

## 市場指向モデルにおける取引制度の検討

石西 正幸<sup>†</sup> 出口 弘<sup>†</sup> 喜多 一<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259

<sup>††</sup> 大学評価・学位授与機構 評価研究部 〒112-0012 東京都文京区大塚 3-29-1

E-mail: †{isinisi@fe.dis, deguchi@dis}.titech.ac.jp, ††kita@niad.ac.jp

あらまし 通信ネットワークの有効利用のためには、その帯域幅を多数の時間帯に渡り、用途別に継続的に、高速かつ分散的に割り当てることが求められる。筆者らはネットワークを利用するタスク毎に配置したソフトウェアエージェントによる自律分散的な資源割当を実現するため、先渡市場の考え方を導入した人工市場モデルを提案している。本稿ではその取引制度について、市場指向モデルで一般的に用いられているワルラス調整プロセスと、実際の証券市場等で用いられている板寄せ方式とを比較し、これらの特徴について考察する。

キーワード 市場モデル, 通信資源配分, マルチエージェント, ワルラス調整プロセス, 板寄せ方式

## A Study on the Transaction Mechanisms for Market-based Model

Masayuki ISHINISHI<sup>†</sup>, Hiroshi DEGUCHI<sup>†</sup>, and Hajime KITA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology  
4259 Nagatsuta, Midori, Yokohama, 226-8502 Japan

<sup>††</sup> Faculty of University Evaluation and Research, National Institution for Academic Degrees  
3-29-1 Ohtsuka, Bunkyo, Tokyo, 112-0012 Japan

E-mail: †{isinisi@fe.dis, deguchi@dis}.titech.ac.jp, ††kita@niad.ac.jp

**Abstract** For efficient use of information network, quick, continuous and decentralized allocation of network bandwidth to various sorts of demand is required. The authors have proposed a market-based model for network resource allocation introducing forward market in order to achieve efficient trading by software agents. That is, time to certain future is divided into many time-slots, and open markets for the bandwidth in all the time-slots. This paper discusses transaction mechanisms for the market-based model. Walrasian adjustment method that has been commonly used in the market-based model and 'Itayose', a call auction method used in the real security market are compared through computer simulation.

**Key words** Market Model, Network Resource Allocation, Multi-Agent, Walrasian Process, Itayose Method

### 1. ま え が き

市場経済は価格を媒介として需給を自律分散的に決定する機構であり、現実極めて多数の財とサービスにおいて需要者と供給者の間で需給調整が行われている。このような市場の機構に着目し、ソフトウェアエージェントを用いて資源の割り当てを行おうという手法が市場指向モデルなどの名称で研究されている [1]。その代表的なものとして、Wellman の提案する市場指向プログラミング (Market Oriented Programming, MOP) 環境 WALRAS がある [2]。WALRAS は、このミクロ経済学におけるワルラス調整モデル [3] を利用して計算機上に仮想的な市場を構成し、分散処理によって資源割り当て問題を解く方法である。八橋らは WALRAS を用いて、ユーザやサービス別に

優先度を設け、市場での取引によって通信資源を割り当てることに応用している [4]。

一方、インターネットに代表されるパケット型のデジタル通信や電力などのネットワーク型のサービスでは、同一の設備 (例えば通信ネットワークにおける回線) を多種多様な需要が混在する形で利用しており、個々の需要ごとに適切な容量の割り当てや利用時間のスケジュールを行うことができれば設備の有効利用が期待できる。そこで筆者らはその要求する調整速度や需要の多様さ等から市場指向モデルが有効であると考え、先渡市場型の市場モデルを提案してきた [5] [6]。そこでは常に注文の決済が可能な板寄せ方式を導入した。

本稿では筆者らの提案する先渡市場モデルにおいて、市場機構における取引制度として市場指向モデルで一般的に用いられ

## 市場指向モデルにおける取引制度の検討

石西 正幸<sup>†</sup> 出口 弘<sup>†</sup> 喜多 一<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 〒 226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259

