

オークションの設計理論と OR (2)

松井 知己, 渡辺 隆裕

組合せオークションは、もし全員が真の評価額を正直に入札する ($\forall i \in N, \forall S \subseteq M, b_i(S) = V_i(S)$) ならば、効率的資源配分を達成し、売り手の余剰も最大化する。しかしこれには、次のような問題がある。

問題 1 CAP は集合パッキング問題と呼ばれる NP 困難問題であり、最適解の計算が難しい。

問題 2 全員が評価額を正直に入札するとは限らない。参加者の行動が分からなければ、効率的な資源配分が達成されるか、売り手の余剰がいくらになるかは不明である。

問題 3 参加者は、財の部分集合すべての入札額を入札するが、財の数 m が増えると 2^m は膨大な数となり現実的ではない。

問題 4 最適解が複数あるときは、財の割当を唯一に定め、それを求める方法が必要である。

アメリカの周波数オークションでは、組合せオークションの導入が検討されたものの、このような問題点から導入は先送りされている (鬼木[12])。

数理計画に携わる者にとって、まず目が行くのは問題 1 であろう。問題 1 に対しては、周波数オークションの実施に伴い、人工知能などの分野でいち早く注目され多くの論文が書かれたが、数理計画の分野では初動研究が少ないのは非常に残念である。特に、集合パッキング問題に関する研究結果が十分認知されていないことから生じた問題については、Andersson, Tenhunen and Ygge[1] による痛快な論文を参照されたい。

7. メカニズムデザイン

問題 2 は、組合せオークションの問題が単なる最適化ではなく、オークション (=一つのアルゴリズム)

を提示したときに、参加者がどのような行動をとるかを読み込んで、ルールを決定しなければならないことを示している。ゲーム理論を用いると、参加者の行動にナッシュ均衡や支配戦略などの概念を当てはめて、理論を構築することができる。このような研究はメカニズムデザインと呼ばれる分野で研究されている。少々煩雑にはなるが、メカニズムデザインの観点からこの問題を定式化してみよう (難しく感じられる方はこの節を飛ばして読むことも可能である)。

先に述べたように、オークションとは参加者に何らかの入札をさせて、財の割当と支払額を決めるルールである。そこで、参加者 i の入札を m_i で表し、 $\mathbf{m} = (m_1, \dots, m_n)$ とする。オークションとは参加者に財の割当と支払額を決める \mathbf{m} の関数の組 (\mathbf{Q}, \mathbf{p}) である。ここで、 $\mathbf{Q}(\mathbf{m}) = (Q_1(\mathbf{m}), \dots, Q_n(\mathbf{m}))$ は参加者 i に財 $Q_i(\mathbf{m})$ を割当てる財の分割であり、 $\mathbf{p}(\mathbf{m}) = (p_1(\mathbf{m}), \dots, p_n(\mathbf{m}))$ は、参加者 i の支払額 $p_i(\mathbf{m})$ を要素とするベクトルである³。例えば、組合せオークションでは、 $m_i \equiv b_i$ であり、 $\mathbf{Q}(\mathbf{m})$ は CAP の最適解で決まる財の割当であり、 $p_i(\mathbf{m}) = b_i(Q_i(\mathbf{m}))$ となる。

このように定式化すれば**参加者の行動**とは、オークション (\mathbf{Q}, \mathbf{p}) と参加者の評価額 $\mathbf{V} = (V_1, \dots, V_n)$ に対して、入札 \mathbf{m} を与える関数であると考えられる。この関数を \mathbf{h} とし、

$$\begin{aligned} \mathbf{h}((\mathbf{Q}, \mathbf{p}), \mathbf{V}) &= (h_1((\mathbf{Q}, \mathbf{p}), \mathbf{V}), \dots, h_n((\mathbf{Q}, \mathbf{p}), \mathbf{V})) \\ &= (m_1, \dots, m_n) \end{aligned}$$

