

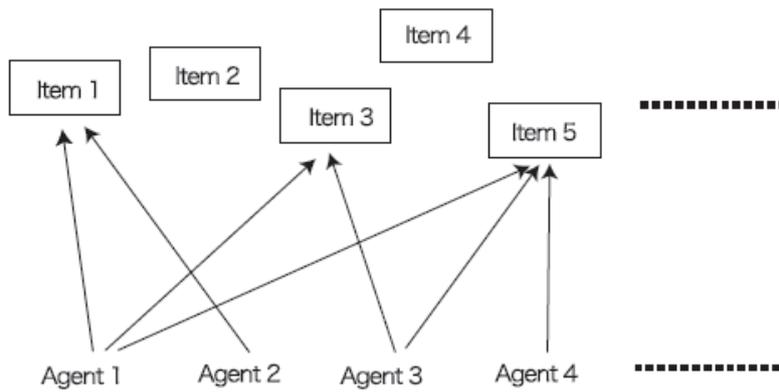
## 次世代のセキュアな電子商取引基盤の理論的分析と実装

松尾徳朗 山形大学大学院理工学研究科准教授

### 1 はじめに

近年、ユーザが電子商取引のようなシステムを利用するときに、ユーザを支援するためのソフトウェアエージェントに基づく支援システムは当該研究分野において最も重要な研究対象の一つである<sup>1)3)4)5)</sup>。多属性効用に基づいたエージェントのための交渉手法や決定過程に基づいたユーザの意思決定支援に関する研究は多く存在している。しかし一方で、エージェント研究の多くはオークションをはじめとしてB2BやB2Cのような商取引のために提案されていることが多い<sup>2)6)</sup>。本稿では、とりわけB2Bの取引における状況を扱う。エージェントは末端の買い手に財を売却する事を目的に売り手から仕入れる。そこでは、共同購入に基づいた価格決定がなされ、もしエージェントが十分な資力を持ち、まとまった数の財を仕入れればその単価は安くなる。

一般に上記のような取引において他のエージェントと交渉を行うエージェントは予算に関してある制約を持つ。もし、予算に制約が無ければ、他のエージェントに商品の仕入れに加わるように打診する必要はない。このような現実的な状況に基づいて、ある一つの決定が実は複数の商品の仕入れの選定に基づくような交渉から成立している場合を考える。図1は、そのような状況を示した概念図である。複数の商品が存在し、それぞれに関してエージェントは合資を行い、まとめて調達した後で提供した資金の額に応じて財を割り当てる。図1では1つ目の財に関する合資組織はエージェント1および2により構成されている。一般に、すべてのエージェントは他のエージェントがどのような出方をするかを知る事なしには仕入れるかどうかを決定する事はできない。例えば、3つの財が存在し、それぞれのコストは{ $\$5$ ,  $\$4$ ,  $\$4$ }であるとする。それぞれの財を仕入れ、末端の買い手に売る時の価格をそれぞれ{ $\$6$ ,  $\$4.8$ ,  $\$4.8$ }とする。エージェントの予算は $\$7$ で一つ目の財を $\$5$ で購入し、末端の買い手に売却すれば効用は $\$1$ となる。もし、別なエージェントが存在し、そのエージェントが1ドル持っていれば、はじめのエージェントはもう一つのエージェントと合資し予算を $\$8$ にし、財2および3を仕入れ、末端の買い手に売却した方がより大きな効用が得られる。この場合、1ドルあたりの効用は $\$0.2$ となり、はじめのエージェントは $\$1.4$ 、別のエージェントは $\$0.2$ の効用が得られる。このように、エージェントはしばしばエージェント同士が提携する事で安い価格で商品を購入することができる。その上、まとまった在庫の仕入れにおいては、売り手は大量の財を売却する際に財の個数に応じた割引を行う事が考えられる。具体的に、マーケットプレイスに複数の個人事業者が存在する状況を考える。各々のエージェントの取引量が多くないとはいえ、エージェントは提携し合いまとまった商品を仕入れる事により、より安く仕入れる事ができる。もし、すべてのエージェントが参加している他のエージェントの選好分布を知っていれば提携は簡単に行う事が可能となる。



All agents determine based on their budgets whether they participate in or not.

