

P2P に基づく分散型電子マーケット *E-GarageSale* における エージェントの財の交換に基づく交渉手法

A Negotiation Method among Agents based on Exchanging Goods in P2P-based Distributed Electronic Marketplace *E-GarageSale*

服部 宏充

Hiromitsu Hattori

名古屋工業大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

hatto@ics.nitech.ac.jp, <http://www-toralab.ics.nitech.ac.jp/~hatto/index.html>

伊藤 孝行

Takayuki Ito

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

Center for Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

itota@jaist.ac.jp, <http://www.jaist.ac.jp/~itota/index.html>

新谷 虎松

Toramatsu Shintani

名古屋工業大学 知能情報システム学科

Department of Intelligence and Computer Science, Nagoya Institute of Technology

tora@ics.nitech.ac.jp, <http://www-toralab.ics.nitech.ac.jp/~tora/index.html>

keywords: Electronic Commerce, Multiagent, Volume discount, Negotiation, Peer-to-Peer

Summary

E-Commerce sites have introduced new business models for effective and efficient commerce. If we introduce software agent technologies into e-commerce systems, we can further enhance the intelligence of user support. In this paper, we propose a new cooperation mechanism among seller agents based on exchanging their goods in *E-GarageSale*, our P2P-based distributed electronic marketplace. In *E-GarageSale*, buyer agents can purchase multiple goods based on discount prices. However, there is a case that seller agent does not have enough goods for trading with several buyer agents at a time. Therefore, seller agents cooperatively negotiate by using an exchanging mechanism for selling goods effectively. By using our mechanism, all seller and buyer agents can increase their utility. Our experiments show that an exchanging mechanism enables seller agents to sell goods in stock effectively.

1. ま え が き

近年、電子商取引 (E-Commerce) に注目が集まり、多くの期待が寄せられている。電子商取引には時間的 / 空間的な制約が存在せず、ユーザにとって効用の高い取引を実現する多くの機会が存在する。一方、必要な処理の複雑化により、ソフトウェアによる知的な支援が必要不可欠となっている。これまでに、効果的な商取引支援を目的として、ソフトウェアエージェントの応用に基づく研究が行われている [Chavez 96, Guttman 98b, 伊藤 02]。エージェントが、人間の代理として自律的かつ知的に動作することにより、ユーザは、希望商品の検索作業や、実際に交渉を行う負担から解放される。

複数のエージェントが商取引を行う電子マーケットに関しては、これまでに様々な研究が報告されている [松原 00, Parkes 01]。既存の研究では、全ての売り手 / 買

い手エージェントが特定のマーケットサーバ上で売買を行う中央集中型のマーケットメカニズムが仮定されている。中央集中型のメカニズムでは、マーケット内の情報の把握が容易であり、複数の売買を一括して清算可能である。しかし、ユーザ数が増加した場合、多数の売買の集中的な処理は計算量的に困難である。例えば、組合せオークション [Sandholm 99] における財の最適な割り当ての計算は、NP 完全な問題として知られている。また、マーケットには、各参加者の売買に関する選好情報が集められるため、これらの情報を管理するためのマーケット側の負担が大きい。一方、分散型のマーケットメカニズムでは、売買の処理と情報の管理が局所的に行われるため、ユーザ数の増加への対応、および情報管理の負担軽減が可能である。

筆者らは、特定のマーケットサーバの存在を必要としない、分散型の電子マーケットシステム *E-GarageSale* の

構築を進めている。*E-GarageSale* は、C2C (Consumer to Consumer) 型の売買の支援を目的とし、実世界におけるガレージセール、もしくはフリーマーケットに類似した形態のマーケットをインターネット上に実現する。本システムは P2P (Peer-to-Peer) 型 [Oram 01] のアーキテクチャに基づき、個々のユーザの計算機を売買活動の基盤として利用する。ユーザは、自分自身の計算機上にエージェントを生成し、財の販売、および交渉を行う。実際の売買活動を個々の計算機上で行うことで、マーケットへの情報登録が不要となり、マーケットに対する個人的な情報の開示が不要となる。また、本システムにより、一般のユーザが任意の期間、自由に売り手 / 買い手として活動できる。それにより、インターネット上での商取引の敷居を下げ、多種多様な財が活発に扱われる、ダイナミックな電子マーケットが実現できる。

E-GarageSale において、複数の財を効率的に売買するプロトコルとして、筆者らはボリュームディスカウント [Yamamoto 01] に基づくプロトコルに注目している。ボリュームディスカウントとは、買い手が複数の財を同時に購入する際に、売り手が財の単価を割り引くことである。ボリュームディスカウントを用いた場合、買い手には一度に多数の財を購入する誘因が生じるため、売り手が短期間に多数の財を販売することが可能になる。しかし、売り手が、買い手の要求に応えるための十分な数の財を常に所有しているとは限らない。特に、一般のユーザが売り手として活動が可能の本システムでは、安定した財の仕入れ経路が無く、豊富な在庫を持たない売り手の存在が考えられる。売り手が所有している財の数が、買い手が要求する数より少ない場合、売り手は財の販売機会を失い、買い手は財を低価格で購入する機会を失う。そこで本論文では、売り手と買い手双方の損失を防ぎ、かつ財の効率的な売買を実現するために、売り手エージェント間の、財の交換に基づく交渉手法を提案する。本手法は、文献 [伊藤 98] の手法を、商取引のプロトコルとして新たに改良、精緻化したものである。本手法では、財の不足分を補うために、他の売り手と異なる財の交換を行う。本手法によって、売り手は、所有している複数の財を一度の売買機会でも処理することが可能となる。また、本手法は、売り手の収益の最大化は保証しないが、財の販売効率を向上させ、少数の在庫しか持たない売り手による財の販売を容易化する。

本論文の構成は以下の通りである。2 章で *E-GarageSale* の概要について述べる。3 章では、エージェントによる売買交渉の定式化、およびエージェントの交渉プロトコルを示す。次に、4 章では、売り手エージェント間の財の交換に基づく交渉手法について説明し、5 章で提案手法の評価を行う。さらに、提案手法の適用性、および有用性に関して 6 章で議論する。そして、7 章で関連研究について述べ、最後に 8 章でまとめと今後の課題を述べる。