<sup>††</sup> 大学評価・学位授与機構 評価研究部 〒 112-0012 東京都文京区大塚 3-29-1

E-mail: †{isinisi@fe.dis, deguchi@dis}.titech.ac.jp, ††kita@niad.ac.jp

あらまし 通信ネットワークの有効利用のためには、その帯域幅を多数の時間帯に渡り、用途別に継続的に、高速かつ分散的に割り当てることが求められる。筆者らはネットワークを利用するタスク毎に配置したソフトウェアエージェントによる自律分散的な資源割当を実現するため、先渡市場の考え方を導入した人工市場モデルを提案している。本稿ではその取引制度について、市場指向モデルで一般的に用いられているワルラス調整プロセスと、実際の証券市場等で用いられている板寄せ方式とを比較し、これらの特徴について考察する。

キーワード 市場モデル, 通信資源配分, マルチエージェント, ワルラス調整プロセス, 板寄せ方式

## A Study on the Transaction Mechanisms for Market-based Model

Masayuki ISHINISHI<sup>†</sup>, Hiroshi DEGUCHI<sup>†</sup>, and Hajime KITA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology  
4259 Nagatsuta, Midori, Yokohama, 226-8502 Japan

<sup>††</sup> Faculty of University Evaluation and Research, National Institution for Academic Degrees  
3-29-1 Ohtsuka, Bunkyo, Tokyo, 112-0012 Japan

E-mail: †{isinisi@fe.dis, deguchi@dis}.titech.ac.jp, ††kita@niad.ac.jp

**Abstract** For efficient use of information network, quick, continuous and decentralized allocation of network bandwidth to various sorts of demand is required. The authors have proposed a market-based model for network resource allocation introducing forward market in order to achieve efficient trading by software agents. That is, time to certain future is divided into many time-slots, and open markets for the bandwidth in all the time-slots. This paper discusses transaction mechanisms for the market-based model. Walrasian adjustment method that has been commonly used in the market-based model and 'Itayose', a call auction method used in the real security market are compared through computer simulation.

**Key words** Market Model, Network Resource Allocation, Multi-Agent, Walrasian Process, Itayose Method

### 1. ま え が き

市場経済は価格を媒介として需給を自律分散的に決定する機構であり、現実極めて多数の財とサービスにおいて需要者と供給者の間で需給調整が行われている。このような市場の機構に着目し、ソフトウェアエージェントを用いて資源の割り当てを行おうという手法が市場指向モデルなどの名称で研究されている [1]。その代表的なものとして、Wellman の提案する市場指向プログラミング (Market Oriented Programming, MOP) 環境 WALRAS がある [2]。WALRAS は、このミクロ経済学におけるワルラス調整モデル [3] を利用して計算機上に仮想的な市場を構成し、分散処理によって資源割り当て問題を解く方法である。八橋らは WALRAS を用いて、ユーザやサービス別に

優先度を設け、市場での取引によって通信資源を割り当てることに応用している [4]。

一方、インターネットに代表されるパケット型のデジタル通信や電力などのネットワーク型のサービスでは、同一の設備 (例えば通信ネットワークにおける回線) を多種多様な需要が混在する形で利用しており、個々の需要ごとに適切な容量の割り当てや利用時間のスケジュールを行うことができれば設備の有効利用が期待できる。そこで筆者らはその要求する調整速度や需要の多様さ等から市場指向モデルが有効であると考え、先渡市場型の市場モデルを提案してきた [5] [6]。そこでは常に注文の決済が可能な板寄せ方式を導入した。

本稿では筆者らの提案する先渡市場モデルにおいて、市場機構における取引制度として市場指向モデルで一般的に用いられ

に注文する。

(6) 転送量要求型の需要の転送期限において保有帯域幅が需要量を超える場合には、余剰分を成行(注文価格を0)で売り注文を出す(損切り)。

### 3.3.2 評価関数

UA はユーザから与えられる要求量、優先度に応じて、各サービスのもたらす効用を計算し、これを制約の範囲内で最大化するように帯域割り当てを決定する。

● 帯域確保型サービスの効用は各タイムスロットで割り当てた帯域幅によって決まるものとし、以下のように考える。

$$U_B(i, j, \tau) = \sum_t u_B(B_{\text{alloc}}(i, j, t) | B_{\text{req}}(i, j, t), e_B(i, j)) = \begin{cases} e_B \sum_t B_{\text{req}}(i, j, t) \left\{ 2 \frac{B_{\text{alloc}}(i, j, t, \tau)}{B_{\text{req}}(i, j, t)} - \left( \frac{B_{\text{alloc}}(i, j, t, \tau)}{B_{\text{req}}(i, j, t)} \right)^2 \right\} & \text{for } B_{\text{req}} > 0 \\ 0 & \text{for } B_{\text{req}} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで  $u_B$  は要求帯域幅  $B_{\text{req}}(i, j, t)$  および優先度  $e_B(i, j)$  をパラメータに持つ効用関数であり、 $B_{\text{alloc}}(i, j, t, \tau)$  は要求帯域幅に対して割り当てる帯域幅である。

