せり人は単位価格ベクトル $p(t) = (p_1(t), p_2(t))$ を公示し、各入札者 i は需要ベクトル $d_i(t) = (d_{i,1}(t), d_{i,2}(t))$ を表明する。ここで、 $d_{i,h}(t)$ はアイテム h に対する入札者 i の需要量であり、

$$2d_{i,1}(t) + d_{i,2}(t) \leq l_i \text{ および } d_{i,1}(t) \leq 4$$

をみたすことが要求される。

せり人は、スタート時点1にて $p(1) = (2M, M)$ を公示する。せり人は、任意の時点 $t \in \{1, 2, \dots\}$ において、以下のようなせり上げの要領で、 $p(t) = (p_1(t), p_2(t))$ を公示する。

ケース1 : $2p_1(t-1) = p_2(t-1)$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) > 4, \quad \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) > 10 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1) + 2\varepsilon, p_2(t-1) + \varepsilon)。$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) \leq 4, \quad \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) > 10 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1), p_2(t-1) + \varepsilon)。$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) > 4, \quad \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) \leq 10 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1) + 2\varepsilon, p_2(t-1))。$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) \leq 4, \quad \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) \leq 10, \quad \sum_{i=1}^n \{2d_{i,1}(t-1) + d_{i,2}(t-1)\} > 10 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1) + 2\varepsilon, p_2(t-1) + \varepsilon)。$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) \leq 4, \quad \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) \leq 10, \quad \sum_{i=1}^n \{2d_{i,1}(t-1) + d_{i,2}(t-1)\} \leq 10 \text{ ならば、}$$

価値発見ステージを時点 $t-1$ で終了させる。

ケース2 : $2p_1(t-1) > p_2(t-1)$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) > 4, \quad \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) > 2 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1) + 2\varepsilon, p_2(t-1) + \varepsilon)。$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) \leq 4, \quad \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) > 2 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1), p_2(t-1) + \varepsilon)。$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) > 4, \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) \leq 2 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1) + 2\varepsilon, p_2(t-1)).$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) \leq 4, \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) \leq 2 \text{ ならば、}$$

価値発見ステージを時点 $t-1$ で終了させる。

ケース 3 : $2p_1(t) < p_2(t)$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) > 0, \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) > 10 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1) + 2\varepsilon, p_2(t-1) + \varepsilon).$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) = 0, \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) > 10 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1), p_2(t-1) + \varepsilon).$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) > 0, \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) \leq 10 \text{ ならば、}$$

$$(p_1(t), p_2(t)) = (p_1(t-1) + 2\varepsilon, p_2(t-1)).$$

$$\sum_{i=1}^n d_{i,1}(t-1) = 0, \sum_{i=1}^n d_{i,2}(t-1) \leq 10 \text{ ならば、}$$

価値発見ステージを時点 $t-1$ で終了させる。

特筆すべきは、各時点において政府が両アイテムへの供給量を「内生的」に決定していることである。ケース 2 では、前の時点 $t-1$ において、アイテム 2 の 1 免許当りの単価がアイテム 1 のそれより高い。そのため、政府は、アイテム 2 に最大数 4 単位、アイテム 1 に最低数 2 単位を供給することによって、収入を最大化している。ケース 3 では逆にアイテム 1 の方が高いため、政府は、アイテム 1 に全免許 10 単位を供給している。せり人は、ケース 2、ケース 3 とともに、超過需要が発生するアイテムのみをせり上げている。

ケース1では、両アイテムの1免許当り単価が一致しているので、政府はどのアイテムに免許を供給するかについて無差別である。そのため、一方のアイテムのみ超過需要の可能性を排除できない場合はそのアイテムについてのみ、それ以外の場合において両アイテムともに超過需要を排除できない状況では、両アイテムともに、価格をせり上げている。