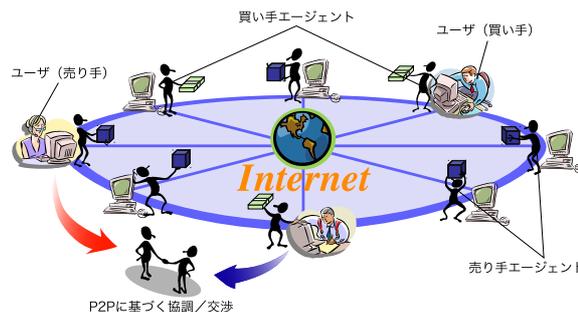


図 1 *E-GarageSale* の概要

2. *E-GarageSale*: P2P に基づく分散型電子マーケット

図 1 に *E-GarageSale* の概要を示す。*E-GarageSale* では、売り手 / 買い手ユーザが利用している、インターネットに接続された複数の計算機の集合を 1 つのマーケットと見なす。売り手 / 買い手エージェントは、これらの計算機上で自律的かつ協調的に動作する。売り手ユーザは売り手エージェントを生成し、自分の代理として売買交渉を行わせる。同様に、買い手ユーザは買い手エージェントを生成し、財の購入活動をさせる。本システムでは、エージェントは、稼働中のエージェントの情報を特定のサーバから取得でき、実質的な売買を P2P (Peer-to-Peer) [Oram 01] で行う。このようなシステムは、Hybrid P2P 型と呼ばれ、BearShare [BearShare] や Napster など用いられている。本システムで活動するエージェントは、稼働中のエージェントの情報を得るための Web サーバへのアクセス機能、および他のエージェントと売買交渉を行うために必要な通信機能を備えている。また、エージェントはマルチスレッドで動作するため、P2P ネットワークを動的に構成しながら、複数の交渉を並行して行うことができる。本システムでは、ユーザが、あらかじめ E-Commerce サイトにアクセスし、売買に関する情報を登録しておく必要がない。売り手ユーザは自分の計算機上で財を宣伝し、買い手ユーザは自分の計算機上で売買に関する要求を表明すれば、エージェントによって適切な売買が可能となる。

E-GarageSale 上では、様々な形式の売買を実現可能である。現在、複数個の財を販売する売り手の存在を仮定し、ボリュームディスカウントに基づくプロトコルを導入した売買を実現している。売り手エージェントは、財の販売期限や所有している財の数に関する情報以外に、図 2 のような、ボリュームディスカウントのための価格テーブルを持つ。価格テーブルは、一度に売却する財の数に応じた単価を表す。例えば、図 2 の価格テーブルでは、買い手エージェント（もしくはその提携）が 5 個の財を購入する場合、財の単価は \$85.00 となり、20 個の財を購入する場合は \$35.00 になることが示されている。*E-GarageSale* では、多数の財の効率的な売買のために、

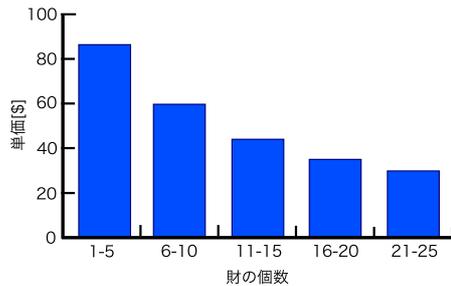


図 2 売り手の価格テーブルの例

ボリュームディスカウントを導入している。しかし、本システムには、小売り業者と比較して十分な数の財を所有していない一般のユーザが売り手として存在する。そのため、売り手が、多数の買い手からの要求を満たすことが不可能な場合が発生し得る。そこで本論文では、売り手エージェントが買い手からの要求を満たすための交渉手法を提案する。

E-GarageSale は、エージェント記述言語 *MiLog* [福田 02] を用いて実装されている。*MiLog* は Java 言語を用いて実装された Prolog 言語処理系であり、インターネット上で商取引を行うエージェントの作成を主眼において設計されている。*MiLog* を用いることで、論理プログラミングに基づく高度な推論機構と、Web 処理機能 (Web サーバ/クライアント機能) を持つエージェントを容易に実装可能である。

3. エージェントの交渉スキーマ

本章では、まず、本論文における用語と記法を定義し、次に、エージェントの売買交渉プロトコルについて述べる。

買い手エージェント： 買い手エージェントの集合を、 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_l\}$ と表す。

売り手エージェント： 売り手エージェントの集合を、 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ と表す。

財： 財の集合を、 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ と表す。

売り手の所有財： 売り手は複数の種類の財を販売することが可能であるとし、売り手 s_j が所有する財の集合を、 $G(s_j) = \{g(s_j)_1, g(s_j)_2, \dots, g(s_j)_n\}$ と表す。

買い手の希望財： 買い手 b_k が希望する財を、 $g(b_k)$ と表す。

価格テーブル： 売り手 s_j の財 g_i に関する価格テーブルを、関数 $p(s_j, g_i) : N \mapsto R$ と表す。ここで、 N は自然数、 R は実数である。 $p_{s_j, g_i}(n)$ は、売り手 s_j が、財 g_i を n 個同時に販売する場合の g_i の単価を示す。

財のコスト： 売り手 s_j が、財 g_i の仕入れや生産にかけ

るコストを、 $cost(s_j, g_i)$ と表す。

希望価格： 買い手 b_k の財 g_i に対する希望価格を $r(b_k, g_i)$ と表す。ここでの希望価格とは、買い手 b_k が支払い可能な金額の上限であり、財の価格が $r(b_k, g_i)$ 以下であれば、 b_k は財を購入可能である。