図 1 Overview of the marketplace

このような状況を可能とするために、本稿では新しい交渉過程とその特徴について議論を与える。まずあるエージェントが購入グループに参加しようとする全てのエージェントに仕入れに関する提案を行う。全てのエージェントは財の個数に応じた割引率を知っているとす。共同仕入れに参加したいと考えるエージェントは、参加を提案したエージェントに表明する。その次に、エージェントは割当とコストに関する交渉を行う。提案エージェントはグループに参加するエージェントから仕入れ費用を徴収し仕入れを行う。その後で、財は各エージェントに割り当てられる。最後に、各エージェントはそれぞれの責任において財を末端の買い手に対して売却する。この過程において、ただ乗りによるリスクを回避した収益増加を排除するために、提案を一度も行わないエージェントによるグループ参加が出来ないというルールを作っておく。エージェントは仕入れの提案をすること無しに余剰を増加させることはなくなる。

## 2 前提

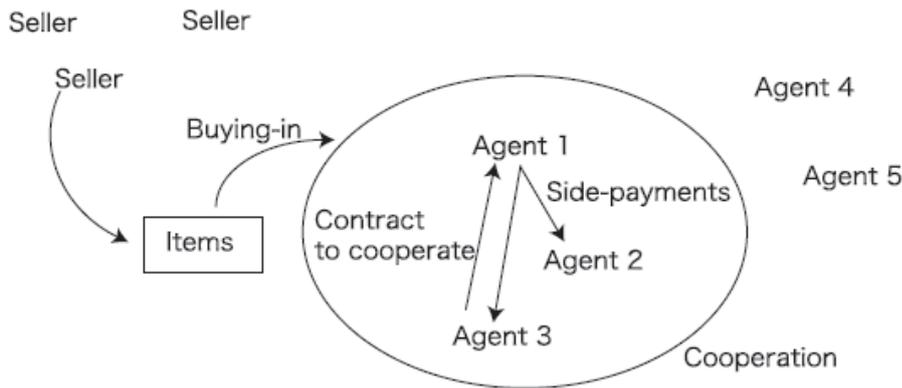
### 2-1 取引の概要

本稿で扱う取引は仲介に関わるものであり、ここではB2B, B2Cと呼ばれる取引に該当する。図2は仲介者による取引の概要を示した図である。エージェントは、売り手と末端の買い手の仲介者であり、財を売却する売り手とB2Bにより取引を履行する。売り手とは一般に生産者のような位置づけを指す。財はエージェントにより、仲介料（利益）を加えられた価格で末端の買い手に売却される。しかし、一般的に先述の仮定のようなエージェントの場合、大量の財を扱う能力を保持しないかもしれない。もし、個人事業者のような取引者がお互いに協力し合えば、より大量の財を効率的に取引でき収益増加機会も有するようになる。このようなケースにおいて、複数のエージェントが協力し、売り手から財を仕入れることが考えられる。では仕入れられた財はどのようにエージェントごとに配分されるべきであるか？

ここで仮定として次の条件を挿入する。

仮定1 全ての売り手は財をボリュームディスカウントによってエージェントに販売する。

仮定2 エージェントは、個人事業者のような十分な資本や資源を有していない取引者であるとする。



1. Agent 1 proposes buying-in the items.
2. Negotiation whether they stock-in the items or not.
3. Agents decides appropriate an allocation based on risk managements.