いずれのケースにおいても、超過需要が両アイテムにて発生しなくなった時点でせり上げを終了している。終了時点 t^E と記す。

価値発見ステージにおいて、各入札者 i は以下に示される「顕示選好行動ルール」に従うことが要求される。入札者 i の評価関数を $v_i: A_i \rightarrow R_+ \cup \{0\}$ とする。ここで、Free Disposal（無償処分）、すなわち、

$$[a'_i \geq a_i] \Rightarrow [v_i(a'_i) \geq v_i(a_i)]$$

が仮定される。評価関数全体の集合を V_i と記す。また、部分集合 $V_i(t) \subset V_i$ を、時点 t において顕示選好をみたす評価関数全体の集合とする。ここで、 $v_i \in V_i(t)$ 、すなわち評価関数 $v_i \in V_i$ が時点 t において顕示選好をみたすとは、全ての $a_i \in A_i$ について、不等式条件

$$v_i(d_i(t)) - \{p_1(t)d_{i,1}(t) + p_2(t)d_{i,2}(t)\} \geq v_i(a_i) - \{p_1(t)a_{i,1} + p_2(t)a_{i,2}\}$$

が成立することを意味する。この不等式は、準線形性およびプライステイカーの仮定のもとでは、表明した需要 $d_i(t)$ が入札者 i の利得を最大化することを意味する。 $(p(\tau), d_i(\tau))_{\tau=1}^{t-1}$ および $p(t)$ を所与として、 $\bigcap_{\tau=1}^t V_i(\tau) \neq \emptyset$ をみたす、つまり時点 t までの顕示選好の不等式条件を全てみたす評価関数が存在することを保証する需要表明 $d_i(t) = a_i$ 全体の集合を $A_i(t)$ と記す。

顕示選好行動ルール (Revealed Preference Activity Rule (RP)) : 任意の時点 t にて、 $d_i(t) \in A_i(t)$ が成立する。

4G周波数オークション・ジャパンでは、アイテムベクトルの総数が少ないので、各時点 t において、PC画面上で、RPをみたすアイテムベクトル全体の集合 $A_i(t)$ を効果的に表示できる。入札者 i は、表示された $A_i(t)$ から需要を選ぶことになる。

例えば、 $M=1$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $l_i=3$ として、入札者 i の価格発見ステージにおける意思決定を、以下のように検討しよう²¹。図5に示される公示価格ベクトルと需要表明の履歴から、顕示選好と整合的な入札者 i の評価関数全体の集合は、以下の条件をみたす v_i 全体になる。つまり、任意の非負整数 Z_i が存在して、

$$v_i(1,0) = 4 + Z_i, \quad v_i(0,1) \leq 2 + Z_i, \quad v_i(0,2) \leq 4 + Z_i, \\ 5 + Z_i \leq v_i(0,3) \leq 6 + Z_i, \quad v_i(1,1) \leq v_i(0,3),$$

および Free Disposal をみたす v_i 全体である。

	$p_1(t)$	$p_2(t)$	$d_1(t)$	$d_2(t)$
t=1	2	1	0	3
t=2	4	1	0	3
t=3	4	2	1	0

[図 5]

さらに、せり人は、時点 $t=4$ において、アイテム1だけをせり上げて、

$$(p_1(4), p_2(4)) = (6, 2)$$

を公示したとする。この場合、時点 $t=4$ において顕示選好をみたす需要表明 $d_i(4)$ の範囲、すなわち $A_i(4)$ は、図6に表示された4アイテムベクトルになる。入札者 i は、この4アイテムベクトルから1つを選択するように要求される。

²¹ この例では、入札者 i はオークションを通じてFDDかTDDかを決定すると想定している。また、免許需要の総量がせり上げによって増えることもある。

	アイテム 2			
アイテム 1	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)
	(1,0)	(1,1)		

[図 6]

補助付きアイテム配分ステージ

各入札者 i は、全てのアイテムベクトル $a_i \in A_i$ について、価値評価 $b_i(a_i)$ を入力する。まず、

$$V_i^* \equiv \{v_i \in \bigcap_{\tau=1}^{t^E} V_i(\tau) \mid v_i(d_i(t^E)) = p_1(t^E)d_{i,1}(t^E) + p_2(t^E)d_{i,2}(t^E)\},$$

