

適応的ハイパーゲームによる市場取引のモデル化と構造分析

濱田 貴広[†] 川村 秀憲[†] 山本 雅人[†] 大内 東[†]

[†] 北海道大学大学院工学研究科
〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目

E-mail: †{hamada,kawamura,masahito,ohuchi}@complex.eng.hokudai.ac.jp

あらまし 目的が不透明な相手とゲームをする際、何が有効な情報なのかも判断しにくいいため自己の効用を増すためには価値観に基づいて意思決定をすることになる。そのような相手をマーケットと考えた場合、それに対峙するプレイヤーはおそらくマーケットというプレイヤーの明確な意思決定システムはわからないため、プレイヤーごとに異なって認識するものと思われる。同じ状況を異なって認識するプレイヤー間の相互作用が結果としてどのような振舞いを引き起こすのかを考察する。そして、そのような状況下で、プレイヤー同士の相互作用する規模の違いが全体にどのような影響を及ぼすのかを考察する。

キーワード ハイパーゲーム, 少数派ゲーム, 価値観

A Study on Behavioral Structure of Artificial Market based on Adaptive Hyper-game

Takahiro HAMADA[†], Hidenori KAWAMURA[†], Masahito YAMAMOTO[†], and Azuma OHUCHI[†]

[†] Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Japan.
Kita 13 Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, 060-8628 Japan

E-mail: †{hamada,kawamura,masahito,ohuchi}@complex.eng.hokudai.ac.jp

Abstract In generally, we often play a game against the entity, which we do not know what really is. In the case, the result of the game is often dependent on the scale of participant and the other players' strategies, but we may not get their information. And all we can know is the result. We are to investigate the player's behavior and the behavior as a whole of players in such the environment. So, we make a simple model to study the behavior of players when against the entity whose decision-making system is not clearly known to them.

Key words hypergame, minority game, sense of values

1. 動 機

近年、複数の適応的エージェントが互いに相互作用するエージェントベースのシミュレーションによって、社会的、生態的に複雑な現象を分析する事が期待されている。そのようなシミュレーションにおいて、重要な振舞いの一つがエージェント間の相互作用である。エージェント間の相互作用は創発現象を誘発するものとしてしばしば研究されている。ここでの創発現象とは「多数の要素がそれぞれ局所的な相互作用をすることによって、全体的な性質が生まれ、その全体的な性質が個々の要素の性質に影響を及ぼすような仕組みのこと」[1]である。エージェント間の相互作用が各々のシステムに独立に記述されている場合、その相互作用と創発現象の全体的な関係を分析する手法として、相互作用の積み重ねからなる創発現象を分析する方法であるゲーム理論が期待されている。ゲーム理論は、各エージェントの合理的な意思決定が相手に対する信念や期待に拠るような状況を分析する手法の一つである。

また、マルチエージェント環境の視点から見ると、それに関係するエージェントは多様で、かつ生じる結果に対して様々な選好を持っていることが仮定される。したがって、それらの間には共通の単一目標を想定し難い。そのため、それに関係するエージェントは試行錯誤的に行動を繰り返し、その過程で状況に関する知識を増やすという学習行動が不可欠となる[2]。このような環境の1つにトレーダー間の相互作用によって形成されるマーケットがある。

マーケットは、不特定多数の異なる目的、価値観を有するトレーダーたちによる意思決定が相互作用する場である。あるトレーダー1人の視点から市場を見ると、その市場への参加人数や自分以外のトレーダーはどのような価値観に従って、どのような意思決定を行うのかをすべて把握することは不可能である。したがって、一般的にはトレーダーはその市場で扱われている何らかの商品価値の動向、変動を市場全体の情報を集約したものとしてとらえて意思決定を行う。

