

# 多様な興味を持つ専門家と素人が存在する場合の 組み合わせオークションの設計

Designing a Combinatorial Auction Protocol among Versatile Experts and Amateurs

伊藤 孝行\*<sup>1</sup>      横尾 真\*<sup>2</sup>      松原 繁夫\*<sup>3</sup>  
Takayuki Ito      Makoto Yokoo      Shigeo Matsubara

\*<sup>1</sup>名古屋工業大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

\*<sup>2</sup>九州大学大学院システム情報科学研究所  
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyusyu University

\*<sup>3</sup>日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
NTT Communication Science Laboratories

Auctions have become an integral part of electronic commerce and a promising field for applying multi-agent technologies. Correctly judging the quality of auctioned goods is often difficult for amateurs, in particular, in Internet auctions. However, experts can correctly judge the quality of goods. In this situation, it is difficult to make experts tell the truth and attain an efficient allocation, since experts have a clear advantage over amateurs and they would not reveal their valuable information without some reward. In our previous work, we have succeeded in developing such auction protocols under the following two cases: (1) the case of a single-unit auction among experts and amateurs, and (2) the case of a combinatorial auction among single-skilled experts and amateurs. In this paper, we focus on versatile experts. Versatile experts have an interest in, and expert knowledge on the qualities of several goods. In the case of versatile experts, there would be several problems, e.g., free riding problems, if we simply extended the previous VCG-style auction protocol. Thus, in this paper, we employ PORF (price-oriented, rationing-free) protocol for designing our new protocol to realize a strategy-proof auction protocol for experts. In the protocol, the dominant strategy for experts is truth-telling. Also, for amateurs, truth-telling is the best response when two or more experts select the dominant strategy. Furthermore, the protocol is false-name-proof.

## 1. はじめに

近年、計算論的メカニズムデザイン [2] が、マルチエージェントシステムの分野で広く注目を集めている。特に、オークションは、効率的な配分を実現するために最も重要なメカニズムの一つである。一般に、オークションでは、素人が財の質を正しく判断することは困難である。一方、専門家は財の質を正しく判断することができる。例えば、骨董品のオークションでは、壺が本物が偽物かのどちらかである。専門家は、財が本物が偽物かを判定でき、素人は判定できない。

筆者らは過去に、買い手が財の質 (例えば本物が偽物か) について正確に判断ができない場合、条件付きの入札が可能なオークションプロトコルを提案した [3][4]。例えば、買い手は「もし、その財が本物ならば、50万円支払う。もし、財が偽物なら、4,000円までなら支払える」という条件付きの入札を行う。一方、買い手が財の質について正確な判断ができるなら、条件のない入札も可能にする。例えば「その財は本物である。だから、60万円支払う」という入札である。以上の条件付きの入札に基づいて、オークションプロトコルは財の質を判定し、落札者とその支払額を決定する。

以上の状況において、専門家に真の財の質を申告させ、パレート効率的な割当てを得るオークションを設計することは困難である。なぜなら、専門家は財の質を正しく判断できるという点で、素人に対して明かに有利であり、報酬なしにその情報を明かす誘因を持たないからである。例えば、メカニズムデザ

インの分野で良く利用される VCG メカニズム (クラークメカニズム) [6] は直接適用できないことが分かっている [3]。

そこで、筆者らは過去に以下の二つの状況に関して、専門家に真の財の質を申告させ、パレート効率的な割当てを得るオークションプロトコルの設計に成功している。文献 [3] では、取引する財の数が一つ (単一財) の状況でのオークションプロトコルを設計した。文献 [4] では、単一財についてのみ興味を持つ専門家を仮定した状況で、複数財の組み合わせオークションプロトコルを設計した。

