

連載「オークションとマーケットデザイン」第一回  
「経済セミナー 6, 7月号」2012年（元原稿）

## 4 G周波数オークション・ジャパン<sup>1</sup>

松島 齊

東京大学経済学研究科

2012年4月20日

電波法が改正され、永年の懸案であった「周波数オークション」が、ようやく日本で可能になった。来年には、4 G（第4世代）携帯通信向けに周波数を割り当てなければならない。しかし、オークションの実施には、社会通念にとらわれない「マーケットデザイン」による専門的なルール設計が不可欠だ。日本政府にそれができるだろうか？

「4 G周波数オークション・ジャパン」と呼ぶべきこの検討課題は、マーケットデザイン入門の格好のケーススタディーだ。新連載の第一回は、4 G周波数オークション・ジャパンを解決するための、具体的な設計案を紹介したい。

### 電波法改正

今年（2012年）3月に「電波法改正」が閣議決定された。これにより、携帯電話向け周波数利用免許を、オークションなどの競争的方式によって割り当てる「周波数オークション」が、日本でようやく可能になった。

今まで日本政府は、客観性の乏しい裁量的判断にたよる方式（「比較聴聞」あるいは「美人投票」と呼ばれる）にしたがって、無償で既存事業者に免許を割り当ててきた。これについては、今まで多くの批判や議論が繰り返されてき

---

<sup>1</sup> 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。

た<sup>2</sup>。しかし今後は、日本政府が、周波数オークションを適切に実施していくことができるかどうか論点になる。

実は、周波数オークションは、単純なせり上げなどの「出来合い」の入札制度をそのまま利用できないような一筋縄でいかない性質をもつ。そのため、「社会通念」にとらわれない独自のルール設計が必要となる。

オークション・ルールなどの制度設計を具体的に検討するため、「マーケットデザイン」と呼ばれるゲーム理論の新分野が台頭してきた。日本政府は、マーケットデザインで培われた専門的知識を活用しなければならない。

新連載「オークションとマーケットデザイン」の第一回は、日本政府が「マーケットデザイン」に初めて本格的に向き合う事例となる検討課題、すなわち「4G周波数オークション・ジャパン」を解説する。

## 4G周波数オークション・ジャパン

総務省は、2013年度に、第4世代(4G)携帯電話向け周波数利用のために、3.4GHzから3.6GHzまでの200MHz帯域幅を事業者に割り当てることを計画している。技術的理由から、200MHz帯域幅は、1ロット20MHz幅、計10ロットに分割され、定められた有効期間における1ロットの利用権が「1免許」とされる(図1)。日本政府の検討課題は、この10免許をオークションによって事業者に割り当てることにある。この課題を「4G周波数オークション・ジャパン」と呼ぼう。

20MHz	20MHz	20MHz	20MHz	20MHz	20MHz	20MHz	20MHz	20MHz	20MHz
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

[図1] 200MHzを10ロットに分割

<sup>2</sup> 海外諸国は、既に10数年前から周波数オークションを導入している。周波数オークションの意義、論点、経緯などの詳しい説明については、松島(2011b、2012a)を参照されたい。

4Gは、大容量超高速通信を実現するシステムだ。各ロットは、代替的な通信技術である TDD（Time Division Duplex, 時間分割複信）、FDD（Frequency Division Duplex, 周波数分割複信）のどちらにも利用できる。4Gの代表的な通信規格は WiMAX2 と LTE-Advanced である<sup>3</sup>。各々は、異なる通信技術 TDD、FDD を使用中長期的な優劣は今のところつけがたい。そのため、日本政府は、TDD、FDD のどちらを採用するかを事前には特定すべきでない、つまり、「技術的中立」の立場を貫かなければならない。

免許配分には、以下のような技術的制約が課される<sup>4</sup>。FDD は、「上り（発信）」と「下り（受信）」の2ロットをペアとして利用する。上りロットと下りロットは、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）以上間隔をあける。ブロック間に位置するロットは TDD 用に利用される。したがって、FDD に利用できるロット数は最大 8（上り用 4 ロット、下り用 4 ロット）、TDD には最低でも 2 ロットが利用される（図 2）。

<b>FDD1</b>	<b>FDD2</b>	<b>FDD3</b>	<b>FDD4</b>	<b>TDD1</b>	<b>TDD2</b>	<b>FDD1</b>	<b>FDD2</b>	<b>FDD3</b>	<b>FDD4</b>
上り	上り	上り	上り			下り	下り	下り	下り