としよう。参加者の行動として、ナッシュ均衡 (の一つ) が取られると仮定すれば、 \mathbf{h} は、任意の評価額 $\mathbf{V} = (V_1, \dots, V_n)$ 、任意の参加者 $i \in N$ と、参加者 i の任意の入札 m'_i について、

³ オークションは何を入札させるか (\mathbf{m} の集合) も規定するが、これは関数 \mathbf{Q}, \mathbf{p} の定義域であるから、関数の組 (\mathbf{Q}, \mathbf{p}) を決めた際に規定されるものとする。

まつい ともみ
 東京大学 大学院情報理工学系研究科
 〒 113-8656 文京区本郷 7-3-1
 わたなべ たかひろ
 東京都立大学 経済学部経済学科
 〒 190-0397 八王子市南大沢 1-1

$$\begin{aligned}
& V_i(Q_i(h((Q, p), V))) - p_i(h((Q, p), V)) \\
& \geq V_i(Q_i(m'_i, h_{-i}((Q, p), V))) \\
& \quad - p_i(m'_i, h_{-i}((Q, p), V))
\end{aligned}$$

が成立するような関数である⁴。

このように、参加者がどのような行動をとるかという関数 h を一つ定めれば、先に挙げたオークションの目的は、最適化問題として定式化することができる。オークションの経済学的な目的とは、任意の評価額の組 V に対して、

$$\sum_{k \in N} V_k(Q(h((Q, p), V)))$$

が最大となるようなオークション (Q, p) を求めることであり、経営学的な目的とは、任意の評価額の組 V に対して、

$$\sum_{k \in N} p_k(h((Q, p), V))$$

が最大となるようなオークション (Q, p) を求めることである。

このような観点から、売り手の余剰が最大となるようなオークションを求める問題は、最適オークション問題と呼ばれる。最適オークション問題を最初に定式化し解を与えたのは Myerson[8] である。参加者の行動に、ベイジアンナッシュ均衡を用いて解いたこの論文は（難解ではあるが）、revelation principle と呼ばれる概念をはじめとして、重要な概念とテクニックを多く示した大変優れた論文として知られている。

このように、参加者の行動をナッシュ均衡などのゲーム理論の解の一つ定めれば、メカニズムデザインは完全に数学的なフィールドに載せることができるわけだが、実際には、人間は必ずしもこのような行動を選択するとは言えない。先に紹介したマーケットデザインという分野は、これを発展させて、参加者が実際にナッシュ均衡を取るかどうかを実験で検証し、フィードバックしていくという過程を加えた分野と言えるだろう。

8. VCG メカニズム

メカニズムデザインにおける研究では、Vickrey-Clarke-Groves メカニズム（以下 VCG メカニズム）と呼ばれるオークションが有名である。VCG メカニズムは「すべての参加者が、他の参加者の入札に関わらず、どんな入札をしても、真の評価額を入札するより余剰を大きくすることはできない」というオークシ

ョンで、しかもこのオークションは効率的な資源配分を達成する⁵。

どんな入札よりも正直に入札することが、参加者にとって良いオークション！参加者に正直に評価額を言わせる、そんな魔法使いのようなことができるのか、にわかには信じ難い。もともと、VCG メカニズムは Clarke-Groves メカニズムと呼ばれる公共財の供給量と支払い負担額を決定する公共経済学で発展してきたメカニズムを一般化したものである⁶。筆者 (w) が、初めてこのメカニズムに出会ったのは、修士課程のときに同級生の K 君が「公共財のフリーライダーを解決する」として、修論のゼミでこのメカニズムを紹介したときである。ちなみに筆者 (w) もその魅力に取りつかれて勉強を始め、K 君の修論のテーマを横取りした形になり、ずいぶん嫌がられた。申し訳ないことをしたが、それほどまでに、このメカニズムに最初に出会ったときの衝撃は大きい。