売り手が販売可能な財の数： 売り手 s_j が売買において販売可能な財 g_i の数を、 $num_s(s_j, g_i)$ と表す。

買い手が希望する財の数： 買い手 b_k が希望する財 g_i の数を、 $num_b(b_k, g_i)$ と表す。

買い手の提携： 財 g_i に関する買い手の提携を $C(g_i)$ と表す。ただし、 $C(g_i) \subset B$ である。

提携が希望する財の数： 提携 $C(g_i)$ が希望する財 g_i の数を、 $num(C(g_i)) = \sum_{b_k \in C(g_i)} num_b(b_k, g_i)$ と表す。

取引における売り手の効用： 売り手 s_k が、買い手 b_k 、もしくは買い手の提携 $C(g_i)$ との間で取引を行う時、 s_k の効用を一般的な利潤と同様、収入と支出の差として定義する。すなわち、以下のように定義する：
 $u_{s_k}(g_i) = p_{s_j, g_i}(num_b(b_k, g_i)) \times num_b(b_k, g_i) - cost(s_j, g_i) \times num_b(b_k, g_i)$ 、もしくは $u_{s_k}(g_i) = p_{s_j, g_i}(num(C(g_i))) \times num(C(g_i)) - cost(s_j, g_i) \times num(C(g_i))$

買い手の提携の効用： 提携 $C(g_i)$ の効用を以下のように定義する：
 $u_{C(g_i)}(g_i) = \sum_{b_k \in C(g_i)} r(b_k, g_i) \cdot num_b(b_k, g_i) - p_{s_j, g_i}(num(C(g_i))) \cdot num(C(g_i))$

E-GarageSale では、以下のプロトコルに従ってエージェントが売買交渉を行う。ここでの基本的なアイデアは、単独での財の売却に失敗した売り手エージェントが、他の売り手エージェントと在庫にある財を交換することで、買い手が希望する数の財を集めて売却を試みる、というものである。

(Step 1): 買い手エージェントが *E-GarageSale* にアクセスし、売買に関する要求を表明する。買い手エージェント b_k の要求は、希望価格 $r(b_k, g_i)$ と、希望する財の数 $num_b(b_k, g_i)$ から成る。ある時点において、同一の財 g_i の購入を希望する買い手エージェントが複数存在する場合、提携 $C(g_i)$ が形成される。

(Step 2): 売り手エージェント s_j が *E-GarageSale* にアクセスした時、提携 $C(g_i)$ が存在し、かつ $g_i \in G(s_j)$ であるならば、提携 $C(g_i)$ に対して財 g_i の売却を試みる。もし s_j が所有している財の購入を希望する提携が存在しないならば、あらかじめ定められた財の販売期限の間、所有している財 $G(s_j)$ の購入を希望する買い手エージェントのアクセスを待つ。

(Step 3): 提携 $C(g_i)$ は, 財の単価 $p_{s_j, g_i}(\text{num}(C(g_i)))$ が, 提携に属する全てのエージェントの希望価格以下である事を確認する. もし, 希望価格が満たされないエージェントが提携内に存在するならば, s_j との交渉を中断し, 他の売り手を探す. ただし, 条件を満たす売り手が存在しない場合, 一部のエージェントとの提携を解消し, 新たな提携 $C(g_i)'$ を形成する. ここでは, 提携 $C(g_i)'$ を形成する全てのエージェントの希望価格が $p_{s_j, g_i}(\text{num}(C(g_i)'))$ 以上となるように, 希望価格が低いエージェントから提携を解消していく. そのため, 買い手のユーザは, 適切な希望価格を設定しておく必要がある. 極端に低い希望価格を設定した場合, 提携を解消される可能性が高くなり, ポリウムディスクカウントによる恩恵を受けられる見込みが小さくなる. 買い手の提携に関しては, より詳細な考察が必要であるが, 本論文では売り手間の交渉に注目し, 買い手に関しては詳しく議論しない.

(Step 4): $\text{num}_s(s_j, g_i) \geq \text{num}(C(g_i))$ が成り立つなら, 売り手エージェント s_j は, 財 g_i を提携 $C(g_i)$ へ売却する事が可能であるため, 売買が成立し, 交渉は終了する. もし, $\text{num}_s(s_j, g_i) < \text{num}(C(g_i))$ ならば, (Step 5) へ. ここで, 提携 $C(g_i)$ との売買が可能で売り手エージェントが複数存在する場合, より早い時間に *E-GarageSale* にアクセスしたエージェントが優先的に選択され, 売買が成立する. 例えば, 2つの売り手エージェント s_a と s_b がこの順番で *E-GarageSale* にアクセスしたケースにおいて, 提携 $C(g_i)$ が, どちらのエージェントとも売買が可能である場合, より早くアクセスした s_a が選択される.

(Step 5): 買い手エージェント (もしくはその提携) の要求を満足するために, 売り手エージェント s_j は, 財の交換に基づく交渉手法により, 財 g_i の数の増加を試みる. すなわち, 売り手エージェント s_j は, 財 g_i を所有している他の売り手エージェント s_k から, 不足分の財を獲得する. 交渉において, s_j は g_i を得る代償として, g_i 以外の財 g_l を s_k に譲渡する. 交換に基づく交渉の詳細は 4 章で述べるが, 概要は以下の通りである. (1) 売り手エージェント s_j は, 所有している g_i 以外の財 g_l との交換を希望している他の売り手エージェントを探す. (2) 財 g_l の交換を希望しているエージェントが存在する場合, s_j は交換を試みる. もしも交換が可能なエージェントが複数存在する場合には, 最も良い条件で交換が可能なエージェントを選択する. (3) 交換が可能なエージェントが存在しない場合, s_j はあらかじめ定められた販売期限を越えるまで, 交換可能な売り手エージェントのアクセスを待つ.

4. 財の交換に基づく交渉手法

3章の (Step 5) において, 売り手エージェント s_j が, 買い手が要求する個数以上の財を所有していない場合, s_j

は財の交換に基づく交渉により, 不足分の財を得る. 2つの売り手エージェントが交渉に成功した場合, それぞれのエージェントは, 効用を増加させることができる. また, 売り手エージェント間の交渉が成功することで, 買い手エージェントもより多くの割引を期待できる. 以下に, 2つの売り手エージェント間での財の交換に基づく交渉手法を示す.