と定義する。 V_i^* は、価値発見ステージにて明らかにされた入札者 i の顕示選好条件をみたく評価関数全体の集合 $\bigcap_{\tau=1}^{t^E} V_i(\tau)$ に含まれる評価関数 v_i のうち、終了時点 t^E で需要表明したアイテムベクトル $d_i(t^E)$ に対する価値 $v_i(d_i(t^E))$ が、相場

$$p_1(t^E)d_{i,1}(t^E) + p_2(t^E)d_{i,2}(t^E)$$

に一致する評価関数全体の集合である。さらに、 V_i^* に属する評価関数の最大評価と最小評価を各々

$$\bar{v}_i(a_i) \equiv \max_{v_i \in V_i^*} v_i(a_i), \quad \underline{v}_i(a_i) \equiv \min_{v_i \in V_i^*} v_i(a_i)$$

と定義する。

PC画面上で、各アイテムベクトル $a_i \in A_i$ について、入札者が入力できる金額の上限が

$$\bar{v}_i(a_i) + Z_i,$$

下限が、 $\underline{v}_i(a_i) > 0$ の場合は

$$\underline{v}_i(a_i) + Z_i,$$

$v_i(a_i)=0$ の場合はゼロであることを表示する。ここで、 Z_i は非負整数である。入札者は Z_i を決定し、各アイテムベクトルについて、上限と下限の範囲内で、任意の非負整数 $b_i(a_i)$ を決定する。ただし、入札者が価値発見ステージにおいてゼロベクトルを需要表明した場合には、自動的に $Z_i=0$ とする。

需要表明されなかったアイテムベクトルについては、Free Disposal 以外の理由では下限の制約が課されない。そのため、 Z_i の設定に関わらず、下限がゼロに固定されている。

例えば、図5の例において、価値発見ステージが時点3で終了した場合、つまり $t^E=3$ である場合には、入札者 i のPC画面上に、以下のような意思決定補助が表示され、入札者 i は、Free Disposal の制約下で、括弧[]内に、上限と下限の範囲内で、各アイテムベクトルの指値を入力する。

		アイテム2			
		0	1	2	3
アイテム1	0	0	[] (0 ~ 2 + Z_i)	[] (0 ~ 4 + Z_i)	[] (5 + Z_i ~ 6 + Z_i)
	1	[] (4 + Z_i ~ 4 + Z_i)	[] (0 ~ 6 + Z_i)		

[図7]

任意の $v_i \in \bigcap_{\tau=1}^{t^E} V_i(\tau)$ に対して、必ず $v'_i \in V_i^*$ および非負整数 Z_i が存在し、全てのアイテムベクトル $a_i \in A_i$ について、

$$v_i(a_i) = v'_i(a_i) = 0 \text{ あるいは } v_i(a_i) = v'_i(a_i) + Z_i$$

が成立する。よって、価値発見ステージにおいてプライステイカーとして需要表明した入札者の真の評価関数の値は、準線形性および私的価値の仮定下では、

かならず表示された上限と下限の範囲内に存在することになる²²。そのため、入札者は、全てのアイテムベクトル $a_i \in A_i$ について、

$$b_i(a_i) = v_i(a_i)$$

を正しく入力できる。

上述した手続きに従って決定された $b_i(a_i)$ を用いて、JPA1 と同様の仕方で、最大化問題 (1) を解き、その解からランダムにアイテム配分 a^* が決定される。さらに、定義式 (2) に従って支払額 x_i^* が決定される。

価値発見ステージにおけるせり上げは、入札者自身が指値する「イギリス式」ではなく、せり人が指値する「クロック式」、あるいは「日本式」と呼ばれる入札方式を採用している。クロック式をパッケージ・オークションに取り入れるアイデアは、Porter et al. (2003), Pekec and Rothkopf (2003), Ausubel and Milgrom (2002) などにおいて示され、その有用性が指摘されている。

JPA2 では、供給サイドも、プライステイカーにしたがって内生的に決定されるように設定されている。これは、Cramton (2009) によってその有用性が指摘されていたものの、具体的な設計を示された前例はないので、4 G 周波数オークション・ジャパンにおいてはじめて実施が期待される新しいクロック式の設計方法である。