VCG メカニズムを複数財のオークションに適用すると次のようになる。参加者はすべての部分集合に関する入札額を入札し、売り手は CAP を解いて財の割当を決める（ここまでは前節と同じ）。異なるのは、参加者の支払額だけである。財の割当に対応する CAP の最適解を $y^*(S, i) (\forall S \subseteq M, \forall i \in N)$ とし、最適値を z^* としよう。売り手は、各参加者 k について k を除いた CAP、すなわち

$$\text{maximize } \sum_{i \in N \setminus \{k\}} \sum_{S \subseteq M} b_i(S) y_i(S)$$

subject to

$$\sum_{S: S \ni j} \sum_{i \in N \setminus \{k\}} y_i(S) \leq 1 \quad (\forall j \in M),$$

$$\sum_{S \subseteq M} y_i(S) \leq 1 \quad (\forall i \in N \setminus \{k\}),$$

$$y_i(S) \in \{0, 1\} (\forall S \subseteq M, \forall i \in N \setminus \{k\}),$$

を解き、最適値 z^*_k を求める。VCG メカニズムでは、参加者 k の支払額は

$$z^*_k - (z^* - \sum_{S \subseteq M} b_k(S) y_k^*(S))$$

で決定される。

本当に VCG メカニズムでは、各参加者は、他の参加者の入札に関わらず、自分の真の評価額を入札することに比べ、他のどんな入札も自分の余剰を大きくできないのだろうか。厳密な証明は他の文献（例えば Krishna[4] など）に譲るとして、大まかにその仕組みを説明しよう。

参加者 k 以外の入札を $b_j (j \neq k)$ として固定したときに、参加者 k が b_k を入札したときの入札の組 $\mathbf{b} =$

⁴ ここで $h_{-i} = (h_1, \dots, h_{i-1}, h_{i+1}, \dots, h_n)$ である。

⁵ 注目すべきことは、参加者の行動に、ナッシュ均衡よりも弱い弱支配戦略という概念を仮定していることである。

⁶ もっとも、さらにそのルーツは Vickrey のオークションと市場取引の研究である。

表2 参加者 k の支払額と余剰

入札	k の支払額	k の余剰
\mathbf{b}	$z_{-k}^* - z + b_k(S_k)$	$V_k(S_k) - z_{-k}^* + z - b_k(S_k)$
\mathbf{b}^*	$z_{-k}^* - z^* + V_k(S_k^*)$	$V_k(S_k^*) - z_{-k}^* + z^* - V_k(S_k^*) = -z_{-k}^* + z^*$

(b_1, \dots, b_n) と、参加者 k が正直に V_k を入札したときの入札の組 $\mathbf{b}^* = (b_1, \dots, b_{k-1}, V_k, b_{k+1}, \dots, b_n)$ について、参加者 k の余剰を比較してみよう。

入札 \mathbf{b} に対する CAP の最適値を z 、(ある) 最適解 \mathbf{y} において k に割り当てられる財の部分集合を S_k とする。また入札 \mathbf{b}^* に対する CAP の最適値を z^* 、(ある) 最適解 k に割り当てられる財の部分集合を S_k^* とする。さらに、 k 以外の参加者が入札 $\mathbf{b}_{-k} = (b_1, \dots, b_{k-1}, b_{k+1}, \dots, b_n)$ をしたときの、参加者 k を除いた CAP の最適値を z_{-k}^* とする。各入札における参加者 k の支払額と余剰は表2で与えられる。

$$\begin{aligned} & \text{ここで } k \text{ の余剰の差を取ると,} \\ & (-z_{-k}^* + z^*) - (V_k(S_k) - z_{-k}^* + z - b_k(S_k)) \\ & = z^* - V_k(S_k) - z + b_k(S_k) \end{aligned}$$

となる。ここで入札 \mathbf{b} に対する CAP の最適解 \mathbf{y} は、入札 \mathbf{b}^* に対する CAP の許容解であり、この \mathbf{y} の「入札 \mathbf{b}^* に対する CAP」における目的関数値は、 $z - b_k(S_k) + V_k(S_k)$ である。ゆえに

$$z^* \geq z - b_k(S_k) + V_k(S_k)$$

が成り立つ。これより余剰の差 $z^* - V_k(S_k) - z + b_k(S_k) \geq 0$ が成り立つことが分かり、 \mathbf{b} に対する参加者 k の余剰に対して、 \mathbf{b}^* に対する参加者 k の余剰は同じか、より大きいことが分かる。