● 転送量要求型サービスの効用は転送期限までに確保した転送量で評価し、以下のように考える。

$$U_Q(i, j, \tau) = u_Q(Q_{\text{ALLOC}} | Q_{\text{req}}(i, j), e_Q(i, j)) = \begin{cases} e_Q Q_{\text{req}} \left\{ 2 \frac{Q_{\text{ALLOC}}}{Q_{\text{req}}(i, j)} - \left( \frac{Q_{\text{ALLOC}}}{Q_{\text{req}}(i, j)} \right)^2 \right\} & \text{for } Q_{\text{req}} > 0 \\ 0 & \text{for } Q_{\text{req}} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$Q_{\text{ALLOC}} \equiv \sum_{t=t_{\text{begin}}(i, j)}^{t_{\text{finish}}(i, j)} (Q_{\text{alloc}}(i, j, t, \tau)) \quad (3)$$

ここで  $u_Q$  は要求転送量  $Q_{\text{req}}(i, j)$  および優先度  $e_Q(i, j)$  をパラメータに持つ効用関数であり、 $Q_{\text{alloc}}(i, j, t, \tau)$  は要求転送量に対して割り当てるタイムスロット毎の転送量である。

### 3.3.3 制約条件

効用の最適化は以下の制約のもとに行われる：

予算制約：所持金が運転資金のレベルを概ね維持する制約。この制約は比較的取扱が容易であるので明示的に制約条件として扱える。

$$M_{\text{hold}}(j, \tau + 1) = M_{\text{hold}}(j, \tau) + M_{\text{income}}(j, \tau) + M_{\text{sellbuy}}(j, \tau) - M_{\text{operation}} \geq 0 \quad (4)$$

ここで、 $M_{\text{operation}}$  は所持金の一部を運転資金とした、維持すべき運転資金量である。

ポートフォリオ制約：転送量要求型の需要を価格の低いタイムスロット(空き時間)に再配分することを目的とし、ペナルティ関数として目的関数に組み込む。

$$C_{\text{portfolio}}(j, \tau) = c_{\text{portfolio}} \sum_i \sum_t (P(t, \tau) Q_{\text{alloc}}(i, j, t, \tau) - P(t+1, \tau) Q_{\text{alloc}}(i, j, t+1, \tau))^2 \quad (5)$$

ここで  $c_{\text{portfolio}}$  は定数である。

以上より、ペナルティ関数を組み込んだ目的関数は

$$\sum_i U_B(i, j, \tau) + \sum_i U_Q(i, j, \tau) - C_{\text{portfolio}}(j, \tau) \quad (6)$$

となり、これの最大化を考える。なお、ペナルティ関数は制約条件の違反が大きくなれば値が大きくなるものとし、目的関数が最大化であることから、上記の式には負号が付けられている。

### 3.3.4 UA の状態と状態方程式

UA の資産の状態(ポートフォリオ)は保有している所持金  $M_{\text{hold}}(j, \tau)$  と保有帯域  $B_{\text{hold}}(j, t, \tau)$  である。これらのダイナミクスは以下の式で表される。

まず、保有帯域幅に関しては以下のように与えられる：

$$B_{\text{hold}}(j, t, \tau + 1) = B_{\text{total}}(j, t, \tau) = B_{\text{hold}}(j, t, \tau) + B_{\text{sellbuy}}(j, t, \tau) \quad (7)$$

ここで  $B_{\text{hold}}(j, t, \tau)$  はエージェント  $j$  が時刻  $\tau$  においてタイムスロット  $t$  について保有している帯域幅である。また  $B_{\text{sellbuy}}(j, t, \tau)$  は購入(負ならば売却)する帯域幅であり、以下のように与えられる：

$$B_{\text{sellbuy}}(j, t, \tau) = B_{\text{total}}(j, t, \tau) - B_{\text{hold}}(j, t, \tau) \quad (8)$$

