

人工市場における価格学習エージェント群の 情報解釈と市場のマクロ構造に関する研究

兼平 大輔[†] 川村 秀憲[†] 車谷 浩一^{††} 大内 東[†]

[†] 北海道大学工学研究科

〒 060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目

^{††} 産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター

〒 135-0064 東京都江東区青海 2-41-6

E-mail: †{kanehira,kawamura,ohuchi}@complex.eng.hokudai.ac.jp, ††kurumatani@w-econ.org

あらまし 2001 年 4 月 16 日, 皇太子妃のご懐妊に関する情報が育児関連用品株を急騰させた. 各会社の価値に関係しない情報がその企業の株価を押し上げたのである. これは情報を受け取ったトレーダーの情報の解釈が影響していると考えられ, この現象を理解するためには, トレーダーの情報の解釈と市場の関係を明らかにする必要がある. そこで本稿では, 情報解釈と異なる 2 種類のエージェントを作成し, マルチエージェント人工市場を構築し, その市場構成比を変えシミュレーションを行った. また, 情報解釈の違いと市場のマクロな構造の関係について, 相関次元分析を用いて市場の複雑さを計測した. その結果, 構成するエージェントの情報解釈と, 市場の複雑さに関係があることが明らかになった.

キーワード 人工市場, マルチエージェント・シミュレーション, 情報解釈, 相関次元分析, X-Economy

A study on the relationship between the information interpretation of learning trader and macro-structure of artificial market

Daisuke KANEHIR[†], Hidenori KAWAMURA[†], Koichi KURUMATANI^{††}, and Azuma OHUCHI[†]

[†] Graduate School of Engineering, Hokkaido University

N13, W8 kita-ku, Sapporo, 060-8628 Japan

^{††} Cyber Assist Research Center,

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Aomi 2-41-6, Koto-ku, Tokyo, 135-0064 Japan

E-mail: †{kanehira,kawamura,ohuchi}@complex.eng.hokudai.ac.jp, ††kurumatani@w-econ.org

Abstract This paper describes the research about a relationship between complexity of information structure and behavior of artificial market with learning trader agent. We attempt three experiments with two kinds of traders, and adopt correlation dimension analysis in order to measure behavior of artificial market. As a result, we show the information structure is related with the macro behavior of market although the information is not related with the essential worth of the stock.

Key words Artificial Market, Multi-Agent Simulation, Information Interpretation, Correlation Dimension Analysis, X-Economy

1. はじめに

2001年4月16日の正午すぎ、それまで目立った取引もなく停滞していた株式市場に、『皇太子妃雅子様にご懐妊の兆しが見られる』というニュースが飛び込んできた。すると、午後の取引では、育児関連用品銘柄が急騰するという現象が起こった[1]。さらにその一ヵ月後の『ご懐妊正式発表』というニュースが報道された際も、同様に育児関連用品銘柄の上昇という現象が見られた[2]。

この『ご懐妊』という情報は、育児関連用品会社の業績とは無関係であり、その株式の価格には影響を与えないと考えるのが自然であるが、この現象が2度も確認されていることから、これは偶然ではなく、明らかに『ご懐妊』という情報が、各育児関連用品株を上昇させたと考えられる。

しかし、このような現象は、「効率的市場仮説」などに代表される経済学の理論では十分な説明できない。なぜならば、この理論の概要は

(1) 全てのトレーダーは、市場に影響を与える全ての情報を迅速かつ適切に入手し、価格の予測を行う。

(2) その予測に基づき取引が行われる市場では、その価格は現在までに利用可能な情報を反映している。

(3) そのため、価格は予測不能の新規の情報によってのみ変動するランダムウォークになる。

というものであるが、現実の市場を考えると、確かにグローバル化や情報化、ハイテク化などにより情報の伝達速度は上昇しており、市場の効率性は高まりつつあるが、トレーダー間の情報収集・理解能力や、投資資金や投資期間などに違いがあり、トレーダーは異質で、市場が完全に効率的になることはないと理解するのが妥当である。

また、この理論はトレーダーが市場に影響を与える情報を入手することのみに焦点が当てられており、その解釈の仕方については、トレーダーの間に共通で普遍的な解釈があることが暗に仮定されている点も適切ではないと思われる。