図 2 Overview of trading

### 2-2 ボリュームディスカウント

ボリュームディスカウントは、商取引における効果的な取引手法の一つであり、しばしば共同購入と呼ばれることもある。生協のような企業は、ボリュームディスカウントに基づいた取引を採用しており、財の個数に基づいて価格が決定される。一般に、一度に販売される財の個数が増加すれば、商品価格は割り引かれていく。ボリュームディスカウントにおいて、図 3 に示されるような財の個数に応じた価格が決定されている。例えば、買い手が個別に購入した場合、それぞれの財は \$ 7 で販売される。5 人のエージェントが集まり、協力して商品を購入した場合、それぞれの財の単価は \$ 5 となる。ボリュームディスカウントにおける取引は個別購入と比較して安い価格で購入でき、上記の場合、少なくともそれぞれのエージェントは協力することで \$ 2 だけ安く買えるようになったため、効用は個別購入の場合より \$ 2 だけ増加する。

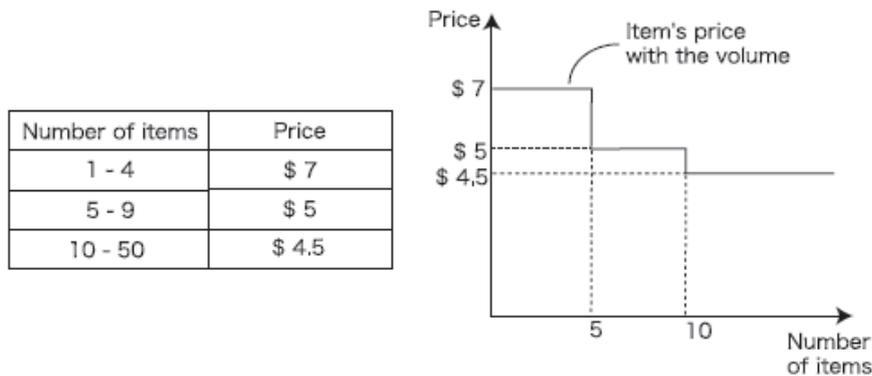


図 3 Volume discount

## 3 取引モデル

本章では、エージェントによる仲介取引と提携に関するモデルを示す。

### 3-1 予備的考察

実際の取引においては、財はたいていの場合販売する者が予想した価格において売却されることは少ない。すなわち、財はいくらかのコストに関わるリスクを有する。図 4 はリスクに関する関数を表したグラフの例である。図 4 の左側の図は、一般の買い手が購入する相場価格を表している。図 4 の右側の図は、買い手に

よって購入される財の個数と価格との関係の例を示している。予想価格  $\pi_{ij}$  (エージェント  $i$  が財  $j$  を売却する際の予想価格) が実際の販売価格  $p_{ij}$  (エージェント  $i$  が財  $j$  を財を末端の買い手に売却した際の実際の価格) より安い場合、財の在庫はだぶついてしまう。もし、 $p_{ij} > \pi_{ij}$  となれば上記の場合と比べて多くの財が販売される。曲線の内側の領域は、財を購入したいと考える潜在的な買い手の数に相当する。したがって、もし財の価格が図4の右側の図のように下落すれば、多くの財が買い手によって購入されることになる。もし、仕入れにおいて売り手が財をボリュームディスカウントに基づいて販売するのであれば、エージェントにとっては提携することが最善の戦略となる。しかし、エージェントがどうやって効果的に提携するかを知ることは困難である。

### 3-2 取引手順

一般的な買い手の提携や取引と本稿で提案する提携において異なる点は主として提携の順番である。一般的なボリュームディスカウントにおいては、エージェントがお互いに交渉を通じて提携を計ることは難しい。エージェントはグループに参加している他のエージェントがどれくらいになるかを予想しなければならない。例えば、一般の共同購入サイトではその予想に失敗したために、高い価格で商品を購入せざる得ないケースも存在する。もし、提携グループに参加するエージェントがいない場合、はじめに購入の意図を表明したエージェントは割引されない高い価格で財を購入しなければならない。一方、本稿で提案する提携においてはエージェント同士が交渉する機会が与えられる。そのため、交渉の結果に応じて、エージェントは財を仕入れるかどうかを決定することができる。

