

## 非同期性が駆動するファシリテーション

- 市場シミュレーションによる考察 -

## Facilitation Derived from Asynchrony

- A Study of Market Simulation -

○ 笹井一人 (東北大)

Kazuto SASAI, Tohoku University

**Abstract:** Co-creation is driven by the interplay between the wholeness and the subsystem activity. The structural property of such a system may cause self-referential impossibility to be described as the computer models. In this paper, an approach to solve the impossibility by introducing a concept of asynchronous interaction scheme of multi-agent systems. In order to give a good example, a market model of Zero-Intelligence Plus model which is a continuous double auction model based on the notion of asynchrony is considered. From the analysis of the continuous double auction, an assumption that the action "to stay inactive state" is a key notion to understand the asynchronous property of the markets' behaviors. The restricted single auction model which shows intermittency is investigated, and the remarkable characteristics of the model is derived from the states when the agents do nothing. This implies the facilitation of the co-creation.

**Key Words:** multi-agent, heterarchy, facilitation, co-creation, asynchrony

## 1. はじめに

共創するシステムは、あらかじめ設定された世界の中でコミュニケーションが行われるのではなく、コミュニケーションから生じる「場」とそこから生まれる意味に基づくコミュニケーションという自己言及的な性質を持って初めて成立する<sup>(1)</sup>。従来のマルチエージェントシステム、もしくはそれを用いた予測のためのシミュレーションにおいて自己言及を成立させるためには、エージェント間のコミュニケーションによる「場」の構成と、場の上でエージェントが行う「コミュニケーション」の生成を両立させる必要がある。しかしながら、部分と全体を一度に両立させることは、論理的な矛盾を発生させるため、基礎的な形式モデルとして共創システムを定義し、これを応用していくことは容易ではない。1つの方法として、自己言及性を含む階層構造としてのヘテラルキー<sup>(2)</sup>を実現するモデルとして、全体性の構成と部分における活動の2つのスケールに関するダイナミクスを交互に動かす力学系システムとして表現する方法がある<sup>(3)</sup>。しかしながら、2つのダイナミクスを交互に動かすモデルでは、抽象度が高く具体性の高い問題に適用することが難しいという問題があった。本稿では、マルチエージェントによるコミュニケーションモデルの1つである、オークションモデルによるシミュレーションを題材にして、自己言及性を成立させるための部分と全体の両立を、非同期時間概念という新しい方法に基づいて、シミュレーションモデルに実装する表現形式を提案する。その上で、共創を作り出すための条件である自己言及性が、いかにしてシステムにおけるファシリテーションの役割を実現するのかという問題について議論する。

## 2. ザラバ市場モデルにおける非同期性

マルチエージェントシステムにおけるエージェント行動の非同期性とは、全てのエージェントが同時に行動するのではなく、それぞれがバラバラの時間に基づいて行動することを意味する。しかしながら、計算可能な形式的マルチエージェントモデルにおいて、計算自体の手続き的な繰り返しによる制限のため非同期性を実現することは容易ではない。本稿では、まず非同期取引によって規定されるザラバ市場のモデルを用いてマルチエージェントシステムにおける非同期性概念について形式的な検討を行う。

ザラバ市場は、売り手と買い手がそれぞれ好きな時に注文を出すことができ、それらはその場で処理され約定される。注文の処理は次の二つの法則に基づいて行われる。

1. 時間的に早く来た注文が優先される。(時間優先の法則)
2. 価格的に条件の良い注文が優先される。(価格優先の法則)

実際の株式市場では、上記の法則のもとにどンドンと取引が成立していくが、マルチエージェントシステムにおいては、計算機における処理が原則的に直列的であるという制約のせいで、現実とは異なるモデルを適用する必要がある。ザラバ市場のシミュレーションモデルとして最もシンプルなモデルの一つである、CliffのZero-Intelligenceモデル<sup>(4)</sup>を例にとり説明する。