この魅力的な性質から、組合せオークションの文脈においても VCG メカニズムは多くの研究がなされており (例えば Yokoo[11])、この数年は数理計画の研究者も多数参入している (Archer, Papadimitriou, Talwar and Tardos[2] など)。

しかし、魅惑的な VCG メカニズムには、問題点も多くある。まず、問題1の計算量の問題が依然として残っている。VCG メカニズムの研究において、CAP の近似解法の研究が盛んになりつつあるが、単純には評価できない。なぜならば、近似解法による落札者決

表3 VCG メカニズムと売り手の余剰

	$V_i(\{A\})$	$V_i(\{B\})$	$V_i(\{A, B\})$
参加者1	$w - 1$	0	$w - 1$
参加者2	0	$w - 1$	$w - 1$
参加者3	0	0	w

(ただしここで $w > 2$ とする)

定アルゴリズムのもとでは、参加者に正直な評価額を入札させる保証が得られず、VCG メカニズムの意味がなくなるからである。また、問題3も解決されていない。さらに VCG メカニズムは、経営的な視点からは大きな問題を抱えている。以下では、3人の参加者が二つの財 A, B に対し表3のような評価額を持つとし、VCG メカニズムを適用してみよう。

この例の効率的資源配分は、参加者1, 2に財 A, B をそれぞれ割り当てることであり、VCG メカニズムではこの配分が実現することが保証されている。では支払額はどうなるだろうか。全員が真の評価額を入札したとして (これが達成されることも保証されている) 支払い額を計算すると、

$$z^* = 2w - 2, z_{-1}^* = w, z_{-2}^* = w, z_{-3}^* = 2w - 2$$

であるから、参加者1と2の支払額はそれぞれ $w - \{(2w - 2) - (w - 1)\} = 1$

であり、参加者3の支払額は0である。ゆえに、売り手の余剰は w の大きさに関わらず2となる。例えば $w = 1000$ ならば、売り手は $z^* = 2000 - 2 = 1998$ に近い余剰を望むだろうが、これに対し非常に小さい余剰2しか得られていない。

このように VCG メカニズムは、真の評価額を正直に入札する誘因を参加者に与え、効率的な資源配分を達成するが、その代償として売り手に与える余剰を小さくする傾向がある。この傾向は明示的には証明されていないが、よく知られている。VCG メカニズムは、売り手の余剰を全く問わない公共的な財配分等には大きな可能性を秘めているが、経営的な意味では必ずしも好ましくない。

9. Single Bundle Bidding と均衡分析

問題3に対する単純な解決策としては、すべての財の組合せの入札額を入札させないで、一部の組合せに対してだけ入札させるという方法がある。では、どのようなルールで組合せを入札させれば良いのだろうか。

すぐ思いつく方法として、各参加者に財の組合せを自由に入札させ、入札されていない組合せは各財の入札額の加法和で計算する、または入札されていない組合せは0とするといった方法がある。これは一見現実的であるが、参加者はすべての組合せを入札した方が有利となるケースがあるため、最悪のケースを考えると解決法となっていない。

適当なルールを用いて財の組合せを制限したときに、参加者はどのような行動を取るのだろうか。ゲーム理論を使った均衡分析が、このような状況を説明すると期待されるが、単純なルールであっても均衡を求めることは容易ではない。筆者らは文献[5, 6]において、非常に単純なルールである、「財の部分集合一つと、その入札額を入札させるオークション」Auctions with Single Bundle Bidding (以下ASBB)を提案し分析した。以下本節では、これを解説する。

ASBBでは、各参加者*i*に財の部分集合一つ、 $B_i (\subseteq M)$ と、その入札額 b_i を入札させる。ここで入札額の最小単位を ϵ とし、 b_i は 2ϵ の非負整数倍のみを許すとする。また各参加者が入札した n 個の財集合と入札額の組 $((B_1, b_1), (B_2, b_2), \dots, (B_n, b_n))$ は順序を変えて (\mathbf{B}, \mathbf{b}) と表記する。