そこで、本稿では、市場の振る舞いと情報解釈の関係を以下のように捉える。この世の中は数え切れないほどの情報が存在し、その情報をどう解釈するかも決まっていない。また、トレーダーは異質であり情報の解釈や価格の予測は異なっている。

その中では、トレーダーの情報を解釈し価格を予測するというミクロな行動が、市場の価格変動というマ

クロな振る舞いを引き起こしている。このようなことから、先のような現象を理解するためには、ミクロなトレーダーの情報解釈とマクロな市場構造の関係を明らかにする必要がある。

しかし、「効率的市場仮説」などの理論では前述の理由からこの関係を明らかにするためには不十分である。そこで、新しいアプローチとして最近注目を集めているエージェントベースシミュレーションによる人工市場の研究[3][4]を本稿でも取り入れることにする。

以上より本稿の目的は、無数にある情報を統一的に抽象化し、その抽象化された情報を解釈し価格の予測を行うエージェントと呼ばれるコンピュータープログラムを作成し、このエージェントが複数存在し取引を行うマルチエージェント人工市場モデルを構築することであり、エージェントの情報解釈の特性の違いが市場のマクロ構造に及ぼす影響について分析することである。

2. 市場構造の設定—共通解釈エージェントと個別解釈エージェント

本稿で構築した人工市場モデルは模式的に図1のように表される。

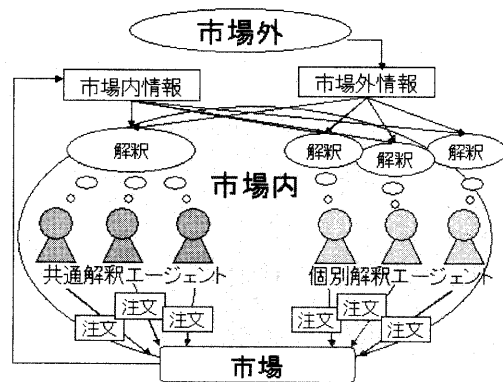


図1 市場の概要

このモデルにおけるエージェントは、リスク資産と無リスク資産を所有している。リスク資産とは、市場での取引によりその価値が変動する資産であり、無リスク資産とは、価値の変動がない資産である。このリスク資産についてエージェントは、1期毎に注文価格と注文量で構成される売りもしくは、買いの注文を出す。もし、売りの注文ならば注文価格は、エージェントがリスク資産を売却しようとする価格の下限を

表わしており、逆に買いならば購入しようとする価格の上限を表わしている。エージェントは、様々な情報を解釈し、そこからリスク資産の価格を予測し、より多くの利益を得るために積極的に取引を行おうとする。

また市場には、エージェントからの売買の注文が集まり、需要量と供給量が均衡する価格に約定価格となる(図2)。このとき、取引量は最大になる。

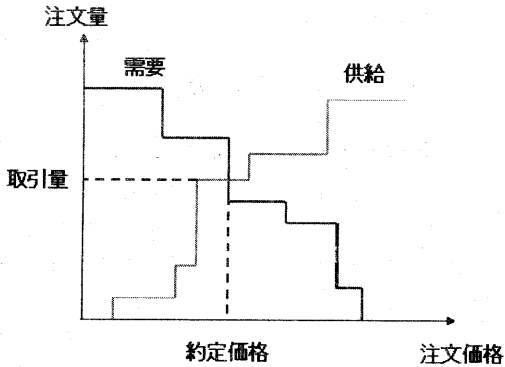


図2 需要量と供給量の均衡による約定価格の決定例

2.1 エージェントが利用可能な情報

本稿で構築した人工市場モデルにおけるエージェントは、リスク資産の価格を予測し注文を出す、このとき予測に用いられる情報は市場内情報と市場外情報の2種類に分けられる。

2.1.1 市場外情報

市場外情報とは、市場の外で発生する情報である。しかし現実には、この情報は無数に存在し発生タイミングもわからないので、モデルに導入するにあたり、その内容は考慮せず統一的に扱い、2ビット(00,01,10,11)の中からランダムに選ばれる値とする。

エージェント n がこの市場外情報を解釈した結果は、2ビットの値 i_1^t, i_2^t で表現される。

2.1.2 市場内情報

市場内情報とは、材料のうち市場での取引の結果生じるものであり、テクニカル指標などがこの市場内情報にあたる。現実の市場では、多くのトレーダーがこのテクニカル指標を用いて取引を行っているといわれている。

