

## 市場メカニズムのもとでの協調計算とその応用

6W-4

内山 広治    佐々木 隆師    生天目 章  
防衛大学校    情報工学科

### 1 はじめに

自己の効用の最適化を目指し、自律的かつ合理的に活動するエージェントの集団における個々のエージェントの合理的動作について市場メカニズムを利用した分権型計算モデルを定式化する。また、市場メカニズムに基づくマルチエージェントの協調問題解決法を提案する。自由な競争原理の働く独占市場の中では、個々のエージェントは他者との相互作用について考慮することなく、市場メカニズムによって決定される自己の活動に付帯する市場価格による合理的な計算に基づく行動をする。ここでは、寡占市場のような他者と相互に依存するような環境での個々のエージェントの合理的な動作について、その収束性や安定性について明らかにする。また、ネットワーク上での効率的な資源配分への適用例について示す。

### 2 エージェントの合理的な行動と競争解

個々のエージェントは個人的合理性に基づいて、自己の効用関数を最適にする。そして、各エージェントの利己的な行動が、市場を通じて効率的な資源配分をもたらすとき、その行動は、市場メカニズムに基づく行動であるといえる。市場原理に基づく市場情報を共有し、市場情報のみを媒体として各エージェントが自律的で合理的な行動をとることによって、集団全体として均衡状態が実現される。その均衡状態を操作する方法について考える。

一定のルールで動作する市場ルールのもと、各エージェントの相互依存的な動作は市場価格に反映され、各エージェントの相互依存性は市場ルールの中に集約される。各エージェントは、相互依存性を考慮することなく、自己の効用関数を最適にする行動を自らの判断だけで決定する。そこで、自己の行動  $x_i$  と、他エージェントの行動  $x(i) = (x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n)$  を用いて、個々のエージェントの効用関数を自己の行動と価格関数の積で次式のように表すことにする。

$$U_i\{x_i, x(i)\} = x_i P_i\{x_i, x(i)\} \quad i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

ここで、価格関数  $P_i\{x_i, x(i)\}$  は、市場から各エージェントに市場情報として供給されるものとし、一次関数として次式で与える。

$$P_i\{x_i, x(i)\} = a_i - \sum_{j=1}^n b_{ij} x_j \quad (2)$$

自己の効用関数を最適にする行動を個人的合理性に基づく行動としたが、集団を形成する全てのエージェントの個人的合理性の条件を満足する行動の組のことを競争的均衡解と呼ぶことにする。そのような競争解は、各エージェントの限界効用関数を同時に満足する解として次式から与えられる。

$$\partial U_i\{x_i, x(i)\} / \partial x_i = M_i\{x_i, x(i)\} = 0 \quad i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

### 3 市場価格に基づく自己調整モデル

本節では、各エージェントは、個人的な合理的行動の均衡解として求められる競争解を、価格関数  $P_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  をマクロ情報として共有する。このマクロ情報に基づき、自己の行動を逐次調整する。その様子を Fig.1 に示す。

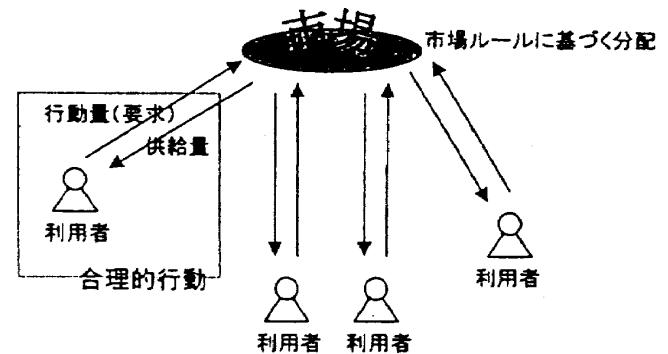


Fig.1 市場メカニズムによるエージェントの相転移

ある時点  $t$  における各エージェントの行動戦略を  $x(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t), \dots, x_n(t)\}$  で表す。次の時点  $t+1$  における各エージェントの行動は以下のルールにより修正される。

$$\text{if } M_i\{x_i, x(i)\} > \lambda_i \text{ then } x_i := x_i + \delta \quad (4)$$

$\text{if } M_i\{x_i, x(i)\} < \lambda_i \text{ then } x_i := x_i - \delta$   
ここで、 $\delta$  は各エージェントの行動量の自己修正の量であり、 $\alpha$  をエージェントの行動の更新速度とおくと