では、このような状況にはどのような交渉が適切であるか？まず、本稿では交渉の順番を考慮しない簡単な交渉メカニズムを示す。エージェントが財を仕入れるときエージェントは提携のために合資組織を作ると想定する。

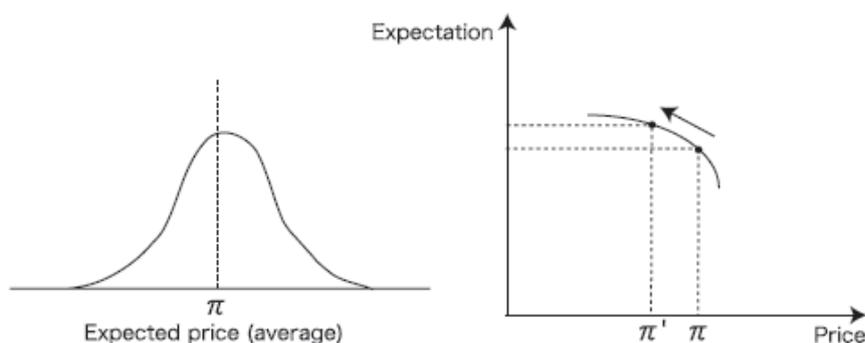


図4 Trading risks

手順。

1. エージェント  $i$  は合資組織を作るために他のエージェントに財  $j$  に関して提携の提案をする。すべてのエージェントは財の個数に応じた割引率を知っているとす。
2. 購入グループに参加したいエージェントはエージェント  $i$  に参加を表明する。
3. エージェントは割当とコストに関して交渉を行う。エージェント  $i$  はグループに参加したエージェントから仕入れのための代金を徴収する。
4. 財は各エージェントに割り当てられる。
5. 最後に、各エージェントは自己責任において末端の買い手に財を販売する。

もし図5の領域に示されるような財が存在するならば、財の供給はリスクを決定する。予想価格の分布が異なっても、リスクは本質的に領域と同じであると言える。多くの財が割り当てられるエージェントは巨額の潜在的損失を被るであろう。従って、いくつかのエージェントが共同購入に参加したとしても、もし協力者が多くの財を仕入れたいと思わない場合は、提携を提案したエージェント  $i$  は残った財の仕入れを請け負わなければならない。もし、請け負わず、少量の財だけを仕入れようとするならば、ボリュームディスカウントによる割引の効果は薄くなる。逆に提案者が仕入れた財に関して自らには少ない数を割り当て、他のエージェントに対して残った多くの財の割り当てようとするならば協力するエージェントは集まり難くなる。従って、提案者に対してある程度の量の割り当てが行われるべきであることは自然である。