オークションの売り手は、入札 (\mathbf{B}, \mathbf{b}) をもとに、次の財の割当問題 BAP (\mathbf{B}, \mathbf{b})

$$\begin{aligned} & \text{maximize } \sum_{i \in N} b_i x_i \\ & \text{subject to} \\ & \sum_{i: B_i \ni j} x_i \leq 1 \quad (\forall j \in M), \\ & x_i \in \{0, 1\} \quad (\forall i \in N), \end{aligned}$$

を解く。この BAP (\mathbf{B}, \mathbf{b}) の最適解を用いて落札者を決定し、参加者は財を割り当てられる。最適解が複数ある際は最適解の一つをランダムに選ぶとする。ちなみに BAP (\mathbf{B}, \mathbf{b}) も集合パッキング問題であり、NP 困難に属するため、問題1が本質的に解決される訳ではない。

参加者の行動の分析を容易にするために、各参加者は各自の essential bundle という財の集合一つだけを選好していると仮定しよう。essential bundle とは、その集合の中のどの財が一つ欠けても価値がない完全補完性のある財の集合であり、かつ、その集合以外の財には価値がないというものである。参加者 i の essential bundle を $T_i \subseteq M$ とし、その価値を v_i とすると、

$$V_i(S) = \begin{cases} v_i & (T_i \subseteq S), \\ 0 & (\text{otherwise}), \end{cases}$$

となる。参加者全員が各自の essential bundle T_i とその価値 v_i を入札した際に対応する財の割当問題を、BAP (\mathbf{T}, \mathbf{v}) と書く。

筆者らは、このような選好のもとで ASBB での参加者の行動をゲーム理論を用いて分析した。その結果、入札額の最小単位 ϵ が十分小さいならば、効率的な資源配分を達成するナッシュ均衡が存在することを示した。詳細は文献[5, 6]に譲るとして、ここでは表4に示す例で、ナッシュ均衡がどのようなものになるか説明しよう。

表4における BAP (\mathbf{T}, \mathbf{v}) の最適解は、参加者1に $\{A, B\}$ を、参加者3に $\{C\}$ を割り当てるというものである。ここで入札単位 $\epsilon=1$ とし、入札額ベクトル $\mathbf{b}=(b_1, b_2, b_3)$ の中で次の性質 ((1)~(3)) を満たすものをすべて集めた集合を \mathcal{F} としよう。

- (1) BAP (\mathbf{T}, \mathbf{b}) と BAP (\mathbf{T}, \mathbf{v}) は最適解集合が一致する。
- (2) BAP (\mathbf{T}, \mathbf{v}) の少なくとも一つの最適解で財が割り当てられない参加者 i (例では参加者2) は $b_i=v_i$ を満たす。
- (3) BAP (\mathbf{T}, \mathbf{v}) のすべての最適解で財が割り当てられる参加者 i (例では参加者1, 3) は $b_i \leq v_i - \epsilon$ を満たす。

\mathcal{F} は以下の集合となる。

$$\mathcal{F} = \{(44, 50, 9), (43, 50, 9), (42, 50, 9), (44, 50, 8), (43, 50, 8), (44, 50, 7)\}.$$

このとき、各参加者が essential bundle を入札し、その入札額を \mathcal{F} の極小ベクトル (例では $(42, 50, 9)$, $(43, 50, 8)$, $(44, 50, 7)$) としたものはナッシュ均衡となる。またこのナッシュ均衡点は効率的資源配分を達成する。すなわち、ASBB を適用し essential bundle の存在を仮定したならば、問題2, 3は肯定的に解決される。

このナッシュ均衡点では、VCG メカニズムに比べ売り手の余剰も大きいことが分かる。例えば、表3の例で VCG が売り手に与える余剰は2であったが、

表4 ASBB の例

	essential bundle	v_i
参加者1	$\{A, B\}$	45
参加者2	$\{B, C\}$	50
参加者3	$\{C\}$	10

ASBB では提示されたナッシュ均衡における売り手の余剰は w となる。表 4 の例においても、ASBB では 51 であるのに対し、VCG では 45 である。