図 3 に交渉の例を示す. 本例では, 2つの売り手エージェント s_1 と s_2 が存在している. 売り手エージェント s_1 は, 財 g_1 を 4 つ, 財 g_2 を 2 つ所有しているとし, 売り手エージェント s_2 は, 財 g_1 を 2 つ, 財 g_2 を 3 つ所有しているとする. ここで, 買い手の提携 $C(g_1)$ が, 売り手エージェント s_1 に対して財 g_1 を 6 個要求し, 別の提携 $C(g_2)$ が, 売り手エージェント s_2 に対して財 g_2 を 5 個要求していると仮定する. この場合, 売り手エージェント s_1 は, 十分な数の財 g_1 を所有していないため, 提携 $C(g_1)$ との売買を成立させることができない. そこで, 売り手エージェント s_2 と交換に基づく交渉を行い, 財 g_1 を得ることで売買の成立を試みる.

まず, 売り手エージェント s_1 が次の提案を行う: 『 s_1 が財 g_2 を 2 つ s_2 に渡し, s_2 は財 g_1 を 2 つ s_1 に渡す』. この時, 交換に関する売り手の効用が以下の条件を満たすならば, 売り手エージェント s_1 と s_2 はこの提案に合意する.

s_1 に関して:

$$(p_{s_1, g_1}(6) \times 6 - \text{cost}(s_1, g_1) \times 4) - (p_{s_1, g_2}(2) \times 2 - \text{cost}(s_1, g_2) \times 2) > 0$$

かつ, s_2 に関して:

$$(p_{s_2, g_2}(5) \times 5 - \text{cost}(s_2, g_2) \times 3) - (p_{s_2, g_1}(2) \times 2 - \text{cost}(s_2, g_1) \times 2) > 0$$

すなわち, 売り手エージェント s_1 は, エージェント s_2 から 2 個の財 g_1 を得て, 6 個同時に財 g_1 を売却して得られる効用が, 自分自身で財 g_2 を 2 個同時に売却して得られる効用よりも大きいならば交換に合意する. 一方, 売り手エージェント s_2 も同様に, エージェント s_1 から 2 個の財 g_2 を得て, 5 個同時に財 g_2 を売却して得られる効用が, 自分自身で財 g_1 を 2 個同時に売却して得られる効用よりも大きいならば交換に合意する. 双方のエージェントが交換に合意できた場合にのみ, 2 エージェント間で交換が成立する. 以上の条件が満たされる場合, 双方のエージェントが効用を増加できるため, エージェントにとっては, 財の交換を行うことが合理的な行動となり得る. 財の交換条件の定義を以下に示す.

[Definition 1] (財の交換条件) 2つの売り手エージェント s_1 および s_2 と, 2種類の財 g_1 および g_2 が存在する場合に, エージェントは, 以下の 2通りのケースにおいて売買の成立が可能である.

【Case 1】

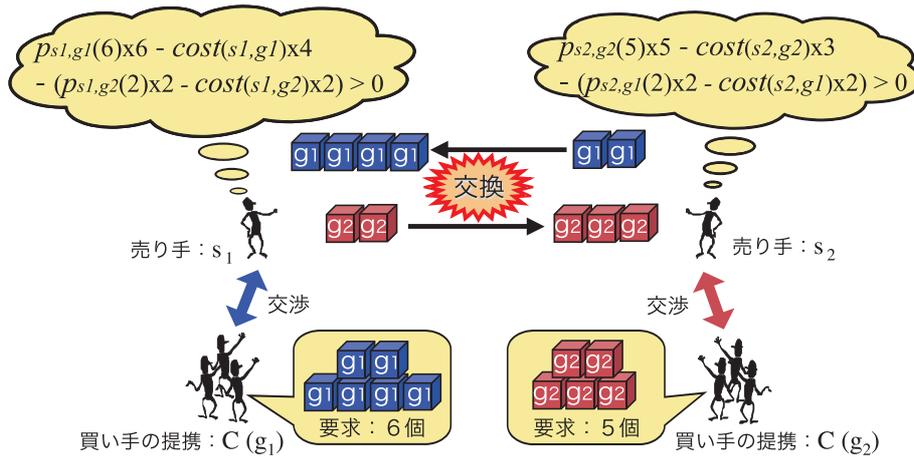


図 3 2つの売り手エージェント間の交換の例

$$shortage(s_1, g_1) = num(C(g_1)) - num_s(s_1, g_1) > 0$$

かつ,

$$shortage(s_2, g_2) = num(C(g_2)) - num_s(s_2, g_2) > 0$$

として, s_1 の効用が,

$$u(s_1) = p_{s_1, g_1}(num(C(g_1))) \times num(C(g_1)) - cost(s_1, g_1) \times num_s(s_1, g_1) - (p_{s_1, g_2}(shortage(s_2, g_2)) \times shortage(s_2, g_2) - cost(s_1, g_2) \times shortage(s_2, g_2)) > 0$$

かつ, s_2 の効用が,

$$u(s_2) = p_{s_2, g_2}(num(C(g_2))) \times num(C(g_2)) - cost(s_2, g_2) \times num_s(s_2, g_2) - (p_{s_2, g_1}(shortage(s_1, g_1)) \times shortage(s_1, g_1) - cost(s_2, g_1) \times shortage(s_1, g_1)) > 0$$

である場合.

【Case 2】

$$shortage(s_1, g_2) = num(C(g_2)) - num_s(s_1, g_2) > 0$$

かつ,

$$shortage(s_2, g_1) = num(C(g_1)) - num_s(s_2, g_1) > 0$$

として, s_1 の効用が,

$$u(s_1) = p_{s_1, g_2}(num(C(g_2))) \times num(C(g_2)) - cost(s_1, g_2) \times num_s(s_1, g_2) - (p_{s_1, g_1}(shortage(s_2, g_1)) \times shortage(s_2, g_1) - cost(s_1, g_1) \times shortage(s_2, g_1)) > 0$$

かつ, s_2 の効用が,

$$u(s_2) = p_{s_2, g_1}(num(C(g_1))) \times num(C(g_1)) - cost(s_2, g_1) \times num_s(s_2, g_1) - (p_{s_2, g_2}(shortage(s_1, g_2)) \times shortage(s_1, g_2) - cost(s_2, g_2) \times shortage(s_1, g_2)) > 0$$

である場合.