Cliffらのモデルは、ザラバの非同期的なダイナミクスを次のように規定している。ある一まとまりの取引時間(例えば一日など)を $T$ とすると、その中の時刻 $t$ において行動するエージェントがランダムに選択される。選択されたエージェントはその役割(売り手, 買い手)に応じて注文を送る。価格優先の原則に基づき、条件を満たすことのできた注文はその場で処理され、条件を満たせなかった注文はそのまま残る。ある一定以上の時間が経過しても取引が成立しなかった注文は取引失敗としてエージェントによりキャンセルされる。取引が成立したエージェントは $T$ における活動を終了する。全てのエージェントが活動を終了するか、一定時刻が経過すると次の取引 $T+1$ へと移行する。ここで、 $T > N$  ( $N$ はエージェントの数)であれば、全てのエージェントが行動できる可能性が大きくなり、 $T < N$ の場合には、行動できないエージェントが出ることになる。Cliffらは、各エージェントが事前の行動の結果によって次の注文時の利益の上乗せを上げたり下げたりするZero-Intelligence Plus (ZIP)モデルを提案しているが、このルールは行動結果のみに対して適用されるものであり、行動していないエージェントには適用されない。

本稿では、むしろこの「行動していない」エージェントとは何かについて、肯定的に捉えることが、マルチエージェントシステムにおけるエージェント協調形式の非同期性にとって重要な要素であるということを主張する。

## 3. 同期取引モデルとその非同期化

本稿では、「行動していない」エージェントを肯定的に捉えることの意義を明確にするために、Bagnallらの示したシングルオークションのZIPモデル<sup>(5)</sup>を取り上げる。シングルオークション

のZIPモデルは、以下のような時間発展を行う。買い手のみ（売り手は一人）のシングルオークションを考える。時刻  $t$  において、買い手  $i$  はランダムに決定された価値関数  $x_i$  に利益マージン  $\mu_i$  を差し引いた  $x_i(1 - \mu_i)$  に基づいてビッドを行う。集められたビッドの集合において、最も高いビッドを提示したエージェントが時刻  $t$  における落札者となる。落札者が決定した後、各々のエージェントは取引結果に基づいて、取引が成功した場合には、次の時刻に利益マージン  $\mu$  を引き上げ、より多くのマージンをとるようになり、逆に取引に失敗した場合には、利益マージンを下げ、より少ないマージンを取ろうとする。利益マージンのダイナミクスについて、以下でより詳細に説明する。

各エージェントの利益マージンの更新ルールは、オリジナルのCliffモデル<sup>(4)</sup>に忠実に定義されている。利益マージンの更新は、理想的なビッド  $o_i$  に基づいて算出される。 $o_i$  生み出すマージンを  $d_i$  とすると、 $o(t) = x(t)(1 - d(t))$  となる。これを変形すれば、 $d(t) = 1 - o(t)/x(t)$  が得られる。 $d(t)$  に基づき、次の利益マージンを  $\mu(t+1) = \mu(t) + \phi(d(t) - \mu(t))$  により学習する。ここで、 $\phi$  は学習率を示す。これだけでは、価格の変化が顕著になりすぎるので、Cliffのモデルでは、momentum co-efficient が用いられているが、本稿では省略する。本モデルにおいては、ある時刻に全てのエージェントが行動するため、完全な同期時間のモデルとなっている。ここで、ある時刻におけるビッドを先着順で受け入れ、期限を過ぎたビッドを認めないこととする。モデル上の時間概念は、同期的に定義されているため、期限までに到着したビッド集合をある確率のもとに選択したビッドの集合  $N' = \{k | \xi(k) > \sigma, k \in N\}$  に置き換える。ここで、 $\xi$  はランダムジェネレータ、 $\sigma$  は確率パラメータである。

通常のシングルオークションモデルはある一定の最適解に収束するように動くのに対して、先着順に処理するモデルは、 $\sigma$  が非常に小さい値をとる場合に、安定な状態と突如価格が高騰する状態が混在する間欠的な挙動を示す。さらに、間欠性を示す場合の価格の変動率の分布を調べるとベキ分布が出現することが分かっている<sup>(6)</sup>。ビッドを制限するモデルの大きな特徴は、制限されたエージェントはその時刻においては「行動していない」ことになるが、これを入札に失敗したと考えて、マージンの更新を行うことである。入札に参加することでマージンを更新する時間と、行動しない間にマージンを更新する時間は本質的に異なる時間概念であるため、これらが混在する制限モデルは、シンプルに非同期性を体現しているといえる。

