論　文

専門家と素人が存在する場合の組合せオークション - 専門家が単一財にのみ専門知識を持つ場合 -

伊藤　孝行† 　横尾　真†† 　松原　繁夫†††

A Combinatorial Auction among Experts and Amateurs - The Case of Single-Skilled Experts -

Takayuki ITO†, Makoto YOKOO††, and Shigeo MATSUBARA†††

あらまし　インターネット上のオークションでは，不特定多数の人間が商品 (財) を販売しており，商品の質を正確に見極めるのは困難である．例えば，骨董品が売られていたとしても，その骨董品が本物であるか偽物であるかを見極めることは難しい．商品の質が正確に見極められないことによって，商品の質に関する素人が，商品の質に見合わない価格で商品を購入してしまうという問題がある．そこで筆者らは過去に，買い手が財の質 (例えば本物か偽物か) について正確に判断ができない場合に，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．ここでは，専門家に，自然の選択に関する情報を正しく申告させることによって，合理的なプレイヤが損害を被らないようなオークションプロトコルの設計した．本論文では，上記のような状況において，複数財の組合せに対して入札が可能なオークションを設計する．ここで，専門家が単一の財に関して専門知識を持つ場合と複数の財に専門知識を持つ場合が考えられる．前者の場合でも複雑な問題であるが，後者はより複雑な問題になっている．そこで，本論文では，まず単一の財に関して，専門知識と興味を持つ専門家に商品の質に関する情報を正しく申告させ，素人にとって，真の申告をすることが最適反応戦略になるプロトコルを設計する．本オークションプロトコルの特長は，以下の 4 つである．(1) 専門家にとって，真の申告をすることが支配戦略である．(2) 素人にとって，他の素人がどのような申告をするかに関わらず，専門家が支配戦略を取ると仮定した上で真の申告をすることが最良の戦略となる．(3) パレート効率的な割当てを実現する．(4) 非合理的なプレイヤが存在したとしても，その数が 1 人ならば，合理的なプレイヤの効用が負になることはない．

キーワード　組合せオークション，メカニズムデザイン，非対称情報，マルチエージェント

1. はじめに

オークションは，エージェント間のタスク/資源割当ての手法として，マルチエージェントの分野で用いられている [1] [5]．近年，実世界の電子商取引サイト (eBay.com や Yahoo.com 等) やエージェントに基づく電子マーケット [3] [14] で，様々なオークションプロトコルが用いられており，オークションはインターネット経済の中心的役割を担っている．

一般に，取引されている商品の質を見極めるのは困難である．特にインターネットオークションでは，不特定多数の人間が商品を販売しており，商品の質を正確に見極めるのは困難である．例えば，壷が売られていたとしても，その壷が本物であるか偽物であるかを見極めることは難しい．もし買い手は，偽物を高い値段で購入してしまった場合，取引によって損害を被る．

そこで筆者らは過去に，買い手が財について素人で，財の質 (例えば本物か偽物か) 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単一財のオークションプロトコルを提案した [6] [7]．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

† 名古屋工業大学大学院工学研究科, 名古屋市
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Gokiso, Showa–ku, Nagoya, 466–8555
†† 九州大学大学院システム情報科学研究院知能情報学部門, 福岡市
Department of Intelligent Systems, Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University, Hakozaki 6–10–1, Higashi ward, Fukuoka, 812–8581
††† 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, 京都府
NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation, 2–4 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619–0237

し，その財が偽物なら，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，買い手が専門家で，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，例えば「その財は本物である．だから，60 万円支払う」も可能にする．以上に基づいて，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．本オークションプロトコルは，専門家に，自然の選択に関する情報を正しく申告させることによって，合理的なプレイヤが損害を被らないことが証明されている．

本論文では，さらに，複数財の組合せを取引できる組合せオークションに注目する．組合せオークションでは，価値に依存関係のある複数の財が同時にオークションに出品され，入札者は任意の財の組合せに対して入札を行うことができる．組合せオークションでは，入札者は複数の財に対する補完的，または代替的な選好を表明することが可能である．組合せオークションは，多くの応用が想定できる技術であり，近年，多数の研究成果が報告されており注目されている [2] [11]．ただし，インターネットオークションでは，文献 [6] [7] で，指摘した単一財のオークションの場合と同様の，財の質の判断に関する問題が生じる．そこで，本論文では，専門家に，財の質に関する情報を正しく申告させることによって，合理的なプレイヤが損害を被らないような，組合せオークションプロトコルを設計する．ここで，専門家が単一の財についてのみ専門知識を持つ場合と，種類の異なる財について専門知識を持つ場合が考えられる．後者は，前者を一般化した場合であり，より問題が複雑になる．そこで，まず，本論文では前者の，専門家が単一の財についてのみ専門知識を持つ場合のオークションプロトコルを設計する [8]．

本論文の構成を以下に示す．第 2 章では，本論文で用いる基本的な用語の定義を示し，本論文で設計するオークションプロトコルを実装する場合のシステム概念図を示す．第 3 章では財の質に関する情報に非対称性がある場合の単一財オークションの概要を示す．第 4 章では，本論文で提案する組合せオークションを示す．まず，対象とする領域のモデルを示す．次に，提案するオークションのプロトコルを提案し，その具体例を示す．第 5 章では，本論文での仮定を緩和した場合に起こるただ乗り問題を示す．第 6 章では，結論と今後の課題を示す．

2. オークションモデルの概要

2.1 用語の定義

本節では，基本的な用語を定義する．

【自然の選択（Nature's Selection）】骨董品のオークションで出品されている壺は，本物か偽物かのどちらかであると言える．壺が本物であるか偽物であるかはプレイヤの意思とは独立な要素である．ゲーム理論では，このようなプレイヤの意思とは独立に決定される要素を，**自然の選択**と呼ぶ．ゲーム理論において**自然**とは，ある特定の確率でランダムに行動を選択する疑似プレイヤである [10]．骨董品の例では，財の質 (壺が本物か偽物か) は，自然の選択である．

【非対称情報】一般に**非対称情報**とは，あるプレイヤが自然の選択や他のプレイヤの評価値などについて異なる情報や知識を持つことである．本論文では，自然の選択の情報に非対称性が存在することを仮定する．

【パレート効率的】主催者を含むすべてのプレイヤの効用の合計 (社会的余剰) が，支配戦略均衡において最大化されるなら，そのオークションプロトコルによって得られる割当ては**パレート効率的**であると言う．一般的に，パレート効率的な割当てが，必ずしも社会的余剰を最大化する必要はない．しかしオークションでは，プレイヤは互いにお金を受渡しでき，かつ，各プレイヤの効用は準線形である場合，効用の合計は，パレート効率な割当てにおいて必ず最大化される．なお，効用が準線形である点に関しては，個人価値オークションの項で説明する．