例外的なケースとして, 2つの売り手エージェントが存在する場合に, 上述のいずれの条件も満たされるケー

スが考えられる. つまり, 売り手エージェント s_1 が, s_2 に財 g_1 を渡して財 g_2 を得ることができ, また同時に, s_1 が s_2 に財 g_2 を渡して財 g_1 を得ることができる場合である. これは, 双方の売り手が, 同時に2つの財 g_1 と g_2 に関する交換相手を探している場合に生じ得るケースである. このようなケースでは, エージェントは社会的余剰, すなわち2つのエージェントの効用の和を最大化する取引を選択する. もしも, どちらの取引でも得られる社会的余剰が変わらない場合, エージェントはランダムにいずれかの取引を選択する.

また, 2つ以上の売り手エージェントが存在する場合に, 交換が成立可能なエージェントの組み合わせのパターンが複数存在する場合が考えられる. 例えば, 売り手エージェント s_1 と s_2 の間で交換が可能な場合に, 別のエージェント s_3 が存在し, s_1 と s_2 のいずれとも交換が可能なケースが考えられる. この場合, 3章の(Step 4)で述べた通り, *E-GarageSale* へのアクセス順に基づいて, エージェントの優先度が決定される. 例えば, アクセスした時間が, s_3, s_2, s_1 の順番で早いならば, 売り手エージェント s_2 および s_3 の間で交換が成立する.

5. 提案手法の評価

提案手法の有効性を示すためにシミュレーション実験を行った. 本実験の基本的な設定は以下の通りである.

- 売り手の数: 20
- 買い手の数: 500
- 財の値段: 200 ~ 300
- 財の種類の数: 10
- 売り手が所有可能な財の最大数: 10
- 財に関する買い手の分布: 正規分布
- 売り手が所有する財の数量の分布: 一様分布
- 売り手の各財に対する価格の分布: 一様分布

ここで, “財に関する買い手の分布” は, 買い手の各々の財に対する需要量を表すパラメータであり, 標準正規分布(平均:5, 標準偏差:1)に従う. 本パラメータは, 財に

対する需要の偏りを疑似的に表現するために用いられる．“売り手が所有する財の数量”は、売り手が所有可能な財の最大数を上限として一様に分布しているとし、各財について売り手ごとに供給量を変化させている．また、“売り手の各財に対する価格”は、基準となる価格（本実験では 1000）から $[-100, 100]$ で一様に分布しており、同一の財に対する売り手ごとの販売価格の変動を表す．本実験において、売り手は、ディスカウントする財の上限を 5 個とし、同時に販売する財の数が増えるごとにディスカウント率を 0.02 ずつ増加させる．すなわち、買い手は、最高 1 割値引きの価格で財を購入可能である．簡単のため、本実験では、買い手エージェントの希望価格は売り手の提示する価格以上であると仮定し、買い手の提携の解消は考慮しない．

本実験では、提案手法と既存の手法との比較を行った．提案手法は、3 章で示した (Step 1) から (Step 4) の手順から成る．一方、既存の手法は、(Step 1) から (Step 3) の手順から成る．本実験では、上で挙げたパラメータを変化させ、いくつかの異なる設定の元で比較を行った．実験では、各々の設定の元で 1000 回試行し、1 試行は 1000 単位時間とした．1 単位時間は、提案手法では (Step 1) から (Step 4)、既存の手法では (Step 1) から (Step 3) とした．買い手エージェントと売り手エージェントは、 n 単位時間毎に電子マーケットに 1 つずつ新たに参加するものとした．ここで、 n はエージェントの総数に反比例する数である．

図 4、図 5、図 6、および図 7 に実験の結果を示す．図 4 と図 5 は、売り手の数に関して、売り手の効用、および財の販売率を比較した結果を示す．図 6 と図 7 は、売り手が所有可能な財の最大数に関して、売り手の効用、および財の販売率を比較した結果を示す．ここで、本実験における販売率とは、個々の売り手に関して計算される、所有している財の数に対する販売した財の数の割合を意味する．また、図 4 および図 6 では、縦軸は売り手の効用の平均値を表し、図 5 および図 7 では、縦軸は財の販売率の平均値を表す．

図 4、および図 5 では、売り手の数に関する比較において、提案手法の方が既存の手法よりも多くの効用と高い販売率を得られることが示されている．特に、売り手の数が 10 から 25 の範囲では、効用に関しては既存の手法の 2 倍、財の販売率に関しては、3 倍から 5 倍の値が得られている．また、実験結果では、売り手の数が少ない時に、得られる効用も財の販売率も共に減少している．これは、買い手の数に比べて売り手の数が少なすぎるために、十分な数の取引が行われないためである．

図 6 以外の全ての結果において、売り手の効用、および財の販売率が、最終的には既存の手法とほぼ同じ値に収束することが示されている．これは、図 4、および図 5 の実験では、売り手が所有可能な財の最大数が 10 に固定されているために、売り手の数が増加するにつれて売