[図 2] 免許配分の技術的制約：最低 2 ロットは TDD 用

言うまでもなく、FDD 用ロット数が 8 未満、TDD 用ロット数が 3 以上になるケースも、検討対象である（図 3）。また、同じ事業者の TDD に対応する免許を隣接させる、同じ事業者の FDD に対応する免許（ロット）を上り用と下り用ごとに隣接させる、などの追加的制約も課されうる。

<b>FDD1</b>	<b>FDD2</b>	<b>FDD3</b>	<b>TDD1</b>	<b>TDD2</b>	<b>TDD3</b>	<b>TDD4</b>	<b>FDD1</b>	<b>FDD2</b>	<b>FDD3</b>
上り	上り	上り					下り	下り	下り

<sup>3</sup> 他に TD-LTE などがある。

<sup>4</sup> 技術的制約についての記述は、総務省（2011）および Cramton（2009）などに基づく。言うまでもなく、すぐれた配分達成には、技術面の専門知識が不可欠であるため、技術的知識とマーケットデザインのコラボレーションがうまく機能することが望ましい。

[図 3] FDD 用ロット数が 8 未満、TDD 用ロット数が 3 以上になるケース

以上のような技術的制約下で、はたして、10 免許をどのように事業者に割り当てたらいいだろうか。これが、4G 周波数オークション・ジャパンの検討課題である。

免許配分を過度に特定事業者に集中させないことを前提とするならば、高収益が見込まれる事業者に優先的に割り当てることは結果的に、よりよいサービスが消費者に提供され経済厚生を高める、すなわち「効率的配分」を達成することを意味する。よって、日本政府は、高収益が見込まれる事業者に優先的に割り当てることができるように、オークション・ルールを設計しなければならない。

効率的配分などの目標達成のために、オークション、市場メカニズム、さらには社会経済制度一般の設計を実践的に検討する際には、「マーケットデザイン」の専門的知識が必要になる<sup>5</sup>。4G 周波数オークション・ジャパンは、マーケットデザイン入門の格好のケーススタディーになる。

### パッケージ・オークション

効率的配分を達成するため、政府は、各事業者から、将来収益についての情報を引き出さなければならない。特に、個別免許でなく、複数免許を組み合わせた「パッケージ」の価値（収益性）について、情報申告させなければならない点が重要だ。

二人の事業者 1, 2 が免許 A、B の獲得を競う状況を考えよう（図 4）。事業者 1 は、免許 A か免許 B のどちらにも 4 万円の価値があると査定しているが、免許 A か免許 B のどちらかがあれば十分であり、両方獲得しても 4 万円の価値

<sup>5</sup> マーケットデザインの代表的な研究テーマは、オークションとマッチングである。この連載は、主にオークションにフォーカスをあてる。また、電力市場や金融システムなども潜在的に重要な応用対象である。

のままである。この価値の状態は「代替性」と呼ばれる。一方、事業者2は、両方免許がそろると6万円もの価値になるが、片方だけではなんの価値もない。この価値の状態は「補完性」と呼ばれる。このケースでは、事業者2に両方の免許を割り当てることが効率的配分になる。この効率的配分を知るために、個別免許だけでなく、免許Aと免許Bを組み合わせた「パッケージ」の価値情報も活用したことに気付かれない。

	免許A	免許B	免許A + B
事業者1	4万	4万	4万
事業者2	0	0	6万

[図4] 2人の事業者が免許A、Bの獲得を競う状況

4G周波数オークション・ジャパンは、図4のケース同様、代替性と補完性が混在した状況にあり、パッケージの価値情報が必要になる典型的な事例だ。よって、政府は、各事業者に獲得可能な全パッケージの価値についての必要情報を申告させるように、オークション・ルール設計を考えなければならない。このようなルールは「パッケージ・オークション」と総称される<sup>6</sup>。日本政府は、パッケージ・オークション設計に、真摯に取り組まなければならない。

### 意思決定の複雑性

しかし、パッケージ・オークションを実際に使うとなると、意思決定の「複雑性」という、以下のような壁にぶち当たる。ただし、この壁を乗り越えさえすれば、周波数オークション成功へ「大きな一歩」を踏み出せる。

<sup>6</sup> パッケージ・オークションについての教科書には、Cramton et al (2006)がある。Combinatorial auction とも呼ばれる。オークション理論一般についての教科書である Milgrom (2004), Klemperer (2004), Krishna (2010)などにも、パッケージ・オークションについての記述がある。