ここで  $B_{\text{total}}(j, t, \tau)$  は各タイムスロットごとに割り当てられる総帯域幅であり、以下のように与えられる：

$$B_{\text{total}}(j, t, \tau) = \sum_i B_{\text{alloc}}(i, j, t, \tau) + \sum_i Q_{\text{alloc}}(i, j, t, \tau) / \Delta \quad (9)$$

また UA の所持金は、次のように表される。

$$M_{\text{hold}}(j, \tau + 1) = M_{\text{hold}}(j, \tau) + M_{\text{income}}(j, \tau) + M_{\text{sellbuy}}(j, \tau) \quad (10)$$

ここで、 $M_{\text{sellbuy}}(j, \tau) = -\sum_t P(t, \tau) B_{\text{sellbuy}}(j, t, \tau)$  であり、 $M_{\text{income}}(j, \tau)$  はユーザからの板寄せ間隔毎に与えられるキャッシュフローである。

### 3.4 供給エージェントの定式化

SA は売却、買い戻しなどによる売上から供給費用を引いた利潤を最大化すべく、与えられた価格に対して応答するものとする。

各タイムスロットの供給コストは独立に

$$C(B_{\text{SA}_{\text{alloc}}}(t, \tau) | B_{\text{supply}}) = c_1 \frac{1}{B_{\text{supply}} - B_{\text{SA}_{\text{alloc}}}(t, \tau)} + c_2 B_{\text{SA}_{\text{alloc}}}(t, \tau) \quad (11)$$

で与えられるものとする。ここで  $B_{\text{SA}_{\text{alloc}}}(t, \tau)$  は供給者の保有計画量であり、 $B_{\text{supply}}$  は供給可能量である。 $B_{\text{SA}_{\text{alloc}}}$  が増加するに従ってコストが増加するものとし、(11)式をコスト関数として、 $B_{\text{SA}_{\text{alloc}}}$  が  $B_{\text{supply}}$  に近付くとコストが発散するような形状とした。

SA の売買量  $B_{\text{SA}_{\text{sellbuy}}}$  (正のとき売却、負のとき購入)は、保有計画量  $B_{\text{SA}_{\text{alloc}}}$ 、供給可能量  $B_{\text{supply}}$ 、保有量(未売却量)  $B_{\text{hold}}(t, \tau)$  から以下のように求められる。

$$B_{SA_{sellbuy}}(t, \tau) = B_{SA_{alloc}}(t, \tau) - (B_{supply} - B_{SA_{hold}}(t, \tau)) \quad (12)$$

SA の目的関数 (最大化) は

$$\sum_t P(t, \tau) B_{SA_{alloc}}(t, \tau) - \sum_t C(B_{SA_{alloc}}(t, \tau) | B_{supply}) \quad (13)$$

で与えられる.

また制約条件としては

$$B_{SA_{alloc}}(t, \tau) \geq 0 \quad (14)$$

を考える.

板寄せ方式では, UA と同様に SA についても価格に摂動を与えて最適化計算を行い注文を生成する.

### 3.5 競売機構の仕組み

競売機構 AM の動作は, 次のステップの繰り返しである.

#### 3.5.1 ワルラス調整方式の場合

(1) 各タイムスロットごとの前回の価格を各エージェントに通報する (新規上場するタイムスロットの価格は, 直前のタイムスロットの価格を用いる).

(2) 各エージェントからの注文を受け付ける.

(3) SA, UA の売り注文, 買い注文を以下のように区分する.

$$\begin{aligned} B_{totalsell} &= \max(B_{SA_{sellbuy}}(t, \tau), 0) - \sum_j \min(B_{sellbuy}(j, t, \tau), 0) \\ B_{totalbuy} &= -\min(B_{SA_{sellbuy}}(t, \tau), 0) + \sum_j \max(B_{sellbuy}(j, t, \tau), 0) \end{aligned} \quad (15)$$

(4) 前回調整時の価格と UA, SA の売買量から以下のように価格を決定する.

$$P(t, \tau + 1) = \begin{cases} P(t, \tau) \left( \frac{B_{totalbuy}}{B_{totalsell}} \right)^\beta & \text{for } B_{totalsell} > 0 \\ 2P(t, \tau) & \text{for } B_{totalsell} = 0 \end{cases} \quad (16)$$

ここで  $\beta$  は定数である<sup>(注1)</sup>.