上記の分析は、選好の仮定も厳しく、完備情報のナッシュ均衡が実際のオークションで達成されるかどうかなどの問題がある。しかしながら、このような簡単な分析であっても、複数財のオークションのメカニズムを設計する上で、参加者の行動に関する示唆をいくつか得ることができる。例えば、財を手にすることができる落札者は、支払額ができるだけ安くなるように財を手に入れるため、落札者以外の参加者が落札しない範囲で可能な限り入札額を下げようとする（上記の例で言えば、参加者 1 と 3 は入札額の合計を、参加者 2 が落札する可能性がない 51 まで下げる）。多くの場合の極小ベクトルは複数存在し、参加者間の余剰をどのように取り合うかで、複数のナッシュ均衡が存在する。このことは、次節で考察する問題 4 の重要性を示唆している。

10. 同点問題

前節で述べたように、参加者は同点になる価格ギリギリまで落札額を下げたいが、実際には他の参加者の価値に関する正確な情報を持たず、また複数のナッシュ均衡のどれが達成されるか不明のため、 $BAP(T, \mathbf{b})$ が多数の最適解を持つ入札額 \mathbf{b} を入札することがしばしば起こると予想される。ゆえに、オークションの挙動を調べるために参加者の入札額をランダムに発生させるようなシミュレーションは、問題 4（最適解が複数存在する可能性）を過小評価していると我々は考えている。

$BAP(T, \mathbf{b})$ の最適解が複数ある際に、その中からランダムに一つ選ぶのは非常に難しい問題である。もしこれが意思決定者が一人の問題であれば、最適解の一つが得られれば問題ない。しかし参加者が利害関係にあるオークションでは、「最初に見つかった最適解を用いる」あるいは「辞書的に目的関数を摂動する」といったルールは参加者全員の同意は得難い。最適解が複数ある際に、その一つをどうやって選ぶかは、公平性の問題とも絡んで、オークションの重要な問題となっていくだろう。

11. まとめ

以上、2 回にわたり、オークションの設計理論と OR 周辺の話題について、特に複数の財のオークシ

ョンと数理計画についてお話をさせていただいた。

マーケットデザインの節で述べたとおり、オークションの設計は、多分野の協力が必要な学際的な問題である。これまで、ゲーム理論やマイクロ経済学の理論的研究者は、設計に当たってのたまかなアドバイスは行いが、非合理的な人間の行動に対する問題、複雑なオークションの挙動などの実際の運用に当たっての細かい問題に対し、実際に設計された制度が理論上予測した通りに動くかどうかを検証することは得意ではなかった。また、理論だけでは、現実の設計を依頼するクライアント（例えば政府や企業の関係者）を説得する材料に乏しい。「彼らは経済理論が分かっていない」がこれらの研究者の口癖である。

マルチエージェントやゲーミングシミュレーションの研究者は、実際に動くシステムを作ることが非常に上手である。これらの分野の研究会や学会に行くと、考案されたアイデアが形となり、実験されて効果が測定されている。現実に「目に見えるオークション」がソフトウェアとして実装され、動いていれば、細かいことが分からないクライアントを説得する大きな武器になる。しかしながら、これらのシステムや実行されたシミュレーションが、研究者自身の思いつきを脱し得ないことがある。ゲーム理論や経済学から見れば、明らかにおかしな点が指摘できたり、実験やシミュレーションの予見に対する頑強性に欠けることもある。先に述べたように、計算アルゴリズムに関しても、既に数理計画では解決された問題に、細かく入り込んでいることもある。

数理計画の研究者は、解法やアルゴリズムに関しての知識も豊富である。しかし、オークションの割り当てを決定するアルゴリズムに対し、参加者の入札を単なるデータや与件と考えがちである。割り当てアルゴリズムである「オークション」方式が変われば、参加者の行動が変化する。これを読み込んで、アルゴリズムを作成していくという発想に欠けることが多い。