$n$ 人の事業者が4G周波数オークション・ジャパンに参加するとしよう。免許配分集中を排除するため、政府は、事前に、各事業者 $i \in \{1, \dots, n\}$ が獲得できる免許数を、最大 $l_i$ 単位に制限しておく<sup>7</sup>。よって、各事業者 $i$ が検討すべきパッケージ数は $\sum_{k=1}^{l_i} \binom{10}{k}$ 個になる。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、総免許数10にくらべて圧倒的に大きな数である。そのため、全パッケージについて一度に査定申告することは、現実の事業者にとっては至難の業になる。

諸外国の事例には、このことが災いして、パッケージ・オークションを断念して、「同時複数ラウンドせり上げオークション (SMRA)」と呼ばれる、パッケージ・オークションではない「次善の策」にたよるケースが見られる。

SMRAは、入札参加者が、個別免許に対して通常の仕方で、ただし複数同時に、申告する値をせり上げていくオークション・ルールである<sup>8</sup>。SMRAは、現実使用される頻度の高い、ポピュラーなルールである。しかし、価格高騰を誘発したり、あるいは逆に、既存事業者の共謀を誘発して、最低入札価額付近以上には価格をせり上げないなど、効率的配分の達成が疑われるような事例が、数多く見られる。そのため、近年では、SMRAを周波数オークションに採用することは疑問視されている<sup>9</sup>。

さて、このような「パッケージ・オークションの失敗」は、免許数が多く、複数の周波数帯域を同時に扱うケースにおいて発生しやすい。幸いなことに、4G周波数オークション・ジャパンでは、比較的少ない数の均質な免許が扱われる。そのため、以下のような、「アイテム分類」と称される、簡単な工夫によって、複雑性を劇的に緩和できる。つまり、4G周波数オークション・ジャパンでは、パッケージ・オークションの失敗は起こらないのだ。

<sup>7</sup> 免許数の制限については、事業者自身が、保証金の追加提供を担保に、購入可能単位数を決める仕方も考えられる。

<sup>8</sup> Milgrom (2004), Cramton et al (2006)などを参照されたい。

<sup>9</sup> Klemperer (2004), Cramton (2009)、松島 (2012a)などを参照されたい。

## アイテム分類

まず、免許を二つのアイテム、「アイテム1」と「アイテム2」に分類する。アイテム1は、FDD用に2免許ペアを獲得する「権利」と定義される。アイテム2は、TDD用に1免許を獲得する権利と定義される。

オークションの決定手続きを、以下のように二段階に分ける。まず、第一段階として、各事業者*i*がアイテム1とアイテム2を各々何単位獲得するか、すなわち各事業者*i*の「アイテムベクトル $a_i = (a_{i,1}, a_{i,2})$ 」(アイテムのパッケージ)が決定される。ここで、 $a_{i,h}$ は、事業者*i*が獲得するアイテム $h \in \{1,2\}$ の単位数である。次に、第二段階において、個々のアイテムをどのロットに対応付けるかを決定し、免許配分が最終確定される。

第一段階におけるアイテムベクトルの決定によって、各事業者の「事業規模」が確定されることになる。事業規模は、オークション後の収益を規定する最重要因だ。そのため、第一段階にて、各事業者*i*に、各パッケージの価値ではなく、各アイテムベクトル $a_i$ の価値 $v_i(a_i)$ について査定申告させさえすれば、効率的配分達成にほぼ十分な情報を収集できることになる。

特筆すべきは、パッケージの数に比べて、アイテムベクトルの数が極端に少なくなることである。このため、事業者の意思決定の複雑性は劇的に緩和される。事業者*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 $a_i \equiv (a_{i,1}, a_{i,2})$ 全体である<sup>10</sup>。これを $A_i$ と記す。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、事業者*i*はたかだか11アイテムベクトルの価値を査定申告すれば事足りる。この程度の数であれば、図5のように、全アイテムベクトルをPC画面

<sup>10</sup> 技術的制約から、アイテム1用の免許供給が最大8に制限されるため、 $a_{i,1} \leq 4$ という不等式制約が課されている。

上で混乱なく一覧できる。事業者*i*は、11 アイテムベクトルの価値についての申告値 $b_i(a_i)$ を、括弧[ ]内に入力すればいいだけだ。

アイテム分類は、扱われる免許数が非常に多いケースなどでは、十分に複雑性を緩和できない。しかし、4G 周波数オークション・ジャパンの場合は、扱う免許数が少ないため、アイテム分類は、このように非常に効果的である。