クロック式の初期モデルでは、終了時点 t^E での需要表明の組み合わせ $(d_i(t^E))_{i=1}^n$ をそのままアイテム配分決定とし、支払額は終了時点 t^E での「相場」に等しい、すなわち、

$$x_i^* = p_1(t^E)d_{i,1}(t^E) + p_2(t^E)d_{i,2}(t^E)$$

としていた。しかしながら、このモデルの場合、各入札者は他の入札者の指値について当て推量する必要があり、それゆえ入札者の意思決定は複雑になる。

²² 入札者の意思決定の簡略化のため、表示された上限と下限の範囲内での任意の入力を認めることによって、顕示選好をみだす評価関数全体の集合よりも広い範囲の入力を許可している。たとえば、 $v_i(1,1) \leq v_i(0,3)$ をみだす指値の入力が認められるが、これは顕示選好には矛盾する。

結果的に、表明する需要を減らして価格操作するなどの寡占的弊害が起き、正直な需要表明をしなくなるので、効率的配分は達成されなくなる。

また、価格発見ステージにおけるパッケージ価格が「線形」であるとする制限のため、価格発見ステージだけでは効率的配分達成に十分な情報が集められないという欠点もある。一方、VCGメカニズムでは、当て推量の必要がなくなるため、入札者の意思決定はより単純になる。

VCGメカニズムによるアイテム配分と支払額決定は、コアに属するとは限らないので、あらかじめ入札者にその旨をきちんと説明しておくことが肝要である。コアにならないことを解決する目的で、Ausubel and Milgrom (2002)などは、VCGメカニズムではなく「コア選択メカニズム」という別の支払額決定ルールを採用している。しかし、効率性と収入の両面から、コア選択メカニズムはVCGメカニズムよりすぐれているとは言い難いので、ここでは検討しない²³。

パッケージ・オークションを採用しない、イギリス式の公開型の複数アイテム同時オークション、つまりSMRAでは、入札者間で共謀が成立しやすいことが指摘されている²⁴。一方、クロック式による価格発見ステージでは、公開型ではあるものの、他の入札者の個別需要を公開しないなど、共謀を企てにくくする措置がとられる。また、補助付きアイテム配分ステージが「封印型」であることは、共謀阻止に大いに役立つ。

VCGメカニズムを使わないクロック式初期モデルは、SMRAよりは4G周波数オークション・ジャパンに適しているといえる。なぜならば、パッケージ・オークションの一種であるため情報収集能力がより高いこと、アイテム分類によって複数アイテム複数単位の売却が可能であること、共謀が起こりにくいこと、がより優れた利点と考えられるからである。

アイテムベクトルに対する価値評価には、規模の経済性などの補完的価値と、代替的価値とが混在している。このことと、免許が非分割財であることから、

²³ Ausubel and Baranov (2010), Sano (2011),

²⁴ Klemperer (2007), 松島 (2010, 2011) .

価値発見ステージの終了時点では、需給均衡が成立せず、どちらかのアイテムについて超過供給が発生してしまう。このような事情から、価値発見ステージの機能をより強化する目的で、入札者ごとにことなる公示価格を設定するなど、様々な追加的工夫が検討されているが²⁵、ここでは取り扱わない。

²⁵ 関連する論文としては、Kelso and Crawford (1982), Gul and Stacchetti (2000), Parkes and Ungar (2002), Mishra and Parhes (2007), Parkes (2006), Ausubel (2006), Matsushima (2011)など。

6. JPA3 : 修正された顕示選好行動ルール

価値発見ステージにおいて入力ミスをしたり、途中で価値評価を変更する必要性が生じる場合などでは、顕示選好行動ルールを厳格に要求することがむしろ入札者の意思決定に混乱をもたらすかもしれない。この事態を深刻視するならば、アイテム配分ステージ全体を再修正する必要がある。そのため、本節は、代替案 JPA3 を紹介する。