本論文では、多様な興味 (複数の財に興味) を持つ専門家が存在する状況を扱う。文献 [4] で、筆者らは、単一財についてのみ興味を持つ専門家だけが存在する場合のプロトコルを、本論文で扱う状況に適用した場合、ただ乗り問題に類似した問題が存在することを示した。また、文献 [4] で提案したプロトコルでは、ある特定のケースにおいて、財の質の判定を保留する。文献 [4] では、財の質の判定を保留するということ自体が、専門家に真の申告をさせる誘因としてうまく働いている。しかし、本論文で扱う、多様な興味を持つ専門家を仮定する状況では、財の質の判定の保留はうまく機能せず、専門家は、逆に利益を得ることができてしまう。

本論文では、PORF プロトコル [8] に基づいて、多様な興味を持つ専門家と素人が存在する場合の組み合わせオークションを設計する。PORF プロトコルは、VCG プロトコルとは異なる組み合わせオークションプロトコルの一つである。本論文では、PORF プロトコルに基づいて専門家と素人が存在する状況でも機能するようなオークションプロトコルを設計する。PORF プロトコルに基づいていることによって、提案するオークションプロトコルでは、上記のただ乗り問題は発生しない。

連絡先: 伊藤孝行, 名古屋工業大学大学院, 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町, TEL 052-735-7968, FAX 052-735-5584, itota@ics.nitech.ac.jp

本論文で提案するプロトコルの概要を以下に示す：まず、財のバンドルの価格をすべて計算する。各プレイヤーに対して、価格は、そのプレイヤーの他のプレイヤーの評価値の最大値である。ここで、価格の計算に使われる他のプレイヤーの評価値は、専門家が素人かによって注意深く選択される。次に、各プレイヤーに対して、効用を最大化するバンドルが割り当てられる。ここで、効用に関しても、プレイヤーが専門家か素人かによって、異なる計算方法を用いる。

本論文の構成を以下に示す。まず第2章で、基本的な用語を定義し、価格志向調整不要 (PORF) プロトコルを概説する。第3章では、多様な興味を持つ専門家と素人が存在する場合の組み合わせオークションプロトコルを提案する。さらに提案するプロトコルの重要な特徴を示す。第4章では、本プロトコルの財の割当ての効率性について議論する。第5章では、本研究と関連研究との主な違いを示す。特に、Eric Maskin らのアプローチと我々のアプローチの差異を示す。最後に第6章では、本論文をまとめ、今後の課題を示す。

## 2. 問題設定

本節では、多様な興味を持つ専門家と素人が存在する場合の組み合わせオークションの対象領域モデルを定義する。

入札者の集合を  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  で表す。財の集合を  $M = \{1, 2, \dots, m\}$  で表す。質の集合を  $Q = \{q_I, q_R\}$  で表す。 $q_I$  は「偽物」を意味し、 $q_R$  は「本物」を意味する。ペア  $j : q_k$  は、財  $j$  が質  $q_k$  を持つことを表す。ペアの組み合わせの集合は、 $C = \{C_0, C_1, \dots, C_{2^m}\}$  で表す。 $C$  の要素をバンドルと呼ぶ。各入札者  $i$  は、各バンドル  $B \in C$  に対する好みを持つとする。プレイヤー  $i$  のタイプ  $\theta_i$  は、質を伴う財のバンドルに対する評価値の集合として表される。例えば、 $M = \{1, 2\}$  の時、バンドルは、 $\{\{\}, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}\}$  であり、質を伴うバンドルは、 $\{\{1 : q_I\}, \{1 : q_R\}, \{2 : q_I\}, \{2 : q_R\}, \{1 : q_I, 2 : q_I\}, \{1 : q_R, 2 : q_I\}, \{1 : q_I, 2 : q_R\}, \{1 : q_R, 2 : q_R\}\}$  である。ここで、 $1 : q_I$  は、財 1 の質は  $q_I$  (偽物) を意味する。プレイヤー  $i$  が、バンドル  $B \subseteq M$  を得て、 $p_{B,i}$  を支払った時のプレイヤー  $i$  の効用は、 $u_i(B, q(B), \theta_i) = v(B, q(B), \theta_i) - p_{B,i}$  で表す。 $q(B)$  は、バンドル  $B$  内のペア  $j : q_k$  の集合を表す。もし、プレイヤー  $i$  が素人なら、 $q(B)$  は  $\emptyset$  である。財の数は一つ以上とする。入札者は、どのバンドルに入札することも許される。財に対する評価値は、その財の質に依存するとする。専門家の集合は、 $E \subset N$  で表す。専門家は財の質を観測できる。 $|E| \geq 1$  と仮定する。素人の集合は、 $A \subset N$  で表す。すなわち  $N - A = E$  である。素人は財の質を観測できない。