本稿では、そのような価値観の錯綜する場であるマーケットをある1主体とみなし、1人のゲームプ

レイヤーとして扱う。このように考えた場合、そのプレイヤーに対峙するトレーダープレイヤーはおそらくマーケットプレイヤーの明確な意思決定システムはわからないため、プレイヤーごとに異なって認識するものと思われる。そこで、本稿では同じ状況を異なって認識するプレイヤー間の相互作用が結果としてどのような振舞いを引き起こすのかを考察する。そして、プレイヤー同士の相互作用の規模の違いが全体としてどのような影響を及ぼすのかを明らかにしたい。また、プレイヤー間に価値観の相違のある状況をハイパーゲームで記述し、ゲームを繰り返すことで他プレイヤーのマーケットに対する考え方を参考にして、自己の価値観を改善し状況に適応していく過程を遺伝的アルゴリズム[3]を用いて学習させる。

本稿では、単一のリスク資本を扱うような単純なマーケットモデルを構築し、そこでのプレイヤーの振舞いを分析する。各プレイヤーはマーケットとゲームをするものとする(図1参照)。マーケットに関する各プレイヤーはマーケットの戦略を、任意の2つの戦略としてとして考える。この戦略の内容はプレイヤーごとに異なるものを想定しているが、この2つの戦略に対して選好関係が存在する。各プレイヤーは自己の価値観に基づいて合理的に意思決定をする。ここで言う価値観を利得行列として扱い、ハイパーゲームを利用する。このようにして、プレイヤーの価値観の変化と全体としての振舞いの関係を考察する。

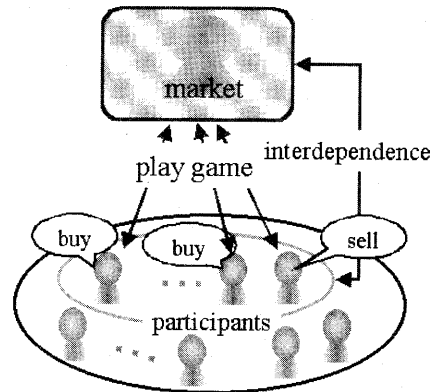


図1 プレイヤーから見たマーケットとの関係

本稿の構成は以下の通りである。第2章では、本稿

で扱うモデルの詳細について説明をするが、それに先立ってハイパーゲーム分析についても述べる。第3章では、シミュレーション結果を示し、かつそれについての考察を行う。第4章で結論を述べ、最後に第5章で結びとする。

2. シミュレーションモデル

本節では、マーケットとプレイヤーのモデルについて説明する。ここでのマーケットはある単一のリスク資本を扱っているような単純なマーケットを、プレイヤーは単に投機目的で意思決定を行うトレーダーを仮定している。まず初めに、ハイパーゲーム分析について説明をする。次に、マーケットモデルについての説明をする。本稿におけるマーケットはマーケットプレイヤーとして擬人化するが、マーケットプレイヤーの戦略とは、各トレーダープレイヤーによって異なるものであると認識している。具体的な戦略は明示的ではなく、なんらかの2つの戦略を有しているとみている。さらに、そのマーケットの中で行動をするプレイヤーの意思決定について述べる。ここでのプレイヤーの戦略は「売り」と「買い」の2つである。最後に、プレイヤーの進化手法について説明をする。

2.1 ハイパーゲーム分析

ハイパーゲーム分析はBennettによって考案された。これは複雑な決定状況を関与する意思決定主体の知覚、あるいは主観を考慮しながら分析し、その背後にある構造を明らかにすることを目的に提案された考察の枠組みである。その大きな特徴は、問題状況に関与している主体は、それぞれ異なった価値観をもっており、共通に関与している問題状況に対して異なる認識をするのは当然であると仮定している点である。つまり、意思決定主体はそれぞれ主観的な内部モデルを持っており、それに基づいて合理的に意思決定を行うと仮定する。すなわち、プレイヤーの主観的知覚の問題を体系的に扱えるように、ゲーム理論的枠組みを修正、拡張することを目的に提唱されたのがハイパーゲーム分析である。以上のように、ハイパーゲーム分析は通常のゲーム理論と異なって、すべてのプレイヤーは同じゲームを見ているとは仮定せず、各プレイヤーは以下のことを予