#### 4. 非同期性とファシリテーション

本節では、共創を間欠的挙動、その原因をファシリテーションと読み替え、市場の非同期性モデルで間欠性が発生する原因について考察することで、共創するファシリテーションについて議論する。価格が急激な高騰を示す理由としては、以下の説明が考えられる。本稿おモデルでは、利益マージンの更新時に最適マージンが  $o(t)/x(t)$  で与えられているが、これが1を超えない理由は、常に理想価格  $o(t)$  が  $x(t)$  よりも高くならないことを意味している。しかしながら、極端に低い  $\sigma$  を設定した場合には、「誰も入札できない」状態が発生し、徐々に上がり続ける理想価格が  $x(t)$  を上回ってしまう可能性が出てくる。この時、 $x(t)$  が非常に小さい値を取っていれば、 $d(t)$  は大きくマイナスへ傾向し、結果として価格の急騰が発生する。この仮説を検証するために、Controlとして  $o(t)$  が  $x(t)$  を超えないように制限をかけたシミュレーションを行ってみた結果をFig.1に示す。Fig.1に見られるように、 $o(t)$  に制限をかけたモデルではベキ分布が発生せず、 $o(t)$  に制限をかけない場合にベキ分布が発生していることがわかる。この結果から、 $o(t)$  が高騰することが間欠的な挙動を発生させていることが確かめられた。

本稿で議論した非同期モデルは、「行動していない」時間においても価格の更新を行うというロジックを入れることで、プレミ

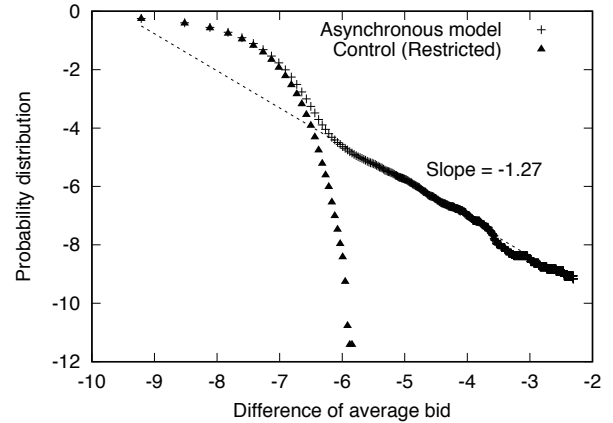


Fig.1 Figure caption

ア現象やパニック現象などによる価格高騰のメカニズムに近い挙動を生み出している。取引に用いられるビッドと売買が明示的な信号による相互作用であるのに対して、何も起こらなかったことに対して行動を行うことは、無限定な信号を系に持ち込んでいることになると考えられる。この無限定な否定の否定に関わる信号を肯定的に捉えることは、場と要素が混同され、相互作用しながら共創していくシステムにおいて、ファシリテーションの役割を担っている可能性が示唆される。

#### 5. おわりに

本稿では、場と要素が相互作用しながら互いに時間発展を行っていく共創システムにおいて、共創をファシリテートしていくものは何であるかという問題を取り上げ、市場シミュレーションにおける非同期概念の検討を通じて議論を行った。間欠性を示した非同期性を表現するモデルでは、「何も起こらなかった」時間に対してエージェントが反応するという無限定な信号の取り込みが発生し、それによって特徴的な性質が生まれていることが示され、否定の指し示しという無限定な信号がファシリテーションとなっていることが示唆された。

#### 参考文献

- (1) 清水宏, 三輪敬之, 久米是志, 三宅美博, 「場と共創」, NTT出版, 2000.
- (2) Stark, D., "Heterarchy: Distributing Authority and Organizing Diversity," in John Clippinger III, ed. "The Biology of Business: Decoding the Natural Laws of Enterprise" Jossey-Bass, 1999.
- (3) Sasai, K., Gunji, Y.-P., "Heterarchy in biological systems: A logic-based dynamical model of abstract biological network derived from time-state-scale re-entrant form," Biosystems, vol.92, pp.182-188, 2008.
- (4) Cliff, D., Brunten, J., "Zero not enough: On the lower limit of agent intelligence for continuous double auction markets," HP Laboratories Technical Report HPL, 1997.
- (5) Bagnall, A., Toft, I., "Autonomous Adaptive Agents for Single Seller Sealed Bid Auctions," Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 12(3):259-292, 2006.
- (6) Sasai, K., Gunji, Y.-P., Kinoshita, T., "Extremely Local Interaction in a Market Model," Proc. of The Twenty-First International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 (AROB 21st 2016), pp.625-630, 2016.