各バンドルの価格を計算するために、我々は最小バンドルという概念を利用する：

**定義 1 (最小バンドル)** もしすべての  $B' \subset B$  と  $B' \neq B$  に対して  $v(B', q(B'), \theta_i) < v(B, q(B), \theta_i)$  が成り立つならば、バンドル  $B$  は入札者  $i$  にとって最小であると言う。

**仮定 1 (多様な興味を持つ専門家)** 専門家  $i$  は複数の財  $G_i$  に専門知識と興味を持つとする。専門家  $i$  に対する最小バンドルには、 $i$  が専門知識と興味を持つ財が含まれるとする。 $B$  が  $G_i$  中の財を一つも含まない時、 $v(B, q(B), \theta_i) = 0$  とする。

例えば、絵画と壺がオークションされているとき、もし専門家が、絵画と壺の両方に専門知識と興味を持っているなら、その専門家は、絵画と壺の両方に入札する。

## 3. 多様な興味を持つ専門家と素人が存在する場合の組合せオークション

### 3.1 PORF プロトコル

本論文では、汎用プロトコルである PORF (Price-Oriented Rationing-Free: 価格志向調整不要) プロトコル [8] に基づき、多様な興味を持つ専門家と素人が存在する場合の組合せオークションを設計する。

PORF プロトコルは汎用なプロトコルである。PORF プロトコルは入札者  $i$  の価格が  $i$  の申告したタイプとは独立に決定されるため、戦略的操作不可能性を満たす。また、PORF プロトコルでは、ある入札者は他の入札者の割当てとは関係なく、効用を最大化するバンドルを得る。従って、PORF プロトコルは調整不要 (rationing-free) である。本論文では、専門家にとって戦略的操作不可能な PORF プロトコルを具体的に設計する。

**定義 2 (専門家による PORF プロトコル)** 自分を専門家と申告したプレイヤー  $i$  に関して、各バンドル  $B$  の価格  $p$  が定義される。価格  $p$  は、プレイヤー  $i$  の申告した財の質や評価値には依存しない。定義された価格を用いて、 $i$  が申告した質に対する  $i$  の評価値に基づいて、 $i$  の効用を最大化するバンドルがプレイヤー  $i$  に割り当てられる。

**定理 1 (専門家にとって戦略的操作不可能なプロトコル  $\rightarrow$  PORF プロトコル)** 専門家にとって、真の申告が支配戦略となる任意のプロトコルは、専門家に関する PORF プロトコルとして記述可能である。

定理 1 の証明は紙面の制限の都合から省略する。

### 3.2 提案プロトコル

本論文で新たに提案するオークションプロトコルは以下のよう

【ステップ 1】各入札者は自分のタイプを申告する。例えば、入札者  $i$  は、自分のタイプ  $\theta_i$  を申告する。このタイプは、必ずしも、真のタイプ  $\theta_i$  である必要はない。

【ステップ 2】各入札者の各バンドルに対する価格が決定される。例えば、入札者  $i$  のバンドル  $B \subseteq M$  に対する価格  $p_{B,i}$  は以下のように定義される：

専門家  $i$  の、バンドル  $B$  に対する価格  $p_{B,i}$  は、 $p_{B,i} = \max_{j, B'} v(B', q(B'), \theta_j)$  とする。 $v(B', q(B'), \theta_j)$  は、他の入札者  $j$  のバンドル  $B'$  に対する評価値である。 $B'$  は最小バンドル (定義 1) であり、 $B' \cap B \neq \emptyset$  である。