【支配戦略】ある戦略が支配戦略であるとは，あるプレイヤにとって，他のプレイヤの行動に関わらず，この戦略を用いることが最適である，すなわち効用を最大化できることを意味する．

【最適反応戦略】他のプレイヤがある戦略を取った時に，その戦略のもとで自分の効用が最大になる戦略である [12]．

【専門家と素人】本論文では，**専門家**と**素人**の 2 種類のプレイヤを仮定する．専門家は，自然の選択について正確な情報を持つプレイヤである．専門家は，自然の選択について不正確な情報を観測することはないとする．素人は，自然の選択について情報を持たないプレイヤである．プレイヤは結託しないものと仮定する．本論文では，支配戦略があるにも関わらず，支配戦略を選択しないプレイヤを**非合理的なプレイヤ**と定義する．

【個人価値オークション】本論文で扱うオークションは個人価値オークションである [9]．本論文では，プレイヤ i の効用 u_i を，自然の選択が q と判定された時に割り当てられた財の真の評価値 $b_{i,q}$ とその販売価格 (支払額)t_i の差として定義する．すなわち，$u_i = b_{i,q} - t_i$ である．以上のような効用は，**準線形効用**と呼ばれる．伝統的な定義 [9] では，個人価値オークションで，各プレイヤは，自分の財に対する評価値は知っており，その評価値は他のプレイヤの財に対する評価値とは独立である．本論文では，自然の選択を観測できる専門家の評価値は，他のプレイヤの評価値に依存しない．一方，自然の選択を観測できない素人の評価値は，他のプレイヤの評価値に依存する．すなわち，q は専門家の評価値によって判定されるため，素人の評価値は，専門家の評価値に依存することになる．q が判定された後では，素人の評価値は，他のプレイヤの評価値には依存しない．

2.2 システム概念図

本節では，本論文で提案するオークションプロトコルにおいて，プレイヤ，自然の選択，メカニズムの設計者，およびオークションの主催者がどのように関わるかを説明することによって，本論文の扱っている問題のイメージの概略を示す．

図 1 にシステム概念図を示す．メカニズム設計者は，オークションを設計する．ここで言うメカニズムとは，経済学でのメカニズムデザインのメカニズムを指しており，オークションプロトコルなどを意味する．主催者は財をオークションに出品する．プレイヤはオークションに参加し，財の質（本物か偽物か）は，自然によって選択されている．プレイヤには専門家と素人が存在し，専門家は自然の選択を観測でき，素人は自然の選択を観測できない．メカニズム設計者は，自然の選択もプレイヤが専門家か素人かも区別できない．

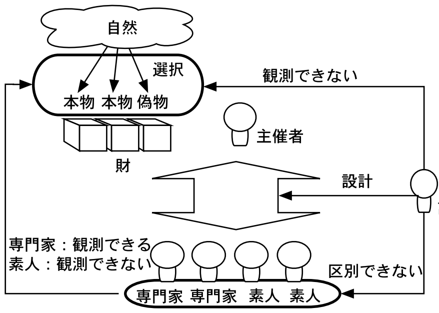

図 1　システム概念図

3. 単一財オークション

3.1 定　　義

本節では，単一財オークションのためのモデルを定義する．

- プレイヤの集合を $I = \{1, \ldots, n\}$ で表す．
- 自然の選択の集合を $Q = \{q_1, \ldots, q_m\}$ で表す．Q の各要素間には，順序が存在する．
- 財の数は 1 つで，単一財オークションとする．
- プレイヤ i の自然の選択 q に対する財の評価値を $b_{i,q}$ と表す．すなわち，財の評価値は，自然の選択に依存する．
- プレイヤ i の効用は，$u_i = b_{i,q} - t_i$ と表す．t_i は財の販売価格 (支払額) である．プレイヤが財を得られなかった場合の効用は 0 と仮定する．主催者の効用は $u_i = t_i$ とする．
- プレイヤ i のタイプ θ_i を，ベクトル $\theta_i = (b_{i,q_1}, b_{i,q_2}, \ldots, b_{i,q_m})$ で表す．
- 専門家の集合を $E \subset I$ で表す．専門家は自然の選択を正確に観測できる．$|E| \geqq 1$ と仮定する．
- 素人の集合を $N \subset I$ で表す．$I - N = E$ である．素人は，自然の選択を観測できない．
- メカニズムの設計者は自然の選択を観測できず，かつ，専門家と素人の区別もできないとする．

本論文では，以下の仮定のもとで，オークションプロトコルを設計する．

［仮定 1］　すべての i, q, q' について，$q \leqq q'$ の時，$b_{i,q} \leqq b_{i,q'}$ が成り立つ．

本仮定は，プレイヤにとって，自然の選択が大きいほど評価値が高いことを意味している．例えば，すべてのプレイヤにとって，骨董品に関して，本物の方が偽物よりも評価値が高い．

3.2 オークションプロトコル

本節では，単一財の取り引きのための，自然の選択に関する情報に非対称性がある状況で，真の申告が支配戦略となるオークションプロトコルの概要を示す [6] [7]．基本的なアイデアを簡潔に示すために，骨董品オークションという簡単な例を題材としてプロトコルを示す．ここでは，議論を簡単にするため，財の質を本物と偽物だけとする．すなわち，自然の選択のレベル数（財の質の数）が 2（本物か偽物）の場合のプロトコルを示す．自然の選択のレベル数を一般化し

n とした，プロトコルは文献 [6] [7] に譲る．

本オークションプロトコルは，一人の主催者と複数の入札者で構成される．主催者が一つの財を出品し，入札者は財の落札を試みる．本オークションプロトコルは 1 回秘密入札である．入札において，専門家は観測した自然の選択と財に対する評価値のペアを申告する．素人は，自然の選択を観測できないため，各自然の選択に対する評価値を申告する．申告された評価値に基づいて財の質を決定し，落札者と支払額を決定する．

問題は，既存の G.V.A. を単純に適用すると，専門家が結果を操作できてしまうという点である．例えば，専門家は，本物の壷に対して「偽物である」と虚偽の申告をすれば，偽物に対する値段で本物の壷を落札できる場合がある．このとき，より高い評価値を持つ素人がいた場合に，その素人が勝者とならないため，オークションプロトコルは，財の効率的な割当てに失敗する．

