

電子市場構築技術とその応用

FIT2007チュートリアル

2007年9月7日(金)
於 中京大学豊田キャンパス



電子市場構築技術とその応用

第3イベント会場 9月7日（金） 10:00-15:50

司会進行：伊藤孝行（名古屋工業大学）

10:00 - 10:10

電子市場構築技術とその応用

横尾真（九州大学）

10:10 - 11:00

電子市場構築技術の理論：オークション理論

横尾真（九州大学），松原繁夫（京都大学）

11:10 - 12:00

電子市場構築技術の応用システム

伊藤孝行（名古屋工業大学），武藤良英（株式会社まいべすと）

13:00 - 13:50

電子市場シミュレーション〜人工市場シミュレーションからサービスへ〜
和泉潔（産業技術総合研究所）

異なる戦略を持つエージェントによるオークションシミュレーション
水田秀行（日本アイ・ビー・エム）

大規模マルチエージェントシミュレーション環境のためのクラスタ機構
山本学（日本アイ・ビー・エム）

14:00 - 14:50

予測市場とその可能性

山口浩（駒沢大学）

15:00 - 15:50

Webサービスに基づく電子市場構築技術

福田直樹（静岡大学）

電子市場構築技術とその応用

Tutorial on Electronic Market Design Technology

横尾 真†

Makoto Yokoo†

伊藤 孝行‡

Takayuki Ito‡

1. 電子市場構築技術の必要性

今日ではオークションサイト等の様々な電子市場が乱立している。本チュートリアルでは、これらの電子市場の構築に関する基礎技術と応用について概説する。電子市場の構築技術は未だ確立したものではなく、不適切な市場の構築により、以下に挙げる様々な事例で問題が生じている。

検索エンジンにおけるキーワード広告：人間の用いるオフラインの取引では問題が表面化しなかった取引メカニズムが、エージェントを含む電子市場では破綻する可能性がある。キーワード広告では、広告主は、検索エンジンのユーザが検索する可能性の高いキーワード（例えばデジタルカメラ、DVDレコーダ等）に対して入札額を設定する。キーワードが実際にユーザによって検索されると、入札額の高い順に広告がユーザに提示されるというものである。特定のキーワードに興味を持つユーザにターゲットを絞った広告が可能となり効率的であるため、キーワード広告は非常に人気を集めている。

一方、キーワード広告においては広告料の設定方法が問題となる。初期のシステムでは、通常の入札と同様、広告主は入札に等しい額を支払っていた（この方式は第一価格入札と呼ばれる）。ところが、第一価格入札を用いた場合、広告主は、自ら、広告を入札しているキーワードを用いてダミーの検索要求を行い、自分の入札が勝者となっているかをモニタし、結果に応じて入札額を調整するという行為が横行した。また、入札額の調整を自動化するソフトウェア/エージェントも開発された。入札額が激しく変動し不安定となるという問題に対応するため、検索エンジン側では、広告料の設定方法を第二価格入札と呼ばれる方式に変更した。この変更により入札額が安定したという結果が報告されている。

第二価格入札は W. Vickrey (1996 年にノーベル経済学賞を受賞) が提案した方式で、入札価格を調整する必要がなく、入札結果が安定するという理論的に優れた性質を持つことが知られていた。しかしながら、従来は第一価格入札が用いられることが通例であり、第二価格入札が用いられることは稀であったが、今や第二価格入札は世界中でもっとも頻繁に実行されている入札方式となっている。

携帯音楽プレイヤー：不適切な電子市場が導入されると、わが国の技術分野の国際競争力が失われる可能性がある。従来、日本の企業が圧倒的な技術的優位を保っていた携帯音楽プレイヤーにおいて、アップルが iPod により瞬く間に市場を支配するという現象が生じた。このことには様々な要因があるが、主たる要因として、日本の企業が音楽コンテンツを持つ業者の保護を過度に優先したために、音楽という情報の使い勝手がユーザにとって極めて悪くなってしま

ったのに対し、iPod はユーザに比較的多くの自由度を与えていることがある。同様な失敗が、地上波デジタル放送の映像レコーダなどの分野でも起こりつつある。

この他、カリフォルニアの電力マーケットやヨーロッパの第三世代携帯電話の周波数帯域オークション等の事例でも、不適切な市場の導入により深刻な問題が生じている。

2. 本チュートリアルの具体的内容

本チュートリアルではまず、電子市場設計の理論的基盤となるメカニズムデザイン/制度設計技術に関して、オークションの制度設計を中心に、九州大学の横尾と京都大学の松原氏が解説を行う。次に、電子市場の代表的な応用システムとして、前述のキーワード広告を中心に、名古屋工業大学の伊藤が解説を行う。また、電子市場の有力な解析手法であるシミュレーション技術に関して、産業技術総合研究所の和泉氏、IBMの水田氏、立正大学の山本氏が解説する。さらに、電子市場の新しい応用である予測市場に関して、駒沢大学の山口氏が概説する。最後に、より具体的な電子市場の構築技術として、Web サービスに基づく電子市場の構築技術に関して静岡大学の福田氏が解説する。

3. おわりに

従来、電子市場設計の基礎技術であるメカニズム/制度設計は、ミクロ経済学/ゲーム理論の一分野として、社会科学の領域で研究が行われており、様々なモデルの元で精緻な理論が構築されているが、社会現象を説明するための理論に留まることが多く、ソフトウェア/エージェントが主要な構成要素となっている電子市場において、現実実に実装可能なメカニズムに発展させるには不十分な点が多い。また、メカニズムの設計/実装において多大な計算量が必要とされる状況が多く、メカニズムの検証のために計算機実験が必要である等、電子市場設計には、情報学、計算機科学等の工学系からの貢献が不可欠である。

電子市場構築技術に関しては、欧米では計算機科学分野の研究者と経済学分野の研究者が共同して周波数帯域オークションの設計を行う等の事例があり、両分野の研究者が参加するワークショップが開催される等、交流が盛んであるが、日本においてはそのような事例は少ない。本チュートリアルが、計算機/情報処理分野の研究者に、電子市場構築技術に関して興味を持って頂くための一助になれば幸いである。

†九州大学, Kyushu University

‡名古屋工業大学, Nagoya Institute of Technology

電子市場構築技術の理論：オークション理論

Theory for constructing electronic commerce: Auction theory

横尾 真十
Makoto Yokoo

松原 繁夫†
Shigeo Matsubara

1. まえがき

近年インターネットオークションの市場規模が一兆円を越えるなど、その利用が拡大する一方で、詐欺行為の問題がしばしば報道されるなど、効率性と安全性を両立できる電子市場の構築が強く求められている。この課題に対して、人工知能やエージェント技術の分野でも盛んに研究が行われており、計算機科学と経済学の境界領域において多くの知見の蓄積が進められている。

オークションはこれまで、経済学、より細かく分類すれば、ゲーム理論の枠内で議論されてきた。しかし、インターネットオークションに見られるように、参加者数や取引される財（商品）の数が増大するにつれ、計算量の爆発が生じたり、あるいは、ネットワーク環境での匿名性を利用した新たな詐欺行為の出現したりするなど、様々な課題が明らかになってきている。一方で、多くのオークションサイトで自動入札エージェントが提供されているように、エージェントによる様々な支援が考えられる。これらの課題に対し、人工知能やエージェント技術による問題解決に期待が高まっている。

以下、本稿では、2章で、近年注目を集めている組合せオークションを紹介し、3章で、組合せオークションでの勝者決定問題について説明する。4章では、オークションメカニズムを設計するためのメカニズムデザインについて説明し、5章をむすびとする。

2. 組合せオークション

組合せオークションとは、複数の財（商品）が同時に販売されるオークションである。米国連邦通信委員会（FCC）による周波数帯域オークションに端を発し、近年多くの注目を集めている¹⁾。組合せオークションを考える上で重要な点は財の価値の間に存在する依存関係である。例えば、パソコンとメモリなど、個別に所有するよりも、まとめて所有するとその価値が高まる場合を補完的と呼ぶ。一方、A社とB社が同機能のパソコンを販売している場合、両方所有する必要はなく、どちらか一方を持てばよい。このような場合を代替的と呼ぶ。

組合せオークションの利点は財の価値に依存関係がある場合に現れる。財の価値に依存関係がある場合には、個々の財の価値を単独で決めることはできない。例えば、パソコン本体がなければ、メモリだけ所有することは無価値である。また、A社のパソコンを買ってしまえば、B社のパソコンは不要となるであろう。このような場合、財が個別に売られていると、買手は入札額を決めるのが困難である。ここで、組合せオークションが行われれば、財の任意の組合せに対して入札が許されるため、買手は安心して入札ができることになる。

組合せオークションの適用対象としては、先に挙げた周波数帯域のオークションの他に、空港での離発着権の割当て、トラック業者間での配送の請負、調達などが考えられる。調達とは、一人の買手に対して複数の売手が存在する状況であり、過去には一円入札のような問題が話題となった。例えば、コピー機本体を安く納品しておき、その後の消耗品やメンテナンス費等で利益を得ることを目論んで、一回目の入札において、採算を度外視した入札が行われるという問題である。この場合、結局買手にとって高い支払いが必要となる恐れがある。ここで、組合せオークションを行うことにすれば、一円入札の問題を解消できる。

3. 勝者決定問題

勝者決定問題とは、組合せオークションにおいて勝者を決定する問題である。財 1,2,3 があり、入札者 A が財 1,2 の組合せに\$40、入札者 B が財 2,3 の組合せに\$50、入札者 C が財 3 に\$30、入札者 D が財 1,3 の組合せに\$60、入札者 E が財 1 に\$10 の入札をした場合を考える。なお、ここでは議論を簡単にするため、一人の入札者は財の組合せ一つにのみ入札すると仮定する。問題は、入札額の和を最大化する財の割当てを発見することである。上記の例では、入札者 A と C が勝者となる場合に合計が\$40+\$30=\$70 と最大になる。

勝者決定問題の難しさは、入札者数を n とすると、勝者の可能な組合せの数が 2^n と指数的に増加する点にある。これは Weighted Set Packing 問題の一種であり、NP 完全と呼ばれる問題クラスに属する。NP 完全な問題に対しては、まだ多項式時間で解く方法は発見されておらず、最悪の場合、計算時間が n に関して指数的になるという性質がある。つまり、直接的に解を求める方法は一般には存在せず、試行錯誤的な探索が不可欠となる。本稿の読者には、鼠算の恐ろしさをあえて言う必要はないであろうが、例えば、1秒に一億回のチェックができる計算機を用いるとしても、 $n=80$ の場合には計算には4億年を要する。

この問題に対して、人工知能研究者は様々な方法を提案してきている。基本となる扱いは、図1に示すように木の各節点が入札（入札者）に対応する探索木を作成して、解を探索するというものである。

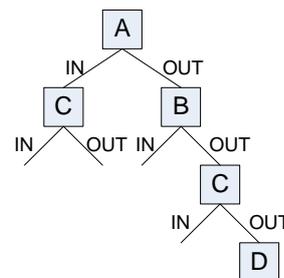


図1 勝者決定問題における探索木

†九州大学大学院 システム情報科学研究院

‡京都大学大学院 情報学研究科 社会情報学専攻

各入札者を勝者とする (IN) か、しない (OUT) かで、木を分岐させる。大規模な問題では探索木のすべてを検査することは不可能であり、探索木の枝刈りが必要となる。枝刈りを行っても最適解を得ることを保証するには、ある節点で今後どのくらいの品質の解が得られるかに関して、楽観的な推定値が得られればよい。これは分岐限定法として知られている。楽観的な推定値を求めるには、線形計画法を用いればよい。線形計画法による求解は高速であるが、ある一つの財を入札者 A と入札者 B で半分ずつに分けるといった半端な解が得られるため、その解をそのまま割当てとするわけにいかない。しかし、それは元の問題の制約を緩めた、より簡単な問題を解いていることになるため、楽観的な推定値となっている。

高速化の工夫点としては、どの入札から考えるかということが挙げられる。例えば、影響の大きいもの、入札額の大きいものを優先する、あるいは、残りの問題が独立な副問題に分離できる入札を優先するなどが挙げられる。後者は、例えば、東京と大阪での周波数帯域の割当てオークションで、両方の組合せに入札しているのが一社のみである状況で、その入札を優先して考える、といった方法である。また、IN/OUT のどちらを先にするかという点も考慮点となる。良い解が早い段階で得られるほど分岐限定法は高速となるため、線形計画法で得られた解を参照して優先順序を決める方法などが考えられる。

勝者決定問題に対する現時点での到達点としては、様々な工夫 (ヒューリスティクス) を導入した専用アルゴリズム CABOB²⁾ で、財の数 10,000、入札数 1,000 ぐらいの問題が数秒で解ける。また、商用の整数計画法 (線形計画法 + 整数条件) のパッケージ (例えば、ILOG 社の CPLEX) でもかなり高速に解くことが可能となっている。

4. メカニズムデザイン

4.1 メカニズムを設計するとは？

公共事業の入札などに見られる通常の入札方式 (第一価格秘密入札と呼ばれる) では、最も高い入札をした入札者が勝者となり、自己の入札額を支払う。例えば、ある商品に対して、入札者 A、B、C がいて、それぞれ、\$8,000、\$7,000、\$6,000 を入札したとする。この場合、入札者 A が勝者となり、\$8,000 を支払うことになる。ここで、入札者 A は他者の入札値を事前に察知できれば利益を得ることができる。すなわち、入札者 A は事前に入札者 B、C の入札値が \$7,000、\$6,000 であると知っていれば、入札者 A は \$7,001 を入札することで、その支払額を減らすことができる。

ここで、メカニズムに少し変更を加えてみよう。最高額の入札者が落札する点は変わらないが、支払額を二番目に高い入札値とする。先の例においては、入札者 A が勝者となることは変わらないが、その支払額は \$8,000 ではなく、\$7,000 となる。この入札方法は第二価格秘密入札、あるいは、ノーベル経済学賞受賞者でもある William Vickrey の名に因んで、Vickrey オークションと呼ばれる。

第二価格秘密入札では、自分の支払う意思のあるぎりぎりの金額を入札するのが各人にとって最適という性質が成立する。つまり、正直が最良の策となる。より厳密に表せば、自分の戦略 (いくらを入札するか) を s_i 、他者の戦略の組合せを s_{-i} 、自分の支払う意思のあるぎりぎりの金額

を v_i 、自分の効用 (うれしさ、利益) を $u_i(s_i, s_{-i})$ 、 v_i を入札する戦略を s_i^* としたとき、 $s_i = s_i^*, u_i(s_i^*, s_{-i}) \geq u_i(s_i, s_{-i})$ が成立する。このような戦略を支配戦略と呼ぶ。この方式では、他者の入札値を事前にも知っても利益にならない。つまり、自分の評価値が \$8,000 の場合、他者の入札値の最高額が \$8,000 未満であれば、他者の入札値によって支払額が決まるため、支払額を操作できない。また、他者の入札額が \$8,000 以上の場合には、何を入札しても利益を得ることは不可能である。

このように、メカニズムに少し変更を加えることで、メカニズムが持つ性質は大きく変化することがわかる。それでは、三番目に高い入札額を支払額とする第三価格秘密入札はどのような性質を持つであろうか？このメカニズムにおいて、正直が最良の策となるかどうかについては、各自確認されたい。

4.2 メカニズムデザインの基礎

4.1 節では、第一価格秘密入札と第二価格秘密入札の性質を議論した。本節では、オークションのより一般的な議論に必要な基礎的事項を説明する。まず、財の価値の分類について述べる。財の価値は、個人価値、共通価値、相関価値に分類される。