JPA2 における価値発見ステージと補助付きアイテム配分ステージを、以下のように、「修正された価値発見ステージ」と「修正された補助付きアイテム配分ステージ」に置き換える。

修正された価値発見ステージ

JPA3 では、入札者は、既に需要表明したアイテムベクトルよりも免許数が多くなならない範囲内で、顕示選好条件と矛盾する需要表明をすることができる。よって、一旦顕示選好条件と矛盾する需要表明をしたならば、以降は、顕示選好条件と整合的な需要表明は存在しなくなるので、既に需要表明したアイテムベクトルよりも免許数が多くなならないアイテムベクトルのみが表明可能になる。既に需要表明したアイテムベクトルよりも免許数が多くなならないアイテムベクトルに制限する理由は、消極的に需要表明をすることで自身の情報を意図的に隠ぺいしようとする戦略的態度を排除したいからである。

価値発見ステージにおいて価値評価を変更する必要性のある入札者をどのようにモデル化するかは、さらに検討の余地のある、理論的に難しい問題である。そのため、JPA3 では、イギリスの Ofcom に類似した以下のルールが、便宜的に採用される²⁶。

過去の履歴 $(p(\tau), d_i(\tau))_{\tau=1}^{t-1}$ および $p(t)$ を所与として、

$$2d_{i,1}(t) + d_{i,2}(t) \leq \min_{\tau \in \{1, \dots, t-1\}} \{2d_{i,1}(\tau) + d_{i,2}(\tau)\}$$

²⁶ Cramton (2008, 2009, 2011).

をみたく $d_i(t) = a_i$ 全体の集合を $\hat{A}_i(t)$ と記す。顕示選好行動ルールを、以下の「修正された顕示選好行動ルール」に変更する。

修正された顕示選好行動ルール (Modified Revealed Preference Activity Rule) : 任意の時点 t にて、 $d_i(t) \in A_i(t) \cup \hat{A}_i(t)$ が成立する。

各入札者 i に対して、PC 画面上で $A_i(t) \cup \hat{A}_i(t)$ を表示し、この集合から需要を選ばせるようにする。この際、 $A_i(t)$ に属する、つまり顕示選好行動ルールをみたくアイテムベクトルと、 $A_i(t)$ に属さないが $\hat{A}_i(t)$ には属するアイテムベクトルとを区別して表示する。

例えば、図 5 の例において、 $(p_1(4), p_2(4)) = (6, 2)$ が公示された時点 $t=4$ では、アイテムベクトル $(1, 0)$ を需要表明することは、顕示選好行動ルールと矛盾するものの、既に需要表明したどのアイテムベクトルよりも免許数が多くならない。そのため、JPA3 では、 $A_i(t)$ に属さないが $\hat{A}_i(t)$ には属するアイテムベクトルとして、入札者 i はアイテムベクトル $(1, 0)$ を需要表明できるとする。PC 画面上では、アイテムベクトル $(1, 0)$ は、 $A_i(t)$ に属する他のアイテムベクトルと区別して表示される (図 8)。

	アイテム 2			
アイテム 1	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)
	(1,0)	(1,1)		

[図 8]

修正された補助付きアイテム配分ステージ

顕示選好行動ルールにしたがわなかった、すなわち $\bigcap_{\tau=1}^{t^E} V_i(\tau) = \phi$ である入札者 i に対しては、 V_i^* を以下のように定義する。顕示選好行動ルールにしたがった、すなわち $\bigcap_{\tau=1}^{t^E} V_i(\tau) \neq \phi$ である入札者 i については、JPA2 と同様に V_i^* が定義される。