		アイテム 2					
		0	1	2	3	4	5
アイテム 1	0	0	$[b_i(0,1)]$	$[b_i(0,2)]$	$[b_i(0,3)]$	$[b_i(0,4)]$	$[b_i(0,5)]$
	1	$[b_i(1,0)]$	$[b_i(1,1)]$	$[b_i(1,2)]$	$[b_i(1,3)]$		
	2	$[b_i(2,0)]$	$[b_i(2,1)]$				

【図 5】 全アイテムベクトルを PC 画面上で混乱なく一覧できる場合

## 技術中立性

各事業者が正直に申告値を入力する、すなわち、任意のアイテムベクトル $a_i$ について、

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

が成立するとしよう。各事業者が図 5 に申告値を入力した後、政府は、以下の要領にしたがって、アイテムベクトルの組み合わせ、すなわち「アイテム配分 $a = (a_i)_{i=1}^n$ 」を決定すれば、効率的配分を事実上達成できる。つまり、政府は、三つの条件、

(i) 各事業者*i*について $a_i \in A_i$ が成立する、つまり

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

(ii) 割り当てられる総免許数が10である、つまり

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

(iii) アイテム1の数が4以下である、つまり、

$$\sum_{i=1}^n a_{i,1} \leq 4、$$

をみたく範囲内で、申告値の総和

$$\sum_{i=1}^n b_i(a_i)$$

を最大にするアイテム配分  $a = a^*$  を決定すればよい。この決定は、総価値  $\sum_{i=1}^n v_i(a_i)$

を最大にするので、効率的配分を達成している。アイテム配分  $a^*$  が決定されれば、後は、政府が第二段階において、ランダムに、裁量的に、あるいは何らかの競争的方式によって、 $a^*$  に即した免許配分を、技術的制約下で最終確定するだけである。

特筆すべきは、「技術中立性」が最大限に保持されている点にある。FDD用のロット数とTDD用のロット数は、 $\sum_{i=1}^n b_i(a_i)$  の、つまり総価値の、最大化の結果として、オークションの手続きの中で「内生的」に決定されることになる。もし技術中立性が不徹底ならば、どの技術や規格にどれだけロット数を提供するかは政府の裁量によって特定されるので、元の本阿弥である。

## インセンティブとVCGメカニズム

こうして、複雑性に惑わされることなく、4G周波数オークション・ジャパンにパッケージ・オークションを導入できることがわかった。しかし、これだけではまだ解決に至らない。残された問題は、はたして事業者は本当にアイテムベクトルの価値を正直に申告する「インセンティブ」をもつかどうか、である。

例えば、各事業者*i*の支払額 $x_i^*$ を、獲得するアイテムベクトルに対して自身が申告した値 $b_i(a_i^*)$ に一致させるように、つまり $x_i^* = b_i(a_i^*)$ となるように、ルール設定したとしよう。この場合、事業者は、正直に価値を申告すれば、免許獲得による便益を全額支払うことになるので、実際の価値よりも低く申告しようとする。これでは、正直に価値を申告するインセンティブは失われてしまう。

しかも事業者は、どの程度割り引いて価値を申告すればいいかを、戦略的に検討するはめになる。つまり、他の事業者がどのように価値を申告するかについて、「当て推量」しなければならない。これは、事業者にとって容易でないだけでなく、政府にとっても予測困難だ。よって、このような短絡的な支払ルール設定は、4G周波数オークション・ジャパンの解決にはふさわしくない。

では、はたして、各事業者*i*が正直に情報申告をするインセンティブをもつには、支払額 $x_i^*$ の決め方を、どのようにルール設計すればいいだろうか。

この問いに対する答えは、「各事業者*i*の支払額 $x_i^*$ を

$$x_i^* \equiv \max_{a \in A} \sum_{j \neq i} b_j(a_j) - \sum_{j \neq i} b_j(a_j^*)$$

と設定すればいい」ということである。 $\max_{a \in A} \sum_{j \neq i} b_j(a_j)$ は、事業者*i*がオークションに参加しなかった場合の、他の事業者の、申告値をもとに計算された、最大総価値を意味する。 $\sum_{j \neq i} b_j(a_j^*)$ は、事業者*i*を含め全員が参加した場合の、最大総