個人価値: 財の価値は人によって異なり、その人の価値観によってのみ決定される。例えば、自分で使う骨董品などがこれに当たる。

共通価値: 財の価値はすべての人で共通である。全員がこの共通価値を知っていれば、オークションを行う必要はないが、真値が不明で、買手が異なる推定値を持つ場合には、オークションが必要となる。例えば、鉱山の探掘権やオリンピックの放映権などがこれに当たる。

相関価値: 個人価値と共通価値の間の場合である。

つぎに、効用 (うれしさ) を定義する。オークション理論では、議論を簡単にするために、しばしば準線形効用の仮定が置かれる。準線形効用とは、財を落札したときの効用が、財の価値と支払額の差で与えられる場合を指す。例えば、10,000 円の財を 8,000 円で落札できれば、効用は $10,000 - 8,000 = 2,000$ となる。また、財が落札できなかった場合の効用は 0 である。

オークションメカニズムに望まれる性質としては、以下の三点が挙げられる。(1) 入札者にとって支配戦略 (最適な戦略) があること、(2) メカニズムが不正行為に対して頑健であること、(3) 割当て結果がパレート効率的であること、三点である。

パレート効率性とは、いずれかの参加者の効用を犠牲にすることなしには、他の参加者の効用を向上させることができない状態を指す。効用が準線形の場合、パレート効率的な状態では、社会的余剰は最大化される。社会的余剰とは参加者全員の効用の和である。例えば、\$8,000 の評価値を持つ買手が \$7,000 で落札した場合、買手の効用は $\$8,000 - \$7,000 = \$1,000$ 、売手の効用は \$7,000 となり、社会的余剰は $\$1,000 + \$7,000 = \$8,000$ となる。オークションにおいて、パレート効率的な割当てが実現されることは、最も高い評価値を持つ買手に財が割り当てられることに対応する。

財の価値や効用の定義を与えた元で、望ましい性質を満たすメカニズムを設計することになる。オークションメカニズムを設計するとは、ゲームのルールを決めることである。基本となる考え方は、個々の参加者の具体的な行動を

直接制御できないということである。つまり、オークションの主催者が買手に正直に行動せよ、不正行為をするなど命じても、それを強制することはできない。そこで、直接制御する代わりに、ルール自体を設計することで、望ましい性質の実現を目指す。つまり、ルールを設計し、そのルールのもとで各参加者にとって支配戦略が存在するとする。このとき、個々の参加者が効用を最大化するように行動すると仮定すれば、結果を予測できる。その結果が主催者にとって望ましい性質を満たしているようにメカニズムを探索するということである。

4.3 単一財のオークションメカニズム

本節では、単一財のオークションメカニズムとして、代表的な4つのメカニズムである、英国型、第一価格秘密入札、オランダ型、第二価格秘密入札（Vickrey オークション）を紹介する。各々、オークションのルールと支配戦略によってメカニズムが特徴付けられる。

英国型は、インターネットオークションなどでよく用いられているもので、入札者は自分の付け値を好きなだけ増やすことができる。誰も値の変更を望まなくなった時点で、最高値の入札者が落札する。支配戦略は、個人価値の場合、自分の付け値が最高値で無い場合、現時点での最高値から少額だけ競り上げ続け、自分の評価値に達したら降りる、となる。支配戦略均衡では、最も高い評価値を持つ入札者が二番目に高い評価値+少額で落札する。また、結果はパレート効率的となる。

第一価格秘密入札は、先に公共事業の入札などで用いられる通常の入札として紹介したもので、各入札者は他者の付け値を知らされずに入札し、最も高い付け値をつけた入札者がその付け値で落札する。この方式では、支配戦略は一般には存在しない。

オランダ型は、主催者が非常に高い付け値からスタートして、ある入札者がストップと言うまで付け値を下げていき、ストップと言った入札者がその時点での付け値で落札する。この方式でも、支配戦略は一般には存在しない。このオランダ型は、オランダの花卉市場、オントリオのたばこオークションなどで使われている。また、バーゲンセールなども、時間が経つにつれて値段が下っていくため、オランダ型オークションとみなせる。

第二価格秘密入札（Vickrey オークション）については先に説明したが、再度説明しておく。各入札者は他者の付け値を知らされずに入札し、最も高い付け値をつけた入札者が二番目に高い付け値で落札する。支配戦略は、個人価値の場合、自己の評価値を入札することである。結果はパレート効率的となり、得られる結果は英国型と同じになる。

メカニズムの性質として、オランダ型と第一価格秘密入札は同じ結果を与える。また、英国型と第二価格秘密入札も同じ結果を与える。また、収入同値定理が知られており、いくつかの仮定の元で、売手の収入の期待値は4つのメカニズムで同じになる³⁾。第二価格秘密入札は第一価格秘密入札に比べて、収入が減ると考える読者がいるかもしれない。しかし、第一価格秘密入札では、入札者は自己の評価値そのまま入札すれば、勝者となっても効用が0となるため、少し低めの入札をするのである。そのため、収入の期待値は同じになる。

第二価格秘密入札は理論的に優れた性質を持つにもかかわらず、これまであまり使われてこなかった。その理由は、

メカニズム自体がわかりにくく、そもそも自己の評価値がよくわからない場合があり、売手が信用できない場合、二番目に高い入札が捏造される可能性があり、また、評価値=原価を知られたくないなどが挙げられる。ただし、計算機が人に代替して取引を行う世界では、幅広い利用が期待される。実際、検索連動型広告オークション Google AdWords では、第二価格秘密入札に類似した方式が用いられている。

共通価値の場合は、個人価値の場合と異なり、英国型と第二価格秘密入札は異なる結果を与える。これは、英国型の方が、他者の評価値に関してより多くの情報を得られるからである。つまり、得られた情報を使って自分の推定値を修正していくことが可能である。一方、オランダ型と第一価格秘密入札は、共通価値の場合でも同じ結果を与える。

また、共通価値の場合におけるオークションでよく知られた話題として、勝者の災いがある。共通価値の場合、各入札者は財の真の価値を知らず、各々異なる推定値を持っている。つまり、真値より高い推定をすることもあれば、低い推定をすることもある。よって、特別に良い情報を持っていない限り、勝者=最も大きく間違えた人となる。つまり、自分の推定値近くまで付け値を上げると、期待利得が負になってしまうのである。

具体例として、真値を v として、二人の入札者が各々 $1/2$ の確率で推定値 $v \pm 100$ を持つとする。ここで、第一価格秘密入札が用いられ、また、入札者は自己の推定値は平均的には正しいのだから、推定値から40だけ減らした値を入札すれば期待利得が40になるといった甘い予想をしたと考えよう。入札額が同じ場合はコイン投げで勝者が決まるとする。相手も同じ戦略を取っている場合、可能な入札の組は $v-60, v-140$ の組合せで4通りある。自分が確実に勝つ場合は、自分の入札値が $v-60$ 、相手が $v-140$ の1通りで、このとき、確率 $1/4$ で利益-60を得る。同点の場合は2通りで、自分も相手も入札額が $v+60$ の場合、確率 $1/8$ で利益-60を得る。一方、自分も相手も入札額 $v-140$ の場合、確率 $1/8$ で利益140を得る。よって、期待利得は $-60/4 - 60/8 + 140/8 = -40/8 = -5$ と計算される。つまり、甘い予想をしても結局は損をしてしまうのである。

4.4 一般化 Vickrey オークション

本節では、単一財オークションにおける第二価格秘密入札（Vickrey オークション）を組合せオークションの場合に拡張した、一般化 Vickrey オークションについて説明する。一般化 Vickrey オークションでは、各参加者は財の任意の組合せに関して評価値を申告できる。申告された評価値に基づいて、社会的余剰が最大化されるように財が割り当てられる。

支払額の計算はやや複雑であるが、勝者は迷惑料に相当する額を支払うよう決定される。迷惑料とは、その参加者が入札に参加することによって生じる、他の参加者の社会的余剰の減少分として計算される。このことを第二価格秘密入札で確認しよう。最高の評価値を持つ入札者 A がオークションに参加しなければ、二番目に高い評価値を持つ入札者 B が勝者となる。しかし、入札者 A が参加することで、この入札者 B が得たであろう効用が失われることになる。この減少分は、二番目に高い評価値と同じであるため、勝者である入札者 A は二番目に高い評価値と同じ額を支払う。

一般化 Vickrey オークションでも、誘因両立性とパレート効率性が成り立つ。

一般化 Vickrey オークションの計算例を示す。コーヒーとケーキの2種類の財のオークションを考える。3人の入札者 A,B,C があり、その評価値は表 1 に示される。入札者 A はコーヒーのみに興味があり、両方手に入るとしても、コーヒー分の価値しか持たない。入札者 B はコーヒーとケーキ、いずれか単品のみには興味を示さない。入札者 C はケーキにのみ興味がある。

表 1 3人の入札者による評価値の例

	コーヒー	ケーキ	両方
入札者 A	\$6	\$0	\$6
入札者 B	\$0	\$0	\$8
入札者 C	\$0	\$5	\$5

割当ては入札値の総和が最大になるよう決定されるため、入札者 A がコーヒーを、入札者 C がケーキを落札する。入札者 A の支払額は、自分がオークションに参加しない場合の社会的余剰\$8（その場合、入札者 B が両方を落札）、また、最終割当てにおける他者の効用が\$5（入札者 C が\$5の効用を得る）より、 $\$8 - \$5 = \$3$ と計算される。同様に、入札者 C の支払額は $\$8 - \$6 = \$2$ と計算される。

4.5 架空名義入札

本節では、ネットワーク環境における新たな詐欺行為として考えられる架空名義入札⁴⁾について説明する。現在、多数のオークションサイトが存在する。インターネットオークションの利点は、誰でも世界中のオークションに参加でき、また、エージェントが入札を代行してくれる点が挙げられる。一方、問題点として、ネットワークの匿名性を利用した新しいタイプの不正行為の可能性が考えられる。

架空名義入札とは、一人の人が複数の人に成りすまして、複数の名義で入札することである。ネットワーク環境ではこれを検出することは事実上不可能である。公共事業の入札などにおいて、談合がよく問題にされる。談合は入札者間での事前の合意形成が必要であるのに対し、架空名義入札は単独で行える点に特徴がある。

架空名義入札の影響がある具体例を述べる。先の例と同じく、コーヒーとケーキが販売されているが、今回は、入札者は A,B の二人とする。評価値を表 2 に示す。

表 2 2人の入札者による評価値の例

	コーヒー	ケーキ	両方
入札者 A	\$6	\$5	\$11
入札者 B	\$0	\$0	\$8

このとき、入札者が正直に申告すると、入札者 A が両方の財を獲得し、支払額は $\$8 - \$0 = \$8$ となる。さて、入札者 A が入札者 C の名義を使って入札を分割する場合を考えよう。この場合、表 1 と同じ状況になり、入札者 A が入札者 A の名義でコーヒーを、入札者 C の名義でケーキを獲得し、支払額は $\$3 + \$2 = \$5$ となる。つまり、架空名義を使えば、支払額を\$8 から\$5 に減らすことができる。

架空名義入札に関するこれまでの主な研究成果は、(1)一般化 Vickrey オークションが架空名義入札に対して頑健でないことの指摘し、(2)架空名義入札が可能の場合、誘因両立性とパレート効率性を同時に満たすメカニズムが存在しないことを証明した点である⁴⁾。

誘因両立性とパレート効率性を同時に満たすメカニズムが一般には存在しないため、つぎの課題は、誘因両立性を

満たしつつ、できるだけ効率的な割当てを実現するメカニズムの開発である。誘因両立性を満たすトリビアルな方法は、常にすべての財をセットで販売し、第二価格秘密入札を用いる方法である。この方法は、誘因両立性を満たすものの、財が代替的である場合、大きな無駄を生じる。

誘因両立性を満たすための財の分割に関する必要条件は、財 1 と財 2 が個別に売られる場合の支払額の和が、セット販売される場合の最大の評価値以上となることと言える。この条件が成立すれば、名義を分割しても、入札者は追加的な利益を得ることができない。ただし、ジレンマが存在して、入札者からの申告値を用いずに、この条件を確認しねばならない。このジレンマを解消するために留保価格を導入したレベル付き分割セットメカニズムが提案されている⁵⁾。

5. むすび

本稿では、電子市場構築、特にオークション市場構築において理論的基盤となるオークション理論について解説した。本稿の他にも、入門的な文献として、文献 5)6)が挙げられる。文献 7)は教科書的なものであり、文献 8)はより専門的な内容となっている。より詳細を知りたい読者は各文献を参照されたい。

参考文献

- 1) de Vries, S. and Vohra, R. V. "Combinatorial Auctions: A Survey," *INFORMS Journal on Computing*, Vol. 15 (2003).
- 2) Sandholm, T., Suri, S., Gilpin, A., and Levine D. "CABOB: A fast optimal algorithm for combinatorial auctions," *Proc. of the 17th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-2001)*, pp. 1102-1108 (2001).
- 3) Vickrey, W. "Counter speculation, auctions, and competitive sealed tenders," *Journal of Finance*, 16(1):8-37 (1961).
- 4) Yokoo, M., Sakurai, Y., and Matsubara, S. "The Effect of False-name Bids in Combinatorial Auctions: New Fraud in Internet Auctions," *Games and Economic Behavior*, Volume 46, Issue 1, pp. 174-188 (2004).
- 5) 横尾 真, インターネットオークションの理論と応用, 人工知能学会誌, Vol.15, No.3 (2000).
- 6) 横尾 真, 岩崎敦, インターネットオークションとメカニズムデザイン, 情報処理, Vol.48, No.3, pp.236-242 (2007).
- 5) Yokoo, M., Sakurai, Y., and Matsubara, M. "Robust Combinatorial Auction Protocol against False-name Bids," *Artificial Intelligence Journal* (2001).
- 7) 横尾 真, オークション理論の基礎, 東京電機大学出版会 (2006).
- 8) Krishna, V. *Auction Theory*, Academic Press (2002).