任意のアイテムベクトル $a_i \in A_i$ について、時点 $t(a_i) \in \{1, \dots, t^E\}$ を、

$$a_i \in \hat{A}_i(t)$$

をみたく最後の時点 t と定義する。つまり、顕示選好行動ルールからはずれても、アイテムベクトル a_i を選択することが可能な最後の時点での顕示選好条件だけが考慮される。よって、顕示選好行動ルールにしたがわなかった入札者について、 V_i^* が以下のように定義される。すなわち、 $v_i \in V_i$ が集合 V_i^* に属するための必要十分条件は、等式

$$v_i(d_i(t^E)) = p_1(t^E)d_{i,1}(t^E) + p_2(t^E)d_{i,2}(t^E),$$

および、任意のアイテムベクトル $a_i \in A_i$ について、 $t = t(a_i)$ に対して、

$$v_i(d_i(t)) - \{p_1(t)d_{i,1}(t) + p_2(t)d_{i,2}(t)\} \geq v_i(a_i) - \{p_1(t)a_{i,1} + p_2(t)a_{i,2}\}$$

が成立することである。

このように V_i^* が定義されることによって、JPA2 と同様の仕方で、意思決定補助が PC 画面上で表示され、アイテム配分、免許配分、および支払金額が決定される。

注意すべき点は、入札者 i が顕示選好行動ルールに従わなかった場合には、任意のアイテムベクトル a_i について、実際に a_i が需要表明されたとしても、その時点での顕示選好条件は V_i^* の定義に加味されない、ということにある。このことは、 $d_i(t^E)$ およびゼロ以外のアイテムベクトルについては、Free Disposal 以外の下限制約が課されないことを意味する。また、上述した V_i^* の定義は、Free Disposal の要求と矛盾しないことが確認できる。

図5の例において、 $(p_1(4), p_2(4)) = (6, 2)$ が公示された時点 $t=4$ において、入札者 i は顕示選好行動ルールと矛盾するアイテムベクトル $(1, 0)$ を需要表明し、せり上げが終了したとしよう。この場合、修正された顕示選好行動ルールにしたがって、終了時点 $t^E=4$ では、 $(1, 1)$ 以外の全てのアイテムベクトルを選択することができる。よって、

$$t(0, 1) = t(0, 2) = 4 \text{ および } t(0, 3) = t(1, 1) = 3$$

が成立する。 V_i^* に属する評価関数 v_i の各アイテムベクトルについての上限と下限は、

$$v_i(1, 0) = \bar{v}_i(1, 0) = 6、$$

$$\bar{v}_i(1, 1) = 8、\bar{v}_i(0, 1) = 2、v_i(0, 2) = 4、v_i(0, 3) = 8、$$

$$v_i(0, 1) = v_i(0, 2) = v_i(0, 3) = v_i(1, 1) = 0$$

となる。こうして、図9に示されるようにPC画面上で入力できる価値の範囲が表示され、この表示にしたがって、Free Disposalの制約下で、入札者 i は価値評価を入力することとなる。

		アイテム2			
		0	1	2	3
アイテム1	0	0	[] (0 ~ 2 + Z _i)	[] (0 ~ 4 + Z _i)	[] (0 ~ 8 + Z _i)
	1	[] (6 + Z _i ~ 6 + Z _i)	[] (0 ~ 8 + Z _i)		

[図9]

7. JPA4 : 修正された免許配分ステージ

問題点 (2) を解消する目的で、本節は、修正案 JPA4 を紹介する。免許配分ステージは「修正された免許配分ステージ」に置き換えられる。

修正された免許配分ステージ

各入札者 i は、免許配分についての指値を、任意の関数 $f_i: E_i \rightarrow R_+ \cup \{0\}$ として入力する。制約 1 ~ 4 をみたす関数 $g: \{1, \dots, 10\} \rightarrow \{1, \dots, N\} \times \{1, 2\}$ 全体の集合を \hat{G} と記す。ここでは、問題点 (2) の解消のため、制約 5 を要求する集合 G より広い集合 \hat{G} が考慮される。

任意の $g \in \hat{G}$ について、 $C_i(g) \subset \{1, \dots, 10\}$ を、 $g_1(h) = i$ をみたす免許 h 全体の集合と定義する。政府は、以下の最大化問題

$$(3) \quad \arg \max_{g \in \hat{G}} \sum_{i=1}^n f_i(C_i(g))$$

の解からひとつをランダムに、あるいは、裁量的に、選択し、それを免許配分決定 g^* とする。VCGメカニズムのコンセプトにしたがって、

$$\gamma_i \equiv \max_{g \in G} \sum_{j \neq i} \beta_j(C_j(g)) - \sum_{j \neq i} \beta_j(C_j(g^*))$$