想してゲームを行う。

(1) 他のプレイヤーのとりうる戦略の集合

(2) プレイヤーが戦略をとる事によって生起する結果からプレイヤーが得るであろう利得

ハイパーゲーム分析では、プレイヤーの主観的内部モデルを利得行列として表現する。すなわち、各プレイヤーはそれぞれ独自の利得行列を構成し、それに従って合理的な意思決定を行うと仮定される[2][4]。また、以下にハイパーゲーム分析の有効な方向を示す[5]。

(1) 過去のある事象が起こった経緯を第三者的な分析者の立場から説明すること

(2) 複雑な意思決定状況における意思決定者の支援に利用

(3) 自律的意思決定主体からなるマルチエージェントシステムの分析に利用

本稿では、3番目の目的としてハイパーゲームを利用する。

2.2 マーケットモデル

ここでのマーケットは単一のリスク資本のみを扱うものである。その中で行動をするプレイヤーは各々の目的を内部モデルである利得行列に描き、それに基づいて自分の提示する戦略を決定する。ここでは各プレイヤーの意思決定にともなう注文量を一律1単位として、注文量の大小は考慮しない。プレイヤーは各々の価値観に基づいて合理的に意思決定を行う。

プレイヤー対マーケットというゲームの構図は、あるプレイヤーとゲームに参加しているそのプレイヤー以外の全てのプレイヤーを1人のプレイヤーに集約して、それとのゲームを行うものである[6][7]。したがって、マーケットにおけるプレイヤーのゲームは、プレイヤー間の間接的な相互作用とみなすことができる。この関係を図2に示す。

本稿では、1度のゲームに参加する人数をマーケットサイズと呼ぶことにする。以下にマーケットの詳細を記述する。

● マーケットに参加するプレイヤー数をN人とする

● 1回のゲームに参加するプレイヤー数、つまりマーケットサイズをSとする

● N人の中から、S人のグループをランダムに

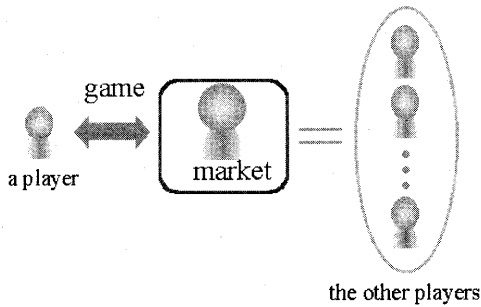


図2 実際のプレイヤー間の関係

つくる。このとき全てのプレイヤーは必ずどこかのグループに属していることになる

- それぞれのグループでゲームを行う、つまりプレイヤーが「売り」または「買い」を提示する、これを1ターンとする

- プレイヤー*i*の実際に得られる利得 f_i^p を以下のように定義する

$$f_i^p = 1.0 - \frac{m_i}{S} \quad (1)$$

ただし m_i は同じゲームに参加した*S*人中、自分の提示した戦略と同じ戦略を提示した人数である。つまり、自分の提示した戦略が少数派であるほど多くの利得を得ることができる少数派ゲームである。これは全ての人を満足させることができない点でマーケットの仕組みを表わしている。

- プレイヤー*i*からみた実際のマーケットの利得 f_i^o を以下のように定義する

$$f_i^o = \sum_{j=0, j \neq i}^S f_j^p / (S - 1) \quad (2)$$

ここでいうマーケットの利得とは同じゲームに参加している自分以外のプレイヤーの利得の平均のことを指す

- R*ターン繰り返すことで1世代とする、つまり各プレイヤーは1世代当たり*R*回ゲームを行う

2.3 プレイヤーの意思決定

プレイヤーの内部モデルを利得行列で表現する。プレイヤーの戦略は「売る」、「買う」の2通りであるが、マーケットのとりである2つの戦略はプレイヤー毎に異なるものをみている。そのマーケットの2つの戦略は、A、Bと表記するが、各プレイヤーは任意の戦略を想定する。利得行列の値は、自分と