この情報も無数に考えられるので、本稿では、約定価格、その中期と長期の移動平均、そして取引量の4

種類に限定し、8ビットの値で表現する。

市場内情報に対する全エージェントの解釈は同じであり、8ビットの市場内情報の値をそのまま解釈の結果 $i_3^t, i_4^t, \dots, i_{10}^t$ として予測に用いている。

具体的な市場内情報の内容は、 t 期の約定価格、取引量、中期の移動平均と長期の移動平均をそれぞれ $p_t, v_t, middleMA_t, longMA_t$ と表すならば、8ビットの値はそれぞれ以下の条件を満たせば1、満たさなければ0の値をとる。

i_3 : $t-1$ 期の価格 p_{t-1} が $t-2$ 期の価格 p_{t-2} より高い。

i_4 : $t-1$ 期における中期移動平均 $middleMA_{t-1}$ が $t-2$ 期における中期移動平均 $middleMA_{t-2}$ より高い。

i_5 : $t-1$ 期における長期移動平均 $longMA_{t-1}$ が $t-2$ 期における長期移動平均 $longMA_{t-2}$ より高い。

i_6 : $t-1$ 期の価格 p_{t-1} が $t-1$ 期における中期移動平均 $middleMA_{t-1}$ より高い。

i_7 : $t-1$ 期の価格 p_{t-1} が $t-1$ 期における長期移動平均 $longMA_{t-1}$ より高い。

i_8 : $t-1$ 期における中期移動平均 $middleMA_{t-1}$ が $t-2$ 期における長期移動平均 $longMA_{t-2}$ より高い。

i_9 : $t-1$ 期における長期移動平均 $longMA_{t-1}$ が $t-2$ 期における中期移動平均 $middleMA_{t-2}$ より高い。

i_{10} : $t-1$ 期の取引量 v_{t-1} が $t-2$ 期の取引量 v_{t-2} より多い。

2.2 市場に存在するエージェント:共通解釈,個別解釈

本稿で用いるエージェントは、市場内・市場外情報からリスク資産の価格を学習するエージェントであり、シグナルとして抽象化された市場外情報の解釈の特性の違いから2種類のエージェントに分類される。一方は共通解釈エージェントであり、もう一方は個別解釈エージェントである。この2種類のエージェントについて以下で詳しく説明する。

2.2.1 共通解釈エージェント

共通解釈エージェントとは、市場外情報の解釈が全員同じエージェントのことであり、2ビットの市場外情報を解釈した結果 i_1^t, i_2^t が常に同じ値になるエージェント群のことである。具体的には、共通解釈エージェント n は、提示される2ビットの市場外情報の値

を、そのまま解釈の結果 i_1^i, i_2^i としている。

つまり、このエージェントの間には、普遍的な解釈が存在することになる。

2.2.2 個別解釈エージェント

個別解釈エージェントとは、市場外情報の解釈が(偶然同様の解釈をすることはあるが,)異なるエージェントのことであり、市場外情報を解釈した結果 i_1^i, i_2^i が異なる値になるエージェント群のことである。具体的には、個別解釈エージェント n は、提示される2ビットの市場外情報の値を用いず、このエージェント n が各々発生させた2ビット(00,01,10,11)のランダムな値を解釈の結果 i_1^i, i_2^i としている。

つまり、このエージェントの間には、普遍的な解釈は存在せず、みな独自の解釈することになる。

2.2.3 エージェントに共通する意思決定アルゴリズム

意思決定のアルゴリズムは両エージェントに共通し、これを資産量最適指向アルゴリズムと呼ぶ。エージェント n は市場内・市場外の情報をそれぞれ解釈し、その解釈 $I^n = (i_1^n, i_2^n, \dots, i_{10}^n)$ から次期のリスク資産の価格変動率 a_t^n を予測する。さらに、エージェントは、その予測値から導かれる注文量 o_t^n と価格 s_t^n で注文を出力した後、予測の更新を行なう。エージェント n のこの意思決定アルゴリズムは以下のような手順である。