価値 $\sum_{j=1}^n b_j(a_j^*)$ から事業者*i*の申告値 $b_i(a_i^*)$ を引いた、残りの値である。つまり、

支払額の設定  $x_i^* \equiv \max_{a \in A} \sum_{j \neq i} b_j(a_j) - \sum_{j \neq i} b_j(a_j^*)$  は、「事業者*i*がオークションに参加することによって他の事業者が失うことになる価値の損失分を、政府に支払う」ことを意味している。

このように、「自身が参加することによって他の事業者がこうむることになる損失分を払う」とするルール設定は、「VCG (Vickrey-Clarke-Groves) メカニ

ズム」<sup>11</sup>と呼ばれている。VCG メカニズムは、ゲーム理論研究者ならだれもが知っている、メカニズム・デザインの考え方の基本中の基本である。効率的配分の達成をめざす4G周波数オークション・ジャパンは、「アイテム分類」とともに、「VCG メカニズム」を搭載することによって、解決に至るのである。

では、なぜこのVCG メカニズムがすぐれていると考えられるのか？その理由は、VCG メカニズムにおいては、各事業者にとって正直に価値申告することが、他の事業者の申告値に無関係に、自身の便益を最大にする、つまり「優位戦略」になるからである。たとえ他の事業者がでたらめに価値申告しようとも、それに一切かまわず、ただ正直に申告することこそが、自身にとってベストになるのだ。VCG メカニズムにおいては、他の事業者の価値申告を当て推量する必要さえない。

しかしながら、実際の事業者は、VCG メカニズムの特殊な支払い金額の設定の仕方に対して、最初は当惑するに違いない。そのため、事前にきちんとその内容を説明して、当て推量や価値申告戦略を模索するのは不要であり、正直が常にベストであることを、各事業者によく説得しておくことが望ましいだろう。

VCG メカニズムは、マーケットデザインの最重要概念のひとつであり、その良い面、そうでもない面などについては、かなり知り尽くされていると言える。VCG メカニズムの短所としては、その支払額が、状況によっては、「不当に」低くなることなどが指摘されており、メカニズムをある程度修正しないと（たとえば、申告値の一定割合を支払わせる、あるいは「入札者最適コアルール」と呼ばれる修正案に置き換える、など）、VCG メカニズムには複数事業者が安価での購入を目論んで共謀する危険性もあることが知られている。今後この連載を通じて、VCG メカニズム、およびその一般形であるグローブス・メカニズムの真意を、じっくり吟味していきたい<sup>12</sup>。

---

<sup>11</sup> Vickrey (1961), Clarke (1971), Groves (1973)。

<sup>12</sup> VCG メカニズムあるいはグローブスメカニズムについての詳しい説明としては、Milgrom (2004), Krishna (2010)など。

## 日本型パッケージ・オークション (JPA)

上述したオークション・ルールを基本形として、4G周波数オークション・ジャパンの解決のために、松島(2012b)は複数の設計案の骨子を提示した。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) の作業チーム (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)、および私) は、最終設計案「日本型パッケージ・オークション (Japanese Package Auction, JPA)」を作成することになっている。

AMFは、2012年1月に発足された、マーケットデザインによる政策提言を作成実施するための研究者集団である<sup>13</sup>。設計案 JPAは、AMF による最初の政策提言になる。日本政府には、JPAを4G周波数オークション・ジャパンに採用することが切に望まれる。

美術品オークションや市場のせりなどといった、「社会通念」としての入札制度のイメージは、単一財を一単位売却することを念頭に置く。改正された電波法の条文も、このような社会通念に引き付けて書かれている。しかし、上述したオークション・ルールは、社会通念からは、かなりかけ離れたものである。例えば、条文では、落札者を「最も高い価額を申し出た参加者」と定義しているが、上述したルールでは、落札者は、字句のごとく、最も高い価値を申し出た事業者には、必ずしもならない。

周波数オークションには、社会通念とことなる専門的設計が必要であることは、実施経験のない日本では、今まで認知されてこなかった。しかし、今後問われる電波法改正の意義を左右する上で、このことはとても重要になる。そのため、日本で周波数オークションが可能になった今、4G周波数オークション・ジャパンの具体的な設計案を早期に提示することは、なによりも望まれることなのだ。AMFによる政策提言の主眼はここにある。