マーケットの予想利得を表わすものである。プレイヤーが予想するマーケットの得であろう利得とは、実際には、同じゲームに参加する自分以外のプレイヤーの平均利得を示している。このように考えると、各プレイヤーが内部モデルとして持つ利得行列が異なるということは、マーケットに対する価値観が異なっていることを意味する。また、マーケットにおいて各プレイヤーが異なる利得行列を持っているということは、以下のようにも考えられる。

- 各プレイヤーが異なる情報を獲得した場合
 - 全てのプレイヤーが同一の情報を獲得したが、その情報に対して各々が異なる解釈をした場合
- 各プレイヤーは自分の価値観に基づいて合理的に意思決定するが、ここで言う合理的な意思決定とは自己の利得行列に対してナッシュ均衡解を提示することである。プレイヤーの利得行列を図3に示す。ただし $a \sim h$ は(0,1)の実数である。

| | | market | |
|--------|------|--------|-----|
| | | A | B |
| player | sell | a,e | b,f |
| | buy | c,g | d,h |

図3 プレイヤーの内部モデルとしての利得行列

2.4 進化プロセス

各プレイヤーの利得行列の値について、生物の遺伝とのアナロジーを基に遺伝的アルゴリズムにおける淘汰、突然変異を2つのオペレータによって進化を行う[8]。まず淘汰に関して、各プレイヤーは自己の価値観を示す利得行列と実際の結果がそぐわなかったプレイヤーは、より価値観と実際の結果にずれの少ないプレイヤーの利得行列を模倣する。具体的には、自己の利得行列と実際の結果の差から適合度を算出し、適合度に比例した確率で次世代に残ったり、他プレイヤーの価値観に入れ替わったりする。つまり、各プレイヤーはマーケットに対する価値観が適切で適合度が高ければそのまま変更することはなく、価値観と現実とのずれが大きくて適合度が低かった

場合には、高い確率で他プレイヤーの持つ適合度の高い価値観に入れ替える。こうして、生物学の淘汰のように、適合度に応じて様々な価値観のマーケット全体における頻度が変わる。具体的には、遺伝的アルゴリズムで使用するプレイヤーの適合度は次のように計算する。まず1ターンでの適合度 $fitness$ を以下のように定義する。ここで、 x, y はプレイヤーの内部モデルである利得行列から選択されたナッシュ均衡解であり、 x は自分が得るであろう利得、 y はマーケットが得るであろう利得を示している。

$$fitness_i = \frac{1.0}{(f_i^p - x)^2 + (f_i^o - y)^2 + 1.0} \quad (3)$$

として、1世代におけるプレイヤーの適合度は、

$$Fitness_i = \sum_{r=1}^R fitness_i^r \quad (4)$$

である。したがって、価値観と実際の結果とのずれが小さいプレイヤーほど、つまりマーケットをより理解できているプレイヤーほど適合度が高くなる。さらに、ここではボルツマン選択を使用するので、淘汰のために用いられる適合度は、

$$Fitness'_i = \exp(\beta * Fitness_i) \quad (5)$$

となる。ただし、 β は選択圧である。

突然変異については、プレイヤーが独自に自分の価値観を変えることとみなすことができる。各プレイヤーはある確率で自分の利得行列の値を一部変更する。

以上のような進化の結果、各プレイヤーは新たな価値観を取り入れて、または見出して次世代へと進む。

3. 結果と考察

表1にあるパラメータ設定でシミュレーションを行う。以下ではまず、それぞれのマーケットサイズにおいて20試行の統計データを示し、さらにマーケットサイズが2の場合の1例について示す。