- (1) 提示された市場内・市場外の情報の解釈 I^n を行う。
- (2) 解釈 I^n から次期のリスク資産の価格変動率 a_t^n を予測する。
- (3) 価格変動率 a_t^n から価格変動の値 y_t^n を計算する。
- (4) 予測価格変動値 y_t^n から最適なリスク資産の保有量 q_t^n を計算する。
- (5) 予測価格変動値 y_t^n から予測価格を求め、これを注文価格 s_t^n とする。
- (6) 最適なリスク資産保有量 q_t^n と現在のリスク資産保有量 q_t^n との差から注文量 o_t^n を計算する。
- (7) o_t^n の値が正ならば価格 s_t^n 、注文量 o_t^n の買いの注文を、負ならば価格 s_t^n 、注文量 $-o_t^n$ の売りの注文を出す。
- (8) 実際に成立した約定価格 p_t から、予測方式の値の更新を行う。
- (9) (1)に戻り、シミュレーションの終了まで繰り返す。

2.3 実験の設定と種類

実験は共通解釈エージェントと個別解釈エージェントを用い、以下の3種類の設定で行なった。

- 設定1:共通解釈エージェントのみからなる市場(共通解釈エージェント数 100)
- 設定2:共通解釈エージェントと個別解釈エージェントが混在する市場(共通解釈エージェント数 50, 個別解釈エージェント数 50)
- 設定3:個別解釈エージェントのみからなる市場(個別解釈エージェント数 100)

3. エージェントの意思決定

3.1 情報の提示と解釈

エージェントには、 t 期の始まりに市場内・市場外の情報が提示される。エージェント n はその提示された情報をそれぞれ解釈する。その解釈の結果は10ビットのストリング $I^n = (i_1^n, i_2^n, \dots, i_{10}^n)$ で表される。このストリングの最初の2ビット i_1^n, i_2^n は市場外情報の解釈を表す。また、残りの8ビット $i_3^n, i_4^n, \dots, i_{10}^n$ は市場内情報の解釈を表す。

共通解釈エージェントは普遍的な解釈を共有するので、 I^n の各ビット $i_1^n, i_2^n, \dots, i_{10}^n$ は常に同じ値になる。逆に、個別解釈エージェントは、個別に解釈するので、 I^n の中のビット i_1^n, i_2^n が異なる値になる。

3.2 価格変動値の予測

エージェント n は、情報の解釈の結果得られた $I^n = (i_1^n, i_2^n, \dots, i_{10}^n)$ のストリングを入力とし、クラシファイア [8] に似たモデルを用いて価格変動率を予測する。

このクラシファイア m は、(0,1,#)の値を取る10ビットのストリング $(j_1^{n,m}, j_2^{n,m}, \dots, j_{10}^{n,m})$ からなるコンディション部分と、 $a_t^{n,m}(j_0^{n,m}, j_1^{n,m}, \dots, j_{10}^{n,m})$ と表される予測価格変動率部分で構成されている。(このクラシファイアはエージェントごとにランダムな値で初期化された状態で生成される)

クラシファイアを用いた t 期の予測は、まず、

$$i_k^n = j_k^{n,m} \text{ or } j_k^{n,m} = \# \quad (k = 1, 2, \dots, 10) \quad (1)$$

が成り立つクラシファイア m の予測価格変動率が選ばれる。もし式(1)を成り立たせるクラシファイア m が存在しないならば、ランダムな値に初期化されていた予測価格変動率が選ばれる。

次に、予測価格変動率 $a_t^n(j_0^{n,m}, j_1^{n,m}, \dots, j_{10}^{n,m})$ が決定したならば、その値から以下の式のように t 期の価格変動値 y_t^n を求める。

$$y_t^n = a_t^{n,m} (j_0^{n,m}, j_1^{n,m}, \dots, j_{10}^{n,m}) \cdot p_{t-1} \quad (2)$$

例えば、今回の入力が入力 (0111010001) であり、あるエージェントの入力と一致したクラシファイア m のコンディション部が (#####0#####), 予測価格変動率 $a_t^{n,m}$ (#####0#####) が 0.25 ならば、そのエージェントは、「現在の状況では、『長期の移動平均が下降している』という情報だけが重要で、他のビットが表す情報は重要ではない」と考え、また「 $t-1$ 期のリスク資産の価格を p_{t-1} とするならば、 t 期の価格変動値 y_t^n は $0.25 \cdot p_{t-1}$ になるであろう」という予測を行っていることになる。