電子市場構築技術の応用システム Application Systems of Electronic Market Design Techniques

伊藤 孝行*
Takayuki Ito*

1. まえがき

本稿では、電子市場構築技術の応用例を概観する。電子市場構築技術として、本稿では、オークション技術や2サイドマッチング技術に注目する。オークション技術を用いた電子市場として世界的に最も広く普及している市場はキーワード連動広告市場である。そこで本稿ではまずキーワード連動広告の概要と歴史を概観する。次に、2サイドマッチング技術を用いる電子市場としてジョブマッチングシステムの具体的な応用例を示す。ジョブマッチングシステムは、人材派遣や就職活動支援などで極めて広く使われており、人材と仕事をマッチングする電子市場の具体的な応用例と言える。最後に、その他の電子市場の具体的な応用例について概観し、電子市場の今後の展望を示す。

2. キーワード連動広告

2.1. キーワード連動広告の概要



図 1 Google AdWords

キーワード連動広告[1]は、商業的に最も成功している電子市場の一つと言える。Google社の2005年のTotal Revenueは約6億ドルで、その98%がキーワード連動広告によるものである。また、Yahoo!社の2005年のTotal Revenueは約5億ドルで、その50%がキーワード連動広告であると言われている。ここでは、キーワード連動広告の仕組みと、その基本技術であるGeneralized Second Price Auction (GSP: 一般化第2価格オークション)の歴史と性質を概観する。

図1はGoogle社のGoogle AdWordsのインターフェースである。検索キーワード「ハワイ」として、Google社の検索を行った結果を表示している。ここでは、「ハワイ」に関連する広告が、図1の赤枠の中に表示されている。赤枠の中の広告は、「ハワイ」というキーワードが検索される度に表示される。表示されてクリックがある度に広告料が広告主に課金される。クリックに基づく課金方式は、発表当時は斬新で非常に注目された。一般に、赤枠の上の方にあるほどクリックされる可能性が高いことから、赤枠の上の方にあるほど広告料が高いと考えられる¹。広告料は、GSPと呼ばれるオークション方式を使って決定されている。図2にYahoo!社のキーワード連動広告を示す。Google AdWordsと同じように、検索したキーワードに連動して広告が掲載される仕組みになっている。



図 2 Yahoo!社のキーワード連動広告

キーワード連動広告システムにおいて、広告主は1日の予算やクリック単価の上限などを設定することができる。予算の変更は、(ある範囲内で)自由に行うことができる。また、キーワード連動広告で重要な要素として、広告、または広告の表示される場所(スロット)がクリックされる率(Click-Through Rate: CTR)がある。CTRは、クリック数/広告が表示された回数で求められる。広告が表示された回数はインプレッションと呼ばれる。キーワード連動広告システムによって、CTRの扱いは異なる。例えば、GoogleはCTRを元にクオリティスコアを決定している。クオリティスコアと入札額によってランクを付けている。Yahoo社は最近まで入札額のみでランクを付けていたが、他の要素と組み合わせ合わせた指標を導入している[2]。

¹ 実際には様々な要素に基づいてランキングが決定されている。例えば、広告自体の質などを考慮する。

以上のようにキーワード連動広告は、オークションを価格決定に使ってはいるが、単純なオークションとは異なる。すなわち、広告掲載サービスの流れに対してオークションを繰り返し行っており、広告主は入札額を変更することができる。また、対象とする財の単位の定義が明確でない。例えば、広告主からすればクリック数であり、オークションからすれば各キーワードに対する収益になる。

2.2 キーワード連動広告市場の発展

ネット広告市場で最も広く用いられているのはバナー広告である。バナー広告はウェブ上のあらかじめ決められた場所に広告を表示する方式である。インプレッション（広告が表示された数、広告がダウンロードされた数）やページビュー（ページが表示された数）等を元に、料金が設定される。契約はケースバイケースで異なり、アクセスの多い人気サイトに大きな契約が集中するようになった。バナー広告で使われた基本ソフトウェアの一つが、DoubleClick社のDARTである。DARTは基本的には、広告を掲載予定数に従って、各ウェブサイトに効率良く表示するためのソフトウェアである。

バナー広告は、インプレッションやページビューといった評価基準が曖昧という問題点があった。これにより、小さな契約は難しく、契約の規模は大きくなる傾向にあった。1997年にOverture社（後にGotoになり、現在はYahoo!の傘下）が、現在のキーワード連動広告の原型となる新しいネット広告市場を構築した。Overture社のキーワード連動広告市場では、広告主はキーワードに対し、クリック単価を入札した。価格は、一般化第1価格オークション（GFP: Generalized First Price Auction）という方式で決定された。すなわち、広告主は自分が入札した額そのものに基づいて課金された（現在のGSPだと、自分の次の順位の入札額に基づいて課金される）。Overture社のクリック単価に基づくキーワード連動広告によって、インプレッションやページビューという曖昧な基準ではなく、クリック数というより明確な基準を導入することができた。クリック数に基づくことによって、規模が小さな契約も多く実現できるようになった。

しかし、Overture社の一般化第1価格オークションは、すぐに不安定であることが明らかになってきた。例えば、広告主AとBが広告の価値10と5を持っていたとすると、広告主AはBに勝てるぎりぎりの値（例えば、5.1）を入札すれば勝てるので正直に自分の10という値を入札しないという誘因が働いた。広告主がさらに増えると、入札額が低くなってしまい、検索エンジンが得る収益も小さくなってしまったのである。特に広告主がソフトウェアロボットなどを用いて巧みに入札額を調整することで、上のような現象が観察された。

2002年、Overture社のキーワード連動広告が不安定であることを指摘し、さらに新しいキーワード連動広告市場を構築したのが、Google社である。新しいキーワード連動広告市場は、Google AdWordsである。Google社はOverture社のキーワード連動広告の一般化第1価格オークションでは「ポジションが上から*i*番目の広告主は、ポジションが上から(*i*+1)番目の広告主の入札額より多くの価格を支払いたくない」ということを認識していた

のである。そこで、Google社は以下のルールを持つ一般化第2価格オークション（GSP: Generalized Second-price Auction）を提案した。『上から*i*番目のポジションの広告主が、上から*i*+1番目のポジションの広告主の入札額+最小増加可能額を支払う』。GSPにより、広告主同士のゲーム的な要素が取り除かれ、安定して動作し、かつ、収入も安定したのである。GSPは、Vikreyオークションに似た形をしているが理論的な性質は異なる。ただし、戦略的操作が不可能であるVCGメカニズムと理論的に非常に近い性質を持っていることが分かっている[1]。実世界で試行錯誤的に発展してきたGSPが、理論的な成果であるVCGに匹敵する性能を持つことは驚くべきことである。

以下の具体例を図3に示す。広告主A、B、およびCの3名がいるとする。広告スロット（広告の場所）XとYの2つがあるとする。Aの入札額は1000円、Bの入札額は400円、およびCの入札額は200円とする。XのCTRを200クリック/時及び、YのCTRを100クリック/時とする。GSPに従うと、Aは400円でXを落札、Bは200円でYを落札する。そして、Aの支払いは400円×200=80,000円、Bの支払いは200円×100=20,000円となり、検索エンジンの収入は、100,000円となる。

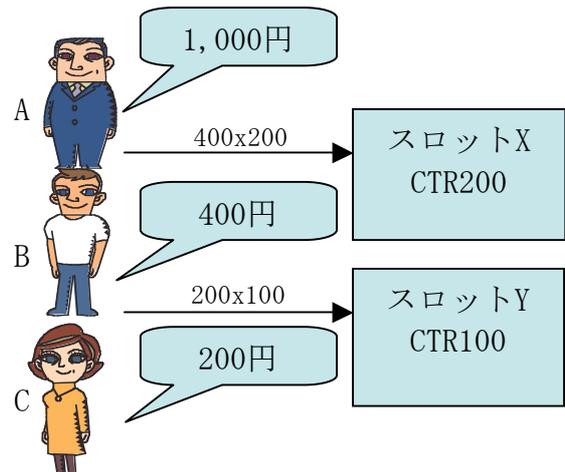


図3 GSPの例

3. 応用例：ジョブマッチングシステム

3.1 2サイドマッチング（2-sided matching）

2. では電子市場構築技術として、オークションをあげ具体例としてキーワード連動広告市場を紹介した。ここでは、電子市場構築技術として2サイドマッチング（2-sided matching）をあげ具体例としてはジョブマッチングシステムを紹介する。2サイドマッチングは、男性グループと女性グループの御見合い（マレージマッチング）等が有名な問題である。2つのグループからなる集団において、各メンバーがなんらかの評価関数に基づいてペアを組ませるメカニズムである。2サイドマッチング問題の理論的研究は文献[3]等のゲーム理論的な解析がポピュラーで、計算機科学ではD. E. Knuth[4]も取り組んでいたような基本的な問題

の一つである。2サイドマッチングでは、様々な属性を持つ個体同士のペアを作る場合に、コストや効用を最大化するのが基本的な目的となる。文献[3]ではさらに理論的に安定なマッチングや解析している。

3.2 ジョブマッチング市場

ジョブマッチング（ビジネスマッチング）を行う市場は数多くある。その中の多くはジョブ検索データベースである。例えば、楽天ビジネス[5]では、複数の企業がデータベースに分野毎に登録しており、ある分野に関連する見積もりを入力しておく、匿名で複数の企業から見積もりを取ることができる。また、e-work[6]でも、複数の企業のデータベースから様々な検索方法で、当事者に適切な企業やビジネスを検索することが可能である。その他にも求人サイト、就職斡旋サイト等は同じような形態を取っている。これらのジョブマッチングを行うウェブサイトは、マッチングにおける最適化は行っておらず、どちらかというデータベース上の仕事や企業を探しやすいインターフェースを提供し、ユーザが自分で検索しマッチングを行うというスタンスである。

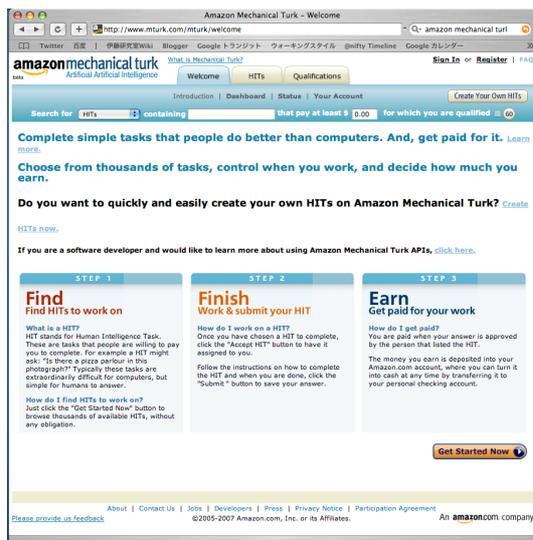


図 4 Amazon Mechanical Turk

ジョブ検索データベースとして、Amazon.com が新しいコンセプトで Amazon Mechanical Turk[7]というサイトを米国でオープンしている（図 4）。Mechanical Turk という名前は、1769 年にハンガリーの Wolfgang von Kempelen がヨーロッパで構築したチェスの強い人工知能を持つマネキン人形に由来している。このマネキン人形の後ろのキャビネットにはチェスの達人がいつも潜んでいたが、観客はそれには気づかなかった。彼はこのマネキンでナポレオンとも勝負したそうである。Amazon Mechanical Turk では、疑似コードで示された簡単な仕事を登録すると、それを検索した人間が実際に遂行して返すという仕組みと、それをソフトウェアで行うための API を提供している。上記の単

るジョブ検索サイトと異なり、非常に興味深い仕組みである。

以上のジョブ検索サイトでは2サイドマッチング理論で扱うような、最適なペアの組合せを探すということにはあまり焦点は当てられていない。2サイドマッチング理論の観点から言えば、ジョブマッチングでは、あるジョブがあり、そのジョブを遂行するのに最適な人間に推薦することが重要である。

株式会社まいべすとでは、株式会社内職市場との協業で、内職の仕事を、最も最適な人間に割り振る仕組みを構築している。まいべすと社では、子育て中の女性のためのパートタイムの仕事や、退職後の世代のための仕事に関するジョブマッチングシステムを構築している。内職市場社は、東海地方を中心に30店舗の内職斡旋フランチャイズを持ち、各店舗には80名程度のパートタイマーが登録している。全体では2000から3000名のパートタイマーが、毎月約1000の内職を割り振っている。フランチャイズは月に5から10件程度増加しており、今後さらに理論的な最適化が必要となる。そこで、まいべすと社のシステムは、動的な仕事の割当の最適化を行う。さらに個々のパートタイマーの好みと実績に基づいた上で、内職の仕事の効率的な推薦機構や、目的指向検索機能を搭載予定である。

まとめ

本稿では、電子市場構築技術の応用例をキーワードオークション市場を中心に概観した。現在、さらにネット広告交換市場や、既存の実市場をネット上に実装しなおした市場が数多く出現し始めている。そのようなネット上の市場では、実世界の市場では不可能であった、高速かつ動的な最適化が可能であり、電子市場理論や技術の具体的な有効な応用分野である。

謝辞

本稿のネット広告市場の発展に関する記述は文献[1]を多く参考に致しました。またジョブマッチングに関する記述は、株式会社まいべすと武藤良英様および株式会社内職市場様に多くの情報を提供して頂きました。深く感謝致します。

参考文献

- [1] Benjamin Edelman, Michael Ostrovsky, and Michael Schwarz, “Internet Advertising and the Generalized Second Price Auction: Selling Billions of Dollars Worth of Keywords”, American Economic Review, forthcoming, March 2007.
- [2] <http://searchmarketing.yahoo.com/arp/pricing.php?o=US2039>
- [3] Alvin E. Roth, M. A. O. Sotomayor, “Two-Sided Matching, A Study in Game Theoretic Modeling and Analysis”, Economic Society Monographs, No. 18, Cambridge University Press, 1990.
- [4] Donald E. Knuth, “Stable Marriage an Its Relation to Other Combinatorial Problems, An Introduction to the Mathematical Analysis of Algorithms” CRM Proceedings & Lecture Notes, American Mathematical Society, Vol.10, 1991.
- [5] 楽天ビジネス, <http://business.rakuten.co.jp/>
- [6] e-work, <https://www.e-work.ne.jp/>
- [7] Amazon Mechanical Turk, <http://www.mturk.com/mturk/welcome>

電子市場シミュレーション

—人工市場シミュレーションからサービスへ—

From Artificial Market Simulation to Service

和泉 潔† 鳥海 不二夫‡ 松井 宏樹†
Kiyoshi Izumi Fujio Toriumi Hiroki Matsui

1. 人工市場 = エージェント + 価格決定メカニズム

人工市場とは、その言葉の通り、計算機上に人の手によって人工的に作りだされた架空の市場のことである。人工市場に参加しているのは、エージェントと呼ばれる計算機プログラムで表現された仮想的なディーラーである。また時には、生身の人間がエージェントに混じって人工市場での仮想取引に参加する場合もある。人工市場の中にある、各エージェントは、金融価格の変動に関連する情報を入力として受取り、その情報と自分なりのルールに基づいて仮想的な資本を売買する。各エージェントの投資行動が集積し金融価格が決定されていくまでの価格決定のやり方を価格決定メカニズムと呼ぶ。以上のことをまとめると、人工市場とは、エージェントを基本単位とした、価格決定メカニズムを持つ、計算機プログラムであると改めて定義することができる。

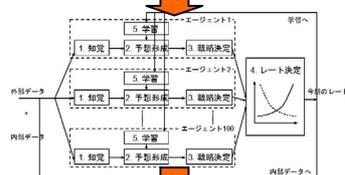
2. 人工市場の構築

人工市場モデルを考える際に、エージェントのモデルをどのように決定するのかということは、人工市場のパフォーマンスに大きな影響を与える。より本物らしい人工市場を構築するためには、現実の市場参加者が行っている情報処理プロセスの分析を行い、そこから得られた知見にもとづき、現実の意思決定法を反映させたエージェントを実装するというアプローチが有効である。そこで我々は、図1のような、フィールドワークと人工市場モデルの統合を行った[和泉 03]。

A) 模擬市場によるフィールドワーク



B) 人工市場モデルの構築



C) 現実のデータを用いたシミュレーション

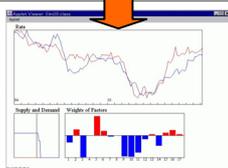


図1 人工市場プロジェクトの枠組み

2.1. 模擬市場によるフィールドワーク

現実の市場参加者の特徴をつかむために、我々は図1Aのような模擬市場実験を行った。10人程度の参加者に、ネットワーク上の模擬市場システムを通して、仮想的な為替取引を行ってもらった。実験の参加者は不定期にニュースを受け取る。そのニュースを解釈し、将来のレートを予測して、利得を上げるように意思決定を行う。実験により以下のデータを得ることができる: (1) レートログ, (2) 取引ログ, (3) 取引時の会話ログ, (4) データ参照時間, (5) 予想アンケート。これらのデータを用いて、人工市場でのエージェントの戦略決定や学習に関する構造を決定した。

2.2. 人工市場モデル

フィールドワークの結果に基づき、外国為替市場のマルチエージェントモデル AGEDASI TOF (A Genetic-algorithmic Double Auction Simulation in TOkyo Foreign exchange market)の構築を行った。本モデルは100個の仮想的なディーラーからなるコンピュータ上の人工的な市場である(図1B)。