そこで，本論文では，新たなオークションプロトコルを提案する．提案するプロトコルでは，専門家に，自然の選択に関する情報を正しく申告させることによって，社会的に望ましい割当て，すなわちパレート効率的な割当てを実現し，かつ，合理的なプレイヤが損害を被らない結果を得ることができる．

骨董品オークションで，自然の選択とは，財の質のことを意味する．ここでは，財の質として，本物を q_R とし，偽物を q_I と表現する．すなわち，骨董品オークションでは，自然の選択のレベルが，2 つである．自然の選択 q_R と q_I に対して，専門家が申告した評価値集合をそれぞれ，$B_{E,R}$ および $B_{E,I}$ とする．自然の選択 q_R と q_I に対して，素人が申告した評価値集合をそれぞれ，$B_{N,R}$ および $B_{N,I}$ とする．

自然の選択 q_I に対する評価値の上界値を α とする．自然の選択に対するすべての評価値は，上界値を越えることはないとする．上界値は前もって与えられているものとする．上界値は，プレイヤに対して公開されてもされなくても良いが，上界値が存在することは保証されている．

以下に，自然の選択のレベルが 2 の場合のオークションプロトコルを示す．各ケースにおいて，財の質を判定するのは主催者である．

(ケース a) もし，q_R(本物) を申告するプレイヤがいない場合，財の質が q_I(偽物) であると判定する．落札者は，$B_{E,I}$ および $B_{N,I}$ の中で最大の評価値を申告した入札者 i とする．i の支払額は，$B_{E,I}$ および $B_{N,I}$ の中で 2 番目に大きい評価値とする．

(ケース b) もし，q_R(本物) を申告した専門家が一人だけの場合，その財の質に関して判定せず，保留する．q_R を申告した専門家 i の評価値 b_{i,q_R} が，$B_{E,I}$ と $B_{N,I}$ の中の最大値より大きければ，i を落札者とする．支払額は，$B_{E,I}$ と $B_{N,I}$ の最大値とする．q_R を申告した専門家 i の評価値 b_{i,q_R} が，$B_{E,I}$ と $B_{N,I}$ の中の最大値より大きくなければ，取引は行わない．

(ケース c) 二人以上の専門家が q_R(本物) を申告した場合，その財の質を q_R(本物) であると判定する．落札者は，$B_{E,R}$，$B_{N,R}$，および α の中の最大値を申告した入札者 i とする．α が最大値になった場合は，取引を行わない i の支払額は，$B_{E,R}$，$B_{N,R}$，および α の中で 2 番目に高い評価値とする．

(ケース b) が必要な理由は，専門家同士を囚人のジレンマ状態において，専門家が素人を装う可能性を排除するためである．専門家同士の囚人のジレンマ状態に関しては，文献 [6] [7] に詳述されている．

また (ケース c) において，上界値を使う理由は, 評価値に重なりがある場合に，偽物を本物と偽って落札しても利益がないことを保証するためである．真の申告が支配戦略となるというのは厳しい条件であり，他にどんな非合理的なプレイヤがいても，真の申告の方が効用を大きくする必要がある． 実際は財が偽物で,（非合理的に）本物と申告する他のプレイヤが存在する時，上記の上界値を使わないと，偽物と知っている専門家が, 偽物と言うと落札できなくなる．そのため, 本物と虚偽の申告をする方が勝つ可能性があるので偽の申告をする誘因が働く．

また，上界値をプレイヤの入札値から決定するというアルゴリズムを使わず，オークションが開始される前に与える理由は，上界値が入札値に依存するとオークションの結果を操作するという不適切な状況が起こり得るからである．

具体的な上界値の設定方法の例として，類似の財がある時は，過去の取り引き価格の分布から推定する方法などがある．主催者が誤って，上界値を大きく設定する分には，プロトコルへの影響はない．専門家が一人の場合や，専門家が複数存在するが，本物に対する評価値の分布が低い方に偏っている時は，上界値を大きく設定すると，財を売れない可能性はある．しかし，本物に対する評価値の分布が，一様分布に近いと考えられる場合，深刻な影響はない．

提案するオークションプロトコルの特長は，以下の4つである．(1) 各専門家にとって，真の申告をすることが支配戦略である．(2) 専門家の数がある閾値以上，かつ，虚偽の自然の選択を申告した非合理的なプレイヤの数が閾値より少ないという仮定の下で，真の申告をすることが，最適反応戦略である．つまり，各素人にとって，他の素人がどのような申告をするかに関わらず，専門家が支配戦略を取ると仮定した上で真の申告をすることが最良の戦略となる．(3) パレート効率的な割当てを実現する．(4) 非合理的なプレイヤが存在したとしても，その数が閾値より少ないなら，合理的なプレイヤの効用が負になることはない．

3.3 例

以下に，本プロトコルの手続きを明らかにするために，例を示す．プレイヤのタイプとして表1に示す3種類のタイプがあると仮定する．α は上界値を示す．ただし，例では異なるレベルの自然の選択において評価値に重なりがないので，α は使わない．

表1 単純な例

	q_I:偽物	q_R:本物
θ_1	30円	11,000円
θ_2	40円	12,000円
θ_3	50円	15,000円
α	100円	

二人の素人 θ_1 と θ_2，および一人の専門家 θ_3 が存在するとする．この場合，素人はそれぞれ，入札 $(\theta_1, 0)$ および $(\theta_2, 0)$ を申告する．各入札の二つ目の要素0は，自分が素人であることを示している．ここで，専門家は，財が本物であると申告し，(θ_3, q_R) を入札したとする．この場合，専門家は一人だけなので，ケースbが適用され，落札者はこの専門家となる．支払額は40円となる．