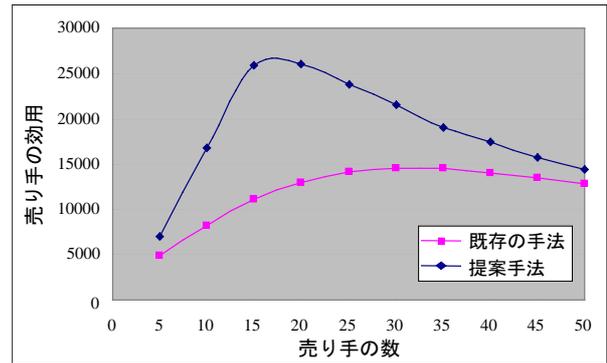


図 4 売り手の数に関する売り手の効用の比較

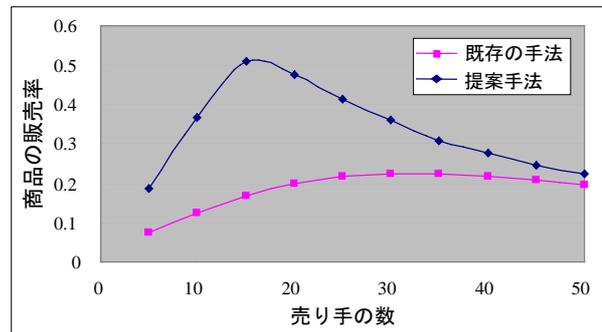


図 5 売り手の数に関する財の販売率の比較

買の機会が減少するためである．売買の機会が減少することにより、個々の売り手が得られる効用、および財の販売率は自然に減少する．また、図 7 の実験では、売り手の数は 5 で固定されているが、買い手全体が要求する財の数は変化しない．そのため、個々の売り手が所有可能な財の個数が大きくなるにつれて、財の供給量が過剰になり、販売率が減少する．一方、図 6 に示す実験結果において売り手の効用が増加しているのは、所有可能な財の最大数が増加することで、売買が成立する可能性が増加するからである．なお、図 4 で売り手の数が 20 である場合と、図 6 で売り手が所有可能な財の最大値が 10 である場合は、売買条件が全く同じになるため、グラフ上でも同一の効用が得られている．

全ての実験において、提案手法と既存の手法が異なる値に収束している点に関する考察を以下に述べる．まず、図 4、および図 5 に結果を示す実験では、買い手の数、および所有可能な財の最大数は定数で、それぞれ 500 と 10 である．既に述べたように、たとえ売り手の数が増加しても、買い手の数は増加しないため、個々の売り手の効用と販売率は減少する．実際には、売り手と買い手の間で成立する売買の数は、売り手の数の増加と共に減少し、最終的に、買い手の数 500、および財の最大数 10 に依存した値に収束する．また、図 6、および図 7 に結果を示す実験では、買い手の数、および売り手の数は定数で、それぞれ 500 と 5 である．この実験では、所有可能な財の

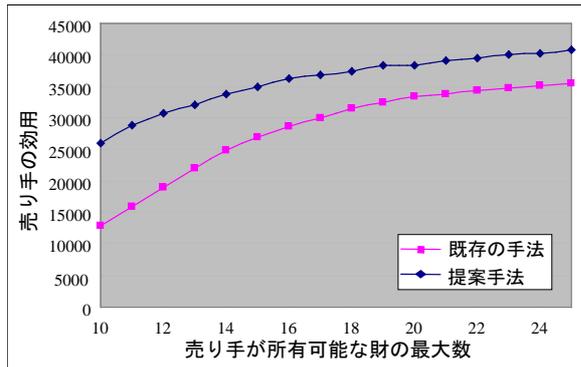


図 6 売り手が所有可能な財の最大数に関する売り手の効用の比較

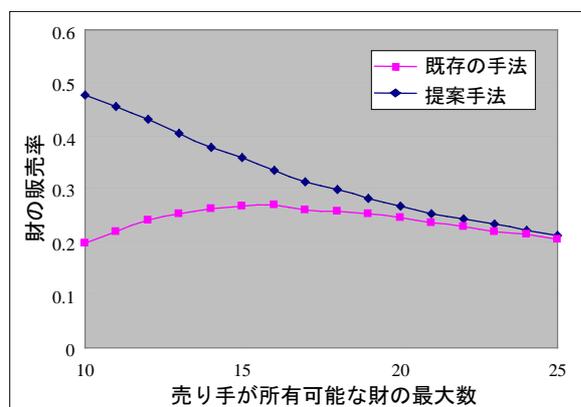


図 7 売り手が所有可能な財の最大数に関する財の販売率の比較

数の最大数が増加しても、買い手の要求は変化しないため、最終的に買い手の数 500, および売り手の数 5 に依存した値に収束する。

本論文で提案した *E-GarageSale* は P2P に基づく分散型の電子マーケットシステムである。ここでは、P2P ネットワークを介して、エージェント同士が、売買に関連する比較的小規模なコミュニティを動的に構成し、交渉を行う事が予想される。従って、本節の実験で用いた、売り手の数が 50 という設定は、P2P に基づく本システムの有効性を検証するためには、十分に妥当なものであると考えられる。実験結果により、売り手が 50 以下の場合では、提案手法が一貫して有効であることが示されている。

6. 議 論

本章では、本論文で提案した、売り手エージェントの交換に基づく交渉手法について、議論と考察を行う。

まず、売り手エージェントが交換を行う際に考えられるコストについて議論する。提案手法を実際に実行する場合、交換を試みる相手の探索、および交換の可能性の見積もり等のタスクが必要となる。実世界ではこれらの

タスクから生じるコストは無視できない。しかし、*E-GarageSale* では、これらのタスクはソフトウェアエージェントによって自動的に処理される。ここでの、ソフトウェアによって自動的に支援できる処理のコストは小さく、現実的には無視することができる。また、その他のコストとして、商品を交換する際に生じる、財の相互輸送のコストがある。ここでの輸送コストは、買い手への財の配送に関するサービスのレベルで対処可能と考えられる。例えば、買い手 b_i と交渉中の売り手 s_j が、他の売り手 s_k から交換によって財を獲得した場合、売り手間で物理的な交換は行わず、 s_k から b_i に直接商品を配送する手続きを整備することで、相互輸送のコストを排除できる。文献 [Guttman 98b] では、商取引におけるエージェント、およびエージェントに基づくシステムの適用性を評価するためのモデルが挙げられている。本モデルでは、消費者の購入行為を、(1) ニーズを特定する段階 (Need Identification), (2) 商品に関して仲介が行われる段階 (Product Brokering), (3) 売り手に関して仲介が行われる段階 (Merchant Brokering), (4) 交渉を行う段階 (Negotiation), (5) 購入と配送の段階 (Purchase and Delivery), および (6) 購入後のサービスと評価が行われる段階 (Service and Evaluation) の 6 つの段階に分類している。ここでは、商取引交渉と、財の配送は異なる段階とされている。本論文では、(5) 購入と配送の段階ではなく、(4) 交渉を行う段階に注目して議論している。