3.1 マーケットサイズが異なる場合

図4, 5, 6, 7, 8はそれぞれマーケットサイズが2, 4, 8, 12, 24の場合のプレイヤーの適合度の平均を表わしたグラフである。また、図9はそれぞれ

| Generation | 1000 |
|---------------|-----------------|
| N | 24 |
| S | 2, 4, 8, 12, 24 |
| R | 10 |
| β | 0.05 |
| Mutation rate | 0.01 |
| Trial number | 20 |

のマーケットサイズにおけるプレイヤーの適合度の分散を示している。縦軸はそれぞれの値を、横軸は世代を示している。これより、マーケットサイズが2の場合は明らかに世代とともにプレイヤーの適合度が上がっている。またマーケットサイズが4の場合もやや上がっているといえる。しかし、それ以上のマーケットサイズでは適合度が振動しているだけで世代とともに上昇しているとはいえない。つまりマーケットサイズがある程度大きくなると、1回のゲームから得られる情報が多くなるので、それによって進化していくとマーケットに対する価値観と実際の結果とのずれが世代の初めの頃から小さく抑えられる。しかしマーケットサイズが小さいと、1回のゲームから得られる情報が少ないのでマーケットに対する価値観と実際の結果とのずれを小さくするには、サイズが大きい時に比べて試行錯誤が必要となる。したがって、マーケットサイズが小さい方が適合度が上がる余地がある。また適合度の分散を見てみると、世代の初期の方ではばらつきが大きく世代が進むに連れてばらつきが小さくなっていくのが見られる。これは各プレイヤーがおよそ同じ適合度、つまり価値観と実際の結果とのずれが同じ程度に近づいていることがわかる。