4. 複数財に対する組合せオークション

4.1 モデル

本節では，組合せオークションの場合のドメインのモデルを定義する．単一財の場合の定義を，財の組合せを扱うことができるように拡張する．

- プレイヤの集合を $I = \{1, \ldots, n\}$ で表す．
- 自然の選択の集合を $Q = \{q_1, \ldots, q_m\}$ で表す．Q の各要素間には，順序が存在する．
- 財の集合を $S = \{g_1, \ldots, g_l\}$ で表す．すなわち，複数の財のオークションとする．
- 財 g_j の取り売る自然の選択の集合を $Q_{g_j} \subset Q$ とする．
- 財 g_j と自然の選択 q_k の組合せのペアを $g_j : q_k$ とする．
- 財と自然の選択のペアの任意の組合せの集合を $C = \{C_0, C_1, \ldots, C_{2^{lm}}\}$ とする．ここで，$C_x \subseteqq P$ である．
- プレイヤ i の，財と自然の選択のペアの組合せ C_x の評価値を $b_i(C_x)$ と表す．すなわち，財の評価値は，自然の選択と，財の組合せに依存する．
- プレイヤ i の効用は，$u_i = \sum_{C_x \in W} b_i(C_x) - t_i(C_x)$ と表す．W は，オークションプロトコルにより，勝者が決定され，落札の対象となった入札 (財とその自然の選択のペアの組合せ) の集合である．$t_i(C_x)$ は，組合せ C_x の販売価格 (支払額) である．プレイヤが財を得られなかった場合の効用は0と仮定する．主催者 i の効用は $u_i = \sum_{C_x \in W} t_i(C_x)$ とする．
- 専門家の集合を $E \subset I$ で表す．専門家は自然の選択を正確に観測できる．財 g_j に興味のある専門家の集合を $E_{g_j} \subset E$ とする．ここで，$| E_{g_j} | \geqq 1$ と仮定する．
- 素人の集合を $N \subset I$ で表す．$I - N = E$ である．素人は，自然の選択を観測できない．
- メカニズムの設計者は自然の選択を観測できず，かつ，専門家と素人の区別もできないとする．

本論文では，以下の仮定のもとで，オークションプロトコルを設計する．

［仮定2］ すべての i, q, q', g_j について，$(g_j, q) \in C_x$，$(g_j, q') \in C'_x$，かつ $q \leqq q'$ の時，$b_i(C_x) \leqq b_i(C'_x)$ が成り立つ．

本仮定は，プレイヤにとって，自然の選択が大きいほど評価値が高いことを意味している．例えば，すべてのプレイヤにとって，骨董品に関して，本物の方が偽物よりも評価値が高い．

［仮定3］ 専門家 i は，ある一つの財に関してのみ専門知識を持ち，かつ，ある一つの財に関してのみ興味を持つものとする．すなわち，$i \in E$ に関して，ある財 g_j を含む組合せ C_y に関して $b_i(C_y) > 0$．g_j を含まない組合せ C'_y に関しては $b_i(C'_y) = 0$ とする．

例えば，二つの財として，壷と掛け軸が販売されているとき，専門家は，壷のみ，または掛け軸のみの質を申告する．その他の財に関して入札を行わない．

以下に，複数財の組合せに対する入札の例を示す．単純な例として，財 a と財 b，および，各財の取り得

る質 (自然の選択) は，質 q_R(本物) と質 q_I(偽物) とする．このとき，可能な入札は表 2 の 8 つになる．例えば，$a : q_R$ は財 a が本物 (q_R) であることを示している．

表 2　入札の例

$\{a : q_R\}$	$\{b : q_R\}$	$\{a : q_R, b : q_R\}$	$\{a : q_I, b : q_R\}$
$\{a : q_I\}$	$\{b : q_I\}$	$\{a : q_I, b : q_I\}$	$\{a : q_R, b : q_I\}$

入札者は，各組合せに対して入札を行うことができる．素人は，すべての組合せに関して入札できる．ただし，その入札は，条件付きの入札で，「もし，財の質が本物なら，いくらまでなら支払える．もし財の質が偽物なら，いくらまでなら支払える」と申告する．表 3 に例を示す．

表 3　素人の入札の例

入札	$\{a : q_R\}$	$\{b : q_R\}$	$\{a : q_R, b : q_R\}$	$\{a : q_I, b : q_R\}$
素人 i	100	90	200	100
入札	$\{a : q_I\}$	$\{b : q_I\}$	$\{a : q_R, b : q_I\}$	$\{a : q_I, b : q_I\}$
素人 i	10	6	106	16

専門家は，自分が申告する質とその価格を入札する．仮定 3 より，一つの財の質に関してのみ質を申告できる．例えば，ある専門家が財 a が q_R(本物) であることを申告する場合を表 4 に示す．

表 4　専門家の入札の例

入札	$\{a : q_R\}$	$\{b : q_R\}$	$\{a : q_R, b : q_R\}$	$\{a : q_I, b : q_R\}$
専門家 i	100	-	100	-
入札	$\{a : q_I\}$	$\{b : q_I\}$	$\{a : q_R, b : q_I\}$	$\{a : q_I, b : q_I\}$
専門家 i	-	-	100	-

4.2　オークションプロトコル

本オークションプロトコルでは，以上の入札をもとに，質と価格，落札者を決定する．基本的には，まず各財の質を決定し，その後，落札者と各入札者の支払い額を決定する．

（1）　各財に関して，自然の選択 (ここでは本物か偽物か) を判定する．本物と申告した専門家の数を n とすると，

- ケース 1：$n \geqq 2$ の時，その財は，本物 (q_R) と判定する．
- ケース 2：$n = 1$ の時，その財の質の判定は保留する．
- ケース 3：$n = 0$ の時，その財は，偽物 (q_I) と判定する．

（2）　質の判定が保留された財に関しては以下の方法で落札者と支払額を決定する．$g_j : q_R$ を申告した専門家を e_1 とする．専門家 e_1 が $g_j : q_R$ に対して申告した評価値が式 (1) の支払額 p_{e_1} より大きければ，専門家 e_1 が落札者となる．

$$p_{e_1} = \sum_{y \neq e_1} v_y(G_{\sim e_1}) - \sum_{y \neq e_1} v_y(G) \qquad (1)$$

ここで，G は，評価値の総和を最大化するような割当てである．$G_{\sim e_1}$ は，プレイヤ e_1 が入札しなかった場合の他のプレイヤが申告した評価値の総和を最大化する割当てである．$g_j : q_R$ に対する申告値が p_{e_1} 未満であれば取り引きしない．

（3）　質が判定された財とその組合せに基づいて，以下の方法で落札者と支払額を決定する．

まず，勝者決定の対象とする組合せを選択する．質が決定した財に関しては，判定された質に関する組合せを選択する．選択された評価値の中で，評価値の総和を最大化するような割当て G，すなわち，どの財をどのプレイヤに落札するかを求める．各プレイヤの割当て G に対する評価値を $v(G)$ で表す．

ここで，プレイヤ x の支払額 p_x は式 (2) で求める．

$$p_x = \sum_{y \neq x} v_y(G_{\sim x}) - \sum_{y \neq x} v_y(G) \qquad (2)$$

ここで，$G_{\sim x}$ は，プレイヤ x が入札しなかった場合の他のプレイヤが申告した評価値の総和を最大化する割当てである．また，式 2 の第一項を計算する際に，質が本物 q_R と判定された財に関して，偽物 q_I に対する上界値を評価値として持つダミープレイヤがいると仮定する．ダミープレイヤを仮定することによって，質が本物と判定された財に関する支払額が上界値以上であることを保証する．第一項にダミープレイヤの評価値があると仮定しても，第一項は，プレイヤ x の入札とは関係しないため，誘因両立性には影響しない．
本手法で，(2) において支払い額を決定する方法は G.V.A.(Generalized Vickrey Auction) [13] に基づいている．相違点は，(2) において評価値を，自然の選択に基づいて選択している点である．基本的な G.V.A. では，自然の選択は取り扱われない．