本論文では、売り手の財が不足した場合に、不足分の財を獲得する手法として、交換に基づく交渉を提案した。本論文では、取引において売り手に財の不足が生じた場合、不足分の財を獲得する方法を、財の交換に基づく交渉に限定して議論している。不足分を獲得するための別の方法として、ある売り手 s_j が一時的に買い手となり、他の売り手 s_k から財を購入する方法が考えられる。売り手 s_j は、自身が販売する財の数よりも少数の財を s_k から購入することになる。そのため、多くの場合において $p_{s_j, g_i}(\text{num}(C(g_i))) \leq p_{s_k, g_i}(\text{num}(C(g_i)) - \text{num}_s(s_j, g_i))$ となると考えられる。すなわち、売り手 s_j は、他の売り手 s_k から購入する際の財の単価と、買い手に販売する際の財の単価の差分を負担しなければならない。一方、交換に基づく交渉では、4 章で述べた財の交換条件に基づいて交換が試みられる。本交換条件に基づいて交換の可否を判断することにより、不足分の財を補って買い手との取引を成立させた場合の、売り手の効用の減少を回避することができる。すなわち、売り手から財を購入する場合のように、買い手との取引において余分な金額を負担する必要はない。本論文では、ランダムに設定した売り手の価格テーブルを用いたシミュレーション実験を行い、提案する交換に基づく手法の有効性を確認している。

近年、実際に運営されている商用の電子商取引サイト

である, 楽天市場や BIDDERS(<http://www.bidders.co.jp>) において, 共同購入による売買の仕組みが提供されており, 複数の買い手が同一の財を共同で購入する売買方式が一般に普及しつつある. しかし, 各サイトが提供している既存のシステムは, 機能的に限定された仕組みになっている. ここでは, 売買活動は売り手/買い手間でのみ可能であり, 売り手間では財や情報のやり取りを行うこともできない. 本論文で提案した交渉手法は, 売買活動の活性化のために, 売り手間での財のやり取りを可能にしている. 本手法は, ソフトウェアエージェントに基づく商取引システムをより柔軟にし, 様々な売買環境への適用を可能にする. 以上により, 本論文で提案する, 売り手エージェント間の財の交換に基づく手法は, 既存の商取引の枠組みを拡張でき, 広範囲に適用が可能である.

7. 関連研究

本章では, 関連研究について各々の概要と本研究との相違点を述べる. エージェントに基づく電子マーケットに分類されるシステムとして, FishMarket, eMediator, AuctionBot, GroupBuyAuction, Kasbah, および Tete-A-Tete 等が挙げられる.

FishMarket [Rodriguez 97] は, 仮想的なオークションの場を提供するシステムである. FishMarket では, ユーザは, エージェントの入札戦略を個々にエンコードすることができる. 現時点では, FishMarket は実世界のシステムとして利用されていないが, 様々な入札戦略を持ったエージェントによるトーナメントが開催されている. eMediator [Sandholm 99] は, eAuctionHouse と eCommitter から成る E-Commerce サーバーである. eAuctionHouse では, T. Sandholm らによって開発されたアルゴリズムに基づいて適切な勝者を決定する, 組合せオークションを行うことができる. eCommitter では, Leveled Commitment Contracts に基づく最適価格での契約を実現する. AuctionBot [Wurman 98] は, ミシガン大学の M. Wellman らのグループが開発したオークションサーバーである. ユーザは, 自分の財を売るために, 新規にオークションを開催することができる. 開催されるオークションでは, エージェントが売り手, もしくは買い手となり, あらかじめ定義されたオークションプロトコルに従って入札を行う. AuctionBot の特長は, ユーザが自分自身のソフトウェアエージェントを作成するための API を提供している点である. 以上のシステムでは, 用いる商取引のプロトコルをオークションに限定している. 一方, 筆者らが提案する *E-GarageSale* では, ポリュームディスカウントに基づく売買交渉プロトコルを用いており, また, エージェントの内部実装の変更によって, 他のプロトコルを利用できるように拡張が可能である.

GroupBuyAuction [Yamamoto 01] は, *E-GarageSale*

と同様に, ポリュームディスカウントを考慮した電子マーケットである. 文献 [Yamamoto 01] では, 買い手エージェントの効果的な提携スキームと提携内での余剰の分割手法について論じられている. 一方, 本論文における提案手法は, 買い手の提携に対し, 売り手が常に単独で売買を行うのではなく, 状況に応じて他の売り手と交渉し, 財の売却を行う方法を提案している. つまり, ある財の売買において, 複数の売り手と買い手が関係し, 効率的な売買を実現する方法を提供している. Kasbah [Chavez 96] は, WWW 上の仮想的なマーケットプレースであり, その上でユーザは, 自分の代理として財の売買を行うエージェントを生成できる. Kasbah では, エージェントが自律的に適切な価格での売買の成立を試みるが, ある財の売買において, 同時に複数のエージェントが関係することはなく, 売買プロトコル自体も単純である. Tete-A-Tete [Guttman 98a] も, インターネット上に仮想的なマーケットプレースを提供するシステムである. Tete-A-Tete では, エージェントが協調的な売買交渉を行う. ユーザは, 用意されている数種類の効用関数の中から, 自分の選好にあった関数を選択し, エージェントに与えることで, エージェントの行動を制御することができる. Tete-A-Tete におけるエージェントの交渉は, ユーザの好みをより高いレベルで満足する一つの方法として非常に興味深い. しかし, Tete-A-Tete では, 複数の売り手/買い手エージェントによる売買は行われない. そのため, 多数のエージェントが存在する場合の, 効率的な売買については考慮していない.