---

<sup>13</sup> URL: <http://exp.e.u-tokyo.ac.jp/auction/>

専門的な設計が示されないままだと、日本政府は、利害関係者 (Stakeholders) 間の妥協点を探す「政治的決着」だけで、オークション・ルールの詳細を決定しがちになる。専門的な設計案を事前に提示すれば、日本政府が政治的決着だけでルール作成する事態を回避できる。

また、オークションの設計に失敗すると、価格が高騰したり、既存企業が共謀を画策したり、オークションが談合の温床になったりする。オークション後、資金繰りに困り、落札事業者が通信サービスをスタートできない事態も起こりうる。これらは国民も事業者も恐れることだ。しかし、今日では十分に研究が進展しているので、適切な設計と実施によって、これらを食い止めることができる。

## クロック式

JPA では、事業者の意思決定の複雑性をさらに緩和させるための追加的措置が検討されている。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数が少ないとはいえ、かなり高額が予想される価値を正しく査定申告することは、現実の事業者にとって、依然として複雑な作業である。そのため、単純でわかりやすい質問をくりかえすことによって、事業者に徐々に情報を引き出させるように、なんらかの手続き的合理性にもとづく工夫を、オークション・ルールに盛り込もうというわけである。

JPA では、「クロック式」と呼ばれる、Ausubel, Cramton, and Milgrom (2006) が考案した工夫の導入を検討している。クロック式とは、架空のせり人が、入札参加者のかわりに価格を公示しせり上げていくオークション・ルールのこと、主に単一アイテム複数単位の売却に使われる<sup>14</sup>。その発祥の歴史から、「日本式」とも呼ばれている。

---

<sup>14</sup> これは、ミクロ経済学の教科書で学ぶ「タトヌマン模索過程」に類似した考え方である。ただし、せり人による価格調整がせり上げに限定されている点に違いがある。Milgrom (2004), Krishna (2010) といったオークションの教科書には、電力などの単一アイテム複数単位取引を念頭に置いた解説がある。この連載でもさらに言及する予定である。

JPA では、このクロック式を、配分と支払い金額を決定する目的ではなく、事業者の価値査定を簡素化する目的で、前述の VCG メカニズムの前段階に、予備ステージとして利用することを検討している<sup>15</sup>。

せり人は、アイテム 1 とアイテム 2 の単位価格の公示を、低価格からスタートさせ、定められたグリッド幅で徐々にせり上げていく。各時点  $t=1,2,\dots$  において、せり人は、価格ベクトル  $p(t)=(p_1(t), p_2(t))$  を公示し、各事業者には、「プライステイカー」として需要ベクトル  $d_i(t)=(d_{i,1}(t), d_{i,2}(t))$  を正直に申告するように要請する。ここで、 $p_h(t)$  はアイテム  $h$  の公示価格、 $d_{i,h}(t)$  はアイテム  $h$  に対する事業者  $i$  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。また、各時点において、政府は、一免許当価格が高い方のアイテムを、優先的に供給すると仮定される。せり人は、超過需要が発生したアイテムの価格をせり上げていく。そして、両アイテムともに超過需要がなくなった時点で、せりを終了する。

事業者にとって、プライステイカーとして需要申告することは、全アイテムベクトルの価値を一気に査定申告することに比べると、はるかに単純な作業になる。また、せり終了時点で需要申告されたアイテムベクトルの価格は、このアイテムベクトルを獲得するのに必要な「相場（市場価格）」を意味する。この相場を知ることによって、事業者は、高額が予想される「絶対的価値」の査定を、「私は相場よりもどのくらい高く評価しているか」という、よりわかりやすい相対比較の問題におきかえて、考えることができる。

顕示選好にもとづいて、アイテムベクトル間の「相対的価値」も明らかになる。つまり、各時点  $t$  において、事業者  $i$  が需要ベクトル  $d_i(t)=(d_{i,1}(t), d_{i,2}(t))$  を申告したことは、他のアイテムベクトル  $a_i$  との相対的価値が、以下の不等式

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

<sup>15</sup> 予備ステージとしてクロック式を利用するアイデアは、UK 10~40GHz オークション (Cramton (2008)) で実施されている。UK 2.6GHz オークションにおいても検討されている (Cramton (2009))。

をみたすことを意味する。

この予備ステージの結果は、配分と支払い金額の決定には直接影響しない。したがって、需要申告の仕方に何らかの整合性条件を課しないと、事業者たちはこの予備ステージにまじめに取り組まないことになってしまう。その条件の課され方を、以下に見ていくことにしよう。