他の入札者  $j$  のバンドル  $B'$  に対する評価値に関しては以下のように定義する。入札者  $j$  が専門家なら、 $j$  自身が申告した評価値と質そのものを、バンドル  $B'$  に対する  $j$  の評価値として、 $i$  の価格の計算に用いる。入札者  $j$  が素人なら、財それぞれに関して、( $i$  を除いて) 一人以上の専門家が財は本物と申告しているなら、 $j$  にとって、財は本物とする。本物と申告する専門家が一人もいない財は、 $j$  にとって、財は偽物とする。以上の財の質とそれに基づく  $j$  の申告した評価値をバンドル  $B'$  に対する評価値とし、 $i$  の価格の計算に用いる。

素人  $i$  の、バンドル  $B$  に対する価格  $p_{B,i}$  は、 $p_{B,i} = \max_{j, B'} v(B', q(B'), \theta_j)$  とする。ここで、 $v(B', q(B'), \theta_j)$  は、他の入札者  $j$  のバンドル  $B'$  に対する評価値である。 $B'$  は最小バンドル (定義 1) であり、 $B' \cap B \neq \emptyset$  である。

入札者  $j$  が専門家のなら、 $j$  自身が申告した評価値と質そのものを、バンドル  $B'$  に対する  $j$  の評価値として、 $i$  の価格の計算に用いる。入札者  $j$  が素人なら、財それぞれに関して、( $i$

を除いて)一人以上の専門家が財は本物と申告しているなら,  $j$  にとって, 財は本物とする. 本物と申告する専門家が一人もない財は,  $j$  にとって, 財は偽物とする. 以上の財の質とそれに基づく  $j$  の申告した評価値をバンドル  $B'$  に対する評価値とし,  $i$  の価格の計算に用いる.

(例外的なケース) バンドル  $B$  に, 一人の専門家だけが本物と申告している財が含まれる場合, バンドル  $B$  の価格は  $\infty$  である. これは, 専門家に自分が専門家であるということを申告させる誘因となる. つまり, これによって, 専門家が素人のふりをすることを防ぐことができる.

【ステップ3】  $p_{\theta,0} = 0$  を仮定する. また, もし  $B \subseteq B'$  なら,  $p_{B,i} \leq p_{B',i}$  が成立する.

【ステップ4】入札者  $i$  に対して, バンドル  $B^*$  が割り当てられる.  $B^* = \arg \max_{B \subseteq M} v(B, q(B), \tilde{\theta}_i) - p_{B,i} \cdot v(B, q(B), \tilde{\theta}_i)$  のバンドル  $B$  は, 各財の質に基づいて選択される. もし  $i$  が専門家なら,  $i$  が申告した質が選択される.  $i$  が素人の時, もし, 一人以上の専門家がある財に対して, 財の質は本物と申告している場合, その財の質は本物とする. もし, その財の質を本物と申告する専門家がいない場合, その財は偽物とする.

【ステップ5】入札者  $i$  は  $p_{B^*,i}$  を支払う.  $i$  の効用を最大化するバンドルが複数存在する場合, その中の一つが割り当てられる.

### 3.3 例

表1と表2に, 本論文で提案するプロトコルの例を示す. ここでは, 二人の専門家  $e_1$  と  $e_2$ , および一人の素人  $a_1$  が存在するとし, 二つの財1と2が出品されていると仮定する. 財の質を考慮したバンドルは  $\{1:q_R\}, \{1:q_I\}, \{2:q_R\}, \{2:q_I\}, \{1:q_R, 2:q_R\}, \{1:q_R, 2:q_I\}, \{1:q_I, 2:q_R\}$ , および  $\{1:q_I, 2:q_I\}$  である. 表1に各バンドルに対する評価値を示す. これらの評価値に基づいて, プロトコルは, 各プレイヤーの各バンドルに対する価格を決定する. 価格を表2の左に示す. 評価値と価格に基づいて, 効用が表2の右のように計算される.