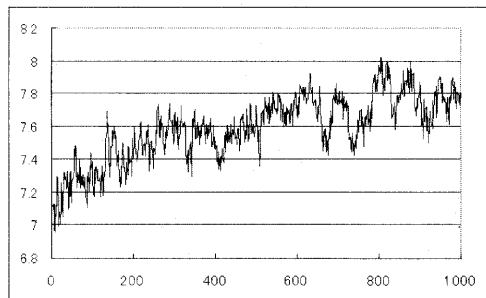


図4 マーケットサイズが2の場合のプレイヤーの適合度の平均

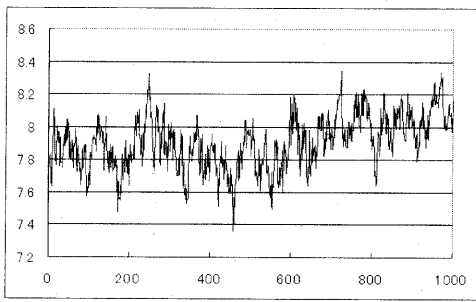


図5 マーケットサイズが4の場合のプレイヤーの適合度の平均

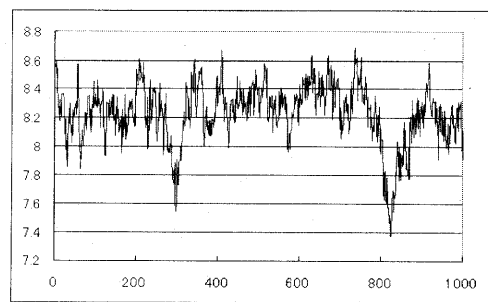


図8 マーケットサイズが24の場合のプレイヤーの適合度の平均

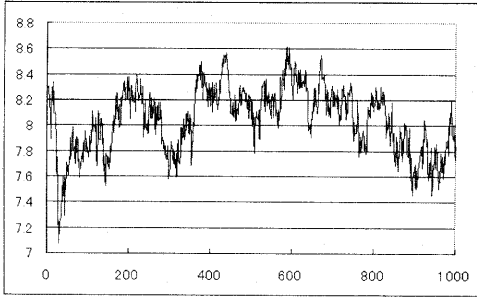


図6 マーケットサイズが8の場合のプレイヤーの適合度の平均

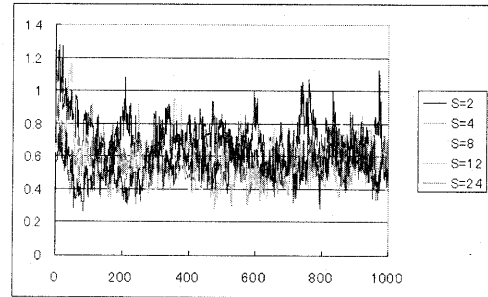


図9 各サイズにおけるプレイヤーの適合度の分散

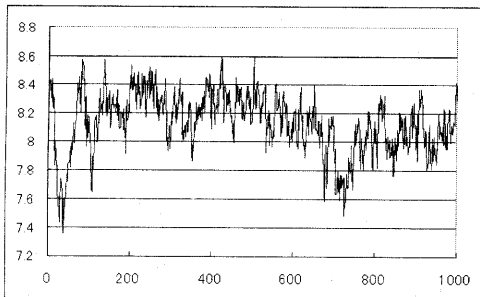


図7 マーケットサイズが12の場合のプレイヤーの適合度の平均

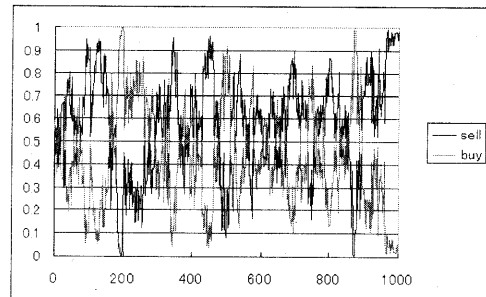


図10 戦略の割合

3.2 マーケットサイズが2の場合の1例

図10は、各世代のプレイヤーが提示した「売り」、 「買い」の割合を横軸に世代数をとって表わしたものである。自己の価値観の修正に試行錯誤しているために、それに基づく戦略の提示も変化していることを示している。

図11は、図3の利得行列をもとに以下の4つの戦略に場合分けした時、各世代においてプレイヤーが何処に合理的な解をみているのかということの割合

を表わしている。図10では「売り」、「買い」の割合のみを示したが、この図より、各プレイヤーがマーケットをどのような認識をして戦略を提示したのかがうかがえる。

pattern 1 相手（マーケット）が戦略Aを提示する
と考えたので、自分は「売り」を提示する

pattern 2 相手（マーケット）が戦略Bを提示する
と考えたので、自分は「売り」を提示する

pattern 3 相手（マーケット）が戦略Aを提示する
と考えたので、自分は「買い」を提示する

pattern 4 相手（マーケット）が戦略 B を提示すると考えたので、自分は「買い」を提示する

図 12 は各世代でのプレイヤーの適合度の平均を示している。また、図 11 から 1000 世代付近では、異なる価値観を持つプレイヤーが「pattern 1」を見ているプレイヤーが増大している。ただし、これはマーケットがとるであろう戦略 A はプレイヤーごとに異なる解釈をしていることを仮定している。世代が進むに連れて、プレイヤーの価値観と現実の結果とのずれが小さくなっているのがわかる。