を定義する。入札者 i が最終的に支払う金額は、

$$x_i^* \equiv \max[x_i - (2a_{j,1}^* + a_{j,2}^*)H_i, (2a_{j,1}^* + a_{j,2}^*)M] + r_i$$

とされる。

8. その他の注意事項

各設計案では、あらかじめ保証金を課すなど、落札者が債務不履行に陥らない措置がとられているが、実際には、完全には債務不履行の発生を阻止できないので注意が必要だ。債務不履行が生じた場合は、その免許はすみやかに返還され、上述した設計案のオークション・ルールと同じような方法で、原則として返還された免許についてのみ再入札をおこなうべきである。

改正された電波法は落札者を「最高指値を申し出た入札者」としているが、最高指値が何を意味するかを明確にする必要がある。注意すべきは、パッケージ・オークションでは、最高指値を字句のごとく申し出た入札者に落札されるわけでない点である。改正された電波法との整合性を問われるのなら、どの入札者のどの指値が最高指値を割り出す際に「有効」とされるかを、入札の指針に明記する必要がある。

参考文献

- Ausubel, L. (2006): “An Efficient Dynamic Auction for Heterogeneous Commodities,” *American Economic Review* 96, 602-629.
- Ausubel, L. and P. Cramton (2011): “Activity Rules for the Combinatorial Clock Auction,” mimeo.
- Ausubel, L., P. Cramton, and P. Milgrom (2006): “The Clock-Proxy Auction: A Practical Combinatorial Auction Design,” in *Combinatorial Auctions*, ed. by P. Cramton, Y. Shoham, and R. Steinberg. MIT Press.
- Ausubel, L. and P. Milgrom (2006): “The Lovely but Lonely Vickrey Auction,” in *Combinatorial Auctions*, ed. by P. Cramton, Y. Shoham, and R. Steinberg. MIT Press.
- Bichler, M., P. Shabalin, and G. Ziegler (2010): “Efficiency with Linear Prices?: The Combinatorial Clock Auction and its Extensions,” mimeo.
- Bichler, M., P. Shabalin, and J. Wolf (2011), “Efficiency, Auctioneer Revenue, and bidding behavior in the combinatorial clock auction,” mimeo
- Brunner C., J. Goeree, C. Holt, and J. Ledyard (2010), “An Experimental Test of Flexible Combinatorial Spectrum Auction Formats,” *American Economic Journal: Microeconomics* 2, 39-57.
- Chen, Y. and K. Takeuchi (2010): “Multi-Object Auctions with Package Bidding: An Experimental Comparison of Vickrey and iBEA,” *Games and Economic Behavior* 68, 557-579.
- Chernomaz, D. and D. Levin (2008), “Efficiency and Synergy in a Multi-Unit Auction with and without Package Bidding: an Experimental Study,” mimeo.
- Clarke, E. (1971): “Multipart Pricing of Public Goods,” *Public Choice* 11, 17–33.
- Cramton, P. (2008): “A Review of the 10-40 GHz Auction,” mimeo.
- Cramton, P. (2009): “Spectrum Auction Design,” mimeo.
- Cramton, P. (2011a): “Incentive Auctions and Spectrum Policy,” mimeo.
- Cramton, P. (2011b): “Activity Rules for the Combinatorial Clock Auction,” mimeo.
- Cramton, P., Y. Shoham, and R. Steinberg (2006): *Combinatorial Auctions*, MIT Press.
- Goeree, J. and C. Holt (2010): “Hierarchical Package Bidding: a Paper & Pencil