3.3 最適ナリリスク資産保有量

式 (2) のように、予測価格変動値 y_t^n を求めたならば、 t 期の最適ナリリスク資産保有量 \hat{q}_t^n は以下のようになる

$$\hat{q}_t^n = \text{round}\left(\frac{y_t^n}{\lambda^n \cdot \sigma_t^{n,m}}\right) \quad (3)$$

ここで、 $\text{round}()$ は、実数を四捨五入し整数にする関数であり、 $\sigma_t^{n,m}$ は t 期におけるエージェント n のクラシファイア m による予測価格変動率の分散を表しているが、本稿では常に 1 とする。また、 λ^n は危険回避度であり、エージェントはこの値が小さいほど、危険が高くてもより多くの利益を挙げようとする。すなわちイリスク・ハイリターンの傾向が強いエージェントになる。逆にこの値が大きいほど、得られる利益が少なくなるかもしれないが、取引の危険を回避しようとする。すなわちローリスク・ローリターンの傾向が強いエージェントになる。

3.4 注文価格・注文量の決定

つぎに注文価格 s_t^n と注文量 o_t^n を決定する。本稿では、エージェントの注文価格には予測価格を用いることにする。注文価格 s_t^n は、予測価格変動値 y_t^n が式 (2) より求まっているので $t-1$ 期の約定価格 p_{t-1} を用い、

$$s_t^n = y_t^n \cdot p_{t-1} \quad (4)$$

と表される。また、注文量 o_t^n は現在持っているリスク資産の量を q_{t-1}^n とすると、

$$o_t^n = \hat{q}_t^n - q_{t-1}^n \quad (5)$$

となり、 o_t^n の値が正ならば価格 s_t^n 、注文量 o_t^n の買の注文を、負ならば価格 s_t^n 、注文量 $-o_t^n$ の売りの注文を出す。

3.5 予測の更新

式 (2)~(5) のように各エージェントは独自の予測を行い、市場に注文を出す。市場には、そのようなエージェントからの注文が集約され、板寄せ方式により約定価格 p_t を決定する。この約定価格 p_t を用いて、エージェント n は予測に用いたクラシファイア m の予測価格変動率の値 $a_t^{n,m}$ の更新を行う。

予測更新には、強化信号 r_t を用いる。この強化信号 r_t は $t-1$ 期と t 期の約定価格の変化率となり

$$r_t = \frac{p_t - p_{t-1}}{p_{t-1}} \quad (6)$$

のように表される。

さらに、 $a_t^{n,m}$ の更新は以下の式のように、 r_t を用いて 1 期毎に行われる。

$$a_{t+1}^{n,m} = \gamma^n \cdot a_t^{n,m} + (1 - \gamma) \cdot r_t \quad (7)$$

ここで、 γ^n は [0 1] の定数であり、この値が小さいほど、エージェントは予測を激しく更新し、逆に値が大きいほど、エージェントは予測をゆっくりと更新する。

4. 実験結果

市場を構成するエージェントの違いが、表 1 ように流動性の異なる 2 種類の市場のマクロ構造に及ぼす影響を調べるため、共通解釈エージェントと個別解釈エージェントの 2 種類のエージェントによる市場の構成割合を変化させそれぞれ 1000 期間のシミュレーションを行なった。

表 1 2 種類の実験

| 実験 1 | 実験 2 |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 流動性がない (エージェントの入れ替わりがない市場) | 流動性がある (エージェントの入れ替わりがある市場) |
| 価格がつかなくなるまでの期間の比較を行う | 市場のマクロな構造の複雑さの計測を行う |

ここで、実験 1: 流動性のない市場とは、試行中にエージェントの入れ替わりがなく試行の最初から最後まで同じエージェントが参加している市場である。逆に、実験 2: 流動性のある市場とは、試行中にエージェントの入れ替わりがあり、取引に参加しなくなったエージェントが、新たなエージェントと交代する市場である。まず実験 1 で、エージェントは価格変動を予測するがその予測が収束するまでにかかる期間を比較する。次に実験 2 では、エージェントの種類の違いにより市場のマクロ構造の変化を、相関次元分析という手法を用いて計測する。

さらに、3種の設定は以下のような市場の違いを表している。設定1は市場外の情報に対して普遍的な解釈を行うエージェントのみからなる市場が構成されており、設定3は市場外の情報に関して普遍的な解釈がなく、個別に情報の解釈を行い、その解釈から予測を行うエージェントのみで構成されている市場である。そして、設定2では、普遍的な解釈で価格の予測を行っているエージェント群もいれば、個別に情報の解釈をし、そこから予測を行うエージェント群もいるという市場である。