$e_1$  の  $\{1\}$  の価格は以下の手順で計算される. まず,  $e_1, e_2$ , および  $a_1$  の最小バンドルは  $\{1,2\}$  である. 次に,  $e_2$  と  $a_1$  の最小バンドルに対する評価値はそれぞれ600と100である. 従って,  $e_1$  の最小バンドル  $\{1,2\}$  に対する価格はそれぞれ600になる.  $\{1\}$  は  $\{1,2\}$  に含まれるため,  $e_1$  の  $\{1\}$  の価格は600である.  $a_1$  は,  $e_1$  が存在しない時, 1も2も本物と考えることに注意されたい. 従って,  $a_1$  の  $\{1,2\}$  (すなわち  $\{1:q_R, 2:q_R\}$ ) の評価値は100として, 計算が行われている.

同じように  $e_2$  の  $\{1\}$  の価格は800である. なぜなら,  $e_1$  と  $a_1$  の  $\{1,2\}$  に対する評価値がそれぞれ800と100になるからである. 従って,  $e_2$  の最小バンドル  $\{1,2\}$  に対する価格はそれぞれ800になる.  $\{1\}$  は  $\{1,2\}$  に含まれるため,  $e_2$  の  $\{1\}$  の価格は800である.  $a_1$  は,  $e_2$  が存在しない時でも, 1と2を本物と考えることに注意されたい. ここで, 最大値は800であるため,  $e_2$  の1に対する価格は, 800となる. これらの価格を基に, 各バンドルの効用を計算できる. 表2の右は, プレイヤの効用を示す. 結果として,  $e_1$  がバンドル  $\{1,2\}$  を割り当てられる.

表2: 例: 価格と効用

	価格の表			効用の表			
	{1}	{2}	{1, 2}	{1}	{2}	{1, 2}	
$e_1$	600	600	600	$e_1$	0	0	<u>200</u>
$e_2$	800	800	800	$e_2$	0	0	0
$a_1$	800	800	800	$a_1$	0	0	0

### 3.4 プロトコルの特長

本プロトコルに関して成り立つ特徴的な4つの定理を以下に示す. 証明は紙面の制限の都合から省略する.

定理2 (専門家の支配戦略) 専門家にとって, 真の申告が(弱)支配戦略である.

定理3 (割当て可能性) 本プロトコルの割当てた結果は, 割当て可能性を満たす.

定理4 (素人の事後均衡) 素人にとって, 複数の専門家が支配戦略をとるならば, 真の申告が最適反応戦略である.

定理5 (架空名義入札の不可能性) 提案プロトコルは架空名義入札の不可能性を満たす.

## 4. 議論

### 4.1 割当ての効率性

提案プロトコル(またはPORFプロトコル)で効率的な割当てを保証できない. 以下に, 提案プロトコルが効率的な割当てに失敗している例を示す. 議論を明瞭にするために, 各専門家は支配戦略を選択し, 各素人は最適反応戦略を選択すると仮定する. 従って, 例外的なケースは起こらない. さらに, 財は1と2の二つとし, すべての財が本物であるとする. 表3,  $e_2$  が  $\{1\}$  を勝ち取っている.  $e_1$  は財を勝ち取るチャンスがない. 従って,  $\{2\}$  はどのプレイヤーにも割り当てられない. 社会余剰は9である. ここで, 提案プロトコルは財の効率的な割当てに失敗している. 一方, メカニズムデザインの分野で良く利用されるVCG[6]では, 専門家の真の申告は保証できないが効率的な割当ては可能である. 本例ではVCGを使うと  $\{1\}$  は  $e_2$  に,  $\{2\}$  は  $e_1$  に割り当てられ, 社会余剰は17である.