き、自己の行動量の決定プロセスは、次式のように定式化される。

$$\delta = x_i(t+1) - x_i(t) = (\alpha/b_{ii})M\{x_i, x(i)\} \quad (5)$$

$$x_i(t+1) = (\alpha/b_{ii})P_i(t) + (1-\alpha)x_i(t) \quad (6)$$

以上のアルゴリズムは、各エージェント  $A_i, i=1,2,\dots,n$  が市場ルールを共有し、また自律的に自己の行動戦略を決定することから分権型アルゴリズムといえる。

各エージェントの効用を最適にするよう自己の供給量を決定するが、他のエージェントとの相互作用によって自己の供給量を自律的に規制することによって、制約条件を満足するような競争解を得ることができる。

#### 4 ネットワーク上での効率的な資源配分への適用

前節の(4)式で与えられる競争解は、エージェント集団において各エージェントがサーバから配分された容量とみなすことができる。各エージェントはサーバから市場情報である容量占有のためのサーバへ要求する容量のみを自己の行動として決定する。各エージェントが要求する容量の総和をエージェントの数として表したのが Fig.2 である。

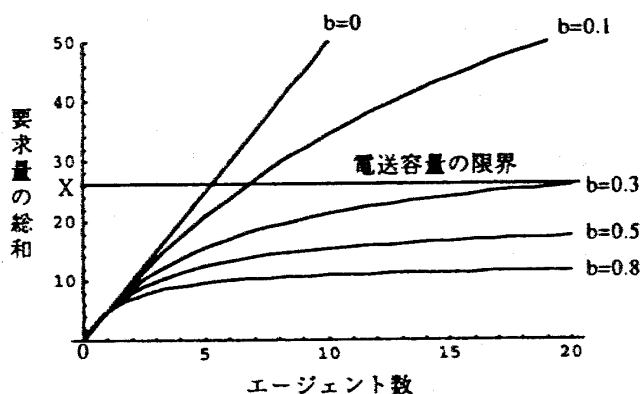


Fig.2 相互作用係数の違いによるエージェントからの要求量の総和

Fig.2から明らかなように(3)式のエージェントの効用関数上の係数  $b$  が0の場合は、各々のエージェントが自己の必要とする電送容量の全てを、無秩序に獲得しようとする行為を表す。各エージェントからの供給量の総和はエージェントの数が増加するにしたがって直線的に増加する。係数が1に近づくにつれ、供給量の総和は低いレベルで一定値に収束するように

なる。各エージェントは、それによって表される市場価格のみを考慮して行動する。限界容量  $X$  は集団全体に共通する制約条件としてこのエージェント集団が利用する共通の回線の容量の最大値とし、各エージェントからの供給量の総和はこの値を超えられないものとする。エージェントの数が増大し、各エージェントが互いに競争して回線を占有する場合、ある一定限度までのエージェント数までは支障なく回線を占有できる。しかしながら、限界を越えた時点で個々のエージェントの作業効率が極端に落ちることになる。これを防ぐためにも、市場メカニズムに基づいたマルチエージェントの協調計算法が有効であることがわかる。

#### 5 シミュレーションモデル開発とその結果

市場ルールの下でのマルチエージェントの協調計算のシミュレーションモデルをJava言語で開発した。分散環境上に存在する複数のエージェントが共同で共有回線を使用する場合の各エージェントの最適な電送容量配分についてシミュレーションを行った。エージェント集団の均衡解(競争解)が望ましい性質を満たすように相互依存性を考慮した市場ルールにより決定される競争解に基づき、相互依存性をもつエージェント同士であっても、その行動量は個々の自律的動作によって、安定した市場を形成するように操作できることがわかった。

#### 6 まとめ

市場経済に関する情報を媒体とすることによって、個々のエージェントの行動決定のプロセスを分権型アルゴリズムとして提案した。その結果、分散環境上に存在するエージェント間の自律的な学習や協調により、市場の秩序が最適化され、各エージェントがより効率的に行動することができることを示した。

#### 参考文献

- [1] Rosenschein, J.S. and Zlotkin, G.: Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers, The MIT Press, 1994
- [2] Kurose, J.F. and R. Simha, A Microeconomic Approach to Optimal Resource Allocation in Distributed Computer Systems, IEEE Transactions on Computers, Vol.38, NO.5, May 1989, pp.705-717.