たとえば、事業者  $i$  の最大獲得免許数を  $l_i=3$  とし（したがって、 $A_i = \{(0,0), (0,1), (0,2), (0,3), (1,0), (1,1)\}$ ）、公示価格ベクトルと需要申告の履歴が、図 6 に与えられた通りであるとしよう。この場合、顕示選好をみたす事業者  $i$  の価値評価は、不等式群

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

を、必要条件としてみたすことになる。ここで、 $Z_i$  は「相場よりもどのくらい高く評価しているか」を意味する任意の非負整数である。

	$p_1(t)$	$p_2(t)$	$d_{i,1}(t)$	$d_{i,2}(t)$
t=1	2	1	0	3
t=2	4	1	0	3
t=3	4	2	1	0

[図 6] せり人の価格公示と事業者の需要申告の数値例

アイテムベクトル  $(0,3)$  を例にとると、時点  $t=1$  において  $(0,3)$  が選択されたことから、

$$v_i(0,3) - 3 \geq v_i(1,0) - 2,$$

時点  $t=2$  において  $(0,3)$  が選択されたことから、

$$v_i(0,3) - 3 \geq v_i(1,0) - 4,$$

時点  $t=3$  において  $(1,0)$  が選択されたことから、

$$v_i(0,3) - 6 \leq v_i(1,0) - 4$$

がみたされる。これらの不等式から、

$$v_i(1,0) + 1 \leq v_i(0,3) \leq v_i(1,0) + 2$$

が成り立つ。また、時点  $t=3$  において  $(1,0)$  が選択されたことから、

$$v_i(1,0) \geq 4、$$

すなわち、ある  $Z_i \geq 0$  が存在して、

$$v_i(1,0) = 4 + Z_i$$

が成り立つことがわかる ( $v_i(0,0) = 0$  が前提とされる)。以上より、不等式

$$5 + Z_i \leq v_i(0,3) \leq 6 + Z_i$$

が成立することがわかる。

予備ステージのせりが時点 3 で終了したとしよう。次に、本番の VCG メカニズムのステージに移る。ここでは、集合  $A_i$  内の全アイテムベクトル  $a_i$  の価値  $b_i(a_i)$  を申告することが要求される。予備ステージの結果を踏まえて、次のような「アシスト」がなされる。つまり、事業者  $i$  の PC 画面上には、アイテムベクトルごとに、顕示選好の不等式群をみたす範囲内で可能な、申告値の上限と下限が、図 7 のように表示される。事業者  $i$  は、非負整数  $Z_i$  をまず選択し、次に、表示された上限と下限の範囲内で、各アイテムベクトルに対する申告値を、括弧 [ ] 内に入力すればよい。こうして、困難だった全アイテムベクトルの価値査定申告は、速やかに完了に至る。

		アイテム 2			
		0	1	2	3
アイテム 1	0	0	$[b_i(0,1)]$ $(0 \sim 2 + Z_i)$	$[b_i(0,2)]$ $(0 \sim 4 + Z_i)$	$[b_i(0,3)]$ $(5 + Z_i \sim 6 + Z_i)$
	1	$[b_i(1,0)]$ $(4 + Z_i \sim 4 + Z_i)$	$[b_i(1,1)]$ $(0 \sim 6 + Z_i)$		

[図 7] アシスト付き価値申告入力画面

一方、時点 3 ではせりが終了せず、次の時点  $t=4$  において、せり人が

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

を公示した場合、時点  $t=4$  において顕示選好をみたしうる需要申告  $d_i(4)$  の範囲は、図 8 に示された 4 アイテムベクトルのみになる。よって、事業者  $i$  にこの 4 アイテムベクトルから 1 つを選択させれば、顕示選好に矛盾することなく需要申告させることができる<sup>16</sup>。

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

[図 8] 顕示選好下で需要申告可能なアイテムベクトルの範囲

以上をまとめると、各事業者は、まず、クロック式の各時点において、PC 画面上で指定されたアイテムベクトルの範囲内で、プライステイカーとして正直に需要申告すればよい。次に、クロック式終了後、相場に上乗せする金額  $z_i$  を決め、上限と下限の範囲内で申告値を決めればよい。このように、全アイテムベクトルの価値査定申告がわかりやすい決定手続きに置き換えられることによって、事業者の意思決定の複雑性は大幅に緩和されている。