人工市場モデルの1期間は現実の市場の一週間に対応しており、各期間は以下の5つのステップよりなる。

1. 知覚: 各エージェントは金利や貿易など様々なレート of 予想材料に対して、現在の市場では為替レートを予想するのにどれほど重要視すべきかという市場の状態に対する認識を持つ。
2. 予想形成: 各エージェントはさきほどの認識をもとに今期の情報を用いて、将来のレートの予想を行う。
3. 戦略決定: 自分なりの予想を基に、市場に通貨取引の注文を行う。
4. レート決定: 市場全体の需要と供給が均衡する値にレートが決定される。
5. 学習: レート決定の後に、各エージェントは市場の認識を遺伝的アルゴリズムを用いた学習により変更していく。

人工市場によって得られるデータの例を図1Cに表示する。上のグラフは、現実の金融価格と人工市場で得られた金融価格の値動きを示している。このように、現実の金融市場に関するデータを、人工市場によって再現することも可能である。左下のグラフは、人工市場に参加しているエージェントが出した需要と供給を表わす曲線である。右下の棒グラフは、人工市場の中で、金利や貿易収支などのニュースのうち何がエージェントたちに重要視されているかを示している。これらの需給曲線や重要度のデータのように、現実の金融市場では入手が難しいデータも、人工市場なら手にいれることができる。

3. 人工市場シミュレーションの成果

本稿で紹介した人工市場を使うことによって、これまでに、理論・実証・応用の3種類の研究成果が得られている。

3.1. 理論: 既存の経済理論の検証

人工市場に経済理論の前提条件を与え、金融価格の動きを調べることによって、理論の検証を直接行うことができる。効率的市場仮説(市場は情報を取り入れるのが極めて迅速であり、ある者が情報を先駆けることによって他の者より有利になるという状況は生じないとする説)という既存の経済理論の定量的な検証を行った(図2)。

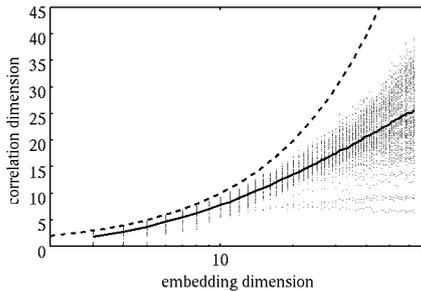


図2 人工市場による効率的市場仮説の検証:
相関次元分析と呼ばれる手法で人工市場のシミュレーション結果を分析したところ、エージェントが学習していても、人工市場の相関指数(実線)は、効率的市場仮説とは違って、ランダムウォークの理論値(点線)に近づくことはなかった。

3.2. 実証: 現実の市場現象の分析

人工市場シミュレーションを行うことにより、既存の市場理論ではうまく説明がつかなかった様々な市場現象のメカニズムの解明が可能になった。

1. 為替レートバブルのメカニズムの解明
90,95,98年の為替バブルを25-45%の確率でシミュレートし、これらの時期のバブルはトレンドへの同調と需給の偏りが原因であることを明らかにした(図3)。

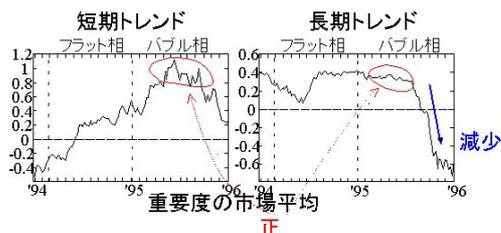


図3 為替レートバブルの解明

2. 市場の創発的現象のメカニズムの解明
レートの変動分布の中央が尖って裾が厚くなる現象など、経験的には見つけていたがメカニズムがよく分からなかった市場現象の原因を解明した(図4)。

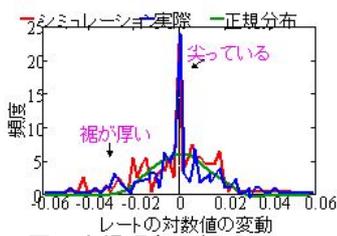


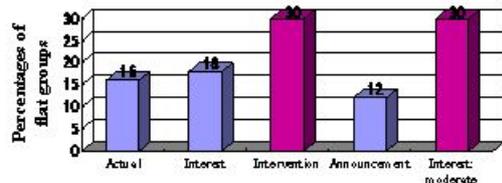
図4 市場現象の解明

3.1. 応

用: 現場の支援ツールの構築

人工市場に金利などの政策的に操作できる様々な条件を与え、価格変動の評価を行うことができる。人工市場による為替政策の決定支援システムの構築を行った(図5)。人工市場モデルに1998年当時の経済状況を入力し、複数の為替政策のシナリオを評価したところ、景気とドル・マルク相場に関するニュースの直後に

- (1) 介入による為替安定化
 - (2) 小規模な金利操作による為替安定化
- の2つのシナリオが有効であることが分かった。



各為替政策の評価
図5 為替政策の決定支援システム

4. サービスとしての人工市場

最近、市場の価格決定メカニズムを用いた新しいサービスが出はじめています。例えば、仮想先物市場のメカニズムを用いた予測市場とよばれる試みが行われ、2004年の米国の大統領選や2005年の日本の総選挙で専門家の予測に匹敵する精度が得られている[Surowiecki 05, Yamaguchi 06]。そもそも市場メカニズムとは、株式市場やオークションのように、ある商品や金融資本に関する複数の人々の価値観(需給)を集積して、そのものの価値(価格)を決定するメカニズムのことである。最近の新たなサービスでは、これを広くとらえて、市場メカニズムを大勢の個人が持っている多様な意思を集積して全体としての価値を計算するものとして用いている。

その一方で、いわゆるweb2.0的サービスの台頭とともに、webをプラットフォームにして複数のサービスを連携させて新たなサービスを造り出す手法が急速に普及してきている[梅田 06]。例えば、Amazonの商品データベースの情報を基にした蔵書管理サービスや、Googleマップの地図情報を利用したレストラン検索サービスなど、サービス連携により新たなサービスが次々と生まれている。これらの特徴はAmazonやGoogleとは関係のない、一般のユーザや企業が新サービスを創造している点である。

本研究では、市場の価格決定メカニズムを利用した新たなサービスの創発を目指し、計算機上に仮想的な市場を造り出す人工市場のプログラムをweb上のサービスとしてモジュール化することにより、市場シミュレーションを使ったサービスをユーザが自由に設定できるシステムを提唱する。

4.1. 人工市場サービスのフレームワーク

人工市場シミュレーションをwebサービス化しサービス連携を行う人工市場サービスの概要を図6に示す。

4.2. 人工市場コアモジュール

人工市場サービスのコアになるモジュールでは、仮想的な市場の市場価格決定、市場データ配布、市場への注文データベース機能を有する。市場の価格決定メカニズムとは各市場参加者の投資行動が集積し金融価格が決定されていくまで

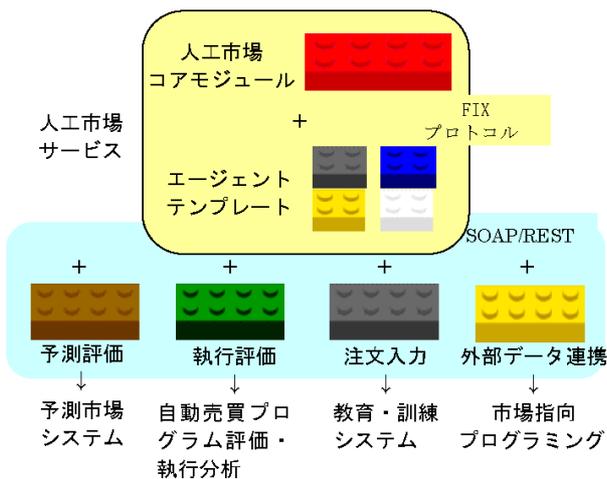


図6 為替政策の決定支援システム

の価格決定の方式である。価格決定メカニズムには次のような複数の方式が用意され、どの方式を用いるかをサービス利用時に指定することができる。

- 板寄せ方式: 一定期間ごとに需要と供給を集積して、その2つの量が釣り合うような値に価格を決定する。
- ザラバ方式: 連続的に売り手と買い手が会って個別に売買が成立して価格が決定する。
- 現物、先物: 将来の取引に関する価格(先物)と市場の実物の取引に関する価格(現物)。

コアモジュールではエージェントや人間から注文を受け取り、市場への注文データベースに格納する。データベースにある注文を集積して、上記の価格決定メカニズムにより仮想の市場価格を計算する。過去の市場価格の履歴もデータベースに持っており、エージェント等からのリクエストにより市場データを返す機能も持つ。

4.3. エージェントテンプレート

人工市場サービスが使用されるときには、全て人間が参加するのではなく、計算機プログラム(エージェント)が市場に参加する場合がある。そのため、人工市場サービスにエージェントのテンプレートを用意して、ユーザが指定したエージェントを市場に参加できるようにする。エージェントテンプレートの種類としては、簡単なテクニカル分析ルールを実装したもの、遺伝的アルゴリズムなどの学習機能をもったもの、人間の投資行動をモデルに行動ルールを記述したもの等を用意する。ユーザがこれらのテンプレートを基にして自分で作成したエージェントを人工市場に参加できるようにする。

人工市場コアモジュールと市場参加者(エージェントや人間)の間での注文情報や市場データの通信には、実際の金融取引で用いられている FIX プロトコルを使用する。FIX プロトコルとは、Financial-Information-eXchange の略で、証券会社 (Sell サイド) と機関投資家 (Buy サイド) 間で取引を電子的に統一的な仕様で実現するためのプロトコルである [FIX 05]。全世界の金融機関からなる FIX 委員会により制定・公開され、証券会社と機関投資家、マーケットの間で取引情報を電子的にやり取りする為の標準的な手段となっている。人工市場サービスの内部での通信に FIX プロトコルを用いることによって、人工市場に参加しているエージェントは実際の金融市場での取引に対応することが容易であることも特徴の一つである。

4.4. 人工市場サービス API

上述の人工市場コアモジュールとエージェントテンプレートを使用する条件をサービスの目的に合わせて指定したり、人工市場シミュレーションによって生成されるデータを他のサービスに利用するために取り出したりといったサービス連携を SOAP や REST のプロトコルにより行う。サービス連携時に指定される人工市場シミュレーションの条件としては、市場参加者の数や種類、価格決定方式の種類、市場シミュレーションの時間間隔、出力するデータの種類のなどが挙げられる。また、他のサービスとの連携の例としては、前述の予測市場では人間が選挙結果などの予測を人工市場に入力(投資)するためのインターフェース、投資の結果でできた価格データを予測として表示する可視化モジュールとの連携が挙げられる。他にも、全てエージェントから構成される人工市場で、自分が作った自動トレーディングプログラムを評価することもサービス連携で可能である。この場合には、自動トレーディングプログラムを人工市場に参加させるインターフェースと、その結果の評価モジュールとの連携が必要となる。

5. 新たなサービスの構築

本稿で提案する人工市場サービスを用いて、どのようなサービスが可能となるか、想定されるサービスの例について述べる。

5.1. 想定されるサービスの分類

人工市場サービスとの連携で可能となるサービスについて、現時点で想定されているサービスを、①人工市場の主な市場参加者の種類と②人工市場での価格の意味の2軸で分類してみたのが図7である。

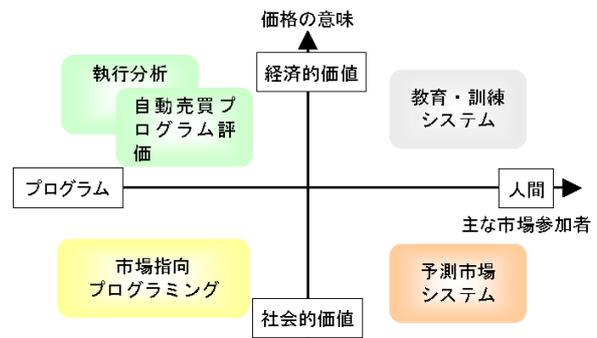


図7 想定されるサービスの分類

主な市場参加者の種類(ミクロな特徴): 人工市場では計算機プログラム(エージェント)も人間も混在可能である。予測市場システムや投資教育や訓練のためのシステムは、主な市場参加者は人間である。これに対して、自動トレーディングプログラムの評価システムや特定期間内で特定数量の金融資本をどのように分割して売買するか判断するための実行分析システムではエージェントが主な市場参加者となる。また、分散資源割り当て問題を市場メカニズムを用いて解く市場指向プログラミングでもエージェントの参加が主になる。

② 価格の意味(マクロな特徴): 人工市場サービスを利用する際に、仮想市場での価格がどのような意味を持つサービスかによっても分類できる。例えば、先ほどの実行分析、自動取引プログラム評価、教育・訓練システムでは、人工市場は通常の金融市場の模倣であるので、価格は貨幣のような経済

的価値を表すことになる。これに対して、予測市場や市場指向プログラミングでは、市場メカニズムを意思決定という広い文脈のサービスで用いるので、価格は将来の予測値や資源の価値といったより広範な社会的な価値を表すことになる。次節以降で特に予測市場サービスと自動取引プログラムの評価サービスの2つに関して、サービス連携の想定例として説明を行う。

5.2. 予測市場サービス

予測市場では、予測したい将来の出来事を資本と見なした仮想先物市場を提供することになる(図 8)。市場参加者は基本的に全て人間である。人工市場サービスに連携させる他のサービスは、市場参加者の管理機能、市場参加者が資本を取引するためのインターフェース、現在の市場価格(予測値)と過去の価格動向を視覚化して表示する機能などである。これらのサービスの組み合わせにより、ユーザが自分の興味がある将来の事象に対する予測市場を提供するサービスになる。

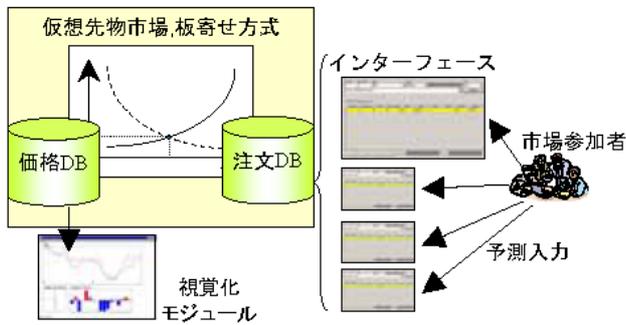


図 8 サービス連携による予測市場の枠組み

5.3. 自動売買プログラム評価

米国では現在、あらかじめ設定した取引アルゴリズムを基に作成された自動トレーディングプログラムやトレーディングシステムを用いた取引が、すでに市場の二割を占めている。トレーディングシステムの普及が金融市場にどのような影響を与えるのか、また市場を不安定化させないトレーディングシステムの要件とは何かを明らかにすることが急務となっている。人工市場サービスとの複数のサービスとの組み合わせにより、自動トレーディングプログラムの参加が市場全体の安定性に与える影響を事前評価し、プログラムの運用方針を決定できるようなシステムを構築することができる(図 9)。

人工市場においてテンプレートエージェントの参加するマルチエージェント市場シミュレーションを行い、現時点での標準的なトレーディングアルゴリズムを実装した自動トレーディングプログラムを、実際の株式市場における個別銘柄

柄等を利用して一定期間のシミュレーションを行い、市場の与える影響を計りながら安定性評価のテストを行うことができる。

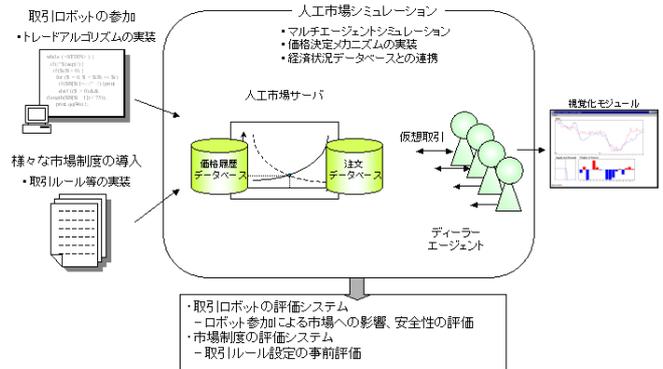


図 9 人工市場サービスを用いた自動取引プログラムの評価

6. おわりに

本稿では、人工市場シミュレーションのモジュール化により、市場シミュレーションを使ったサービスをユーザが自由に設定できるシステムのフレームワークを提唱した。今後、本システムにより、市場メカニズムを今まで思いもつかなかったような分野に適用した新たなサービスが創発されることが期待される。

謝辞

本稿をまとめるにあたり多くの方々との議論をさせていただいたことをこの場を借りてお礼を申し上げます。特に横尾 真さん(九州大学)や山口 浩さん(駒澤大学)に誠に有益な議論をしていただいたことに深く感謝いたします。

参考文献

[FIX 05] FIX Protocol Ltd.: The FIX Guide: Implementing the FIX Protocol, Xlibris (2005).
 [和泉 03] 和泉潔: 人工市場: 市場分析の複雑系アプローチ, 森北出版(2003).
 [Surowiecki 05] Surowiecki, J.: The Wisdom of Crowds, Abacus (2005), (邦訳: 「みんなの意見」は案外正しい, 小高尚子訳, 角川書店 (2006)).
 [梅田 06] 梅田望夫: ウェブ進化論本当の大変化はこれから始まる, 筑摩書房(2006).
 [Yamaguchi 06] Yamaguchi, H.: General Election Hatena: The First Political Prediction Market in Japan, Proc. of JAWS 2006 (2006).