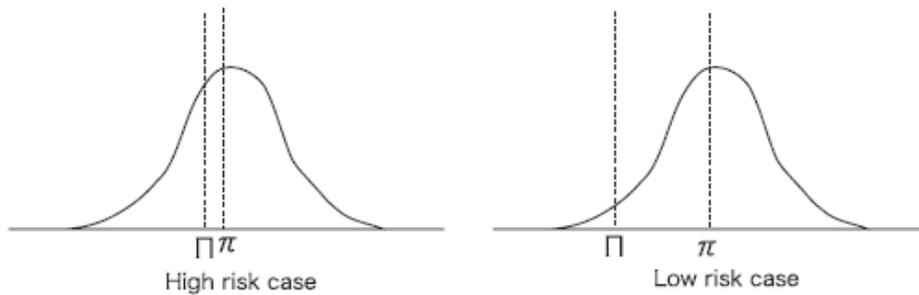


図 5 Trading risks

### 3-3 サイドペイメント

仕入れ提案を行ったエージェントへの協力に関するインセンティブを与えるために、サイドペイメント制度を導入する。サイドペイメントとは、日本の公共事業における談合などで、談合に協力した見返りに協力者にリベートを渡すように、本稿においては仕入れ提案を行ったエージェントが協力するエージェントに利益の一部を供与することである。これにより、他のエージェントは共同仕入れに対して参加するインセンティブが増加する。提案するエージェントが、他のどのエージェントの協力も得ずに財を仕入れ、末端の買い手に売却した場合の仕入れに関わる支払額に関して財の単価を  $\Pi/k$  であるとする。仮定よりエージェントは十分な資力を持ち得ていないため、ある程度高い支払額となると考えられる。一方、協力するエージェントが存在する場合、提案エージェントの支払い額に関して財の単価を  $\Pi'/k$  であるとする、協力者が存在することにより、 $\Pi - \Pi'$  の分だけ効用が増加する。そこで、協力したエージェントへのサイドペイメントの合計額は  $\Pi - \Pi'$  を上回らない額で与えられる。このようなルールを取引に用いる。

## 4 議論

### 4-1 具体例

まず、価格と割当の決定に関する簡単な例を示す。エージェント 1 は図 3 に示したような価格帯で販売される商品に関して他のエージェントに共同購入を提案する。この場合、図 3 における価格  $p$  は \$ 1 であるとする。エージェント 1 の予算は \$ 7.5 であるとする。エージェント 2 はエージェント 1 が考える提携に協力できると表明する。エージェント 2 の予算は \$ 3 であるとする。ここで、仮にエージェント 2 がグループに参加していなかったら、エージェント 1 は 8 個の財を \$ 7.2 で購入する。エージェント 2 が共同購入のグループに入っているため、予算に余裕ができより安い価格で購入できる。エージェント 2 は 3 個の財を \$ 2.4 で購入することができる。エージェント 1 はそれぞれの財に \$ 0.8 を支払うことで購入できる。表 1 はエージェント 2 が参加しない場合とする場合のトータルの価格差を示している。

すなわち、エージェント 1 のリスクは単純に考えて、単独で仕入れる場合より  $\$ 7.2 - \$ 6.4 = \$ 0.8$  となり減少する。ここでエージェント 1 からエージェント 2 に対するサイドペイメントが計算される。エージェント 1 は個別で購入するより \$ 0.8 だけ安く購入できるため、サイドペイメントは減少したリスク、すなわち \$ 0 から \$ 0.8 の間で決定される。

次に一般化した場合の例を示す。参加するエージェントは  $n$  であり、はじめに購入を提案するエージェントを  $a_1$  とする。買い手が仕入れを行うために財を売る売り手は一人であるとする。この状況において、単一の種類の商品が  $\pi$  で売られているとする。売り手は売れる財の個数に応じて  $\{\Pi(i, j, 1), \dots, \Pi(i, j, k), \dots, \Pi(i, j, k')\}$  で与える。なお、 $i$  はエージェントのナンバリング、 $j$  は財のナンバリング、 $k$  は売れる財の個数を表している。 $\Pi(i, j, 1)$  は図 3 のような階段関数において最も安い価格帯を示すものである。 $\Pi(1, 1)$  は財 1 がエージェント 1 によって最も安い価格帯で購入される時を示している。下にいくつかの提携の状況を示す。

- もし  $\Pi(1, k) > p(1)$  であれば、エージェントは提携するエージェントをさがす必要はない。しかし、もしエージェント 1 が  $\Pi(1, 1) > p(1)$  の時に他のエージェントと提携すればより高い効用が得られる。この場合、サイドペイメントがないときエージェント 1 の期待効用は  $p(1) - \Pi(1, k)$

である。サイドペイメントは0から  $\{\Pi(11, k) - \Pi(11, 1)\} \times T$  の間で決定されるべきである（ただし、 $T$  は提携するエージェントが仕入れる財の数である）。