4.3　本プロトコルの特長

本節では，本プロトコルにおいて成立する定理を示す．

［定理 1］　本プロトコルでは，専門家にとって，財の

評価値および自然の選択に関して，真の申告が支配戦略である．

［証明 1］（Outline） 証明では，まず専門家にとって，興味のない財に関して入札を行っても利益がない．そこで，興味のある単一の財に関して，専門家にとって，虚偽の申告による支払額は，真の申告の支払額と比較して増加しないことを示す．詳細を付録 1. に示す．

［仮定 4］ 各財に専門知識と興味を持つ専門家が複数存在し，これらの専門家が確実に真の申告を行う．さらに，一人以下の非合理的なプレイヤが存在する．

［定理 2］ 仮定 4 の下で，素人にとって，真の申告をすることが最適反応戦略である．

［証明 2］（Outline） 仮定 4 の下で，素人は以下の 2 つの戦略を持つ．一つは，自分は素人であると真の申告することである．もう一つは，自分は専門家であると虚偽の申告することである．証明では，まず素人が自然の選択について真の申告をした時，虚偽の評価値を申告しても明らかに利益がないことを示す．次に，素人が虚偽の自然の選択を申告しても，利益がないことを示す．詳細を付録 2. に示す．

［定理 3］ 仮定 4 の下で，素人が最適反応戦略を取り，かつケース 3 においてダミープレイヤに財が落札されず，取引が行われる時，本プロトコルは，パレート効率的な配分を実現できる．

［証明 3］ 仮定 4 の下では，定理 1 と定理 2 よりケース 2 の条件は満足されない．従って，ケース 1 とケース 3 のみを考える．この場合，財は，G.V.A. にしたがって，最大の評価値を申告したプレイヤに落札されるので，本プロトコルはパレート効率的な配分を実現できる．

［定理 4］ 仮定 4 の下で，合理的なプレイヤの効用は非負である．

［証明 4］（Outline） 証明では，本プロトコルにおいて，合理的なプレイヤが財を落札したとき，その支払額は，正しい自然の選択に基づいて判定され，かつ，合理的なプレイヤが財を落札できなかった時，効用は 0 で非負であることを示す．すなわち非合理的なプレイヤが一人存在する場合，合理的プレイヤの効用が非負であることを示す．詳細は紙面の制限から省略する．

自然の選択を間違って観測したり，観測した自然の選択を間違って申告する専門家は，非合理的な専門家の一種と考えることができる．提案する手法では，そのような専門家に対しても，その数が 1 であれば，頑健である．

4.4 例

a） 財の質が判定できる場合の例

表 5 に，財の質が判定できる場合の例を示す．本例では，専門家 e_1，e_2，e_3，e_4 と素人 n_1，および，財 a，b が存在するとする．専門家 e_1 と専門家 e_2 は，財 b が本物 q_r である $(b:q_R)$ と申告する．専門家 e_3 と専門家 e_4 は，財 a が本物 q_r である $(a:q_R)$ と申告する．各財について q_I の上界値は，100 とする．すなわち $\alpha_{q_I}(a)=100$ かつ，$\alpha_{q_I}(b)=100$ である．

表 5 例 1：財の質が判定できる例

	$\{a:q_R\}$	$\{b:q_R\}$	$\{a:q_R,b:q_R\}$	$\{a:q_I,b:q_R\}$
e_1	-	500	500	500
e_2	-	450	450	450
e_3	400	-	400	-
e_4	350	-	350	-
n_1	100	200	300	210
	$\{a:q_I\}$	$\{b:q_I\}$	$\{a:q_R,b:q_I\}$	$\{a:q_I,b:q_I\}$
e_1	-	-	-	-
e_2	-	-	-	-
e_3	-	-	400	-
e_4	-	-	350	-
n_1	10	20	120	30

このとき，財 a は二人以上の専門家が本物と申告しているので本物 (q_R)，財 b も二人以上の専門家が本物と申告しているので本物 (q_R) と判定される．表 6 に，質が判定された後の財の組合せとその評価値を示す．

表 6 質の判定された後の財の組合せと評価値

	$\{a:q_R\}$	$\{b:q_R\}$	$\{a:q_R,b:q_R\}$
e_1	-	500*	500
e_2	-	450	450
e_3	400*	-	400
e_4	350	-	350
n_1	100	200	300

主催者は，申告された評価値の総和を最大にするような割当て G を求める．その結果，割当て G では，e_1 に $\{b:q_R\}$ を落札し，e_3 に $\{a:q_R\}$ を落札する．G に基づき，式 (2) に従って，各プレイヤの支払額を決定する．e_1 の支払額は

$$
\begin{aligned}
p_{e_1} &= \sum_{y\neq e_1} v_y(G_{\sim e_1}) - \sum_{y\neq e_1} v_y(G) \\
&= 850-400=450
\end{aligned}
$$

となる．同様に，e_3 の支払額は，

$$p_{e_3}=850-500=350$$

e_2，e_4，および n_1 の支払額は，財を割り当てられないので (式 (2) によって計算したとしても)，0 となる．

b） 財の質の判定が保留されるときの例

表 7 に，財の質の判定が保留される場合の例を示す．本例では，専門家 e_1，e_2，e_3，e_4 と素人 n_1，および，財 a，b が存在するとする．専門家 e_1 は，財 a が本物 q_R である $(a : q_R)$ と申告する．専門家 e_2，e_3，および e_4 は、財 b が本物 q_R である $(b : q_R)$ と申告する．$\alpha_{q_I}(a) = 10$ かつ，$\alpha_{q_I}(b) = 10$ である．

表 7 例 2：財の質の判定に保留がある例

	$\{a : q_R\}$	$\{b : q_R\}$	$\{a : q_R, b : q_R\}$	$\{a : q_I, b : q_R\}$
e_1	100	-	100	-
e_2	-	50	50	50
e_3	-	115	115	115
e_4	-	105	105	105
n_1	50	80	130	100
	$\{a : q_I\}$	$\{b : q_I\}$	$\{a : q_R, b : q_I\}$	$\{a : q_I, b : q_I\}$
e_1	-	-	100	-
e_2	-	-	-	-
e_3	-	-	-	-
e_4	-	-	-	-
n_1	20	30	80	50