表3: 効率的な割当ての失敗

	{1}	{2}	{1, 2}
$e_1$	6	8	8
$e_2$	9	10	10

問題は, 提案プロトコルでは, ある一人のプレイヤーが複数の代替的な財に関して最大の評価値を持つケースを扱うのが困難, という点である. 本ケースでは, 提案プロトコルは両方の財を一人のプレイヤーに割り当てようとする. しかしプレイヤーは, 代替的な財の両方を必要としない. 従って社会的余剰は減少する. VCGは, 専門家に関して戦略的操作不可能なプロトコルではないが, 上のケースでは効率的な割当てを実現する.

実際, 上記のケースは非常に例外的である. そこで, 本論文では, 提案プロトコルとVCGプロトコルで得られる社会的余剰の差が十分に小さいことを実験的に示す. 実験では, 上記のケースと同じような仮定をした. すなわち, 専門家は支配戦略を選択すると仮定する. また, 各素人は, 最適反応戦略を選択すると仮定する. したがって, ここでは, 例外的なケースがおこるチャンスはない. さらに, 議論を簡単にするために, 財はAとBの二つとし, すべての財の質は本物であるとする.

提案プロトコルでは, 財が代替的であるという確率に従って社会的余剰が変化すると考えられる. そこで本実験では, 提案プロトコルとVCGの社会的余剰が, 財が代替的であるという確率に従って, どのように変化するかを示す. 実験ではプレイヤー  $i$  の評価値を以下の方法で決定した. プレイヤ  $i$  にとって, 確率  $p$  で, 二つの財は代替的であり, 確率  $1-p$  で, 二つの財は補完的とする. 二つの財が代替的とき, 各財に対して

表 1: 例: 評価値

	$\{1: q_R\}$	$\{1: q_I\}$	$\{2: q_R\}$	$\{2: q_I\}$	$\{1: q_R, 2: q_R\}$	$\{1: q_R, 2: q_I\}$	$\{1: q_I, 2: q_R\}$	$\{1: q_I, 2: q_I\}$
$e_1$	300	-	400	-	800	-	-	-
$e_2$	100	-	500	-	600	-	-	-
$a_1$	50	10	50	30	100	80	60	40

$[0, 1]$  の範囲から評価値を一様分布に基づきランダムに選択し、バンドルの評価値は、A と B の評価値の大きい方とする（どちらか一方で十分であるため）。二つの財が補完的なとき、A のみの評価値と B のみの評価値はともに 0 である。バンドルが A と B の二つの財からなる場合、評価値は  $[0, 2]$  の範囲から一様分布に基づきランダムに選択する。

図 1 は、プレイヤー数が 10 の時の実験結果である。実験では、財が代替的である確率を変化させ、各確率に対して 100 万回の試行を行い、社会的余剰の平均を計算した。比較として、VCG によるパレート効率的な社会的余剰を示す。

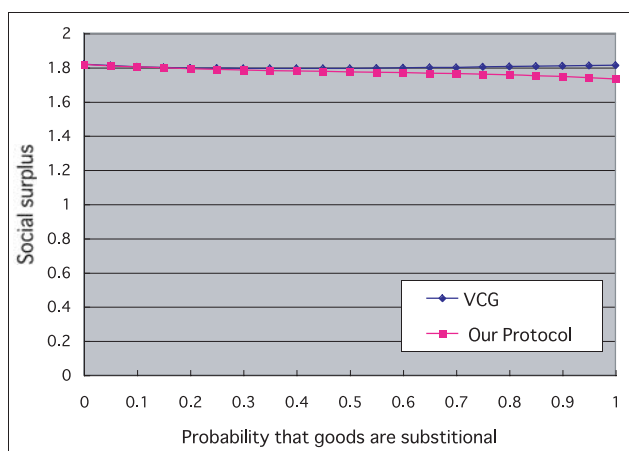


図 1: 実験結果

二つの財が代替的である確率が 0 の時（財が補完的である時）、提案プロトコルの社会的余剰は VCG の社会的余剰と同じである。財が代替的である確率が 1.0 の時でも、提案プロトコルの社会的余剰は VCG の社会的余剰の 95% である。