## 価値発見と支払い金額決定

上述したクロック式は、あくまでも、アイテムベクトルの価値査定を補助する、「価値発見」のための工夫として導入されたものである。実際の配分と支払

<sup>16</sup> JPA では、事業者が価値評価を変更する状況に対処するため、さらに追加的工夫が検討される盛り込まれている。また、最終的な免許配分にもオークションを導入する措置なども考慮されている。

い金額は、クロック式終了後に改めて入力された申告値にもとづいて、VCG メカニズムによって決定される。

クロック式において正直に需要申告しなかった場合は、上限と下限の制約が変わるので、場合によっては、クロック式終了後に正直な価値申告ができなくなる恐れがある。そのため、VCG メカニズムのもとでは、クロック式においても、プライステイカーとして正直に需要申告することが自身にとって最適になる。こうして、事業者全員が正直に需要申告するおかげで、適切な相場を知ることができる。

既に述べたように、VCG メカニズムの欠点として、支払い金額の決まり方が少々複雑であることが指摘されている<sup>17</sup>。この欠点を補うための妥協案として、VCG メカニズムを使わずに、クロック式の終了時点で公示された価格と需要申告されたアイテムベクトルを、そのまま支払い金額とアイテム配分の決定とするように、ルールを変更することが考えられる (Ledyard et al (1997))。

このような妥協案は、VCG メカニズムでないため、インセンティブ上の不備が避けられないオークション・ルールではある。しかし、過去の周波数オークションで度々使われてきた SMRA よりは、かなり優れているといえる。なぜならば、この妥協案は、事業者に、個別免許ではなく、アイテムベクトルを需要申告させるので、パッケージ・オークションの一種とみなすことができるからだ。そのため、有用情報を引き出す能力が SMRA よりも高いルールだと考えられる。また、JPA 同様に、せり人が代表して価格をせり上げ、しかも各事業者の個別需要を非公開にできるため、事業者間の共謀を阻止することができるという利点もある。

ただし、需要申告だけでは十分な情報を引き出せない可能性があること、申告する需要を意図的に減らして価格操作する寡占的弊害がおりうることなど、この妥協案はやや不完全なルールだという印象は、やはり払底できない。

---

<sup>17</sup> Ausubel (2006), Parkes (2006) などでは、クロック式を修正することによって、支払い金額も事業者に表示する工夫が試みられている。

## マーケットデザインとの長い付き合いにむけて

4G周波数オークション・ジャパンは、複雑性などの観点から比較的解決の容易なケーススタディーといえる。しかし、状況によっては、オークションをうまく機能させるために新規参入促進政策を真剣に検討する必要があるであろう。さらに、より理想的な配分達成を目指すならば、日本政府は、複数の周波数帯を一度に扱う、あるいは地域ごとに免許を分割する、などといった、もっと難しい政策課題を積極的に検討し、オークションによって解決する方法を模索するべきだ。

実際、イギリスでは3.9G携帯通信向けに2.6GHz帯域の配分を計画しているが、扱われる免許数は34もある(Cramton (2009))。EU諸国で検討される周波数オークションは、均質でない複数帯域を一度に割り当てるものである(Scheffel et al. (2012))。アメリカでは、同じ周波数帯を地域ごとに分割して割り当てることが検討される。(Goeree and Holt (2010))。これらは4G周波数オークション・ジャパンよりもはるかに難しい。しかし、それに怯むことなく、日本政府は今後、これらに類似する、より難しい配分問題を積極的に取り上げ、その解決にチャレンジしていくべきだ。

マーケットデザインは、日本が直面する難題に対して理想的な解決策を提示するに際し、強力にアシストできる。周波数オークション以外にも、日本社会には、電力市場設計、空港発着枠配分など、多くの重要案件が山積している。これらにマーケットデザインを、今後積極的に活用していかなければならない<sup>18</sup>。

## 参考文献

Ausubel, L. (2006): "An Efficient Dynamic Auction for Heterogeneous Commodities," *American Economic Review* 96, 602-629.

---

<sup>18</sup> 松島 (2011a)。

- 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: Cambridge.
- 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., 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.
- 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.
- Parkes, D. (2006): “Iterative Combinatorial Auctions,” in *Combinatorial Auctions*, ed. by P. Cramton, Y. Shoham, and R. Steinberg. MIT Press: Cambridge.
- 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.
- 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 齊 (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 齊 (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 齊 (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 齊 (2012b): 「4G周波数オークション・ジャパン：Japanese Package Auction (JPA) 設計案の骨子」 CIRJE Discussion Paper, University of Tokyo.