異なる戦略を持つエージェントによるオークションシミュレーション

水田 秀行[†] 山本 学^{††}

Auction Simulation with Heterogeneous Agents

HIDEYUKI MIZUTA and GAKU YAMAMOTO

1. はじめに

人工市場としては、株式市場のような複雑で専門的知識を持った売り手と買い手が多数関与する市場が対象とされることが多い。ここでは、最もプリミティブな取引のひとつであるオークションを対象として、価格形成と Bid 行動について理解を深めたいと思う。

良く知られているオークションの形態では、例えば美術品の売買のように一人の売り手(商品)に複数の買い手の候補が存在し、競争する。また、公共事業の入札のように一人の買い手に対して複数の売り手の候補が競争するものもある。複数の売り手と複数の買い手が存在する複雑な市場も、こうしたシンプルな形式の取引を組み合わせることで構成することが可能ではないかと我々は考えている。

現在、インターネット上のオンラインオークションが広く普及し、多くのライトユーザーが利用している。一方で、研究対象としては、従来のオークション形式との違いやユーザーの多様性から、単独オークションの価格推移については、まだ十分に考察されているとは言えない。なお、組み合わせオークションやセキュリティの観点からは多く研究が行われている(横尾他¹⁾)。

古典的なオークションの理論に関しては、Vickrey²⁾以降さまざまな側面から研究が行われており、一般的な Revenue Equivalence Theorem³⁾などが得られている。しかし、これらの研究では一度に結果を集計する sealed-bid type や参加者が会場に集まっていっせに行われる open cry type が主であり、最近 Internet 上で普及している一定期間の好きな時点で何度でも Bid で

きるものとは価格形成において大きな違いがあるものと考えられる。

本稿では、オンラインオークションをモデル化し、典型的な二種類の行動様式を持つ Agent を用いた simulation⁴⁾ について紹介する。

2. オークションモデル

本稿で用いるオークションモデルでは、一般的なオンラインオークションの形式を参考に、離散時間 $t = [0, T]$ の期間オークションが開催され、買い手(Bidder)はその任意の時点で何度でも Bid できるものとする。1つのアイテムをオークションに提供する売り手を固定して考え、 n 人の Bidder からの Bid を仲介者であるオークショナーが時々刻々集計する。各 Bid に含まれる情報は、Bidder を特定する ID と入札額である。簡単のため、オークション開始時点 $t = 0$ での価格を \$1.00 とし、最小上げ幅は \$0.01 とする。

オークショナーは各時点における最高額入札者の ID と二番目に高い入札額を全 Bidder に告知するが、最高入札額は秘密とされる。オークション終了時には、最高額入札者がこの二番目に高い入札額を支払って落札することになる。このように二番目の入札額で落札する auction としては、従来 Vickrey auction あるいは等価なものとして open cry first price auction があつた。オンラインオークションの場合には、一般に Proxy Bid あるいは Robot による自動 Bidding によって、自動的に指定した限度額(入札額)以内で他の Bid を上回るまで最小幅ずつ競り上げることにより、このような機構が実現されている。これによって、Vickrey Auction と同じく、不必要に高額で落札する危険が無くなり、正直に限度額を Bid することができるとされている。また、自動的に競り上げてくれることから、常に状況を

[†] 日本アイ・ピー・エム(株)東京基礎研究所

^{††} 日本アイ・ピー・エム(株)東京基礎研究所,
京都大学 社会情報学専攻

監視する必要がなくなる。しかし、実際には、一度だけ限度額を入札して放置するのではなく、オークション開催期間中、他人の Bid に応じて競り上げるダイナミックな競争がしばしば見られる。特に終了直前に激しい入札競争が行われ、システム上の負荷となる場合もある。

このように従来オークション研究の対象とされてきた一度限りの静的なオークションと異なり、本研究で対象となるインターネット上のオンラインオークションでは、離れた場所で自由な時間に入札を行えること、また、他人の Bid 情報がある程度知ることによって不確実な自分の評価の再判断を行い、ダイナミックな競争が生じるという特徴がある。

3. Early Bidder と Sniper

従来の Auction 研究においては合理的で均一な戦略を持つ Bidder を仮定して考えてきた。Agent-based Approach では、複数の戦略を持つ Bidder が共存する Heterogeneous な状況でのダイナミックな競争を扱うことが可能となる。ここでは、現実のオンラインオークションにおける Bidder の行動を観察した結果を単純化し、次の二種類の異なる行動(戦略)をとる Agent を配置する。

ひとつはオークションの初期の時点より Bid 行動を開始し、比較的安価な入札価格(試行価格)から出発し、他者との競争によって、時々刻々競り上げていくタイプ(Early Bidder)である。試行価格の初期値は平均 5 標準偏差 1 となる正規分布 $N(5,1)$ で与えられる。試行価格は、 $N(20,3)$ で与えられる限界額を上限として、オークション中に更新される。オークション期間中、 $1/50$ の頻度で現在の状況を確認し、その結果、自分が最高入札者で無ければ、 $N(1.6,0.4)$ で与えられる係数を評価額に掛けた値を新しい評価額とする。新しい評価額が、現在の提示額 (s) を上回っている場合は、10

もうひとつは、終了直前まで様子見をした後、終了直前に比較的高い価格で入札するタイプ(Sniper)である。Sniper の入札時刻は、終了時刻から 1 から 21 までの一様乱数で与えられる値を引いた時刻に設定されている。これは、ネットワーク状態によって、必ずしも終了時そのものに Bid できないためである。Sniper はその時刻まで待った後、オークションの状態を確認し、それまでに行われた Bid 回数を n として $(1+n)/10$ の確率で Bid を行う。Bid 価格はその時点での提示額 (s) に係数 $N(2,0.3)$ を掛けたものである。但し、Early Bidder と同様に、あらかじめ定められた限度額 $N(20,3)$ は

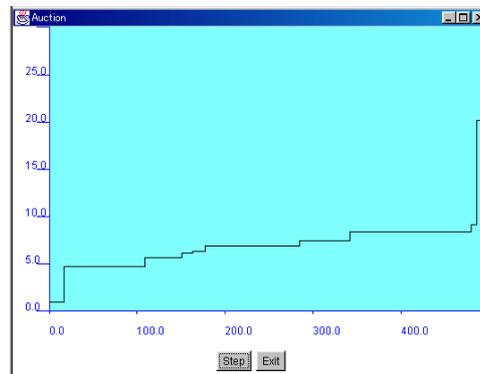


図 1 価格のジャンプが見られるオークション例

超えないものとする。現在価格からの最小の競り上げとしないのは、知ることのできない最高入札額が s を大きく上回る可能性があるためである。

これら二種類の Bidder が混合するオークションの振る舞いを Simulation によって調べる。

4. シミュレーションによる落札価格の分布

前節で述べた Early Bidder を 7 agent, Sniper を 3 agent 生成し、実験を行う。

図 1 にある一回のオークションの様子を示す。Early Bidder による競り合いが行われた後、終了直前に Sniper による入札があり高騰していることが分かる。また、図 2 のように、最初価格が上がった後、そのまま推移し、図 1 にあるような終了直前の高騰が生じない場合もある。

このようなオークションを一万回実施し、落札価格の頻度分布(図 3)を調べた。図 4 は Early Bidder が落札した場合、図 5 は Sniper が落札した場合のヒス

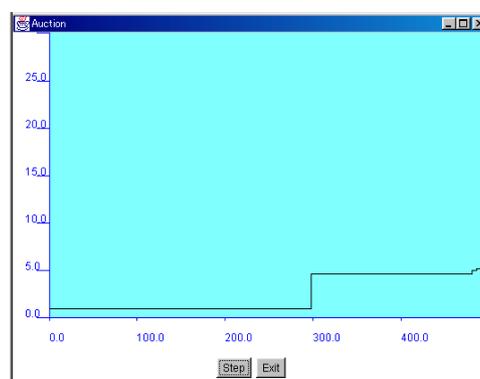


図 2 価格のジャンプが現れないオークション例

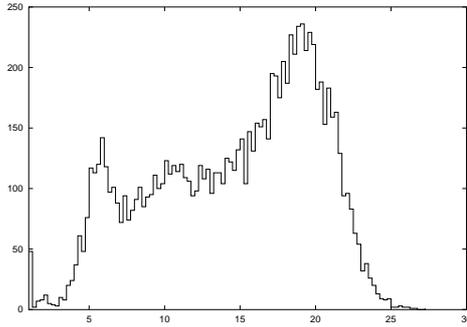


図3 オークション落札価格のヒストグラム

トグラムである。

落札数を見ると, Sniper が競り勝つ場合が非常に多く, また, その場合の落札価格に二つの山を見ることができる。一方, Early Bidder は落札する頻度は低いが, 比較的低い価格で落札するケースが多いことが分かる。

このヒストグラムの二つの山が存在する構造はパラ

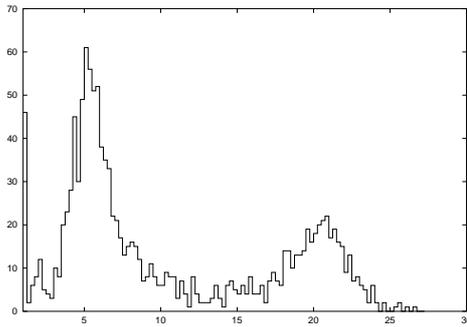


図4 Early Bidder が落札した場合のヒストグラム

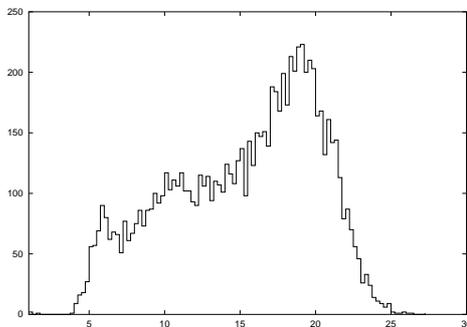


図5 Sniper が落札した場合のヒストグラム

メータを変化させても多く見られるが, 次の山本他の論文にあるように Agent 数を増やした場合には見られなくなる。

5. おわりに

非常に単純なモデルを用いて, 実際のオンラインオークションの振る舞いを考えた。Vickrey の考えた理想的な Bidder と異なり, 実際のオークション参加者は真の評価や他人の戦略を知らず, また, 完全に合理的な行動のみを行うわけではない。有限のオークション開催期間の間に探りを入れつつ, 自身の評価の修正や終了間際の駆け引きを行っている。このことによって複雑な落札価格の分布が発生し, 複数の戦略が共存することが可能となる。こうした複数の戦略を持つ Bidder によるシミュレーションを通じて, 現実のオークションにおける動的で複雑な行動についての理解が得られると期待される。本稿では少数 (10 エージェント) の結果のみを示したが, これをスケールすることにより価格分布がどのように変化するかは次の山本他の論文を参照されたい。他にもオンラインオークションを例にスーパーコンピュータ上でのエージェント実験の評価を行ったものとしては, 高橋らの論文⁵⁾がある。

参考文献

- 1) M. Yokoo, Y. Sakurai, S. Matsubara: “The Effect of False-name Bids in Combinatorial Auctions: New Fraud in Internet Auctions”, *Games and Economic Behavior*, Vol. 46, No.1, pp. 174-188, (2004).
- 2) W. Vickrey: “Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders”, *Journal of Finance*, vol. 16, no. 1, pp. 8-37 (1961).
- 3) P. R. Milgrom and R. J. Weber: “Theory of Auctions and Competitive Bidding”, *Econometrica*, vol. 50, no. 5, pp. 1089-1122 (1982).
- 4) H. Mizuta and K. Steiglitz: “Agent-based Simulation of Dynamic Online Auctions”, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, pp. 1772-1777 (2000).
- 5) T. Takahashi and H. Mizuta: “Efficient agent-based simulation framework for multi-node supercomputers”, *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference* (2006).