(5)  $|P(t, \tau + 1) - P(t, \tau)| < \epsilon_1$  を満たせば決済を行い, 時刻更新する. そうでなければ (1) にもどる. ただし  $B_{totalsell}$  が極めて小さくなることもあり, その場合の終了条件として  $B_{totalbuy}/B_{totalsell} < \epsilon_2$  を追加している.

#### 3.5.2 板寄せ方式の場合

(1) 各タイムスロットごとの前期の約定価格を各エージェントに通報する.

- 約定価格が未定の場合には, 前回の取引における価格を気配値とする.

- 新規上場するタイムスロットの価格は, 直前のタイムスロットの価格を用いる.

(2) 各エージェントからの注文を受け付ける.

(3) 注文をソートし板寄せを行う.

(4) 約定した注文から即時に決済する.

(注1): (16) 式は正の値を取る必要がある価格について, その対数が

$$\log P(t, \tau + 1) = \log P(t, \tau) + \beta(\log B_{totalsell} - \log B_{totalbuy})$$

という学習方程式に従うようにしたものである.

板寄せについては U-Mart における売買成立の仕組み [7] を用いる. ここでは注文の添字を  $i$ , 注文価格  $p_i$ , 数量  $q_i$ , 売買  $bs_i$  とする. 売買は, 売り注文を  $bs_i = \text{SELL}$ , 買い注文を  $bs_i = \text{BUY}$  とし, 注文価格  $p_i$  は売買により次のように意味が異なる.

売り注文 注文価格  $p_i$  以上ならば数量  $q_i$  を売る.

買い注文 注文価格  $p_i$  以下ならば数量  $q_i$  を買う.

これらの注文を指値注文とよぶ.

売買注文から, 需要曲線  $D(p)$ , 供給曲線  $S(p)$  は以下のように定義される.

$$\begin{aligned} D(p) &= \sum_{i, bs_i = \text{BUY}, p_i \geq p} q_i, \\ S(p) &= \sum_{i, bs_i = \text{SELL}, p_i \leq p} q_i \end{aligned} \quad (17)$$

図 3 よりこれらの曲線の交点から, 約定価格と数量が求められる.

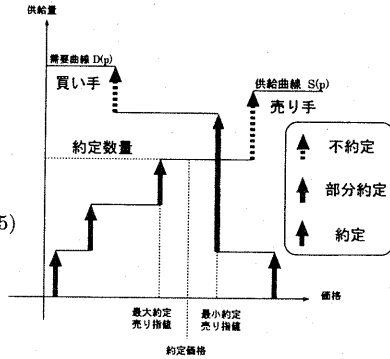


図 3 板寄せによる取引方法

## 4. シミュレーション

本稿で提案したモデルの有効性を示すために, 複数のエージェントによる通信資源配分のシミュレーションを実施した.

ここでは, 次に示すシミュレーション条件のもとで,

Case1 競売機構が板寄せ方式により取引を行う場合

Case2 競売機構がワルラス調整方式により取引を行う場合

の場合に分けて実施した.

### 4.1 シミュレーション条件

- エージェント数: 5 (UA: 4, SA: 1)
- タイムスロット数: 5
- 初期価格:  $P(t, 0) = 1$
- UA の需要量: Table.1 に示す. 全 UA は転送量要求量の需要のみを持ち, UA ごとに転送量や転送期間が異なる場合を想定した.

- 運転資金:  $M_{operation} = 2000$

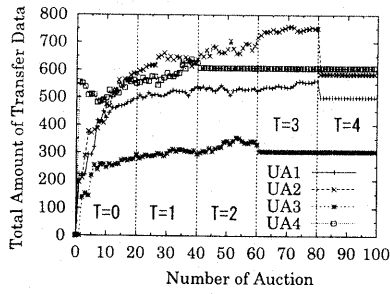
- キャッシュフロー:  $M_{income} = 0$

- UA の所持金:  $M_{hold} = 50000$

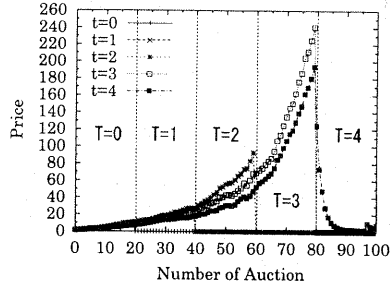
- 需要の優先度:  $e_B = 1, e_Q = 2$

- UA の効用関数のペナルティ定数:  $c_{portfolio} = 0.001$

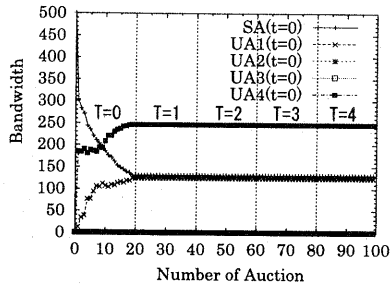
- SA のタイムスロットごとの供給量:  $B_{supply} = 500$