本稿の人工市場を X-Economy システムを用いて実装し [5] [6] [7] シミュレーション実験を行った。

表2 実験で使用したパラメータの値
 $rand(a, b)$ は実数 $[ab]$ の一様乱数を返す関数

| | |
|-------------------|------------------|
| 市場に参加しているエージェント数 | 100 |
| エージェントが持つクラシファイア数 | 200 |
| シミュレーション期間 | 4000 |
| γ^n | 0.5 |
| $\sigma_t^{n,m}$ | 1.0 |
| $1/\lambda^n$ | $rand(0,10.0)$ |
| α_0^n | $rand(-0.1,0.1)$ |

4.1 実験1:市場を構成するエージェントの種類と価格予測の収束時間の関連

本実験で用いたエージェントはランダムに生成されたコンディションからなる意思決定システムを持つてはいるが、式(7)のように全エージェントが同じ強化信号 r_t に従ってパラメータを変化させるので、クラシファイアの予測価格変動率が全エージェントで同じような値に収束していき、ある状況では売り・買いのどちらかに注文が偏り、市場価格が決定しなくなってしまうことが予測される。

そこで、まず実験1として表2のパラメータで、価格予測の収束までにかかった日数を測定した。表3は、市場価格が決定しなくなるまでにかかった日数の20試行での平均値を示している。この結果から、共

表3 市場価格が決定しなくなるまでの平均日数

| | 平均日数 |
|---------------------------------------|--------|
| 設定1:共通解釈エージェント数 100 | 448.75 |
| 設定2:共通解釈エージェント数 50, 個別解釈エージェント数 50 | 506.40 |
| 設定3:個別解釈エージェント数 100 | 652.05 |

通の解釈をするエージェントが多いほうが、市場価格が決定しなくなるのが早いことがわかる。市場価格が決定しないということは、全エージェントの予想が収束し注文が売り又は買いのみになるということであ

る。このことから、市場において共通の解釈をしているエージェントが多いほど、コンセンサスの形成が早いと思われる。

4.2 実験2:エージェントの種類による市場のマクロ構造の変化の分析

実験1と同様に表2のパラメータでエージェントの入れ替わりがある流動性のある市場を構築し、実験を行った。その結果の例が図3~5であり、x軸はシミュレーション期間、y軸はその時に成立した約定価格である。この図は設定1,2,3の価格の推移の例を示しているが、この図だけでは、設定の違いによる市場のマクロ構造の変化を捉えることができない。

そこで、この市場のマクロ構造を分析するために、相関次元分析という手法を導入する [9] [10]。和泉は、人工市場の複雑さの計測に相関次元を導入し、価格の予測に自己回帰和分平均移動を用いたエージェント群から成る市場の複雑さを分析している [11] [12]。本研究は、エージェント群の学習と価格予測により幅広い情報を用いたものとなっている。

相関次元分析とは、時系列に次元の埋め込み (Takens の埋め込み) を行い、その時の相関次元 (フラクタル次元) を埋め込む次元を変えながら計測するという手法である。

このとき相関次元は、埋め込まれた次元に投影されたアトラクタを表している。そこでもし時系列データがアトラクタを持つような決定論の時系列であるならば、その埋め込む次元を増やしていく過程で相関次元が飽和する。また、ランダムウォークのような確率論の時系列ならば、どの次元に埋め込まれてもその空間に一樣に広がるので相関次元は埋め込み次元と共に増加する、という特徴を持っている。

さらに、縦軸を相関次元、横軸を埋め込み次元の対数表示のグラフで表した際には、相関次元が上に凸であれば決定論的でありその時系列に何らかの構造が存在するので、飽和した次元で記述でき、逆に下に凸であれば確率論的であり埋め込まれた空間に広がり、構造が見られないということになる [9]。

20試行の市場価格の推移に相関次元分析を施した結果は図6~8で表される。このグラフ中のx軸は埋め込み次元の対数表示であり、y軸は相関次元である。

まず、設定1ではその相関次元の平均値は図6より、下に凸となっていることから、情報の解釈を共有するエージェントのみで構成された市場での価格は確率論的な時系列であるということがわかる。