大規模マルチエージェントシミュレーション環境のための クラスタ機構

A Clustering Mechanism for Massive Multi-Agent based Simulation

山本 学[†] 田井 秀樹^{††} 水田 秀行^{††}
Gaku Yamamoto Hideki Tai Hideyuki Mizuta

1. はじめに

マルチエージェントシミュレーション(Multi-Agent base Simulation, MABS)は、人間の行動モデルを取り込んだシミュレーションのように数式モデルでは表現しにくい対象のシミュレーションで注目されている。しかしながら、多くの MABS ではエージェント数が数千程度であり、多数のエージェントを用いる大規模なシミュレーションへの適用が困難である。我々は 1999 年に数十万を超えるエージェントを管理する基盤技術[1]の研究を開始し、2005 年にこの技術を MABS へ適用し、数十万、数百万を超える数のエージェントを用いた大規模マルチエージェントベースシミュレーション(Massive Multi-Agent based Simulation, MMABS)を可能にする技術を開発している[2]。このような MMABS では性能が非常に重要となる。比較的単純なオークションシミュレーションでも、エージェント数が百万体となると全体の処理時間は 100 時間を越える場合もありえる。この時間を短縮するには、シミュレーションを複数のプロセッサ、または、計算機を用いたクラスタで実行することが要求される。MMABS で、このようなクラスタ機構を構成するための鍵となる基本技術は、エージェントプロキシ、メッセージング、時間管理、エージェントの移動である。本稿では、これらの技術に関して、我々が開発している Java 上での MMABS 基盤「ZASE」を例にして述べる。

2. 背景

多くの MABS では、エージェントの数が少ない状況で行なわれている。しかしながら、シミュレーションの結果が、エージェントが数十体の場合と数十万體では結果が異なる場合がある。

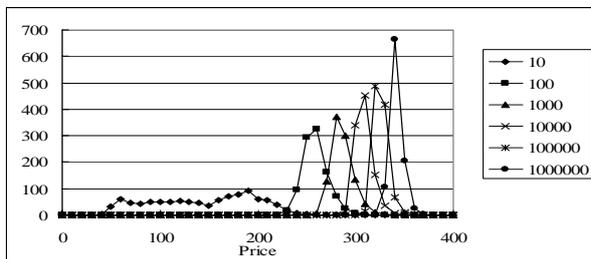


図 1 大規模オークションシミュレーションの最終落札額の度数分布

図 1 は、オークションシミュレーションで、エージェント数を 10 体から百万体まで変化させた場合の最終落札額とその度数分布を示したものである[2]。図 1 の結果は入札者

数がオークションの結果に大きく影響を与えているということを示している。図 2 に 100 万體のエージェントを利用した場合の度数分布を得るのに要する時間の推測値と計算機台数の関係を示す。この図から処理性能の重要性とクラスタ機構の必要性がわかる。

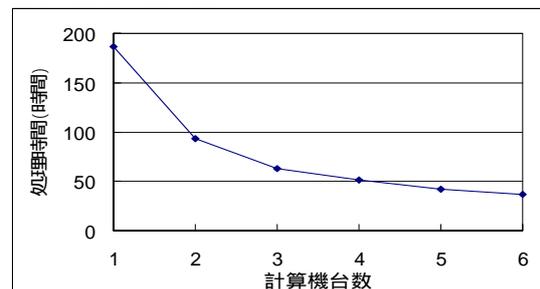


図 2 大規模オークションシミュレーションの計算機台数と処理時間

また、近年 MABS の交通シミュレーションへの適用も試みられている。MMABS の技術を用いて都市レベルのシミュレーションを行なうと、数十万から数百万體のエージェントが必要となる。例えば、京都市規模の道路網をシミュレーションする場合、我々の実験では、1 つのプロセッサを使うと実時間の 10 秒を 1 シミュレーション時間としても 1 時間分のシミュレーションを行なうのに 1 時間以上を要することが得られている。

3. MMABS の概要

本稿で議論する技術は、MMABS の基盤となる技術である。MABS には、オークションシミュレーション、交通シミュレーション、非難誘導シミュレーション、感染症シミュレーションなど様々なタイプがあるが、本稿で考える基盤とは、これら様々なタイプのシミュレータを構築するための基盤である。したがって、提供する機能は MMABS を実現するための基本的な機能である。

大規模化のための基本機構となるものは、一つのプロセスで数万から数十万のエージェントを活動させる機構[1]と複数計算機から構成されるクラスタ化されたシミュレータを構築するための機構である。図 3 にクラスタ化されたシミュレータの概要図を示す。シミュレータは、シミュレーション実行環境とエージェント実行環境から構成される。

前者は、エージェントが活動する環境のシミュレーションを行なう。例えば、オークションシミュレーションでは、入札処理のシミュレーションである。後者は、エージェントが実際に置かれる環境である。エージェントはシミュレーション実行環境が発生するイベントを受けて、意思決定を行い、その結果をシミュレーション実行環境に通知する。シミュレーション実行環境とエージェント実行環境は同じプロセス上に置かれる場合もあれば、異なるプロセス上に

[†] 日本アイ・ピー・エム (株) 東京基礎研究所、
京都大学 社会情報学専攻

^{††} 日本アイ・ピー・エム (株) 東京基礎研究所

置かれることもある。また、シミュレーション実行環境ならびにエージェント実行環境もそれぞれ複数のプロセスに分割されることもある。我々は典型的な分割パターンは次の2つであると考えている。

- 1つのシミュレーション実行環境プロセスと複数エージェント実行環境プロセス
- シミュレーション実行環境とエージェント実行環境を同じプロセスに載せ、シミュレーション空間全体を複数のプロセスに分割する

1はオークションシミュレーションのように、シミュレーション全体を調停するものが一箇所に存在する場合である。RoboCup-Rescueシミュレータも「カーネル」がシミュレーション実行環境であり、そこからエージェント群に情報を提供するという形態であり、1の形態となっている[3]。2は交通シミュレーションのようにエージェントが地理的に分散し、シミュレーション空間全体を地理的に分割できる場合である。

実行環境を結合する鍵となる基本機構は、エージェントプロキシ、メッセージング、時間管理、エージェントの移動である。以降これらに関して述べる。

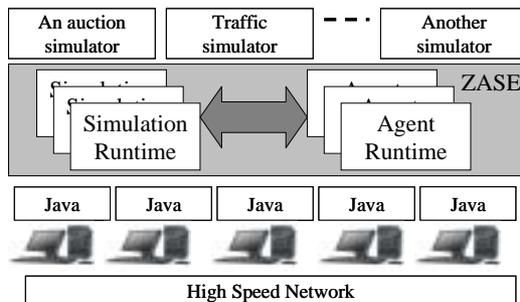


図3 クラスタ化されたシミュレータの概要

4. エージェントプロキシ

MMABSでは、シミュレーション実行環境が生成したイベントに対して、各エージェントがアクションをとることで、シミュレーション全体が進行する。エージェントのアクションには、イベントに対して機械的に反応するアクションと何らかの意思決定が必要なアクションがある。例えば、交通シミュレーションの場合では、ドライバの振る舞いをエージェントが行なうことになるが、通常の運転では、進行速度は前方車両の速度や道路の制限速度から反応的に決定される。これに対し、交差点における進路決定は、ドライバの意思決定が必要である。

一方、シミュレーション実行環境からエージェントを呼び出す場合、メッセージ機構を用いる。シミュレーション実行環境がメッセージを生成し、そのメッセージをエージェントに送信し、そのエージェントが処理を行い、結果をメッセージとしてシミュレーション実行環境に返送する。この一連の処理のオーバーヘッドはメソッド呼び出しに比べ大きい。シミュレーション実行環境とエージェント実行環境が分離されている場合は、通信を伴うので、さらにオーバーヘッドが大きくなる。

このため、シミュレーション実行環境の状況によって反応的に決定可能なものは、メッセージ機能によりエージェントを呼び出すのではなく、エージェントの代理としてのエージェントプロキシをシミュレーション実行環境内に置

き、シミュレーション実行環境からエージェントプロキシをメソッド呼び出す方が効率的である。この分離は、エージェントの意思決定と反応的処理を明示的に分離し、エージェントは意思決定のみを行なうという意味もあり、プログラミング・モデルの観点から見ても理にかなっている。

5. メッセージング

メッセージには、エージェント間メッセージ、シミュレーション実行環境とエージェント間のメッセージ、シミュレーション実行環境間メッセージがある。エージェント間メッセージは、クラスタ環境とは関係なく必要な機能であり、ほとんどのエージェントシステムで実装されている。また、シミュレーション実行環境間のメッセージは、宛先を特定した非同期メッセージと全シミュレーション実行環境に送信するマルチキャストメッセージで十分であり、特殊な形態ではない。一方、シミュレーション実行環境とエージェント間のメッセージに関しては、プログラミングの行ないやすさと性能の点から宛先特定メッセージやマルチキャストメッセージだけでは十分ではない。本稿ではシミュレーション実行環境とエージェント間のメッセージ機構を述べる。

5.1 シミュレーション実行環境とエージェント間のメッセージ

シミュレーション実行環境は、適宜イベントを生成し、エージェントはそのイベントを受けてアクションを実行する。このアクションには、エージェント内部の状態だけに影響を与えるものと、アクションの結果シミュレーション実行環境の状態に影響を与えるものがある。このため、シミュレーション実行環境からエージェントへメッセージを送信する機構としては、非同期メッセージと同期メッセージがある。非同期メッセージとは、シミュレーション実行環境が送信したメッセージに対してのエージェントからの返答メッセージを待たないものである。同期メッセージとは、シミュレーション実行環境が送信したメッセージに対するエージェントからの返答メッセージを待つものである。

一方、シミュレーション実行環境がエージェントにメッセージを送信する場合、宛先を特定して送信する宛先特定メッセージと、宛先を特定しない宛先不特定メッセージがある。宛先不特定メッセージの宛先は、エージェント実行環境により決定される。ZASEの場合では、エージェント実行環境にあらかじめ登録されている Resolver オブジェクトにより決定される。Resolver オブジェクトは、宛先となるエージェントの識別子のリストを作成する。エージェント実行環境は宛先不特定メッセージをこのリスト内のエージェントに渡す。例えば、オークションシミュレーションでは、オークションの最新価格を決定するシミュレーション実行環境が最新の価格をエージェントに送信し、エージェント実行環境にある Resolver オブジェクトが宛先を決定する。

同期メッセージと非同期メッセージは、宛先特定メッセージならびに宛先不特定メッセージの両方にある。ここで特殊なメッセージ形態が、宛先不特定の同期メッセージである。宛先不特定メッセージでは、エージェント実行環境の Resolver オブジェクトが宛先リストを生成する。この場合、それぞれのエージェントが返答メッセージをシミュレーション実行環境に送信するため、返答メッセージは複数

になる。シミュレーション実行環境は、送信されてくる返答メッセージを順次取得する。ZASE の場合、シミュレーション実行環境が使用する同期型宛先不特定メッセージ送信用アプリケーションプログラミングインタフェース(API)の戻り値として、`java.util.Iterator` オブジェクトが戻される。シミュレーション実行環境は、`java.util.Iterator#hasNext()` メソッドを用いて、次の返答メッセージの受信を確認する。このメソッドは、もし次の返答メッセージを受信済みであれば `true` を返し、また全ての返答メッセージを受信していないのであれば、次の返答メッセージの受信までして待ち、受信後に `true` を返す。これ以上返答メッセージがない場合は、即座に `false` を返す。シミュレーション実行環境は、`java.util.Iterator#next()` により、次の返答メッセージを取得する。

5.2 メッセージ集約機能

同期型宛先不特定メッセージの場合、宛先となるエージェントが大量になる。大量の返答メッセージがネットワークを介して送信されると性能が極端に低下する。我々の実験では、ネットワークを介してメッセージを送信する場合、毎秒 3000 ~ 5000 メッセージ程度しか送信できないことがわかっている。したがって、このメッセージを削減するために返答メッセージを集約する機構が必要である。シミュレーション実行環境は、すべての返答メッセージを受信した後に、何らかの集計処理を行ない、結果を計算する場合がある。オークションシミュレーションでは、シミュレーション実行環境が送信する最新価格情報を持つメッセージに対して、各エージェントが次の入札額を返答メッセージとして返送する。これを受けたシミュレーション実行環境は、全ての返答メッセージの中から次の価格を決定する。例えば、2 番目に高い入札額である。複数のエージェント実行環境が存在する状況では、シミュレーション実行環境は、各エージェント実行環境から最高入札額と 2 番目に高い入札額の情報だけを受信すれば、全体の中での 2 番目に高い入札額を決定できる。つまり、各エージェント実行環境に返答メッセージを集約する機能を入れることで、そのエージェント実行環境内の全返答メッセージから最高入札額と 2 番目に高い入札額を決定して、一つのメッセージとしてシミュレーション実行環境に返送することができる。ZASE の場合、シミュレーション実行環境は、同期型宛先不特定メッセージを送信する場合、返答メッセージの集約処理を行なう `Aggregator` オブジェクトを引数として渡すことができる。このオブジェクトは、メッセージとともにエージェント実行環境に送られ、返答メッセージの集約処理を行なう。

6. 時間管理

シミュレーションでは時間管理は重要な機能である。複数の実行環境から構成されるシミュレータでは、それらの間で時間の同期を行なう。エージェントシミュレーションでは、エージェントはシミュレーション実行環境からのイベントを受信して処理を行なう。そのため、時間管理はシミュレーション実行環境が行なう。シミュレーション実行環境が複数ある場合は、それらのどれかがマスターとなって時間管理を行なう。他の実行環境はマスターの時間に同期する。時間同期機構として、シミュレーション実行環境

間時間同期機構とシミュレーション・エージェント実行環境時間同期機構がある。

前者の機構では、マスターがある時刻の開始を全シミュレーション実行環境に送信することで、その時刻の処理が開始される。各シミュレーション実行環境がその時刻の処理が完了したらマスターに通知し、マスターは全シミュレーション実行環境からの完了通知を受けたら、全シミュレーション実行環境に時刻の完了を通知する。この一連の処理はそれ程複雑なものではない。

一方、シミュレーション実行環境とエージェント実行環境の時間同期はそれ程簡単なものではない。エージェント実行環境での、あるシミュレーション時刻の処理の完了の判定は、その時刻内に処理されるべきメッセージの処理が全て完了したかどうかで判定される。しかしながら、エージェントは他のエージェントにメッセージを送信する。ここで問題となるのが、このエージェントのメッセージがいつ処理されるべきかということである。これは 1 シミュレーション時間が現実世界でどのくらいの時間に相当するか、ならびに、そのメッセージが現実世界でどのようなものに対応するかに依存する。例えば、人同士が直接会話している状況をメッセージで再現する場合は、同じシミュレーション時刻で処理されるべきである。一方、電子メールでの対話を再現するのであれば、そのメッセージを送信した後の適当なシミュレーション時刻で処理されるべきである。このようにエージェントが送信したメッセージをいつ処理すべきかは、アプリケーションに依存する。したがって、時間同期機構は、メッセージを処理するタイミングを固定的にするのではなく、いつ処理すべきかをアプリケーションで制御できるようにすべきである。

ZASE の場合、規定の振る舞いとして、あるシミュレーション時刻内でエージェントが送信した全メッセージの処理が完了したら次のシミュレーション時刻へ遷移する。メッセージを送信したシミュレーション時刻以降にそのメッセージを処理する必要がある場合、アプリケーションは該当するシミュレーション時刻になるまでメッセージを一時的に蓄積するコンポーネントを開発すればよい。

さらに、ZASE では、オプションの機構として、次の 3 点も提供する。

- 規定の振る舞いを停止する
- エージェントのメッセージ送信、メッセージ処理完了をモニタできるオブジェクトをエージェント実行環境に登録する
- エージェント実行環境に対して、次の時間に遷移してよいことを通知する

アプリケーションは、該当するシミュレーション時刻になるまでメッセージを一時的に蓄積するコンポーネントと上記 3 機能を併用することも可能である。

7. エージェントの移動

エージェントが移動する場合、そのエージェントに対応しているエージェントプロキシも移動する場合がある。交通シミュレーションの場合では、エージェントプロキシはシミュレーション実行環境に置かれ、道路を移動する。また、シミュレーション実行環境とエージェント実行環境は同じプロセスに置かれるため、エージェントプロキシの移動とともに、エージェントも移動する。しかしながら、こ

のようにエージェントとエージェントプロキシが常に一緒に移動するとは限らない。例えば、地図を管理するシミュレーション実行環境とエージェント実行環境が分離されるシステムで、シミュレーション実行環境を分離した場合は、エージェントプロキシは移動するが、エージェントが移動する必要はない。

アプリケーションに柔軟に対応するために、ZASE では、エージェントを移動させる API ではなく、エージェントを非活性化・活性化させる API とエージェントプロキシを非活性化・活性化させる API を提供する。これによりエージェントをバイト列に変換し、バイト列から復元することが可能となる。これらの API と実行環境間のメッセージング機能により、アプリケーションに適した移動機能を容易に実装できる。