このとき，財 a を本物 q_R と申告している専門家が，e_1 のみなので，財 a の質の判定は保留される．ここで，b が本物 q_R と判定されるため，組合せ $\{a : q_R, b : q_I\}$，および $\{a : q_I, b : q_I\}$ が落札候補集合から削除される．一方財 b は三人の専門家 e_2，e_3 および e_4 が本物 (q_R) と申告しているので，本物 q_R と判定される．表 8 に，質が判定された後の組合せとその評価値を示す．

表 8 質の判定の後の財の組合せとその評価値

	$\{a : q_R\}$	$\{b : q_R\}$	$\{a : q_R, b : q_R\}$	$\{a : q_I, b : q_R\}$	$\{a : q_I\}$
e_1	100*	-	100	-	-
e_2	-	50	50	50	-
e_3	-	115*	115	115	-
e_4	-	105	105	105	-
n_1	50	80	130	100	20

財 a に関しては q_R と申告した専門家 e_1 が落札者となり，支払額は 20 となる．組合せ $\{b : q_R\}$ すなわち財 b に関しては，Vickrey オークションとなり，専門家 e_3 が落札者で，支払額は 105 となる．

5. 議　　論

本論文では，仮定 3 によって，専門家の戦略範囲を限定している．もし，仮定 3 がない場合，すなわち，専門家が，複数の財に対して，自然の選択を申告できる場合，表 9 のような，ただ乗り問題に類似した問題が発生する．ここで，素人 n_1 と専門家 e_1 と専門家 e_2 が存在するとする．表 9 の e'_1 は専門家 e_1 の虚偽の申告を表す．

表 9 ただ乗り問題の例

	$\{a : q_R\}$	$\{b : q_R\}$	$\{a : q_R, b : q_R\}$	$\{a : q_I, b : q_R\}$
n_1	500	-	-	-
e'_1	10	400	410	-
$(e_1$	-	400	-	401)
e_2	200	100	600	-
	$\{a : q_I\}$	$\{b : q_I\}$	$\{a : q_I, b : q_I\}$	$\{a : q_R, b : q_I\}$
n_1	200	-	-	-
e'_1	-	-	-	-
$(e_1$	1	-	-	-)
e_2	-	-	-	-

専門家 e_1 が正直に申告したとすると，財 a, b は 600 の評価値を入札した専門家 e_2 に落札される．もし，専門家 e_1 が嘘を付いて (e'_1)，財 a が本物であると申告し $(a : q_R)$，評価値を 10 と申告したとすると，素人 n_1 に財 a，専門家 e_1 に財 b が落札される．すなわち，専門家 e_1 は虚偽の申告をすることによって，財を不当に落札している．本論文では，一つの財のみを申告すると仮定することによって，ただ乗りの問題を回避している．複数の財に専門知識と興味を持つような専門家を仮定する場合，以上の問題点を解決する必要があり，今後の課題である．

6. お わ り に

組合せオークションは，多くの応用が想定できる技術である．ただし，インターネットオークションでは，文献 [6] [7] で，指摘した単一財のオークションの場合と同様の，財の質 (自然の選択) の判断に関する問題が生じる．そこで，本論文では，財の質の判断に関して，専門家にとって真の申告をすることが支配戦略であり，素人にとっても真の申告をすることが最適反応戦略になるような組合せオークションプロトコルを提案した．本論文では，専門家は単一の財についてのみ専門知識と興味を持つ，と仮定した．専門家が種類の異なる財について専門知識を持つ場合も考えられるが，問題が大変複雑になっている．そこで，まず，本論文では，専門家が単一の財についてのみ専門知識を持つ場合のオークションプロトコルを設計した．

提案したオークションプロトコルの特長は，以下の 4 つである．(1) 各専門家にとって，真の申告をすることが支配戦略である．(2) 専門家の数がある閾値以上，かつ，虚偽の自然の選択を申告した非合理的なプレイヤの数が閾値より少ないという仮定の下で，真の申告をすることが，最適反応戦略である．つまり，各素人

にとって，他の素人がどのような申告をするかに関わらず，専門家が支配戦略を取ると仮定した上で真の申告をすることが最良の戦略となる．(3) パレート効率的な割当てを実現する．(4) 非合理的なプレイヤが存在したとしても，その数が１以下であれば，合理的なプレイヤの効用が負になることはない．

専門家の知識に関する仮定３はやや強い仮定である．そこで，今後の課題として，複数の財について専門知識と興味を持つ専門家を仮定した場合の組合せオークションプロトコルの設計がある．この場合，本論文の5 章で示したような専門家のただ乗りという問題がある．本問題に関しては，新たに提案された価格に基づくオークションプロトコル [15] によって解決できる可能性があり，現在検討中である．

本プロトコルでは，質が判定された後に，各プレイヤーの支払額に関して，G.V.A. を改良したプロトコルを用いている．一般に G.V.A. に関しては，すべての組合せについて評価値を申告させる必要があり，各プレイヤーが自分の好みを表明すること自体が困難であるという問題が指摘されている．本問題に対する研究も現在盛んに行われおり [4]，今後の課題である．

また，専門家同士が顔見知りということがあり得る．その場合，２人の専門家が結託すれば不当に利益を得る可能性もある．本研究で焦点を当てているのは，自然の選択に関する情報の非対称性であるため，結託はないと仮定するが，今後の課題である．

文　献

[1] C. Boutilier, M. Goldszmidt, and B. Sabata. Sequential auctions for the allocation of resources with complementarities. In *Proc. of the sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 524–534, 1999.

[2] Y. Fujishima, K. Leyton-Brown, and Y. Shoham, “Taming the Computational Complexity of Combinatorial Auctoins: Optimal and Approximate Aproarches”in *Proc. of the 16th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI99)*, pp. 548–553, 1999.

[3] R. H. Guttman, A. G. Moukas, and P. Maes. Agent-mediated electronic commerce: A survey. *The Knowledge Engineering Review*, 13(2):147–159, 1998.

[4] B. Hudson and T. Sandholm, “Effectiveness of preference elicitation in combinatorial auctions”, In the Proc. of the AAMAS2002 Workshop on Agent Mediated Electronic Commerce IV (AMEC IV), 2002.

[5] L. Hunsberger and B. J. Grosz. A combinatorial auction for collaborative planning. In *Proc. of the 4th International Conference on Multi-Agent Systems*, pp. 151–158, 2000.

[6] T. Ito, M. Yokoo, and S. Matsubara, ”Designing an Auction Protocol under Asymmetric Information on Nature’s Selection,” In the Proc. of the 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS2002), pp.61-68, 2002.