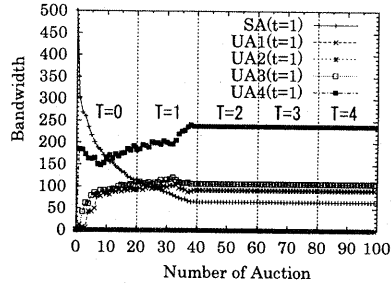
(a) 各 UA の獲得した総転送量



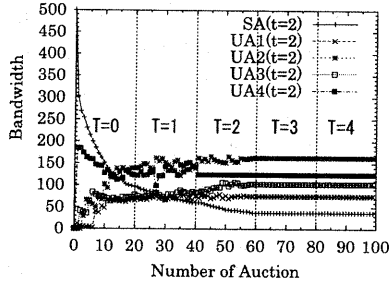
(b) 各タイムスロットの価格



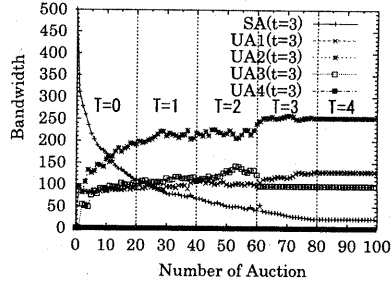
(c) タイムスロットごとの保有帯域幅 ( $t = 0$ )



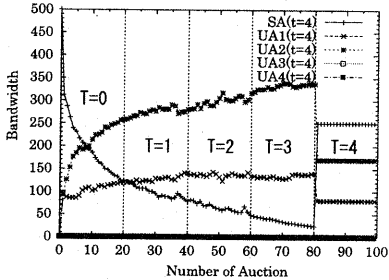
(d) タイムスロットごとの保有帯域幅 ( $t = 1$ )



(e) タイムスロットごとの保有帯域幅 ( $t = 2$ )



(f) タイムスロットごとの保有帯域幅 ( $t = 3$ )



(g) タイムスロットごとの保有帯域幅 ( $t = 4$ )

図 4 シミュレーション結果 (板寄せ方式, Case1)

表 1 UA の需要

time-slot	0	1	2	3	4
UA1		500			
UA2			600		
UA3			300		
UA4	600				

- SA の費用関数の定数:  $c_1 = 0.01$ ,  $c_2 = 100000$
- Case1 ではタイムスロット当たりの板寄せ回数を 20 とし, 100 回の板寄せを行う。期限が来たタイムスロットについては売買を停止する。新たなタイムスロットの上場は行わないものとした。

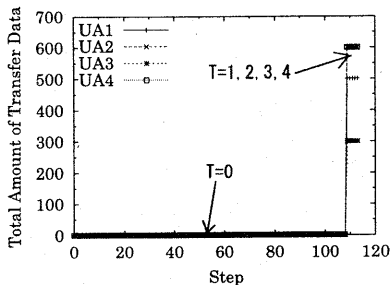
- Case2 では  $\beta = 0.5$ ,  $\epsilon_1 = 0.0001$ ,  $\epsilon_2 = 0.001$  とした。

#### 4.2 シミュレーション結果

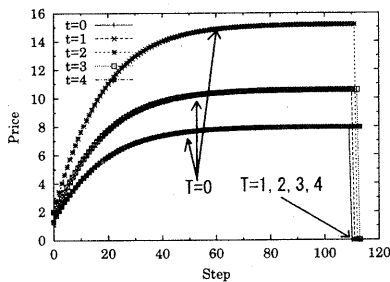
Case 1 のシミュレーション結果を図 4 に示す。図 4(a) は UA

の獲得した総転送量を表している。板寄せを繰り返すことで、各 UA は転送期限において UA の需要量を満たすように転送量を獲得している。図 4(c)~(g) は各タイムスロットごとの保有帯域幅を示す。UA1,2 は  $t=4$  で、UA3 は  $t=3$  で、UA4 は  $t=2$  で転送期限を迎えることから、それぞれの時刻になると損切りを行うことで需要量と等しくなるように過剰な転送量を売却していることが分かる。 $t=4$  では、図 4(g) に示すように UA1,2 が損切りで売却した分を引き受ける UA がいないことから、SA が代わりに過剰分を引き受けている。図 4(b) は各タイムスロットごとの価格を示す。時刻が更新されると取り扱われるタイムスロットが少なくなり、タイムスロット間の需要の移動が困難になるために価格が高騰していることがわかる。