8. むすび

本論文では, 電子マーケットシステム *E-GarageSale* における売買の効率化のために, ポリュームディスカウントに基づく売買プロトコルを提案した. 本プロトコルにより, 買い手エージェントは多数の財を同時に購入することで効用の増加が見込め, 売り手エージェントは短期間に効率的に財を売却することができる. しかし, 売り手エージェントは, 常に十分な数の財を所有しているとは限らないため, 財の売却機会を失う可能性がある. そこで本論文では, 売り手が不足分の財を獲得するための, 財の交換に基づく交渉手法を提案した. 本手法により, より安い価格で財を購入できる可能性が高まるため, 売り手エージェントだけでなく, 買い手エージェントの効用の増加も実現できる. 本論文では, 提案手法の有効性を確認するためのシミュレーション実験を行った. *E-GarageSale* では, エージェントが P2P ネットワークを介して比較的小規模なコミュニティを動的に構成し, 売買を行う. 実験により, このような状況において提案手法が有効に作用することを示した.

本論文における提案手法では, 売り手が所有する財を効率的に売却することに主眼が置かれている. エージェ

ントによる合理的な価格決定メカニズムに関する検討は今後の課題である。また、ボリュームディスカウントを導入した売買プロトコルを用いる場合、買い手の提携形成メカニズムに関しても、詳細な考察/検討が必要である。具体的には、効率的に売買を成立させるために、効果的に提携を解消するためのメカニズムや、提携内での利益配分手法の開発が必要であると考えられる。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [BearShare] BearShare URL : <http://www.bearshare.com/>
- [Chavez 96] Chavez, A. and Maes, P.: Kasbah: An Agent Marketplace for Buying and Selling Goods, in *Proc. of 1st International Conference and Exhibition on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents (PAAM-96)*, pp. 75-90 (1996)
- [Guttman 98a] Guttman, R. H.: Merchant Differentiation through Integrative Negotiation in Agent-mediated Electronic Commerce, Master's thesis, MIT(Massachusetts Institute of Technology (1998)
- [Guttman 98b] Guttman, R. H., Moukas, A. G., and Maes, P.: Agent-mediated Electronic Commerce: A Survey, *Journal of the Knowledge Engineering Review*, Vol. 13, No. 2, pp. 147-159 (1998)
- [Oram 01] Oram, A.: *Peer-to-Peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies*, O'Reilly & Associates (2001)
- [Parkes 01] Parkes, D., Kalagnanam, J., and Eso, M.: Achieving Budget-Balance with Vickrey-Based Payment Schemes in Exchanges, in *Proc. of 17th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 1161-1168 (2001)
- [Rodriguez 97] Rodriguez, J. A., Noriega, P., Sierra, C., and Padget, J.: FM96.5: A Java-based Electronic Auction House, in *Proc. of the 2nd International Conference and Exhibition on The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents (PAAM-97)*, pp. 75-90 (1997)
- [Sandholm 99] Sandholm, T.: eMediator: A Next Generation Electronic Commerce Server, in *Proc. of the 16th National Conference on Artificial Intelligence(AAAI-99)*, pp. 923-924 (1999)
- [Wurman 98] Wurman, P. R., Wellman, M. P., and Walsh, W. E.: The Michigan Internet AuctionBot: A Configurable Auction Server for Human and Software Agents, in *Proc. of the 2nd International Conference on Autonomous Agents (Agents-98)*, pp. 301-308 (1998)
- [Yamamoto 01] Yamamoto, J. and Sycara, K.: A Stable and Efficient Buyer Coalition Formation Scheme for E-Marketplaces, in *Proc. of the 5th International Conference on Autonomous Agents (Agents2001)*, pp. 576-583 (2001)
- [伊藤 98] 伊藤孝行, 新谷虎松: 協調的なスケジューリングのための交換条件の提示による説得手法, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-I, No. 9, pp. 72-80 (1998)
- [伊藤 02] 伊藤孝行, 服部宏充, 新谷虎松: エージェント間の協調的入札機構に基づく複数オークション入札支援システム BiddingBot, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 3, pp. 247-258 (2002)
- [松原 00] 松原繁夫, 横尾真: 不正行為を防ぐ電子商取引メカニズム, 人工知能学会誌, Vol. 15, No. 5, pp. 473-482 (2000)
- [福田 02] 福田直樹, 大園忠親, 新谷虎松: 知的モバイルエージェントによる Web ページ構築フレームワーク MiPage の実装, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 3, pp. 348-353 (2002)

[担当委員: 石塚 満]

2002年6月11日 受理

著 者 紹 介



服部 宏充 (学生会員)

2001年名古屋工業大学大学院工学研究科電気情報工学専攻博士前期課程修了。現在同大学院博士後期課程2年在学中。マルチエージェントシステム, 電子商取引支援, 意思決定支援システム, 特に, マルチエージェントの協調・交渉メカニズムに興味を持つ。AAAI, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会各学生会員。



伊藤 孝行 (正会員)

2000年名古屋工業大学大学院工学研究科電気情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。1999年から2001年にかけて日本学術振興会特別研究員(DC2,PD)。2000年から2001年にかけて南カリフォルニア大学情報科学研究科(USC/ISI)客員研究員。2001年より, 北陸先端科学技術大学院大学知識科学教育センター助教授。現在に至る。マルチエージェントシステム, 電子商取引支援, グループ意思決定支援に興味を持つ。AAAI, ACM, 電子情報通信学会, 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。



新谷 虎松 (正会員)

1982年東京理科大学大学院修士課程修了。同年富士通(株)国際情報社会科学研究所入所。知識情報処理, 論理プログラミングなどの研究に従事。1993年名古屋工業大学知能情報システム学科助教授。1999年名古屋工業大学知能情報システム学科教授。1999年から2000年にかけてカーネギーメロン大学ロボティクス研究所客員研究員。現在に至る。工学博士。分散人工知能, 意思決定支援システム, マルチエージェントシステムの研究に従事。AAAI, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。