つぎに、設定3の市場は個別に情報の解釈を行なう

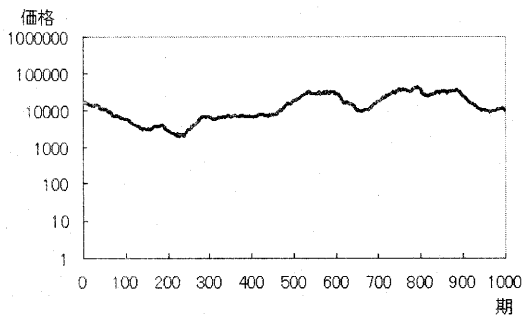


図3 実験2-設定1の価格変動例
x軸はシミュレーション期間,y軸は約定価格

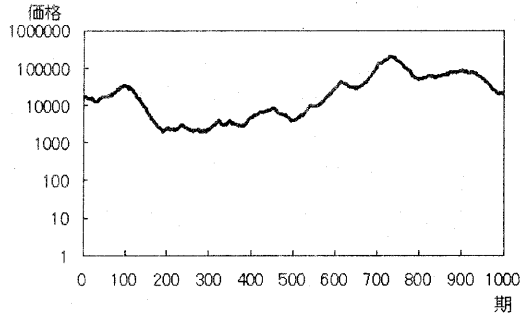


図4 実験2-設定2の価格変動例
x軸はシミュレーション期間,y軸は約定価格

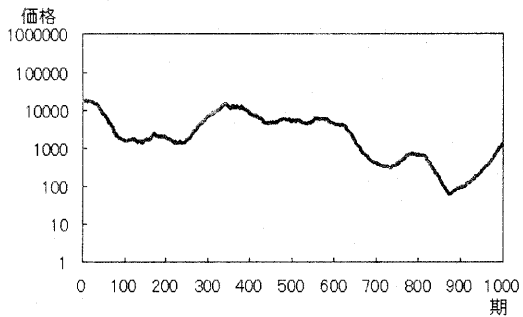


図5 実験2-設定3の価格変動例
x軸はシミュレーション期間,y軸は約定価格

エージェントのみからなっている場合であるが、このときの相関次元の平均値は図8より、上に凸となっており約5次元で飽和している。このことから設定3の市場価格の過程は、構造をもっており、決定論的に表現できる時系列であるということがわかる。言い換えると、この設定の市場構造は5次元の力学系で記述できるということである。