2. もし  $\Pi(11, k) < p(11)11$  であれば、エージェント1は期待効用が負となるため他のエージェントと提携を組むべきである。

次に、市場に複数の財が存在する状況を考える。財  $\{b1, b2\}$  およびエージェント  $\{a1, a2, a3\}$  が存在する状況を考える。それぞれの財の価格は2段階であり、財 $b1$ の価格は  $\{\Pi(i1, 1), \Pi(i1, 2)\}$  とする。それぞれのエージェントは予算に制約を持つ。このケースにおいてエージェントはどのように提携すべきであるか？それぞれのエージェントが効用を増加させるためのある戦略を持っているため割当を決定するのは難しい。もし、エージェント1が十分に予算を持ち $b1$ に対する期待効用  $p(11) - \Pi(11, 1)$  であれば、エージェントは自らの予算の中で財を最低価格で購入できるために提携を提案する必要は無い。一方、エージェント1の予算には上限があり、最も安い価格で商品を購入できない場合を考える。もし、エージェント1の財 $b1$ および財 $b2$ に対する期待効用がそれぞれ  $p(11) - \Pi(11, 2) < 0$  および  $p(12) - \Pi(12, 2) < 0$  である場合、エージェント1は他のエージェントと提携を組むべきである。または、仕入れをしない方がよい。

表1 Examples

	Number of items	Agent 2 does not cooperate	Agent 2 cooperates
Agent 1	8	$0.9 * 8 = 7.2$	$0.8 * 8 = 6.4$
Agent 2	3	-	$0.8 * 3 = 2.4$

上記の状況において、図4に示されるような予想価格の分布が存在しているとする。もし、財1に関して予想価格とコストの関係が  $\pi_{i1} < \Pi_{i1}$  である場合、期待効用が負となるために仕入れを提案したり、提案に対して協力することはない。一方、 $b1$ に関して予想価格とコストの関係が  $\pi_{i1} > \Pi_{i1}$  である場合、エージェントは仕入れを提案したり、参加するインセンティブを持つようになる。ここで、財 $b1$ に関する予想価格とコストの関係が  $\pi_{i1} > \Pi_{i1}$  である状況を考える。この場合、エージェントによっては末端の買い手に財を売却する際に損をしてしまう可能性がある。財が売れる可能性に関して一様分布を用いたとしても、多くの財を仕入れたエージェントが損失を被り易くなる。この状況を鑑みれば仕入れに責任を持つべき仕入れを提案するエージェントはいなくなる。多くのエージェントが低いリスクで多くの効用を得ることを考え、協力だけをする側にまわる。

#### 4-2 改良

エージェントが仕入れ提案を行い、協力するエージェントを募るだけであれば、提案する側になるより協力する側になるほうが高い効用が得られることは自明である。ましてやサイドペイメントの制度を導入すればよりその性質が顕著となる。ここで現実性を考慮し、次の仮定を与える。

仮定3 全てのエージェントの財に関する予想価格は個人価値に基づく。

もし、エージェントが合理的であれば、エージェントの効用は最大化される仕入れのための割当が探索される。しかしこの場合、エージェントは仕入れの提案をしないかもしれない。一方、提案された購入に提携し高い効用を得ることが考えられる。つまり、エージェントは他のエージェントの出方を見た上で自分の戦略を決定しなければならない。しかし、このケースにおいて、フリーライダーとなるほうが提案者となるより多くの利益を上げることができるためいつまでもだれも仕入れを提案するエージェントとなることはない。高いリスクが存在するもとで、交渉が同時に行われるメカニズムにおいては、エージェントは他のエージェントからの仕入れの提案を待つべきである。エージェントは仕入れ価格とサイドペイメントの合計額が最大となるような割当を探索するべきである。従って、そのような状況を排除するためにもう一つのルールを考える。

定義1 仕入れ提案をしないエージェントは提携に参加できない。

この定義を与えることで、エージェントは提案することなしに提携によって余剰を得ることはできない。交渉が同時に行われるメカニズムにおいて、エージェントは財 $j$ に関してリスクが無ければ  $\max(\pi_{ij} - \Pi_{ij})$

で得るような仕入れの提案を与えるべきである。もし、エージェントが合理的であれば、効用が最大化される仕入れの割当が探索される。実際の仕入れにおいて、交渉メカニズムは同時であるべきであり、仕入れの提案を行うエージェントが他のグループに参加することにより効用が得られる。このような交渉の集合はエージェント間の提携においてエージェント全体に関わる一つの意味決定と見なすことができる。