8. 関連研究

MABS を行なうための基盤となるフレームワークやツールは、Swarm[4]、Ascape[5]、StarLogo[6]や NetLogo[7]などが知られている。しかしながら、これらの基盤は大規模化を目的としていない。現在、これらの研究を踏まえて、MABS をより現実の社会・経済の性質を反映した高度なものとするための一つの方向として、非常に多く(数千~数百万)のエージェントが現実的な速度で動作するシミュレーションフレームワークの開発がいくつか進められている。例えば、SugarScape モデルと同様のセルオートマトン型を基礎とした Repast[8]や MASON[9]がそれぞれ大規模化を目指している。MASON は多数のエージェントをシングルプロセスで管理するための機構を提供している。SOARS プロジェクト[10]では、CD ブートによるグリッド環境でのクラスタを容易に構築する機能を提供している。高橋ら[11]は超並列スーパーコンピュータ BlueGene で多数のエージェントを用いたシミュレーションを行うフレームワークを提案している。これは多数のノードが非常に高速なネットワークで結合されているシステムを想定している。我々が開発している ZASE もこのような流れの一つである。我々は、特に、MMABS のための基本機構の研究を対象としており、SugarScape モデルのような特定のモデルを前提としたものではなく、様々なモデルを実現するための基本機能を提供している。

9. まとめ

MMABS では、クラスタ機構が重要である。MMABS の実行環境は、シミュレーション実行環境とエージェント実行環境に分けることができ、それぞれも複数に分割される。この分割方法としては、一つのシミュレーション実行環境と複数のエージェント実行環境に分割する方式、シミュレーション実行環境とエージェント実行環境を同じプロセスに置き、そのようなプロセスを複数結合する方式がある。複数の実行環境を結合させる機能の鍵は、エージェントプロキシ、メッセージング、時間同期、エージェントの移動である。これらの機能により、様々なアプリケーションに応じた MMABS の実現が可能となる。

謝辞

本研究を行なうにあたり、京都大学社会情報学専攻石田亨教授より様々な助言をいただきました。ここに謝意を表

します。また、本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) 「ユビキタスネットワーク社会におけるメガナビゲーション技術に関する研究」によるものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1. G. Yamamoto and Y. Nakamura: Architecture and Performance Evaluation of a Massive Multi-Agent System, The Proceedings of Autonomous Agents 1999, ACM Press, 1999
2. G. Yamamoto, H. Mizuta, and H. Tai: A Platform for Massive Agent-based Simulation and its Evaluation, The First International Workshop on Coordination and Control in Massively Multi-Agent Systems, 2007
3. 北野宏明, 松野文俊, 田所諭, 高橋友一, 竹内郁雄, RoboCup-Rescue技術委員会: RoboCup – Rescue 情報科学の緊急災害対応問題への挑戦, IPSJ Magazine vol.41 No.4, 2000
4. N. Minar, R. Burkhart, C. Langton and M. Askenazi: “The Swarm simulation system: A toolkit for building multi-agent simulations”, 96-06-042 (1996). <http://www.santafe.edu/projects/swarm/overview.ps>.
5. “Ascape”. <http://www.brook.edu/es/dynamics/models/ascape/>.
6. “StarLogo”. <http://education.mit.edu/starlogo/>.
7. “NetLogo”. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
8. M. J. North, N. T. Collier and J. R. Vos: Experiences creating three implementations of the repast agent modeling toolkit”, ACM Trans. Model. Comput. Simul., 16, 1, pp. 1–25 (2006).
9. S. Luke, G. C. Balan, L. Panait, C. Cioffi-Revilla and S. Paus: “MASON: A Java multi-agent simulation library”, Proceedings of Agent 2003 Conference on Challenges in Social Simulation (2003). <http://cs.gmu.edu/eclab/projects/mason/>.
10. H. Deguchi, H. Tanuma and T. Shimizu: “SOARS: Spot oriented agent role simulator - design and agent based dynamical system”, Proceedings of the Third International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems, pp. 49–56 (2004).
11. T. Takahashi and H. Mizuta: “Efficient agent-based simulation framework for multi-node supercomputers”, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference (2006).

Web サービスに基づく電子市場構築技術

Developing Electronic Marketplaces based on the Web Service Technology

福田 直樹
Naoki Fukuta

1 はじめに

Web 上で提供されるサービスは多種多様に渡っており、我々はいまやそれらのサービスなしでは日常生活に支障を来す場合もある。電子市場の構築とその運用にあたって、Web 上で提供されるサービスとの関連を考える必要が生じてくるのは、ある種の必然である。ところで、Web 上のサービスと一言で言っても、その言葉の意味する範囲は非常に広い。単に Web サービスといった場合、広義には Web 上で提供され利用できるサービスそのものを指す場合がある。一方、より狭義の Web サービスには、ソフトウェアシステム構築技術としての側面を持ち、W3C(World Wide Web Consortium) などでの規格化作業の進む、ソフトウェア間での相互通信・連携技術としての意味もある。これら Web サービス全体を網羅的に取り扱うのは、紙面の都合から非常に困難であるので、本稿では、ソフトウェアシステム構築技術としての Web サービスを中心に置き、Web 上で提供されるサービス全体も視野に置きながら、特に電子市場の構築に関連すると思われる技術とその動向について概説する。なお、本稿では、文章の読みやすさを配慮して、多少厳密さを欠く表現が用いられている部分があることをあらかじめご了承願いたい。

2 電子市場と Web サービス

本稿で扱う電子市場とは、電子的に商品(モノ・サービス・情報)の売買を行う場であり、かつ、そこに商品の取引における価格付けや売り手・買い手の組み合わせの最適化に関わる何らかの技術が含まれるものを指す。つまり、電子市場を通じて、単に電子的に(安価にかつ迅速に)商品の取引ができるというだけでなく、そこに市場メカニズムが介在し、売り手と買い手が適正な価格で公平に取引ができることが期待される。電子市場の構築には、もちろん電子商取引全般が必要となる技術が必要となるが、本稿では、電子商取引全般にわたる関連技術の動向を述べるのではなく、むしろ電子市場に特化した側面から考えてみたい。また、電子市場や市場メカニズムに関する最新の研究動向については他稿に譲り、本稿では特に、電子市場の構築やその今後の発展に関わる最新の技術動向を、Web サービスという切り口から眺めてみることにする。

電子市場が Web サービスと関わりを持つようなときは、はたしてどのようなときか。まず1つが、電子市場そのものが Web サービスとして構築される、という場合である。もちろん、電子市場そのものが複数の Web サービスの組み合わせとして実現される場合もあるが、その内部の構造はひとまずおいて、それが Web サービスとして実現される場合を考える。電子市場が(広義の)Web サービスとして構築されるというのは、特段目新しいことではない。現実には、インターネット広告におけるキーワードオークションなどでは、それが(広義の)Web サービスとして実現されており、むしろそれ以外の実現形態は考えにくい。

狭義の Web サービスは、さらに細かく分けると、いわゆる WebAPI と呼ばれる REST 型 Web サービスと、SOAP[1]/WSDL[2]/UDDI[3] の3つの標準を核とする Web サービス(本稿では、便宜上、SOAP 型 Web サービスと呼ぶことに

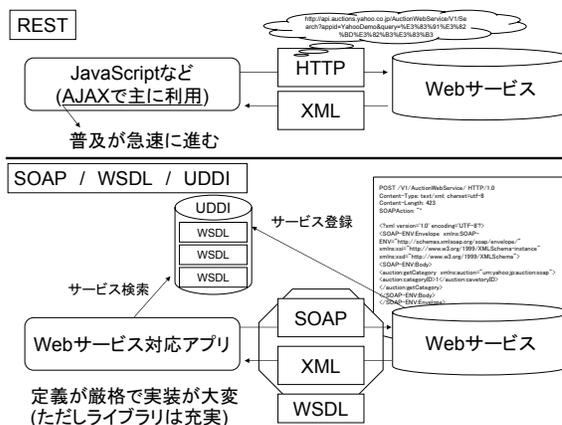


図1 Web サービスの種類とその概観

する)に分けられる(図1)。REST型 Web サービスでは、一言で言えば、Web の標準プロトコルである HTTP の POST/GET プロトコルをほぼそのまま使い、単に結果が HTML ではなく XML となるような Web サービスである。REST 型 Web サービスは、特に Web のユーザインタフェースをリッチにするための手法(AJAX[4] など)と組み合わせて利用されるケースが多く、この用途での普及が非常に進んでいる。一方で、SOAP 型 Web サービスは、プロトコルの規定がより厳密になっており、結果だけでなく、サービスに渡すパラメータも XML で記述する。サービスが受け取る入出力の型などの情報は、WSDL に記述され、その WSDL を UDDI に基づくサービスディレクトリに登録しておくことで、サービスの検索を行うことも可能である。なお、本稿では、SOAP、WSDL、UDDI の詳細は割愛する。

電子市場が Web サービスとして実現されるということの本当のインパクトは、それが人間以外にソフトウェアプログラム(エージェント)からも操作・利用可能となることにある。

若干昔の話になるが、BiddingBot という、インターネット上の複数のオークションサイトに対して横断的に入札を行うことを可能としたシステムが提案されている [5]。本システムでは、電子市場の一種であるインターネット上のオークションサイトを、複数のソフトウェアエージェントが常時監視し、そのサイトごとの商品の値動きを読んで入札を行うことが可能となっている。この仕組みにより、オークションサイトに出品された複数の同一商品の中からもっとも安価に落札可能なものを落札してることが可能となる(図2)。

これはすなわち、組み合わせオークション [6](複数の商品の組み合わせに対して入札できるオークション)における代替可能財(複数の商品のうち、どれか1つがあればよい、というもの)に対する XOR 入札が可能となるように、オークションメカニズム自身を拡張したのと同じような状況になる。電子市場がソフトウェアプログラムから利用可能となることで、ソフトウェアによる電子市場のメカニズムの拡張が、(その電子市場の運営者が望む望まざるに関わらず)可能となる。すなわち、ソフト

† 静岡大学, Shizuoka University

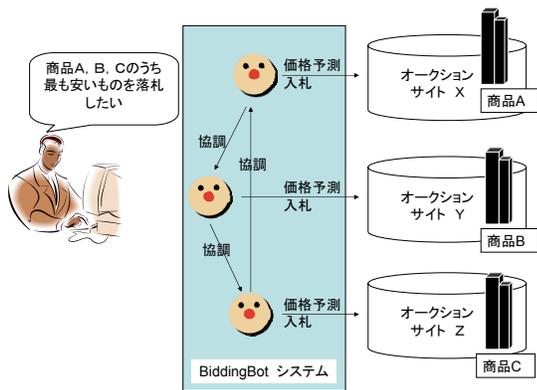


図 2 BiddingBot における協調入札の概要

ウェアプログラムから電子市場が利用可能になることによって、財（商品）の割り当て（売り手・商品と買い手との組み合わせ）の最適性が向上することになる。これは1つの極端な例としても、ソフトウェアプログラムから電子市場が利用可能となることによって、情報の検索性の向上や商品の購入・売却をソフトウェアが支援してくれるようになり、利用者にとっての利便性が大きく向上することは間違いない。電子市場の利用者がソフトウェアプログラムから利用が可能な電子市場を好んで使うようになれば、電子市場の構築にあたって、ソフトウェアプログラムからの利用を当然考慮する必要が出てくる。この点で、電子市場は、その構築にあたって、(狭義の)Web サービスとの親和性を考慮する必要がある。

3 セマンティック Web と電子市場

BiddingBot 開発当時では、このシステムを広く利用可能とするためのインフラストラクチャが欠けていた。オークションサイト上では Web ページ (HTML) によって情報が提示されており、エージェントを実現するソフトウェアプログラム内部では、いびつな構造の HTML から情報を巧妙に取り出すためのラッパー (wrapper) と呼ばれるプログラムが動いており、このラッパーを、オークションサイト上の Web ページのフォーマットが変更されるたびに書き換える必要があった。図 3 は、BiddingBot システム内で実際に使われていたラッパープログラムの一部である。特定の Web ページ中にあるテーブルタグ構造から個別の要素を取り出し、さらにその内容を数値等に変換する処理をプログラムで行っている。

(狭義の)Web サービスでは、サービスの利用に関わるソフトウェアプログラム間でのデータのやりとりのための規格を定めている。ところが、これらの規格ではデータの書き方 (フォーマット) を規定している部分が大半であり、そこに書かれたデータの意味をソフトウェアプログラム自身が解釈することは困難であった。そこで、Web サービスの利用にあたって、そこで扱うデータを、少なくともソフトウェアプログラム間で誤解なく受け渡せるようにするための技術として、セマンティック Web 技術が注目を集めた。

セマンティック Web 技術では、データの意味・概念を示す体系であるオントロジーと、それらのオントロジー間の関連を記述可能とすることで、ソフトウェアプログラムに対して、データの解釈のための基盤を与える。セマンティック Web 技術の詳細を示すことは本稿の範囲を大きく逸脱するため、本稿ではこの程度の記述にとどめたい。セマンティック Web 技術に関する詳細な内容や具体的な記述方法については、たとえば文献 [7] を参考されたい。セマンティック Web 技術は、しばしばオントロ

```

wrapper-bidders - メモ帳
ファイル 編集 表示 ヘルプ
cutAbstractBody( HTML, BODY ) :-
% extract( [_, [入札数], _], ["/tr"], _], BODY1[HTML], HTML ), !,
% extract( [_, [入札数], _], ["/tr"], BODY1[HTML], HTML ), !,
% extract( [BODY, ["/table"], _], BODY1 ), !.

wrapAbstractBody( HTML, [ID|IDList] ) :-
wrapAbstractDataItem( HTML, ITEMDESC, REST ),
!, storeAbstractData( ID, ITEMDESC ),
!, wrapAbstractBody( REST, IDList ).

wrapAbstractBody( _, [] ) :- !.

wrapAbstractDataItem( HTML, [URL_NAME, PRICE, ENDTIME, BIDS], REST ) :-
once( extract( [_, ["/tr"], _], ["/tr"], REST ), HTML ),
wrapAbstractDataItem_detail( BODY, [URL_NAME, PRICE, ENDTIME, BIDS] ).

wrapAbstractDataItem( HTML, [URL_NAME, PRICE, ENDTIME, BIDS], REST ) :-
once( extract( [_, ["/tr"], _], ["/tr"], NEXT ), HTML ),
wrapAbstractDataItem( NEXT, [URL_NAME, PRICE, ENDTIME, BIDS], REST ).

wrapAbstractDataItem_detail( BODY, [URL_NAME, PRICE, ENDTIME, BIDS] ) :-
!, extract( [_, ["/td"], _], ["/td"], _ ], [a, href, URL1], NAME ), R1, BODY ),
!, extract( [_, ["/td"], _], ["/td"], _ ], [a, href, URL1], PRICE ), R2, R1 ),
!, extract( [_, ["/td"], _], ["/td"], _ ], [a, href, URL1], BIDS1 ), ["/td"], R3 ), R2 ),
!, extract( [_, ["/td"], _], ["/td"], _ ], [a, href, URL1], R4 ), R3 ),
!, omit( a, [BIDS1, BIDS1], _ ),
!, omit( a, [ENDTIME1, ENDTIME1], _ ),
!, parseEndTime( ENDTIME1, ENDTIME ),
!, parsePrice( PRICE, PRICE ),
!, siteURL( X ), completeURL( X, URL1, URL ).

parseEndTime( ENDTIME1, ENDTIME ) :-
extract( (Mon, /, Date, /, Hour, :, /, Min), ENDTIME1 ),
!, getTIME( T ),
dateConvert2( [Y|_], T ).