- Combinatorial Auction,” *Games and Economic Behavior* 70, 146-169.
- Groves, T. (1973): “Incentives in Teams,” *Econometrica* 61, 617–631.
- 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. and D. Levin (2001), “Behavior in Multi-Unit Demand Auctions: Experiments with Uniform Price and Dynamic Vickrey Auctions,” *Econometrica* 69,413-454.
- Kagel J. and D. Levin (2009), “Implementing Efficient Multi-Object Auction Institutions: An Experimental Study of the Performance of Boundedly Rational Agents,” *Games and Economic Behavior* 66, 221-237.
- 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. (2004): *Auctions: Theory and Practice*, Princeton University Press.
- Krishna, V. (2010): *Auction Theory*, Second Edition, New York, Academic Press.
- Ledyard, J., D. Porter, and A. Rangel (1997), “Experiments Testing Multiobject Allocation Mechanisms,” *Journal of Economics and Management Strategy* 6, 639-675.
- Mas-Colell, A., M. Whinston, and J. Green (1995): *Microeconomic Theory*, Oxford University Press: Oxford.
- Matsushima, H. (2011a): “Price-Based Combinatorial Auction: Connectedness and Representative Valuations,” Discussion paper CIRJE-F-806, University of Tokyo.
- Matsushima, H. (2011b): “Efficient Combinatorial Exchanges,” Discussion paper CIRJE-F-826, University of Tokyo.
- Milgrom, P. (2004): *Putting Auction Theory to Work*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mishra, D. and D. Parkes (2007): “Ascending Price Vickrey Auctions for General Valuations,” *Journal of Economic Theory* 132, 335-366.
- Munro D. and S. Rassenti (2011), “Combinatorial clock auctions: price direction and

- performance,” mimeo.
- Myerson, R. (1979): “Incentive Compatibility and the Bargaining Problem,” *Econometrica* 47, 61-73. 36
- Parkes, D. (2006): “Iterative Combinatorial Auctions,” in *Combinatorial Auctions*, ed. by P. Cramton, Y. Shoham, and R. Steinberg. MIT Press: Cambridge.
- Parkes, D. and L. Ungar (2002): “An Ascending-Price Generalized Vickrey Auction,” mimeo, Harvard University.
- Pekec, A. and M. Rothkof (2003): “Combinatorial Auction Design,” *Management Science* 49, 1485-1503.
- Porter, D., S. Rassenti, A. Roopnarine, and V. Smith (2003): “Combinatorial Auction Design,” *Proceeding of the National Academy of Sciences* 100, 11153-11157.
- Porter, D. and V. Smith (2006): “FCC License Auction Design: A 12-Year Experiment,” *Journal of Law Economics and Policy* 3.
- Rassenti, S., V. Smith, and R. Bulfin (1982), “A combinatorial auction mechanism for airport time slot allocation,” *The Bell Journal of Economics* 13, 402-417.
- Rothkopf, M., T. Teisberg, and E. Kahn (1990): “Why Are Vickrey Auctions Rare?” *Journal of Political Economy* 98, 94-109.
- Sano, R. (2011): “Non-Bidding Equilibrium in an Ascending Core-Selecting Auction,” mimeo.
- Scheffel, T., G. Ziegler, and M. Bichler (2012): “On the Impact of Cognitive Limits in Combinatorial Auctions: An Experimental Study in the Context of Spectrum Auction Design,” mimeo.
- Scheffel, T., A. Pikovsky, M. Bichler, and K. Guler (2011): “An experimental comparison of linear and non-linear price combinatorial auctions,” mimeo.
- Vickrey, W. (1961): “Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders,” *Journal of Finance* 16, 8-37.
- 総務省 (2011): 「周波数オークションに関する懇談会報告書」.
- 松島斉 (2011a): 「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」 「季刊経済学論集」 76 (4) , 2-21, 東京大学経済学会。
- 松島斉 (2011b): 「電波オークション成功の条件」 「経済教室」 12月2日日本経

済新聞朝刊。

松島斉 (2012a): 「電波オークションまったなしー日本を変えるマーケットデザイン」 「経済セミナー」 2012年2月号、日本評論社.

松島斉 (2012b): 「4G周波数オークション・ジャパン設計案」 「経済セミナー」 2012年6,7月号掲載予定、日本評論社.