一方、Case 2 のシミュレーション結果を図 5 に示す。Case 1 とは異なり、需給が一致し価格が収束するまでワルラス調整を行わなければ決済はできない。 $T=0$  では図 5(b) のように 109 回のワルラス調整の後に価格が収束し、決済が行われ、そこではじめて保有転送量が求まる。 $T=0$  の決済後、図 5(a) に示すように各 UA はそれぞれの需要を満たす転送量を獲得していることから、 $T=1\sim 4$  では UA, SA の取引は行われず、ワルラス調整も行われることなく時刻が更新されている。



(a) 各 UA の獲得した総転送量



(b) 各タイムスロットの価格

図 5 シミュレーション結果 (ワルラス調整方式, Case2)

## 5. 考 察

板寄せ方式とワルラス方式の特徴について考察する。板寄せ方式では、1 回の取引で決済ができ大きな資源割り当てが可能である。また、エージェントにさまざまな注文方法を実装でき、複雑な注文に対応できる。しかしながら、市場を成立させるためには、複数の価格に対する需給曲線をエージェント自ら用意する必要があり、大量の注文が必要である。そのため、取

り扱うタイムスロット数に比例して、エージェントの最適計算の負担は大きくなる。

一方、ワルラス方式では、エージェントは与えられた価格のみに需給量を応答すればよいので、1 回の取引に対するエージェントの負担は小さい。また、一度価格が収束 (需給が一致) すれば各エージェントの最適な需給量が確保されるので、時刻更新後は需給の変化などの不確実な要素が発生しなければ、エージェント間の取引をすることなく決済が可能である。ただし板寄せ方式に対して、需給が一致するまで調整を繰り返す必要がある。その間は保有帯域幅を確定することができないという欠点がある。

2 方式の優劣については、1 回の板寄せにかかる時間とワルラス調整が収束するまでの時間を比較して評価する必要がある。

## 6. む す び

本稿では、ユーザ別及び目的別における通信資源配分を実現するための、マルチエージェントによる市場指向モデルにおいて、市場機構における取引制度に関して一般的に用いられているワルラス調整方式と本研究で採用している板寄せ方式との比較を行い、それぞれの取引制度の特徴を考察した。

今後の課題として、2 方式の適切な評価を行うための、ユーザの需要における不確実性を考慮したモデルの検討が挙げられる。

最後に本研究に際して貴重な御助言を頂いた東京工業大学 小林重信教授に感謝の意を表します。なお、本研究は科学研究費補助金基盤研究 (C) (課題番号 13650450) の補助を得て行われたものである。

## 文 献

- [1] Clearwater, S.H. (Ed.): Market-Based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation, *World Scientific* (1996).
- [2] Wellman, M.P.: A Market-Oriented Programming Environment and Its Application to Distributed Multicommodity Flow Problems, *J. of Artificial Intelligence Research*, Vol.1, pp.1-22 (1993).
- [3] Mas-Crell, A., Whinstone, M.D. and Green, J.R.: Microeconomic Theory, Oxford University Press (1991).
- [4] 八横博史・M.P. ウェルマン・石田 亨: 市場モデルに基づくアプリケーション QoS の制御, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-I, No. 5, pp. 540-547 (1998)
- [5] 石西正幸・喜多一: 通信資源配分のための市場指向モデルの検討, 第 14 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp. 189-194 (2002)
- [6] M. Ishinishi, H. Deguchi, and H. Kita: Study on a Dynamic Resource Allocation for Communication Network Based on a Market-based Model, *2nd International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems*, pp. 47-54 (2002)
- [7] 佐藤, 久保, 福本, 廣岡, 生天目: 人工市場のシステム構造, 人工知能学会誌, Vol.15, No.6, pp.974-981 (2000).