以上のように提案プロトコルは、パレート効率的な割当てを保証できない。しかし、同じ仮定のもとで、以下の定理が成立する。証明は紙面の制限の都合から省略する。

**定理 6 (パレート効率的なプロトコルの不可能性)** すべての財に対して複数の専門家が存在したとしても、パレート効率的な割当てと、専門家の戦略的操作性を満たすことを保証するプロトコルは存在しない。

## 5. 関連研究

本研究で扱っているのは、財の質という情報に関して専門家と素人が存在するという非対称な状況である。非対称な状況下におけるオークションの設計を行ってきた。非対称オークションに関しては、Maskin らの研究 [1] [5] が我々のアプローチに近い。Maskin は、入札者が複数次元の情報と相関価値を持つ場合、効率的割当ての不可能性を初めて示した。文献 [1] では、複数次元情報と相関価値という状況下で、効率的に割り当てるための非常に強い必要条件を示した。しかし、この条件は非常に強いもので、Krishna は、この条件が満たされることはほとんどあり得ないと指摘している [5]。これは、複数次元情報と

相関価値モデルを仮定した時、効率的なオークションの設計はほぼ不可能という意味である。

Maskin の形式化は非常に汎用的なものであり、一般的なケースにおける不可能性を示した。本論文で扱っているのはより特別なケースであり、1 つのシグナル（タイプ）が完全に独立しており、他のシグナル（質）に完全に相関関係がある。我々が扱うケースは、Maskin の不可能性の定理を避けることができる特別なケースであると同時に、現実の状況を形式化するのに十分に一般的である。

## 6. おわりに

本論文では、多様な興味を持つ専門家と素人が存在する場合の組合わせオークションプロトコルを設計した。多様な興味を持つ専門家は複数の財に興味と専門知識を持つ。筆者らはこれまでに多様な興味を持つ専門家を仮定する場合、ただ乗り問題に起因する問題が発生することを指摘した [4]。そこで、本論文では PORF プロトコルを用いることで、以下の特長を持つ新しいプロトコルを提案した：(1) 専門家にとって真の申告が支配戦略である。(2) 素人にとって複数の専門家が支配戦略を取るなら真の申告が最適反応戦略である。(3) 架空名義入札不可能性を満たす。さらに本論文では VCG と提案プロトコルの社会的余剰の差が十分に小さいことを示した。また、パレート効率的な割当てを保証しながら専門家にとって戦略的操作不可能性を満たすプロトコルは存在しないことを示した。

## 参考文献

- [1] P. Dasgupta and E. Maskin. Efficient auctions. *The Quarterly Journal of Economics*, CXV:341–388, 2000.
- [2] R. K. Dash, N. R. Jennings, and D. C. Parks. Computational-mechanism design: A call to arms. *IEEE Intelligent Systems*, 18(6):40–47, 2003.
- [3] T. Ito, M. Yokoo, and S. Matsubara. Designing an auction protocol under asymmetric information on nature's selection. *AAMAS02*, pp. 61–68, 2002.
- [4] T. Ito, M. Yokoo, and S. Matsubara. Towards a combinatorial auction protocol among experts and amateurs: The case of single-skilled experts. *AAMAS03*, pp. 481–488, 2003.
- [5] V. Krishna. *Auction Theory*. Academic Press, 2002.
- [6] A. Mas-Colell, M. D. Whinston, and J. R. Green. *Microeconomic Theory*. Oxford University Press, 1995.
- [7] E. Rasmusen. *Games and Information*. Blackwell Publishers Ltd., 2nd edition, 1994.
- [8] M. Yokoo. Characterization of strategy/false-name proof combinatorial auction protocols: Price-oriented, rationing-free protocol. *IJCAI03*, pp 481–488, 2003.
- [9] M. Yokoo, Y. Sakurai, and S. Matsubara. The effect of false-name bids in combinatorial auctions: New fraud in Internet auctions. *Games and Economic Behavior*, 46(1):174–188, 2004.