このほかにもオークションには多くの分野の協力が必要だ。インターネット上のオークションでは、本人確認や架空名義入札などの問題が大きな問題となっている。Yokoo[11]などは、これに関する研究で、架空名義入札を防ぐようなオークションを VCG メカニズムを応用して提案している。このような架空名義入札を防ぐために、暗号理論の研究者もオークション研究に乗り出している（例えば文献[10]中の論文等）。

このようにオークションの研究は多くの分野が関係

する学際的領域である。多分野が融合して、研究を行う必要性は、今になって説かれることではないが、オークションの設計やマーケットデザインにおいては、これらの必要性は、特に強調されるべき点である。一つの方法論から問題を見るのではなく、一つの問題に多くの方法論が融合して適用される問題論的アプローチがそこには必要とされるのである。問題解決の科学としてのオペレーションズ・リサーチは、このような研究をまとめていく、コアとしての役割を果たせると言えるだろう。

B2Bにおけるネットオークションの応用は、ロジスティクス、旅行販売、不動産販売などの分野で既に始まっている。Vries and Vohra[3]では、「いくつかのロジスティクスコンサルタント、例えばSAITECHINCのシステムSBIDなどは、組合せオークションのソフトウェアを実装し、Logistics.comのシステムOptiBidは50億ドル以上の運送契約がBidされたと主張している」と述べており、その重要性を主張している。

公的分野への市場原理の導入を目的としたオークションの導入も、今後は目を離せない。日本での周波数オークションの実施は、当面見送られることになったようだが、今後もどのような動きがあるか分からない。電力の卸市場や公有地の売却などでもオークション導入の動きが始まっている。

筆者らは数年前より組合せオークションをはじめとして、オークション研究の必要性を主張してきた。しかしPR不足のためか、日本のOR学会では研究は出遅れ気味である。しかし実務での必要性はもう待たない状況なのだ。ここでも、未だ飼いやられていない現実問題が研究者を待っている。

参考文献

[1] Andersson, A., Tenhunen, M. and Ygge, F. (2000), "Integer programming for combinatorial auction

winner determination", *Proc. of ICMAS2000*, 39-46.

[2] Archer, A., Papadimitriou, C., Talwar, K. and Tardos, E. (2003), "An approximate truthful for combinatorial auctions with single parameter agents", *Proc. of SODA2003*, 205-214.

[3] de Vries, S. and Vohra, R. (2000), "Combinatorial auctions; a survey", *Kellogg School of Management, technical report*.

[4] Krishna, V. (2002), *Auction Theory*, Academic Press.

[5] Matsui, T. and Watanabe, T. (2001), "Sealed bid multi-object auctions with necessary bundles and its application to spectrums auctions", *Proc. of PRIMA2001*, LNAI 2132, 78-92, Springer-Verlag.

[6] Matsui, T. and Watanabe, T. (2003), "Multi-object auctions with single package bidding for perfect complements", *Univ. of Tokyo, technical report*, METR 2003-02.

[7] McMillan, J. (2003), "Market Design: The Policy Uses of Theory", *American Economic Review Papers and Proceedings*.

[8] Myerson, R. (1981), "Optimal Auction Design", *Mathematics of Operations Research*, 6, 58-73.

[9] Roth, A. E. (2002), "The Economist as Engineer: Game Theory, Experimentation, and Computation as Tools for Design Economics", Fisher-Schultz Lecture, *Econometrica*, 70, 1341-1378.

[10] Syverson, P. F. (Ed.) (2001), "Financial Cryptography", *Proc. of FC2001*, LNCS 2329, Springer-Verlag.

[11] Yokoo, M., Sakurai, Y. and Matsubara, S., "The effect of false-name bids in combinatorial auctions: new fraud in internet auctions", to appear in *Games and Economic Behavior*.

[12] 鬼木甫 (2002), 電波資源のエコノミクス, 現代図書.

[13] 舟田正之 (監修) (1997), 周波数オークション, 日刊工業新聞社.