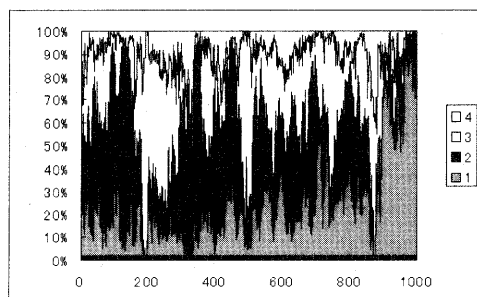


図 11 提示した戦略の割合

図 12 からは、世代をおうごとに少しずつ価値観が修正されていることがわかる。

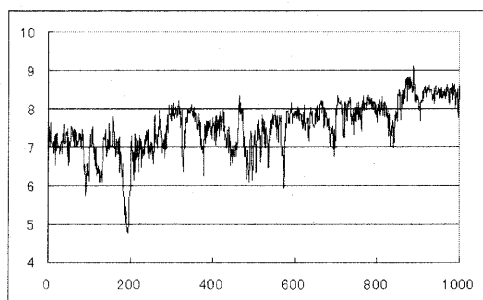


図 12 プレイヤーの適合度の平均

4. 結 論

各プレイヤーは遺伝的アルゴリズムによって、より高い適合度が得られるであろう価値観を得るために、つまり現実とのずれの少ない価値観を得るために、他のプレイヤーのそれを模倣したり、変化させたりしている。マーケットサイズが小さい時、つまり 1 回のゲームに参加する人数がプレイヤー集団全体に比べて小さい時、その 1 回の相互作用から得られ

るマーケットに対する情報が局所的であるため、それに合わせようと各プレイヤーが互いに価値観を修正していこうとするので、局所的な試行錯誤の結果、少しずつ価値観と現実とのずれが小さくなっていく。しかし、マーケットサイズが大きい時は、進化が進んでも適合度が高くないのは、ゲームに参加してプレイヤー間でより正確にマーケット状況を認識しようとするのであるが、そこから得られる情報が全体に対して大きな割合を占めているので、価値観の修正のための時間がそれほど必要なくなる。したがって進化の初期の段階で、価値観と現実とのずれが修正されるものと思われる。

マーケットにおける個々のプレイヤーの価値観が修正されるとそれを参照する各自の意思決定が変化し、プレイヤーで構成されるマーケット全体の振舞いが影響を受ける。プレイヤーが相互作用する相手の人数の規模をマーケットを通して集められた情報の規模と考えると、プレイヤーの価値観の漸進的な進化のためには、プレイヤー同士が密に関わるのではなく、ある程度のゆるさを保って関わる必要がある。

実際のマーケットを見ても、トレーダーは自分が意思決定する際にどれだけの他のトレーダーが参加してくるのかは知ることができないし、そもそもそのマーケットに関わっているトレーダーの人数など知る由もない。そのような場ではトレーダー同士はゆるい相互作用を維持している中で自己の価値観を漸進的に修正しているものと思われる。

5. 終わりに

本稿では、マーケットにおけるトレーダープレイヤーの意思決定を、プレイヤーとマーケット間のゲームとみなしたモデルにおいて、プレイヤーの振舞いと全体としての振舞いの考察を行った。自己の価値観と実際のマーケットの結果のずれを修正していく程度とプレイヤーが相互作用する相手の規模の関係を示した。

本稿では、1 回のゲームから得られる利得の範囲がマーケットサイズによって異なるものであった。それが適合度の計算において何らかの誤差を含んだものとなっていることが考えられる。今後はこのよう

なことにも着目して分析を進めていきたい。

文 献

- [1] 伊庭 崇, 福原 義久, 複雑系入門, "創発現象", p.9
NTT 出版, 東京, 1998.
- [2] 木嶋 恭一, ドラマ理論への招待, オーム社, 東京,
2001.
- [3] 伊庭 齊志, 進化論的計算の方法, 東京大学出版, 東京,
1999.
- [4] 高原 真吾, マルチメディア社会システムの諸相, 高木
晴夫, 木嶋 恭一 (編), pp.153-176, 日科技連出版社, 東
京都, 1997.
- [5] 高原 真吾, "ハイパーゲーム分析," オペレーション・
リサーチ, 2001年, 2月号, vol.46, pp.73-78, 2001.
- [6] 生天目 章, "戦略的相互作用とマイクロ・マクロ・ルー
プの自己組織性," セルオートマトン・シンポジウム
講演論文集, A105, pp.30-35, Nov, 2001.
- [7] 生天目 章, マルチエージェントと複雑系, 森北出版,
東京, 1998.
- [8] 和泉 潔, 植田 一博, "人工市場アプローチによる為替シ
ナリオの分析," 情報処理学会研究報告 2000-ICS-119,
Vol.99, pp1-8, 2000.