#### 4-3 実験

一般的な共同購入、フリーライダーを防止するメカニズムおよび効率的なメカニズム提案手法の比較のために、シミュレーションによる実験を行った。実験では3財および5人のエージェントを準備した。それぞれの財は財の数に応じた価格を持つ。実験では、各々の財は3つの価格帯をもつと規定した。それぞれの価格帯は\$0から\$100の間の一様分布により決定されるとした。まず、最低価格が決定され、その後最低価格と\$100の間で2段目の価格が決定される。最後に、2番目の価格と\$100の間で最高の価格帯が決定される。それぞれのエージェントの予算も上記と同様に一様分布により決定されるが、予算の範囲は\$200から\$1000とした。各々の財の市場価格は財の最高価格帯の2倍から最低価格帯を引いた値で定義した。実験は100回実施されその平均値が表2に示されている。その結果、効率性を追求するメカニズム（つまり上記改良を考慮しないメカニズム）は総余剰においては極めて優位性がある。一方で安全なメカニズムを実現するには効用の合計を減じることが必要となる。實際上、どのメカニズムを選択するかは、システムの管理者にゆだねられると考えられる。

Table 2. Result

	Individual Purchasing Mechanism 1	Mechanism 2
Total Utilities	\$1737	\$2905

## 5 結論

本研究では複数の小さな交渉から成る交渉に関するメカニズムを提案した。財の割当において、市場の動向は需要と供給に基づき決定づけられるためリスクを伴う。最終的な交渉の結果は、実際の商取引においてはエージェントの予算が関わってくるため、エージェントの出方と交渉の順序により決定づけられる。このような状況に関してweb上で用いられる個人事業者が提携して合資組織を作成し、仕入れを行う場面について議論した。交渉のフェーズにおいて、エージェントは財の個数と予算を考慮した上での価格に基づいて仕入れ提案を行うか判断する。もし、全てのエージェントの選好分布が同一であると仮定すれば、エージェントがフリーライダーとなることで収益を増加させることが可能となるため、エージェントが合理的であれば仕入れ提案を行わないことが考えられる。一方、現実の状況に関して考えると、提案を行わず、高い効用が得られる提携に参加するだけである。そこで、そのような状況を回避するために、仕入れにおいて同時に全てのエージェントが提案を必ず行う状況を考えて。この状況においては、フリーライダーが利益のパイを持ち去ることは困難となる。

### 【参考文献】

- 1) T.Ito, H.Hattori, and T.Shintani. A cooperative exchanging mechanism among seller agents for group-based sales. in the International Journal of Electronic Commerce Research and Applications (ECRA), Vol.1(2), 2002.
- 2) T.Ito, M.Yokoo, and S.Matsubara. A combinatorial auction protocol among versatile experts and amateurs. In Proc. of the 3rd International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS04), pages 481-488, 2004.

- 3) C.Li and K.Sycara. Algorithms for combinational coalition formation and payoff division in an electronic marketplace. In in the proceedings of International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems, pages 120–127, 2002.
- 4) T.Matsuo and T.Ito. A decision support system for group buying based on buyers' preferences in electronic commerce. In in the proceedings of the Eleventh World Wide Web International Conference (WWW-2002), pages 84–89, 2002.
- 5) T.Matsuo, T. Ito, and T. Shintani. A buyers integration support system in group buying. In in the proceedings of IEEE International Conference on Electronic Commerce Technology, 2004.
- 6) D.C. Parkes and L.H. Ungar. An ascendingprice generalized vickrey auction. In The SITE Workshop on The Economics of the Internet, 2002.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
A Reassuring Mechanism Design for Traders in Electronic Group Buying	International Journal of Applied Artificial Intelligence	2009/1
An Approach to Efficient Trading Model of Hybrid Traders based on Volume Discount	Ngoc Thanh Nguyen (eds.), New Challenges in Applied Intelligence Technologies	2008/6