これらの結果から、以下の結論が導かれる。設定1のように全トレーダーの間で情報に普遍的な解釈

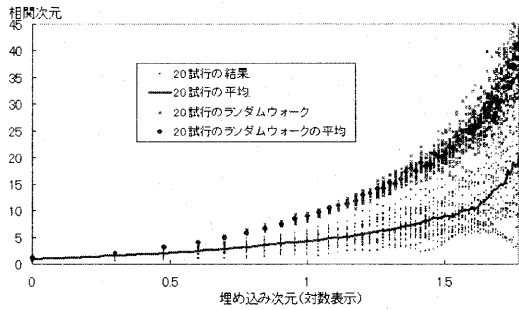


図6 設定1の結果
x軸は埋め込み次元の対数表示,y軸は相関次元

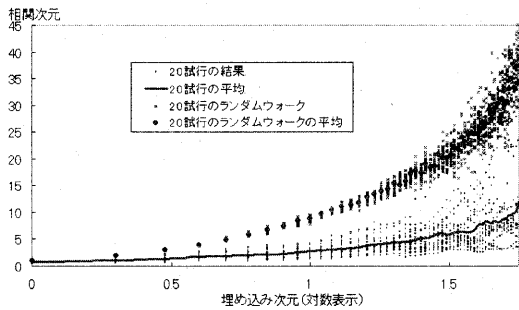


図7 設定2の結果
x軸は埋め込み次元の対数表示,y軸は相関次元

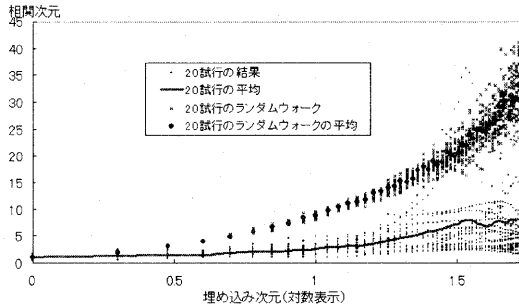


図8 設定3の結果
x軸は埋め込み次元の対数表示,y軸は相関次元

が存在するならば、トレーダーは等しく情報と市場構造の関係を学習する。このとき、市場の振る舞いは、ランダムに変化する市場外情報を反映している。逆に、設定3のように普遍的解釈が存在せず、各トレーダーが個別に市場外情報を解釈するならば、学習により市場外情報と市場の関係を見出すことは不可能であり、トレーダーは、市場内情報を主に予測に用いることになる。このとき、市場の振る舞いと市場外情報の関係は希薄となる。これらの結果は、情報が市場のマクロ構造と関係していること示している。

さらに、設定2の共通解釈エージェントと個別解釈エージェントが50人ずつ参加した場合の相関次元は、図??で示される。この相関次元は直線に近い状態になっていることから、このときの市場価格は構造を持ち、より高次元の空間に埋め込めばさらに精緻な記述ができるしかし、どんなに次元を増やしても、完全には記述することができないという特徴をもっている。

また、TOPIXの相関次元も直線であったことから[10]、少なくとも実際の市場というのは、共通解釈エージェントのような参加者のみで構成されているのでなければ、個別解釈エージェントのような参加者のみで構成されているのではないと推測される。

5. 結 論

本稿では、ある情報について共通の解釈を行うエージェントと個別に解釈するエージェントの構成割合の違いが、人工市場のマクロ構造に与える影響を分析した。

その結果、市場において共通の解釈を行うエージェントが多いほど、市場におけるコンセンサスの形成が早いことが確認できた。

また、共通の解釈を行うエージェントのみで構成される人工市場というのは、構造を持たないランダムウォークに近い特徴をもっており、個別の解釈をするエージェントのみで構成される人工市場は、ある構造が存在し決定論的に記述することができるものであった。

そして、情報を共通に解釈するものと個別に解釈を利用するものから構成される人工市場は、何らかの構造は存在するが決定論的に完全に記述することができないという特徴をもっていた。

また、現実の市場も同様な特徴を持っていることから[10]、実際の市場というものは、参加者が全員同じ情報を参照しているのであれば、全員がその情報を参照せず個別の情報で取引を行なっているのでもなく、

共通の解釈をする者しない者の両者が存在している事が示唆された。

文 献

- [1] 日本経済新聞、朝刊、2001年4月16日
- [2] 日本経済新聞、朝刊、2001年5月17日
- [3] 塩沢 由典「経済学にとっての人工市場」『人工知能学会誌』,vol.15 No.6, p951-p957 (2000)
- [4] 車谷浩一、大内東「国際貿易リーグ:マルチエージェント経済における標準問題 (1)-概念と X-Economy による実現」情報処理学会「知能と複雑系」研究会報告(函館) SIG-ICS(2001)
- [5] 川村 秀憲 他「X-Economy サーバーによる仮想金融市場の設計と開発」『情報処理学会研究報告』,vol.2001 No.1, p61-66 (2000)
- [6] 川村 秀憲,大内 東,車谷 浩一「X-Economy システムとその研究例」『オペレーションズ・リサーチ』,vol.46 No.10, p537-543 (2001)
- [7] X-Economy プロジェクト Web Site, <http://www.x-econ.org/>
- [8] Holland J.H., K.J Holyoak, R.E.Nisbett, P.R. Thagard. Induction Cambridge, MA MIT Press 1986.
- [9] 中島 義裕「経済の揺らぎとフラクタル」『方法としての進化』,第7章, p.207-235. シュプリンガー・フェアラーク東京 (2000)
- [10] 中島 義裕「株価変動は予想外か」『知能と複雑系』, 123-22, p.127-132. (2001)
- [11] 和泉 潔「個人の複雑さ,市場の複雑さ」『知能と複雑系』, 123-4, p.19-24. (2001)
- [12] K. Izumi Complexity of Agents and Complexity of Markets Proceedings of the First International Workshop on AESCS May21-22, p43-50, 2001.
- [13] 川村秀憲, 山本雅人, 大内東, 車谷浩一: X-Economy サーバによる仮想金融市場の設計と開発, 情報処理学会研究報告, Vol.2001, No1, pp.61/65.