[7] 伊藤孝行, 横尾真, 松原繁夫 ”自然の選択の情報に非対称性が存在する場合のオークションプロトコルの設計”, コンピュータソフトウェア，日本ソフトウェア科学会，Vol. 20, No.1, pp.16-26, 2002.

[8] T. Ito, M. Yokoo, and S. Matsubara, ”Towards a Combinatorial Auction Protocol among Experts and Amateurs: The Case of Single-Skilled Experts,” In the Proc. of the 2nd International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS2003), pp.481-488, 2003.

[9] A. Mas-Colell, M. D. Whinston, and J. R. Green. Microeconomic Theory. Oxford University Press, 2nd edition, 1995.

[10] E. Rasmusen. *Games and Information*. Blackwell Publishers Ltd, 2nd edition, 1994.

[11] T. Sandholm, S. Suri, A. Gilpin, and D. Levine. Winner Determination in Combinatorial Auction Generalizations In *Proc. of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS2002)*, pp.69-76, 2002.

[12] 鈴木光男. **ゲーム理論**. 勁草書房, 1994.

[13] H.R. Varian. Economic Mechanism Design for Computerized Agents, in *Proc. of the First Usenix Workshop on Electronic Commerce*, 1995.

[14] J. Yamamoto and K. Sycara. A stable and efficient buyer coalition formation scheme for e-marketplaces. In *Proc. of the 5th International Conference on Autonomous Agents (AGENTS01)*, 2001.

[15] M. Yokoo. Characterization of Strategy/False-name Proof Combinatorial Auction Protocols: Price-oriented, Rationing-free Protocol. In *Proc. of the 18th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI03)*, pp.733-739, 2003.

付　録

1. 専門家の支配戦略に関する証明

自然の選択が本物 q_R または偽物 q_I の２つの場合について，専門家 i にとって虚偽の申告による支払額が真の申告をした時の支払額と比較して減少しない，または虚偽の申告による支払額が真の申告をした時の支払額と同額になることを確認する．q_T は専門家 i によって観測された真の自然の選択，q_F は専門家 i の虚偽の自然の選択を表す．$q_{\max}$ は i 以外のプレイヤから申告された最大の自然の選択を表す．

まず，仮定３より，専門家 i が，財 g_j にのみ興味が

あり専門知識があると仮定する．この時，g_j が含まれない組合せに入札をしても利益はないので i は g_j が含まれる組合せに入札する．

専門家は，自分自身を【1】正直に専門家であると申告する，【2】嘘をついて素人であると申告する，という戦略を持つ．【2】の戦略は，明らかに利益がない．そこで，【1】の戦略で虚偽の申告をしても利益がないことを証明する．以下，専門家 i が興味を持つ財 g_j に関して，i が q_F を申告しても利益がない，または，q_T を申告して，虚偽の評価値を申告では利益がないことを，【I】,【II】，および【III】の場合で示す．

【I】$q_T < q_{\max}$ の場合，$q_T = q_I$(偽物) および，$q_{\max} = q_R$(本物) となる．この時，以下の《a》と《b》の場合がある．

《a》i が真の自然の選択を申告した時，少なくとも一人以上は q_R を申告する専門家が存在するため，i は財を落札できるチャンスがない．この時，評価値に関して嘘をついても明らかに利益はない．

《b》i が虚偽の自然の選択 q_F を申告をした時，$q_F = q_{\max}$ となる．$n = 2$ となり，ケース 1 となる．ダミープレイヤの評価値を x とする．i の効用は以下の式で表される．

$$\begin{aligned} u'_i &= v_i(G') + \sum_{j\neq i} v_j(G') - \sum_j v_j(G'') \\ &= \sum_j v_j(G') - \sum_j v_j(G'') \end{aligned}$$

ここで，G' は I で申告された評価値の合計を最大化する割当てを表す．I はプレイヤー集合とする．G'' は，ダミープレイヤを含め，i を除いた集合 $I + \{x\} - \{i\}$ で申告された評価値の合計を最大化する割当てを表す．ここで，G' は $I + \{x\} - \{x\}(= I)$ での申告された評価値の合計を最大化する割当てであると考えると，$I+\{x\}$ から，$\{x\}$ を除いた物が G' で，$\{i\}$ を除いた物が G'' であることが分かる．x の評価値 (q_I に対する上界値) は，i の真の評価値 (q_I に対する評価値) 以上である．よって，少なくとも，$\sum_j v_j(G') \leqq \sum_j v_j(G'')$ が成り立つ．i にも x にも財が割り当てられていない場合等式が成立する．よって，$u'_i \leqq 0$ であり，i は虚偽の自然の選択を申告しても利益がない．

【II】$q_T = q_{\max}$ の場合，以下の《c》と《d》の場合がある．

《c》$q_T = q_{\max} = q_R$(本物) の時，以下の［c-1］と［c-2］の場合がある．［c-1］i が真の自然の選択 $q_T = q_R$ を申告する時，q_R の申告の数が 2 以上になるので，ケース 1 が適用される．自然の選択については，真の申告をしているので，虚偽の申告をするなら，虚偽の評価値を申告することである．しかし，虚偽の評価値を申告しても，G.V.A. であることから，明らかに利益がない．［c-2］i が虚偽の自然の選択 q_F を申告する時，$q_F = q_I < q_{\max} = q_R$ なので，ケース 1 かケース 2 が適用される．i は $q_{\max}$ を申告しないので，i は勝つチャンスがない．

《d》$q_T = q_{\max} = q_I$(偽物) の時,［d-1］と［d-2］の場合がある．［d-1］i が真の自然の選択 $q_T = q_I$ を申告したとき，$n = 0$ となりケース 3 となる．この時，i の効用 u_i は，$u_i = v_i(G) + \sum_{j\neq i} v_j(G) - \sum_{j\neq i} v_j(G_{\sim i})$ となる．自然の選択については真の申告をしているので，虚偽の申告をするとしたら，虚偽の評価値を申告することであるが，明らかに利益がない．［d-2］i が虚偽の自然の選択 $q_F = q_R$ を申告する場合，$n = 1$ となり，$q_F = q_R > q_{\max} = q_I$ なので，ケース 2 が適用される．この時の効用 u'_i は，$u'_i = v_i(G') + \sum_{j\neq i} v_j(G') - \sum_{j\neq i} v_j(G'_{\sim i})$ となる．真の自然の選択を申告した場合と比較した時の利益があるかを確認する．

$$\begin{aligned} u'_i - u_i &= v_i(G') + \sum_{j\neq i} v_j(G') - \sum_{j\neq i} v_j(G'_{\sim i}) \\ &\quad - \{v_i(G) + \sum_{j\neq i} v_j(G) - \sum_{j\neq i} v_j(G_{\sim i})\} \end{aligned}$$