```

図 3 BiddingBot におけるラッパープログラムの一例

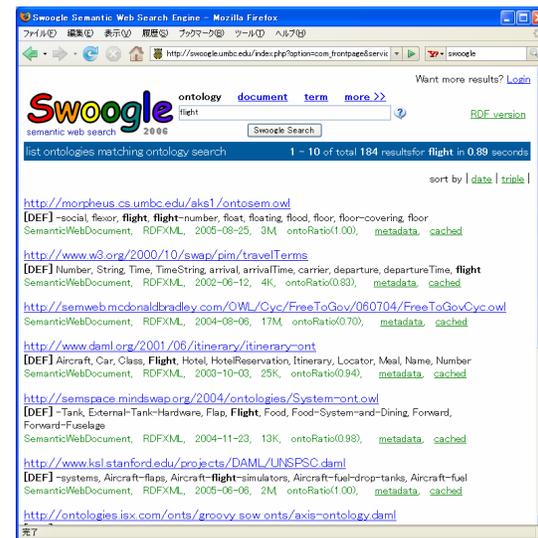


図 4 オントロジー検索エンジン Swoogle での検索例

ジーの構築にかかるコストの問題が指摘されるが、(日本語のものはまだ少ないものの) 世界中でセマンティック Web のためのオントロジーが作られつつあり、それらはオントロジー検索エンジン Swoogle[8] などを用いて検索することができる (図 4)。

4 セマンティック Web サービス技術

セマンティック Web 技術と Web サービス技術の融合として、McIlraith らによってセマンティック Web サービスの概念が提案された [9]。セマンティック Web サービスでは、単にソフトウェアプログラムが Web サービスを利用可能とするというだけに留まらず、Web サービスの解釈・利用が自動化される利点を生かして、既存の複数の Web サービスを組み合わせる新たな Web サービスを自動的に合成する試みが行われた。その過程でわかってきた点は、既存の Web サービス技術とセマンティック

```

@prefix rdf: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>.
@prefix sawsdl: <http://www.w3.org/ns/sawsdl#>.
@prefix whttp: <http://www.w3.org/ns/whttp#>.
@prefix wsdl: <http://www.w3.org/ns/wsdl-rdf#>.
@prefix wsdlx: <http://www.w3.org/ns/wsdl-extensions#>.
@prefix wssoap: <http://www.w3.org/ns/wsdl-soap#>.

<http://greath.example.com/2004/wsdl/resSvc#wsdl.description(>
  a wsdl:Description ;
  wsdl:interface
    <http://greath.example.com/2004/wsdl/resSvc#wsdl.interface(reservationInterface)> ;
  wsdl:binding
    <http://greath.example.com/2004/wsdl/resSvc#wsdl.binding(reservationSOAPBinding)> ;
  wsdl:service <http://greath.example.com/2004/wsdl/resSvc#wsdl.service(reservationService)> .

<http://greath.example.com/2004/wsdl/resSvc#wsdl.interface(reservationInterface)>
  a wsdl:Interface ;
  rdfs:label "reservationInterface" ;
  wsdl:interfaceOperation
    <http://greath.example.com/2004/wsdl/resSvc#wsdl.interfaceOperation(reservationInterface/opCheckAvailability)> ;
  wsdl:interfaceFault
    <http://greath.example.com/2004/wsdl/resSvc#wsdl.interfaceFault(reservationInterface/invalidDataFault)> .

```

図 5 WSDL 2.0 の RDF による記述例

Web 技術の (特に記述言語の違いから来る) 親和性の問題と、セマンティック Web 技術が想定したオントロジー記述言語の限界の 2 点である。

前者の問題を解消するために、WSDL-S[10] が提案され、その後、W3C によって、WSDL 2.0 として勧告された内容にもセマンティック Web に配慮した規格が含まれるにいたった [2]。WSDL 2.0 では、XML による通常の WSDL 記述と、セマンティック Web 技術で用いられる RDF による記述とを相互に引用するための仕組みを用意している。さらに、SAWSDL[11] では、セマンティック Web 技術に基づく意味情報のアノテーションを WSDL 記述中に含めることができるような仕組みが考案されており、WSDL 中のデータとセマンティック Web 上での表現とのマッピングを定義できるようになっている。また、WSDL 2.0 の記述自体をセマンティック Web 記述の基盤言語である RDF にマッピングするための方法も定義 [12] されており、セマンティック Web 技術との親和性が大きく高められている。図 5 は、WSDL 2.0 の記述を RDF にマッピングした場合の記述例である*1。

後者のオントロジー記述言語の限界とは、サービスの意味記述にあたって、条件・ルール記述が必要となったことである。条件・ルール記述は、オントロジー記述言語 OWL の想定した記述の範囲には完全に含まれない。このため、サービスの意味記述がオントロジー記述言語のみでは記述できず、オントロジー記述言語とルール記述言語の組み合わせが必要となった。これに基づいて、セマンティック Web の階層構造 (レイヤーケーキ) も改訂され、ルール記述言語の位置づけがより明確化された。しかし、オントロジー記述言語とルール記述言語を分けることによる問題は、完全には解消されない。最も大きな問題は、オントロジー記述言語とルール記述言語での推論方法の違いで、オントロジー記述言語内で推論可能な事実がルール記述言語からは認識されないなど、オントロジー記述言語の良さが十分に発揮されない可能性がある。この問題点は、Fensel らが WSMO(Web Service Modeling Ontology)[13] を提唱する過程で指摘しており、この指摘に基づき、Fensel らは、ルール記述言語とオントロジー記述言語を階層的に融合させた融合させた WSML(Web Service Modeling Language)[14] に基づくセマンティック Web サービスの実現方法を提案している。

結論からいえば、まだ現時点ではセマンティック Web 技術を電子市場構築に利用するには技術的な進展を多少待つ必要があるが、基盤技術は整いつつあるという印象である。なお、セマンティック Web サービス技術の詳細は、文献 [15] などを、WSMO 関連技術の詳細は、文献 [16] を参照されたい。

*1 本記述例は、W3C WSDL 2.0 文書からの一部抜粋である

5 GRDDL と電子市場の付随サービス

電子市場が効果的に機能するためには、電子市場に付随する様々なサービスが (広義の) Web サービスとして構築される必要があると考えられる。付随するサービスには、たとえば、売買契約を遂行するための決済・配送 (含ダウンロード、電子スペース提供)・保険・認証といったサービスが、電子市場に付随して利用されることが考えられる。決済・配送サービスは電子市場の運営者側から使われる場面が多いと考えられるが、保険・認証といったサービスは、電子市場の運営者のみでなく、その市場のユーザ (売り手・買い手) にとっても必要なサービスとなると考えられる。また、商品そのものに関する情報を調べたり、売り手・買い手の信用情報を得たいと思えば、それらの情報を提供するサービスも付随して利用されることが予想される。また、電子市場に導入されているオークション等の市場メカニズムそのものについて理解を深めたい、市場の動きを予測したい、あるいはその電子市場そのものを潜在顧客に対して宣伝したいという要求も生じてくることが予想される。電子市場の構築に当たっては、こうした付随サービスを電子市場に取り込んでいく・相互運用していくことが重要となる。すなわち、電子市場そのものが複数の (広義の) Web サービスの組み合わせで構成され、さらに外部の他の Web サービスと組み合わせで利用される、という利用形態が考えられる。

(広義の) Web サービスをソフトウェアプログラムから利用・連携させるにあたって、ラッパープログラムを用意する必要があった。セマンティック Web の世界が実現されればラッパープログラムは事実上不要 (あるいは少なくとも極小) になるのだが、多くの (広義の) Web サービスは、あいかわらず HTML で記述されたものが多く、セマンティック Web の世界との相互運用性は考慮されない場合が多い。この状況を打破するべく、GRDDL[17] がセマンティック Web の研究コミュニティから提案されている。GRDDL は、一言でまとめると、ラッパープログラムを Web コンテンツ作成者自身が用意してしまおう、という試みである。具体的には、XHTML で書かれた Web コンテンツに対して、その内部データの抜き出し規則を (たいていの場合は XSLT で) 記述しておいて、そのデータ抜き出し規則へのリンクを XHTML 中に含ませてしまう、ということを行う。GRDDL は、現時点ではまだ W3C の勧告候補であるが、(広義の) Web サービスをソフトウェアプログラムから利用するための足がかりとなる可能性が高く、コンテンツ提供者がデータ抜き出し規則の提供に深く関わることからラッパープログラムに見られたページ改変に対する脆弱性が大幅に緩和されることが期待される。図 6 は、XHTML 文書と、それに対応したデータ抜き出し規則 (XSLT) の記述例である*2。

6 Web サービスと電子市場の保護

電子市場を現実に運用していくためには、その市場のメカニズムを完全に近いものにしておく必要があるが、メカニズム設計上の欠点が発現時にはじめて露呈することも考えられる。また、特定のユーザの異常な市場行動により市場全体が異常な振る舞いを見せるような状況が生じた場合に、迅速に対処する必要もある。電子市場が Web サービス化できれば、その電子市場を守るためのソフトウェアプログラムに市場外部から市場の振る舞いなどを監視させることも可能になると考えられる。電子市場の持つ迅速性ゆえに、電子市場の監視・保護は人間自身が行うことが難しくなる状況も考えられる。電子市場の欠陥・異常を検知し、そこでの不正を見破るメカニズムの実現にも、Web サービス技術の貢献できる余地がありそうである。

*2 本記述例は、W3C GRDDL 文書からの一部抜粋である。

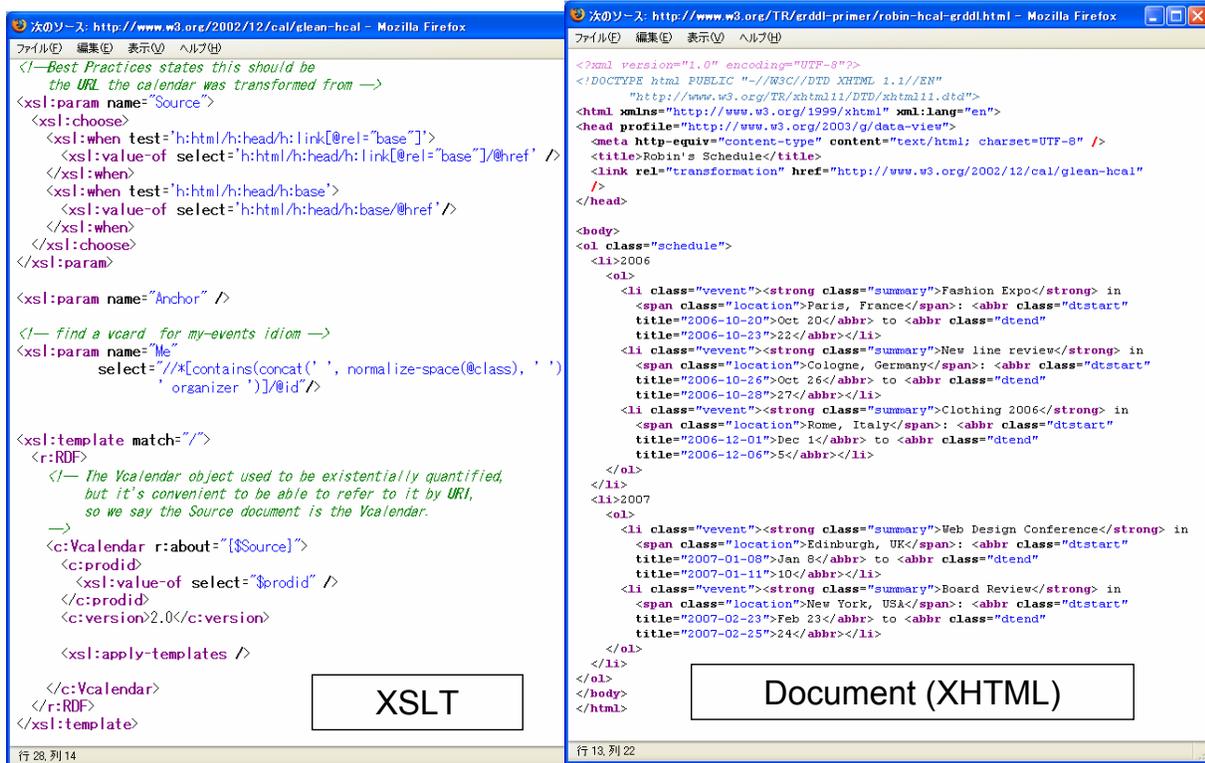


図6 GRDDLによるデータ抽出の記述例

参考文献

[1] M. Gudgin, M. Mendelsohn, J.-J. Moreau, H. Frystyk, A. Karmarkar and Y. Iafon: “SOAP version 1.2 part 1: Messaging framework (second edition)”, W3C Recommendation 27 April 2007 (2007). <http://www.w3.org/TR/soap12-part1/>.

[2] R. Chinnici, J.-J. Moreau, A. Ryman and S. Weerawarana: “Web services description language (WSDL) version 2.0 part 1: Core language”, W3C Recommendation 26 June 2007 (2007). <http://www.w3.org/TR/wsdl20>.

[3] L. Clement, A. Hatley, C. von Riegen and T. Rogers: “UDDI version 3.0.2”, UDDI Spec Technical Committee Draft, Dated 20041019 (2004). http://uddi.org/pubs/uddi_v3.htm.

[4] J. J. Garrett: “Ajax: A new approach to web applications”, February 18, 2005 (2005). <http://www.adaptivepath.com/publications/essays/archives/000385.php>.

[5] T. Ito, N. Fukuta, T. Shintani and K. Sycara: “Bidding-Bot: A multiagent support system for cooperative bidding in multiple auctions”, Proc. of the Fourth International Conference on Multi Agent Systems(ICMAS’2000), pp. 399–400 (2000).

[6] P. Cramton, Y. Shoham and R. Steinberg: “Combinatorial Auctions”, The MIT Press (2006).

[7] 山口高平, 福田直樹, 小出誠二: “Web オントロジー記述言語 OWL とその記述能力”, コンピュータソフトウェア, **22**, 4, pp. 12–18 (2005).

[8] “Swoogle”, <http://swoogle.umbc.edu/>.

[9] S. A. McIlraith, T. C. Son and H. Zeng: “Semantic web services”, IEEE Intelligent Systems, **16**, 2, pp. 46–53 (2001).

[10] R. Akkiraju, J. Farrell, J. Miller, M. Nagarajan, M.-T. Schumid, A. Sheth and K. Verma: “Web service semantics – WSDL-S”, W3C Proposed Recommendation 7 Nov 2005 (2005). <http://www.w3.org/Submission/WSDL-S>.

[11] J. Farrell and H. Lausen: “Semantic annotations for WSDL and XML Schema”, W3C Proposed Recommendation 05 July 2007 (2007). <http://www.w3.org/TR/sawSDL>.

[12] J. Kopecky: “Web services description language (WSDL) version 2.0: Rdf mapping”, W3C Working Group Note 26 June 2007 (2007). <http://www.w3.org/TR/wsdl20-rdf>.

[13] J. de Bruijn, C. Bussler, J. Domingue, D. Fensel, M. Hepp, U. Keller, M. Kifer, B. König-Ries, J. Kopecky, R. Lara, H. Lausen, E. Oren, A. Polleres, D. Roman, J. Scicluna and M. Stollberg: “Web service modeling ontology (wsmo)”, W3C Member Submission 3 June 2005 (2005). <http://www.w3.org/Submission/WSMO/>.

[14] J. de Bruijn, D. Fensel, U. Keller, M. Kifer, H. Lausen, R. Krummenacher, A. Polleres and L. Predoiu: “Web service modeling language (WSML)”, W3C Member Submission 3 June 2005 (2005). <http://www.w3.org/Submission/WSML/>.

[15] 山口高平, 福田直樹: “(研究最前線) セマンティック web サービスの研究動向”, 電子情報通信学会情報システムサイエティ誌, **11**, 1, pp. 6–7 (2006).

[16] 福田直樹, 山口高平: “欧州におけるセマンティック web サービスの現状と動向”, 人工知能学会誌, **20**, 6, pp. 639–648 (2005).

[17] D. Connolly: “Gleaning resource descriptions from dialects of languages (GRDDL)”, W3C Candidate Recommendation 2 May 2007 (2007). <http://www.w3.org/TR/grddl>.