ここで，$G_{\sim i}$ も $G'_{\sim i}$ も，i を除いた場合なので，$G_{\sim i} = G'_{\sim i}$．

$$u'_i - u_i = (v_i(G') - v_i(G)) - (\sum_{j\neq i} v_j(G) - \sum_{j\neq i} v_j(G'))$$

となる．$a = (v_i(G') - v_i(G))$，および $b = (\sum_{j\neq i} v_j(G) - \sum_{j\neq i} v_j(G'))$ とすると，a は，虚偽の申告をすることによって増加した i の効用である．b は，i が虚偽の申告によって減少した i 以外のプレイヤの効用の合計である．$a > b$ ならば，(例え i が虚偽の自然の選択を申告をしなくても) 評価値の最大化を行う時，G' が選択されたはずである．しかし G が選択されているので $a \leqq b$ である．すなわち，

$$u'_i - u_i = a - b \leqq 0 \qquad \text{(A·1)}$$

より，i は虚偽の自然の選択を申告しても利益がない．また，式 (A·1) は専門家が複数の財に興味を持つ時，

成立しない．これはただ乗りの問題に起因している．専門家には，ある財を過大評価して損をしても，他の財でそれ以上に利益があれば，虚偽の申告に対する誘因が働く．

【III】$q_T > q_{\max}$ の時，$q_T = q_R$ かつ $q_{\max} = q_I$ となり《e》と《f》の場合がある．《e》i が真の自然の選択 $q_T = q_R$ を申告した時，ケース 2 が適用される．自然の選択については，真の申告をしているので，虚偽の申告をするとしたら，虚偽の評価値を申告することであるが，明らかに利益がない．《f》i が虚偽の自然の選択 $q_F = q_I$ を申告した時，ケース 1 が適用される．証明は【I】《b》と同じである．

2. 素人の最適反応戦略に関する証明

仮定 4 の下で，ある財 g_j に興味のある素人 i にとって真の申告が最適反応戦略であることを証明する．素人 i は以下の《I》と《II》の戦略を持つ．《I》自分が素人であると真の申告をする戦略．《II》自分が専門家であると虚偽の申告をする戦略．以下，i 以外の入札によって分類されるケース毎 (【1】,【2】，および【3】) に,《II》の戦略では利益がないことを示す．

【1】財 g_j に関して，i 以外でケース 1(n=2) が成り立つ時，専門家は真の申告をするので q_R である．《1-I》自分が素人であると真の申告をする時，支払額は，$u_i = v_i(G) - \sum_{j \neq i} v_i(G_{\sim i}) + \sum_{j \neq i}(v_i(G))$ 《1-II》自分が専門家であると虚偽の申告をする時，以下の［1-II-a］と［1-II-b］の場合がある．［1-II-a］q_R を申告すると，そのままケース 1 が成り立つ．$u_i = v_i(G) - \sum_{j \neq i} v_i(G_{\sim i}) + \sum_{j \neq i}(v_i(G))$ これは,《1-I》の場合の支払額に等しく，虚偽の申告をしても利益はない．［1-II-b］q_I を申告すると，ケース 1 がそのまま成り立つ．i が勝つチャンスはない．よって【1】の場合に専門家と偽っても利益はない．

【2】ある財 g_j に関して，i 以外でケース 2(n=1) が成り立つ時，専門家は真の申告をするので，q_I である．さらに自分を専門家であると虚偽の申告をしている素人が一人存在する．《2-I》自分が素人であると真の申告をする時，g_j を落札するチャンスはない．自分を専門家であると虚偽の申告をしている素人が落札してしまう。《2-II》自分が専門家であると虚偽の申告をする時，以下の［2-II-a］と［2-II-b］の場合がある．［2-II-a］q_I と申告する場合，勝つチャンスはない．［2-II-b］q_R と申告する場合，ケース 1 になる．証明は，付録 1.【I】《b》と同じである．

【3】ある財 g_j に関して，i 以外でケース 3(n=0) が成り立つ時，専門家は真の申告をするので，q_I である．《3-I》自分が素人であると真の申告をする時，効用は $u_i = v_i(G) - \sum_{j \neq i} v_i(G_{\sim i}) + \sum_{j \neq i}(v_i(G))$．虚偽の評価値を申告しても G.V.A. に基づき，利益はない．《3-II》自分が専門家であると虚偽の申告をする時は，付録 1.【II】《d》と同じである．

（平成 xx 年 xx 月 xx 日受付）

伊藤　孝行　（正員）

2000 年名古屋工業大学大学院工学研究科博士後期課程修了．博士 (工学)．1999 年〜2001 年日本学術振興会特別研究員 (DC2,PD)．2000 年〜2001 年南カリフォルニア大学情報科学研究所 (USC/ISI) 客員研究員．2001 年〜2003 年北陸先端科学技術大学院大学知識科学教育研究センター助教授．2003 年より名古屋工業大学大学院工学研究科助教授．現在に至る．マルチエージェントシステム，グループ意思決定支援，電子商取引支援に興味を持つ．AAAI，ACM，人工知能学会，情報処理学会，日本ソフトウェア科学会，計測自動制御学会各会員．

横尾　　真　（正員）

1984 年東京大学工学部電子工学科卒業．1986 年同大学院修士課程修了．同年 NTT に入社．1990 年〜1991 年 ミシガン大学客員研究員．現在, 九州大学大学院 システム情報科学研究院 教授．マルチエージェントシステム, 制約充足問題に関する研究に従事．エージェントの合意形成メカニズム, 制約充足／分散制約充足等に興味を持つ．博士 (工学)．1992 年, 2002 年 人工知能学会論文賞, 1995 年 情報処理学会坂井記念特別賞, 1999 年 人工知能学会全国大会優秀論文賞, 2004 年 ACM SIGART Autonomous Agent Research Award 受賞．人工知能学会, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会, AAAI 各会員．

松原　繁夫

1990 年京都大学工学部精密工学科卒業．1992 年同大学院工学研究科修士課程修了．同年 NTT に入社．現在，NTT コミュニケーション科学基礎研究所勤務．分散人工知能，マルチエージェントシステム，コミュニティコンピューティングに関する研究に従事．情報経済学に興味を持つ．博士（情報学）．1999 年度人工知能学会全国大会優秀論文賞，2002 年度人工知能学会論文賞，2003 年度情報処理学会研究開発奨励賞受賞．人工知能学会，日本ソフトウェア科学会，情報処理学会会員．